



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๕

ISBN 978-616-576-358-5

จำนวน ๑๓๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ ตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วก็สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง ความปลอดภัย และทักษะในปฏิบัติการเคมี อะตอมและสมบัติของธาตุ และพันธะเคมี ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญและเพียงพอสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณะอาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เกียรติสุสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อ AR ที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนและสามารถเชื่อมต่อไปยังเว็บไซต์รายการสื่อเพิ่มเติมได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนจะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนมีดังนี้

 คำถามสำคัญ คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว	 จุดประสงค์การเรียนรู้ เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ
 ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหา นั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท	 ชวนคิด คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา
 ตรวจสอบความเข้าใจ คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง	 แบบฝึกหัด คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยเสริมให้เกิดทักษะและความรู้ในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

 กิจกรรม การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลองการสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง	 ตัวอย่าง การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น
 กิจกรรมเสนอแนะ การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้	 ความรู้เพิ่มเติม ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล
 รู้หรือไม่ ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน	 ศัพท์น่ารู้ ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติม และสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน
 สื่อ AR (Augmented Reality) สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย์ ม.ปลาย"	 สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด
 แบบฝึกหัดท้ายบท คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้	

สารบัญ

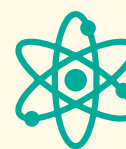
1



ความปลอดภัย และทักษะ ในปฏิบัติการเคมี

บทที่ 1	ความปลอดภัยและทักษะในปฏิบัติการเคมี	1
	1.1 ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมี	5
	1.2 อุบัติเหตุจากสารเคมี	14
	1.3 การวัดปริมาณสาร	16
	1.4 หน่วยวัด	31
	1.5 วิธีการทางวิทยาศาสตร์	35
	แบบฝึกหัดท้ายบท	40

2

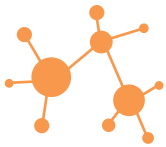


อะตอม และสมบัติของธาตุ

บทที่ 2	อะตอมและสมบัติของธาตุ	44
	2.1 แบบจำลองอะตอม	48
	2.2 อนุภาคในอะตอมและไอโซโทป	66
	2.3 การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม	71
	2.4 ตารางธาตุและสมบัติของธาตุหมู่หลัก	79
	2.5 ธาตุแทรนซิชัน	95
	2.6 ธาตุกัมมันตรังสี	102
	2.7 การนำธาตุไปใช้ประโยชน์และผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต	119
	แบบฝึกหัดท้ายบท	128

สารบัญ

3



พันธะเคมี

ภาคผนวก

บทที่ 3	พันธะเคมี	132
3.1	สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสและกฎออกเตต	135
3.2	พันธะไอออนิก	136
3.3	พันธะโคเวเลนต์	163
3.4	พันธะโลหะ	197
3.5	การใช้ประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ	199
	แบบฝึกหัดท้ายบท	202

ขั้นตอนการใช้งานอุปกรณ์วัดปริมาณสาร	207
คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 1	210
ชื่อธาตุ	216
บรรณานุกรม	219
ที่มาของรูป	221
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	222

| ความปลอดภัยและทักษะในปฏิบัติการเคมี



ipst.me/7649

1



เครื่องแก้วที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการสำหรับการเรียนระดับมัธยมศึกษา
เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปกรวย กระบอกตวง



คำถามสำคัญ

1. การทำปฏิบัติการเคมีให้เกิดความปลอดภัยต้องคำนึงถึงเรื่องใดบ้าง
2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการมีอะไรบ้าง เพราะเหตุใดจึงต้องเลือกและใช้ให้เหมาะสม
3. เพราะเหตุใดการรายงานการวัดปริมาณจึงต้องมีหน่วยกำกับ และคำนึงถึงเลขนัยสำคัญ



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุความเป็นอันตรายของสารเคมีจากสัญลักษณ์และข้อมูลบนฉลากสารเคมี
2. อธิบายข้อปฏิบัติเบื้องต้นและการปฏิบัติตนที่แสดงถึงความระมัดระวังในการทำปฏิบัติการเคมี เพื่อให้มีความปลอดภัยทั้งต่อตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
3. เลือกและใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการทำปฏิบัติการ และวัดปริมาณต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม
4. อ่านค่าปริมาณจากการวัดโดยแสดงเลขนัยสำคัญที่ถูกต้อง
5. ระบุหน่วยวัดปริมาณต่าง ๆ ของสาร
6. เปลี่ยนหน่วยวัดให้เป็นหน่วยในระบบเอสไอด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย
7. นำเสนอแผนการทดลอง ทดลอง และเขียนรายงานการทดลอง

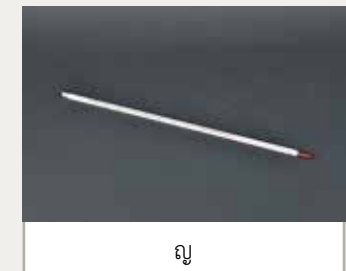
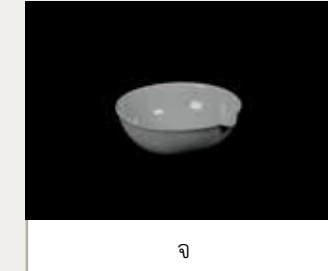
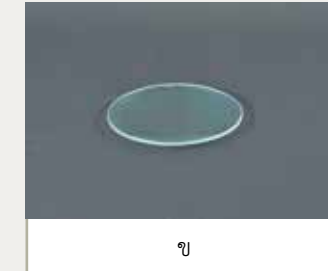


ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

- 1.1 ถ้านักเรียนทำขบวนการตรวจสอบสารเคมีตกแตกและสารเคมีหกเปื้อนโต๊ะ นักเรียนต้องกันเพื่อน ๆ ออกจากบริเวณนั้น และแจ้งอาจารย์ผู้ดูแลการทดลอง
- 1.2 วิธีจุดตะเกียงแอลกอฮอล์ทำโดยการเอียงตะเกียงต่อไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์อื่น
- 1.3 สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรดจะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากแดงเป็นน้ำเงิน
- 1.4 ควรสวมถุงมือ และใช้ผ้าปิดปาก ปิดจมูก เมื่อต้องใช้สารเคมีที่มีสัญลักษณ์ความเป็นอันตรายรูปหัวกะโหลกไขว้
- 1.5 หลอดหยดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทสารปริมาณน้อย ๆ
- 1.6 การตวงปริมาตรน้ำ สามารถใช้ถ้วยตวงของเหลวสำหรับทำขนมแทนการตวงด้วยปิเกตอร์ได้

2. จับคู่รูปอุปกรณ์กับชื่อให้ถูกต้อง



- 2.1 ปิเกตอร์
- 2.2 กระบอกตวง
- 2.3 เทอร์มอมิเตอร์
- 2.4 กรวยกรอง
- 2.5 หลอดทดลอง

- 2.6 บิวเรตต์
- 2.7 ปีเปตต์
- 2.8 กระจกนาฬิกา
- 2.9 ถ้วยกระเบื้อง

3. จากรูปต่อไปนี้ อุปกรณ์ใดใช้ในการวัดปริมาตรสาร



ก



ข



ค



ง



จ



ฉ



ช



ซ



ญ

การทดลองถือเป็นหัวใจของการศึกษาค้นคว้าทางเคมีที่สามารถนำไปสู่การค้นพบและความรู้ใหม่ทางเคมี นอกจากนี้การปฏิบัติการทดลองยังสามารถช่วยให้นักเรียนเกิดความรู้และความเข้าใจในบทเรียนได้ดียิ่งขึ้น การทดลองทางเคมีสำหรับนักเรียนนิยมทำในห้องปฏิบัติการ โดยมีข้อควรปฏิบัติและควรหลีกเลี่ยงที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการ การจัดการเกี่ยวกับอุบัติเหตุจากสารเคมี ความเที่ยงความแม่นยำ หน่วยวัด และวิธีการทางวิทยาศาสตร์

การทำปฏิบัติการเคมีได้อย่างปลอดภัยจะต้องคำนึงถึงเรื่องใดบ้าง

1.1 ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมี

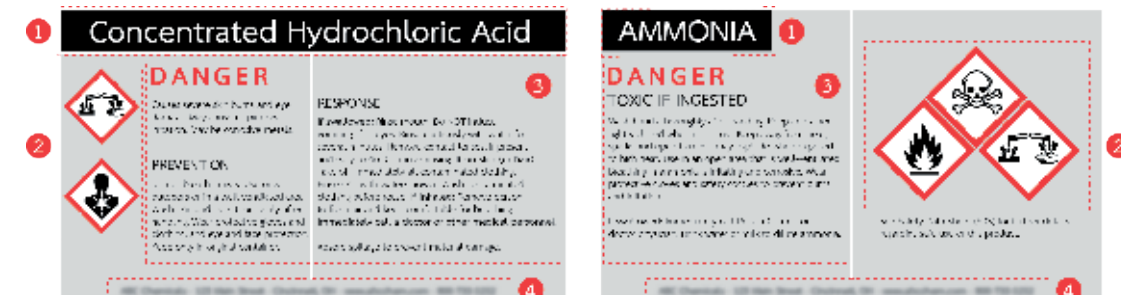
การทำปฏิบัติการเคมีส่วนใหญ่ต้องมีความเกี่ยวข้องกับสารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งผู้ทำปฏิบัติการต้องตระหนักถึงความปลอดภัยของตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม โดยผู้ทำปฏิบัติการควรทราบเกี่ยวกับประเภทของสารเคมีที่ใช้ ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมี และการกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้วหลังเสร็จสิ้นปฏิบัติการ เพื่อให้สามารถทำปฏิบัติการเคมีได้อย่างปลอดภัย

1.1.1 ประเภทของสารเคมี

สารเคมีมีหลายประเภท แต่ละประเภทมีสมบัติแตกต่างกัน สารเคมีจึงจำเป็นต้องมีฉลากที่มีข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นอันตรายของสารเคมีเพื่อความปลอดภัยในการจัดเก็บ การนำไปใช้ และการกำจัด โดยฉลากของสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการควรมีข้อมูล ดังนี้

1. ชื่อผลิตภัณฑ์
2. รูปสัญลักษณ์ แสดงความเป็นอันตรายของสารเคมี
3. คำเตือน ข้อมูลความเป็นอันตราย และข้อควรระวัง
4. ข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตสารเคมี

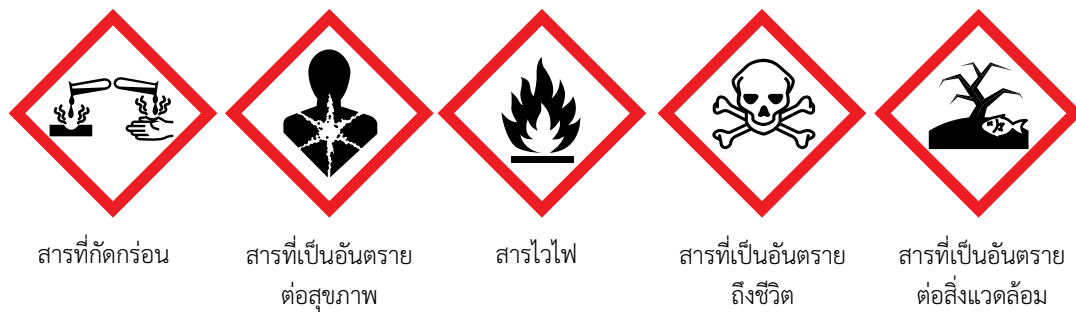
ตัวอย่างของฉลาก แสดงดังรูป 1.1



รูป 1.1 ตัวอย่างฉลากของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย

บนฉลากบรรจุภัณฑ์มีสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายที่สื่อความหมายได้ชัดเจนเพื่อให้ผู้ใช้สังเกตได้ง่าย สัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายมีหลายระบบ ในที่นี้จะกล่าวถึง 2 ระบบ ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้สากล และ National Fire Protection Association Hazard Identification System (NFPA) เป็นระบบที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งสัญลักษณ์ทั้งสองระบบนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปบนบรรจุภัณฑ์สารเคมี

ในระบบ GHS จะแสดงสัญลักษณ์ในสี่เหลี่ยมกรอบสีแดง พื้นสีขาว ลักษณะดังรูป 1.2



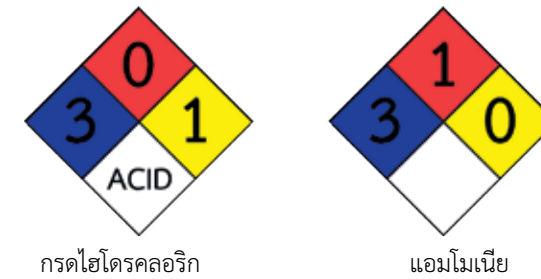
รูป 1.2 ตัวอย่างสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายในระบบ GHS



ตรวจสอบความเข้าใจ

จากฉลากของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย สารเคมีทั้งสองมีอันตรายตามระบบ GHS อย่างไรบ้าง

สำหรับสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายในระบบ NFPA จะใช้สีแทนความเป็นอันตรายในด้านต่าง ๆ ได้แก่ สีแดงแทนความไวไฟ สีน้ำเงินแทนความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ สีเหลืองแทนความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใส่ตัวเลข 0 ถึง 4 เพื่อระบุระดับความเป็นอันตรายจากน้อยไปหามาก และช่องสีขาวใช้ใส่อักษรหรือสัญลักษณ์ที่แสดงสมบัติที่เป็นอันตรายด้านอื่น ๆ ดังตัวอย่างในรูป 1.3



รูป 1.3 สัญลักษณ์ความเป็นอันตรายในระบบ NFPA ของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย



ตรวจสอบความเข้าใจ

จากสัญลักษณ์ความเป็นอันตรายในระบบ NFPA ของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย สารเคมีใดเป็นอันตรายมากกว่ากันในด้านความไวไฟ ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี



กิจกรรมเสนอแนะ

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลฉลากสารเคมีในห้องปฏิบัติการของโรงเรียน จากนั้นอภิปรายร่วมกันว่าเหมือนหรือแตกต่างจากฉลากในระบบ GHS และ NFPA หรือไม่ อย่างไร

นอกจากฉลากและสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายต่าง ๆ ที่ปรากฏบนบรรจุภัณฑ์ของสารเคมีแล้ว สารเคมีทุกชนิดยังต้องมีเอกสารความปลอดภัย (safety data sheet, SDS) ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารเคมีอย่างละเอียด เช่น สมบัติและองค์ประกอบของสารเคมี ความเป็นอันตราย การปฐมพยาบาลเบื้องต้น



กิจกรรมเสนอแนะ

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเอกสารความปลอดภัยของสารเคมีแล้วระบุข้อมูลเบื้องต้น เช่น การป้องกันตนเอง (personal protection) การปฐมพยาบาล (first aid measures)

1.1.2 ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมี

การทำปฏิบัติการเคมีให้เกิดความปลอดภัยนอกจากต้องทราบข้อมูลของสารเคมีที่ใช้แล้ว ผู้ทำปฏิบัติการควรทราบเกี่ยวกับการปฏิบัติตนเบื้องต้นทั้งก่อน ระหว่าง และหลังทำปฏิบัติการ ดังต่อไปนี้

ก่อนทำปฏิบัติการ

- 1) ศึกษาขั้นตอนหรือวิธีการทำปฏิบัติการให้เข้าใจ วางแผนการทดลอง หากมีข้อสงสัยต้องสอบถามครูผู้สอนก่อนที่จะทำการทดลอง
- 2) ศึกษาข้อมูลของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง เทคนิคการใช้เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนวิธีการทดลองที่ถูกต้องและปลอดภัย
- 3) แต่งกายให้เหมาะสม เช่น สวมกางเกงหรือกระโปรงยาว สวมรองเท้าหุ้มส้นเตี้ย คนที่มีผมยาวควรรวบผมให้เรียบร้อย หลีกเลี่ยงการสวมใส่เครื่องประดับและคอนแทคเลนส์

ขณะทำปฏิบัติการ

1) ข้อปฏิบัติโดยทั่วไป

1.1 สวมแว่นตานิรภัย สวมเสื้อคลุมปฏิบัติการที่ติดกระดุมทุกเม็ด ควรสวมถุงมือเมื่อต้องใช้สารกัดกร่อนหรือสารที่มีอันตราย ควรสวมผ้าปิดปากเมื่อต้องใช้สารเคมีที่มีไอระเหย และทำปฏิบัติการในที่ซึ่งมีอากาศถ่ายเทหรือในตู้ดูดควัน ดังรูป 1.4



รูป 1.4 การแต่งกายเพื่อทำปฏิบัติการที่ใช้สารกัดกร่อน สารที่มีอันตราย หรือสารที่มีไอระเหย

1.2 ห้ามรับประทานอาหารและเครื่องดื่ม หรือทำกิจกรรมอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำปฏิบัติการ

1.3 ไม่ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการตามลำพังเพียงคนเดียว เพราะเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น จะไม่มีใครทราบและไม่อาจช่วยได้ทันเวลาที่ หากเกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ ต้องแจ้งให้ครูผู้สอนทราบทันทีทุกครั้ง

1.4 ไม่เล่นและไม่รบกวนผู้อื่นในขณะที่ทำปฏิบัติการ

1.5 ปฏิบัติตามขั้นตอนและวิธีการอย่างเคร่งครัด ไม่ทำการทดลองใด ๆ ที่นอกเหนือจากที่ได้รับมอบหมาย และไม่เคลื่อนย้ายสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ส่วนกลางที่ต้องใช้ร่วมกัน นอกจากได้รับอนุญาตจากครูผู้สอนเท่านั้น

1.6 ไม่ปล่อยให้อุปกรณ์ให้ความร้อน เช่น ตะเกียงแอลกอฮอล์ เตาแผ่นให้ความร้อน (hot plate) ทำงานโดยไม่มีคนดูแล และหลังจากใช้งานเสร็จแล้วให้ดับตะเกียงแอลกอฮอล์หรือปิดเครื่องและถอดปลั๊กไฟออกทันที แล้วปล่อยให้เย็นก่อนการจัดเก็บ เมื่อใช้เตาแผ่นให้ความร้อนต้องระวังไม่ให้สายไฟขาดบนอุปกรณ์

2) ข้อปฏิบัติในการใช้สารเคมี

2.1 อ่านชื่อสารเคมีบนฉลากให้แน่ใจก่อนนำสารเคมีไปใช้

2.2 การเคลื่อนย้าย การแบ่ง และการถ่ายเทสารเคมีต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอันตราย และควรใช้อุปกรณ์ เช่น ข้อนตักสารและปิเปตที่แห้งและสะอาด การเทของเหลวจากขวดบรรจุสารให้เทด้านตรงข้ามฉลาก เพื่อป้องกันความเสียหายของฉลากเนื่องจากการสัมผัสสารเคมี

2.3 การทำปฏิกิริยาของสารในหลอดทดลอง ต้องหันปากหลอดทดลองออกจากตัวเอง และผู้อื่นเสมอ

2.4 ห้ามชิมหรือสูดดมสารเคมีโดยตรง ถ้าจำเป็นต้องทดสอบกลิ่นให้ใช้มือโบกให้ไอของสารเข้าจมูกเพียงเล็กน้อย

2.5 การเจือจางกรด ห้ามเทน้ำลงกรดแต่ให้เทกรดลงน้ำ เพื่อให้ปริมาณมากช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการละลาย

2.6 ไม่เทสารเคมีที่เหลือจากการเทหรือตักออกจากขวดสารเคมีแล้วกลับเข้าขวดอย่างเด็ดขาด ให้เทใส่ภาชนะทิ้งสารที่จัดเตรียมไว้

2.7 เมื่อสารเคมีหกในปริมาณเล็กน้อยให้กวาดหรือเช็ด แล้วทิ้งลงในภาชนะสำหรับทิ้งสารที่เตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ หากหกในปริมาณมากให้แจ้งครูผู้สอน

หลังทำปฏิบัติการ

1) ทำความสะอาดอุปกรณ์ เครื่องแก้ว และวางหรือเก็บในบริเวณที่จัดเตรียมไว้ให้ รวมทั้งทำความสะอาดโต๊ะทำปฏิบัติการ

2) ก่อนออกจากห้องปฏิบัติการให้ถอดอุปกรณ์ป้องกันอันตราย เช่น เสื้อคลุมปฏิบัติการ แว่นตานิรภัย ถุงมือ

1.1.3 การกำจัดสารเคมี

สารเคมีที่ใช้แล้วหรือเหลือใช้จากการทำปฏิบัติการเคมี จำเป็นต้องมีการกำจัดอย่างถูกวิธี เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

การกำจัดสารเคมีแต่ละประเภท สามารถปฏิบัติได้ดังนี้

- 1) สารเคมีที่เป็นของเหลวไม่อันตรายที่ละลายน้ำได้และมี pH เป็นกลาง ปริมาณไม่เกิน 1 ลิตร สามารถเทลงอ่างน้ำและเปิดน้ำตามมาก ๆ ได้
- 2) สารละลายเข้มข้นบางชนิด เช่น กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่ควรทิ้งลงอ่างน้ำ หรือท่อระบายน้ำที่ ควรเจือจางก่อนเทลงอ่างน้ำ ถ้ามีปริมาณมากต้องทำให้เป็นกลางก่อน
- 3) สารเคมีที่เป็นของแข็งไม่อันตราย ปริมาณไม่เกิน 1 กิโลกรัม สามารถใส่ในภาชนะที่ปิดมิดชิด พร้อมทั้งติดฉลากชื่อให้ชัดเจน ก่อนทิ้งในที่ซึ่งจัดเตรียมไว้
- 4) สารไวไฟ ตัวทำละลายที่ไม่ละลายน้ำ สารประกอบของโลหะเป็นพิษ หรือสารที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ห้ามทิ้งลงอ่างน้ำ ให้ทิ้งไว้ในภาชนะที่ทางห้องปฏิบัติการจัดเตรียมไว้ให้



ในการทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ออกแบบการทดลองที่ไม่ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นอันตราย เลือกใช้สารเคมีและปฏิกิริยาเคมีที่ปลอดภัยและมีความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน ใช้อุปกรณ์ทดแทนสำหรับทำปฏิบัติการแบบย่อยส่วน เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีและพลังงาน อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้อีกด้วย



แบบฝึกหัด 1.1

1. พิจารณาข้อมูลบนฉลากของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และวงกลมเพื่อระบุส่วนที่แสดงข้อมูลต่อไปนี้
 1. ชื่อผลิตภัณฑ์
 2. รูปสัญลักษณ์ แสดงความเป็นอันตรายของสารเคมี
 3. คำเตือน ข้อมูลความเป็นอันตราย และข้อควรระวัง

Sodium hydroxide, solid



DANGER

Causes severe skin burns and eye damage.

PREVENTION

Do not breathe dust. Wash skin and eyes thoroughly after handling. Wear protective gloves and clothing, and eye and face protection.

RESPONSE

If swallowed: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting.
If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
If in skin (or hair): Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower. Wash contaminated clothing before reuse.
If inhaled: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing.
Immediately call a doctor or other medical personnel.

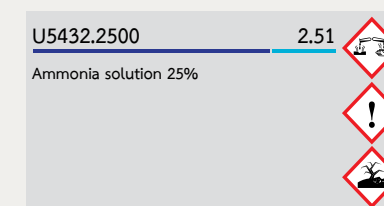
STORAGE

Store locked up. Keep container tightly closed.

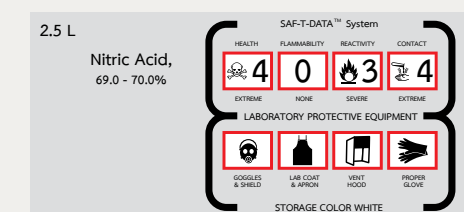
DISPOSAL

Dispose of contents to an EPA permitted facility.

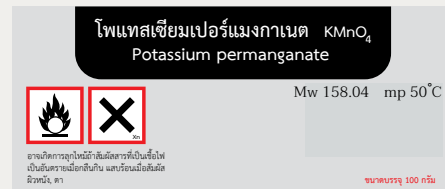
2. พิจารณาตัวอย่างฉลากสารเคมีต่อไปนี้



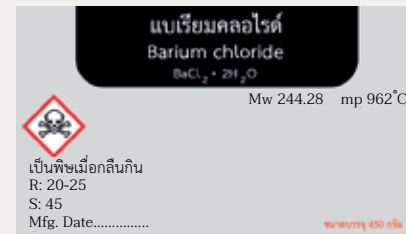
แอมโมเนีย



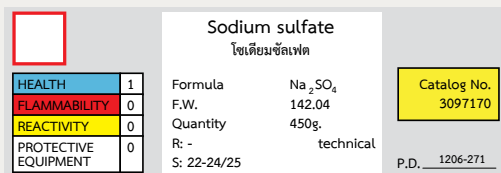
กรดไนตริก



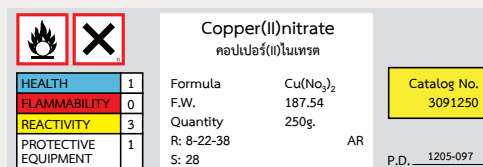
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต



แบเรียมคลอไรด์



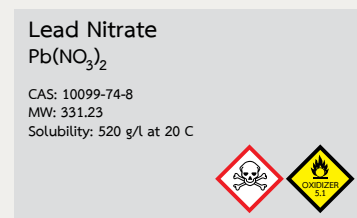
โซเดียมซัลเฟต



คอปเปอร์(II)ไนเตรต



โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



เลด(II)ไนเตรต

- 2.1 สารเคมีใดไม่ควรวางใกล้เปลวไฟ
- 2.2 สารเคมีใดเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- 2.3 สารเคมีใดมีฤทธิ์กัดกร่อนผิวหนัง
- 2.4 เมื่อสัมผัสกับโซเดียมซัลเฟต ควรปฏิบัติอย่างไร
- 2.5 สารละลายเลด(II)ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) เข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร ที่เหลือจากการทดลอง 5 มิลลิลิตร ควรทิ้งอย่างไร

3. จากรูปผู้ทำปฏิบัติการควรปรับปรุงสิ่งใดบ้าง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี



1.2 อุบัติเหตุจากสารเคมี

ในการทำปฏิบัติการเคมีอาจเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ จากการใช้สารเคมีได้ ซึ่งหากผู้ทำปฏิบัติการมีความรู้ในการปฐมพยาบาลเบื้องต้นจะสามารถลดความรุนแรงและความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ โดยการปฐมพยาบาลเบื้องต้นจากอุบัติเหตุจากการใช้สารเคมี มีข้อปฏิบัติดังนี้

การปฐมพยาบาลเมื่อร่างกายสัมผัสสารเคมี

1. ถอดเสื้อผ้าบริเวณที่เปื้อนสารเคมีออก และขับสารเคมีออกจากร่างกายให้มากที่สุด
2. กรณีเป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดหรือเบส ให้ล้างบริเวณที่สัมผัสสารเคมีด้วยการเปิดน้ำไหลผ่านปริมาณมาก
3. กรณีเป็นสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำ ให้ล้างบริเวณที่สัมผัสสารเคมีด้วยน้ำสบู่
4. หากทราบว่าสารเคมีที่สัมผัสร่างกายคือสารใด ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี

**กรณีที่ร่างกายสัมผัสสารเคมีในปริมาณมากหรือมีความเข้มข้นสูง
ให้ปฐมพยาบาลเบื้องต้นแล้วนำส่งแพทย์**

การปฐมพยาบาลเมื่อสารเคมีเข้าตา

ตะแคงศีรษะโดยให้ตาข้างที่สัมผัสสารเคมีอยู่ด้านล่าง ล้างตาโดยการเปิดน้ำเบา ๆ ไหลผ่านตังจมูกให้น้ำไหลผ่านตาข้างที่โดนสารเคมี ดังรูป 1.5 พยายามลืมตาและกรอกตาในน้ำอย่างน้อย 10 นาที หรือจนกว่าแน่ใจว่าชะล้างสารออกหมดแล้ว ระวังไม่ให้น้ำเข้าตาอีกข้างหนึ่ง แล้วนำส่งแพทย์ทันที



รูป 1.5 การปฐมพยาบาลเมื่อสารเคมีเข้าตา

การปฐมพยาบาลเมื่อสูดดมแก๊สพิษ

1. เมื่อมีแก๊สพิษเกิดขึ้น ต้องรีบออกจากบริเวณนั้นและไปบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกทันที
2. หากมีผู้ที่สูดดมแก๊สพิษจนหมดสติหรือไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ ต้องรีบเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณนั้นทันที โดยที่ผู้ช่วยเหลือต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม เช่น หน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ผ้าปิดปาก
3. ปลดเสื้อผ้าเพื่อให้ผู้ประสบอุบัติเหตุหายใจได้สะดวกขึ้น หากหมดสติให้จับนอนคว่ำและตะแคงหน้าไปด้านใดด้านหนึ่ง เพื่อป้องกันโคลนลื่นกีดขวางทางเดินหายใจ
4. สังเกตการเต้นของหัวใจและการหายใจ หากหัวใจหยุดเต้นและหยุดหายใจให้นวดหัวใจและผายปอดโดยผู้ที่ผ่านการฝึก แต่ไม่ควรใช้วิธีเป่าปาก (mouth to mouth) แล้วนำส่งแพทย์ทันที

การปฐมพยาบาลเมื่อโดนความร้อน

ใช้น้ำเย็นหรือปิดแผลด้วยผ้าชุบน้ำจนหายปวดแสบปวดร้อน แล้วทายาซีฟิงสำหรับไฟไหม้และน้ำร้อนลวก หากเกิดบาดแผลใหญ่ให้นำส่งแพทย์

**กรณีที่สารเคมีเข้าปากให้ปฏิบัติตามคำแนะนำตามเอกสารความปลอดภัย
แล้วนำส่งแพทย์ทุกกรณี**



แบบฝึกหัด 1.2

1. ให้นักเรียนระบุวิธีปฐมพยาบาลเบื้องต้นที่เหมาะสม เมื่อเกิดอุบัติเหตุต่อไปนี้ในห้องปฏิบัติการ
 - 1.1 สารละลายกรดกระเด็นถูกผิวหนัง
 - 1.2 สัมผัสกับเม็ดยาเคมีไฮดรอกไซด์
 - 1.3 ไอน้ำร้อนจากอ่างน้ำร้อนสัมผัสร่างกาย
 - 1.4 เศษแก้วจากหลอดทดลองที่แตกบาดมือ
 - 1.5 เมื่อใช้มือสัมผัสโต๊ะในห้องปฏิบัติการ แล้วเกิดอาการแสบร้อน

2. สืบค้นข้อมูล safety data sheet ของ 1-naphthyl methylcarbamate ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลงในกลุ่มคาร์บาเมต (carbaryl insecticide) ที่นำมาใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อตอบคำถามต่อไปนี้

2.1 วิธีเก็บรักษา

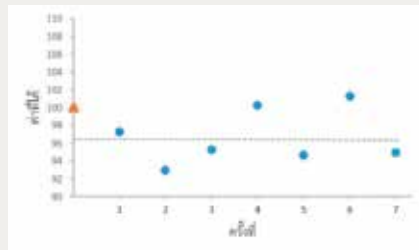
2.2 วิธีปฐมพยาบาล เมื่อสัมผัสผิวหนัง

1.3 การวัดปริมาณสาร

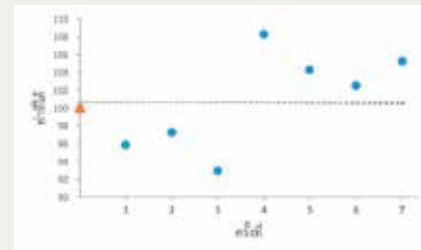
ในปฏิบัติการเคมีจำเป็นต้องมีการชั่ง ตวง และวัดปริมาณสาร ซึ่งการชั่ง ตวง วัด มีความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ หรือผู้ทำปฏิบัติการ ที่จะส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าจริง

ความน่าเชื่อถือของข้อมูล สามารถพิจารณาได้จาก 2 ส่วนด้วยกัน คือ **ความเที่ยง** (precision) และ **ความแม่นยำ** (accuracy) ของข้อมูล โดยความเที่ยง คือ ความใกล้เคียงกันของค่าที่ได้จากการวัดซ้ำ ส่วนความแม่นยำ คือ ความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ยจากการวัดซ้ำเทียบกับค่าจริง ดังแสดงในรูป 1.6

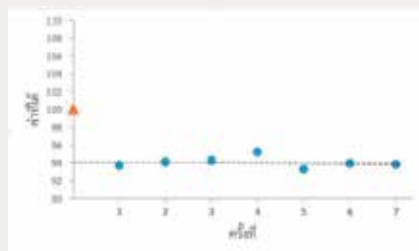
ก) ความเที่ยงและความแม่นยำต่ำ



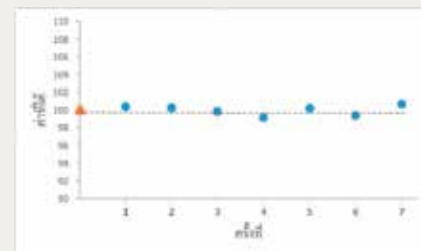
ข) ความเที่ยงต่ำ ความแม่นยำสูง



ค) ความเที่ยงสูง ความแม่นยำต่ำ



ง) ความเที่ยงและความแม่นยำสูง



▲ ค่าจริง ● ค่าที่ได้จากการวัด ----- ค่าเฉลี่ย

รูป 1.6 ความแตกต่างของความเที่ยงและความแม่นยำ

จากรูป 1.6 จะเห็นว่า ก) ข้อมูลมีการกระจายตัวมากและมีค่าเฉลี่ยที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าจริง ส่วน ข) ข้อมูลมีการกระจายตัวมากถึงแม้ว่าอาจให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าจริง ก็จัดเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือน้อย รวมทั้ง ค) ข้อมูลมีการกระจายตัวน้อยแต่มีค่าเฉลี่ยไม่ใกล้เคียงกับค่าจริง จึงยังถือว่าเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือน้อยเช่นกัน สำหรับ ง) ข้อมูลมีการกระจายตัวน้อยและมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าจริง จึงเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

ความเที่ยงและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ที่ทำการวัดและความละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ อุปกรณ์การวัดที่ใช้โดยทั่วไปในปฏิบัติการเคมี ได้แก่ อุปกรณ์วัดปริมาตร และอุปกรณ์วัดมวล ซึ่งมีระดับความละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการใช้ที่แตกต่างกัน

การแบ่งกลุ่มอุปกรณ์วัดปริมาตร ได้แก่ ปีกเกอร์ ขวดรูปกรวย กระบอกตวง ปีเปตต์ บิวเรตต์ และขวดกำหนดปริมาตร โดยใช้ความแม่นยำเป็นเกณฑ์ จะสามารถแบ่งกลุ่มได้อย่างไร

1.3.1 อุปกรณ์วัดปริมาตร

อุปกรณ์วัดปริมาตรสารเคมีที่เป็นของเหลวที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีขีดและตัวเลขแสดงปริมาตรที่ได้รับการตรวจสอบมาตรฐานและกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ บางชนิดมีความคลาดเคลื่อนน้อย บางชนิดมีความคลาดเคลื่อนมาก ในการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับปริมาตรและระดับความแม่นยำที่ต้องการ อุปกรณ์วัดปริมาตรบางชนิดที่นักเรียนได้ใช้งานในการทำปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมา เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปกรวย กระบอกตวง เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถบอกปริมาตรได้แม่นยำมากพอสำหรับการทดลองในบางปฏิบัติการ

ปีกเกอร์

ปีกเกอร์ (beaker) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกปากกว้าง มีขีดบอกปริมาตรในระดับมิลลิลิตร มีหลายขนาด ดังรูป 1.7

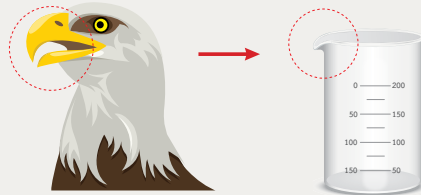


รูป 1.7 ปีกเกอร์



รู้หรือไม่

ปีกเกอร์ มาจากคำว่า beak แปลว่า จะงอยปากนก เนื่องจากที่บริเวณขอบปีกเกอร์มีลักษณะคล้ายจะงอยปากของนก



ขวดรูปกรวย

ขวดรูปกรวย (erlenmeyer flask) มีลักษณะคล้ายผลขมพู มีขีดบอกปริมาตรในระดับมิลลิลิตร มีหลายขนาด ดังรูป 1.8



รูป 1.8 ขวดรูปกรวย

กระบอกตวง

กระบอกตวง (measuring cylinder) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีขีดบอกปริมาตรในระดับมิลลิลิตร มีหลายขนาด ดังรูป 1.9



รูป 1.9 กระบอกตวง

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดปริมาตรของของเหลวได้แม่นยำกว่าอุปกรณ์ข้างต้น โดยมีทั้งที่เป็นการวัดปริมาตรของของเหลวที่บรรจุอยู่ภายใน และการวัดปริมาตรของของเหลวที่ถ่ายเท เช่น ปิเปตต์ บิวเรตต์ ขวดกำหนดปริมาตร

ปิเปตต์

ปิเปตต์ (pipette) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งใช้สำหรับถ่ายเทของเหลว ปิเปตต์ที่ใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบปริมาตรซึ่งมีกระเปาะตรงกลาง มีขีดบอกปริมาตรเพียงค่าเดียว และแบบใช้ตวง มีขีดบอกปริมาตรหลายค่า ดังรูป 1.10 (ขั้นตอนการใช้งานปิเปตต์สามารถดูได้ที่ ภาคผนวก)



รูป 1.10 ปิเปตต์แบบต่าง ๆ



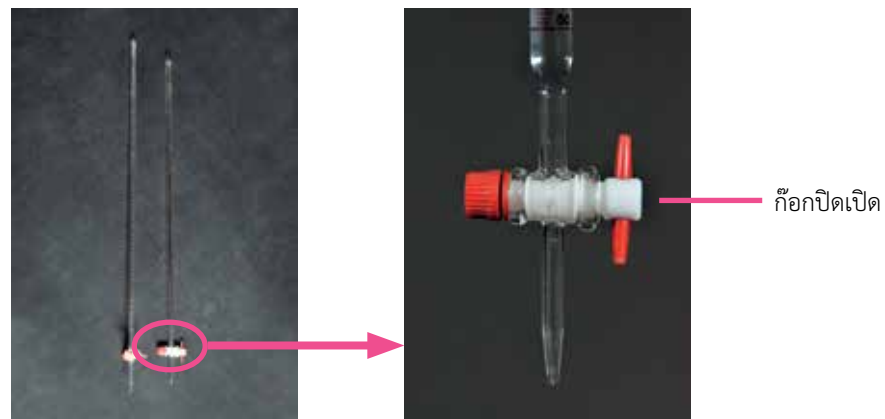
ตรวจสอบความเข้าใจ

ในห้องปฏิบัติการมีปิเปตต์แบบใช้ตวงขนาด 5 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร และมีปิเปตต์แบบปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร และ 25 มิลลิลิตร หากต้องการของเหลวปริมาตรต่อไปนี้ ต้องเลือกปิเปตต์แบบใดและขนาดปริมาตรใด

1. 2.50 มิลลิลิตร
2. 5.00 มิลลิลิตร
3. 25.00 มิลลิลิตร

บิวเรตต์

บิวเรตต์ (burette) เป็นอุปกรณ์สำหรับถ่ายเทของเหลวในปริมาตรต่าง ๆ ตามต้องการ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาวที่มีขีดบอกปริมาตร และมีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของของเหลวที่เรียกว่า ก๊อก ปิดเปิด (stop cock) ดังรูป 1.11 (ขั้นตอนการใช้งานบิวเรตต์สามารถดูได้ที่ภาคผนวก)



รูป 1.11 บิวเรตต์

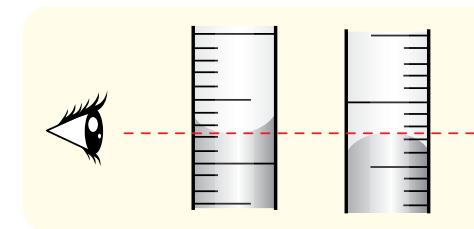
ขวดกำหนดปริมาตร

ขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาตรของของเหลวที่บรรจุภายใน ใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอน มีขีดบอกปริมาตรเพียงขีดเดียว มีจุกปิดสนิท ขวดกำหนดปริมาตรมีหลายขนาด ดังแสดงในรูป 1.12 (ขั้นตอนการใช้ขวดกำหนดปริมาตร สามารถดูได้ที่ภาคผนวก)



รูป 1.12 ขวดกำหนดปริมาตรขนาดต่าง ๆ

การใช้อุปกรณ์วัดปริมาตรเหล่านี้ให้ได้ค่าที่น่าเชื่อถือจะต้องมีการอ่านปริมาตรของของเหลวให้ถูกวิธี โดยต้องให้สายตาอยู่ระดับเดียวกับระดับส่วนโค้งของของเหลว โดยถ้าส่วนโค้งของของเหลวมีลักษณะเว้า ให้อ่านปริมาตรที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้งนั้น แต่ถ้าส่วนโค้งของของเหลวมีลักษณะนูน ให้อ่านปริมาตรที่จุดสูงสุดของส่วนโค้งนั้น แสดงดังรูป 1.13 การอ่านค่าปริมาตรของของเหลวให้อ่านตามขีดบอกปริมาตรและประมาณค่าทศนิยมตำแหน่งสุดท้าย



รูป 1.13 การอ่านปริมาตรของของเหลว



ตรวจสอบความเข้าใจ

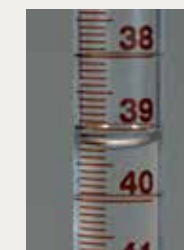
1. จากรูป ปริมาตรของของเหลวในกระบอกตวงมีค่าเท่าใด



2. ปริมาตรเริ่มต้นและปริมาตรสุดท้ายจากการถ่ายเทของเหลวด้วยบิวเรตต์ เป็นดังรูปของเหลวที่ถ่ายเทได้มีปริมาตรเท่าใด



ปริมาตรเริ่มต้น



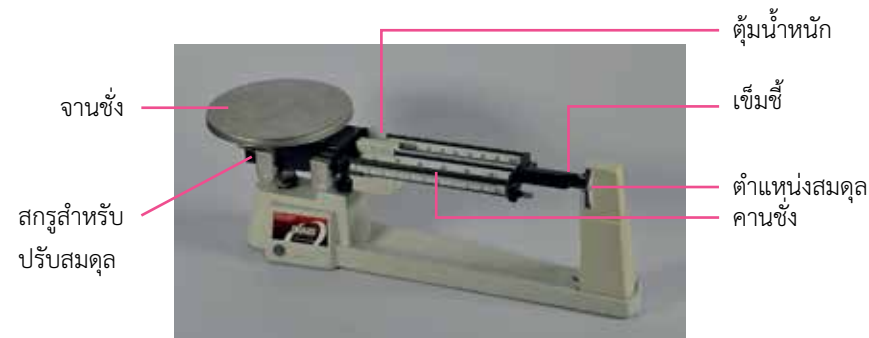
ปริมาตรสุดท้าย

อุปกรณ์วัดปริมาตรบางชนิด เช่น ปิเปตต์แบบปริมาตร ขวดกำหนดปริมาตร มีขีดบอกปริมาตรเพียงขีดเดียว อุปกรณ์ประเภทนี้ออกแบบมาเพื่อให้ใช้ในการถ่ายเทหรือบรรจุของเหลวที่มีปริมาตรเพียงค่าเดียวตามที่ระบุบนอุปกรณ์ ดังนั้นผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องพยายามปรับระดับของเหลวให้ตรงกับขีดบอกปริมาตร

การบันทึกค่าปริมาตรให้บันทึกตามขนาดและความละเอียดของอุปกรณ์ เช่น ปิเปตต์มีความละเอียดของค่าปริมาตรถึงทศนิยมตำแหน่งที่สอง ดังนั้นปริมาตรของเหลวที่ได้จากการใช้ปิเปตต์ขนาด 10 มิลลิลิตร บันทึกค่าปริมาตรเป็น 10.00 มิลลิลิตร

1.3.2 อุปกรณ์วัดมวล

เครื่องชั่ง เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดมวลของสารทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว ความน่าเชื่อถือของค่ามวลที่วัดได้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องชั่งและวิธีการใช้เครื่องชั่ง เครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ เครื่องชั่งแบบสามคาน (triple beam) และเครื่องชั่งไฟฟ้า (electronic balance) ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ดังรูป 1.14



ก. เครื่องชั่งแบบสามคาน



ข. เครื่องชั่งไฟฟ้า

รูป 1.14 ส่วนประกอบของเครื่องชั่งแบบสามคานและเครื่องชั่งไฟฟ้า

ปัจจุบันเครื่องชั่งไฟฟ้าได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายสะดวกและหาซื้อได้ง่าย ตัวเลขทศนิยมตำแหน่งสุดท้ายซึ่งเป็นค่าประมาณของเครื่องชั่งแบบสามคานมาจากการประมาณของผู้ชั่ง ขณะที่ทศนิยมตำแหน่งสุดท้ายของเครื่องชั่งไฟฟ้ามาจากการประมาณของอุปกรณ์ (ขั้นตอนการใช้งานเครื่องชั่งไฟฟ้า สามารถดูได้ที่ภาคผนวก)



กิจกรรม 1.1 การทดลองวัดปริมาตรโดยใช้อุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ และการวัดมวลโดยใช้เครื่องชั่ง

จุดประสงค์การทดลอง

1. ฝึกใช้เครื่องชั่งและเครื่องแก้ววัดปริมาตรบางชนิด
2. เปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรของกระบอกตวงและปิเปตต์

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. น้ำ
2. เทอร์มอมิเตอร์
3. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL
4. ปีกเกอร์ขนาด 250 mL
5. ปิเปตต์ขนาด 25 mL
6. กระบอกตวงขนาด 25 mL
7. เครื่องชั่ง

วิธีทดลอง

1. เทน้ำกลั่นปริมาตร 200 mL ลงในปีกเกอร์ขนาด 250 mL วัดอุณหภูมิของน้ำ บันทึกผล
2. ชั่งมวลของปีกเกอร์ขนาด 100 mL บันทึกผล
3. หามวลของน้ำ 25 mL 3 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 ปิเปตต์น้ำ 25 mL ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 mL ชั่งมวลรวมของน้ำและปีกเกอร์ บันทึกผล และคำนวณมวลของน้ำ 25 mL บันทึกผล

ครั้งที่ 2 ปิเปตต์น้ำ 25 mL ลงในปีกเกอร์เดิม ชั่งมวลรวมของน้ำ 50 mL และปีกเกอร์ บันทึกผล และคำนวณมวลของน้ำ 25 mL ที่เติมครั้งที่ 2 บันทึกผล

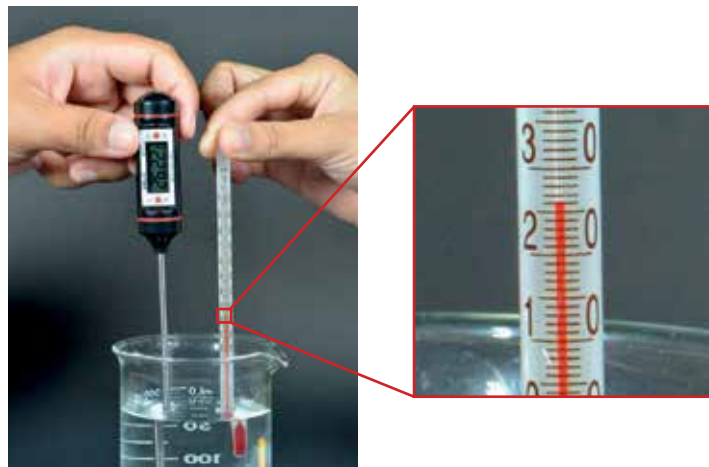
ครั้งที่ 3 ปิเปตต์น้ำ 25 mL ลงในปีกเกอร์เดิม ชั่งมวลรวมของน้ำ 75 mL และปีกเกอร์ บันทึกผล และคำนวณมวลของน้ำ 25 mL ที่เติมครั้งที่ 3 บันทึกผล

4. คำนวณค่ามวลเฉลี่ยของน้ำที่ได้จากการปิเปตต์ 3 ครั้ง บันทึกผล
5. นำค่ามวลเฉลี่ยของน้ำในข้อ 4 มาคำนวณปริมาตรของน้ำด้วยสูตร $d = \frac{m}{V}$
เมื่อ d เป็นความหนาแน่นของน้ำ (g/mL) m เป็นมวลของน้ำ (g) และ V เป็นปริมาตรของน้ำ (mL)
6. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1–5 โดยเปลี่ยนปิเปตต์เป็นกระบอกตวงขนาด 25 mL
7. นำค่าปริมาตรของน้ำที่คำนวณได้จากการใช้ปิเปตต์และกระบอกตวง มาเปรียบเทียบความแม่นยำของการวัดจากการใช้อุปกรณ์ต่างชนิดกัน

1.3.3 เลขนัยสำคัญ

ค่าที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์การวัดต่าง ๆ ประกอบด้วยตัวเลขและหน่วย โดยค่าตัวเลขที่วัดได้จากอุปกรณ์แต่ละชนิดอาจมีความละเอียดไม่เท่ากัน ซึ่งการบันทึกและรายงานค่าการอ่านต้องแสดงจำนวนหลักของตัวเลขที่สอดคล้องกับความละเอียดของอุปกรณ์

จากรูป 1.15 อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ทั้งสอง มีค่าเท่าใด



รูป 1.15 การวัดอุณหภูมิ

จากรูป 1.15 อุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์แบบดิจิตอลอ่านได้เท่ากับ 26.22 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์ตำแหน่งของของเหลวอยู่ที่ขีดบอกอุณหภูมิ 26 ซึ่งการบันทึกและรายงานค่าต้องมีการประมาณค่าในตำแหน่งสุดท้ายด้วยเพื่อให้สอดคล้องกับความละเอียดของอุปกรณ์ ดังนั้นอาจบันทึกอุณหภูมิที่ได้เป็น 26.0 องศาเซลเซียส โดยตัวเลขทุกตัวถือว่ามีความสำคัญ และจำนวนหลักของตัวเลขทั้งหมด เรียกว่า **เลขนัยสำคัญ** (significant figure) ดังนั้นค่าที่ได้จากการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มอมิเตอร์แบบดิจิตอลและเทอร์มอมิเตอร์มีเลขนัยสำคัญ 4 และ 3 ตัว ตามลำดับ

การนับเลขนัยสำคัญ

การนับเลขนัยสำคัญของข้อมูลมีหลักการ ดังนี้

1. ตัวเลขที่ไม่มีเลขศูนย์ทั้งหมดนับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

1.23 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

2. เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างตัวเลขอื่น นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

6.02 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

72.05 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

3. เลขศูนย์ที่อยู่หน้าตัวเลขอื่น ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

0.25 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

0.025 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

4. เลขศูนย์ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นที่อยู่หลังทศนิยม นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

0.250 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

0.0250 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

5. เลขศูนย์ที่อยู่หลังเลขอื่นที่ไม่มีทศนิยม อาจนับหรือไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญก็ได้¹ เช่น

100 อาจมีเลขนัยสำคัญเป็น 1 2 หรือ 3 ตัวก็ได้

เนื่องจากเลขศูนย์ในบางกรณีอาจมีค่าเป็นศูนย์จริง ๆ จากการวัด หรือเป็นตัวเลขที่ใช้แสดงให้เห็นว่าค่าดังกล่าวอยู่ในหลักร้อย

6. ตัวเลขที่แม่นยำตรง (exact number) เป็นตัวเลขที่ทราบค่าแน่นอนมีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์ เช่น

ค่าคงที่ เช่น $\pi = 3.142...$ มีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์

ค่าจากการนับ เช่น ปิเปตต์ 3 ครั้ง เลข 3 ถือว่ามีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์

ค่าจากการเทียบหน่วย เช่น 1 วัน มี 24 ชั่วโมง ทั้งเลข 1 และ 24 ถือว่ามีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์

¹Chang, R. (2010). *Chemistry* (10th ed). New York: the McGraw-Hill.

7. ข้อมูลที่มีค่าน้อย ๆ หรือมาก ๆ ให้เขียนในรูปของสัญกรณ์วิทยาศาสตร์² โดยตัวเลขสัมประสิทธิ์ทุกตัวนับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

6.02×10^{23} มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

1.660×10^{-24} มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

ค่าตัวเลข 100 ในตัวอย่างข้อ 5 สามารถเขียนในรูปของสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ แล้วแสดงเลขนัยสำคัญได้อย่างชัดเจน เช่น

1×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

1.0×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

1.00×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

การนำค่าตัวเลขที่ได้จากการวัดมาคำนวณจะต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์ โดยการคำนวณส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับตัวเลขที่ได้จากอุปกรณ์ที่แตกต่างกันทั้งหน่วยและความละเอียด ดังนั้นต้องมีการตัดตัวเลขในผลลัพธ์ด้วยการปัดเศษ ดังต่อไปนี้

การปัดตัวเลข

การปัดตัวเลข (rounding the number) พิจารณาจากตัวเลขที่อยู่ถัดจากตำแหน่งที่ต้องการดังนี้

1. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าน้อยกว่า 5 ให้ตัดตัวเลขที่อยู่ถัดไปทั้งหมด เช่น

5.7432 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 5.7

ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ปัดเป็น 5.74

2. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่ามากกว่า 5 ให้เพิ่มค่าของตัวเลขตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการอีก 1 เช่น

3.7892 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 3.8

ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ปัดเป็น 3.79

3. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 5 และมีตัวเลขอื่นที่ไม่ใช่ 0 ต่อจากเลข 5 ให้เพิ่มค่าของตัวเลขตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการอีก 1 เช่น

2.1652 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ปัดเป็น 2.17

กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 5 และมี 0 ต่อจากเลข 5 ให้พิจารณาโดยใช้หลักการในข้อ 4

²สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ (scientific notation) คือ การเขียนตัวเลขในรูปของสัมประสิทธิ์ (A) คูณกับเลขยกกำลังฐานสิบ (10^n) มีรูปแบบเป็น $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกหรือลบ

4. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 5 และไม่มีเลขอื่นต่อจากเลข 5 ต้องพิจารณาตัวเลขที่อยู่หน้าเลข 5 ดังนี้

4.1 หากตัวเลขที่อยู่หน้าเลข 5 เป็นเลขคี่ให้ตัวเลขดังกล่าวบวกค่าเพิ่มอีก 1 แล้วตัดตัวเลขตั้งแต่เลข 5 ไปทั้งหมด เช่น 0.635 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 0.64

4.2 หากตัวเลขที่อยู่หน้าเลข 5 เป็นเลขคู่ให้ตัวเลขดังกล่าวเป็นตัวเลขเดิม แล้วตัดตัวเลขตั้งแต่เลข 5 ไปทั้งหมด เช่น 0.645 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 0.64

สำหรับการคำนวณหลายขั้นตอน การปัดตัวเลขของผลลัพธ์ให้ทำในขั้นตอนสุดท้ายของการคำนวณ

การบวกและการลบ

ในการบวกและลบ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีจำนวนตัวเลขที่อยู่หลังจุดทศนิยมเท่ากับข้อมูลที่มีจำนวนตัวเลขที่อยู่หลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด ดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 1

$1.2 + 3.45 + 6.789$ มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $1.2 + 3.45 + 6.789 = 11.439$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 11.4 ซึ่งมีตัวเลขหลังจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตามจำนวนที่มีเลขหลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด คือ 1.2



ตัวอย่าง 2

$31.5 - 12.35 + 27.27$ มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $31.5 - 12.35 + 27.27 = 46.42$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 46.4 ซึ่งมีตัวเลขหลังจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตามจำนวนที่มีเลขหลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด คือ 31.5



ตรวจสอบความเข้าใจ

ช่วงมวลของสารได้ 76.98 และ 34.9 กรัม ตามลำดับ ผลรวมของมวลสารเป็นเท่าใด

การคูณและการหาร

ในการคูณและการหาร ผลลัพธ์ที่ได้จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับข้อมูลที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด ดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 3

2.279×6.51 มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $2.279 \times 6.51 = 14.83629$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 14.8 ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ตามจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดคือ 6.51



ตัวอย่าง 4

$7.44 \times 4.3 \div 2.48$ มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $7.44 \times 4.3 \div 2.48 = 12.9$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 13 ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ตามจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดคือ 4.3



ตรวจสอบความเข้าใจ

ปรอทปริมาตร 20.00 มิลลิลิตร จะมีมวลเท่าใด เมื่อปรอทมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.36 กรัมต่อมิลลิลิตร

การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับตัวเลขที่แม่นยำ

การคำนวณไม่ต้องพิจารณาเลขนัยสำคัญของตัวเลขที่แม่นยำ ดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 5

ใช้น้ำปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้มวลเป็น 10.01 9.98 และ 10.02 กรัม มวลเฉลี่ยของน้ำเป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{มวลเฉลี่ยของน้ำ} &= \frac{10.01 \text{ g} + 9.98 \text{ g} + 10.02 \text{ g}}{3} \\ &= 10.0033 \text{ g} \end{aligned}$$

ในขั้นแรกเป็นการหาผลรวม ผลลัพธ์ที่ได้จะมีตัวเลขหลังจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทำให้มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว เมื่อหารด้วย 3 ซึ่งเป็นตัวเลขที่แม่นยำที่ไม่นำมาพิจารณาเลขนัยสำคัญ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการหารต้องปัดเศษเป็น 10.00 กรัม ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

ดังนั้น มวลเฉลี่ยของน้ำ เท่ากับ 10.00 กรัม



ตรวจสอบความเข้าใจ

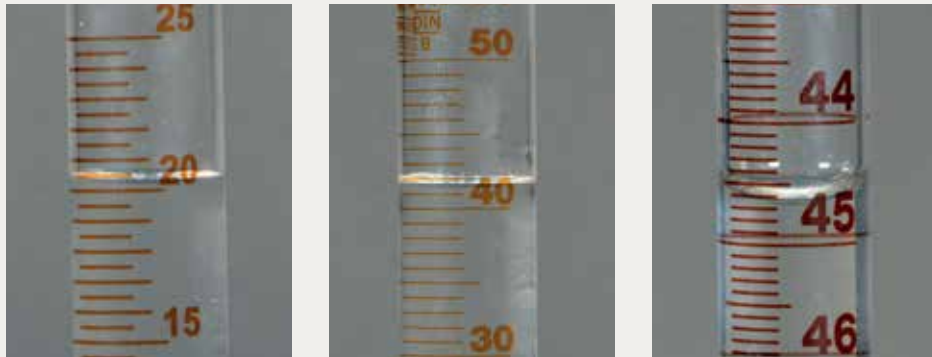
ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม 1.1 แล้วตอบคำถามต่อไปนี้

1. ปริมาตรของน้ำจากการปิเปตต์และการใช้กระบอกตวง ควรบันทึกด้วย เลขนัยสำคัญกี่ตัว
2. มวลของน้ำที่ชั่งด้วยเครื่องชั่ง ควรบันทึกด้วยเลขนัยสำคัญกี่ตัว
3. ความหนาแน่นของน้ำที่คำนวณได้ ควรบันทึกด้วยเลขนัยสำคัญกี่ตัว
4. การบันทึกผลและการคำนวณของนักเรียน สอดคล้องกับหลักการเกี่ยวกับเลขนัยสำคัญ หรือไม่ หากไม่สอดคล้องให้แก้ไขให้ถูกต้อง

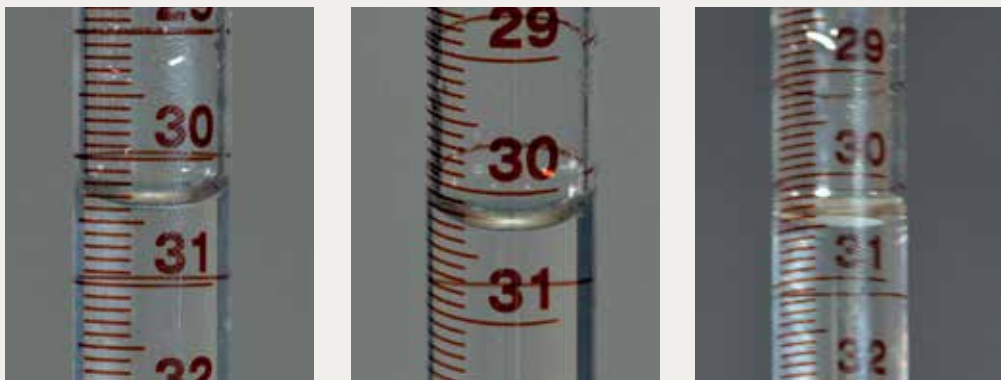


แบบฝึกหัด 1.3

1. อ่านปริมาตรของของเหลว จากรูปต่อไปนี้



2. อ่านค่าปริมาตรของของเหลวในบิวเรตต์ที่มีปริมาตรเท่ากันในมุมมองที่แตกต่างกันได้เท่าใด และค่าที่อ่านได้ในแต่ละข้อถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด



3. วิธีการในแต่ละข้อต่อไปนี้ สามารถวัดปริมาตรน้ำที่ต้องการได้แม่นยำหรือไม่ เพราะเหตุใด

3.1 ตวงน้ำโดยใช้กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ครั้งละ 100.00 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และ 50.00 มิลลิลิตร 1 ครั้ง จะได้น้ำปริมาตร 250.00 มิลลิลิตร

3.2 ไขน้ำจากบิวเรตต์ที่บรรจุน้ำเริ่มต้นที่ขีดบอกปริมาตรเลข 0 มาถึงขีดบอกปริมาตร เลข 20 จะได้น้ำปริมาตร 20.00 มิลลิลิตร

3.3 เติมน้ำลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับให้พอดีกับขีดบอกปริมาตร เมื่อเทน้ำออกใส่ปิกรเกอร์จะได้น้ำปริมาตร 100.00 มิลลิลิตรพอดี

1.4 หน่วยวัด

การระบุหน่วยของการวัดปริมาณต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นความยาว มวล อุณหภูมิ อาจแตกต่างกันในแต่ละประเทศ เช่น การระบุน้ำหนักเป็นกิโลกรัม ปอนด์ หรือ การระบุส่วนสูงเป็น เซนติเมตร ฟุต ซึ่งทำให้ไม่สะดวกในการเปรียบเทียบหรือสื่อสารให้เข้าใจตรงกัน และในบางกรณี อาจนำไปสู่ความเข้าใจผิดที่ทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลจากการวัดเป็น ที่เข้าใจตรงกัน จึงมีการตกลงร่วมกันให้มีหน่วยมาตรฐานสากลขึ้น

1.4.1 หน่วยในระบบเอสไอ

ในปี พ.ศ. 2503 ที่ประชุมนานาชาติว่าด้วยการชั่งและการวัด (The General conference on Weights and Measures) ได้ตกลงให้มีหน่วยวัดสากลขึ้น เรียกว่า ระบบหน่วยวัด ระหว่างประเทศ หรือเรียกย่อ ๆ ว่า **หน่วยเอสไอ** (SI units) ซึ่งเป็นหน่วยที่ดัดแปลงจาก หน่วยในระบบเมตริกซ์ โดยหน่วยเอสไอบ้างเป็นหน่วยพื้นฐาน (SI base units) มี 7 หน่วย แสดงดังตาราง 1.1 ซึ่งเป็นหน่วยที่ไม่ขึ้นต่อกัน และสามารถนำไปใช้ในการกำหนดหน่วยอื่น ๆ ได้และหน่วยเอสไออนุพัทธ์ (Derived SI units) ซึ่งเป็นหน่วยอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันทางคณิตศาสตร์ของหน่วยเอสไอพื้นฐาน ตัวอย่างแสดงดังตาราง 1.2



รู้หรือไม่

SI units เป็นคำย่อจากภาษาฝรั่งเศส คำว่า *Système international d'unités*

ตาราง 1.1 หน่วยเอสไอพื้นฐาน

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

ตาราง 1.2 ตัวอย่างหน่วยเอสไออนุพัทธ์

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร (cubic meter)	m ³
ความเข้มข้น	โมลต่อลูกบาศก์เมตร (mol per cubic meter)	mol/m ³
ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kilogram per cubic meter)	kg/m ³

หน่วยนอกระบบเอสไอ นอกจากหน่วยในระบบเอสไอแล้ว ในทางเคมียังมีหน่วยอื่นที่ได้รับ การยอมรับและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างดังตาราง 1.3

ตาราง 1.3 ตัวอย่างหน่วยนอกระบบเอสไอที่ใช้ในทางเคมี

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย	ค่าที่เทียบกับหน่วยเอสไอ
ปริมาตร	ลิตร (liter)	L หรือ l	1 L = 10 ⁻³ m ³
มวล	กรัม (gram)	g	1 g = 10 ⁻³ kg
	ดอลตัน (dalton)	Da	1 Da = 1.66 × 10 ⁻²⁷ kg
	หน่วยมวลอะตอม (unified atomic mass unit)	u	1 u = 1.66 × 10 ⁻²⁷ kg
ความดัน	บาร์ (bar)	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa
	มิลลิเมตรปรอท (millimeter of mercury)	mmHg	1 mmHg = 133.32 Pa
	บรรยากาศ (atmospheric pressure)	atm	1 atm = 1.013 × 10 ⁵ Pa (1 atm ~ 1 bar)
ความยาว	อังสตรอม (ångström)	Å	1 Å = 10 ⁻¹⁰ m
พลังงาน	แคลอรี (calorie)	cal	1 cal = 4.2 J
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส (degree celsius)	°C	°C = K - 273



ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ลวดแมกนีเซียมหนา 0.1 มิลลิเมตร สามารถเขียนแสดงความหนาให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ในหน่วยเอสไอได้เป็นเท่าใด
2. ปริมาตรน้ำที่ได้จากปิเปตต์ 10.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถเขียนแสดงปริมาตรให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ในหน่วยเอสไอได้เป็นเท่าใด

ในทางวิทยาศาสตร์การคำนวณเกี่ยวกับปริมาณต่าง ๆ อาจจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในหน่วยที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้ค่าของปริมาณเปลี่ยนแปลง เช่น ในทางเคมีนิยมระบุพลังงานในหน่วยแคลอรี ในขณะที่หน่วยเอสไอของพลังงานคือจูล ดังนั้น นักเคมีจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนหน่วยพลังงานระหว่างแคลอรีและจูลเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน การเปลี่ยนหน่วยทำได้หลายวิธี ในที่นี่จะใช้วิธีการเทียบหน่วย ซึ่งต้องใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

1.4.2 แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย (conversion factor) เป็นอัตราส่วนระหว่างหน่วยที่แตกต่างกัน 2 หน่วยที่มีปริมาณเท่ากัน ตัวอย่างการหาแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยเป็นดังนี้

จากความสัมพันธ์พลังงาน 1 cal = 4.2 J
เมื่อใช้ 1 cal ทหารทั้งสองข้างจะได้เป็น

$$\frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cal}} = \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$$

$$1 = \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$$

หรือถ้าใช้ 4.2 J ทหารทั้งสองข้างจะได้เป็น

$$\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}} = \frac{4.2 \text{ J}}{4.2 \text{ J}}$$

$$\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}} = 1$$

ดังนั้น แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยเขียนได้เป็น $\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}}$ หรือ $\frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$

ในทางคณิตศาสตร์เมื่อคูณปริมาณด้วย “1” จะทำให้ค่าของปริมาณเดิมไม่เปลี่ยนแปลง และแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย $\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}}$ และ $\frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$ ก็มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจึงสามารถนำแต่ละแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยไปใช้ในการเปลี่ยนหน่วยของปริมาณที่วัดจากหน่วยหนึ่งไปเป็นหน่วยอื่นโดยปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับตัวอย่างแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยนี้ ใช้เปลี่ยนหน่วยจูลให้เป็นแคลอรีหรือแคลอรีให้เป็นจูล ตามลำดับ เช่น พลังงาน 20 cal สามารถเปลี่ยนเป็นหน่วยจูลได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พลังงาน} &= 20 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \\ &= 84 \text{ J} \end{aligned}$$

วิธีการเทียบหน่วย

วิธีการเทียบหน่วย (factor label method) ทำได้โดยการคูณปริมาณในหน่วยเริ่มต้นด้วยแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่มีหน่วยที่ต้องการอยู่ด้านบน ตามสมการ

$$\text{ปริมาณและหน่วยที่ต้องการ} = \text{ปริมาณและหน่วยเริ่มต้น} \times \frac{\text{หน่วยที่ต้องการ}}{\text{หน่วยเริ่มต้น}}$$

ตัวอย่าง 6

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมวล 20 กรัม ความหนาแน่น 1.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก} &= 20 \text{ g solution} \times \frac{1 \text{ cm}^3 \text{ solution}}{1.18 \text{ g solution}} \\ &= 16.95 \text{ cm}^3 \text{ solution} \end{aligned}$$

คำตอบต้องมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ดังนั้น สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาตร 17 ลูกบาศก์เซนติเมตร



แบบฝึกหัด 1.4

1. จงแสดงวิธีการเปลี่ยนหน่วยไปเป็นหน่วยใหม่ที่ต้องการในแต่ละข้อต่อไปนี้

ข้อที่	ปริมาณและหน่วยเริ่มต้น	หน่วยใหม่ที่ต้องการ
1.1	59.2 cm	dm
1.2	1.8 kg	mg
1.3	2,800 mL	dm ³
1.4	3.2 g/mL	kg/dm ³

2. น้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 50.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 20.5 องศาเซลเซียสมีมวลเท่าใด เมื่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 20.5 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.998099 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 24 โดยมวล มีความหนาแน่น 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าสารละลายกรดซัลฟิวริก 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีกรดซัลฟิวริกกี่กรัม
4. ถ้าทองเหลือง 12 กรัม ต้องใช้ทองแดง 9.0 กรัม มีต้นทุนราคาของทองแดงกิโลกรัมละ 200 บาท หากต้องการทองเหลือง 300 กรัม ต้องซื้อทองแดงกี่บาท

1.5 วิธีการทางวิทยาศาสตร์

การทำปฏิบัติการเคมีนอกจากต้องมีการวางแผนการทดลอง การทำการทดลอง การบันทึกข้อมูล การสรุปและวิเคราะห์ข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และการเขียนรายงานการทดลองที่ถูกต้อง แล้วต้องคำนึงถึงวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์

วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) เป็นกระบวนการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีแบบแผนขั้นตอน โดยภาพรวมสามารถทำได้ดังนี้

1. การสังเกต เป็นจุดเริ่มต้นของการได้ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษา โดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 5 คือ การมองเห็น การฟังเสียง การได้กลิ่น การรับรส และการสัมผัส จากข้อมูลดังกล่าวจะนำไปสู่ข้อสงสัยหรือตั้งเป็นคำถามที่ต้องการคำตอบ ดังนั้นการสังเกตจึงเป็นทักษะที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้ของผู้เรียน

2. การตั้งสมมติฐาน เป็นการคาดคะเนคำตอบของคำถามหรือปัญหา โดยมีพื้นฐานจากการสังเกต ความรู้ หรือประสบการณ์เดิม โดยทั่วไปสมมติฐานจะเขียนในรูปของข้อความที่แสดงเหตุและผลที่เกิดขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม
3. การตรวจสอบสมมติฐาน เป็นกระบวนการหาคำตอบของสมมติฐาน โดยมีการออกแบบการทดลองให้มีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง รวมถึงขั้นตอนการทดลองที่ชัดเจน
4. การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การตรวจสอบสมมติฐาน มารวบรวม วิเคราะห์ และอธิบายข้อเท็จจริง
5. การสรุปผล เป็นการสรุปความรู้หรือข้อเท็จจริงที่ได้จากการตรวจสอบสมมติฐาน และมีการเปรียบเทียบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ก่อนหน้านี้

ทั้งนี้ ในการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้นไม่มีรูปแบบที่ตายตัว โดยอาจมีรายละเอียดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคำถาม บริบท หรือวิธีการที่ใช้ในการสำรวจตรวจสอบ

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นต่าง ๆ ที่ผ่านมานั้นมีการทดลองและกิจกรรม ที่ส่งเสริมให้ได้ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ศึกษาหาความรู้ นักเรียนลองพิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ว่าเกี่ยวข้องกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์อย่างไร



ตรวจสอบความเข้าใจ

นักเรียนคนหนึ่งต้มน้ำอัดลมแล้วพบว่าน้ำอัดลมที่แช่เย็นมีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น จึงเกิดความสงสัยว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

จากการที่นักเรียนสังเกตว่า เมื่อต้มน้ำอัดลมที่แช่เย็นแล้วรู้สึกซ่ามีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น นักเรียนคิดว่า ความเข้มข้นของกรดคาร์บอนิกที่อยู่ในน้ำอัดลมเป็นสาเหตุให้น้ำอัดลมมีความซ่า จึงตั้งสมมติฐานว่า "น้ำอัดลมที่แช่เย็นจะมีความเข้มข้นของกรดคาร์บอนิก มากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น" จึงวางแผนการทดลองโดยการวัดค่า pH ของน้ำอัดลมที่เพิ่งเปิดขวดทั้งที่แช่เย็นและไม่แช่เย็น เมื่อนักเรียนทำการทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้พบว่า น้ำอัดลมที่แช่เย็นมีค่า pH เท่ากับ 2 และน้ำอัดลมที่อุณหภูมิห้องมีค่า pH เท่ากับ 3 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ นักเรียนจึงสรุปผลการทดลองว่า น้ำอัดลมที่แช่เย็นมีความเข้มข้นของกรดคาร์บอนิกมากกว่าจึงมีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น

จากตัวอย่างสถานการณ์ข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ อย่างไร

2. การสรุปผลการทดลองสอดคล้องกับข้อเท็จจริงที่ได้จากการตรวจสอบสมมติฐานหรือไม่ อย่างไร

3. สมมติฐานที่ตั้งไว้ สอดคล้องกับสิ่งที่สังเกตได้ว่า น้ำอัดลมที่แช่เย็นมีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น หรือไม่ อย่างไร

4. ถ้านักเรียนต้องการออกแบบการทดลองเพื่อตอบคำถามว่า เพราะเหตุใด เมื่อต้มน้ำอัดลมที่แช่เย็นจึงรู้สึกซ่ามีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น นักเรียนคิดว่าควรมีข้อมูลใดเพิ่มเติมบ้าง

นอกจากวิธีการทางวิทยาศาสตร์แล้ว การเขียนรายงานการทดลองเป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน เพราะนอกจากจะช่วยให้ผู้ทำการทดลองมีข้อมูลไว้อ้างอิงแล้ว รายงานยังเป็นเครื่องมือสื่อสารที่ผู้อื่นสามารถนำไปศึกษาและปฏิบัติตามได้ โดยหัวข้อที่ควรมีในรายงานการทดลองมีดังนี้

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. ชื่อการทดลอง | 5. วิธีการทดลอง |
| 2. จุดประสงค์ | 6. ผลการทดลอง |
| 3. สมมติฐานและการกำหนดตัวแปร | 7. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง |
| 4. อุปกรณ์และสารเคมี | |

นักเรียนสามารถฝึกการออกแบบการทดลองและเขียนรายงานการทดลอง ได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 1.2 การออกแบบและทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน

จุดประสงค์การทดลอง

1. ออกแบบและทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน
2. นำเสนอการออกแบบการทดลองและเขียนรายงานการทดลอง

วิธีทดลอง

1. ออกแบบและนำเสนอการออกแบบการทดลอง เปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน

2. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน
3. เขียนรายงานการทดลอง

การศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต้องอาศัย**ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์** (scientific process skill) และ**จิตวิทยาศาสตร์** (scientific mind) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นความสามารถและความชำนาญในการคิดเพื่อค้นหาความรู้และแก้ไขปัญหา โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 14 ทักษะ คือ การสังเกต การวัด การลงความเห็นจากข้อมูล การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ของสเปซกับเวลา การใช้จำนวน การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป และการสร้างแบบจำลอง

จิตวิทยาศาสตร์ เป็นความรู้สึกนึกคิด พฤติกรรมหรือลักษณะนิสัย ที่เป็นผลมาจากประสบการณ์และการเรียนรู้ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความคิด การตัดสินใจ หรือพฤติกรรมของบุคคลต่อความรู้หรือสิ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เช่น ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง ความซื่อสัตย์ ความมุ่งมั่นอดทน ความรอบคอบ การเห็นความสำคัญและคุณค่าของวิทยาศาสตร์

การที่นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ เห็นคุณค่าของการเรียนวิทยาศาสตร์ ย่อมจะทำให้มีความฝึกฝนในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และมีการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องเหมาะสม



ตรวจสอบความเข้าใจ

จากการทำกิจกรรมออกแบบและทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ได้บ้าง

การศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้น นอกจากการเรียนรู้อย่างเป็นระบบตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์แล้วนั้น ผู้เรียนยังต้องคำนึงถึงจริยธรรมซึ่งเกี่ยวข้องกับความถูกต้องในการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่มีต่อตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างจริยธรรมทางวิทยาศาสตร์ เช่น ความซื่อสัตย์ในการรายงานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลอย่างอิสระบนพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่ โดยไม่ให้ข้อมูลจากแหล่งภายนอกมีอิทธิพลต่อการวิเคราะห์และการตีความ การอ้างอิงแหล่งของข้อมูลต่าง ๆ อย่างเหมาะสม ความรับผิดชอบต่อสังคมหรือสภาพแวดล้อม

ความรู้และทักษะปฏิบัติการต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาในบทเรียนนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้วิชาเคมีบทอื่น ๆ ต่อไป



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การทำปฏิบัติการให้ปลอดภัย ผู้ทำปฏิบัติการต้องทราบเกี่ยวกับประเภทของสารเคมีที่ใช้ วิธีปฏิบัติการทดลอง ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมีและการกำจัดสารเคมี รวมถึงต้องมีความรู้และสามารถปฐมพยาบาลเบื้องต้นเพื่อลดความรุนแรงและความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

ความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากการทำปฏิบัติการเคมี พิจารณาได้จากความเที่ยงและความแม่นยำ ซึ่งขึ้นกับทักษะของผู้ทำปฏิบัติการในการวัดปริมาณสารและความละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ การบอกปริมาณของสารอาจจะบอกละเอียดในหน่วยต่าง ๆ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันจึงมีการกำหนดหน่วยในระบบเอสไอให้เป็นหน่วยสากลโดยการเปลี่ยนหน่วยเพื่อให้เป็นหน่วยสากลสามารถทำได้ด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

การทำปฏิบัติการเคมีต้องมีการวางแผนการทดลอง การทำการทดลอง การบันทึกข้อมูล สรุปและวิเคราะห์ นำเสนอข้อมูล และการเขียนรายงานการทดลองที่ถูกต้อง โดยการปฏิบัติการเคมีต้องคำนึงถึงวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ และจริยธรรมทางวิทยาศาสตร์



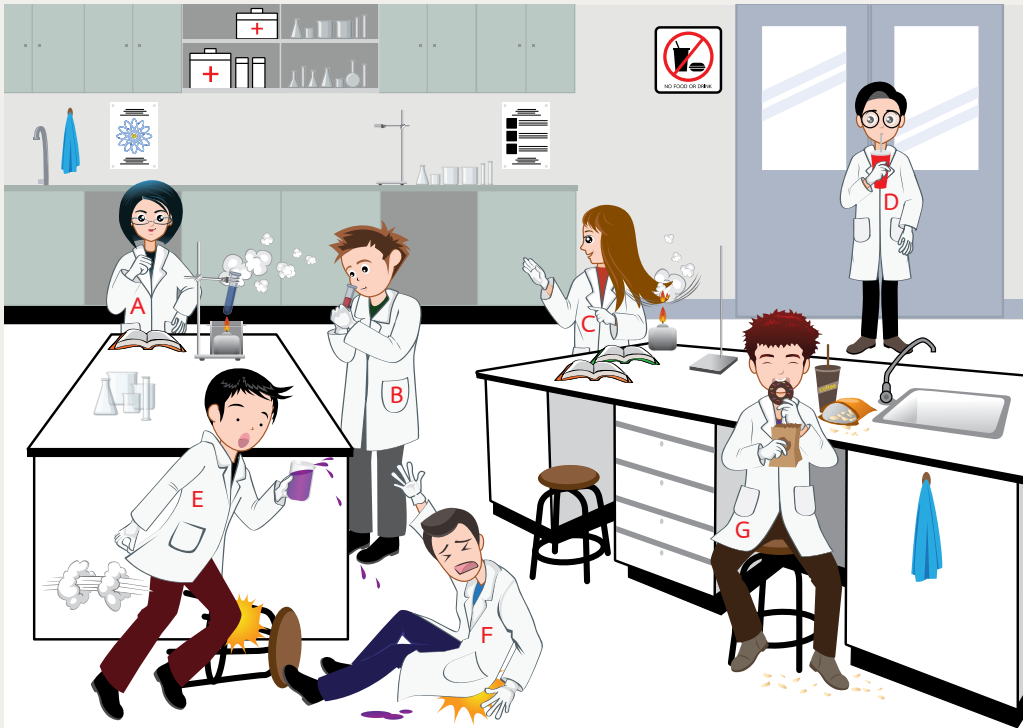
แบบฝึกหัดท้ายบท

1. แปลความหมายของสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตราย ในระบบ GHS ต่อไปนี้ และถ้านักเรียนต้องใช้สารเคมีเหล่านี้ในการทำปฏิบัติการจะต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติมใด นอกจากเสื้อคลุมปฏิบัติการ

ข้อที่	สัญลักษณ์	การแปลความหมายของสัญลักษณ์	อุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติม
1.1			
1.2			
1.3			
1.4			
1.5			
1.6			

2. เติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเติมเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง
- 2.1 สามารถใช้แว่นสายตาทดแทนแว่นนิรภัยในการทำปฏิบัติการเคมีได้
 - 2.2 ควรถอดรองเท้าก่อนเข้าห้องปฏิบัติการเคมีเสมอ
 - 2.3 การทดสอบปฏิกิริยาเคมีในหลอดทดลองไม่ควรหันปากหลอดทดลองไปทางที่มีคน
 - 2.4 เมื่อสัมผัสสปีกเกอร์หรือภาชนะที่ร้อน ควรใช้ยาสีฟันทาบริเวณที่สัมผัสของร้อน
 - 2.5 หลังทำการทดลอง ควรทำความสะอาดอุปกรณ์ และโต๊ะให้สะอาดก่อนออกจากห้องปฏิบัติการเคมี
 - 2.6 ถ้าทำสารเคมีหกบนเครื่องชั่ง ควรทำความสะอาดทันทีโดยไม่จำเป็นต้องปิดเครื่องชั่ง
 - 2.7 การวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล เป็นวิธีหนึ่งในการนำเสนอข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผล
 - 2.8 ควรสวมเสื้อคลุมปฏิบัติการทุกครั้งที่ทำกรทดลอง เพื่อป้องกันสารเคมีหกรดถูกร่างกาย
 - 2.9 เอกสารความปลอดภัยเป็นเอกสารที่บอกสมบัติ อันตราย และการปฐมพยาบาลของสารเคมีแต่ละชนิด
 - 2.10 การห้ามรับประทานอาหารและเครื่องดื่มในห้องปฏิบัติการเคมี เป็นการป้องกันไม่ให้ได้รับอุบัติเหตุจากการกลืนกินสารเคมี

3. จากรูปให้นักเรียนระบุว่า บุคคลใดบ้างที่ปฏิบัติไม่ถูกต้องหลักความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ พร้อมระบุว่าบุคคลนั้นปฏิบัติตัวไม่ถูกต้องในเรื่องใด



4. เติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

- 4.1 ข้างขวดน้ำดื่มยี่ห้อหนึ่ง ระบุว่าปริมาตรน้ำภายในขวดเท่ากับ 0.6 ลิตร หมายความว่า น้ำดื่มในขวดนั้นมีน้ำปริมาตร 600 มิลลิลิตร
- 4.2 ใช้ปิเปตต์แบบปริมาตรขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิเปตต์สารละลาย A ถ่ายลงในบีกเกอร์ สารละลาย A ในบีกเกอร์มีปริมาตรเท่ากับ 10.00 มิลลิลิตร
- 4.3 สารละลาย B ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร หมายความว่า เมื่อเทสารละลาย B ออกมาใส่บีกเกอร์สามารถวัดปริมาตรได้เท่ากับ 250 มิลลิลิตร

- 4.4 ในการใช้สารละลายออกจากบิวเรตต์ จะอ่านเลขทศนิยมของปริมาตรของสารละลายได้ 2 ตำแหน่งเสมอ
- 4.5 เมื่อตวงสารละลาย C โดยใช้กระบอกตวงให้มีปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร แล้วเทใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จะสามารถอ่านปริมาตรของสารละลาย C ได้เท่ากับ 100.00 มิลลิลิตร

5. ถ้าใช้อุปกรณ์ 3 ชนิด ตวงน้ำปริมาตร 15.00 มิลลิลิตร แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่ง โดยแต่ละอุปกรณ์ ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ข้อมูลการทดลองดังต่อไปนี้

ครั้งที่	มวลน้ำที่ชั่งได้ (g)		
	อุปกรณ์ A	อุปกรณ์ B	อุปกรณ์ C
1	15.12	14.88	15.02
2	15.09	14.93	14.86
3	14.98	14.92	15.37
4	14.95	15.12	15.20
5	15.02	14.81	15.41

หมายเหตุ ทำการตวงน้ำที่อุณหภูมิ 30.0 องศาเซลเซียส น้ำมีความหนาแน่น 0.995646 กรัมต่อมิลลิลิตร

ให้นักเรียนเขียนกราฟความสัมพันธ์โดยแกน x เป็นครั้งที่ชั่ง และแกน y เป็นมวลน้ำที่ชั่งได้ (g) และตอบคำถามต่อไปนี้

- 5.1 อุปกรณ์ใดมีความเที่ยงมากที่สุด
- 5.2 อุปกรณ์ใดมีความแม่นยำมากที่สุด
- 5.3 ถ้าต้องใช้อุปกรณ์ในการทำทดลอง เพื่อให้ได้ความถูกต้องมากที่สุด ควรเลือกอุปกรณ์ใด พร้อมทั้งให้เหตุผล

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี เล่ม ๑
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายของสารเคมีในระบบ GHS และ NFPA ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมี ทั้งก่อนทำปฏิบัติการ ขณะทำปฏิบัติการ และหลังทำปฏิบัติการ การกำจัดสารเคมี และการปฐมพยาบาลเมื่อได้รับอุบัติเหตุจากสารเคมี ศึกษาการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้อาจการวัด จากความเที่ยงและความแม่นยำ อุปกรณ์วัดปริมาตรและวัดมวล เลขนัยสำคัญ หน่วยวัดระบบเอสไอ แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย รวมทั้งวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์

ศึกษาแบบจำลองของคอมพิวเตอร์ ทอมสัน ไรท์เทอร์ฟอร์ด โบว์ และแบบกลุ่มหมอก เขียนและแปลความหมายสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ เลขอะตอม เลขมวล ไอโซโทป เขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม ศึกษาความหมายของระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ออร์บิทัล เวเลนซ์อิเล็กตรอน วิวัฒนาการของการสร้างตารางธาตุและตารางธาตุในปัจจุบัน แนวโน้มสมบัติทางประการของธาตุในตารางธาตุตามหมู่และตามคาบเกี่ยวกับขนาดอะตอม ขนาดไอออน พลังงานไอออไนเซชัน สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน อิเล็กโทรเนกาติวิตี ศึกษาสมบัติของธาตุแทรนซิชัน ธาตุกัมมันตรังสี การเกิดกัมมันตภาพรังสี การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี การแผ่รังสีคอสมิก ศึกษาปฏิกิริยานิวเคลียร์สังเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสี ศึกษาปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน การเกิดกัมมันตภาพรังสี การนำธาตุไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ศึกษาพันธะเคมี สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสและกฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก สูตรเคมีและชื่อของสารประกอบไอออนิก พลังงานกับการเกิดสารประกอบไอออนิก สมบัติของสารประกอบไอออนิก สมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิ การเกิดพันธะโควาเลนต์ โครงสร้างลิวอิส สูตรโมเลกุลและชื่อของสารโควาเลนต์ ความยาวและพลังงานพันธะ เรขาคณิต การคำนวณพลังงานพันธะและพลังงานของปฏิกิริยา รูปร่างและสภาพขั้วของโมเลกุลโควาเลนต์และยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและสมบัติของสารโควาเลนต์ สารโควาเลนต์โครงร่างตาข่าย การเกิดพันธะโลหะและสมบัติของโลหะและการนำสารประกอบชนิดต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑

ในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง

มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. บอกและอธิบายข้อปฏิบัติเบื้องต้น และปฏิบัติตนที่แสดงถึงความตระหนักในการทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยของตนเอง ผู้อื่นและสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
๒. เลือกและใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการทำปฏิบัติการ และวัดปริมาณต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม
๓. ระบุหน่วยวัดปริมาณต่าง ๆ ของสาร และเปลี่ยนหน่วยวัดให้เป็นหน่วยในระบบเอสไอได้ด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย
๔. นำเสนอแผนการทดลอง ทดลองและเขียนรายงานการทดลอง
๕. สืบค้นข้อมูลสมมติฐาน การทดลองหรือผลการทดลองที่เป็นประจักษ์พยานในการเสนอแบบจำลองอะตอมของนักวิทยาศาสตร์ และอธิบายวิวัฒนาการของแบบจำลองอะตอม
๖. เขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ และระบุจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนของอะตอม จากสัญลักษณ์นิวเคลียร์ รวมทั้งบอกความหมายของไอโซโทป
๗. อธิบายและเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักและระดับพลังงานย่อยเมื่อทราบเลขอะตอมของธาตุ
๘. ระบุนุ้ม คาบ ความเป็นโลหะ อโลหะ และกึ่งโลหะของธาตุเรฟรีเซนเททีฟ และธาตุแทรนซิชันในตารางธาตุ
๙. วิเคราะห์ และบอกแนวโน้มสมบัติของธาตุเรฟรีเซนเททีฟตามหมู่และตามคาบ
๑๐. บอกสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน และเปรียบเทียบสมบัติกับธาตุโลหะในกลุ่มธาตุเรฟรีเซนเททีฟ
๑๑. อธิบายสมบัติและคำนวณครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสี
๑๒. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการนำธาตุมาใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
๑๓. อธิบายการเกิดไอออนและการเกิดพันธะไอออนิก โดยใช้แผนภาพหรือสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส
๑๔. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก
๑๕. คำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบไอออนิกจากกฎจักรเบอร์น-ฮาเบอร์
๑๖. อธิบายสมบัติของสารประกอบไอออนิก
๑๗. เขียนสมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก
๑๘. อธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสามด้วยโครงสร้างลิวอิส
๑๙. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์
๒๐. วิเคราะห์และเปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะในสารโคเวเลนต์ รวมทั้งคำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสารโคเวเลนต์จากพลังงานพันธะ
๒๑. คาคะเนรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์โดยใช้ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ และระบุสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์
๒๒. ระบุชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และเปรียบเทียบจุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์
๒๓. สืบค้นข้อมูลและอธิบายสมบัติของสารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่ายชนิดต่าง ๆ
๒๔. อธิบายการเกิดพันธะโลหะและสมบัติของโลหะ
๒๕. เปรียบเทียบสมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ ได้อย่างเหมาะสม

รวมทั้งหมด ๒๕ ผลการเรียนรู้