

คู่มือความรู้พื้นฐาน

สำหรับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมมลพิษ



กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

คำนำ

กลุ่มห้องปฏิบัติการ ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ ได้จัดทำโครงการจัดทำคู่มือการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เพื่อดำเนินงานด้านระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการและจัดทำคู่มือ จำนวน 4 เล่ม ดังนี้

1. คู่มือความรู้พื้นฐานสำหรับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม
2. คู่มือเทคนิคการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างสิ่งแวดล้อม
3. คู่มือการควบคุมและประกันคุณภาพงานห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม
4. คู่มือการจัดการของเสียของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

สำหรับคู่มือความรู้พื้นฐานสำหรับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมเป็นการรวบรวมความรู้ตั้งแต่ ประเภทและดัชนีคุณภาพของตัวอย่างสิ่งแวดล้อม สารเคมีและการเตรียม เครื่องแก้วและเครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ได้ใช้ประโยชน์สำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและปฏิบัติงานวิเคราะห์ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

กลุ่มห้องปฏิบัติการ

สิงหาคม 2547

สารบัญ

1. ประเภทและดัชนีคุณภาพของตัวอย่างสิ่งแวดล้อม	5
2. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสารเคมี	9
2.1 ประเภทของสารเคมี	9
2.2 เกรดสารเคมี	12
2.3 สารมาตรฐาน	14
2.4 น้ำ (reagent water) ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	16
3. การเตรียมสารละลายและสารละลายเจือจาง	19
3.1 ความเข้มข้นของสารละลาย	19
3.2 การเตรียมสารละลาย	20
3.3 การเตรียมสารละลายเจือจาง	22
3.4 การเก็บสารละลายที่เตรียม	24
4. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ	25
4.1 ประเภทและคุณลักษณะของแก้ว	25
4.2 รายละเอียดเครื่องแก้วห้องปฏิบัติการ	28
4.3 เครื่องมือวัดปริมาตร	31
5. เครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ	38
5.1 เครื่องชั่ง	38
5.2 เครื่องวัดพีเอช	40
5.3 เครื่องวัดความนำไฟฟ้า	43

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	ประเภทของตัวอย่างน้ำและดัชนีคุณภาพที่ทดสอบ	6
ตารางที่ 2	ตัวอย่างอากาศและดัชนีคุณภาพที่ทดสอบ	7
ตารางที่ 3	ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม	11
ตารางที่ 4	ตัวอย่างข้อมูลใน MSDS	11
ตารางที่ 5	เปรียบเทียบเกรดสารเคมีที่เหมือนกันจากบริษัทผู้ผลิตที่สำคัญ	14
ตารางที่ 6	สารมาตรฐานปฐมภูมิและการใช้	15
ตารางที่ 7	คุณสมบัติของน้ำแต่ละประเภทตามที่ ASTM กำหนด	16
ตารางที่ 8	องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type I	26
ตารางที่ 9	องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type II	27
ตารางที่ 10	คุณสมบัติทางกายภาพของแก้ว	27
ตารางที่ 11	เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของขวดปริมาตร	32
ตารางที่ 12	เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของกระบอกตวง	33
ตารางที่ 13	เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของบิวเรต	35
ตารางที่ 14	เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของปิเปต	36
ตารางที่ 15	ค่าทั่วไปของความนำไฟฟ้า	44

สารบัญรูป

รูปที่ 1	ตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างฝุ่นในอากาศที่เก็บโดยใช้ glass filters และ ตัวอย่างอากาศที่เก็บโดยใช้ cartridge (จากซ้ายไปขวา)	8
รูปที่ 2	ปีกเกอร์ชนิด Griffin, Berzelius ขวดรูปกลมพู่ชนิด ground-glass และ plain tops (จากซ้ายไปขวา)	29
รูปที่ 3	ขวดแก้ว ขวดสำหรับสุญญากาศ ขวดเจลดาร์ห์ล และ กรวยแยก (จากซ้ายไปขวา)	30
รูปที่ 4	ขวดปริมาตร Class A กระบอกตวง Class A และบิวเรต Class A (จากซ้ายไปขวา)	34
รูปที่ 5	volumetric pipet Class A, measuring pipet Class A และ serological pipet Class A ปิเปตอัตโนมัติ และ Tip (จากซ้ายไปขวา)	37
รูปที่ 6	Toploading balance และ Analytical balance	39
รูปที่ 7	เครื่องวัดพีเอช	41
รูปที่ 8	เครื่องวัดความนำไฟฟ้า	46

คู่มือความรู้พื้นฐาน สำหรับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

1. ประเภทและดัชนีคุณภาพของตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม มีขอบเขตความรับผิดชอบในการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างหลากหลายประเภท ความรู้พื้นฐานด้านสิ่งแวดล้อมจึงมีความจำเป็นมาก เริ่มต้นจากความเข้าใจลักษณะของตัวอย่างประเภทต่างๆ การทราบคุณสมบัติของตัวอย่างที่เหมาะสมให้นำไปวิเคราะห์ทดสอบได้ ความเข้าใจพื้นฐานนี้ จะนำไปสู่การปฏิบัติงานวิเคราะห์ทดสอบที่ถูกต้องในขั้นตอนต่อไป

ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมหลากหลายประเภทและจำนวนมากถูกส่งเข้าห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมสำหรับทำการวิเคราะห์ทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลไปใช้ในการประเมินสถานการณ์ของปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมของประเทศ เพื่าระวังปัญหาที่อาจเกิดขึ้น อันส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ตลอดจนใช้ประกอบการพิจารณาจัดทำและปรับปรุงมาตรฐาน มาตรการ และแผนการแก้ไขปัญหาพิษ เช่น การตรวจสอบและแก้ไขปัญหาพิษจากโรงฆ่าสัตว์ มาตรฐานการระบายไอเสียจากรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เบนซิน เป็นต้น ดังนั้นตัวอย่างสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทจึงได้รับการวิเคราะห์ทดสอบดัชนีคุณภาพที่แตกต่างกันขึ้นกับจุดประสงค์ของการนำข้อมูลไปใช้

1.1 ตัวอย่างน้ำ มีหลายประเภท ดังนี้

- น้ำผิวดิน ได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร ห้วย คลอง หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น แหล่งน้ำผิวดินเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญ กล่าวคือ แม่น้ำสายหลักๆ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำแม่กลอง เป็นต้น
- น้ำทะเล ได้แก่ แหล่งน้ำทะเลชายฝั่งอันดามัน ชายฝั่งตะวันออก เป็นต้น
- น้ำเสียจากชุมชน ได้แก่ น้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัย อาคารชุด บ้านจัดสรร สถานประกอบการต่างๆ ในย่านพาณิชยกรรม ได้แก่ โรงแรม โรงพยาบาล ตลาดสด ร้านอาหาร รวมถึงสถาบันและหน่วยงานราชการต่างๆ
- น้ำทิ้งจากการเกษตรกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือน้ำทิ้งจากการชะล้างของเสียจากพื้นที่เกษตรกรรม และน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

- น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงบำบัดน้ำเสีย จุดเก็บตัวอย่างน้ำจะเป็นจุดที่น้ำเข้า (influent) และจุดน้ำออก (effluent) ของโรงบำบัดน้ำเสีย
- น้ำใต้ดิน เป็นแหล่งน้ำที่เกิดจากการไหลซึมของน้ำฝนที่ตกลงมาพื้นโลก

คุณภาพน้ำขึ้นกับสิ่งเจือปนในน้ำ น้ำมีสิ่งเจือปนทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ สิ่งเจือปนต่างๆ เหล่านี้เป็นทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เช่น สารเคมี เกลือแร่ โลหะหนัก และจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การเลือกดัชนีคุณภาพการทดสอบ จึงมีความสำคัญเพื่อให้ได้ข้อมูลคุณภาพน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ตรงตามจุดประสงค์ ตัวอย่างดัชนีคุณภาพที่ทดสอบของตัวอย่างน้ำ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของตัวอย่างน้ำและดัชนีคุณภาพที่ทดสอบ

ประเภทของตัวอย่างน้ำ	จุดประสงค์ของการทดสอบ	ดัชนีคุณภาพที่ทดสอบ
น้ำผิวดิน	ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำประจำวัน	ตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน ได้แก่ บีโอดี ไนโตรเจน-ไนโตรเจน ทองแดง สังกะสี เป็นต้น
น้ำทะเล	ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำประจำวัน	ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส แอมโมเนีย-ไนโตรเจน เป็นต้น
น้ำทิ้งจากอาคาร	เพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้ง	ตามมาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ได้แก่ บีโอดี ของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมัน เป็นต้น
น้ำทิ้งจากการเกษตร	เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำบริเวณใกล้พื้นที่การเกษตร	สารกำจัดแมลงและศัตรูพืชชนิดที่มีคลอรีน
น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	เพื่อกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนรวม เป็นต้น
น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษเนื่องจากเป็นเรื่องร้องเรียน	ขึ้นกับประเภทของโรงงานและปัญหามลพิษ เช่น โรงงานชุบโลหะ ทดสอบโลหะ บีโอดี ของแข็งแขวนลอย เป็นต้น

1.2 ตัวอย่างอากาศ การตรวจสอบมลพิษทางอากาศ ได้แก่ การตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ การตรวจวัดคุณภาพอากาศในที่ทำงาน และการตรวจวัดคุณภาพอากาศที่แหล่งกำเนิด การตรวจวัดคุณภาพอากาศเป็นการตรวจวัดฝุ่นละอองและก๊าซมลพิษ ซึ่งปนเปื้อนในบรรยากาศ เนื่องจากวัสดุที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศจะแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น ดัชนีคุณภาพที่ต้องการทดสอบ แหล่งเก็บตัวอย่าง ถ้าต้องการทดสอบสารอินทรีย์ระเหยง่าย เพื่อตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ จะเก็บตัวอย่างอากาศด้วย canister แต่ถ้าตรวจวัดจากบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากยานพาหนะจะเก็บตัวอย่างด้วย desorption tube หรือ charcoal tube เป็นต้น ประเภทของตัวอย่างอากาศและดัชนีคุณภาพที่ทดสอบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างอากาศและดัชนีคุณภาพที่ทดสอบ

ตัวอย่างอากาศ	จุดประสงค์ของการทดสอบ	ดัชนีคุณภาพที่ทดสอบ
ตัวอย่างอากาศ - เก็บตัวอย่างโดยใช้ glass filters - เก็บตัวอย่างโดยใช้ quartz fiber filters - เก็บตัวอย่างโดยใช้ canister	เพื่อติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศประจำปี	ตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ได้แก่ - ฝุ่นรวม (TSP) และสารตะกั่ว - ฝุ่นขนาดเล็ก (PM ₁₀) - สารอินทรีย์ระเหย เช่น เบนซีน โทลูอีน ไซลีน เอทิลเบนซีน เป็นต้น
- เก็บตัวอย่างโดยใช้ cartridge - เก็บตัวอย่างโดยใช้ filter pack	เพื่อติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรด	SO ₄ ²⁻ NO ₃ ⁻ Cl ⁻ Na ⁺ NH ₄ ⁺ K ⁺ Mg ²⁺ Ca ²⁺
- เก็บตัวอย่างโดยใช้ Sampling bag	เพื่อศึกษาไอระเหยน้ำมันเบนซินจากคลังน้ำมันเชื้อเพลิง	Total Hydrocarbon
- เก็บตัวอย่างโดยใช้ Thermal desorption tube	เพื่อตรวจสอบปัญหามลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม	- สารอินทรีย์ระเหย เช่น เบนซีน โทลูอีน ไซลีน เอทิลเบนซีน เป็นต้น

1.3 ตัวอย่างดิน การวิเคราะห์ที่ทดสอบตัวอย่างดินมักมาจากการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงกิจกรรมต่างๆ เช่น ตรวจสอบการปนเปื้อนของตะกั่วในดินบริเวณใกล้เคียงโรงถลุงตะกั่ว ตรวจสอบสารกำจัดแมลงและศัตรูพืชในดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม ตรวจสอบการตกสะสมของโลหะในตะกอนดินจากแหล่งน้ำทะเลที่อยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรม เป็นต้น



รูปที่ 1 ตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างฝุ่นในอากาศที่เก็บโดยใช้ glass filters และ ตัวอย่างอากาศที่เก็บโดยใช้ cartridge (จากชายไปขวา)

1.4 ตัวอย่างเนื้อเยื่อ เช่น ตัวอย่างปลา กุ้ง หอย และพืช เพื่อทดสอบการสะสมของโลหะ สารกำจัดแมลงและศัตรูพืช เป็นต้น

2. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสารเคมี

2.1 ประเภทของสารเคมี

สถานะของสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ทั้ง 3 สถานะนี้สามารถซื้อได้จากผู้แทนจำหน่ายสารเคมี ของแข็ง และของเหลว บรรจุอยู่ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก และก๊าซบรรจุในท่อเหล็ก มีการแบ่งกลุ่มของสารตามคุณสมบัติทางเคมีเพื่อให้เหมาะสมในการจัดเก็บ

โดยส่วนใหญ่ สารเคมีมีทั้งที่เป็นกรด เบส และเป็นกลาง กรดแก่และเบสแก่ ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง ตัวอย่างของกรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก และกรดไนตริก ตัวอย่างของเบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนีย กรดแก่และเบสแก่ควรเก็บแยกจากกันในพื้นที่ที่ปลอดภัย เพราะหากรวมสารที่เป็นกรดและเบสไว้ด้วยกันจะทำให้เกิดความร้อน และสามารถทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงเมื่อผสมกัน สารละลายเกลือ เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ เพอร์คลอไรด์ อลูมิเนียมซัลเฟต และโซเดียมอะซิเตท คือสารละลายกรดหรือเบสเมื่อผสมกับน้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่แรงเท่ากับกรดแก่หรือเบสแก่ แต่ถูกระบุว่าเป็นสารกัดกร่อน (corrosive) ด้วยเช่นกัน ซึ่งหมายถึงสารเคมีที่สามารถกัดผิวหนัง หรือทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อของร่างกายเมื่อสัมผัส ทำให้เป็นรอยไหม้หรือคัน

สารบางชนิดสามารถให้ (reduction) หรือรับ (oxidation) อิเล็กตรอนจากวัสดุอื่น ตัวอย่างของสารออกซิไดซ์อย่างแรง เช่น โซเดียมเปอร์ซัลเฟต โซเดียมเปอร์มังกานेट โซเดียมไดโครเมต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดไนตริกเป็นทั้งสารออกซิไดซ์อย่างแรง และเป็นกรดอย่างแรงด้วย ตัวอย่างสารรีดิวซ์อย่างแรงเช่น โลหะ อลูมิเนียม สังกะสี และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารรีดิวซ์และสารออกซิไดซ์ต้องไม่เก็บไว้ด้วยกัน เพราะเมื่อผสมกันอาจเกิดการติดไฟ นอกจากนี้ สารเคมีบางชนิดที่ติดไฟได้ง่าย เรียกว่าสารไวไฟ (flammable) สารไวไฟมีทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เช่น เฮกเซน อีเธอร์ แอลกอฮอล์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซอะเซทิลีน และโลหะแมกนีเซียม ของแข็งไวไฟมีอันตรายน้อยกว่าของเหลวและก๊าซ ของเหลวไวไฟนั้นมีคุณสมบัติระเหยกลายเป็นไอได้ดี

สารเคมีในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นสารพิษ (toxic) ต้องไม่ทดสอบด้วยการชิม และควรดมกลิ่นด้วยความระมัดระวัง ควรใส่ถุงมือเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารเคมีโดยตรง ห้ามรับประทาน สูบบุหรี่ หรือดื่มน้ำในห้องปฏิบัติการ ตามข้อบังคับของ OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการมีสารที่เป็นอันตรายเช่นกัน ดังนั้นจึงระลึกระดมว่าทั้งตัวอย่างทดสอบและสารเคมีในห้องปฏิบัติการเป็นสารพิษ

สารเคมีที่เป็นกรด เบส ออกซิไดซ์ และรีดิวซ์ เป็นสารไวไฟและเป็นพิษ ต้องเขียนบอกไว้ชัดเจนว่าจัดเก็บอย่างไร ผู้แทนจำหน่ายสารต้องมีข้อมูลรายละเอียดด้านความปลอดภัยของสารเคมี (Material Safety Data Sheet, MSDS) ซึ่งถูกบังคับตามกฎหมายในประเทศสหรัฐอเมริกา MSDS เป็นเอกสารสรุปคุณสมบัติทางเคมีและอันตรายของสาร วิธีปฏิบัติในกรณีไฟไหม้ หรือการปฐมพยาบาลเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการต้องมีเอกสาร MSDS และพร้อมที่จะให้เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการหยิบใช้ได้

สารเคมีบางชนิดมีน้ำประกอบอยู่ในรูปไฮเดรต (hydrate) อย่างเช่น โซเดียมไฮโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) มีน้ำ 5 โมเลกุลประกอบกับโมเลกุลของโซเดียมไฮโอซัลเฟต โดยทั่วไปสารเคมีที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ จะมีสารที่อยู่ในรูปไม่มีน้ำด้วย เรียกว่า anhydrous ทั้งสองรูปเป็นสารของแข็งและแห้ง สาร hydrate 5.0 กรัมจะมีน้ำ 1.82 กรัม และโซเดียมไฮโอซัลเฟต 3.18 กรัม ในขณะที่ anhydrous เป็นโซเดียมไฮโอซัลเฟตทั้งหมด บางกรณี สารที่อยู่ในรูป hydrate มีความอยู่ตัวมากกว่า anhydrous เช่น โซเดียมไฮโอซัลเฟต สารชนิดนี้จึงมักอยู่ในรูป hydrate

สารเคมีอื่นๆ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ คาร์บอนเนต และฟีนอล เป็นสารที่เป็นของแข็ง แต่เมื่อเปิดใช้แล้วสารจะเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งหลวมและฟูขาว สารประเภทนี้ดูดน้ำ (ความชื้น) ได้ดีและเป็นปัญหาในกรณีที่ต้องการรู้น้ำหนักจริงของสาร นอกจากนี้ยังมีสารบางชนิดดูดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ดูดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและเปลี่ยนรูปเป็นโซเดียมคาร์บอนเนต

ตารางที่ 3 ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

ชื่อสารเคมี	ประเภทของสาร	สถานะ
กรดไฮโดรคลอริก	สารกัดกร่อน (กรด)	ของเหลว
สารละลายแอมโมเนีย	สารกัดกร่อน (เบส)	ของเหลว
โซเดียมไฮดรอกไซด์	สารกัดกร่อน (เบส)	ของแข็ง
นอร์มัลเฮกเซน	สารไวไฟ	ของเหลว
อะซีโตนไตรล์	สารไวไฟ	ของเหลว
เมอร์คิวรี (II) ซัลเฟต	สารพิษ	ของแข็ง
แมงกานีส (II) ซัลเฟตเตตราไฮเดรต	สารอันตราย	ของแข็ง
ซิลเวอร์ซัลเฟต	สารระคายเคือง	ของแข็ง
โปตัสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต	สารออกซิไดซ์	ของแข็ง

ตารางที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลใน MSDS

<p>ชื่อสาร</p> <p>สมบัติทางเคมี/กายภาพ</p> <p>ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย</p> <p>มาตรฐานการปฐมพยาบาล</p> <p>เมื่อสูดดม</p> <p>เมื่อถูกผิวหนัง</p> <p>เมื่อเข้าตา</p> <p>การป้องกันส่วนบุคคล</p> <p>ข้อควรปฏิบัติ</p>	<p>กรดไฮโดรคลอริก</p> <p>ของเหลว ไม่มีสี กลิ่นแรง</p> <p>ทำให้เกิดแผลไหม้ ระคายเคืองต่อระบบหายใจ</p> <p>ให้อากาศบริสุทธิ์ นำส่งแพทย์</p> <p>ชะล้างออกด้วยน้ำจำนวนมาก ทาด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอล 400</p> <p>ชะล้างออกด้วยน้ำจำนวนมากเป็นเวลอย่างน้อย 10 นาที</p> <p>เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เป็นสารเคมีทันที ทาครีมป้องกันผิว ล้างมือ และอาบน้ำหลังการใช้สาร</p>
---	--

2.2 เกรดสารเคมี สารเคมีแบ่งเป็นหลายเกรด คือ

2.2.1 Technical or Commercial Grade

เป็นสารที่มีความบริสุทธิ์ต่ำใช้ในงานที่สารมลทินไม่มีผลกระทบต่องานนั้น เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตทางอุตสาหกรรม เตรียมสารสำหรับล้าง ทำความสะอาด เครื่องแก้ว อุปกรณ์ หรือเป็นสารดูดความชื้นในเดซิเคเตอร์ สารเกรดนี้อาจมีความบริสุทธิ์สูง 95 - 97% แต่ยังมีสิ่งเจือปน 50,000 ppm

2.2.2 Reagent Grade

เป็นสารที่มีคุณภาพตามมาตรฐานของ Reagent Chemical Committee of the American Chemical Society (ACS) มาตรฐานนี้ออกแบบสำหรับเฉพาะห้องปฏิบัติการเคมี มีการแสดงค่า maximum limits of impurity บนฉลากภาชนะบรรจุอย่างชัดเจน สารเคมีที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมีอย่างน้อยที่สุดควรเป็น ACS reagent grade

2.2.3 มาตรฐานเกรดอื่น

- USP Grade เป็นสารที่รับรองคุณภาพตามมาตรฐาน United States Pharmacoeia
- NF Grade เป็นสารที่รับรองคุณภาพตามมาตรฐาน National Formulary
- FCC Grade เป็นสารที่รับรองคุณภาพตามมาตรฐานของ the Food Chemicals Codex (FCC)

สารเหล่านี้กำหนดคุณสมบัติสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา ซึ่งมีข้อกำหนดที่แตกต่างจากสารสำหรับห้องปฏิบัติการเคมี

2.2.4 Chemically Pure Grade (CP)

เป็นสารเคมีที่มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง (เกินกว่าค่ากำหนดของ USP หรือ NF) แต่มีคุณภาพต่ำกว่าสารเคมีที่เป็น reagent grade ใช้เตรียมรีเอเจนต์ ในงานวิเคราะห์ ทดสอบ และการวิเคราะห์สารในห้องปฏิบัติการ

2.2.5 Standard Grade

เป็นสารที่มีความบริสุทธิ์สูง มีสมบัติเป็นสารมาตรฐาน มีใบรับรองแสดงผลการวิเคราะห์และแสดงรายละเอียดอย่างชัดเจนบนฉลากภาชนะบรรจุ

2.2.6 Special - Purpose Reagent Chemicals

เป็นสารที่เกรดสูงกว่า ACS reagent grade เป็นสารเคมีและตัวทำละลาย ที่เตรียมขึ้นมาใช้เฉพาะงานเช่น

- ตัวทำละลายชนิด Pesticides grade สำหรับใช้ในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณ pesticides โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph
- ตัวทำละลายชนิด HPLC grade สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ สารอินทรีย์ ปริมาณน้อย โดยใช้เครื่อง HPLC

เนื่องจากเทอมที่ใช้เรียกเกรดของสารเคมีจะแตกต่างกันโดยบริษัทผู้ผลิตแต่ละแห่ง เพื่อให้เจ้าหน้าที่ทดสอบเข้าใจ ตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบเกรดสารเคมีที่เหมือนกัน จากบริษัทผู้ผลิตที่สำคัญ

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเกรดสารเคมีที่เหมือนกันจากบริษัทผู้ผลิตที่สำคัญ

Use	Fisher	J.T. Baker	Merck	Mallinckrodt
Highest purity organic solvent	GC Resolv Grade, Optima Grade	Ultra Resi-Analyzed	Seccosolv®	Ultimar
Pesticide quality organic solvent	Pesticide	–	Suprasolv®, Unisolv®	Nanograde
Trace metals acids	Optima	Ultrex/UltrexII	Suprapur®	AR Select Plus
Instrumental analysis	TraceMetal	Instra-Analyzed	–	AR Select
HPLC	HPLC	Analyzed HPLC	LiChrosolv®	Chrom-AR
UV Spectrophotometric	Spectranalyzed	Photrex	Uvasol®	Spectra R
ACS Reagent	Certified ACS Reagent	Baker Analyzed Reagent	ACS	ACS
Reagents w/o ACS specifications	Certified	Baker Analyzed Reagent	–	–
Chemically pure	Purified	Chemically Pure	pure, extrapure	Lab-Grade
Practical	Practical	Practical	pure, extrapure	Technical
Technical	Technical	Technical	pure, extrapure	Technical

2.3 สารมาตรฐาน

2.3.1 สารมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard) เป็นสารที่ใช้วัดความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายใดๆ (Standardization) ส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือของกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงและสามารถทำให้แห้งที่อุณหภูมิซึ่งสะดวกในการปฏิบัติ หรือเป็นสารมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไป ที่มีคุณสมบัติทางมาตรฐานสูงสุด โดยไม่จำเป็นต้องอ้างอิงถึงมาตรฐานอื่น ส่วนใหญ่จัดทำโดยองค์กรระดับชาติ หรือองค์กรในระดับประเทศที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เช่น NIST (National Institute of Standards and Technology, USA), BCR (Bureau of Reference, Commission of the EU) เป็นต้น

ตารางที่ 6 สารมาตรฐานปฐมภูมิและการใช้

สารมาตรฐานปฐมภูมิ	การใช้
Potassium biiodate	Standard source of iodine
Potassium dichromate	Standardization of redox solution
Potassium hydrogen phthalate	Standardization of base solution
Sodium carbonate	Standardization of acid solution
Sodium chloride	Total dissolved solids, chloride
Cd standard solution (from NIST)	Calibration of Atomic Absorption Spectrophotometer

2.3.2 สารมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary standard) สารละลายใด ๆ ที่ได้ทำการ standardize กับสารมาตรฐานปฐมภูมิแล้วถือว่าเป็นสารมาตรฐานทุติยภูมิ และอาจใช้แทนสารมาตรฐานปฐมภูมิได้ ซึ่งใช้มากในการเตรียมและนำสารละลายเบสไปใช้ เพราะประหยัดเวลา เนื่องจากสารละลายที่ต้องการใช้ไม่อยู่ตัว และต้องการ standardize บ่อยๆ

เมื่อได้รับสารเคมีหรือสารมาตรฐาน ควรบันทึกวันที่ได้รับบนภาชนะบรรจุสารและการรับรองการทดสอบ เก็บสารในพื้นที่เฉพาะ เก็บใบรับรองและ MSDS ที่เป็นปัจจุบันไว้ในแฟ้ม ควรตรวจสอบ MSDS ทุก 2 - 3 ปี

สารทั้งหมดมีอายุการใช้งาน เมื่อเก็บไว้ในสภาวะที่เหมาะสม อาจเก็บได้นานเป็นสัปดาห์ เดือน หรือปี มักกำหนดวันหมดอายุของสารไว้ที่ฉลาก หากไม่มีจะกำหนดระยะเวลา 1 ปีหลังจากวันที่ได้รับสาร

รีเอเจนต์และสารมาตรฐานบางชนิดเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ดังนั้นต้องเก็บไว้ในตู้เย็นหรือช่องแช่แข็ง (freezer) ตัวอย่าง รีเอเจนต์ และสารมาตรฐานไม่ควรเก็บไว้ในตู้เดียวกัน เพราะอาจจะเกิดการปนเปื้อนได้

2.4 น้ำ (Reagent water) ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

น้ำที่ใช้เตรียมสารเคมีหรือเจือจางตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ จำเป็นต้องเลือกใช้น้ำให้เหมาะสมกับดัชนีคุณภาพที่ต้องการทดสอบ เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนหรือสารแทรกสอด ในที่นี้จึงกล่าวถึงประเภทของน้ำตามที่ The American Society for Testing Material (ASTM) กำหนด และกระบวนการผลิตน้ำเพื่อให้ได้น้ำที่เหมาะสมกับงานทดสอบ น้ำกลั่นหรือน้ำที่ปราศจากไอออนเป็นน้ำเกรดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่ง ASTM ได้กำหนดประเภทของน้ำบริสุทธิ์เป็น 4 ประเภท สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการตาม ASTM D1193-99 โดยมีคุณสมบัติของน้ำแต่ละประเภท ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของน้ำแต่ละประเภทตามที่ ASTM กำหนด

Parameter	Type I	Type II	Type III	Type IV
Electrical conductivity, max, $\mu\text{S/cm}$ at 298 K (25°C)	0.056	1.0	0.25	5.0
Electrical resistivity, min, $\text{M}\Omega, \text{cm}$ at 298 K (25°C)	18	1.0	4.0	0.2
pH at 298 K (25°C)	A	A	A	5.0 to 8.0
Total Organic Carbon (TOC), max, $\mu\text{g/L}$	50	50	200	no limit
Sodium, max, $\mu\text{g/L}$	1	5	10	50
Chloride, max, $\mu\text{g/L}$	1	5	10	50
Total silica, max, $\mu\text{g/L}$	3	3	500	no limit

Microbiological contamination - When bacterial levels need to be controlled, reagent grade types should be further classified as follows :

	Type A	Type B	Type C
Maximum heterotrophic bacteria count	10/1000 ml	10/100 ml	100/10 ml
Endotoxin, EU/ml ^b	<0.03	0.25	not applicable

^A The measurement of pH in Type I,II and III reagent waters has been eliminated from this specification because these grades of water do not contain constituents in sufficient quantity to significantly affect the pH

^B EU = Endotoxin units

น้ำเป็นสารที่ทำให้บริสุทธิ์ได้ยาก สิ่งเจือปนหลักที่อยู่ในน้ำ คือ เกลืออิออนที่ละลายน้ำได้ ก๊าซ สารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย จุลชีพ การกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำ ต้องใช้ปริมาณน้ำจำนวนมาก ซึ่งราคาแพง และใช้เวลามาก วิธีที่ประหยัดกว่า คือต้องรู้จุดประสงค์ของการใช้น้ำ และเตรียมน้ำไม่ให้มีสารที่สนใจวิเคราะห์และไม่มีสารแทรกสอด วิธีหลักของการทำน้ำให้บริสุทธิ์ คือ deionization, distillation, filtration, reverse osmosis, adsorption, ultrafiltration, sterilization และ ultraviolet radiation วิธีที่เก่าที่สุด คือ การกลั่น

น้ำกลั่นธรรมดาที่ใช้อาจจะมีโลหะปริมาณน้อย เช่น ทองแดงละลายปนอยู่บ้าง ซึ่งอาจไปขัดขวางการวิเคราะห์สารต่างๆ โดยวิธีการเปรียบเทียบสี (colorimetric method) ในกรณีนี้จะทำการกลั่นซ้ำโดยใช้เครื่องมือในการกลั่นที่เป็นแก้ว

น้ำที่ปราศจากอิออน เตรียมโดยผ่านน้ำอย่างช้าๆ ลงไปในชั้นของเรซินแลกเปลี่ยนประจุชนิดประจุบวกและประจุลบผสมกัน (mixed bed) เพื่อกำจัดอิออน และของแข็งออกจากน้ำ ต่อจากนั้นผ่าน cartridge ที่เติมด้วย activated carbon เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำ ดังนั้น ลำดับของ cartridge ที่ผลิตน้ำบริสุทธิ์ มีความสำคัญขึ้นกับการใช้น้ำสุดท้าย น้ำสำหรับวิเคราะห์โลหะควรผ่าน ion - exchange เป็นหน่วยสุดท้าย ในขณะที่น้ำที่วิเคราะห์สารอินทรีย์ต้องใช้ carbon filter เป็นหน่วยสุดท้าย ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ เริ่มต้นด้วยน้ำดื่มผ่าน deionizing resin cartridge และ / หรือ activated carbon adsorption cartridge และตามด้วยการกลั่น

การเก็บน้ำที่บริสุทธิ์ กระทำได้ยาก เพราะน้ำจับคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และสิ่งเจือปนในอากาศ และอาจเกิดสารจุลชีพ และรา ขวดที่เก็บน้ำต้องป้องกันการสัมผัสกับอากาศเพื่อป้องกันการปนเปื้อน ดังนั้น ห้องปฏิบัติการไม่ควรเตรียมน้ำบริสุทธิ์มากเกินความต้องการใช้ในแต่ละวัน ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่ทันสมัยถูกออกแบบให้ผลิตน้ำบริสุทธิ์ตามต้องการ ระบบเหล่านี้ต้องไล่ (flush) น้ำออกจากขั้นตอนสุดท้ายของระบบก่อนใช้ มีบริษัทหลายแห่งเป็นผู้แทนจำหน่ายเครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งต่อไปโดยตรง

กับน้ำดื่ม ห้องปฏิบัติการต้องเขียนวิธีการ (protocol) สำหรับตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ผลิตโดยเครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ วิธีที่ง่ายอาจทำโดยตรวจสอบค่าความนำไฟฟ้าเป็นประจำสำหรับใช้ในงานวิเคราะห์โลหะ และงานเคมีทั่วไป ทั้งนี้ที่น้ำมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่ต้องการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการต้องเปลี่ยน cartridge หรือโดยการเก็บบันทึกของปริมาณน้ำที่ผลิตโดย cartridge และประมาณอายุการใช้งานของ cartridge ควรเตรียม cartridge ไว้ก่อนที่ต้องหยุดการทดสอบ เพราะไม่มีน้ำที่มีคุณภาพตามต้องการใช้ในการทดสอบ

3. การเตรียมสารละลายและสารละลายเจือจาง

3.1 ความเข้มข้นของสารละลาย

สารละลาย (solution) คือของผสมเนื้อเดียวของสารสองหรือมากกว่าสองชนิดขึ้นไป ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีปริมาณมากและอยู่ในสถานะทางกายภาพเหมือนสารละลายนั้น เรียกว่า ตัวทำละลาย (solvent) ส่วนสารอื่นอีกสารหนึ่ง เรียกว่า ตัวถูกละลาย (solute) ตัวถูกละลายอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ แต่ส่วนใหญ่ตัวทำละลายเป็นของเหลว ในกรณีที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ เรียกสารละลายนั้นว่า สารละลายน้ำ (aqueous solution)

สารละลายเจือจาง (diluted solution) คือสารละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่น้อย สารละลายเข้มข้น (concentrated solution) คือสารละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่มาก เกณฑ์ในการตัดสินว่าตัวถูกละลายมีมากน้อยเท่าใด จึงถือว่าเป็นสารละลายเข้มข้นหรือเจือจางนั้นไม่แน่นอน ดังนั้นจึงนิยมบอกความเข้มข้นของสารละลายไว้เป็นหน่วยต่างๆ เช่น

3.1.1 เปอร์เซ็นต์ การบอกความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์หรือร้อยละ นิยมใช้ในกิจการทั่วไป เช่น น้ำเกลือเข้มข้น 3% เป็นต้น การวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ อาจเป็น

- เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก (%wt/wt) บางทีเรียกเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หมายถึงน้ำหนักตัวถูกละลายต่อน้ำหนักสารละลาย 100 หน่วยน้ำหนักเดียวกัน เช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3% คือสารละลายที่มีเนื้อโซเดียมคลอไรด์ 3 กรัม รวมกับน้ำ 97 กรัมเป็นสารละลาย 100 กรัม

- เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%wt/vol) หมายถึงน้ำหนักตัวถูกละลายเป็นกรัมต่อปริมาตรของสารละลายเป็นมิลลิลิตร เช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3% (น้ำหนัก/ปริมาตร) คือสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีเนื้อโซเดียมคลอไรด์ 3 กรัม

- เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร (%vol/vol) บางทีเรียกเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หมายถึงปริมาตรตัวถูกละลายต่อปริมาตรสารละลาย 100 หน่วยปริมาตรเดียวกัน เช่น สารละลายกรดเกลือ 3% (ปริมาตร/ปริมาตร) หมายความว่า มีเนื้อกรดเกลือ 3 มิลลิลิตรในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

3.1.2 โมลาร์ซิตี (Molarity) เป็นการบอกความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนของน้ำหนักสารต่อปริมาตรสารละลาย โมลาร์ (Molar ; M) หมายถึงจำนวนโมล (กรัมโมเลกุล) ของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร เช่น ถ้าละลาย NaClหนัก 58 กรัม (1 กรัมโมเลกุล) ในน้ำแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมี ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M)

3.1.3 นอร์มัลลิตี (Normality) เป็นการบอกความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนของตัวถูกละลายต่อปริมาตรสารละลาย นอร์มัล (Normal ; N) หมายถึงจำนวนกรัมสมมูลของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร เช่น สารละลายกรด H_2SO_4 2N หมายความว่า สารละลายนั้น 1 ลิตร มีเนื้อกรด H_2SO_4 2 กรัมสมมูล หรือ $(2 \times 49) = 98$ กรัม

3.2 การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายเริ่มต้นด้วย ของแข็งหนึ่งชนิดหรือมากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่งต้องการละลายในน้ำ เจ้าหน้าที่ทดสอบต้องรู้จักประสงค์ของสารละลายที่ใช้ในวิธีการทดสอบ ยกตัวอย่างเช่น ในวิธีการทดสอบ สารละลาย A ถูกเตรียมจากสารละลายแมกเนเซียมคลอไรด์ 5 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ในขณะที่สารละลาย B เตรียมจากละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลส 1.378 กรัม ในน้ำ และเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร สังเกตว่าความเข้มข้นของสารละลาย A ไม่มีผลกระทบต่อการคำนวณผลการทดสอบ ในขณะที่ใช้โปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลส 1.391 กรัมแทน 1.378 กรัม ในการเตรียมสารละลาย B จะให้ผลการทดสอบที่มีเลขนัยสำคัญที่แตกต่างกัน สารละลาย B เรียกว่า determinative หรือ stoichiometric reagent ดังนั้นเจ้าหน้าที่ทดสอบสามารถเตรียมสารละลาย A โดยใช้ toploading balance แต่สารละลาย B ต้องใช้ analytical balance (ดูรายละเอียดเครื่องชั่งใน 5.1) ถ้าหากไม่สามารถตัดสินใจได้ว่า ประเภทของสารเคมีที่ต้องการเตรียมเป็นประเภทใด ให้เป็นการฝึกปฏิบัติที่ดีโดยเตรียมสารละลายเสมือนว่าเป็นประเภท determinative reagent

หลังจากเจ้าหน้าที่ทดสอบ ตัดสินใจได้ว่าต้องการทำอะไร ขั้นตอนต่อไปคือการไปที่ห้องเก็บสารเคมี เพื่อให้ได้สารที่ต้องการ ถ้าต้องการ potassium phosphate dibasic 2.314 กรัมเพื่อเตรียมสารละลาย สารละลายนั้นไม่ใช่มาจาก 2.314 กรัมของสาร potassium phosphate tribasic, potassium phosphate dibasic trihydrate หรือ potassium phosphate monobasic ถึงแม้ว่า trihydrate สามารถใช้เตรียมความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการได้ แต่เจ้าหน้าที่ทดสอบต้องคำนวณปริมาณสารเฉพาะที่ต้องการซึ่งเท่านั้น ชื่อสารเคมีเป็นชื่อเฉพาะ สารประกอบมากมายมีมากกว่าหนึ่งชื่อ อย่างเช่น sodium phosphate dibasic, sodium biphosphate dibasic, sodium hydrogen phosphate dibasic และ disodium hydrogen phosphate เป็นสารชนิดเดียวกันคือ Na_2HPO_4 ถ้าเป็นไปได้เจ้าหน้าที่ทดสอบควรตรวจสอบสูตรทางเคมีที่ระบุไว้บนขวดสารให้ตรงกับสูตรทางเคมีของสารที่ต้องการเตรียมในวิธีทดสอบ

เมื่อได้สารเคมีที่ต้องการแล้ว ต้องตัดสินใจว่าสารนั้นต้องแห้งหรือไม่ สารบางชนิดอย่างเช่น โซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide) หรือ ฟีนอล จะดูดความชื้นได้เร็วมากเมื่อเปิดขวด ถ้าวิธีทดสอบระบุว่า สารเคมีต้องทำให้แห้ง เจ้าหน้าที่ทดสอบควรใส่สารลงในปิ๊กเกอร์หรือกระจกนาฬิกาที่สะอาด อบในตู้อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ทำให้แห้งคือ 104°C เซลเซียส แต่สารบางชนิด เช่น โซเดียมคาร์บอเนต ต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่า

ปกติเป็นการฝึกปฏิบัติที่ดีในการชั่งสารโดยตรงในขวดปริมาตร แต่ปากขวดเล็กเกินไปที่จะให้ได้สารทั้งหมดโดยไม่หก อาจแก้ปัญหาโดยชั่งสารลงใน weighting boat วางกรวยกรองลงในปากขวดปริมาตรเพื่อหลีกเลี่ยงการหกระหว่างถ่ายเทสารจาก weighting boat ล้าง weighting boat ด้วยน้ำกลั่นจากขวดฉีดน้ำเพื่อให้ได้สารทั้งหมดลงในขวดปริมาตร หลังจากสารอยู่ในขวดแล้ว เติมน้ำจนกระทั่งได้ประมาณ $3/4$ ของขวด ปิดจุกขวด แล้วหมุนขวดปริมาตรด้วยข้อมือ เพื่อให้สารในขวดละลายจนหมด เติมตัวทำละลายในขวดปริมาตรให้ส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของสายตาอยู่ในระดับเดียวกันกับขีดบอกปริมาตร เพื่อป้องกันการเกิด parallax error ปิดจุกขวดปริมาตรแล้วคว่ำขวดจากบนลงล่าง ทำแบบนี้ 2 - 3 ครั้งเพื่อให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และมีเนื้อสาร

เทากันทุกส่วน กลับขวดปริมาตรให้อยู่ในลักษณะเดิม แล้วจับคอขวดหมุนไปมา ประมาณ $\frac{1}{4}$ รอบ ทำซ้ำจนแน่ใจว่าสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ของแข็งซึ่งละลายได้ยาก สามารถผสมกับตัวทำละลายในขวดรูปชมพู่ หรือ บีกเกอร์ ใช้เครื่องกวน (magnetic stirrer) ช่วยละลาย เทสารละลายในขวดปริมาตรและปรับปริมาตรสุดท้าย

บันทึกการเตรียมสารละลายลงในสมุดจดบันทึก (Laboratory notebook) เพื่อเก็บรักษาข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย วันที่ และเวลาเตรียมสารละลาย ชื่อผู้เตรียม หมายเลข lot ที่ผลิตสารที่ใช้ (เพื่อสามารถทวนสอบกลับไปยังใบรับรองของบริษัทผู้ผลิต) น้ำหนักและปริมาตรที่เตรียม และอื่นๆ เช่น ค่า pH

3.3 การเตรียมสารละลายเจือจาง

เจ้าหน้าที่ทดสอบต้องเข้าใจข้อกำหนดของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ และรู้ว่า จะใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ให้ได้ผลดีที่สุดได้อย่างไร สำหรับเจ้าหน้าที่ทดสอบห้องปฏิบัติการ สิ่งแวดล้อม สารมลพิษที่วิเคราะห์มีระดับปริมาณสารต่ำถึง ppm หรือ ppb ตัวอย่างเช่น การพิจารณาเตรียมสารมาตรฐานแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปกติเตรียมสารมาตรฐานจากแอมโมเนียมคลอไรด์ ซึ่งมีมวลโมเลกุล 53.49 กรัมต่อโมล และมวลสมมูล 3.141 กรัมต่อ 1.000 กรัมแอมโมเนีย อาจเป็นไปได้ที่จะชั่งแอมโมเนียมคลอไรด์ 15.7 มิลลิกรัมบนเครื่องชั่ง และเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร เนื่องจากเครื่องชั่งมีข้อจำกัด ดังนั้นความเข้มข้นของสารมาตรฐานนี้ มีความไม่แน่นอนระหว่าง 1 - 6 % การชั่งสารให้ได้ ± 0.1 มิลลิกรัม บางครั้งเป็นไปได้ เนื่องจากขนาดของสารของแข็ง วิธีการเตรียมที่ดีคือ เตรียมสารมาตรฐานเข้มข้น เช่น 500.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการชั่งแอมโมเนียมคลอไรด์ 1.570 กรัม และเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในกรณีนี้ น้ำหนักที่ต้องการคือ ± 1.0 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นไปได้โดยชั่งสารด้วยความระมัดระวัง ใช้ volumetric pipet 10.00 มิลลิลิตร ปิเปต stock solution 10.00 มิลลิลิตรและเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

ในขนาดปริมาตร จะได้ working standard 5.000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่รู้ค่าถึง ± 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความไม่แน่นอน $< 0.1\%$ วิธีการนี้ยังสามารถเจือจาง 1.00, 2.00, 5.00 และ 20.00 มิลลิลิตร ของสารละลายมาตรฐานนี้ เพื่อให้ได้ working standard จากน้ำหนักที่ชั่งถือได้ ดังนั้นเป็นการกำจัดแหล่งของความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่จากการทำการกราฟมาตรฐานหลายระดับความเข้มข้นได้

ตัวอย่างสมการที่ใช้คำนวณความเข้มข้นสุดท้ายของการเจือจาง

$$C_i V_i = C_f V_f$$

C_i และ C_f เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นและสุดท้ายตามลำดับ

V_i และ V_f เป็นปริมาตรเริ่มต้นและสุดท้ายของสารละลายที่ใช้ในการเจือจาง

ยกตัวอย่างเช่น ต้องการเตรียมสารมาตรฐาน 6.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 50.0 มิลลิลิตรจาก stock solution 100 มิลลิกรัมต่อลิตร C_i คือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร C_f คือ 6.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และ V_f คือ 50.0 มิลลิลิตร ดังนั้น V_i (ปริมาตรของ stock solution ที่ใช้เพื่อเจือจาง) คือ 3.00 มิลลิลิตร เจ้าหน้าที่ทดสอบต้องเตรียมสารละลายเจือจางโดยเติม stock solution 3.00 มิลลิลิตรลงในขวดปริมาตรขนาด 50.0 มิลลิลิตร และเจือจางให้ได้ปริมาตร

เทคนิคอื่นๆ คือ การเจือจางสารละลาย (1+4) และ (1:5) มีความหมายเหมือนกัน เช่น เตรียมสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ (1+4) หมายความว่า stock solution 1 ปริมาตร และเติมตัวทำละลาย 4 ปริมาตร (1:5) หมายความว่า stock solution 1 ปริมาตร และเติมตัวทำละลายจนได้ปริมาตรรวมเป็น 5 เท่าของปริมาตรเริ่มต้น

3.4 การเก็บสารละลายที่เตรียม

ขวดปริมาตรไม่ใช่ภาชนะสำหรับเก็บสารละลายที่เตรียมได้ เมื่อเตรียมสารละลายแล้วให้ถ่ายลงในขวดแก้ว หรือพลาสติกที่สะอาด ตามความเหมาะสม ขวดที่เก็บสารละลายควรมีฝาปิด (screw cap) ที่มี Teflon® cap liner ขวดสารเคมีชนิดที่มี ground glass stopper ควรใช้เก็บสารละลายกรด สำหรับสารละลายด่างควรเก็บในขวด Teflon® หรือ polyethylene ชนิดความหนาแน่นสูง ปิดป้ายขวดเก็บสารเคมี ซึ่งระบุความเข้มข้นของสาร วันที่เตรียม วันที่ตรวจสอบความเข้มข้น วันหมดอายุ สถานที่เก็บเฉพาะ และผู้เตรียม

สารละลายหลายชนิดควรเก็บไว้ในตู้เย็น ปริมาตรและความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ดังนั้น ควรเอาขวดสารออกจากตู้เย็นตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนใช้ในการทดสอบ

น้ำและตัวทำละลายจะระเหยออกจากขวดได้ แม้ว่าปิดขวดสนิทแล้ว ทุกครั้งที่น่านำสารละลายออกจากขวด ให้ทำเครื่องหมายระดับสารละลายไว้บนขวด และวันที่ โดยเฉพาะเมื่อสารละลายถูกเก็บในขวดดูด-ปล่อยสาร (dispenser bottles) เพราะตัวทำละลายระเหยได้ ไม่ควรดูดสารเคมีโดยตรงจากขวดด้วยปิเปต ให้เทสารลงในบีกเกอร์และใช้ปิเปตดูดสารจากบีกเกอร์ สารเคมีที่เหลือให้เททิ้ง ไม่เทคืนกลับลงในขวดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน

สารเคมีเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ขั้นแรกในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น ควรระมัดระวังการเตรียมและเก็บรักษาสารเคมี ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลการวิเคราะห์ทดสอบที่ผลิตโดยห้องปฏิบัติการ

4. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

4.1 ประเภทและคุณลักษณะของแก้ว (Type and Characteristics of Glass)

โดยปกติเรามักพบภาชนะที่ทำด้วยแก้วในห้องปฏิบัติการเสมอ ลักษณะของแก้วคือใส แข็ง ทนต่อสารเคมี ความร้อน ความเย็น ความดัน และสุญญากาศ ในอดีตแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทำด้วย soda lime glass หรือ soft glass ที่เรียกเช่นนี้เพราะว่าแก้วจะอ่อนตัวง่ายเมื่อถูกเปลวไฟของตะเกียงเบนเสน ซึ่งเจ้าหน้าที่เทคนิคของห้องปฏิบัติการสามารถซ่อมหรือตกแต่งเครื่องแก้วที่แตกหรือร้าวได้ ปัจจุบัน ห้องปฏิบัติการใช้แก้วชนิด borosilicate aluminosilicate และ quartz ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูง และเครื่องมือเฉพาะในการตกแต่งแก้ว รวมทั้งใช้ผู้ที่มีความชำนาญ ดังนั้นเครื่องแก้วส่วนใหญ่จึงต้องสั่งซื้อจากผู้แทนจำหน่าย

เครื่องแก้วที่ทำด้วย borosilicate ซึ่งใช้ในห้องปฏิบัติการ สามารถใช้งานช่วงอุณหภูมิห้องถึง 230 °เซลเซียส เครื่องแก้วที่ทำด้วย quartz และ sintered powdered quartz สามารถใช้งานในเตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) ได้ เครื่องแก้วใหม่มีคุณสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย ดังนั้นควรล้างแช่ในกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไนตริกที่เข้มข้น 1% และทำความสะอาดก่อนใช้งาน โดยใช้ปรอทอุ่นด้วยน้ำร้อน และน้ำยาล้างเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ และของแข็งที่ติดอยู่ที่ผิวเครื่องแก้ว ล้างด้วยน้ำร้อนและน้ำกลั่นตามลำดับ

แก้วสามารถทนต่อสารเคมีได้หลายชนิด แต่ไม่ทนต่อกรดฟอสฟอริกที่ร้อนต่างแก่ และสารที่มี ionic fluoride อย่างเช่น hydrofluoric acid และ potassium fluoride สิ่งเจือปนที่เป็นโลหะในแก้วสามารถแลกเปลี่ยนกับโลหะอัลคาไลน์ในสารละลายที่มีสถานะเป็นกรดได้ ปริมาณโลหะที่พบอยู่ในแก้วระดับเปอร์เซ็นต์ คือ ซิลิกอน อลูมิเนียม โซเดียม และโบรอน ระดับ sub% คือ ลิเทียม เซอร์โคเนียม โปตัสเซียม ฟลูออรีน คลอรีน ซัลเฟอร์ และ แอนติโมนี

ASTM E438-92 (Reapproved 1996) แบ่งประเภทของเครื่องแก้วที่ผลิตใช้ใน
ห้องปฏิบัติการ ตามคุณลักษณะเฉพาะของแก้ว ดังนี้

1. Type I Class A - borosilicate glass ชนิดการขยายตัวต่ำ
2. Type I Class B - alumino borosilicate glass
3. Type II - soda lime glass

องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของแก้วแต่ละประเภท
ดังตารางที่ 8 - 10 คุณสมบัติทางกายภาพของแก้ว และค่า tolerances ต้องเป็น
ค่าเฉพาะของบริษัทผู้ผลิตแต่ละแห่ง

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type I

	Type I, Class A weight %	Type I, Class B weight %
Major constituents, approximate :		
SiO ₂	81	73
B ₂ O ₃	13	10
Al ₂ O ₃	2	7
BaO	see below	0 - 2
CaO	see below	1
Na ₂ O	4	6
K ₂ O	see below	1
Trace constituents, max :		
As ₂ O ₃ plus Sb ₂ O ₃	0.005	0.1
PbO	0.1	0.1
MgO	0.1	0.3
ZnO	0.1	0.1
CaO	0.1	see above
K ₂ O	0.75 ^A	see above
All other constituents, max	0.2	1.0

^A Each manufacturer must publish the maximum percentage in his glass because certain limited applications require a level under 0.1%

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type II

	Composition A, weight %	Composition B, weight %
Major constituents, approximate :		
SiO ₂	68	72
B ₂ O ₃	2	...
Al ₂ O ₃	3	2
BaO	2	...
CaO	5	5
MgO	4	4
Na ₂ O	15	16
K ₂ O	1	1
Trace constituents, max :		
As ₂ O ₃ plus Sb ₂ O ₃	0.1	0.1
PbO	0.1	0.1
All other constituents, max	1.0	1.0

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางกายภาพของแก้ว

Property	Type I, Class A	Type I, Class B	Type II Glass	ASTM Method
Linear coefficient of expansion, 0 to 300°C, cm/cm °C X 10 ⁻⁷	(32-33) <u>±</u> 1.5	(48-56) <u>±</u> 2	(90-93) <u>±</u> 2	E228
Annealing point, °C	560 <u>±</u> 10	574 <u>±</u> 10	(520-540) <u>±</u> 10	C598
Softening point, °C	(815-820) <u>±</u> 10	(783-799) <u>±</u> 10	(700-720) <u>±</u> 10	C338
Density, annealed, g/cm ³	(2.23-2.24) <u>±</u> 0.02	(2.33-2.36) <u>±</u> 0.02	(2.47-2.53) <u>±</u> 0.02	C729 ^A
Chemical durability, titration equivalent of 0.02N H ₂ SO ₄ /10 g of glass, max, ml	1.0	1.0	9.5	C225 (Method P-W)

^A See Day, R.K., Glass Research Methods, Industrial Publications, Inc., Chicago, IL, 1953, pp. 98-100

4.2 รายละเอียดเครื่องแก้วห้องปฏิบัติการ (Laboratory Glassware Description)

4.2.1 บีกเกอร์ (Beakers)

บีกเกอร์มี 2 ประเภทคือ Griffin beaker และ Berzelius beaker ทั้งสองประเภทมีปาก (spout) บนขอบบีกเกอร์ เพื่อให้เทได้ง่าย Griffin beaker มีลักษณะสั้นและกว้างกว่า Berzelius beaker ที่ขนาดปริมาตรเท่ากัน บีกเกอร์ที่เป็นเทฟลอน (Teflon) มีปากบีกเกอร์ที่เทสารได้ดีกว่า และทนต่อการแตก บีกเกอร์มีประโยชน์สำหรับใช้ผสมสารละลาย เก็บตัวอย่าง ทำปฏิกิริยา (reaction) การย่อย (digestion) และงานทั่วไป ซีดบอกริมาตรของบีกเกอร์เป็นค่าโดยประมาณและปกติใช้กระจกนาฬิกาปิดบีกเกอร์

4.2.2 ขวดรูปชมภู (Erlenmeyer flasks)

เป็นภาชนะสำหรับใช้งานทั่วไป และใช้ทำปฏิกิริยา ผนังแก้วหนา มีทั้งปากกว้างและแคบ Erlenmeyer flask ปากกว้างใช้สำหรับการไตเตรทและการผสมสาร ชนิดที่ขอบปากเรียบอาจปิดด้วย จุกคออร์ก ยางอ่อน ยางแข็ง นีโอพรีน (neoprene) ซิลิโคน (silicone) โพลีเอทิลีน (polyethylene) และวัสดุอื่นๆ จุกปิด (stopper) ที่ทำด้วยวัสดุธรรมชาติ และสารสังเคราะห์ มีช่วงของความไวและทนต่อสารเคมีได้กว้างมาก ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำจุกต้องเหมาะสมกับสารเคมีที่ใช้ทำให้มีจุกปิดที่แตกต่างกันในห้องปฏิบัติการ แต่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ หลีกเลี่ยงปัญหาโดยไม่สตีอก plain-top Erlenmeyer flask ไว้ แต่ใช้ ground - glass flask ชนิดเฉพาะ ถ้าต้องการปิดปาก plain Erlenmeyer flask เพื่อป้องกันการปนเปื้อน อาจใช้บีกเกอร์ หรือกระจกนาฬิกาขนาดเล็กวางบน flask ได้เช่นกัน การอบเพาะเชื้อของอาหารเลี้ยงเชื้อใน Erlenmeyer flask ใช้สำลีแทนจุกสำหรับการเก็บสารละลาย จะใช้ Erlenmeyer flask ชนิดที่มี ground-glass polyethylene หรือ Teflon® stopper หรือที่มี screw cap

4.2.3 กระจกนาฬิกา (Watchglasses)

ใช้ปิดบีกเกอร์ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนหรือสิ่งเจือปนลงในบีกเกอร์ และเจ้าหน้าที่ทดสอบสามารถสังเกตเห็นการเกิดสารในบีกเกอร์ได้ กระจกนาฬิกาทำด้วยผิวเรียบลื่น เมื่อสารถูกทำให้เดือดเป็นไอ ไอร้อนกระทบกับกระจกนาฬิกาที่เย็นกว่า และควบแน่นเป็นหยดของเหลวกลั้บลงมาในสารละลาย



รูปที่ 2 บีกเกอร์ชนิด Griffin, Berzelius ขวดรูปชมพูนชนิด ground-glass และ plain tops
(จากซ้ายไปขวา)

4.2.4 ขวดแก้ว (Glass bottles)

ใช้สำหรับบรรจุตัวอย่าง สารเคมี(reagent) สารละลาย และเพื่องานทดสอบด้านแบบที่เรียกใช้ปริมาณตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ปกติมี screwtop, plastic cap หรือ จุกปิด หรือ ground-glass stopper ขวดตัวอย่างมีหลายขนาด เช่น vial ขนาด 40 มิลลิลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย jar ขนาด 120 มิลลิลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างดิน ขวดแก้วสี่ขาปากแคบ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างทดสอบสารกำจัดแมลง เป็นต้น ขวดแก้วใช้สำหรับเป็นภาชนะบรรจุ ไม่ควรใช้เตรียมสารเคมี หรือให้ความร้อนโดยตั้งบน hotplate

4.2.5 ขวดสำหรับสุญญากาศ (Vacuum flasks) หรือ ขวดสำหรับกรอง (Filtering flasks)

เป็นขวด Erlenmeyer flask ที่มีผนังแก้วหนา และมี side arm ใกล้ปากขวดสำหรับประกอบกับ vacuum source ควรใช้ gasket ที่ทำด้วยยาง neoprene ต่อระหว่าง funnel และ flask ไม่ควรใช้แก้วต่อแก้วโดยตรง

4.2.6 ขวดเจลดาทัล (Kjeldahl flasks)

เป็นขวดก้นกลม ผนังแก้วหนา มีคอยาวสำหรับใช้ในการย่อยเพื่อทดสอบสารอินทรีย์ไนโตรเจนรวม flask ประเภทนี้ถูกออกแบบเพื่อให้สามารถใช้ความร้อนและทำปฏิกิริยาเคมีรุนแรง ระวังอย่าให้ก้นขวดสัมผัสโดยตรงกับโลหะที่ให้ความร้อน ขวดเจลดาทัลมีตั้งแต่ขนาด 30 - 800 มิลลิลิตร



รูปที่ 3 ขวดแก้ว ขวดสำหรับสุญญากาศ ขวดเจลดาทัล และกรวยแยก
(จากซ้ายไปขวา)

4.2.7 กรวยแยก (Separatory funnels)

ใช้สำหรับการสกัดสารโดยเทคนิค liquid-liquid extraction เพื่อแยกสารอินทรีย์ออกจากตัวอย่างน้ำ โดยสารอินทรีย์อยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งแยกจากชั้นน้ำ ปัจจุบันตัวกรวยแยกยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ stopcock และจุกปิดได้เปลี่ยนแปลงจากที่ทำด้วยแก้วเป็นเทฟลอน ปัญหาที่สำคัญในการสกัดด้วยกรวยแยกคือ การเกิดอิมัลชัน มีวิธีแก้ไขที่เป็นมาตรฐานคือ โดยการเซนติฟิวจ์ การกวนด้วยแท่งแก้ว เป็นต้น

4.3 เครื่องมือวัดปริมาตร (Volumetric Measuring Tools)

มีเครื่องมือ (device) วัดปริมาตร 5 ประเภทที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการ ความถูกต้องและแม่นยำ ได้แก่ บิวเรต (burets) ขวดปริมาตร (volumetric flasks) ปิเปตชนิดปริมาตร (volumetric pipets) ปิเปตชนิดกราวด์ (measuring pipets) และกระบอกตวง (graduated cylinders) การสอบเทียบ (calibrate) ตาม ASTM standard ระบุไว้ว่าเครื่องแก้ววัดปริมาตร มี 3 เกรด Class A Class B และ student หรือ economy grade ASTM standard กำหนดค่า tolerance ไม่เกินที่แสดงไว้บนเครื่องแก้ว Class A เป็นเครื่องแก้วที่มีความแม่นยำ มีค่า tolerance ต่ำ Class B เป็นเครื่องแก้วที่มีความแม่นยำต่ำ มีค่า tolerance เป็นสองเท่าของ Class A ดูตารางที่ 11-14 ภาชนะวัดปริมาตรชนิดพลาสติกทั้งหมด (Teflon Nalgene Polypropylene Polymethylpentane Polyethylene และอื่นๆ) เป็น Class B เครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A จะมีตัวอักษร “A” เขียนไว้ใกล้ยี่ห้อเครื่องแก้ว เครื่องแก้วที่ไม่มีตัวอักษร “A” ปรากฏ จะเป็น Class B หรือมีความถูกต้องน้อยกว่า

4.3.1 ขวดปริมาตร (Volumetric flasks)

เป็นเครื่องมือที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายเดิม ขวดปริมาตรมีหลายขนาด เช่น ขนาด 50, 100, 250, 500, 1,000 และ 2,000 มิลลิลิตร เป็นต้น

การปิดขวดปริมาตรชนิด screw-threaded top จะใช้ screw cap ส่วน ground-glass joints ใช้จุกปิด (stopper) ชนิดโพลีเอธิลีน เทฟลอน หรือแก้ว จุกปิดชนิดพลาสติกจะใช้ได้ดีที่อุณหภูมิห้องแต่จะรั่วเมื่อ flask ถูกเก็บในตู้เย็น ดังนั้นเมื่อจุกปิดชนิดพลาสติกติดแน่นกับ ground-glass joint ให้วาง flask ไว้ในช่องเย็น จุกปิดจะค่อยๆ หดตัวและเอาออกจากขวดได้ง่าย จุกปิดชนิดแก้วจะติดแน่นได้ดีที่อุณหภูมิต่างกัน แต่จะติดแน่นเมื่ออยู่ในช่องเย็น เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างขวดแก้วของ joint และจุกปิด จุกปิดชนิด เทฟลอน ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวและ ground glass joint จึงปิดได้สนิทและไม่ติดแน่น ส่วน screw cap ปิดได้แน่นมากเป็นผลทำให้เกิดการแตกได้เมื่อวาง flask ไว้ในช่องเย็น ขวดปริมาตรถูกออกแบบมาเพื่อใช้เตรียมสารเคมี (reagent) สารละลายมาตรฐาน (standard) และเจือจางตัวอย่าง แล้วถ่ายสารละลายลงในขวดพลาสติกหรือขวดแก้ว เพื่อเก็บรักษา

ขวดปริมาตรทั้งหมดเป็นเครื่องแก้วสอบเทียบชนิดบรรจุ (to contain) ใช้ตัวย่อ TC หรือ C หรือ In (ISO) หมายความว่าเมื่อ flask ถูกเติมด้วยของเหลวถึงขีดปริมาตร มันจะบรรจุปริมาตรเฉพาะของของเหลว อย่างเช่น 100.0 มิลลิลิตร

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของขวดปริมาตร

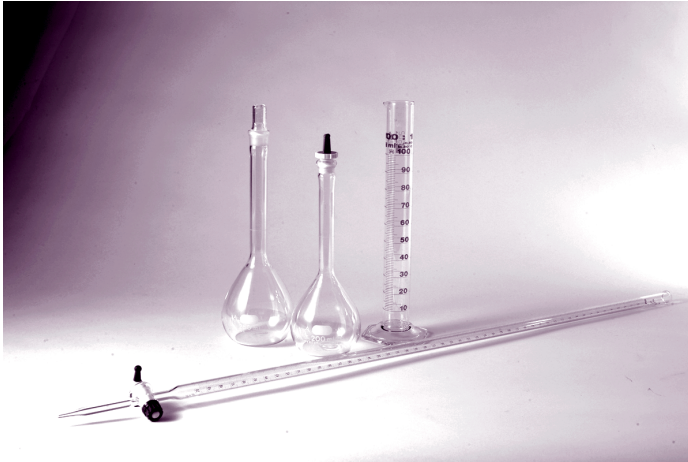
Nominal volume (ml)	Tolerance (ml)	
	Class A	Class B
10	+0.02	+0.04
25	+0.03	+0.06
50	+0.05	+0.10
100	+0.08	+0.16
250	+0.12	+0.24
500	+0.20	+0.40
1,000	+0.30	+0.60

4.3.2 กระจกตวง (Graduated cylinders)

เป็นหลอดแก้วหรือพลาสติก ที่มีขีดบอกริมาตรอยู่ด้านข้าง กระจกตวงเป็นเครื่องแก้วสอบเทียบชนิด TC และ TD ใช้สำหรับถ่ายปริมาตรตัวอย่าง (>50 ml) สำหรับทดสอบ กระจกตวงถูกออกแบบสำหรับการเตรียมสารผสมตัวทำละลาย ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการเตรียมสารละลาย 30% water-isopropane จะใช้กระจกตวงเป็นเครื่องแก้วในการเตรียมได้ แต่ไม่ใช้กระจกตวงสำหรับผสมสารเคมี ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาให้ความร้อน และทำให้กระจกตวงแตกร้าวได้ง่าย

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของกระจกตวง

Nominal volume (ml)	Tolerance (ml)	
	Class A	Class B
10	+0.08	+0.1
25	+0.14	+0.3
50	+0.2	+0.4
100	+0.35	+0.6
250	+0.65	+1.4
500	+1.10	+2.6
1,000	+2.0	+5.0



รูปที่ 4 ขวดปริมาตร Class A กระบอกตวง Class A และบิวเรต Class A
(จากซ้ายไปขวา)

4.3.3 บิวเรต (Burets)

เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรทที่มีลักษณะคล้าย measuring pipets คือ มีขีดบอกปริมาตรต่างๆ ไว้ บิวเรตมีหลายขนาด ดังนั้นเมื่อนำบิวเรตไปใช้จึงควรเลือกให้เหมาะกับลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ด้วย ขีดบอกปริมาตรตั้งแต่ศูนย์ที่ด้านบนของบิวเรต บ่งบอกปริมาตรที่ปล่อยออก

ส่วนใหญ่การใช้บิวเรตที่ได้ค่าถูกต้องเมื่อปล่อยปริมาตรมากกว่า 80% ของปริมาตรทั้งหมด บิวเรตจะถูกยึดให้ติดกับที่บนขาตั้ง เมื่อจะใส่สารละลายลงในบิวเรต ต้องล้างบิวเรตด้วยสารละลายนั้นก่อน เทสารละลายลงในบิวเรตให้อยู่เหนือระดับขีดศูนย์เพียงเล็กน้อย การเทสารละลายลงในบิวเรต ต้องเทสารละลายผ่านกรวยกรองเพื่อไม่ให้สารละลายหก ถ้าเทสารละลายลงในบีกเกอร์แล้วจึงเทลงในบิวเรต ถ้าบีกเกอร์ไม่สะอาดจะทำให้สารละลายนั้นสกปรกหรือความเข้มข้นอาจเปลี่ยนแปลงได้

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของบิวเรต

Nominal volume (ml)	Tolerance (ml)	
	Class A	Class B
5	+0.01	-
10	+0.02	+0.04
25	+0.03	+0.06
50	+0.05	+0.10
100	+0.10	+0.20

4.3.4 ปิเปต (Pipets)

Measuring pipets (Mohr) ทำจากแท่งแก้วตรง ที่มีรูตรงกลางขนาดสม่ำเสมอ และมีขีดบอกปริมาตรตั้งแต่ศูนย์ที่อยู่ใกล้ด้านบนของปิเปตถึงด้านล่างใกล้ปากปิเปต ปิเปตบอกปริมาตรรวมทั้งหมดและปริมาตรย่อย ตัวอย่างเช่น “5 ml in 0.1” หมายความว่า ความจุทั้งหมด 5 ml และมีขีดบอกปริมาตรทุกๆ 0.1 ml measuring pipets ถูกใช้เพื่อบ่งชี้ปริมาตรที่ถ่าย (deliver) ของเหลวโดยเทคนิคที่แตกต่างกันระหว่างตำแหน่งของของเหลวเริ่มต้นและสุดท้ายด้วยการปล่อยปริมาตรสูงสุดออกจากปากของปิเปต measuring pipets ถูกสอบเทียบด้วยค่า tolerance Class A และ B การปล่อยของเหลวจาก 10 - ml measuring pipet Class A มีค่า tolerance คือ ± 0.02 ml และ relative tolerance 2%

Serological pipets มีขีดบอกปริมาตรตั้งแต่ศูนย์ใกล้ส่วนบนของปิเปตถึงปากปิเปต serological pipets มีขีดบอกปริมาตรทั้งหมดและปริมาตรย่อยเหมือน measuring pipets เช่น “1ml in 0.1” serological pipets ถูกสอบเทียบเพื่อบอกความแตกต่างระหว่างระดับของเหลวเริ่มต้นและสุดท้าย เพื่อถ่ายปริมาตรที่สอบเทียบทั้งหมด ของเหลวถูกปล่อยออกจนกระทั่งไม่มีเหลืออยู่ในปากปิเปต ปิเปตชนิดนี้มีเฉพาะค่า tolerance Class B และปริมาตรทั้งหมดถูกบอกด้วยค่า tolerance ของปริมาตรทั้งหมด การปล่อยสาร 1.0 ml

จาก 10 - ml serological pipets Class B จะมีค่า tolerance ± 0.04 ml serological pipets ชนิดพิเศษจะมีปากกว้างสำหรับของเหลวหนืดและตัวอย่างที่มีสารแขวนลอยเจือปน ซึ่งจะไปอุดตันปิเปตปากแคบได้ จึงมีประโยชน์สำหรับการถ่ายตัวอย่างวิเคราะห์ BOD

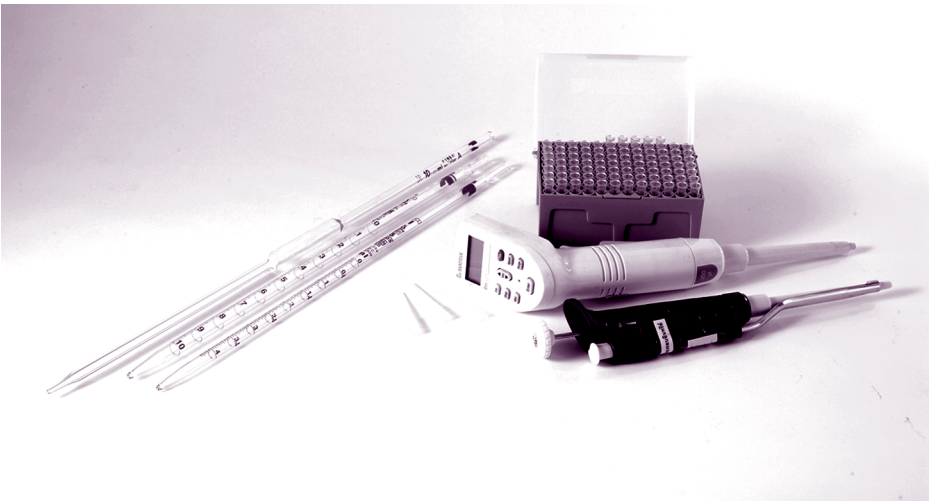
Volumetric pipets หรือ Transfer pipets จะมีส่วนที่เป็นกระเปาะและมีขีดบอกปริมาตรเพียงขีดเดียว เป็นเครื่องแก้วสอบเทียบชนิดสำหรับถ่ายของเหลว (to deliver) ใช้ตัวย่อ TD หรือ D หรือ Ex (ISO) เช่นเดียวกับปิเปตชนิดอื่น เมื่อปล่อยสารละลายออกจากปิเปตแล้ว ห้ามเป่าสารละลายที่ตกค้างอยู่ที่ปลายของปิเปต แต่ควรตะปปลายที่อยู่ข้างในปิเปตกับข้างภาชนะเหนือระดับสารละลายในภาชนะนั้นสักครู่ ประมาณ 30 วินาที เพื่อให้สารละลายที่อยู่ข้างในปิเปตไหลออกมาอีก สำหรับสารละลายที่เหลืออยู่ในปิเปตนั้นมิใช่ปริมาตรของสารละลายที่จะวัด volumetric pipets มีหน่วยของปริมาตรตั้งแต่ 1-10 ml และปริมาตรที่มากกว่า ดังตารางที่ 14

Bacteriological pipets ออกแบบมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต มีขนาด 1.1, 2.2, 10 และ 11 มิลลิลิตร มีทั้งชนิดปากกว้างและแคบ ค่า tolerance ของปิเปตชนิดนี้ กว้างกว่า Class B standard อาจพบปิเปตชนิดนี้ในงานทดสอบด้านจุลชีววิทยาของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม แต่ไม่เหมาะสำหรับงานทดสอบทางเคมี

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่า Tolerance Class A และ Class B ของปิเปต

Nominal volume (ml)	Tolerance (ml)	
	Class A	Class B
1	± 0.006	± 0.012
5	± 0.01	± 0.02
10	± 0.02	± 0.04
25	± 0.03	± 0.06
50	± 0.05	± 0.10

นอกจากปิเปตชนิดแก้วแล้ว ปัจจุบันห้องปฏิบัติการมีการใช้ปิเปตอัตโนมัติ (Autopipetters) มีทั้งที่เป็นแบบใช้กลไก (mechanic) และแบบใช้ไฟฟ้า (electronic) ซึ่งเหมาะสำหรับงานด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องปิเปตสารปริมาณน้อยระดับไมโครลิตร ปิเปตอัตโนมัติมีหลายขนาด และที่นิยมใช้คือ ขนาด 250 และ 1,000 ไมโครลิตร วิธีการใช้เครื่องจะแตกต่างกันแต่ละบริษัทผู้ผลิต เช่น อาจกำหนดรูปแบบปล่อยปริมาตรแน่นอนปริมาตรเดียวโดยบริษัทผู้ผลิต แบบปรับปริมาตรได้ในช่วงที่ต้องการ โดยเจ้าหน้าที่ทดสอบ และแบบสามารถปล่อยปริมาตรได้หลายครั้งในเวลาเดียวกัน ปิเปตอัตโนมัตินี้ต้องมีการสอบเทียบก่อนใช้งานเช่นกัน เจ้าหน้าที่ทดสอบต้องเข้าใจหลักการใช้ สเกลบอกปริมาตร วิธีการเปลี่ยนปริมาตร และเลือกใช้ disposable tip ให้เหมาะสมก่อนใช้แต่ละบริษัทจะผลิต tip แตกต่างกันเฉพาะรุ่น



รูปที่ 5 volumetric pipet Class A, measuring pipet Class A และ serological pipet Class A
ปิเปตอัตโนมัติและ Tip (จากซ้ายไปขวา)

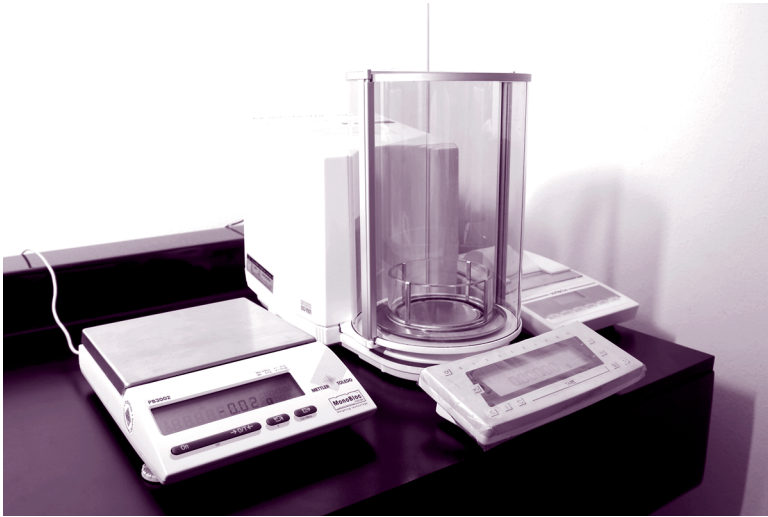
5. เครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ

5.1 เครื่องชั่ง (Balances)

เครื่องชั่งนับเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการทั่วไป ปัจจุบันมีเครื่องชั่งหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลายแบบ ซึ่งมีผู้ผลิตออกมาจำหน่ายมากมาย เครื่องชั่งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภท จึงควรเลือกใช้ให้ถูกต้อง เจ้าหน้าที่ทดสอบควรทราบวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการใช้เครื่องชั่ง เป็นต้นว่าควรรู้ว่า จะชั่งอะไร น้ำหนักที่ชั่งไม่เกินเท่าไร และที่สำคัญที่สุดจะต้องทราบว่า หากมีความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่งเกิดขึ้น ยอมให้เครื่องชั่งคลาดเคลื่อนได้มากที่สุดเท่าไร

ถ้าจะแบ่งเครื่องชั่งตามการทำงานแล้ว อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ Mechanical balance และ Electrical balance เครื่องชั่งชนิด Mechanical balance เป็นเครื่องชั่งที่มีตุ้มน้ำหนักเพื่อปรับให้แขนเครื่องชั่งอยู่ในสมดุล ได้แก่ Equal-arm balance และ Triple-beam balance ปัจจุบันใช้น้อย ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องชั่งชนิด Electrical balance ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในห้องปฏิบัติการ คือ

1. Toploading balance เป็นเครื่องชั่งชนิดหยาบ ชั่งน้ำหนักได้ละเอียด 0.1 กรัม (น้ำหนักมากที่สุด 4,000 กรัม) หรือ 0.01 กรัม (น้ำหนักมากที่สุด 300 กรัม)
2. Analytical balance เป็นเครื่องชั่งชนิดละเอียด พัฒนามาจาก Toploading balance โดยมีตู้ (draft shield) ครอบจานชั่งน้ำหนัก มีความไวมากกว่า Toploading balance สามารถชั่งน้ำหนักได้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม (น้ำหนักมากที่สุด 200 กรัม) หรือ 0.01 มิลลิกรัม (น้ำหนักมากที่สุด 40 กรัม) ดังนั้น เครื่องชั่งชนิดนี้ต้องระวังการสั่นสะเทือน และไม่ควรปรับชิ้นส่วนของเครื่องชั่ง



รูปที่ 6 Toploading balance และ Analytical balance

โดยทั่วไป มีวิธีการใช้เครื่องชั่ง ดังนี้

1. ตรวจสอบว่าลูกน้ำ (bubble) ใน bull's-eye level indicator อยู่ตรงกลาง เพื่อให้เครื่องชั่งตั้งได้ระดับ
2. แน่ใจว่าเปิดสวิตช์เครื่องแล้ว
3. กด tare น้ำหนักจานเปล่าให้อ่านน้ำหนักเป็นศูนย์
4. เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1 ขนาด วางลงบนจานชั่งโดยใช้คีบคีบ ชั่งน้ำหนักอ่านค่าที่คงที่ และจดน้ำหนักลงในสมุดบันทึกการตรวจสอบเครื่องชั่งประจำวัน ถ้าน้ำหนักอยู่ภายในค่า tolerance ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน จึงใช้เครื่องชั่งได้

5. วางภาชนะบรรจุ (เปล่า) บนตรงกลางของจานชั่ง และอ่านเมื่อค่าคงที่ กด tare bar เพื่อให้อ่านน้ำหนักเป็นศูนย์
6. เติมสารลงในภาชนะบรรจุอย่างระมัดระวัง
 - ถ้าเป็นของแข็ง ควรใช้ spatula ที่สะอาด ขนาดเหมาะสม
 - ถ้าเป็นของเหลวที่ไม่ระเหย ควรใช้ pasture pipet แต่เอาภาชนะออกจากจานชั่งก่อน เติมสารและชั่งน้ำหนักของสารรวมกับน้ำหนักภาชนะ ทำซ้ำจนกระทั่งได้น้ำหนักที่ต้องการ
7. รอให้การอ่านน้ำหนักคงที่ และบันทึกน้ำหนัก
8. ถ้าสารเคมีเกินน้ำหนักที่ต้องการ ให้เอาสารออกอย่างระมัดระวัง เอาภาชนะออกจากจานชั่ง และเอาสารของแข็งออกด้วย spatula หรือเอาของเหลวออกด้วย pasture pipet และชั่งน้ำหนักใหม่
9. ถ้าหากสารที่ชั่งหกเปื้อนบริเวณจานหรือเครื่องชั่งจะต้องทำความสะอาดทันที โดยใช้แปรงขนนุ่มทำความสะอาด

5.2 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

pH ย่อมาจาก Positive Potential of the Hydrogen Ions เป็นการวัดปริมาณของ H^+ (ไฮโดรเจนไอออน) ในสารละลาย

การวัด pH คือการวัดสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous solution) วิธีการวัดทำได้หลายวิธี คือใช้กระดาษ pH ใช้เทียบสีกับสารมาตรฐานที่ทราบค่า pH และใช้เครื่องวัดคือ pH meter ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลการวัดที่น่าเชื่อถือและถูกต้องมากกว่าวิธีอื่น pH meter ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. อิเล็กโทรด ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายที่ pH 7 (Standard pH Buffer) ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองคือ

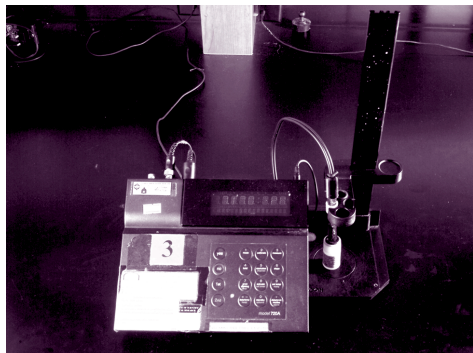
อิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตรวจวัด จะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์มิลลิโวลท์ (0 mV) ถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นหรือลดลง ความต่างศักย์ก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายนั้น โดยมีอิเล็กโทรดเป็นตัวทำหน้าที่รับสัญญาณ

2. ตัวเครื่อง pH Meter ก็คือ Potentiometer ทำหน้าที่

2.1 ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเล็กโทรดอ้างอิง ให้มีความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่

2.2 แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์ของไอออนของอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า

2.3 ขยายสัญญาณค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้แสดงผลที่มิเตอร์แบบเข็ม หรือตัวเลข



รูปที่ 7 เครื่องวัดพีเอช

อิเล็กโทรดปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น Combination pH Electrode ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งาน โดยรวมส่วนของ Reference electrode และ Glass electrode มาอยู่ด้วยกัน

Glass electrode หรือ อิเล็กโทรดตรวจวัด ทำด้วยแก้วชนิดพิเศษที่ยอมให้เฉพาะไฮโดรเจนไอออนผ่าน ส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะ ภายในบรรจุ buffer เอาไว้แต่มีบางประเภทเป็นรูปอื่น เช่น รูปเข็ม ทุกชนิดจะเหมือนกันตรงบริเวณที่ไฮโดรเจนไอออนผ่านผิวแก้วจะบางมาก ส่วน Reference electrode ทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเดินครบวงจร โดย KCl ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็น salt bridge เชื่อม glass electrode

การใช้เครื่องวัด pH มีความแตกต่างกันระหว่างหลายบริษัทและมีหลายรุ่นสามารถปฏิบัติตามคู่มือวิธีการใช้ของเครื่องนั้น อย่างไรก็ตามในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการใช้เครื่องวัด pH โดยทั่วไป ดังนี้

1. กวนสารละลายที่ต้องการวัดให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนการวัด วิธีที่ดีที่สุดคือใช้ magnetic stirrer ตั้งสารละลายทิ้งไว้นานเพียงพอที่จะให้เกิดการสมดุลที่อุณหภูมิห้อง
2. บันทึกอุณหภูมิของสารละลายทุกครั้ง การวัดค่า pH รวมทั้งการทำ pH calibration ที่อุณหภูมิเดียวกันจะทำให้ค่า pH ที่วัดได้มีความถูกต้อง
3. ตั้ง Temperature compensator บนเครื่องวัด เพื่อชดเชยอุณหภูมิ กรณีเครื่องมือแบบง่าย จะไม่มี temperature compensator ดังนั้น ควรวัดที่อุณหภูมิ 20° หรือ 25° เซลเซียส มิฉะนั้นจะให้ค่าการวัดไม่ถูกต้อง
4. ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น และซับน้ำให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู ตรวจสอบว่า glass electrode แตก หรือมีสิ่งเจือปนเปื้อนหรือไม่
5. ปรับเทียบเครื่องมือ ตั้งเครื่องมิเตอร์ไปที่โหมด “pH” จุ่มอิเล็กโทรดลงในสารมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่รู้ค่า pH ปกติคือ pH 7.00 ควบคุมการปรับเทียบให้อ่านค่าได้ถูกต้อง
6. เอาอิเล็กโทรดออกจากสารมาตรฐานบัฟเฟอร์และล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่น กรณีเครื่องมือแบบง่ายมีการปรับเทียบเพียงค่าเดียว เรียกว่า Single point standardization ซึ่งสารมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่ใช้ปรับเทียบ ควรใกล้เคียงกับค่า pH ของตัวอย่าง ถ้าไม่ใกล้เคียงจะทำให้ผลที่อ่านได้มีความผิดพลาดสูง โดยปกติค่า pH ของตัวอย่างที่นำมาวัด

ควรอยู่ในช่วงค่าสารมาตรฐานบัฟเฟอร์ ± 1.5 pH กรณีเครื่องมืออย่างละเอียด จะมีการปรับเทียบสารมาตรฐานบัฟเฟอร์ 2 ค่า (pH 4 - 7 หรือ pH 7 - 10) เรียกว่า Two point standardization เมื่อเครื่องปรับเทียบที่ pH 7.00 แล้ว จุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายมาตรฐานตัวที่ 2 (pH 4 หรือ pH 10) ที่อุณหภูมิเดียวกันกับสารมาตรฐานแรก ปรับตัวควบคุม slope จนกระทั่งได้ค่าจริงของสารมาตรฐานที่ 2 ปกติเครื่องจะแสดง % slope ให้ทราบ ซึ่งควรอยู่ในช่วง 80 - 120%

ในการปรับเทียบแบบ 2 จุด จะไม่ครอบคลุมช่วง pH ในการใช้งาน ถ้าหากปรับเทียบด้วยสารมาตรฐานบัฟเฟอร์ pH 4 - 7 ผู้ใช้จะสามารถวัดตัวอย่างที่มีอยู่ในช่วง pH ที่เป็นกรด ถ้าต้องการวัดตัวอย่างที่มี pH ที่เป็นด่าง ค่าที่อ่านได้จะมีความผิดพลาด ดังนั้นต้องปรับเทียบใหม่อีกครั้งด้วยสารมาตรฐานบัฟเฟอร์ pH 7 - 10

7. เมื่อปรับเทียบเครื่องแล้ว ให้วัดค่า pH ของตัวอย่าง ล้างอิเล็กโทรดระหว่างการวัดแต่ละครั้ง จุ่มอิเล็กโทรดลงในตัวอย่างให้นานพอที่อ่านค่า pH ได้คงที่

8. หลังจากเลิกใช้อิเล็กโทรดแล้ว อย่าปล่อยให้อิเล็กโทรดแห้ง เก็บ pH electrode ไว้ในสารละลาย KCl ในบีกเกอร์ หรือโดยใช้ electrode cap ที่เติมด้วยสารละลาย 1.0 โมลาร์ KCl (pH 7.00)

9. เปลี่ยนสวิตช์ meter ไปที่ศูนย์ แต่อย่าปิดกระแสไฟ เครื่องวัด pH จะอ่านค่าได้คงที่ ถ้าเปิดเครื่องไว้

5.3 เครื่องวัดความนำไฟฟ้า

ความนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของอิออนที่มีอยู่ในน้ำ และอุณหภูมิที่ทำการวัดน้ำที่มีอิออนของสารต่างๆ อยู่ ค่าความนำไฟฟ้าเป็นค่ารวมของอิออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามี การเพิ่มหรือลดของอิออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น โดยทั่วไปในน้ำบริสุทธิ์จะยอมให้กระแสไฟฟ้า

ไหลผ่านน้อยมาก เรียกว่ามีความนำไฟฟ้าต่ำ หรือมีความต้านทานสูง หากมีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น ค่าความนำไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้น หรือมีสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง ค่าความนำไฟฟ้าลดลง ตารางที่ 15 แสดงค่าโดยทั่วไปของความนำไฟฟ้า

ตารางที่ 15 ค่าทั่วไปของความนำไฟฟ้า	
ตัวอย่างวัตถุที่อุณหภูมิ 25 °เซลเซียส	ค่าความนำไฟฟ้า ($\mu\text{S/cm}$)
น้ำบริสุทธิ์ยิ่งยวด	0.055
น้ำดื่ม	50
น้ำทะเล	53,000
5% NaOH	223,000
50% NaOH	150,000
10% HCl	700,000
32% HCl	700,000

หน่วยวัดค่าความนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็น mho ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทาน (Resistance, R) เป็น ohms ดังนั้น $1/\text{ohm} = 1 \text{ mho} = 1 \text{ Simen (S)} = 1,000 \text{ mS} = 1,000,000 \mu\text{S}$

ค่าความนำไฟฟ้า (K) หาได้โดยคูณค่า observed conductance ของสารละลายที่อ่านได้ด้วยค่า cell constant, C

Cell constant คืออัตราส่วนของระยะทางระหว่างอิเล็กโทรด (d) ต่อพื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรด (A) แต่มีผลกระทบของสนามรอบๆ พื้นที่อิเล็กโทรดด้วยปริมาณ AR ดังนั้น $C=d/(A+AR)$ ซึ่งไม่สามารถหาผลกระทบนี้เพื่อคำนวณ cell constant ได้ ดังนั้น

หาค่า cell constant ของ specific cell โดยเปรียบเทียบการวัดสารละลายมาตรฐานที่
รู้ค่าความนำไฟฟ้า

ถ้าอ่าน observed conductance ได้ 200 μS และค่า cell constant = 0.1/cm
ดังนั้น $K = 200 \mu\text{S} \times 0.1/\text{cm} = 20 \mu\text{S}/\text{cm}$

เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้าประกอบด้วย

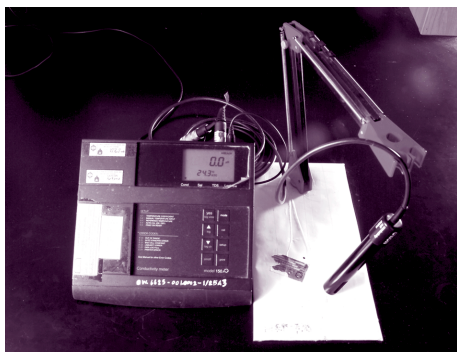
1. เครื่องวัดความนำไฟฟ้าที่ประกอบขึ้นเอง โดยใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วย
แหล่งของกระแสสลับ เช่น conductivity cell หรือเครื่องมืออื่นๆ ที่เป็นสัดส่วนกับ
กระแสสลับที่ผ่าน cell กับความต่างศักย์ที่ตรงข้าม

2. เครื่องวัดอุณหภูมิ สามารถอ่านได้ใกล้ 0.1 °เซลเซียส และอ่านได้ในช่วง
23 - 27 °เซลเซียส ควรเลือกวัดอุณหภูมิชนิดไฟฟ้า เนื่องจากมี Thermistor sensing
ขนาดเล็กทำให้อ่านค่าได้รวดเร็ว

3. Conductivity cell มี 2 ชนิด คือ

3.1 Platinum-electrode type : conductivity cell ชนิดนี้มีทั้งแบบปิเปต
หรือแบบจุ่ม การเลือกขึ้นอยู่กับช่วง conductivity ที่ต้องการวัด และช่วง resistance
ของเครื่องมือเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมืออยู่ในสภาพที่ดีพร้อมที่จะใช้ ควรทำการตรวจ
ช่วงนี้ โดยการเปรียบเทียบผลที่วัดได้จากเครื่องมือกับค่า conductance จริงๆ ของ
สารละลาย KCl

3.2 Nonplatinum-electrode type : conductivity cell ชนิดนี้ประกอบด้วย
อิเล็กโทรดซึ่งทำจากโลหะธรรมดาที่มีความทนทาน เช่น เหล็กไร้สนิม มักใช้แพร่หลาย
สำหรับการวัดที่ต่อเนื่องและในภาคสนาม



รูปที่ 8 เครื่องวัดความนำไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติจะต้องทำการปรับเทียบ (calibrate) conductivity cell ก่อนที่จะใช้วัดตัวอย่างเพื่อหาค่า cell constant โดยวัดค่าความต้านทาน (R) ของสารมาตรฐานปกติใช้ 0.01 โมลาร์ KCl ซึ่งมีค่า specific conductance 1413 $\mu\text{mhos/cm}$ ที่ 25° เซลเซียส

คำนวณ cell constant จากสูตร

$$C = K_{\text{KCl}} \times R_{\text{KCl}} = 1413 \times R_{\text{KCl}} \text{ ที่ } 25^{\circ} \text{เซลเซียส}$$

จากนี้หาค่าความนำไฟฟ้าของตัวอย่างโดยวัดค่าความต้านทานใน cell แล้วแทนค่าในสูตร ค่าความนำไฟฟ้า, $K = C/R$ เนื่องจาก ค่าความนำไฟฟ้าขึ้นกับอุณหภูมิ ดังนั้นควรทำการวัดค่าความนำไฟฟ้าของสารมาตรฐานและตัวอย่างที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่เนื่องจากค่าความนำไฟฟ้ามักรายงานผลที่ 25° เซลเซียส ดังนั้นในการเปลี่ยนค่าความนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่ทำการวัดที่อุณหภูมิต่างกันในช่วง 0 - 30° เซลเซียส มาเป็นที่ 25° เซลเซียส ต้องหาแฟคเตอร์มาคูณ ซึ่งได้จากการใช้ 0.01 โมลาร์ KCl เป็นหลัก เช่น ถ้าที่อุณหภูมิ 30° เซลเซียส ก็ใช้ 0.90 คูณ หรือที่ 20° เซลเซียส ก็ใช้ 1.10 คูณ เป็นต้น ปัจจุบันเครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้าจะมีวิธีการปรับค่า cell constant และการชดเชยอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข “คู่มือการตรวจวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ” โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2539
2. บริษัท ซายน์เทค จำกัด “คู่มือการใช้และรายละเอียด pH Meter & Ion selective (I.S.E.) Meter, 2546
3. สุขสม แจ็งสว่าง “หลักการวัดค่า pH และข้อควรคำนึงถึงในการใช้และบำรุงรักษา pH electrode” บริษัทวอเตอร์เทสท์ จำกัด, 2542
4. สำนักพัฒนาศกยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารเคมี” เอกสารการฝึกอบรม ระหว่างวันที่ 2 - 3 มีนาคม 2547
5. John R Dean, Alan M Jones, David Holmes, Rob Reed, Jonathan Weyers and Allan Jones, “Fundamental Laboratory Technique in Practical Skills in Chemistry”, Pearson Education Limited, 2002
6. Orion Research, Inc. “Instruction Manual Advanced Conductivity Meters” USA, 2000
7. Roy-Keith Smith, Ph.D. “Water and Wastewater Laboratory Techniques” Water Environment Federation, Printed in the USA, 1995
8. The American Society for Testing and Materials International “ASTM D1193-99 : Standard Specification for Reagent Water” United States
9. The American Society for Testing and Materials International “ASTM E438-92 (Reapproved 1996) : Standard Specification for Glass in Laboratory Apparatus” United States

คณะทำงาน

ที่ปรึกษา

นายอนุพันธ์ อธิฐรัตน์ ผู้อำนวยการฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ

ผู้เรียบเรียง

นางสาวพรรนิภา ธีระจินดาชล

บรรณาธิการ

นายวิเทศ ศรีเนตร

นางสาวดารารัตน์ รื่นรมย์สุข

นางสาววัลภา จุฬารัตน

นางสาวศิวาพร แผ่นทอง

นายมนุชชัย ตั้งวาย

ผู้ช่วยเบ็ดเตล็ด

นายสมคิด ปิ่นทอง

นางสาวมณีรัตน์ อุ่ณจิตต์วรจรณะ



กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

92 ซอยพหลโยธิน 7 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม. 10400

โทร. 0 2298 2000 โทรสาร 0 2298 2002

<http://www.pcd.go.th>