



# เคมี เล่ม ๔

# ๕

ตามผลการเรียนรู้

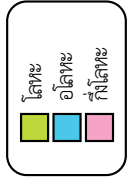
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑



# ตารางธาตุ

18  
VIII A



1  
IA

|                               |                                |                                 |                                  |                                |                                 |                                |                                 |                               |                                 |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1<br>H<br>hydrogen<br>1.01    | 2<br>He<br>helium<br>4.00      | 3<br>Li<br>lithium<br>6.94      | 4<br>Be<br>beryllium<br>9.01     | 5<br>B<br>boron<br>10.81       | 6<br>C<br>carbon<br>12.01       | 7<br>N<br>nitrogen<br>14.01    | 8<br>O<br>oxygen<br>16.00       | 9<br>F<br>fluorine<br>19.00   | 10<br>Ne<br>neon<br>20.18       |
| 11<br>Na<br>sodium<br>22.99   | 12<br>Mg<br>magnesium<br>24.30 | 13<br>Al<br>aluminium<br>26.98  | 14<br>Si<br>silicon<br>28.08     | 15<br>P<br>phosphorus<br>30.97 | 16<br>S<br>sulfur<br>32.06      | 17<br>Cl<br>chlorine<br>35.45  | 18<br>Ar<br>argon<br>39.95      |                               |                                 |
| 19<br>K<br>potassium<br>39.10 | 20<br>Ca<br>calcium<br>40.08   | 21<br>Sc<br>scandium<br>44.96   | 22<br>Ti<br>titanium<br>47.87    | 23<br>V<br>vanadium<br>50.94   | 24<br>Cr<br>chromium<br>52.00   | 25<br>Mn<br>manganese<br>54.94 | 26<br>Fe<br>iron<br>55.85       | 27<br>Co<br>cobalt<br>58.93   | 28<br>Ni<br>nickel<br>58.69     |
| 37<br>Rb<br>rubidium<br>85.47 | 38<br>Sr<br>strontium<br>87.62 | 39<br>Y<br>yttrium<br>88.91     | 40<br>Zr<br>zirconium<br>91.22   | 41<br>Nb<br>niobium<br>92.91   | 42<br>Mo<br>molybdenum<br>95.95 | 43<br>Tc<br>technetium         | 44<br>Ru<br>ruthenium<br>101.07 | 45<br>Rh<br>rhodium<br>102.91 | 46<br>Pd<br>palladium<br>106.42 |
| 55<br>Cs<br>caesium<br>132.91 | 56<br>Ba<br>barium<br>137.33   | 57-71<br>lanthanoids<br>*       | 72<br>Hf<br>hafnium<br>178.49    | 73<br>Ta<br>tantalum<br>180.95 | 74<br>W<br>tungsten<br>183.84   | 75<br>Re<br>rhenium<br>186.21  | 76<br>Os<br>osmium<br>190.23    | 77<br>Ir<br>iridium<br>192.22 | 78<br>Pt<br>platinum<br>195.08  |
| 87<br>Fr<br>francium          | 88<br>Ra<br>radium             | 89-103<br>actinoids<br>**       | 104<br>Rf<br>rutherfordium       | 105<br>Db<br>dubnium           | 106<br>Sg<br>seaborgium         | 107<br>Bh<br>bohrium           | 108<br>Hs<br>hassium            | 109<br>Mt<br>meitnerium       | 110<br>Ds<br>darmstadtium       |
| 133<br>In<br>indium<br>114.82 | 134<br>Sn<br>tin<br>118.71     | 135<br>Sb<br>antimony<br>121.76 | 136<br>Te<br>tellurium<br>127.60 | 137<br>I<br>iodine<br>126.90   | 138<br>Xe<br>xenon<br>131.29    | 139<br>Po<br>polonium          | 140<br>At<br>astatine           | 141<br>Rn<br>radon            | 142<br>Og<br>oganesson          |

กลุ่มธาตุ  
\*แลนทานอยด์

กลุ่มธาตุ  
\*\*แอกทิโนอยด์

|                                 |                               |                                    |                                 |                        |                                |                                |                                  |                               |                                  |                               |                              |                               |                                 |                                |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 57<br>La<br>lanthanum<br>138.91 | 58<br>Ce<br>cerium<br>140.12  | 59<br>Pr<br>praseodymium<br>140.91 | 60<br>Nd<br>neodymium<br>144.24 | 61<br>Pm<br>promethium | 62<br>Sm<br>samarium<br>150.36 | 63<br>Eu<br>europium<br>151.96 | 64<br>Gd<br>gadolinium<br>157.25 | 65<br>Tb<br>terbium<br>158.93 | 66<br>Dy<br>dysprosium<br>162.50 | 67<br>Ho<br>holmium<br>164.93 | 68<br>Er<br>erbium<br>167.26 | 69<br>Tm<br>thulium<br>168.93 | 70<br>Yb<br>ytterbium<br>173.05 | 71<br>Lu<br>lutetium<br>174.97 |
| 89<br>Ac<br>actinium            | 90<br>Th<br>thorium<br>232.04 | 91<br>Pa<br>protactinium<br>231.04 | 92<br>U<br>uranium<br>238.03    | 93<br>Np<br>neptunium  | 94<br>Pu<br>plutonium          | 95<br>Am<br>americium          | 96<br>Cm<br>curium               | 97<br>Bk<br>berkelium         | 98<br>Cf<br>californium          | 99<br>Es<br>einsteinium       | 100<br>Fm<br>fermium         | 101<br>Md<br>mendeleevium     | 102<br>No<br>nobelium           | 103<br>Lr<br>lawrencium        |





คู่มือครู

# รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

## เคมี

ชั้น

## มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

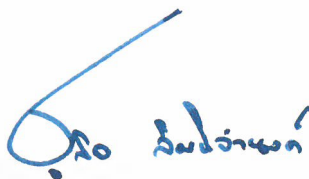
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

# คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ และยังมีบทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการใช้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ โดยครอบคลุมเนื้อหาตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระเคมี โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ มีแนวการจัดการเรียนรู้ การให้ความรู้เพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยคำถามและแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากรทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิ้มปิฉ่างค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ

# คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูผู้สอนสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่าง ๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนเกี่ยวกับ ทฤษฎีกรด-เบส pH ของสารละลายกรดและเบส ปฏิกริยาเคมีระหว่างกรดและเบส การไทเทรตกรด-เบส สารละลายบัฟเฟอร์ สมบัติกรด-เบสของเกลือ ปฏิกริยารีดอกซ์ การดุลสมการรีดอกซ์ เซลล์เคมีไฟฟ้า เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วยจะขอบคุณยิ่ง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ



## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิตและการทำงาน นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาวิธีคิดและทำให้มีทักษะที่จำเป็นในการตัดสินใจและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่สำคัญตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะ ขอบเขต และข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการทักษะในการสื่อสารและความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์ และสภาพแวดล้อม ในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อนำความรู้ความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม และการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า
7. เพื่อให้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรมและค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับตัวชี้วัดตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ รวมทั้งมี สื่อการเรียนรู้ในเว็บไซต์ที่สามารถเชื่อมโยงได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท ซึ่งครูสามารถใช้ส่งเสริมให้นักเรียนบรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตามครูอาจพิจารณาตัดแปลงหรือเพิ่มเติมการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียนได้ โดยคู่มือครูมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

### ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะ ซึ่งช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ได้ ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียน รวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้

### การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และจิตวิทยา ศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละผลการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

### ผังมโนทัศน์

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ครูเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน

### สาระสำคัญ

การสรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของเนื้อหาในบทเรียนนั้น

### เวลาที่ใช้

เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูอาจดำเนินการตามข้อเสนอแนะที่กำหนดไว้ หรืออาจปรับเวลาได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

### ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความที่เป็นความรู้พื้นฐาน ซึ่งนักเรียนควรมีก่อนที่จะเรียนรู้เนื้อหาในบทเรียนนั้น

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามและเฉลยที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียนตามที่ระบุไว้ในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูได้ตรวจสอบและทบทวนความรู้ให้นักเรียนก่อนเริ่มกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้ออาจมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบ เป็นดังนี้

- **จุดประสงค์การเรียนรู้**

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้ หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งสามารถวัดและประเมินผลได้ ทั้งนี้ครูอาจตั้งจุดประสงค์เพิ่มเติมจากที่ให้ไว้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- **ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น**

เนื้อหาที่นักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย ซึ่งเป็นข้อมูลให้ครูได้พึงระวังหรืออาจเน้นย้ำในประเด็นดังกล่าวเพื่อป้องกันการเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้

- **แนวการจัดการเรียนรู้**

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการนำเสนอทั้งในส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ทั้งนี้ครูอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรมจากที่ให้ไว้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

### กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งควรให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง โดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียดดังนี้



## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

- จุดประสงค์  
เป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมนั้น
- วัสดุและอุปกรณ์  
รายการวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารเคมี ที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งครูควรเตรียมให้เพียงพอสำหรับการจัดกิจกรรม
- การเตรียมล่วงหน้า  
ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้าสำหรับการจัดกิจกรรม เช่น การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต
- ข้อเสนอแนะสำหรับครู  
ข้อมูลที่ให้ครูแจ้งต่อนักเรียนให้ทราบถึงข้อควรระวัง ข้อควรปฏิบัติ หรือข้อมูลเพิ่มเติมในการทำกิจกรรมนั้น ๆ
- ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม  
ตัวอย่างผลการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน
- อภิปรายและสรุปผล  
ตัวอย่างข้อมูลที่ควรได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติม เพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการ รวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้อาจมีความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรนำไปเพิ่มเติมให้นักเรียน เพราะเป็นส่วนที่เสริมจากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

- **แนวการวัดและประเมินผล**

แนวการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูอาจเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้แล้ว ดัดแปลงจากเครื่องมือที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว หรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างของเครื่องมือวัดและประเมินผล ดังภาคผนวก

- **เฉลยคำถาม**

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนและคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบการตอบคำถามของนักเรียน

- **เฉลยคำถามระหว่างเรียน**

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนซึ่งมีทั้งคำถามชวนคิด ตรวจสอบความเข้าใจ และแบบฝึกหัด ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามระหว่างเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่ เพื่อให้สามารถปรับการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป

- **เฉลยคำถามท้ายบทเรียน**

แนวคำตอบของแบบฝึกหัดท้ายบท ซึ่งครูควรใช้คำถามท้ายบทเรียนเพื่อตรวจสอบว่าหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใด เพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้

# สารบัญ

บทที่

เนื้อหา

หน้า

# 10

## pH

กรด-เบส

|          |                                       |    |
|----------|---------------------------------------|----|
| บทที่ 10 | กรด-เบส                               | 1  |
|          | ผลการเรียนรู้                         | 1  |
|          | การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้             | 2  |
|          | ผังมโนทัศน์                           | 6  |
|          | สาระสำคัญ                             | 7  |
|          | เวลาที่ใช้                            | 7  |
|          | เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน           | 8  |
| 10.1     | ทฤษฎีกรด-เบส                          | 10 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.1                    | 14 |
| 10.2     | คู่กรด-เบส                            | 15 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.2                    | 18 |
| 10.3     | การแตกตัวของกรด เบส และน้ำ            | 19 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.3                    | 36 |
| 10.4     | สมบัติกรด-เบสของเกลือ                 | 44 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.4                    | 48 |
| 10.5     | pH ของสารละลายกรดและเบส               | 50 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.5                    | 57 |
| 10.6     | ปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดและเบส         | 62 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.6                    | 63 |
| 10.7     | การไทเทรตกรด-เบส                      | 64 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.7                    | 81 |
| 10.8     | สารละลายบัฟเฟอร์                      | 86 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัด 10.8                    | 92 |
| 10.9     | การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส | 94 |
|          | เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท                   | 97 |



## สารบัญ

บทที่

เนื้อหา

หน้า

# 11



เคมีไฟฟ้า

|   |     |
|---|-----|
| บทที่ 11 เคมีไฟฟ้า                      | 113 |
| ผลการเรียนรู้                           | 113 |
| การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้               | 114 |
| ผังมโนทัศน์                             | 119 |
| สาระสำคัญ                               | 120 |
| เวลาที่ใช้                              | 120 |
| เฉลยตรวจสอบความรู้อ่อนเรียน             | 120 |
| 11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์   | 124 |
| เฉลยแบบฝึกหัด 11.1                      | 138 |
| 11.2 การดุลสมการรีดอกซ์                 | 141 |
| เฉลยแบบฝึกหัด 11.2                      | 155 |
| 11.3 เซลล์เคมีไฟฟ้า                     | 172 |
| เฉลยแบบฝึกหัด 11.3                      | 176 |
| เฉลยแบบฝึกหัด 11.4                      | 178 |
| 11.4 ประโยชน์ของเซลล์เคมีไฟฟ้า          | 188 |
| เฉลยแบบฝึกหัด 11.6                      | 190 |
| เฉลยแบบฝึกหัด 11.7                      | 207 |
| 11.5 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า | 210 |
| เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท                     | 215 |

## สารบัญ

### ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล 222

บรรณานุกรม 235

คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู 236

## บทที่ 10

## กรด-เบส



ipst.me/8829

## ผลการเรียนรู้

1. ระบุและอธิบายว่าสารเป็นกรดหรือเบส โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี และลิวอิส
2. ระบุคู่กรด-เบสของสารตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี
3. คำนวณและเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดและเบส
4. คำนวณค่า pH ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส
5. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทิน และระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายหลังการสะเทิน
6. เขียนปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ และระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ
7. ทดลองและอธิบายหลักการการไทเทรตและเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด-เบส
8. คำนวณปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต
9. อธิบายสมบัติ องค์กรประกอบ และประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์
10. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส



## การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

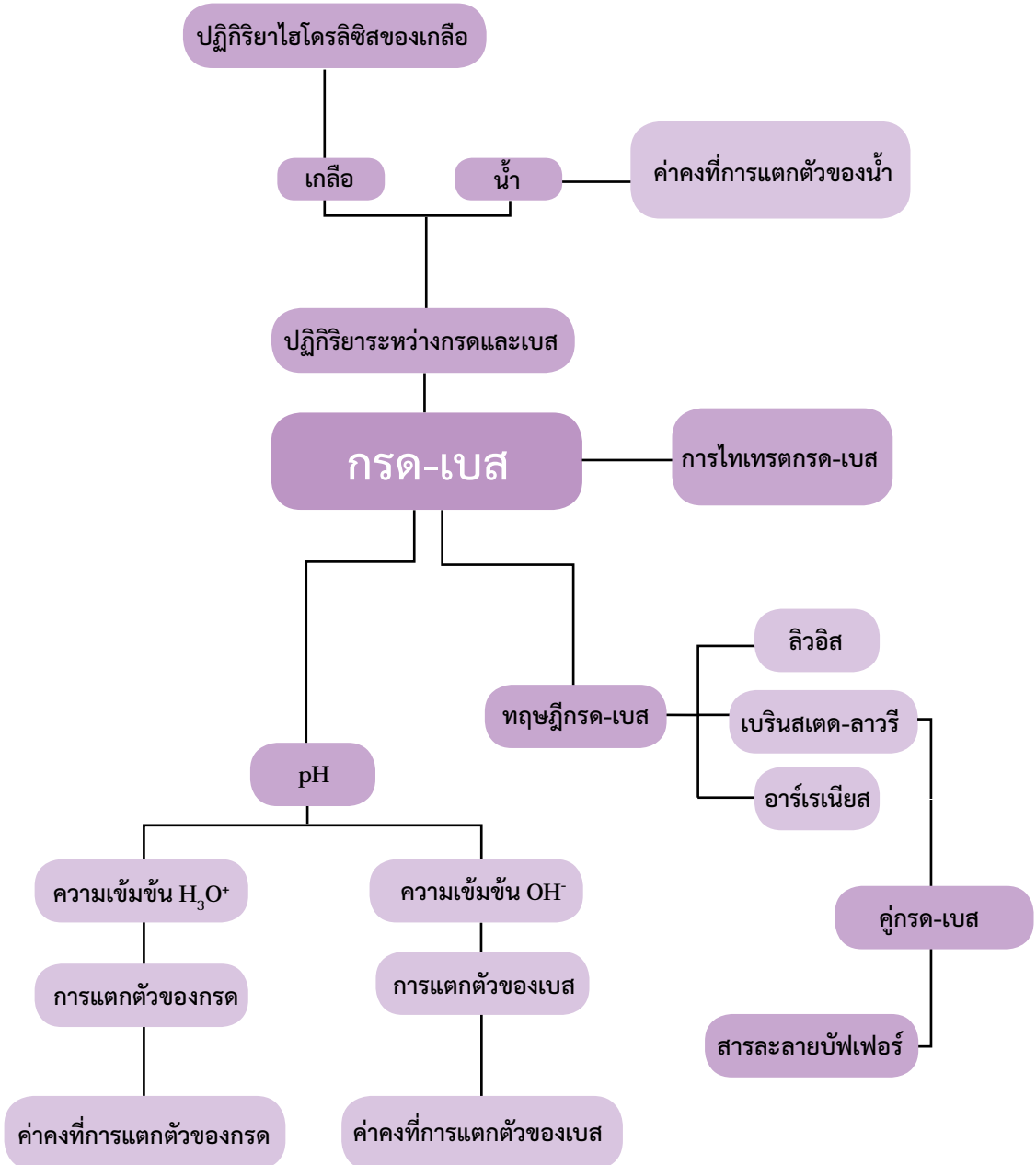
|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>1. ระบุและอธิบายว่าสารเป็นกรดหรือเบส โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี และลิวอิส<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. ระบุและอธิบายว่าสารเป็นกรดหรือเบส โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี และลิวอิส  |  |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>-  | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. ความใจกว้าง<br>2. การใช้วิจารณญาณ |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>2. ระบุคู่กรด-เบสของสารตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. ระบุคู่กรด-เบสของสารตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี  |  |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา    | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. ความใจกว้าง<br>2. การใช้วิจารณญาณ |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>3. คำนวณและเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดและเบส<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. บอกความหมายและระบุว่าสารเป็นกรดแก่ เบสแก่ กรดอ่อน และเบสอ่อน<br>2. คำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน ร้อยละการแตกตัว และค่าคงที่การแตกตัวของกรดและเบส<br>3. เปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดและเบส |  |   |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การใช้จำนวน<br>2. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา<br>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. ความใจกว้าง<br>2. การใช้วิจารณญาณ<br>3. ความรอบคอบ |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>4. คำนวณค่า pH ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. คำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน หรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส<br>2. คำนวณค่า pH ของสารละลายกรดและเบส<br>3. บอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ |   |  |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การใช้จำนวน   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา   | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. ความใจกว้าง<br>2. การใช้วิจารณญาณ<br>3. ความรอบคอบ |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>5. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทินและระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายหลังการสะเทิน<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทิน<br>2. ระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายหลังการสะเทิน  |   |  |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>-  | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา   | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>-   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>6. เขียนปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ และระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ</p> <p><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>อธิบายการเกิดไฮโดรลิซิสของเกลือและเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ</li> <li>ระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ</li> </ol>            |   |   |
| <p><b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>การทดลอง</li> <li>การสังเกต</li> <li>การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป</li> </ol>   | <p><b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ</li> <li>ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</li> </ol>   | <p><b>จิตวิทยาศาสตร์</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ความใจกว้าง</li> <li>การใช้วิจารณญาณ</li> </ol> |
| <p><b>ผลการเรียนรู้</b></p> <p>7. ทดลองและอธิบายหลักการการไทเทรต และเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด-เบส</p> <p><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ทดลองและอธิบายหลักการการไทเทรต</li> <li>เลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด-เบส</li> </ol> |   |   |
| <p><b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>การทดลอง</li> <li>การสังเกต</li> <li>การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล</li> <li>การใช้จำนวน</li> </ol>   | <p><b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา</li> <li>การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ</li> <li>ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</li> </ol> | <p><b>จิตวิทยาศาสตร์</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ความใจกว้าง</li> <li>การใช้วิจารณญาณ</li> </ol> |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>8. คำนวณปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. คำนวณปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต   |  |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การใช้จำนวน  | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>-  | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. ความรอบคอบ  |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>9. อธิบายสมบัติ องค์กรประกอบ และประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. อธิบายสมบัติ องค์กรประกอบ และประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์   |  |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การทดลอง<br>2. การสังเกต   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ   | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>-  |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>10. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับ กรด-เบส |  |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>-   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ<br>2. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. ความใจกว้าง<br>2. การใช้วิจารณญาณ<br>3. การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ |

ผังมโนทัศน์  
บทที่ 10 กรด-เบส



## สาระสำคัญ

สารในชีวิตประจำวันหลายชนิดมีสมบัติเป็นกรดหรือเบส การระบุว่าเป็นกรดหรือเบสสามารถพิจารณาโดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี หรือลิวอิส และการพิจารณาคู่กรด-เบสใช้ทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี

กรดแก่หรือเบสแก่เมื่อละลายน้ำถือว่าแตกตัวได้สมบูรณ์ ส่วนกรดอ่อนหรือเบสอ่อนแตกตัวได้บางส่วน ความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดหรือเบสพิจารณาจากค่าคงที่การแตกตัวหรือร้อยละการแตกตัว นอกจากนี้เกลือบางชนิดสามารถแตกตัวในน้ำและเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้ ทำให้ได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรดหรือเบส ความเป็นกรด-เบสของสารละลายพิจารณาจากความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ซึ่งใช้ในการคำนวณ pH ของสารละลาย

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละลายกรดและเบสที่พอดีกัน เรียกว่า ปฏิกิริยาสะเทิน ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือที่อาจมีสมบัติเป็นกรด กลาง หรือเบส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดและเบสที่ทำปฏิกิริยากัน

จุดที่สารทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดสมมูล สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดและเบสอาจสังเกตจุดสมมูลได้จากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมระหว่างการไทเทรตที่เรียกว่า จุดยุติ ซึ่งใกล้เคียงกับจุดสมมูล ข้อมูลจากการไทเทรตสามารถนำมาใช้คำนวณความเข้มข้นหรือปริมาณของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาได้

สารละลายบัฟเฟอร์มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อมีการเติมกรด เบส หรือน้ำลงไปเล็กน้อย ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบสสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้

## เวลาที่ใช้

### บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ

30 ชั่วโมง

|  |            |
|--|------------|
| 10.1 ทฤษฎีกรด-เบส                          | 2 ชั่วโมง  |
| 10.2 คู่กรด-เบส                            | 1 ชั่วโมง  |
| 10.3 การแตกตัวของกรด เบส และน้ำ            | 4 ชั่วโมง  |
| 10.4 สมบัติกรด-เบสของเกลือ                 | 2 ชั่วโมง  |
| 10.5 pH ของสารละลายกรดและเบส               | 4 ชั่วโมง  |
| 10.6 ปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดและเบส         | 2 ชั่วโมง  |
| 10.7 การไทเทรตกรด-เบส                      | 10 ชั่วโมง |
| 10.8 สารละลายบัฟเฟอร์                      | 3 ชั่วโมง  |
| 10.9 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส | 2 ชั่วโมง  |

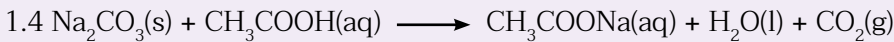
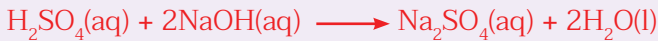
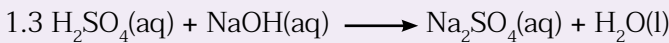
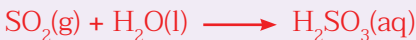
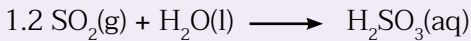
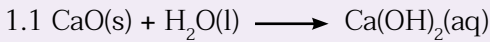
## ความรู้ก่อนเรียน

การดุลสมการเคมี สมบัติเบื้องต้นของกรด-เบส สารประกอบไอออนิก ปริมาณสัมพันธ์ ค่าคงที่สมดุล



### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

#### 1. ดุลสมการเคมีต่อไปนี้



#### 2. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และใส่เครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

...✓... 2.1 สารละลายที่มี pH 3.5 เป็นสารละลายกรด

...✓... 2.2 เมื่อนำน้ำทะเลไปทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสพบว่าเปลี่ยนจากสีแดงเป็นน้ำเงินแสดงว่าน้ำทะเลเป็นเบส

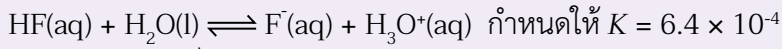
...✓... 2.3 สารละลาย NaCl มีสมบัติเป็นกลางและมี pH 7

...✓... 2.4  $\text{MgSO}_4$  เมื่อละลายน้ำแตกตัวได้  $\text{Mg}^{2+}$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$

...✗... 2.5  $\text{CaCl}_2$  1 โมล เมื่อละลายน้ำ แตกตัวให้  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Cl}^-$  อย่างละ 1 โมล  
 $\text{CaCl}_2$  1 โมล เมื่อละลายน้ำ แตกตัวให้  $\text{Ca}^{2+}$  1 โมล และ  $\text{Cl}^-$  2 โมล

...✗... 2.6 HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 150 mL มี HCl 1.50 mol  
 HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 150 mL มี HCl 0.15 mol

## 3. พิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้



3.1 เขียนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาในรูปอัตราส่วนความเข้มข้นของสาร

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]}$$

3.2 ถ้าที่สมดุลมีความเข้มข้นของ HF 0.10 mol/L และความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  เท่ากับ  $\text{F}^-$  จงคำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$ สมมติ ที่สมดุลมีความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{F}^-$  ชนิดละ  $x$  mol/L

$$\text{จากสมการ} \quad K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]}$$

$$\text{แทนค่า} \quad 6.4 \times 10^{-4} = \frac{(x)(x)}{0.10}$$

$$x = 8.0 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  เท่ากับ  $8.0 \times 10^{-3}$  mol/L



## 10.1 ทฤษฎีกรด-เบส

### จุดประสงค์การเรียนรู้

ระบุและอธิบายว่าสารเป็นกรดหรือเบส โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี และลิวอิส

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน  | ความเข้าใจที่ถูกต้อง  |
|--|---|
| สารที่มี H ในสูตรโมเลกุลเป็นกรด                                | สารที่มี H ในสูตรโมเลกุลบางชนิดไม่เป็นกรด เช่น $\text{CH}_4$ เป็นกลาง $\text{NH}_3$ เป็นเบส                         |
| สารที่มี $\text{OH}^-$ ในสูตรโครงสร้างเป็นเบส                  | สารที่มี $\text{OH}^-$ ในสูตรโครงสร้างบางชนิดไม่เป็นเบส เช่น $\text{CH}_3\text{COOH}$ เป็นกรด                       |
| กรดทุกชนิดให้ $\text{H}^+$                                     | กรดบางชนิดไม่ได้ให้ $\text{H}^+$ ขึ้นอยู่กับนิยามที่ใช้ในการพิจารณา เช่น $\text{BF}_3$ เป็นกรดตามทฤษฎีกรด-เบสลิวอิส |
| $\text{H}^+$ และ $\text{H}_3\text{O}^+$ ในน้ำแทนสารต่างชนิดกัน | $\text{H}^+$ และ $\text{H}_3\text{O}^+$ ในน้ำใช้แทนกันได้   |

### แนวการจัดการเรียนรู้

- ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างสารในชีวิตประจำวันที่มีสมบัติเป็นกรด เช่น น้ำมะนาว น้ำส้มสายชู น้ำอัดลม จากนั้นร่วมกันสรุปเกี่ยวกับสมบัติของกรดตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
- ครูให้ความรู้เกี่ยวกับกรดทวิภาคและกรดออกซีตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
- ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างสารในชีวิตประจำวันที่มีสมบัติเป็นเบส เช่น แอมโมเนีย โซดาไฟ ปูนขาว จากนั้นร่วมกันสรุปเกี่ยวกับสมบัติของเบสตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
- ครูใช้คำถามว่า นอกจากสมบัติข้างต้นแล้ว การระบุว่าเป็นกรดหรือเบสพิจารณาได้อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่ทฤษฎีกรด-เบส
- ครูให้นิยามของกรดและเบสตามทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียส จากนั้นให้นักเรียนอธิบายว่าเพราะเหตุใด  $\text{HCl}$  และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  จึงเป็นกรด ส่วน  $\text{NaOH}$  และ  $\text{Ca(OH)}_2$  จึงเป็นเบส จากนั้นให้นักเรียนยกตัวอย่างสารที่เป็นกรดและเบสตามทฤษฎีนี้
- ครูให้ความรู้ว่า ไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) รวมตัวกับน้ำเกิดเป็นไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีในน้ำจึงเขียน  $\text{H}^+$  และ  $\text{H}_3\text{O}^+$  แทนกันได้ และให้ข้อสังเกตว่าในสมการเคมีที่มี  $\text{H}_3\text{O}^+$  เป็นผลิตภัณฑ์ จะมี  $\text{H}_2\text{O}$  เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาด้วย
- ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

จงเติมข้อมูลในช่องว่างให้สมบูรณ์

| สมการเคมี   | กรด/เบส |
|---|---------|
| $\text{HClO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{ClO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$  | กรด     |
| $\text{LiOH}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Li}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$  | เบส     |
| $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{HSO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ | กรด     |
| $\text{Sr}(\text{OH})_2(\text{aq}) \longrightarrow \text{Sr}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$                                       | เบส     |
| $\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$           | กรด     |

8. ครุยยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊ส HCl และ  $\text{NH}_3$  แล้วให้นักเรียนระบุว่าสารใดเป็นกรดหรือเบสตามทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียส เพราะเหตุใด ซึ่งควรได้คำตอบว่า ไม่สามารถระบุได้เนื่องจากปฏิกิริยานี้ไม่ได้เกิดขึ้นในน้ำ และไม่มี  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{OH}^-$  เกิดขึ้น เพื่อนำเข้าสู่การอธิบายทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี

9. ครูให้นิยามของกรดและเบสตามทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี จากนั้นให้นักเรียนใช้ทฤษฎีดังกล่าวระบุว่าในปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊ส HCl และ  $\text{NH}_3$  สารใดเป็นกรด สารใดเป็นเบส ซึ่งควรได้คำตอบว่า แก๊ส HCl เป็นกรดเพราะให้โปรตอน ส่วนแก๊ส  $\text{NH}_3$  เป็นเบสเพราะรับโปรตอน

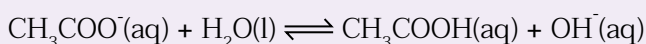
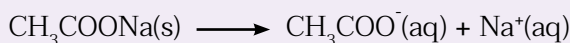
10. ครูให้นักเรียนศึกษาปฏิกิริยาของแก๊ส HCl และแก๊ส  $\text{NH}_3$  กับน้ำ แล้วอภิปรายร่วมกันเพื่อระบุสมบัติความเป็นกรด-เบสของสารทั้งสองชนิดโดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า แก๊ส HCl เป็นกรดเพราะให้โปรตอนแก่ น้ำ ส่วนแก๊ส  $\text{NH}_3$  เป็นเบสเพราะรับโปรตอนจากน้ำ ซึ่งความเป็นกรด-เบสของสารทั้งสองนี้สอดคล้องกับทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียส

11. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

พิจารณาปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้



ตามทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี สารละลายโซเดียมแอสีเตต ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) มีสมบัติเป็นกรดหรือเบส เพราะเหตุใด

ตามทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี สารละลาย  $\text{CH}_3\text{COONa}$  เป็นเบส เพราะ  $\text{CH}_3\text{COO}^{\text{-}}$  สามารถรับโปรตอนจากน้ำ

13. ครูให้นิยามกรดและเบสตามทฤษฎีกรด-เบสลิวอิส จากนั้นอธิบายการถ่ายโอนคู่อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) กับโบรอนไตรฟลูออไรด์ ( $\text{BF}_3$ ) ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า  $\text{NH}_3$  เป็นเบส เพราะให้คู่อิเล็กตรอน และ  $\text{BF}_3$  เป็นกรดเพราะรับคู่อิเล็กตรอน



## ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

$\text{BF}_3$  สามารถรับคู่อิเล็กตรอนจาก  $\text{NH}_3$  เพราะ  $\text{BF}_3$  เป็นโมเลกุลที่อิเล็กตรอนไม่ครบกฎออกเตต

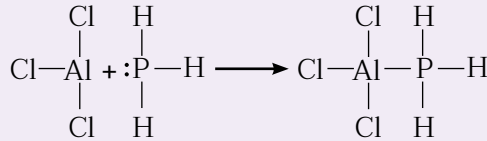
14. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

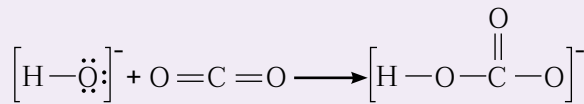
พิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้ พร้อมระบุว่าสารใดเป็นกรดและสารใดเป็นเบสตามทฤษฎีกรด-เบสลิวิต

1.



ในปฏิกิริยานี้  $\text{PH}_3$  ใช้คู่อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวในการเกิดพันธะเคมีร่วมกับ  $\text{AlCl}_3$  ดังนั้นจึงถือว่า  $\text{PH}_3$  ให้คู่อิเล็กตรอน ทำหน้าที่เป็นเบส ส่วน  $\text{AlCl}_3$  รับคู่อิเล็กตรอน ทำหน้าที่เป็นกรดตามทฤษฎีกรด-เบสลิวิต

2.



ในปฏิกิริยานี้  $\text{OH}^-$  ใช้คู่อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวในการเกิดพันธะเคมีร่วมกับ  $\text{CO}_2$  ดังนั้นจึงถือว่า  $\text{OH}^-$  ให้คู่อิเล็กตรอน ทำหน้าที่เป็นเบส ส่วน  $\text{CO}_2$  รับคู่อิเล็กตรอน ทำหน้าที่เป็นกรดตามทฤษฎีกรด-เบสลิวิต

15. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.1 เพื่อทบทวนความรู้

## แนวทางการวัดและประเมินผล

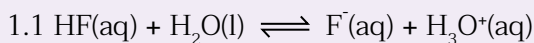
1. ความรู้เกี่ยวกับการพิจารณาว่าสารใดเป็นกรดหรือเบสตามทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี และลิวิต จากการทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการตอบคำถามและการอภิปราย
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้างและการใช้วิจารณญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย



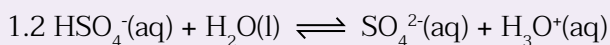
## แบบฝึกหัด 10.1

พิจารณาปฏิกิริยาไปข้างหน้าและตอบคำถามต่อไปนี้

1. สารตั้งต้นใดเป็นกรดตามทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียส



HF

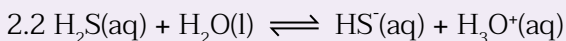


$\text{HSO}_4^{\text{-}}$

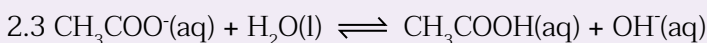
2. สารตั้งต้นใดเป็นเบสตามทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี



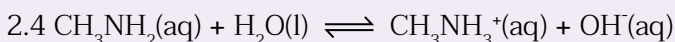
$\text{CN}^{\text{-}}$



$\text{H}_2\text{O}$

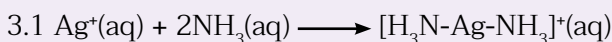


$\text{CH}_3\text{COO}^{\text{-}}$

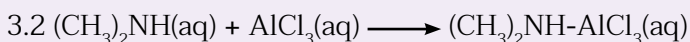


$\text{CH}_3\text{NH}_2$

3. สารตั้งต้นใดเป็นกรดตามทฤษฎีกรด-เบสลิวอิส



$\text{Ag}^+$



$\text{AlCl}_3$

## 10.2 คู่กรด-เบส

### จุดประสงค์การเรียนรู้

ระบุคู่กรด-เบสของสารตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน                        | ความเข้าใจที่ถูกต้อง  |
|--|---|
| สารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยากันเป็นคู่กรด-เบสกัน | คู่กรด-เบสเป็นคู่ของสารตั้งต้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตอนต่างกัน 1 โปรตอน |

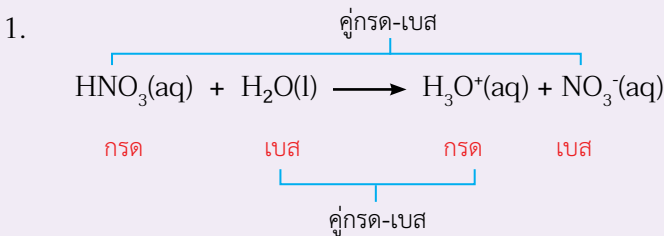
### แนวการจัดการเรียนรู้

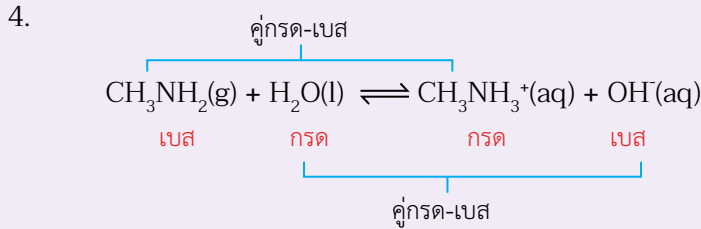
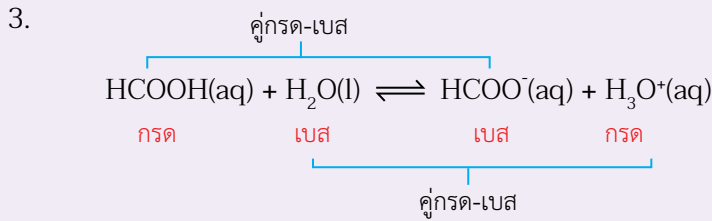
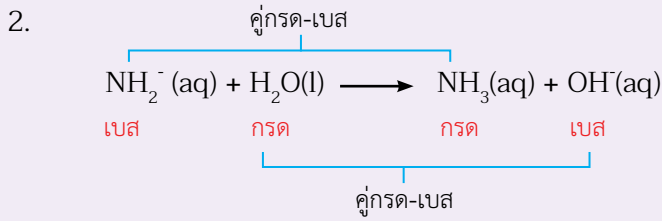
1. ครูยกตัวอย่างปฏิกิริยาของกรดไฮโดรฟลูออริกในน้ำ แล้วให้นักเรียนระบุว่าสารตั้งต้นแต่ละชนิดเป็นกรดหรือเบสตามทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี ซึ่งควรได้คำตอบว่า HF เป็นกรดและ  $\text{H}_2\text{O}$  เป็นเบส จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาปฏิกิริยาย้อนกลับและระบุความเป็นกรด-เบสของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{F}^-$  ซึ่งควรได้คำตอบว่า  $\text{H}_3\text{O}^+$  เป็นกรด และ  $\text{F}^-$  เป็นเบส
2. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับความหมายของคู่กรด-เบสโดยใช้ตัวอย่าง  $\text{F}^-$  ซึ่งเป็นคู่เบสของกรด HF จากนั้นใช้คำถามว่า สารใดเป็นคู่กรดของ  $\text{H}_2\text{O}$  ซึ่งควรได้คำตอบว่า  $\text{H}_3\text{O}^+$
3. ครูยกตัวอย่างคู่กรด-เบสของปฏิกิริยาอื่นตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

ระบุคู่กรด-เบสของสารในปฏิกิริยาต่อไปนี้





5. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการระบุคู่กรด-เบสของสารที่สามารถให้หรือรับโปรตอนได้มากกว่า 1 โปรตอนต่อ 1 โมเลกุล โดยใช้ตัวอย่างในหนังสือเรียน จากนั้นครูใช้คำถามว่า สารที่เป็นคู่กรด-เบสกัน มีโปรตอนต่างกันกี่โปรตอน แล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายจากตัวอย่างปฏิกิริยาที่ศึกษา มา ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า สารที่เป็นคู่กรด-เบสกันมีจำนวนโปรตอนต่างกัน 1 โปรตอน

6. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

จากตัวอย่างปฏิกิริยาการแตกตัวของ  $\text{H}_3\text{PO}_4$  และ  $\text{S}^{2-}$  ในน้ำ จงระบุคู่กรดและคู่เบสของสารต่อไปนี้

| คู่กรด                  | สาร                       | คู่เบส                    |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| -                       | $\text{H}_3\text{PO}_4$   | $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ |
| $\text{H}_3\text{PO}_4$ | $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ | $\text{HPO}_4^{2-}$       |
| -                       | $\text{H}_2\text{S}$      | $\text{HS}^-$             |
| $\text{H}_2\text{S}$    | $\text{HS}^-$             | $\text{S}^{2-}$           |

7. ครูอธิบายความหมายของสารแอมโฟเทอริกพร้อมยกตัวอย่างตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามชวนคิด



### ชวนคิด

จากตัวอย่างปฏิกิริยาการแตกตัวของ  $\text{H}_3\text{PO}_4$  และ  $\text{S}^{2-}$  ในน้ำ นอกจาก  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  และ  $\text{HS}^-$  แล้ว ยังมีสารใดที่เป็นสารแอมโฟเทอริก

สารแอมโฟเทอริกคือ  $\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{HPO}_4^{2-}$

8. ครูอธิบายการเขียนสมการเคมีแสดงการแตกตัวของสารแอมโฟเทอริกในน้ำ โดยใช้ปฏิกิริยาของ  $\text{HCO}_3^-$  ในน้ำ ตามตัวอย่าง 1 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.2 เพื่อทบทวนความรู้



**แนวทางการวัดและประเมินผล**

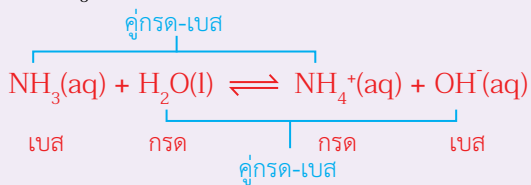
1. ความรู้เกี่ยวกับการพิจารณาคู่กรด-เบสของสารตามทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรีจากการอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการอภิปราย
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้างและการใช้วิจารณญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย



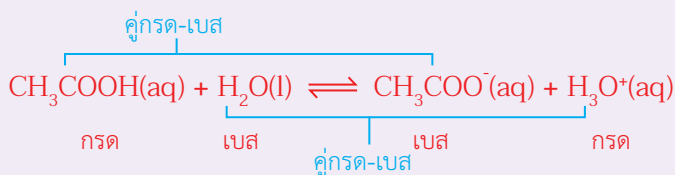
**แบบฝึกหัด 10.2**

1. เขียนสมการเคมีและแผนภาพแสดงคู่กรด-เบสของสารต่อไปนี้ในน้ำ

1.1 แอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>)



1.2 กรดแอสिटิก (CH<sub>3</sub>COOH)



2. เขียนคู่เบสของสารต่อไปนี้

2.1 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> คู่เบสคือ HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>

2.2 HC<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>-</sup> คู่เบสคือ C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>

2.3 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> คู่เบสคือ NH<sub>3</sub>

2.4 H<sub>2</sub>O คู่เบสคือ OH<sup>-</sup>

3. จงเขียนคู่กรดของสารต่อไปนี้

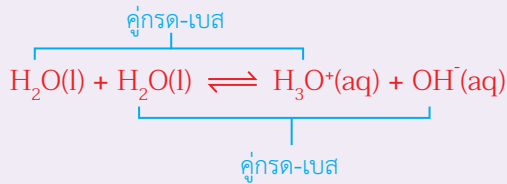
3.1 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> คู่กรดคือ HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>

3.2 NH<sub>3</sub> คู่กรดคือ NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

3.3 H<sub>2</sub>O คู่กรดคือ H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>

3.4 CN<sup>-</sup> คู่กรดคือ HCN

4. เขียนสมการเคมีแสดงการแตกตัวของน้ำ เพื่อแสดงว่าน้ำเป็นสารแอมโฟเทอริกพร้อมทั้งระบุคู่กรดและคู่เบส



### 10.3 การแตกตัวของกรด เบส และน้ำ

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายและระบุว่าสารเป็นกรดแก่ เบสแก่ กรดอ่อน และเบสอ่อน
2. คำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน ร้อยละการแตกตัว และค่าคงที่การแตกตัวของกรดและเบส
3. เปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดและเบส

#### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูทบทวนความรู้เดิมว่า กรดและเบสส่วนใหญ่แตกตัวได้ในน้ำ โดยแสดงสมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $\text{HCl}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$   $\text{NH}_3$  และ  $\text{NaOH}$  แล้วชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวเป็นไอออนทำให้สารละลายนำไฟฟ้าได้
2. ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 10.1 ซึ่งแสดงความสว่างของหลอดไฟที่ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน จากนั้นครูใช้คำถามนำอภิปรายว่า กรดและเบสแต่ละชนิดแตกตัวเป็นไอออนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า กรดและเบสแต่ละชนิดแตกตัวเป็นไอออนได้ไม่เท่ากัน โดย  $\text{HCl}$  แตกตัวได้ดีกว่า  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{NaOH}$  แตกตัวได้ดีกว่า  $\text{NH}_3$
3. ครูทบทวนว่ากรดมี pH น้อยกว่า 7 ส่วนเบสมี pH มากกว่า 7 จากนั้นให้ความรู้ว่า ความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบสสัมพันธ์กับค่า pH โดยสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน กรดที่แตกตัวได้ดีกว่ามี pH ต่ำกว่า และเบสที่แตกตัวได้ดีกว่ามี pH สูงกว่า
4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



ตรวจสอบความเข้าใจ

เรียงลำดับสารละลายในรูป 10.1 ที่มีค่า pH จากน้อยไปหามาก



5. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการแตกตัวของกรดแก่ โดยเขียนสมการเคมีแสดงการแตกตัวของกรด HX ในน้ำ พร้อมใช้รูป 10.2 ประกอบการอธิบายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

6. ครูอธิบายว่า เบสแก่แตกตัวเป็นไอออนในน้ำได้สมบูรณ์เช่นเดียวกับกรดแก่ จากนั้นยกตัวอย่างการแตกตัวของเบสแก่ NaOH ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

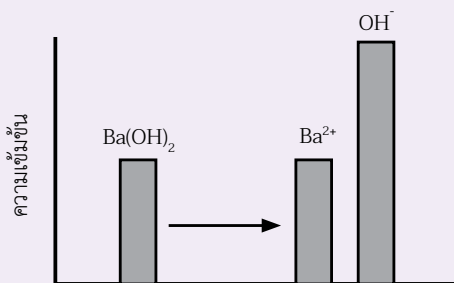
7. ครูให้นักเรียนเขียนสมการการแตกตัวของ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ซึ่งเป็นเบสแก่ จากนั้นกำหนดความเข้มข้นของ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  แล้วให้นักเรียนระบุความเข้มข้นของ  $\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{OH}^-$  ซึ่งควรได้คำตอบว่า  $\text{Ba}^{2+}$  มีความเข้มข้นเท่ากับ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ส่วน  $\text{OH}^-$  มีความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$

8. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนแผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและการแตกตัวของสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ) ในลักษณะเดียวกับรูป 10.2



9. ครูให้นักเรียนพิจารณาตัวอย่างกรดแก่และเบสแก่ตามตาราง 10.1 ว่าสูตรเคมีมีความเชื่อมโยงกันอย่างไร ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่าในตาราง 10.1 กรดแก่ ได้แก่ กรดทวิภาคของธาตุแฮโลเจน ยกเว้น HF และกรดออกซี ได้แก่  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  ส่วนเบสแก่ส่วนใหญ่เป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะหมู่ IA และ IIA ยกเว้น  $\text{Mg}(\text{OH})_2$

10. ครูอธิบายวิธีการคำนวณความเข้มข้นของไอออนในสารละลายกรดแก่และเบสแก่ โดยใช้ตัวอย่าง 2 และ 3 ในหนังสือเรียน

11. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. สารละลายกรดไฮโดรไอโอดิก (HI) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร มีไอโอดีนไอออน ( $I^-$ ) เข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร จะมีไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) กี่โมล

สมการเคมีแสดงการแตกตัวเป็นไอออนของสารละลาย HI ซึ่งเป็นกรดแก่ เป็นดังนี้



คำนวณจำนวนโมลของ  $H_3O^+$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } H_3O^+ &= \frac{0.2 \cancel{\text{ mol } I^-}}{1000 \cancel{\text{ mL sol}^n}} \times 500 \cancel{\text{ mL sol}^n} \times \frac{1 \text{ mol } H_3O^+}{1 \cancel{\text{ mol } I^-}} \\ &= 0.1 \text{ mol } H_3O^+ \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายกรดไฮโดรไอโอดิกมีไฮโดรเนียมไอออน 0.1 โมล

2. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ในสารละลายเท่ากับ 0.50 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250.00 มิลลิลิตร จะต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กี่กรัม

สมการเคมีแสดงการแตกตัวเป็นไอออนของสารละลาย KOH ซึ่งเป็นเบสแก่ เป็นดังนี้



คำนวณมวลของ KOH ที่ต้องใช้

$$\begin{aligned} \text{มวล KOH} &= \frac{0.50 \cancel{\text{ mol } OH^-}}{1000 \cancel{\text{ mL sol}^n}} \times 250.00 \cancel{\text{ mL sol}^n} \times \frac{1 \text{ mol KOH}}{1 \cancel{\text{ mol } OH^-}} \times \frac{56.11 \text{ g KOH}}{1 \cancel{\text{ mol KOH}}} \\ &= 7.0 \text{ g KOH} \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มวล 7.0 กรัม

12. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการแตกตัวของกรดอ่อน โดยเขียนสมการเคมีแสดงการแตกตัวของกรดอ่อน HA ในน้ำ พร้อมใช้รูป 10.3 ประกอบการอธิบายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

13. ครูให้นักเรียนศึกษาการคำนวณร้อยละการแตกตัวของกรดอ่อน จากตัวอย่าง 4 ในหนังสือเรียน

14. ครูเขียนสมการเคมีแสดงการแตกตัวของกรดอ่อน HA ในน้ำ แล้วตรวจสอบความรู้เดิมเรื่องค่าคงที่สมดุล โดยให้นักเรียนเขียนสมการแสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา ซึ่งควรได้คำตอบว่า

$$K = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$$

จากนั้นครูให้ความรู้ว่าคุณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้ เรียกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของกรดและมีสัญลักษณ์เป็น  $K_a$

15. ครูให้นักเรียนพิจารณาค่า  $K_a$  ในตาราง 10.2 จากนั้นให้ความรู้ว่าการแตกตัวของกรดแต่ละชนิดมีค่า  $K_a$  ไม่เท่ากัน จึงแตกตัวได้ไม่เท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่ากรดมีความแรงไม่เท่ากัน โดยกรดที่มีค่า  $K_a$  มากกว่าจะแตกตัวได้มากกว่าและเป็นกรดที่แรงกว่า

16. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

สารละลายกรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) 1 โมลต่อลิตร ที่สมดุลมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) เท่ากับ 2 โมลต่อลิตร ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

ไม่ใช่ เพราะค่าคงที่การแตกตัวของกรดในขั้นที่ 2 ( $K_{a2}$ ) น้อยกว่า 1 มาก ดังนั้นความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  ที่เกิดขึ้นในขั้นนี้จึงน้อยกว่า 1 mol/L แต่เนื่องจากความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  ที่ได้จากการแตกตัวในขั้นที่ 1 เป็น 1 mol/L ดังนั้นที่สมดุลมีความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  มากกว่า 1 mol/L แต่ไม่ถึง 2 mol/L

17. ครูอธิบายการคำนวณความเข้มข้นของไอออนแต่ละชนิดในสารละลายกรดอ่อน โดยใช้ตัวอย่าง 5 ในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนคำนวณค่า  $\frac{C}{K}$  ของตัวอย่าง 5 ซึ่งควรได้คำตอบว่าค่า  $\frac{C}{K}$  เป็น  $2.8 \times 10^4$  แล้วให้ความรู้เกี่ยวกับวิธีการประมาณที่สามารถใช้ในการคำนวณตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

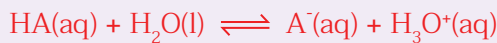
18. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

สารละลายกรดอ่อน HA  $1.00 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร มีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) เท่าใด กำหนดให้ค่าคงที่การแตกตัวของกรดนี้เท่ากับ  $1.00 \times 10^{-5}$

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ HA เป็นดังนี้



กำหนดให้  $\Delta[\text{HA}] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{HA}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{A}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | $1.00 \times 10^{-3}$  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $(1.00 \times 10^{-3}) - x$  | - | x  | x  |

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$$

แทนค่า  $1.00 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{(1.00 \times 10^{-3}) - x}$

$$(1.00 \times 10^{-3} \times 1.00 \times 10^{-5}) - (1.00 \times 10^{-5})x = x^2$$

$$x^2 + (1.00 \times 10^{-5})x - 1.00 \times 10^{-8} = 0$$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{1.00 \times 10^{-3}}{1.00 \times 10^{-5}} = 1.00 \times 10^2$  ซึ่งน้อยกว่า 1000 จึงไม่สามารถใช้การประมาณค่าได้ ซึ่งสามารถคำนวณค่า  $x$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{(-1.00 \times 10^{-5}) \pm \sqrt{(1.00 \times 10^{-5})^2 - 4(1)(-1.00 \times 10^{-8})}}{2(1)} \\ &= \frac{(-1.00 \times 10^{-5}) \pm (2.00 \times 10^{-4})}{2} \\ &= 9.50 \times 10^{-5} \text{ และ } -1.05 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่า  $x$  เท่ากับ  $-1.05 \times 10^{-4}$  จะทำให้  $[\text{HA}]$  มากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น ในสารละลายกรดอ่อน HA มีไฮโดรเนียมไอออนเข้มข้น  $9.50 \times 10^{-5}$  โมลต่อลิตร

19. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการแตกตัวของเบสอ่อน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นครูอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การแตกตัวของเบส ( $K_b$ ) ของ  $\text{NH}_3$  กับความเข้มข้นของสารในสารละลาย

20. ครูให้นักเรียนพิจารณาค่า  $K_b$  ในตาราง 10.3 แล้วเรียงลำดับความแรงของเบส ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า เบสที่แรงกว่าจะมีค่า  $K_b$  มากกว่า

21. ครูให้ความรู้ที่ค่า  $K_b$  หรือร้อยละการแตกตัวสามารถใช้คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  ในสารละลายเบสอ่อนได้ จากนั้นอธิบายการคำนวณความเข้มข้นของไอออนแต่ละชนิดในสารละลายเบสอ่อน โดยใช้ตัวอย่าง 6 ในหนังสือเรียน

22. ครูให้ความรู้ที่ค่าคงที่การแตกตัวของกรดและเบสเป็นค่าเฉพาะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นที่ใช้ในการเปรียบเทียบความแรงของกรดและเบสได้ ในขณะที่ร้อยละการแตกตัวของกรดและเบสเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้น

23. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.1 ร้อยละการแตกตัวของกรดและเบส แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรมโดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม



### กิจกรรม 10.1 ร้อยละการแตกตัวของกรดและเบส

#### จุดประสงค์ของกิจกรรม

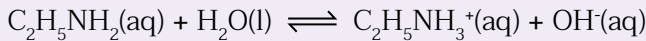
1. คำนวณและเปรียบเทียบร้อยละการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนในสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน
2. คำนวณและเปรียบเทียบร้อยละการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนในสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

|            |                      |    |      |
|------------|----------------------|----|------|
| เวลาที่ใช้ | อภิปรายก่อนทำกิจกรรม | 5  | นาที |
|            | ทำกิจกรรม            | 20 | นาที |
|            | อภิปรายหลังทำกิจกรรม | 5  | นาที |
|            | รวม                  | 30 | นาที |

#### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูอาจทบทวนวิธีการหาร้อยละการแตกตัวจากค่าคงที่การแตกตัวของกรดหรือเบส

## ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมตอนที่ 1

ร้อยละการแตกตัวของ  $C_2H_5NH_2$ ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $OH^-$ สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $C_2H_5NH_2$  เป็นดังนี้กำหนดให้  $\Delta[C_2H_5NH_2] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $C_2H_5NH_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+(aq) + OH^-(aq)$ |   |    |    |
|---------------------|---|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.50  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x  | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.50 - x$  | - | x  | x  |

จากตาราง 10.3 ค่า  $K_b$  ของ  $C_2H_5NH_2$  เท่ากับ  $4.47 \times 10^{-4}$ 

$$K_b = \frac{[C_2H_5NH_3^+][OH^-]}{[C_2H_5NH_2]}$$

แทนค่า  $4.47 \times 10^{-4} = \frac{(x)(x)}{0.50 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.50}{4.47 \times 10^{-4}} = 1.1 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.50 - x \approx 0.50$ 

$$x^2 = 4.47 \times 10^{-4} \times 0.50$$

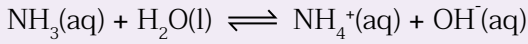
$$x = 1.5 \times 10^{-2}$$

ดังนั้น สารละลายเอทิลเอมีนมีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน  $1.5 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตรขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $C_2H_5NH_2$ 

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } C_2H_5NH_2 &= \frac{1.5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}}{0.50 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 3.0 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของเอทิลเอมีนเท่ากับ 3.0



**ร้อยละการแตกตัวของ  $\text{NH}_3$** **ขั้นที่ 1** คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$ สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $\text{NH}_3$  เป็นดังนี้กำหนดให้  $\Delta[\text{NH}_3] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{NH}_3(\text{aq})$ | $+$ | $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | $\rightleftharpoons$ | $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ | $+$ | $\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|---------------------|--------------------------|-----|--------------------------------|----------------------|----------------------------|-----|--------------------------|
| เริ่มต้น            | 0.50                     |     | -                              |                      | 0                          |     | 0                        |
| เปลี่ยนไป           | -x                       |     | -                              |                      | +x                         |     | +x                       |
| สมดุล               | $0.50 - x$               |     | -                              |                      | x                          |     | x                        |

จากตาราง 10.3 ค่า  $K_b$  ของ  $\text{NH}_3$  เท่ากับ  $1.80 \times 10^{-5}$ 

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

แทนค่า  $1.80 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{0.50 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.50}{1.80 \times 10^{-5}} = 2.8 \times 10^4$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้จึงถือว่า  $0.50 - x \approx 0.50$ 

$$x^2 = 1.80 \times 10^{-5} \times 0.50$$

$$x = 3.0 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น สารละลายแอมโมเนียมีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน  $3.0 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร**ขั้นที่ 2** คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $\text{NH}_3$ 

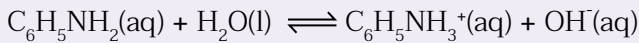
$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } \text{NH}_3 &= \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{0.50 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 0.60 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของแอมโมเนียเท่ากับ 0.60

### ร้อยละการแตกตัวของ $C_6H_5NH_2$

ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $OH^-$

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $C_6H_5NH_2$  เป็นดังนี้



กำหนดให้  $\Delta[C_6H_5NH_2] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $C_6H_5NH_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons C_6H_5NH_3^+(aq) + OH^-(aq)$ |   |    |    |
|---------------------|---|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.50  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x  | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.50 - x$  | - | x  | x  |

จากตาราง 10.3 ค่า  $K_b$  ของ  $C_6H_5NH_2$  เท่ากับ  $7.41 \times 10^{-10}$

$$K_b = \frac{[C_6H_5NH_3^+][OH^-]}{[C_6H_5NH_2]}$$

แทนค่า  $7.41 \times 10^{-10} = \frac{(x)(x)}{0.50 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.50}{7.41 \times 10^{-10}} = 6.7 \times 10^8$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.50 - x \approx 0.50$

$$x^2 = 7.41 \times 10^{-10} \times 0.50$$

$$x = 1.9 \times 10^{-5}$$

ดังนั้น สารละลายฟีนิลเอมีนมีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน  $1.9 \times 10^{-5}$  โมลต่อลิตร

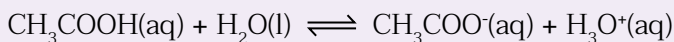
ขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $C_6H_5NH_2$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } C_6H_5NH_2 &= \frac{1.9 \times 10^{-5} \text{ mol/L}}{0.50 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 3.8 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของฟีนิลเอมีนเท่ากับ  $3.8 \times 10^{-3}$

**ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมตอนที่ 2 ข้อ 1**

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เป็นดังนี้



จากตาราง 10.2 ค่า  $K_a$  ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เท่ากับ  $1.80 \times 10^{-5}$

กำหนดให้  $\Delta[\text{CH}_3\text{COOH}] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งการคำนวณร้อยละการแตกตัว เป็นดังนี้

**ร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในสารละลายเข้มข้น  $0.050 \text{ mol/L}$**

**ขั้นที่ 1** คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.050  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.050 - x$  | - | x  | x  |

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

แทนค่า  $1.80 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{0.050 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.050}{1.80 \times 10^{-5}} = 2.8 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.050 - x \approx 0.050$

$$x^2 = 1.80 \times 10^{-5} \times 0.050$$

$$x = 9.5 \times 10^{-4}$$

ดังนั้น สารละลายกรดแอสिटิกมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน  $9.5 \times 10^{-4}$  โมลต่อลิตร

**ขั้นที่ 2** คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } \text{CH}_3\text{COOH} &= \frac{9.5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}}{0.050 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 1.9 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของกรดแอสिटิกในสารละลายเข้มข้น  $0.050$  โมลต่อลิตร เท่ากับ 1.9

ร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในสารละลายเข้มข้น  $0.10 \text{ mol/L}$   
 ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{CH}_3\text{COOH(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.10   | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.10 - x$   | - | x  | x  |

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

แทนค่า  $1.80 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{0.10 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.10}{1.80 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.10 - x \approx 0.10$

$$x^2 = 1.80 \times 10^{-5} \times 0.10$$

$$x = 1.3 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น สารละลายกรดแอสिटิกมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน  $1.3 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร  
 ขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } \text{CH}_3\text{COOH} &= \frac{1.3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{0.10 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 1.3 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของกรดแอสिटิกในสารละลายเข้มข้น  $0.10$  โมลต่อลิตร เท่ากับ 1.3

ร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในสารละลายเข้มข้น  $0.50 \text{ mol/L}$   
 ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.50   | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.50 - x$   | - | x  | x  |

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

แทนค่า  $1.80 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{0.50 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.50}{1.80 \times 10^{-5}} = 2.8 \times 10^4$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้  
 จึงถือว่า  $0.50 - x \approx 0.50$

$$x^2 = 1.80 \times 10^{-5} \times 0.50$$

$$x = 3.0 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น สารละลายกรดแอซีติกมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน  $3.0 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร  
 ขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } \text{CH}_3\text{COOH} &= \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{0.50 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 0.60 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของกรดแอซีติกในสารละลายเข้มข้น  $0.50$  โมลต่อลิตร เท่ากับ  $0.60$

ร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในสารละลายเข้มข้น  $1.0 \text{ mol/L}$   
 ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 1.0  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $1.0 - x$  | - | x  | x  |

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

แทนค่า  $1.80 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{1.0 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{1.0}{1.80 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^4$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $1.0 - x \approx 1.0$

$$x^2 = 1.80 \times 10^{-5} \times 1.0$$

$$x = 4.2 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น สารละลายกรดแอสिटิกมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน  $4.2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

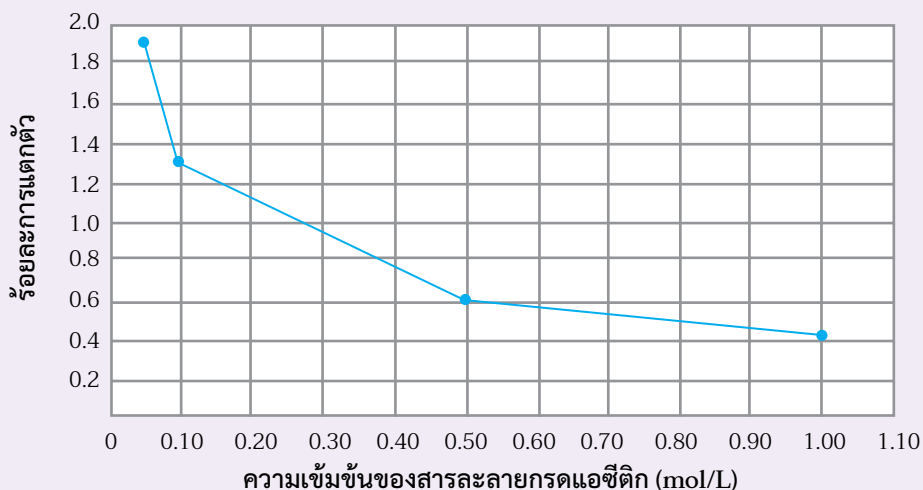
ขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } \text{CH}_3\text{COOH} &= \frac{4.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{1.0 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 0.42 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของกรดแอสिटิกในสารละลายเข้มข้น  $1.0$  โมลต่อลิตร เท่ากับ  $0.42$

### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมตอนที่ 2 ข้อ 2

จากการคำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.050, 0.10, 0.50 และ 1.0 mol/L ได้เท่ากับร้อยละ 1.9, 1.3, 0.60 และ 0.42 ตามลำดับซึ่งนำมาเขียนกราฟร้อยละการแตกตัวของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้



### อภิปรายผลการทำกิจกรรม

จากผลการคำนวณตอนที่ 1 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบสารละลายเบสที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ร้อยละการแตกตัวของเบสในสารละลายมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่า  $K_b$  คือเบสที่มีค่า  $K_b$  สูง มีร้อยละการแตกตัวสูงกว่าเบสที่มีค่า  $K_b$  ต่ำ และจากผลการคำนวณและกราฟที่ได้ในตอนที่ 2 พบว่า ร้อยละการแตกตัวของกรดลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น

### สรุปผลการทำกิจกรรม

ร้อยละการแตกตัวของเบสมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าคงที่การแตกตัวของเบส ในขณะที่ร้อยละการแตกตัวของกรดลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดเพิ่มขึ้น

24. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของร้อยละการแตกตัว ค่าคงที่การแตกตัว และความเข้มข้นของสารละลายกรดและเบสตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถาม ตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

สารละลายกรด HA 0.20 โมลต่อลิตร แตกตัวได้ร้อยละ 10 สารละลายกรด HB 0.020 โมลต่อลิตร แตกตัวได้ร้อยละ 20 HB เป็นกรดที่แรงกว่า HA ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด เนื่องจากกรดทั้งสองมีความเข้มข้นไม่เท่ากันต้องพิจารณาจากค่า  $K_a$  ซึ่งการคำนวณ ค่า  $K_a$  ของ HA และ HB เป็นดังนี้

#### ค่า $K_a$ ของ HA

**ขั้นที่ 1** คำนวณความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  และ  $A^-$  จากร้อยละการแตกตัวของ HA สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ HA เป็นดังนี้



กำหนดให้ ที่สมดุลมี  $[H_3O^+]$  และ  $[A^-]$  ชนิดละ  $x$  mol/L

$$\text{ร้อยละการแตกตัวของ HA} = \frac{[H_3O^+]}{[HA]} \times 100$$

$$10 = \frac{x}{0.20} \times 100$$

$$x = 0.020$$

ดังนั้น กรด HA แตกตัวให้  $H_3O^+$  และ  $A^-$  ชนิดละ 0.020 mol/L



การคำนวณความเข้มข้นของสารแสดงดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{HA(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightleftharpoons \text{A}^{\text{-}}(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ |   |        |       |
|---------------------|---|---|--------|-------|
| เริ่มต้น            | 0.20  | - | 0      | 0     |
| เปลี่ยนไป           | -0.020  | - | +0.020 | 0.020 |
| สมดุล               | $0.20 - 0.020 = 0.18$   | - | 0.020  | 0.020 |

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า  $K_a$  ของ HA

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \\ &= \frac{(0.020)(0.020)}{0.18} \\ &= 0.0022 \end{aligned}$$

ดังนั้น HA มีค่าคงที่การแตกตัวของกรด เท่ากับ 0.0022

ค่า  $K_a$  ของ HB

ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{B}^-$  จากร้อยละการแตกตัวของกรด HB สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ HB เป็นดังนี้



กำหนดให้ ที่สมดุลมี  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  และ  $[\text{B}^-]$  ชนิดละ  $y$  mol/L

$$\text{ร้อยละการแตกตัวของ HB} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HB}]} \times 100$$

$$20 = \frac{y}{0.020} \times 100$$

$$y = 0.0040$$

ดังนั้น กรด HB แตกตัวให้  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{B}^-$  ชนิดละ 0.0040 mol/L

การคำนวณความเข้มข้นของสารแสดงดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | HB(aq)                 | + H <sub>2</sub> O(l) ⇌ | B <sup>-</sup> (aq) | + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq) |
|---------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| เริ่มต้น            | 0.020                  | -                       | 0                   | 0                                    |
| เปลี่ยนไป           | -0.0040                | -                       | +0.0040             | +0.0040                              |
| สมดุล               | 0.020 - 0.0040 = 0.016 | -                       | 0.0040              | 0.0040                               |

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า  $K_a$  ของ HB

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{B}^-]}{[\text{HB}]} \\
 &= \frac{(0.0040)(0.0040)}{0.016} \\
 &= 0.0010
 \end{aligned}$$

ดังนั้น HB มีค่าคงที่การแตกตัวของกรด เท่ากับ 0.0010

เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่การแตกตัวของ HA และ HB พบว่า ค่าคงที่การแตกตัวของ HA มากกว่า แสดงว่า HA เป็นกรดที่แรงกว่า HB

25. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการแตกตัวของน้ำและค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

26. ครูอธิบายความสัมพันธ์ของ  $K_a$ ,  $K_b$  และ  $K_w$  และวิธีการคำนวณ  $K_a$  จาก  $K_b$  ของคู่เบส หรือ  $K_b$  จาก  $K_a$  ของคู่กรดตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

27. ครูให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลในตาราง 10.4 แล้วอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปให้ได้ว่า กรดที่มีค่า  $K_a$  สูงกว่าจะมีค่า  $K_b$  ของคู่เบสต่ำกว่า โดยยกตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่าง HCOOH และ CH<sub>3</sub>COOH

28. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.3 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการแตกตัวของกรดและเบส วิธีการคำนวณความเข้มข้นของไอออนต่าง ๆ ในสารละลายกรดและเบส ค่าคงที่การแตกตัวของกรดและเบส ร้อยละการแตกตัว และการเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส จากการอธิบาย การทำกิจกรรม การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ความรู้เกี่ยวกับการแตกตัวของน้ำ วิธีการคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำ และความสัมพันธ์ของค่าคงที่การแตกตัวของกรด ค่าคงที่การแตกตัวของเบส และค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ จากการอธิบาย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำกิจกรรม และการทำแบบฝึกหัด
4. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการทำกิจกรรมและการอธิบาย
5. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการทำแบบฝึกหัด
6. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม
7. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้างและการใช้วิจารณญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอธิบาย
8. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด



#### แบบฝึกหัด 10.3

1. ในการเตรียมสารละลายปริมาตร 100.0 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) 1.0 โมลต่อลิตร ต้องใช้แบเรียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ) กี่กรัม

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ในน้ำ เป็นดังนี้

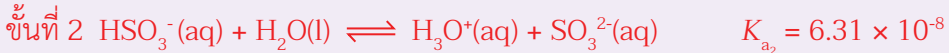
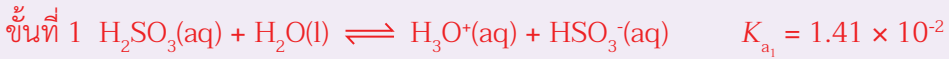


คำนวณมวลของ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ที่ต้องใช้

$$\begin{aligned} \text{มวล } \text{Ba}(\text{OH})_2 &= \frac{1.0 \text{ mol OH}^-}{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times 100.0 \text{ mL sol}^{\text{a}} \times \frac{1 \text{ mol Ba}(\text{OH})_2}{2 \text{ mol OH}^-} \times \frac{171.35 \text{ g Ba}(\text{OH})_2}{1 \text{ mol Ba}(\text{OH})_2} \\ &= 8.6 \text{ g Ba}(\text{OH})_2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใช้แบเรียมไฮดรอกไซด์ 8.6 กรัม

2. สารละลายกรดซัลฟิวรัส ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) มีค่าคงที่การแตกตัวของกรด 2 ค่า คือ  $K_{a_1} = 1.41 \times 10^{-2}$  และ  $K_{a_2} = 6.31 \times 10^{-8}$  จงเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนต่าง ๆ ในสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_3$  แยกตัวได้ 2 ชั้น ดังสมการเคมี



จากค่า  $K_{a_1}$  และ  $K_{a_2}$  บอกให้ทราบว่าขั้นที่ 1 แยกตัวเป็นไอออนได้มากกว่าขั้นที่ 2 และการแตกตัวทั้ง 2 ชั้น ทำให้เกิด  $\text{H}_3\text{O}^+$  ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนในสารละลายจะได้ดังนี้  $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{HSO}_3^-] > [\text{SO}_3^{2-}]$

3. สารละลายกรดไนทริก ( $\text{HNO}_2$ ) และกรดไฮโดรฟลูออริก ( $\text{HF}$ ) มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากัน สารละลายใดมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) มากกว่า เพราะเหตุใด จากตาราง 10.2  $\text{HNO}_2$  มีค่า  $K_a$  เท่ากับ  $5.62 \times 10^{-4}$  ซึ่งน้อยกว่าค่า  $K_a$  ของ  $\text{HF}$  ซึ่งเท่ากับ  $6.31 \times 10^{-4}$  และเนื่องจากกรดที่มีค่า  $K_a$  มากกว่าจะแตกตัวให้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ได้มากกว่า ดังนั้นในสารละลายของ  $\text{HF}$  จึงมีปริมาณ  $\text{H}_3\text{O}^+$  มากกว่า

4.  $\text{NaX}$  แยกตัวให้  $\text{X}^-$  ในจำนวนโมลเท่ากัน ซึ่ง  $\text{X}^-$  สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดังสมการเคมี

$$\text{X}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HX}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \quad K_b = 1.0 \times 10^{-4}$$

สารละลาย  $\text{NaX}$  2.0 โมลต่อลิตร มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) เท่าใด เนื่องจาก  $\text{NaX}$  แยกตัวให้  $\text{X}^-$  ในจำนวนโมลที่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นสารละลายจึงมีความเข้มข้นของ  $\text{X}^-$  เท่ากับ 2.0 mol/L ด้วย

กำหนดให้  $\Delta[\text{X}^-] = -x$  mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  ที่สมดุลได้ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{X}^-(\text{aq})$ | $+$ | $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | $\rightleftharpoons$ | $\text{HX}(\text{aq})$ | $+$ | $\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|---------------------|-------------------------|-----|--------------------------------|----------------------|------------------------|-----|--------------------------|
| เริ่มต้น            | 2.0                     | -   |                                |                      | 0                      |     | 0                        |
| เปลี่ยนไป           | -x                      | -   |                                |                      | +x                     |     | +x                       |
| สมดุล               | $2.0 - x$               | -   |                                |                      | x                      |     | x                        |

จาก 
$$K_b = \frac{[HX][OH^-]}{[X^-]}$$

แทนค่าจะได้ 
$$10 \times 10^{-4} = \frac{(x)(x)}{(2.0 - x)}$$

เนื่องจาก 
$$\frac{C}{K} = \frac{2.0}{1.0 \times 10^{-4}} = 2.0 \times 10^4$$
 ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $2.0 - x \approx 2.0$

$$x^2 = 2.0 \times 1.0 \times 10^{-4}$$

$$x = 1.4 \times 10^{-2}$$

ดังนั้น ในสารละลาย NaX มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน  $1.4 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร

5. สารละลายเมทิลเอมีน ( $CH_3NH_2$ ) 0.50 โมลต่อลิตร จะมีความเข้มข้นของเมทิลแอมโมเนียมไอออน ( $CH_3NH_3^+$ ) เท่าใด และร้อยละการแตกตัวของเมทิลเอมีนเป็นเท่าใด

จากตาราง 10.3  $CH_3NH_2$  มีค่า  $K_b$  เท่ากับ  $4.57 \times 10^{-4}$

**ขั้นที่ 1** คำนวณความเข้มข้นของ  $CH_3NH_3^+$

กำหนดให้  $\Delta[CH_3NH_2] = -x$  mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $CH_3NH_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3NH_3^+(aq) + OH^-(aq)$ |   |    |    |
|---------------------|---|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.50  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x  | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.50 - x$  | - | x  | x  |

จาก 
$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}$$

แทนค่าจะได้ 
$$4.57 \times 10^{-4} = \frac{(x)(x)}{(0.50 - x)}$$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.50}{4.57 \times 10^{-4}} = 1.1 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.50 - x \approx 0.50$

$$x^2 = 0.50 \times 4.57 \times 10^{-4}$$

$$x = 1.5 \times 10^{-2}$$

ดังนั้น ในสารละลายมีความเข้มข้นของเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์  $1.5 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร

### ขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ $\text{CH}_3\text{NH}_2$

เนื่องจากที่สมดุล สารละลายมีความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  เท่ากับ  $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$  ดังนั้น  $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$  จึงมีความเข้มข้น  $1.5 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } \text{CH}_3\text{NH}_2 &= \frac{1.5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}}{0.50 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 3.0 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของเมทิลเอมีนเท่ากับ 3.0

6. คำนวณและเปรียบเทียบร้อยละการแตกตัวของกรดเบนโซอิก ( $C_6H_5COOH$ ) ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.25 โมลต่อลิตร และ 0.40 โมลต่อลิตร

**ร้อยละการแตกตัวของ  $C_6H_5COOH$  ในสารละลายเข้มข้น 0.25 mol/L**

กำหนดให้  $\Delta[C_6H_5COOH] = -x$  mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $C_6H_5COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons C_6H_5COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.25   | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.25 - x$   | - | x  | x  |

จาก 
$$K_a = \frac{[C_6H_5COO^-][H_3O^+]}{[C_6H_5COOH]}$$

แทนค่าจะได้ 
$$5.75 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{(0.25 - x)}$$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.25}{5.75 \times 10^{-5}} = 4.3 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.25 - x \approx 0.25$

$$x^2 = 0.25 \times 5.75 \times 10^{-5}$$

$$x = 3.8 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น ในสารละลายมีความเข้มข้นของ  $C_6H_5COO^-$  เท่ากับ  $3.8 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**ขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $C_6H_5COOH$**

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } C_6H_5COOH &= \frac{3.8 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{0.25 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 1.5 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของกรดเบนโซอิกในสารละลายเข้มข้น 0.25 โมลต่อลิตร เท่ากับ 1.5

ร้อยละการแตกตัวของ  $C_6H_5COOH$  ในสารละลายเข้มข้น  $0.40 \text{ mol/L}$

ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $C_6H_5COO^-$

กำหนดให้  $\Delta[C_6H_5COOH] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $C_6H_5COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons C_6H_5COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.40   | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.40 - x$   | - | x  | x  |

จาก 
$$K_a = \frac{[C_6H_5COO^-][H_3O^+]}{[C_6H_5COOH]}$$

แทนค่าจะได้ 
$$5.75 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{(0.40 - x)}$$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.40}{5.75 \times 10^{-5}} = 7.0 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.40 - x \approx 0.40$

$$x^2 = 0.40 \times 5.75 \times 10^{-5}$$

$$x = 4.8 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น ในสารละลายมีความเข้มข้นของ  $C_6H_5COO^-$  เท่ากับ  $4.8 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

ขั้นที่ 2 คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $C_6H_5COOH$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัวของ } C_6H_5COOH &= \frac{4.8 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{0.40 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 1.2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละการแตกตัวของกรดเบนโซอิกในสารละลายเข้มข้น  $0.45$  โมลต่อลิตร เท่ากับ  $1.2$

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการแตกตัวของกรดเบนโซอิกในสารละลายเข้มข้น  $0.25$  และ  $0.40$  โมลต่อลิตร พบว่ากรดเบนโซอิกในสารละลายเข้มข้น  $0.25$  โมลต่อลิตร มีร้อยละการแตกตัวมากกว่า



7. คำนวณค่าคงที่การแตกตัวของกรด HA 0.80 โมลต่อลิตร ซึ่งมีร้อยละการแตกตัวเท่ากับ 0.42

สารละลายกรด HA แตกตัวในน้ำได้ตั้งสมการ



ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{A}^-$  ในสารละลาย HA

จาก ร้อยละการแตกตัวของ HA =  $\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} \times 100$

$$0.42 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{0.80 \text{ mol/L}} \times 100$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{0.42 \times 0.80 \text{ mol/L}}{100}$$

$$= 3.4 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

ที่สมดุล  $\text{H}_3\text{O}^+$  มีความเข้มข้นเท่ากับ  $\text{A}^-$  ดังนั้นในสารละลาย HA มีความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{A}^-$  เท่ากับ  $3.4 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า  $K_a$  ของกรด HA

จาก  $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$

แทนค่าจะได้  $K_a = \frac{(3.4 \times 10^{-3})(3.4 \times 10^{-3})}{(0.80 - (3.4 \times 10^{-3}))}$

$$= 1.5 \times 10^{-5}$$

ดังนั้น ค่าคงที่การแตกตัวของกรด HA เท่ากับ  $1.5 \times 10^{-5}$

8. สารละลายกรดอ่อน HY มีค่า  $K_a = 2.0 \times 10^{-6}$  จงระบุคู่เบสของกรด HY และค่า  $K_b$  ของเบสนี้เป็นเท่าใด

สารละลายกรดอ่อน HY มีคู่เบสคือ  $Y^-$

จาก 
$$K_b = \frac{K_w}{K_a}$$

แทนค่าจะได้ 
$$K_b = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.0 \times 10^{-6}}$$

$$= 5.0 \times 10^{-9}$$

ดังนั้น คู่เบสของกรด HY คือ  $Y^-$  และมีค่าคงที่การแตกตัวของเบสเท่ากับ  $5.0 \times 10^{-9}$

9. สารละลายเบสอ่อนชนิดหนึ่งมีค่า  $K_b = 5.0 \times 10^{-10}$  จงคำนวณค่า  $K_a$  ของคู่กรด

จาก 
$$K_a = \frac{K_w}{K_b}$$

แทนค่าจะได้ 
$$K_a = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{5.0 \times 10^{-10}}$$

$$= 2.0 \times 10^{-5}$$

ดังนั้น คู่กรดของเบสอ่อนนี้มีค่า  $K_a$  เท่ากับ  $2.0 \times 10^{-5}$

## 10.4 สมบัติกรด-เบสของเกลือ

### จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายการเกิดไฮโดรลิซิสของเกลือและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ
- ระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ

### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูอธิบายความหมายของปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.2 การทดลองสมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 10.2 การทดลองสมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือ

#### จุดประสงค์การทดลอง

- ทดลองเพื่อศึกษาสมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือ
- ระบุสมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือจากอินดิเคเตอร์
- ระบุชนิดของไอออนที่ส่งผลต่อสมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือ

| เวลาที่ใช้ | อภิปรายก่อนทำการทดลอง | 5  | นาที |
|------------|-----------------------|----|------|
|            | ทำการทดลอง            | 10 | นาที |
|            | อภิปรายหลังทำการทดลอง | 10 | นาที |
|            | รวม                   | 25 | นาที |

#### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี




| รายการ                                     | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|--|----------------|
| <b>สารเคมี</b>                             |                |
| 1. โซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง (NaCl)       | 1 ซ้อนเบอร์ 1  |
| 2. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH <sub>4</sub> Cl)  | 1 ซ้อนเบอร์ 1  |
| 3. โซเดียมแอสซิเตต (CH <sub>3</sub> COONa) | 1 ซ้อนเบอร์ 1  |
| 4. ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์                | 3 หยด          |

| วัสดุและอุปกรณ์       |            |
|-----------------------|------------|
| 1. ช้อนตักสารเบอร์ 1  | 1 อัน      |
| 2. หลอดทดลองขนาดกลาง  | 3 หลอด     |
| 3. แท่งแก้วคน         | 1 อัน      |
| 4. กระจกตวงขนาด 10 mL | 1 อัน      |
| 5. หลอดหยด            | ใช้ร่วมกัน |

### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. ในกรณีที่โรงเรียนไม่มีกระจกตวงขนาด 10 mL ครูสามารถใช้หลอดฉีดยาขนาด 5 mL แทนได้
2. การทดลองนี้ครูควรบอกให้นักเรียนระวังการใช้ช้อนตักสารและแท่งแก้วคน เมื่อใช้กับสารชนิดหนึ่งเสร็จแล้วให้เช็ดทำความสะอาดก่อนนำมาใช้ในครั้งถัดไป และหากสารยังละลายน้ำไม่หมดให้ใช้แท่งแก้วคนสารให้เข้ากันก่อนนำไปหยดอินดิเคเตอร์
3. การทดลองนี้สามารถใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือแทนสารละลายยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ได้

### ตัวอย่างผลการทดลอง

| เกลือ                                   | NaCl   | NH <sub>4</sub> Cl  | CH <sub>3</sub> COONa   |
|---|--|---|---|
| สีของยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ในสารละลาย | เขียว<br> | เหลือง<br> | ฟ้า<br> |
| pH ของสารละลาย                          | 7  | 4   | 9   |
| สมบัติกรด-เบสของสารละลาย                | กลาง   | กรด   | เบส   |

### อภิปรายผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบสีของยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ของสารละลาย NaCl และ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  พบว่า สารละลาย NaCl ซึ่งแตกตัวให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  มีสมบัติเป็นกลาง ในขณะที่สารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  แตกตัวให้  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{Cl}^-$  มีสมบัติเป็นกรด เนื่องจากสารละลายทั้งสองชนิดมี  $\text{Cl}^-$  เหมือนกัน แสดงว่า  $\text{Na}^+$  และ  $\text{NH}_4^+$  เป็นไอออนที่ทำให้สมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือต่างกัน

จากการเปรียบเทียบสีของยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ของสารละลาย NaCl และ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  พบว่า สารละลาย NaCl ซึ่งแตกตัวให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  มีสมบัติเป็นกลาง ในขณะที่สารละลาย  $\text{CH}_3\text{COONa}$  แตกตัวให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  มีสมบัติเป็นเบสเนื่องจากสารละลายทั้งสองชนิดมี  $\text{Na}^+$  เหมือนกัน แสดงว่า  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  เป็นไอออนที่ทำให้สมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือต่างกัน

จากผลการทดลองสารละลาย NaCl มีสมบัติเป็นกลางแสดงว่า  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  ไม่ส่งผลต่อความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ดังนั้นไอออนที่ส่งผลต่อความเป็นกรด-เบสของสารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  และ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  คือ  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  ตามลำดับ

### สรุปผลการทดลอง

เกลืออาจมีสมบัติเป็นกลาง กรด หรือ เบส โดยสารละลายเกลือ NaCl เป็นกลาง สารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เป็นกรด ส่วนสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COONa}$  เป็นเบส

3. ครูอธิบายสมบัติกรด-เบสของตัวอย่างเกลือที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า ความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือพิจารณาได้จากค่าคงที่การแตกตัวของไอออนในสารละลาย

4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

จากกิจกรรม 10.2 ไอออนที่ได้จากการละลายของเกลือแต่ละชนิดในน้ำทำปฏิกิริยากับน้ำแตกต่างกันอย่างไร และสอดคล้องกับสมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลืออย่างไร

เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เมื่อละลายน้ำแตกตัวให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  ซึ่งไอออนทั้งสองชนิดไม่สามารถให้หรือรับโปรตอนจากน้ำได้ จึงไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ สอดคล้องกับสมบัติของสารละลายเกลือ NaCl ซึ่งมีสมบัติเป็นกลาง

เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) เมื่อละลายน้ำแตกตัวให้  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{Cl}^-$   $\text{NH}_4^+$  เป็นคู่กรดของ  $\text{NH}_3$  ซึ่งเป็นเบสอ่อน  $\text{NH}_4^+$  จึงให้โปรตอนกับน้ำได้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ดังสมการเคมี



สอดคล้องกับสมบัติของสารละลายเกลือ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ซึ่งมีสมบัติเป็นกรด

เกลือแอมโมเนียมแอสิตเตต ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) เมื่อละลายน้ำแตกตัวให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  ซึ่ง  $\text{Na}^+$  ไม่สามารถให้หรือรับโปรตอนจากน้ำได้ ส่วน  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  เป็นคู่เบสของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ซึ่งเป็นกรดอ่อน  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  จึงรับโปรตอนจากน้ำให้  $\text{OH}^-$  ดังสมการเคมี



สอดคล้องกับสมบัติของสารละลายเกลือ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  ซึ่งมีสมบัติเป็นเบส

5. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.4 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับสมบัติกรด-เบสของสารละลายเกลือและการเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ จากรายงานการทดลอง การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการทดลองและการสังเกต จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง และรายงานการทดลอง
3. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการอภิปราย
4. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการทำการทดลองและการอภิปราย
5. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้างและการใช้วิจารณ์ญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย



## แบบฝึกหัด 10.4

1. ไอออนใดในสารประกอบของเกลือต่อไปนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้



2. เขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือต่อไปนี้ พร้อมระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ

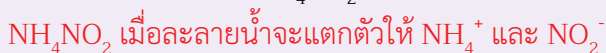
2.1 โพแทสเซียมฟอร์มเมต ( $\text{HCOOK}$ )

$\text{HCOOK}$  เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้  $\text{K}^+$  และ  $\text{HCOO}^-$  ซึ่ง  $\text{K}^+$  ไม่สามารถให้หรือรับโปรตอนจากน้ำได้ ส่วน  $\text{HCOO}^-$  เป็นคู่เบสของ  $\text{HCOOH}$  ซึ่งเป็นกรดอ่อน  $\text{HCOO}^-$  จึงรับโปรตอนจากน้ำได้ ดังสมการเคมี



เนื่องจากมี  $\text{OH}^-$  เกิดขึ้น ดังนั้นสารละลาย  $\text{HCOOK}$  จึงเป็นเบส

2.2 แอมโมเนียมไนไตรต์ ( $\text{NH}_4\text{NO}_2$ )



$\text{NH}_4^+$  เป็นคู่กรดของ  $\text{NH}_3$  ซึ่งเป็นเบสอ่อน  $\text{NH}_4^+$  สามารถให้โปรตอนกับน้ำได้ ดังสมการเคมี



จากตาราง 10.4 ค่า  $K_a$  ของ  $\text{NH}_4^+$  เท่ากับ  $5.56 \times 10^{-10}$

$\text{NO}_2^-$  เป็นคู่เบสของ  $\text{HNO}_2$  ซึ่งเป็นกรดอ่อน สามารถรับโปรตอนจากน้ำได้ ดังสมการเคมี



ค่า  $K_b$  ของ  $\text{NO}_2^-$  คำนวณจากค่า  $K_a$  ของ  $\text{HNO}_2$  ในตาราง 10.2 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad K_b &= \frac{K_w}{K_a} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad K_b &= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{5.62 \times 10^{-4}} \\ &= 1.78 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาค่าคงที่การแตกตัวของปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสทั้งสองจะเห็นว่า  $K_a$  ของ  $\text{NH}_4^+$  ( $5.56 \times 10^{-10}$ ) มากกว่า  $K_b$  ของ  $\text{NO}_2^-$  ( $1.8 \times 10^{-11}$ ) ดังนั้นสารละลาย  $\text{NH}_4\text{NO}_2$  จึงเป็นกรด

### 2.3 แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ )

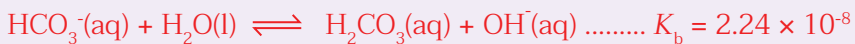
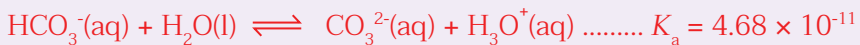
$\text{NH}_4\text{HCO}_3$  เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{HCO}_3^-$

$\text{NH}_4^+$  เป็นคู่กรดของ  $\text{NH}_3$  ซึ่งเป็นเบสอ่อน  $\text{NH}_4^+$  สามารถให้โปรตอนกับน้ำได้ ดังสมการเคมี



จากตาราง 10.4 ค่า  $K_a$  ของ  $\text{NH}_4^+$  เท่ากับ  $5.56 \times 10^{-10}$

$\text{HCO}_3^-$  เป็นคู่เบสของ  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ซึ่งเป็นกรดอ่อน  $\text{HCO}_3^-$  จึงให้โปรตอนกับน้ำ หรือรับโปรตอนจากน้ำก็ได้ ดังสมการเคมี



เมื่อพิจารณาค่าคงที่การแตกตัวของปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสทั้งสามจะเห็นว่า  $K_b$  มีค่ามากที่สุด ดังนั้นสารละลาย  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  จึงเป็นเบส



## 10.5 pH ของสารละลายกรดและเบส

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. คำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน หรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส
2. คำนวณค่า pH ของสารละลายกรดและเบส
3. บอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน                    | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|--|--|
| pH มากมีความเข้มข้นของ $H_3O^+$ มาก      | pH มากมีความเข้มข้นของ $H_3O^+$ น้อย   |
| pH มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมากกว่า 14 ไม่ได้ | pH มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมากกว่า 14 ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ $H_3O^+$ ในสารละลาย |

### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูอธิบายการแปลงค่าความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  ในรูปของ pH เพื่อความสะดวกในการรายงานค่า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
2. ครูอธิบายการคำนวณค่า pH โดยใช้ค่าความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  จากการแตกตัวของน้ำ แล้วเชื่อมโยงไปยังการคำนวณค่า pOH ของน้ำ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และชี้ให้เห็นว่าสารละลายที่เป็นกลางมี pH และ pOH เท่ากับ 7.00
3. ครูอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ pOH ซึ่งผลรวมเท่ากับ 14.00 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
4. ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 10.4 และอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับ pH ของสารละลายที่พบในชีวิตประจำวัน เพื่อให้เห็นประโยชน์ของการใช้ค่า pH ในการเปรียบเทียบว่า สารละลายใดเป็นกรดหรือเบสมากกว่ากัน
5. ครูอธิบายการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับ pH และ pOH ของสารละลาย โดยใช้ตัวอย่าง 7–9 ในหนังสือเรียน
6. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

1. เรียงลำดับ pH ของสารละลายกรดไนทริก ( $\text{HNO}_2$ ) กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) และกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร เท่ากัน จากน้อยไปมาก

$\text{HNO}_3$  เป็นกรดแก่ แยกตัวให้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ได้จนถือว่าสมบูรณ์ ดังนั้นความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  จึงเท่ากับ 0.10 mol/L

$\text{HNO}_2$  และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เป็นกรดอ่อน แยกตัวให้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ไม่สมบูรณ์ ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  จึงน้อยกว่า 0.10 mol/L และเมื่อพิจารณาค่า  $K_a$  ในตาราง 10.2 พบว่า  $K_a$  ของ  $\text{HNO}_2$  ( $5.62 \times 10^{-4}$ ) มากกว่า  $K_a$  ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $1.80 \times 10^{-5}$ ) แสดงว่า สารละลาย  $\text{HNO}_2$  มีความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  มากกว่าสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$

ดังนั้น pH ของสารละลาย  $\text{HNO}_3 < \text{HNO}_2 < \text{CH}_3\text{COOH}$

2. คำนวณ pH ของสารละลายเมทิลเอมีน ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ) และแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ที่มีความเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร เท่ากัน

สารละลาย  $\text{CH}_3\text{NH}_2$

ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$

จากตาราง 10.3  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  มีค่า  $K_b$  เท่ากับ  $4.57 \times 10^{-4}$

กำหนดให้  $\Delta[\text{CH}_3\text{NH}_2] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{CH}_3\text{NH}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 1.0  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $1.0 - x$  | - | x  | x  |

จาก 
$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}$$

แทนค่า 
$$4.57 \times 10^{-4} = \frac{(x)(x)}{(1.0 - x)}$$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{1.0}{4.57 \times 10^{-4}} = 2.2 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $1.0 - x \approx 1.0$

$$x^2 = 1.0 \times 4.57 \times 10^{-4}$$

$$x = 2.1 \times 10^{-2}$$

ดังนั้น สารละลาย  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  มีไฮดรอกไซด์ไอออนเข้มข้น  $2.1 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร

ขั้นที่ 2 คำนวณ pH ของสารละลาย  $\text{CH}_3\text{NH}_2$

จาก  $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$

แทนค่าจะได้  $= -\log (2.1 \times 10^{-2})$

$$= 1.68$$

จาก  $14.00 = \text{pH} + \text{pOH}$

$$\text{pH} = 14.00 - 1.68$$

$$= 12.32$$

ดังนั้น สารละลายเมทิลเอมีนมี pH เท่ากับ 12.32

สารละลาย  $\text{NH}_3$

ขั้นที่ 1 คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$

จากตาราง 10.3  $\text{NH}_3$  มีค่า  $K_b$  เท่ากับ  $1.80 \times 10^{-5}$

กำหนดให้  $\Delta[\text{NH}_3] = -x \text{ mol/L}$

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 1.0  | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $1.0 - x$  | - | x  | x  |

จาก 
$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

แทนค่าจะได้ 
$$1.80 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{(1.0 - x)}$$

เนื่องจาก 
$$\frac{C}{K} = \frac{1.0}{1.80 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^4$$
 ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $1.0 - x \approx 1.0$

$$x^2 = 1.0 \times 1.8 \times 10^{-5}$$

$$x = 4.2 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น ในสารละลาย  $\text{NH}_3$  มีความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$   $4.2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**ขั้นที่ 2** คำนวณ pH ของสารละลาย  $\text{NH}_3$

จาก 
$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ &= -\log (4.2 \times 10^{-3}) \\ &= 2.38 \end{aligned}$$

จาก 
$$\begin{aligned} 14.00 &= \text{pH} + \text{pOH} \\ \text{pH} &= 14.00 - 2.38 \\ &= 11.62 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายแอมโมเนียมี pH เท่ากับ 11.62

8. ครูอธิบายการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับ pH และ pOH ของสารละลาย โดยใช้ตัวอย่าง 10–12 ในหนังสือเรียน

9. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

เมื่อเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) pH 3.00 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก pH 2.00 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้จะมี pH เป็นเท่าใด

**คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  ใน HCl pH 3.00 ปริมาตร 100 mL**

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pH} &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ 3.00 &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ [\text{H}_3\text{O}^+] &= 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } \text{H}_3\text{O}^+ &= \frac{1.0 \times 10^{-3} \text{ mol } \text{H}_3\text{O}^+}{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times 100 \text{ mL sol}^{\text{a}} \\ &= 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol } \text{H}_3\text{O}^+ \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายกรดไฮโดรคลอริก pH 3.00 มีไฮโดรเนียมไอออนเท่ากับ  $1.0 \times 10^{-4}$  โมล

**คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  ใน HCl pH 2.00 ปริมาตร 100 mL**

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pH} &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ 2.00 &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ [\text{H}_3\text{O}^+] &= 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{H}_3\text{O}^+$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } \text{H}_3\text{O}^+ &= \frac{1.0 \times 10^{-2} \text{ mol } \text{H}_3\text{O}^+}{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times 100 \text{ mL sol}^{\text{a}} \\ &= 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol } \text{H}_3\text{O}^+ \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายกรดไฮโดรคลอริก pH 2.00 มีไฮโดรเนียมไอออน  $1.0 \times 10^{-3}$  โมล

**คำนวณจำนวนโมลรวมของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  หลังผสม**

$$\begin{aligned}\text{จำนวนโมลรวมของ } \text{H}_3\text{O}^+ &= (1.0 \times 10^{-3}) \text{ mol} + (1.0 \times 10^{-4}) \text{ mol} \\ &= 1.1 \times 10^{-3} \text{ mol}\end{aligned}$$

ดังนั้น จำนวนโมลรวมของไฮโดรเนียมไอออนหลังผสมเท่ากับ  $1.1 \times 10^{-3}$  โมล

**คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  หลังผสม**

$$\begin{aligned}[\text{H}_3\text{O}^+] &= \frac{1.1 \times 10^{-3} \text{ mol } \text{H}_3\text{O}^+}{200 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}}{1 \text{ L sol}^{\text{a}}} \\ &= 5.5 \times 10^{-3} \text{ mol } \text{H}_3\text{O}^+ / \text{L sol}^{\text{a}}\end{aligned}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหลังผสมเท่ากับ  $5.5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณ pH ของสารละลายหลังผสม**

$$\begin{aligned}\text{pH} &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ &= -\log (5.5 \times 10^{-3}) \\ &= 2.26\end{aligned}$$

ดังนั้น pH ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหลังผสมเท่ากับ 2.26

10. ครูตั้งคำถามว่านักเรียนเคยใช้วิธีการใดในการวัด pH ของสารละลาย ซึ่งควรได้คำตอบว่า ใช้กระดาษลิตมัส หรืออินดิเคเตอร์อื่น จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส สมดุลระหว่างรูปกรดและรูปเบส และช่วง pH การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

11. ครูอธิบายการเปลี่ยนสีของโบรมไทมอลบลูในสารละลายที่มี pH ต่าง ๆ โดยใช้รูป 10.6 ในหนังสือเรียนประกอบการอธิบาย

12. ครูให้นักเรียนพิจารณาการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ชนิดต่าง ๆ ในรูป 10.7 เพื่อนำไปสู่การใช้อินดิเคเตอร์ในการประมาณค่า pH ของสารละลายโดยใช้ตัวอย่าง 13 ในหนังสือเรียน

13. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

จากตัวอย่าง 13 ถ้าหยดเมทิลเรดลงในสารละลาย A และ B สารละลายแต่ละชนิดจะมีสีใด

จากตัวอย่าง 13 สารละลาย A มีสีส้ม และสารละลาย B มีสีแดง

14. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ อินดิเคเตอร์ในธรรมชาติ และพีเอชมิเตอร์ โดยใช้รูป 10.8 และ 10.9 ประกอบการอธิบาย
15. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.5 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับวิธีการคำนวณค่า pH ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส จากการอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการทำแบบฝึกหัด
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้างและการใช้วิจารณญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด



## แบบฝึกหัด 10.5

1. คำนวณค่า pH และ pOH ของสารละลายที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) หรือไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ต่อไปนี้ พร้อมระบุสมบัติกรด-เบสของสารละลาย

|     | ความเข้มข้น<br>(mol/L)                        | pH   | pOH   | สมบัติกรด - เบส |
|-----|---|------|-------|-----------------|
| 1.1 | $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3.0 \times 10^{-4}$ | 3.52 | 10.48 | กรด             |
| 1.2 | $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2.0 \times 10^{-8}$ | 7.70 | 6.30  | เบส             |
| 1.3 | $[\text{OH}^-] = 1.1 \times 10^{-11}$         | 3.04 | 10.96 | กรด             |
| 1.4 | $[\text{OH}^-] = 5.0 \times 10^{-7}$          | 7.70 | 6.30  | เบส             |

2. การเตรียมน้ำปูนใส โดยละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) 0.20 กรัม และปรับจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 มิลลิลิตร น้ำปูนใสที่เตรียมได้มี pH เท่าใด

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  เป็นเบสแก่ แตกตัวให้  $\text{OH}^-$  ดังสมการเคมี



คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{OH}^- &= 0.20 \text{ g } \text{Ca}(\text{OH})_2 \times \frac{1 \text{ mol } \text{Ca}(\text{OH})_2}{74.10 \text{ g } \text{Ca}(\text{OH})_2} \times \frac{2 \text{ mol } \text{OH}^-}{1 \text{ mol } \text{Ca}(\text{OH})_2} \\ &\quad \times \frac{1}{200 \text{ mL sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^n}{1 \text{ L sol}^n} \\ &= 2.7 \times 10^{-2} \text{ mol } \text{OH}^-/\text{L sol}^n \end{aligned}$$

คำนวณ pH ของน้ำปูนใส

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ &= -\log (2.7 \times 10^{-2}) \\ &= 1.57 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad 14.00 &= \text{pH} + \text{pOH} \\ \text{pH} &= 14.00 - 1.57 \\ &= 12.43 \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำปูนใสมี pH เท่ากับ 12.43



3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 12 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เมื่อเติมน้ำจนมีปริมาตร 500 มิลลิลิตร จงคำนวณ pH ของสารละลาย

HCl เป็นกรดแก่ แตกตัวให้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ได้จนถือว่าสมบูรณ์ ดังสมการเคมี



**คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$**

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{H}_3\text{O}^+ &= \frac{12 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times 10 \text{ mL sol}^{\text{a}} \times \frac{1 \text{ mol H}_3\text{O}^+}{1 \text{ mol HCl}} \\ &\times \frac{1}{500 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}}{1 \text{ L sol}^{\text{a}}} \\ &= 0.24 \text{ mol H}_3\text{O}^+/\text{L sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

**คำนวณ pH ของสารละลาย**

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pH} &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ &= -\log (0.24) \\ &= 0.62 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายมี pH เท่ากับ 0.62

4. ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) pH 11.0 ปริมาตร 500 มิลลิลิตรกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 10.0 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร pH ของสารละลายหลังผสมเป็นเท่าใด

**สารละลาย NaOH pH 11.0**

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$

$$\text{NaOH pH 11.0 มี } \text{pOH} = 14.00 - 11.0 = 3.0$$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ 3.0 &= -\log [\text{OH}^-] \\ [\text{OH}^-] &= 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{OH}^-$

$$\begin{aligned}\text{จำนวนโมลของ } \text{OH}^- &= \frac{1.0 \times 10^{-3} \text{ mol OH}^-}{1000 \text{ mL sol}^n} \times 500 \text{ mL sol}^n \\ &= 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol OH}^-\end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลาย NaOH pH 11.0 มีไฮดรอกไซด์ไอออน  $5.0 \times 10^{-4}$  โมล

### สารละลาย NaOH pH 10.0

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$

NaOH pH 10.0 มี  $\text{pOH} = 14.00 - 10.0 = 4.0$

จาก  $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$

$$4.0 = -\log [\text{OH}^-]$$

$$[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{OH}^-$

$$\begin{aligned}\text{จำนวนโมลของ } \text{OH}^- &= \frac{1.0 \times 10^{-4} \text{ mol OH}^-}{1000 \text{ mL sol}^n} \times 100 \text{ mL sol}^n \\ &= 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol OH}^-\end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลาย NaOH pH 10.0 มีไฮดรอกไซด์ไอออน  $1.0 \times 10^{-5}$  โมล

### คำนวณจำนวนโมลรวมของ $\text{OH}^-$ หลังผสม

$$\begin{aligned}\text{จำนวนโมลรวมของ } \text{OH}^- \text{ หลังผสม} &= (5.0 \times 10^{-4}) \text{ mol} + (1.0 \times 10^{-5}) \text{ mol} \\ &= 5.1 \times 10^{-4} \text{ mol}\end{aligned}$$

### คำนวณความเข้มข้นของ $\text{OH}^-$ หลังผสม

$$\begin{aligned}\text{ความเข้มข้นของ } \text{OH}^- &= \frac{5.1 \times 10^{-4} \text{ mol OH}^-}{600 \text{ mL sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^n}{1 \text{ L sol}^n} \\ &= 8.5 \times 10^{-4} \text{ mol OH}^-/\text{L sol}^n\end{aligned}$$

### คำนวณ pH ของสารละลายหลังผสม

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ &= -\log (8.5 \times 10^{-4}) \\ &= 3.07 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์  $14.00 = \text{pH} + \text{pOH}$

แทนค่า  $\text{pH} = 14.00 - 3.07$   
 $= 10.93$

ดังนั้น pH ของสารละลายหลังผสมเท่ากับ 10.93

5. นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.10 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้将有ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน และ pH เท่าใด

NaOH เป็นเบสแก่ แตกตัวให้  $\text{OH}^-$  ได้จนถือว่าสมบูรณ์ ดังสมการเคมี



คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  หลังเติมน้ำ

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{OH}^- &= \frac{0.10 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL sol}^n} \times 10 \text{ mL sol}^n \times \frac{1 \text{ mol OH}^-}{1 \text{ mol NaOH}} \\ &\quad \times \frac{1}{500 \text{ mL sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^n}{1 \text{ L sol}^n} \\ &= 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol OH}^-/\text{L sol}^n \end{aligned}$$

คำนวณ pH ของสารละลายหลังเติมน้ำ

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ &= -\log (2.0 \times 10^{-3}) \\ &= 2.70 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์  $14.00 = \text{pH} + \text{pOH}$

แทนค่า  $\text{pH} = 14.00 - 2.70$   
 $= 11.30$

ดังนั้น สารละลายหลังเติมน้ำมีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนเท่ากับ  $2.0 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และมี pH 11.30

6. สารละลาย A B และ C เมื่อนำไปหยดด้วยอินดิเคเตอร์ 4 ชนิด ให้สีที่ปรากฏดังตาราง

| อินดิเคเตอร์ | ช่วง pH<br>ที่เปลี่ยนสี    | สีที่ปรากฏ |            |            |
|--------------|----------------------------|------------|------------|------------|
|              |                            | สารละลาย A | สารละลาย B | สารละลาย C |
| เมทิลออเรนจ์ | 3.2–4.4<br>(แดง–เหลือง)    | ส้ม        | เหลือง     | เหลือง     |
| เมทิลเรด     | 4.2–6.3<br>(แดง–เหลือง)    | ส้ม        | เหลือง     | เหลือง     |
| ฟีนอลเรด     | 6.8–8.4<br>(เหลือง–แดง)    | เหลือง     | ส้ม        | แดง        |
| ฟีนอล์ฟทาลีน | 8.3–10.0<br>(ไม่มีสี–ชมพู) | ไม่มีสี    | ไม่มีสี    | ชมพู       |

6.1 สารละลายแต่ละชนิดมีช่วง pH เท่าใด

สารละลาย A มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.2–4.4

สารละลาย B มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.8–8.3

สารละลาย C มีค่า pH มากกว่า 10.0

6.2 สารละลายใดเป็นกรด

สารละลาย A

## 10.6 ปฏิิกิริยาเคมีระหว่างกรดและเบส

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทิน
2. ระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายหลังการสะเทิน

### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับความหมายของปฏิกิริยาสะเทิน การเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทิน และความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์เกลือที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่และเบสแก่ กรดอ่อนและเบสแก่ กรดแก่และเบสอ่อน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
2. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.6 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

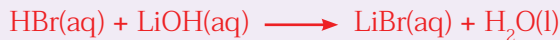
1. ความรู้เกี่ยวกับการเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาสะเทิน และการระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายหลังการสะเทิน จากการทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการทำแบบฝึกหัด



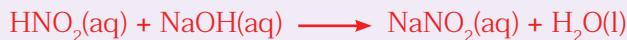
## แบบฝึกหัด 10.6

เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดและเบสต่อไปนี้ พร้อมทั้งระบุความเป็นกรด-เบส ของสารละลายหลังการสะเทิน

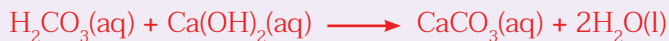
## 1. HBr และ LiOH



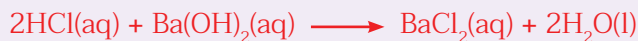
ลิเทียมโบรไมด์ (LiBr) แตกตัวให้  $\text{Li}^+$  และ  $\text{Br}^-$  ซึ่งไอออนทั้งสองไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นกลาง

2.  $\text{HNO}_2$  และ NaOH

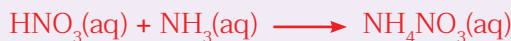
โซเดียมไนไตรต์ ( $\text{NaNO}_2$ ) แตกตัวให้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{NO}_2^-$  ซึ่ง  $\text{NO}_2^-$  สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้  $\text{OH}^-$  ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นเบส

3.  $\text{H}_2\text{CO}_3$  และ  $\text{Ca(OH)}_2$ 

แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) แตกตัวให้  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{CO}_3^{2-}$  ซึ่ง  $\text{CO}_3^{2-}$  สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้  $\text{OH}^-$  ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นเบส

4. HCl และ  $\text{Ba(OH)}_2$ 

แบเรียมคลอไรด์ ( $\text{BaCl}_2$ ) แตกตัวให้  $\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{Cl}^-$  ซึ่งทั้งสองไอออนไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นกลาง

5.  $\text{HNO}_3$  และ  $\text{NH}_3$ 

แอมโมเนียมไนเตรต ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) แตกตัวให้  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{NO}_3^-$  ซึ่ง  $\text{NH}_4^+$  สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นกรด

## 10.7 การไทเทรตกรด-เบส

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายหลักการการไทเทรต
2. เลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด-เบส
3. คำนวณปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน  | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|--|--|
| จุดสมมูลและจุดยุติเป็นจุดเดียวกัน  | จุดสมมูลและจุดยุติต่างกันแต่อาจใกล้เคียงกันได้ถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์อย่างเหมาะสม  |
| จุดสมมูลของการไทเทรตมี pH เป็นกลาง   | จุดสมมูลของการไทเทรตอาจมี pH เป็นกลางกรด หรือเบส ขึ้นอยู่กับความแรงของกรดและเบสที่นำมาทำปฏิกิริยากัน   |
| กรดอ่อนเมื่อนำมาไทเทรตจะใช้ปริมาตรของสารละลายเบสที่เติมลงไปทำปฏิกิริยาน้อยกว่ากรดแก่ที่มีความเข้มข้นเท่ากันเพราะกรดอ่อนแตกตัวได้น้อย | กรดอ่อนเมื่อนำมาไทเทรตจะใช้ปริมาตรของสารละลายเบสที่เติมลงไปทำปฏิกิริยาเท่ากับกรดแก่ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน เนื่องจากกรดอ่อนจะแตกตัวให้ $H^+$ จนทำปฏิกิริยากับ $OH^-$ จากเบสจนหมด |

### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาสะเทิน จากนั้นให้ความรู้ที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดและเบสสามารถนำมาใช้หาความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ทราบความเข้มข้น โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า การไทเทรต

2. ครูอธิบายความหมายของการไทเทรต จุดสมมูล และสารละลายมาตรฐาน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และให้ความรู้ที่เกี่ยวกับการไทเทรตสารละลายอาจติดตามปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนหรือปริมาตรสารละลายที่ต้องการหาความเข้มข้นได้

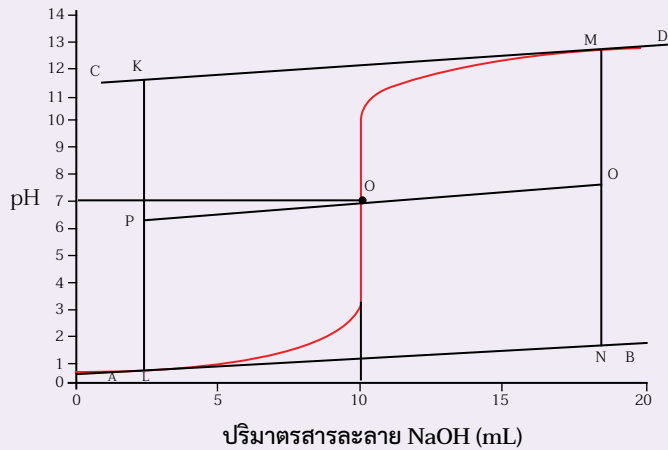
3. ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 10.10 และใช้คำถามว่าสารละลายที่ต้องการติดตามปริมาตรควรบรรจุอยู่ที่ใด ซึ่งควรได้คำตอบว่า บรรจุอยู่ในบิวเรตต์

4. ครูอธิบายการหาจุดสมมูลจากกราฟการไทเทรตกรด-เบส และแสดงการคำนวณความเข้มข้นจากปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไทเทรต ณ จุดสมมูล ทั้ง 3 กรณีคือการไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่โดยใช้รูป 10.11 กรดอ่อนกับเบสแก่โดยใช้รูป 10.12 และกรดแก่กับเบสอ่อนโดยใช้รูป 10.13 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การหาจุดสมมูลจากกราฟการไทเทรตในรูป 10.11 ทำได้ดังนี้



1. ลากเส้น AB สัมผัสกราฟส่วนล่างที่จุด L และลากเส้น CD สัมผัสกราฟส่วนบนที่จุด M
2. จากจุด M ลากเส้นมาตัด AB ที่จุด N ได้เส้น MN และจากจุด L ลากเส้นมาตัด CD ที่จุด K ได้เส้น LK ซึ่ง MN และ LK ขนานกัน  $y$
3. แบ่งครึ่งเส้น LK และ MN ที่จุด P และ Q ตามลำดับ
4. ลากเส้น PQ ตัดเส้นกราฟได้จุดตัดที่จุด O
5. ลากเส้นจากจุด O ขนานกัน  $x$  ตัดที่แกน  $y$  ได้ค่า pH ที่จุดสมมูล และจากจุด O ลากเส้นขนานกัน  $y$  ตัดที่แกน  $x$  ได้ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลาย HCl

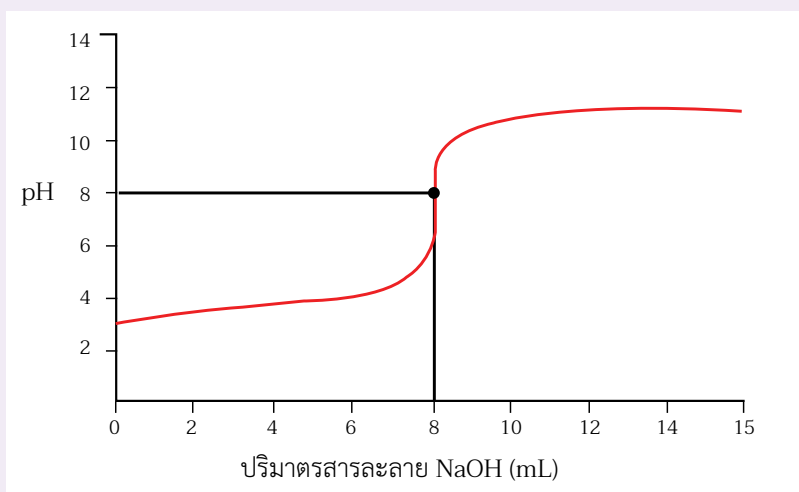


## 5. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

การไทเทรตกรดอ่อนมาตรฐาน HA ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีมวลต่อโมล 204.22 กรัมต่อโมล โดยการละลายกรดอ่อนนี้ 0.204 กรัม ในน้ำปริมาตร 12 มิลลิลิตร แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ไม่ทราบความเข้มข้นพบว่าได้กราฟการไทเทรตดังรูป



จงแสดงตำแหน่งของจุดสมมูลและคำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อทำการหาจุดสมมูลจากกราฟการไทเทรตพบว่า จุดสมมูลมี  $\text{pH} = 8$  และเมื่อลากเส้นตรงจากจุดสมมูลลงมาตัดแกน  $x$  จะทำให้ทราบปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลาย HA ซึ่งในกราฟนี้คือ 8.00 มิลลิลิตร และสามารถใช้อัตราส่วนนี้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ได้ดังนี้

จากสมการเคมี



คำนวณจำนวนโมลของ NaOH

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ NaOH} &= 0.204 \text{ g HA} \times \frac{1 \text{ mol HA}}{204.22 \text{ g HA}} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol HA}} \\ &= 9.99 \times 10^{-4} \text{ mol NaOH} \end{aligned}$$

คำนวณความเข้มข้นของ NaOH

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ NaOH} &= \frac{9.99 \times 10^{-4} \text{ mol NaOH}}{8.00 \text{ mL NaOH sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL NaOH sol}^n}{1 \text{ L NaOH sol}^n} \\ &= 0.125 \text{ mol NaOH/L NaOH sol}^n \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.125 โมลต่อลิตร

6. ครูใช้คำถามว่า นอกจากการใช้พีเอชมิเตอร์แล้ว การเปลี่ยน pH ระหว่างการไทเทรตสามารถบอกได้โดยใช้วิธีใด ซึ่งควรได้คำตอบว่า การใช้อินดิเคเตอร์ จากนั้นอธิบายความหมายของจุดยุติ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้ทำกิจกรรม 10.3 การทดลองการไทเทรตกรด-เบสโดยใช้อินดิเคเตอร์ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 10.3 การทดลองการไทเทรตกรด-เบสโดยใช้อินดิเคเตอร์

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองเพื่อศึกษาการไทเทรตกรด-เบสโดยใช้อินดิเคเตอร์
2. เปรียบเทียบจุดยุติของอินดิเคเตอร์แต่ละชนิด
3. อธิบายการเลือกอินดิเคเตอร์ให้ได้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูล

|            |                       |     |      |
|------------|-----------------------|-----|------|
| เวลาที่ใช้ | อภิปรายก่อนทำการทดลอง | 20  | นาที |
|            | ทำการทดลอง            | 60  | นาที |
|            | อภิปรายหลังทำการทดลอง | 20  | นาที |
|            | รวม                   | 100 | นาที |

## วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ  | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|---|----------------|
| <b>สารเคมี</b>  |                |
| 1. สารละลายกรดแอซีติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 0.10 mol/L | 60 mL          |
| 2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) 0.10 mol/L     | 100 mL         |
| 3. เมทิลออเรนจ์   | 6 หยด          |
| 4. ฟีนอล์ฟทาลีน   | 6 หยด          |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>  |                |
| 1. บีเปดต์ขนาด 10 mL  | 1 อัน          |
| 2. บิวเรตต์ขนาด 50 mL   | 1 อัน          |
| 3. ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL                                      | 6 ใบ           |
| 4. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL  | 2 ใบ           |
| 5. หลอดหยด  | 1 อัน          |
| 6. กรวยกรอง   | 1 อัน          |
| 7. ขาดั่งพร้อมที่จับ  | 1 ชุด          |
| 8. ลูกยางบีเปดต์  | 1 อัน          |
| 9. ขวดน้ำกลั่น  | 1 ใบ           |

## การเตรียมล่วงหน้า

- เตรียม  $\text{NaOH}$  0.10 mol/L ปริมาตร 1000 mL โดยชั่ง  $\text{NaOH}$  4.00 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 mL เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการทดลองนี้ (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ในการทดลองของนักเรียนประมาณ 10 กลุ่ม)
- เตรียม  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0.10 mol/L ปริมาตร 1000 mL ดังนี้ เตรียม  $\text{CH}_3\text{COOH}$  6.0 mol/L ปริมาตร 25 mL โดยตวง  $\text{CH}_3\text{COOH}$  12 mol/L ปริมาตร 12.5 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 12 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 mL จากนั้นตวง  $\text{CH}_3\text{COOH}$  6.0 mol/L ปริมาตร 17 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 500 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ในการทดลองของนักเรียนประมาณ 16 กลุ่ม)

### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. ครูควรสาธิตการใช้ปิเปตต์ การใช้บิวเรตต์ และการอ่านค่าปริมาตร รวมทั้งเทคนิคการไทเทรตก่อนทำการทดลอง
2. เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการฝึกทักษะ ครูควรให้นักเรียนทุกคนได้มีโอกาสทดลองทำการไทเทรต
3. NaOH เป็นสารที่ดูดความชื้นได้มากและรวดเร็ว เมื่อเตรียมเป็นสารละลายมาตรฐานจะเป็นเพียงสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ ซึ่งต้องนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ เช่น โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate, KHP) เพื่อให้ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนนำมาใช้
4. ครูควรไทเทรตเพื่อหาความเข้มข้นของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ที่เตรียมได้ และแจ้งให้นักเรียนทราบ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ขั้นตอนการหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ , KHP) มีดังนี้

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน KHP โดยชั่ง KHP 2.04 g แล้วนำมาละลายน้ำกลั่นเล็กน้อย คนให้ละลายและปรับปริมาตรในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 mL
2. เทสารละลายมาตรฐาน KHP ลงในบีกเกอร์ แล้วปิเปตต์สารละลายปริมาตร 10.00 mL ใส่ลงในขวดรูปกรวย
3. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2–3 หยดลงในขวดรูปกรวย เขย่าให้เข้ากันและสังเกตสีของสารละลาย
4. นำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH จนกระทั่งถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH
5. ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผล และหาปริมาตรเฉลี่ยของสารละลาย NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐาน KHP

### ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH

#### ตัวอย่างผลการทดลอง

เมื่อทำการไทเทรตสารละลาย KHP ปริมาตร 10.00 mL ด้วยสารละลาย NaOH พบว่า ปริมาตรเฉลี่ยของสารละลาย NaOH ที่ใช้เท่ากับ 10.00 มิลลิลิตร

#### คำนวณความเข้มข้นของ KHP ที่เตรียมได้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ KHP} &= 2.04 \text{ g KHP} \times \frac{1 \text{ mol KHP}}{204.23 \text{ g KHP}} \times \frac{1}{100.00 \text{ mL sol}^n} \\ &\quad \times \frac{1000 \text{ mL sol}^n}{1 \text{ L sol}^n} \\ &= 0.0999 \text{ mol KHP/ L sol}^n \end{aligned}$$

#### คำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH

ปฏิกิริยาระหว่าง KHP และ NaOH เป็นดังนี้



$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ NaOH} &= \frac{0.0999 \text{ mol KHP}}{10.00 \text{ mL KHP sol}^n} \times 10.00 \text{ mL KHP sol}^n \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol KHP}} \\ &\quad \times \frac{1}{10.00 \text{ mL NaOH sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL NaOH sol}^n}{1 \text{ L NaOH sol}^n} \\ &= 0.0999 \text{ mol NaOH/ L NaOH sol}^n \end{aligned}$$

เนื่องจากการทดลองในระดับมัธยมศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อฝึกให้นักเรียนมีทักษะการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการไทเทรต โดยยังไม่เน้นความแม่นยำของค่าที่ได้จากการทดลอง ครูจึงอาจไม่จำเป็นต้องเทียบมาตรฐานกับ KHP ก่อนก็ได้ แต่ต้องชั่งมวลและวัดปริมาตรให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

## 5. การเปลี่ยนสีที่จุดยุติของอินดิเคเตอร์ 2 ชนิด เป็นดังนี้

| อินดิเคเตอร์ | เริ่มต้น   | ที่จุดยุติ   |
|--------------|--|--|
| เมทิลออเรนจ์ | <br>สีแดง   | <br>เหลือง |
| ฟีนอล์ฟทาลีน | <br>ไม่มีสี | <br>สีชมพู |

## ตัวอย่างผลการทดลอง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH ในการทดลองนี้คือ 0.0999 mol/L  
 ความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในการทดลองนี้คือ 0.100 mol/L  
 อินดิเคเตอร์ที่ใช้คือ เมทิลออเรนจ์

| การทดลอง ครั้งที่ | ปริมาตรสารละลาย $\text{CH}_3\text{COOH}$ (mL) | สารละลายมาตรฐาน NaOH      |                                  |                       |
|-------------------|---|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|                   |   | ขีดวัดปริมาตร<br>เริ่มต้น | ขีดวัดปริมาตร<br>เมื่อถึงจุดยุติ | ปริมาตรที่ใช้<br>(mL) |
| 1                 | 10.00   | 0.00                      | 2.00                             | 2.00                  |
| 2                 | 10.00   | 3.00                      | 5.00                             | 2.00                  |
| 3                 | 10.00   | 6.00                      | 8.00                             | 2.00                  |
|                   |   |                           | เฉลี่ย                           | 2.00                  |

อินดิเคเตอร์ที่ใช้คือ ฟีนอล์ฟทาลีน

| การทดลอง ครั้งที่ | ปริมาตรสารละลาย<br>CH <sub>3</sub> COOH (mL) | สารละลายมาตรฐาน NaOH          |                                      |                       |
|-------------------|--|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
|                   |  | ขีดวัด<br>ปริมาตร<br>เริ่มต้น | ขีดวัด<br>ปริมาตร<br>เมื่อถึงจุดยุติ | ปริมาตรที่ใช้<br>(mL) |
| 1                 | 10.00  | 0.00                          | 10.10                                | 10.10                 |
| 2                 | 10.00  | 12.00                         | 22.05                                | 10.05                 |
| 3                 | 10.00  | 23.00                         | 33.05                                | 10.05                 |
|                   |  |                               | เฉลี่ย                               | 10.07                 |

**อภิปรายผลการทดลอง**

ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติของเมทิลออเรนจ์ แตกต่างจากของฟีนอล์ฟทาลีน โดยปริมาตรที่ได้จากการใช้เมทิลออเรนจ์น้อยกว่าปริมาตรที่ได้จากการใช้ฟีนอล์ฟทาลีน และจากการคำนวณปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ควรใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลาย CH<sub>3</sub>COOH พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ได้จากการใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แสดงว่าฟีนอล์ฟทาลีนบอกจุดยุติได้ใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากกว่าเมทิลออเรนจ์ ซึ่งเมื่อพิจารณา pH ของจุดสมมูลพบว่าอยู่ในช่วง pH การเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน แต่อยู่เหนือช่วง pH การเปลี่ยนสีของเมทิลออเรนจ์

**ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับครู**

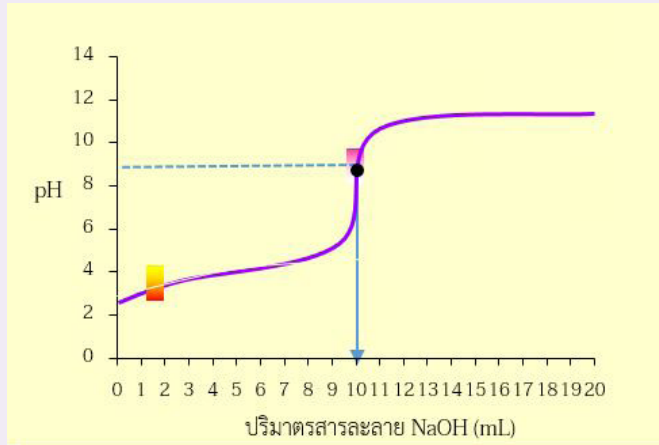
1. การคำนวณปริมาตรสารละลาย NaOH ที่จุดสมมูล เป็นดังนี้ จากสมการเคมี



$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของ NaOH} &= \frac{0.100 \text{ mol CH}_3\text{COOH}}{1000 \text{ mL CH}_3\text{COOH sol}^{\text{a}}} \times 10.00 \text{ mL CH}_3\text{COOH sol}^{\text{a}} \\ &\times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol CH}_3\text{COOH}} \times \frac{1000 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}}}{0.0999 \text{ mol NaOH}} \\ &= 10.0 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

ดังนั้น ณ จุดสมมูล ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้เท่ากับ 10.0 มิลลิลิตร

2. กราฟการไทเทรตระหว่างสารละลาย NaOH และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และช่วง pH การเปลี่ยนสีของเมทิลออเรนจ์และฟีนอล์ฟทาลีน ดังแสดง



### สรุปผลการทดลอง

เมทิลออเรนจ์และฟีนอล์ฟทาลีนบอกจุดยุติในการไทเทรตระหว่างสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  กับสารละลาย NaOH ได้แตกต่างกัน ซึ่งควรเลือกใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ เนื่องจาก pH ของจุดสมมูลอยู่ในช่วง pH การเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน

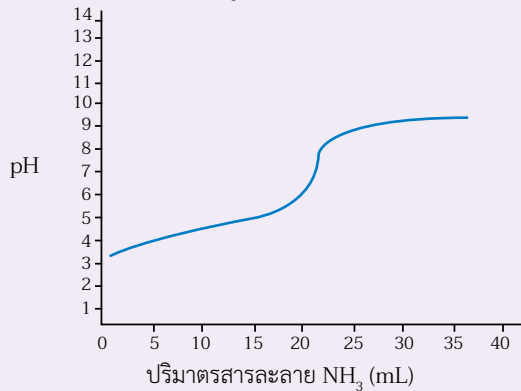
7. ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 10.14 แล้วใช้คำถามนำอภิปรายว่า อินดิเคเตอร์ทั้ง 4 ชนิดเหมาะสมที่จะใช้ในการไทเทรตกรดแก่-เบสแก่หรือไม่ เพราะเหตุใด ซึ่งครูได้คำตอบว่า เหมาะสม เพราะช่วง pH การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ทั้งสี่อยู่ในช่วงที่ pH มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรตใกล้เคียงกับปริมาตร ณ จุดสมมูล





### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การไทเทรตกรดอ่อนกับเบสอ่อน เช่น สารละลายกรดแอสติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) กับสารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) มีกราฟการไทเทรต ดังรูป



จากกราฟจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลง pH ระหว่างไทเทรตเพิ่มขึ้นทีละน้อย และช่วงที่ pH มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นั้นมีความชันน้อย การหาจุดสมมูลจากกราฟการไทเทรตจึงค่อนข้างยากและไม่เที่ยง ซึ่งส่งผลต่อการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับบอกจุดยุติ ในทางปฏิบัติ จึงไม่นิยมทำการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสอ่อน

8. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

อินดิเคเตอร์ใดบ้างที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการไทเทรตระหว่างสารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) กับ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) โดยพิจารณาจากกราฟการไทเทรตในรูป 10.13 และช่วง pH การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ในรูป 10.14

**อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมคือ เมทิลออเรนจ์และเมทิลเรด**

9. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.4 การทดลองหาความเข้มข้นของสารละลายจากการไทเทรตกรด-เบส โดยใช้อินดิเคเตอร์บอกจุดยุติ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 10.4 การทดลองหาความเข้มข้นของสารละลายจากการไทเทรต กรด-เบส โดยใช้อินดิเคเตอร์บอกจุดยุติ

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายจากการไทเทรตกรด-เบส โดยใช้อินดิเคเตอร์บอกจุดยุติ
2. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

| เวลาที่ใช้ | อธิบาย                | เวลา | หน่วย |
|------------|-----------------------|------|-------|
|            | อภิปรายก่อนทำการทดลอง | 10   | นาที  |
|            | ทำการทดลอง            | 30   | นาที  |
|            | อภิปรายหลังทำการทดลอง | 10   | นาที  |
|            | รวม                   | 50   | นาที  |

#### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ  | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|---|----------------|
| <b>สารเคมี</b>  |                |
| 1. สารละลายตัวอย่าง A (HCl 0.08 mol/L) หรือ สารละลายตัวอย่าง B (HCl 0.12 mol/L) | 30 mL          |
| 2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.10 mol/L                           | 100 mL         |
| 3. เมทิลเรด   | ] ใช้ร่วมกัน   |
| 4. โบรโมไทมอลบลู  |                |
| 5. ฟีนอล์ฟทาลีน   |                |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>  |                |
| 1. ปิเปตต์ขนาด 10 mL  | 1 อัน          |
| 2. บิวเรตต์ขนาด 50 mL   | 1 อัน          |
| 3. ขวดรูปกรวยขนาด 100 mL  | 3 ใบ           |
| 4. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL  | 2 ใบ           |
| 5. หลอดหยด  | 1 อัน          |
| 6. กรวยกรอง   | 1 อัน          |
| 7. ขาดั่งพร้อมที่จับ  | 1 ชุด          |
| 8. ลูกยางปิเปตต์  | 1 อัน          |
| 9. ขวดน้ำกลั่น  | 1 ใบ           |

### การเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียม NaOH 0.10 mol/L ปริมาตร 1000 mL ใช้วิธีเตรียมเช่นเดียวกับกิจกรรม 10.3 หรือสามารถใช้สารละลายที่เหลือจากกิจกรรม 10.3 ได้
2. เตรียม HCl 1.2 mol/L ปริมาตร 50 mL เพื่อนำไปเจือจางเป็นสารละลายตัวอย่าง A (HCl 0.08 mol/L ปริมาตร 250 mL) และสารละลายตัวอย่าง B (0.12 mol/L ปริมาตร 250 mL) โดยตวง HCl 6.0 mol/L ปริมาตร 10 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 25 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL
3. เตรียมสารละลายตัวอย่าง A โดยตวง HCl 1.2 mol/L ปริมาตร 17 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 125 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 250 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 8 กลุ่ม)
4. เตรียมสารละลายตัวอย่าง B โดยการตวง HCl 1.2 mol/L ปริมาตร 25 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 125 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 250 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลอง ของนักเรียนประมาณ 8 กลุ่ม)

### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการฝึกทักษะ ครูควรให้นักเรียนทุกคนได้มีโอกาสทดลองทำการไทเทรต
2. ครูควรติดฉลากสารละลายตัวอย่าง A หรือ B บนขวดให้ชัดเจน
3. ครูควรบอกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH ให้นักเรียนรับทราบก่อนการทดลอง

## 4. การเปลี่ยนสีที่จุดยุติของอินดิเคเตอร์ 3 ชนิด เป็นดังนี้

| อินดิเคเตอร์  | เริ่มต้น   | ที่จุดยุติ  |
|---------------|--|---|
| โบรโมไทมอลบลู | <br>สีเหลือง  | <br>สีเขียว  |
| เมทิลเรด      | <br>สีแดง     | <br>สีเหลือง |
| ฟีนอล์ฟทาลีน  | <br>ไม่มีสี | <br>สีชมพู |

กรณีใช้สารละลายตัวอย่าง A

ตัวอย่างผลทดลอง

ชื่อสารละลายตัวอย่าง.....A.....

อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรต.....โบรโมไทมอลบลู.....

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH .....0.102 mol/L.....

| การทดลอง ครั้งที่ | ปริมาตรสารละลาย ตัวอย่าง A (mL) | สารละลายมาตรฐาน NaOH   |                               |                    |
|-------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|
|                   |                                 | ขีดวัดปริมาตร เริ่มต้น | ขีดวัดปริมาตร เมื่อถึงจุดยุติ | ปริมาตรที่ใช้ (mL) |
| 1                 | 10.00                           | 0.00                   | 7.80                          | 7.80               |
| 2                 | 10.00                           | 8.00                   | 15.70                         | 7.70               |
| 3                 | 10.00                           | 17.00                  | 24.70                         | 7.70               |
|                   |                                 |                        | เฉลี่ย                        | 7.73               |

**หมายเหตุ** หากใช้เมทิลเรดหรือฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ก็จะให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับเมื่อใช้โบรมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์

**อภิปรายผลการทดลอง**

ปฏิกิริยาระหว่าง HCl และ NaOH เขียนแสดงสมการเคมีได้ดังนี้



จากการทดลองไทเทรตสารละลายตัวอย่าง A ด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยใช้โบรมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์ พบว่าใช้สารละลาย NaOH ปริมาตร 7.73 mL ซึ่งคำนวณความเข้มข้น ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ HCl} &= \frac{0.102 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH sol}^n} \times 7.73 \text{ mL NaOH sol}^n \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol NaOH}} \\ &\times \frac{1}{10.00 \text{ mL HCl sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL HCl sol}^n}{1 \text{ L HCl sol}^n} \\ &= 0.0788 \text{ mol HCl/L HCl sol}^n \end{aligned}$$

**สรุปผลการทดลอง**

เมื่อทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง A ซึ่งเป็นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยใช้โบรมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์แล้วคำนวณหาความเข้มข้นพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง A เท่ากับ 0.0788 โมลต่อลิตร

### กรณีใช้สารละลายตัวอย่าง B

#### ตัวอย่างผลทดลอง

ชื่อสารละลายตัวอย่าง.....B.....

อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรต.....โบรโมไทมอลบลู.....

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH .....0.102 mol/L.....

| การทดลอง ครั้งที่ | ปริมาตรสารละลาย<br>ตัวอย่าง B (mL) | สารละลาย NaOH             |                                  |                                |
|-------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|                   |                                    | ขีดวัดปริมาตร<br>เริ่มต้น | ขีดวัดปริมาตร<br>เมื่อถึงจุดยุติ | ปริมาตร<br>NaOH ที่ใช้<br>(mL) |
| 1                 | 10.00                              | 0.00                      | 12.30                            | 12.30                          |
| 2                 | 10.00                              | 14.00                     | 26.10                            | 12.10                          |
| 3                 | 10.00                              | 28.00                     | 40.20                            | 12.20                          |
|                   |                                    |                           | เฉลี่ย                           | 12.20                          |

**หมายเหตุ** หากใช้เมทิลเรดหรือฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ก็จะให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับเมื่อใช้โบรโมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์

#### อภิปรายผลการทดลอง

ปฏิกิริยาระหว่าง HCl และ NaOH เขียนแสดงสมการเคมีได้ดังนี้



จากการทดลองไทเทรตสารละลายตัวอย่าง B ด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยใช้โบรโมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์ พบว่าใช้สารละลาย NaOH ปริมาตร 12.20 mL ซึ่งคำนวณความเข้มข้น ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ HCl} &= \frac{0.102 \cancel{\text{ mol NaOH}}}{1000 \cancel{\text{ mL NaOH sol}^{\text{a}}}} \times 12.20 \cancel{\text{ mL NaOH sol}^{\text{a}}} \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{1 \cancel{\text{ mol NaOH}}} \\ &\times \frac{1}{10.00 \cancel{\text{ mL HCl sol}^{\text{a}}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{ mL HCl sol}^{\text{a}}}}{1 \text{ L HCl sol}^{\text{a}}} \\ &= 0.124 \text{ mol HCl/L HCl sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

### สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง B ซึ่งเป็นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยใช้โบรโมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณหาความเข้มข้นพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง B เท่ากับ 0.124 โมลต่อลิตร

10. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.7 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับวิธีการไทเทรต การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรต และการคำนวณปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต จากรายงานการทดลอง การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการทดลอง และการสังเกต จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง และรายงานการทดลอง
3. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล จากรายงานการทดลอง
4. ทักษะการใช้จำนวน จากรายงานการทดลอง และการทำแบบฝึกหัด
5. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการทำการทดลอง
6. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปราย
7. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
8. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้างและการใช้วิจารณญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
9. จิตวิทยาด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด



## แบบฝึกหัด 10.7

1. ในการไทเทรตสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร พบว่าทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) 0.10 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20.00 มิลลิลิตร สารละลายกรดไนตริกมีความเข้มข้นเท่าใด

จากสมการเคมี



คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{HNO}_3$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } \text{HNO}_3 &= \frac{0.10 \text{ mol KOH}}{1000 \text{ mL KOH sol}^{\text{a}}} \times 20.00 \text{ mL KOH sol}^{\text{a}} \times \frac{1 \text{ mol HNO}_3}{1 \text{ mol KOH}} \\ &= 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol HNO}_3 \end{aligned}$$

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{HNO}_3$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{HNO}_3 &= \frac{2.0 \times 10^{-3} \text{ mol HNO}_3}{25.00 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}}{1 \text{ L sol}^{\text{a}}} \\ &= 0.080 \text{ mol HNO}_3/\text{L sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.080 โมลต่อลิตร

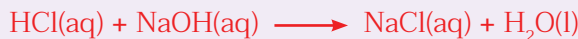
2. ในการทดลองหาค่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) 1.0 โมลต่อลิตร ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) 0.0020 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จึงคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ขณะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 หยด 4 หยด และ 6 หยด ตามลำดับ (1 มิลลิลิตร เท่ากับ 20 หยด)

คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{HCl}$  ใน  $\text{HCl}$  0.0020 mol/L ปริมาตร 100 mL

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } \text{HCl} &= \frac{0.0020 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL HCl sol}^{\text{a}}} \times 100 \text{ mL HCl sol}^{\text{a}} \\ &= 2.0 \times 10^{-4} \text{ mol HCl} \end{aligned}$$



ปฏิกิริยาระหว่าง HCl และ NaOH ดังสมการเคมี



**เมื่อหยด NaOH 1 หยด**

คำนวณจำนวนโมลของ NaOH ในสารละลาย 1 หยด

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ NaOH} &= \frac{1.0 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH sol}^n} \times 1 \text{ หยด NaOH sol}^n \times \frac{1 \text{ mL NaOH sol}^n}{20 \text{ หยด NaOH sol}^n} \\ &= 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol NaOH} \end{aligned}$$

จากสมการเคมี HCl ทำปฏิกิริยากับ NaOH ด้วยจำนวนโมลที่เท่ากัน ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ HCl ที่เหลือ} &= (2.0 \times 10^{-4}) \text{ mol} - (5.0 \times 10^{-5}) \text{ mol} \\ &= 1.5 \times 10^{-4} \text{ mol} \end{aligned}$$

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  ในสารละลายปริมาตร 100 mL

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{H}_3\text{O}^+ &= \frac{1.5 \times 10^{-4} \text{ mol HCl}}{100 \text{ mL sol}^n} \times \frac{1 \text{ mol H}_3\text{O}^+}{1 \text{ mol HCl}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^n}{1 \text{ L sol}^n} \\ &= 1.5 \times 10^{-3} \text{ mol H}_3\text{O}^+/\text{L sol}^n \end{aligned}$$

ดังนั้น ขณะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 หยด สารละลายมีไฮโดรเนียมไอออนเข้มข้น  $1.5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**เมื่อหยด NaOH 4 หยด**

คำนวณจำนวนโมลของ NaOH ในสารละลาย 4 หยด

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ NaOH} &= \frac{1.0 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH sol}^n} \times 4 \text{ หยด NaOH sol}^n \times \frac{1 \text{ mL NaOH sol}^n}{20 \text{ หยด NaOH sol}^n} \\ &= 2.0 \times 10^{-4} \text{ mol NaOH} \end{aligned}$$

เนื่องจากจำนวนโมลของ NaOH ที่เติมลงไป 4 หยด เท่ากับจำนวนโมลของ HCl ที่มีอยู่ในสารละลาย ดังนั้น ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน จึงเท่ากับความเข้มข้นที่ได้จากการแตกตัวของน้ำ คือ  $1.0 \times 10^{-7}$  โมลต่อลิตร

**เมื่อหยด NaOH 6 หยด**

คำนวณจำนวนโมลของ NaOH ในสารละลาย 6 หยด

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ NaOH} &= \frac{1.0 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH sol}^n} \times \cancel{6 \text{ หยด NaOH sol}^n} \times \frac{1 \text{ mL NaOH sol}^n}{\cancel{20 \text{ หยด NaOH sol}^n}} \\ &= 3.0 \times 10^{-4} \text{ mol NaOH} \end{aligned}$$

เนื่องจากจำนวนโมลของ NaOH มากกว่าจำนวนโมลของ HCl ดังนั้น  
จำนวนโมลของ NaOH ที่เหลือ =  $(3.0 \times 10^{-4}) \text{ mol} - (2.0 \times 10^{-4}) \text{ mol}$   
=  $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$

เนื่องจาก NaOH 1 mol แตกตัวให้  $\text{OH}^-$  1 mol ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  ในสารละลาย  
ปริมาตร 100 mL คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{OH}^- &= \frac{1.0 \times 10^{-4} \text{ mol NaOH}}{100 \text{ mL sol}^n} \times \frac{1 \text{ mol OH}^-}{1 \text{ mol NaOH}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^n}{1 \text{ L sol}^n} \\ &= 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol OH}^-/\text{L sol}^n \end{aligned}$$

$$\text{จาก } K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

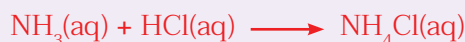
แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} 1.0 \times 10^{-14} &= [\text{H}_3\text{O}^+] \times 1.0 \times 10^{-3} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] &= 1.0 \times 10^{-11} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขณะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 หยด สารละลายมีไฮโดรเนียมไอออนเข้มข้น  
 $1.0 \times 10^{-11}$  โมลต่อลิตร

3. ในการไทเทรตสารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร กับสารละลาย  
กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.50 โมลต่อลิตร โดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ปริมาตร  
สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เท่ากับ 32.40 มิลลิลิตร สารละลายแอมโมเนียมี  
ความเข้มข้นร้อยละเท่าใดโดยมวลต่อปริมาตร

ปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย  $\text{NH}_3$  และสารละลาย HCl แสดงดังสมการเคมี



คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{NH}_3$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } \text{NH}_3 &= \frac{0.50 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL HCl sol}^{\text{a}}} \times 32.40 \text{ mL HCl sol}^{\text{a}} \times \frac{1 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol HCl}} \\ &= 1.6 \times 10^{-2} \text{ mol NH}_3 \end{aligned}$$

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{NH}_3 &= 1.6 \times 10^{-2} \text{ mol NH}_3 \times \frac{17.04 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} \times \frac{1}{25.00 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times 100\% \\ &= 1.1 \% \text{ g NH}_3/\text{mL sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 1.1 โดยมวลต่อปริมาตร

4. วิตามินซีมีกรดแอสคอร์บิก ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) เป็นส่วนประกอบสำคัญ กรดนี้ทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ดังสมการเคมี



ถ้านำวิตามินซีชนิดเม็ดตัวอย่างหนึ่ง 0.10 กรัม มาละลายน้ำ แล้วไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.020 โมลต่อลิตร พบว่าต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15.20 มิลลิลิตร วิตามินซีตัวอย่างนี้มีกรดแอสคอร์บิกร้อยละโดยมวลเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 &= \frac{0.020 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}}} \times 15.2 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}} \times \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_8\text{O}_6}{2 \text{ mol NaOH}} \\ &\quad \times \frac{176.14 \text{ g C}_6\text{H}_8\text{O}_6}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_8\text{O}_6} \times \frac{1}{0.10 \text{ g Vitamin C}} \times 100\% \\ &= 27 \% \text{ g C}_6\text{H}_8\text{O}_6/\text{g Vitamin C} \end{aligned}$$

ดังนั้น วิตามินซีตัวอย่างมีกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 27 โดยมวล

5. พิจารณาข้อมูลต่อไปนี้

| อินดิเคเตอร์  | ช่วง pH ที่เปลี่ยนสี | สีที่เปลี่ยน   |
|---------------|----------------------|----------------|
| เมทิลเรด      | 4.2–6.3              | แดง–เหลือง     |
| โบรโมไทมอลบลู | 6.0–7.6              | เหลือง–น้ำเงิน |
| ฟีนอล์ฟทาลีน  | 8.3–10.0             | ไม่มีสี–ชมพู   |

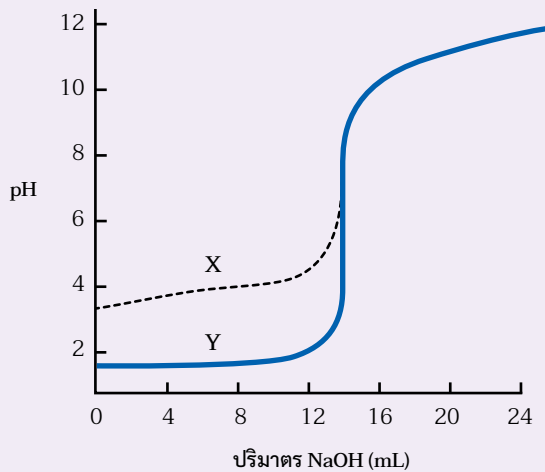
อินดิเคเตอร์ใดบ้างที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการไทเทรตระหว่างสารละลายกรด-เบสที่มีความเข้มข้นเท่ากันต่อไปนี้

5.1  $\text{HNO}_3$  และ  $\text{NH}_3$  เมทิลเรด

5.2  $\text{HF}$  และ  $\text{NaOH}$  ฟีนอล์ฟทาลีน

5.3  $\text{HCl}$  และ  $\text{LiOH}$  เมทิลเรด โบรโมไทมอลบลู และฟีนอล์ฟทาลีน

6. กราฟของการไทเทรตระหว่างสารละลายกรดมอนอโปรติกสองชนิด X และ Y ที่มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) เป็นดังรูป



6.1 pH ที่จุดสมมูลของการไทเทรตสาร X และ Y มีค่าเท่าใด

pH ที่จุดสมมูลของการไทเทรตสาร X มีค่าประมาณ 8

pH ที่จุดสมมูลของการไทเทรตสาร Y มีค่าประมาณ 6

6.2 จงเปรียบเทียบความแรงของกรด X และ Y

ความแรงของกรด Y มากกว่ากรด X

6.3 ในการไทเทรตสารละลาย X ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเลือกใช้อินดิเคเตอร์ใดได้บ้าง จึงจะบอกจุดยุติที่ใกล้เคียงกับจุดสมมูล

ในการไทเทรตกรด X ซึ่งเป็นกรดอ่อนด้วย  $\text{NaOH}$  ซึ่งเป็นเบสแก่ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเป็นเบส เมื่อพิจารณาจากกราฟการไทเทรตพบว่าที่จุดสมมูลมี pH ประมาณ 8 จึงควรเลือกอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH การเปลี่ยนสีที่ใกล้เคียงกับจุดสมมูล เช่น ฟีนอล์ฟทาลีน (ช่วง pH การเปลี่ยนสีที่ pH 6.8–8.4) ครีซอลเรด (ช่วง pH การเปลี่ยนสีที่ pH 7.2–8.8)

## 10.8 สารละลายบัฟเฟอร์

### จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายสมบัติ องค์ประกอบ และประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน   | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|---|--|
| เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปมาก สารละลายบัฟเฟอร์ยังสามารถควบคุม pH ได้                                 | เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปมาก สารละลายบัฟเฟอร์ไม่สามารถควบคุม pH ได้เนื่องจากความเข้มข้นของกรดหรือเบสส่งผลต่อความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ |
| สารละลายบัฟเฟอร์เตรียมได้จากการผสมกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน หรือเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อนเท่านั้น | สารละลายบัฟเฟอร์สามารถเตรียมได้จากการผสมสารละลายกรดและเบสที่ทำให้ได้สารผสมที่เป็นคู่กรด-เบสกัน   |

### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูตรวจสอบความรู้โดยใช้คำถามว่า เมื่อเติมกรดหรือเบสลงในน้ำ จะทำให้ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ซึ่งควรได้คำตอบว่า เมื่อเติมกรด pH จะลดลงต่ำกว่า 7 ส่วนเมื่อเติมเบส pH จะเพิ่มขึ้นสูงกว่า 7 จากนั้นครูใช้คำถามนำว่า การเติมกรดหรือเบสลงในสารละลายผสมระหว่างกรดแอซีติกและโซเดียมแอซีเตต จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายเหมือนหรือต่างจากน้ำอย่างไร เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 10.5

2. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.5 การทดลองการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำและสารละลายผสมระหว่างกรดแอซีติกและโซเดียมแอซีเตต แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 10.5 การทดลองการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำและสารละลายผสมระหว่างกรดแอสिटิกและโซเดียมแอสिटเตต

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำและสารละลายผสมระหว่างกรดแอสिटิกและโซเดียมแอสिटเตต
2. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำและสารละลายผสมระหว่างกรดแอสिटิกและโซเดียมแอสिटเตต

| เวลาที่ใช้ | อธิบาย                | เวลา      | หน่วย       |
|------------|-----------------------|-----------|-------------|
|            | อภิปรายก่อนทำการทดลอง | 5         | นาที        |
|            | ทำการทดลอง            | 10        | นาที        |
|            | อภิปรายหลังทำการทดลอง | 10        | นาที        |
|            | <b>รวม</b>            | <b>25</b> | <b>นาที</b> |

#### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ  | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|---|----------------|
| <b>สารเคมี</b>  |                |
| 1. น้ำกลั่น   | 4 mL           |
| 2. สารละลายกรดแอสिटิก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 0.10 mol/L       | 2 mL           |
| 3. สารละลายโซเดียมแอสिटเตต ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) 0.10 mol/L | 2 mL           |
| 4. ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์   | 4 หยด          |
| 5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.10 mol/L                          | 2 หยด          |
| 6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.10 mol/L                      | 2 หยด          |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>  |                |
| 1. หลอดทดลองขนาดเล็ก  | 4 หลอด         |
| 2. หลอดหยด  | 2 อัน          |
| 3. กระบอกตวงขนาด 10 mL  | ใช้ร่วมกัน     |

### การเตรียมล่วงหน้า

- เตรียม NaOH 0.10 mol/L ปริมาตร 50 mL โดยชั่ง NaOH 0.20 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 50 กลุ่ม)
- เตรียม HCl 0.10 mol/L ปริมาตร 50 mL ดังนี้ เตรียม HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 12 mL โดยตวง HCl 6.0 mol/L ปริมาตร 2.0 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 6 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 12 mL จากนั้นตวง HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 5.0 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 25 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 50 กลุ่ม)
- เตรียม CH<sub>3</sub>COOH 0.10 mol/L ปริมาตร 100 mL ดังนี้ เตรียม CH<sub>3</sub>COOH 1.0 mol/L ปริมาตร 24 mL โดยตวง CH<sub>3</sub>COOH 12 mol/L ปริมาตร 2.0 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 12 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 24 mL จากนั้นตวง CH<sub>3</sub>COOH 1.0 mol/L ปริมาตร 10 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 50 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 50 กลุ่ม)
- เตรียม CH<sub>3</sub>COONa 0.10 mol/L ปริมาตร 100 mL โดยชั่ง CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O 1.36 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 50 กลุ่ม)

### ตัวอย่างผลการทดลอง

| สาร   | H <sub>2</sub> O   | CH <sub>3</sub> COOH + CH <sub>3</sub> COONa  |
|---|--|---|
| สีของสารละลายเมื่อหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ | หลอดที่ 1 และ 2 สีเขียว<br> | หลอดที่ 3 และ 4 สีส้ม<br> |
| pH  | 7  | 5   |
| สีของสารละลายเมื่อเติม HCl                    | หลอดที่ 1 สีแดง<br>         | หลอดที่ 3 สีส้ม<br>       |
| pH  | 1-2  | 5   |
| สีของสารละลายเมื่อเติม NaOH                   | หลอดที่ 2 สีม่วง<br>        | หลอดที่ 4 สีส้ม<br>       |
| pH  | 13   | 5   |

### อภิปรายผลการทดลอง

เมื่อเติม HCl ลงในน้ำพบว่าค่า pH ลดลงจาก 7 เป็นประมาณ 1–2 แต่เมื่อเติม HCl ลงในสารละลายผสมระหว่าง  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  พบว่า ค่า pH ค่อนข้างคงที่ที่ pH 5

เมื่อเติม NaOH ลงในน้ำพบว่าค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 7 เป็น 13 แต่การเติม NaOH ลงในสารละลายผสมระหว่าง  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  พบว่า ค่า pH ค่อนข้างคงที่ที่ pH 5

### สรุปผลการทดลอง

เมื่อมีการเติมกรดหรือเบสลงไปเล็กน้อย pH ของสารละลายผสมระหว่าง  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าของน้ำ

3. ครูเชื่อมโยงความรู้จากกิจกรรม 10.5 เพื่ออธิบายเกี่ยวกับสมบัติและองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ โดยใช้รูป 10.15 และตาราง 10.5 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
4. ครูใช้คำถามนำว่า สารละลายบัฟเฟอร์สามารถควบคุม pH ได้อย่างไร จากนั้นอธิบายหลักการในการควบคุม pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ และอัตราส่วนความเข้มข้นของคู่กรด-เบสที่ทำให้ได้สารละลายบัฟเฟอร์ที่ดี ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
5. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. สารละลายบัฟเฟอร์  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COONa}$  ควบคุม pH ของสารละลาย เมื่อมีการเติมกรดหรือเบสเล็กน้อย ได้อย่างไร พร้อมเขียนสมการเคมีที่เกี่ยวข้อง ประกอบการอธิบาย

สารละลายบัฟเฟอร์นี้มี  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  เมื่อมีการเติมกรดลงไปเล็กน้อย  $\text{H}_3\text{O}^+$  ที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  ในระบบ ดังสมการเคมี



ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  ในสารละลายจึงเพิ่มขึ้นน้อยมาก pH ของสารละลายจึงค่อนข้างคงที่



ในทางตรงกันข้ามการเติมเบสลงไปเล็กน้อย  $\text{OH}^-$  ที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในระบบ ดังสมการเคมี



ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  ในสารละลายจึงเพิ่มขึ้นน้อยมาก pH ของสารละลายจึงค่อนข้างคงที่

2. สารละลายใดต่อไปนี้จะควบคุม pH ได้ดีที่สุด

2.1 สารละลายผสมที่มี  $\text{HCl}$  0.50 mol/L และ  $\text{NaOH}$  0.50 mol/L

2.2 สารละลายผสมที่มี  $\text{NaHCO}_3$  0.10 mol/L และ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.10 mol/L

2.3 สารละลายผสมที่มี  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0.10 mol/L และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0.10 mol/L

2.4 สารละลายผสมที่มี  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0.50 mol/L และ  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0.50 mol/L

สารละลายที่ควบคุม pH ได้ดีที่สุด คือ สารละลายผสมที่มี  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0.50 mol/L และ  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0.50 mol/L เพราะเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นของคู่กรด-เบสเท่ากับ 1 และมีความเข้มข้นสูงที่สุด

3. pH ของสารละลายบัฟเฟอร์  $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$  สัมพันธ์กับค่า  $\text{pK}_a$  ของ  $\text{NH}_4^+$  และอัตราส่วนความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{NH}_3$  อย่างไร

pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ขึ้นอยู่กับค่า  $K_a$  และอัตราส่วนความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+$  ต่อความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  โดยหากความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{NH}_4^+$  เท่ากัน pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับ  $\text{pK}_a$  ของ  $\text{NH}_4^+$  ส่วนสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  มากกว่า  $\text{NH}_4^+$  จะมีค่า pH สูงกว่า  $\text{pK}_a$  ในทางตรงกันข้าม หากความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+$  มากกว่า  $\text{NH}_3$  สารละลายจะมีค่า pH ต่ำกว่า  $\text{pK}_a$

6. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับวิธีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ จากปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนและเบสแก่ โดยใช้ตัวอย่างการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  กับ  $\text{NaOH}$  และใช้กราฟการไทเทรตรูป 10.16 ประกอบการอธิบาย ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนและชี้ให้เห็นว่าช่วงที่สารละลายมีสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์เป็นช่วงที่อยู่ก่อนจุดสมมูล

7. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

สารละลายผสมคู่ใดต่อไปนี้ควบคุม pH ได้ดีที่สุด

1.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0.10 mol/L ปริมาตร 10 mL และ NaOH 0.10 mol/L ปริมาตร 5 mL
2.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0.10 mol/L ปริมาตร 10 mL และ NaOH 0.10 mol/L ปริมาตร 10 mL
3.  $\text{NH}_3$  0.10 mol/L ปริมาตร 10 mL และ HCl 0.10 mol/L ปริมาตร 10 mL
4. HCl 0.50 mol/L ปริมาตร 10 mL กับ NaOH 0.50 mol/L ปริมาตร 10 mL

สารละลายผสมระหว่าง  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0.10 mol/L ปริมาตร 10 mL และ NaOH 0.10 mol/L ปริมาตร 5 mL ควบคุม pH ได้ดีที่สุด เนื่องจากเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยกรดอ่อน  $\text{H}_3\text{PO}_4$  และคู่เบส  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในอัตราส่วนความเข้มข้นเท่ากับ 1 ส่วน สารละลายผสมคู่อื่นไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์เนื่องจากกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกันจนเกือบไม่มีกรดหรือเบสที่เป็นสารตั้งต้นเหลืออยู่



### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

โดยทั่วไปสารละลายบัฟเฟอร์เตรียมได้จากสารละลายผสมที่เป็นคู่กรด-เบสของกรดอ่อนหรือเบสอ่อน แต่ในการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่ำ ๆ อาจเตรียมจากสารละลายผสมระหว่างกรดแก่และเกลือของกรดแก่ เช่น สารละลายผสมระหว่าง HCl กับ KCl

8. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 10.8 เพื่อทบทวนความรู้

#### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับสมบัติ องค์ประกอบ และประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์ จากรายงานการทดลอง การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการทดลอง และการสังเกต จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง และรายงานการทดลอง
3. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง



แบบฝึกหัด 10.8

1. สารละลายแต่ละชนิดมีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากัน เมื่อผสมสารละลายเข้าด้วยกัน ดังตาราง สารละลายผสมในข้อใดเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

| ข้อ | สารละลายที่ 1 | สารละลายที่ 2 |
|-----|---------------|---------------|
| 1.1 | $C_6H_5COOH$  | $C_6H_5COONa$ |
| 1.2 | $NaF$         | $HF$          |
| 1.3 | $Ca(OH)_2$    | $Ca(NO_3)_2$  |
| 1.4 | $H_3PO_4$     | $Na_3PO_4$    |
| 1.5 | $HCOOH$       | $HCOOK$       |
| 1.6 | $Na_2HPO_4$   | $Na_3PO_4$    |

สารละลายผสมที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ คือ  $C_6H_5COOH/C_6H_5COONa$   
 $NaF/HF$   $HCOOH/HCOOK$  และ  $Na_2HPO_4/Na_3PO_4$

2. ถ้าผสมสารละลายกรดไนตริก ( $HNO_2$ ) 0.10 โมลต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตรกับ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $KOH$ ) 0.050 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

2.1 หลังปฏิกิริยาลิ้นสุดมีสารใดบ้างอยู่ในสารละลาย

คำนวณจำนวนโมลของ  $HNO_2$  และ  $KOH$

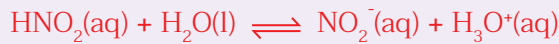
$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } HNO_2 &= \frac{0.10 \text{ mol } HNO_2}{1000 \text{ mL sol}^n} \times 25.00 \text{ mL sol}^n \\ &= 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol } HNO_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } KOH &= \frac{0.050 \text{ mol } KOH}{1000 \text{ mL sol}^n} \times 10.00 \text{ mL sol}^n \\ &= 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol } KOH \end{aligned}$$

เนื่องจากจำนวนโมลของ  $KOH$  น้อยกว่า  $HNO_2$  ดังนั้นหลังปฏิกิริยาลิ้นสุดจะมี  $HNO_2$  ซึ่งเป็นสารตั้งต้น และ  $KNO_2$  ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อยู่ในสารละลาย

2.2 สารละลายหลังปฏิกิริยาลิ้นสุดเป็นสารละลายบัฟเฟอร์หรือไม่อย่างไร  
เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เพราะมีกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อนอยู่ในสารละลาย

2.3 สารละลายหลังปฏิกิริยาลิ้นสุด มีสมบัติเป็นกรด เบส หรือ เป็นกลาง  
 $\text{HNO}_2$  ในสารละลายแตกตัวให้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ได้ดังสมการเคมี



และจากตาราง 10.2  $\text{HNO}_2$  มีค่า  $K_a$  เท่ากับ  $5.62 \times 10^{-4}$

$\text{KNO}_2$  ในสารละลายสามารถแตกตัวให้  $\text{K}^+$  และ  $\text{NO}_2^-$  ซึ่ง  $\text{NO}_2^-$  สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ ดังสมการเคมี



ค่า  $K_b$  ของ  $\text{NO}_2^-$  คำนวณจากความสัมพันธ์กับค่า  $K_a$  ของ  $\text{HNO}_2$  ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad K_b &= \frac{K_w}{K_a} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad K_b &= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{5.62 \times 10^{-4}} \\ &= 1.8 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

ดังนั้น  $\text{NO}_2^-$  มีค่า  $K_b$  เท่ากับ  $1.8 \times 10^{-11}$

เมื่อเปรียบเทียบ  $K_a$  ของ  $\text{HNO}_2$  กับ  $K_b$  ของ  $\text{NO}_2^-$  พบว่า  $K_a$  มีค่ามากกว่า  $K_b$  ดังนั้นสารละลายหลังปฏิกิริยาลิ้นสุดมี  $\text{H}_3\text{O}^+$  มากกว่า  $\text{OH}^-$  สารละลายจึงเป็นกรด

## 10.9 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส

### จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส

### แนวการจัดการเรียนรู้

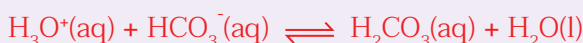
1. ครูอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบสโดยใช้ตัวอย่าง การแก้ปัญหาดินเปรี้ยว การวิเคราะห์ปริมาณกรดในอาหาร การควบคุม pH ของสารละลายในร่างกายและในธรรมชาติ กระบวนการกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
2. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



#### ตรวจสอบความเข้าใจ

เมื่อนำน้ำทะเลมาหยดกรดแก่หรือเบสแก่ลงไปเล็กน้อยพบว่าค่า pH ค่อนข้างคงที่ เพราะเหตุใด เขียนสมการเคมีประกอบคำอธิบาย

ถ้าเติมกรดเล็กน้อยลงในน้ำทะเล  $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{HCO}_3^-$  จะทำปฏิกิริยากับ  $\text{H}_3\text{O}^+$  ดังสมการเคมี



ถ้าเติมเบสเล็กน้อยลงในน้ำทะเล  $\text{HCO}_3^-$  จะทำปฏิกิริยากับ  $\text{OH}^-$  ดังสมการเคมี



3. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.6 สืบค้นข้อมูลการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการสืบค้นร่วมกัน



### กิจกรรม 10.6 สืบค้นข้อมูลการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส

#### จุดประสงค์การทดลอง

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับกรด-เบสไปใช้ประโยชน์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน

|            |                      |    |      |
|------------|----------------------|----|------|
| เวลาที่ใช้ | อภิปรายก่อนทำกิจกรรม | 45 | นาที |
|            | ทำกิจกรรม            | 30 | นาที |
|            | อภิปรายหลังทำกิจกรรม | 15 | นาที |
| รวม        |                      | 90 | นาที |

#### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและเตรียมการนำเสนอล่วงหน้า

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

##### การบำบัดน้ำเสียให้มีค่า pH ที่เหมาะสม

น้ำเสียที่ปล่อยจากอุตสาหกรรมบางประเภทเป็นกรดที่มีค่า pH ต่ำกว่าข้อกำหนดของกฎหมาย จึงจำเป็นต้องมีการปรับค่า pH ของน้ำเสียดังกล่าวก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ในการปรับค่า pH ของน้ำเสียจำเป็นต้องมีการเติมเบสในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งการคำนวณปริมาณเบสที่ใช้สัมพันธ์กับ pH ของสารละลาย เช่น น้ำเสียในบ่อบำบัดแห่งหนึ่งซึ่งเกิดจากการใช้สารละลาย HCl ในอุตสาหกรรม ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เมตร หากต้องการปรับ pH ของน้ำเสียจาก pH 2.0 ให้เป็น pH 7.0 โดยการเติม NaOH ซึ่งจากการคำนวณต้องใช้ NaOH 40 กิโลกรัม

##### สีแดงในเค้กเรดเวลเวท (red velvet)

เค้กเรดเวลเวทเป็นเค้กที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพราะเนื้อเค้กมีสีแดงสดน่ารับประทาน ในอดีตการทำเค้กเรดเวลเวทจะนำน้ำส้มสายชูมาทำปฏิกิริยากับผงโกโก้ โดยผงโกโก้มีสารสีที่ชื่อว่า แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งมีสีในรูปกรดและรูปเบสแตกต่างกัน โดยรูปกรดมีสีแดงอมม่วง ส่วนรูปเบสมีสีน้ำเงินอมเขียว เมื่อเติมน้ำส้มสายชูซึ่งเป็นกรดลงไป แอนโทไซยานินในผงโกโก้จึงเปลี่ยนเป็นสีแดง ส่งผลให้เนื้อเค้กมีสีแดงตามไปด้วย แสดงว่าแอนโทไซยานินสามารถเป็นอินดิเคเตอร์ได้

### การปรับสมดุล pH ในแอมพู

เส้นผมของมนุษย์ประกอบด้วยโปรตีนชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เคราติน กรดแอมิโนในเคราติน ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเคมีหลายชนิด เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งพันธะเหล่านี้ จะยึดเหนี่ยวกันได้ดีที่ pH ประมาณ 4.6–6.0 แอมพูที่มีความเป็นกรดหรือเบสมากเกินไป อาจทำลายเส้นผม แอมพูบางชนิด เช่น แอมพูสำหรับเด็กจะเติมสารละลายบัฟเฟอร์ เช่น กรดซิทริก ( $C_3H_5O(COOH)_3$ ) และโซเดียมซิเตรต ( $C_3H_5O(COONa)_3$ ) เพื่อปรับและควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับสภาพเส้นผม

4. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาในบทเรียนแล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบทเพื่อ ทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการนำความรู้เกี่ยวกับกรด-เบสไปใช้ประโยชน์หรือใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน จากรายงานการสืบค้นและการอภิปราย
2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและจากการรู้เท่าทันสื่อ จากรายงานการสืบค้นและการนำเสนอ
3. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการนำเสนอ
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้างและการใช้วิจารณ์ญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการ อภิปราย
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากรายงานการสืบค้น

แบบฝึกหัด

เฉลยแบบฝึกหัด

แบบทดสอบ

เฉลยแบบทดสอบ



## แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ระบุความแตกต่างของนิยามกรดและเบสตามทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียส ทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี และทฤษฎีกรด-เบสลิวอิส

ทฤษฎีกรด-เบสอาร์เรเนียส กรดคือสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน เบสคือสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน ทฤษฎีกรด-เบสเบรินสเตด-ลาวรี กรดคือสารที่ให้โปรตอน เบสคือสารที่รับโปรตอน ทฤษฎีกรด-เบสลิวอิส กรดคือสารที่รับคู่อิเล็กตรอน เบสคือสารที่ให้คู่อิเล็กตรอน

2. จงคำนวณร้อยละการแตกตัวและค่าคงที่การแตกตัวของสารต่อไปนี้

2.1 กรดฟอร์มิก (HCOOH) 23 กรัม ละลายอยู่ในสารละลายปริมาตร 10 ลิตรและที่สมดุลมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ )  $3.0 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณร้อยละการแตกตัวของ HCOOH**

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ HCOOH เป็นดังนี้



คำนวณความเข้มข้นของ HCOOH

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ HCOOH} &= \frac{23 \text{ g HCOOH}}{10 \text{ L sol}^{\text{a}}} \times \frac{1 \text{ mol HCOOH}}{46.03 \text{ g HCOOH}} \\ &= 5.0 \times 10^{-2} \text{ mol HCOOH/L sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

เนื่องจากที่สมดุล ความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  เท่ากับ  $3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัว} &= \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCOOH}]} \times 100 \\ &= \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{5.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 6.0 \end{aligned}$$

ดังนั้น กรดฟอร์มิกแตกตัวร้อยละ 6.0



**คำนวณค่าคงที่การแตกตัวของ HCOOH**

จากสมการเคมี HCOOH แตกตัวให้  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{HCOO}^-$  ในจำนวนโมลที่เท่ากัน ที่สมดุล จึงมีความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{HCOO}^-$  ชนิดละ  $3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเข้มข้นของ HCOOH} &= (5.0 \times 10^{-2}) \text{ mol/L} - (3.0 \times 10^{-3}) \text{ mol/L} \\ &= 4.7 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

จาก 
$$K_a = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCOOH}]}$$

แทนค่าจะได้ 
$$\begin{aligned} K_a &= \frac{(3.0 \times 10^{-3})(3.0 \times 10^{-3})}{(4.7 \times 10^{-2})} \\ &= 1.9 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าคงที่การแตกตัวของกรดฟอร์มิกเท่ากับ  $1.9 \times 10^{-4}$

2.2 แก๊สแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) 4.3 กรัม ละลายในน้ำ ได้สารละลายปริมาตร 250 มิลลิลิตร และที่สมดุลมีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ )  $4.2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณร้อยละการแตกตัวของ  $\text{NH}_3$**

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $\text{NH}_3$  เป็นดังนี้



คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ NH}_3 &= 4.3 \text{ g NH}_3 \times \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17.04 \text{ g NH}_3} \times \frac{1}{250 \text{ mL sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^n}{1 \text{ L sol}^n} \\ &= 1.0 \text{ mol NH}_3/\text{L sol}^n \end{aligned}$$

เนื่องจากที่สมดุล ความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  เท่ากับ  $4.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการแตกตัว} &= \frac{[\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \times 100 \\ &= \frac{4.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{1.0 \text{ mol/L}} \times 100 \\ &= 0.42 \end{aligned}$$

ดังนั้น แอมโมเนียแตกตัวร้อยละ 0.42

**คำนวณค่าคงที่การแตกตัวของ  $\text{NH}_3$** 

จากสมการเคมี  $\text{NH}_3$  แตกตัวให้  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{OH}^-$  ในจำนวนโมลที่เท่ากัน  
 ที่สมดุล จึงมีความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{OH}^-$  ชนิดละ  $4.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$   
 ดังนั้น ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3 = 1.0 \text{ mol/L} - 4.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

$$= 1.0 \text{ mol/L}$$

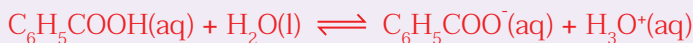
$$\begin{aligned} \text{จาก } K_b &= \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \\ &= \frac{(4.2 \times 10^{-3})(4.2 \times 10^{-3})}{1.0} \\ &= 1.8 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าคงที่การแตกตัวของแอมโมเนียเท่ากับ  $1.8 \times 10^{-5}$

3. คำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) ไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) pH และ pOH ของสารละลายกรดเบนโซอิก ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ) และสารละลายฟีนิลเอมีน ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ) เข้มข้นชนิดละ 0.20 โมลต่อลิตร

**คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$   $\text{OH}^-$  pH และ pOH ของ  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  0.20 mol/L**

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  เป็นดังนี้



กำหนดให้  $\Delta[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] = -x \text{ mol/L}$  ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.20   | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.20 - x$   | - | x  | x  |

จาก

$$K_a = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]}$$

แทนค่าจะได้

$$5.75 \times 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{(0.20 - x)}$$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.20}{5.75 \times 10^{-5}} = 3.5 \times 10^3$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.20 - x \approx 0.20$

$$x^2 = 0.20 \times 5.75 \times 10^{-5}$$

$$x = 3.4 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น สารละลายกรดเบนโซอิก 0.20 โมลต่อลิตร มีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน  $3.4 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  ใน  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  0.20 mol/L**

จาก

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

$$= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{3.4 \times 10^{-3}}$$

$$= 2.9 \times 10^{-12}$$

ดังนั้น สารละลายกรดเบนโซอิก 0.20 โมลต่อลิตร มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน  $2.9 \times 10^{-12}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณ pH ของ  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  0.20 mol/L**

จาก

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$= -\log (3.4 \times 10^{-3})$$

$$= 2.47$$

ดังนั้น สารละลายกรดเบนโซอิก 0.20 โมลต่อลิตร มี pH เท่ากับ 2.47

**คำนวณ pOH ของ  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  0.20 mol/L**

จาก

$$\text{pOH} = 14.00 - \text{pH}$$

$$= 14.00 - 2.47$$

$$= 11.53$$

ดังนั้น สารละลายกรดเบนโซอิก 0.20 โมลต่อลิตร มี pOH เท่ากับ 11.53

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$   $\text{OH}^-$  pH และ pOH ของ  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  0.20 mol/L

คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  ใน  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  0.20 mol/L

สมการเคมีแสดงการแตกตัวของ  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  เป็นดังนี้



กำหนดให้  $\Delta[\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2] = -x$  mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

| ความเข้มข้น (mol/L) | $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ |   |    |    |
|---------------------|--|---|----|----|
| เริ่มต้น            | 0.20   | - | 0  | 0  |
| เปลี่ยนไป           | -x   | - | +x | +x |
| สมดุล               | $0.20 - x$   | - | x  | x  |

$$K_b = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2]}$$

แทนค่าจะได้  $7.41 \times 10^{-10} = \frac{(x)(x)}{0.20 - x}$

เนื่องจาก  $\frac{C}{K} = \frac{0.20}{7.41 \times 10^{-10}} = 2.7 \times 10^8$  ซึ่งมากกว่า 1000 จึงใช้การประมาณค่าได้

จึงถือว่า  $0.20 - x \approx 0.20$

$$x^2 = 0.20 \times 7.41 \times 10^{-10}$$

$$x = 1.2 \times 10^{-5}$$

ดังนั้น สารละลายฟีนิลเอมีน 0.20 โมลต่อลิตร มีไฮดรอกไซด์ไอออน  $1.2 \times 10^{-5}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณความเข้มข้นของ  $H_3O^+$  ใน  $C_6H_5NH_2$  0.20 mol/L**

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad [H_3O^+] &= \frac{K_w}{[OH^-]} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad [H_3O^+] &= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.2 \times 10^{-5}} \\ &= 8.3 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายฟีนิลเอมีน 0.20 โมลต่อลิตร มีไฮโดรเนียมไอออน  $8.3 \times 10^{-10}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณ pH ของ  $C_6H_5NH_2$  0.20 mol/L**

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pH} &= -\log [H_3O^+] \\ &= -\log (8.3 \times 10^{-10}) \\ &= 9.08 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายฟีนิลเอมีน 0.20 โมลต่อลิตร มี pH เท่ากับ 9.08

**คำนวณ pOH ของ  $C_6H_5NH_2$  0.20 mol/L**

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pOH} &= 14.00 - \text{pH} \\ &= 14.00 - 9.08 \\ &= 4.92 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายฟีนิลเอมีน 0.20 โมลต่อลิตร มี pOH เท่ากับ 4.92

4. น้ำส้มสายชูเป็นสารละลายของกรดแอสติกในน้ำ มี pH 2.45 จงหาร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรของกรดแอสติกในน้ำส้มสายชู

$CH_3COOH$  แตกตัวให้  $CH_3COO^-$  และ  $H_3O^+$  อยู่ในสมดุล ดังสมการเคมี

**คำนวณความเข้มข้นของ  $H_3O^+$** 

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pH} &= -\log [H_3O^+] \\ 2.45 &= -\log [H_3O^+] \\ [H_3O^+] &= 3.5 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายมีไฮโดรเนียมไอออน  $3.5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

**คำนวณความเข้มข้นของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$** 

จากตาราง 10.2 ค่า  $K_a$  ของกรด  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เท่ากับ  $1.80 \times 10^{-5}$  จากสมการเคมี จำนวนโมลของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  เท่ากัน ดังนั้น ในสารละลายจึงมี  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 3.5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  ถ้าให้สารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  มีความเข้มข้นเริ่มต้น  $x \text{ mol/L}$  ดังนั้น  $[\text{CH}_3\text{COOH}] = x - (3.5 \times 10^{-3}) \text{ mol/L}$

$$\text{จาก} \quad K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

แทนค่าจะได้

$$1.80 \times 10^{-5} = \frac{(3.5 \times 10^{-3})(3.5 \times 10^{-3})}{(x - (3.5 \times 10^{-3}))}$$

$$x - (3.5 \times 10^{-3}) = 0.68$$

$$x = 0.68$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายกรดแอซีติกเท่ากับ 0.68 โมลต่อลิตร

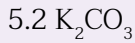
**คำนวณร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในน้ำส้มสายชู**

ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$

$$\begin{aligned} &= \frac{0.68 \text{ mol } \text{CH}_3\text{COOH}}{1000 \text{ mL sol}^n} \times \frac{60.06 \text{ g } \text{CH}_3\text{COOH}}{1 \text{ mol } \text{CH}_3\text{COOH}} \times 100\% \\ &= 4.08 \% \text{ g } \text{CH}_3\text{COOH}/\text{mL sol}^n \end{aligned}$$

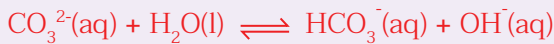
ดังนั้น ในน้ำส้มสายชูมีกรดแอซีติกร้อยละ 4.08 โดยมวลต่อปริมาตร

5. สารประกอบประเภทเกลือที่กำหนดให้ต่อไปนี้ เมื่อนำมาละลายน้ำ สารละลายจะมีสมบัติเป็นกรด เป็นเบส หรือเป็นกลาง เพราะเหตุใด

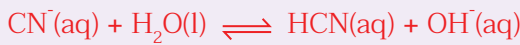


5.1  $\text{CaCl}_2$  แยกตัวให้  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Cl}^-$  ซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ สารละลายจึงมีสมบัติเป็นกลาง

5.2  $\text{K}_2\text{CO}_3$  แยกตัวให้  $\text{K}^+$  และ  $\text{CO}_3^{2-}$  ซึ่ง  $\text{CO}_3^{2-}$  สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้  $\text{OH}^-$  ดังสมการเคมี สารละลายจึงมีสมบัติเป็นเบส



5.3  $\text{LiCN}$  แยกตัวให้  $\text{Li}^+$  และ  $\text{CN}^-$  ซึ่ง  $\text{CN}^-$  สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้  $\text{OH}^-$  ดังสมการเคมี สารละลายจึงมีสมบัติเป็นเบส



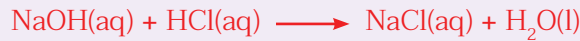
5.4  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  แยกตัวให้  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{NO}_3^-$  ซึ่ง  $\text{NH}_4^+$  สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้  $\text{H}_3\text{O}^+$  ดังสมการเคมี สารละลายจึงมีสมบัติเป็นกรด



5.5  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  แยกตัวให้  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$  ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้ จากตาราง 10.4 ค่า  $K_a$  ของ  $\text{NH}_4^+$  เท่ากับ  $5.56 \times 10^{-10}$  และค่า  $K_b$  ของ  $\text{PO}_4^{3-}$  เท่ากับ  $2.09 \times 10^{-2}$  เมื่อเปรียบเทียบ  $K_a$  ของ  $\text{NH}_4^+$  และ  $K_b$  ของ  $\text{PO}_4^{3-}$  พบว่า  $K_b$  มีค่ามากกว่า  $K_a$  ดังนั้นในสารละลายมี  $\text{OH}^-$  มากกว่า  $\text{H}_3\text{O}^+$  จึงมีสมบัติเป็นเบส

6. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.10 โมลต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.10 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20.00 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้จะมี pH เท่าใด

เมื่อผสมสารละลาย NaOH กับสารละลาย HCl จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



คำนวณจำนวนโมลของ NaOH และ HCl

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ NaOH} &= \frac{0.10 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}}} \times 25.00 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}} \\ &= 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ HCl} &= \frac{0.10 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL HCl sol}^{\text{a}}} \times 20.00 \text{ mL HCl sol}^{\text{a}} \\ &= 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol HCl} \end{aligned}$$

เนื่องจาก NaOH และ HCl ทำปฏิกิริยาพอดีกันด้วยจำนวนโมลที่เท่ากัน ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ NaOH ที่เหลือ} &= (2.5 \times 10^{-3}) \text{ mol} - (2.0 \times 10^{-3}) \text{ mol} \\ &= 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \end{aligned}$$

เนื่องจาก NaOH เป็นเบสแก่แตกตัวให้ได้มากจนถือว่าสมบูรณ์

ความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  ในสารละลายผสม

$$\begin{aligned} &= \frac{5.0 \times 10^{-4} \text{ mol NaOH}}{45 \text{ mL sol}^{\text{a}}} \times \frac{1 \text{ mol OH}^-}{1 \text{ mol NaOH}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^{\text{a}}}{1 \text{ L sol}^{\text{a}}} \\ &= 1.1 \times 10^{-2} \text{ mol OH}^-/\text{L sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

คำนวณ pH ของสารละลาย

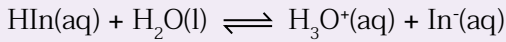
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ &= -\log (1.1 \times 10^{-2}) \\ &= 1.96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากความสัมพันธ์} \quad 14.00 &= \text{pH} + \text{pOH} \\ \text{pH} &= 14.00 - 1.96 \\ &= 12.04 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลายมี pH เท่ากับ 12.04



7. HIn เป็นอินดิเคเตอร์ที่มีสมบัติเป็นกรดอ่อน มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสี 3.8–5.4 โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน เมื่ออยู่ในสารละลายจะเกิดสมดุล ดังสมการ



7.1 สารละลาย A มีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ )  $1.0 \times 10^{-5}$  โมลต่อลิตร เมื่อหยด HIn ลงในสารละลาย A จะปรากฏสีใด

คำนวณ pH ของสารละลาย A

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ &= -\log (1.0 \times 10^{-5}) \\ &= 5.00 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลาย A มี pH เท่ากับ 5.00

เนื่องจากอินดิเคเตอร์นี้มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีอยู่ระหว่าง 3.8–5.4 ดังนั้น เมื่อหยด HIn ลงในสารละลาย A จะได้สีเขียว ซึ่งเป็นสีผสมระหว่างสีน้ำเงินกับสีเหลือง

7.2 เมื่อหยด HIn ลงในสารละลาย B พบว่าสารละลายมีสีน้ำเงิน สารละลาย B มี pH เป็นเท่าใด

เมื่อหยด HIn ลงในสารละลาย B เกิดสีน้ำเงิน แสดงว่าสารละลาย B มี pH เท่ากับหรือมากกว่า 5.4

7.3 เมื่อหยด HIn ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )  $1.0 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร อินดิเคเตอร์จะปรากฏสีใด

สารละลายที่มีความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  มากกว่า  $\text{H}_3\text{O}^+$  จะมี pH มากกว่า 7 ดังนั้น อินดิเคเตอร์จะมีสีน้ำเงิน

8. ยาลดกรดที่มีขายทั่วไปในตลาดมักมีแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) แมกนีเซียมคาร์บอเนต ( $\text{MgCO}_3$ ) แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ ) หรือ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Mg(OH)}_2$ ) เป็นส่วนประกอบ จงเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารประกอบเหล่านี้กับกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) และถ้ายาลดกรดเหล่านี้มีราคาต่อกรัมเท่ากัน ควรจะเลือกซื้อยาลดกรดชนิดใดจึงจะเสียเงินน้อยที่สุด

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการเคมี



จากสมการเคมี สารแต่ละชนิดจำนวน 1 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{HCl}$  2 mol เนื่องจาก

$\text{CaCO}_3$  1 mol มีมวล 100.09 g

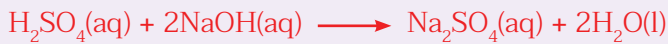
$\text{MgCO}_3$  1 mol มีมวล 84.31 g

$\text{MgO}$  1 mol มีมวล 40.30 g

$\text{Mg(OH)}_2$  1 mol มีมวล 58.32 g

ดังนั้น ควรเลือกซื้อยาลดกรดชนิดที่มี  $\text{MgO}$  เป็นส่วนประกอบ เพราะซื้อเพียง 40.30 g จะได้สารที่สามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{HCl}$  ได้เท่ากับยาที่มี  $\text{CaCO}_3$  100.09 g หรือ  $\text{MgCO}_3$  84.31 g หรือ  $\text{Mg(OH)}_2$  58.32 g

9. คำนวณปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.10 โมลต่อลิตร ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายกรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.040 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย NaOH กับ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นดังนี้



**คำนวณปริมาตรของ NaOH ที่ต้องใช้**

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของ NaOH} &= \frac{0.040 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1000 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \text{ sol}^{\text{a}}} \times 50 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \text{ sol}^{\text{a}} \times \frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4} \\ &\quad \times \frac{1000 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}}}{0.10 \text{ mol NaOH}} \\ &= 40 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 40 มิลลิลิตร

10. กรดเบนโซอิก (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH) 1.24 กรัม ละลายในน้ำเป็นสารละลาย 50 มิลลิลิตร นำสารละลายนี้ไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.18 โมลต่อลิตร ณ จุดสมมูลจะต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตรเท่าใด พร้อมระบุสมบัติกรด-เบสของสารละลาย

ในการไทเทรต C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH กับ NaOH ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



**คำนวณปริมาตรของ NaOH ที่ต้องใช้**

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของ NaOH} &= 1.24 \text{ g C}_6\text{H}_5\text{COOH} \times \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_5\text{COOH}}{122.13 \text{ g C}_6\text{H}_5\text{COOH}} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_5\text{COOH}} \\ &\quad \times \frac{1000 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}}}{0.18 \text{ mol NaOH}} \\ &= 56 \text{ mL NaOH sol}^{\text{a}} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ณ จุดสมมูล เท่ากับ 56 มิลลิลิตร

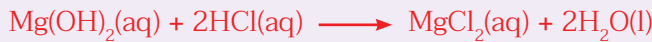
เนื่องจาก C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COONa แตกตัวให้ Na<sup>+</sup> และ C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COO<sup>-</sup> ซึ่ง C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COO<sup>-</sup> สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำได้ตั้งสมการเคมี



ในสารละลายมี OH<sup>-</sup> เกิดขึ้น ดังนั้นสารละลายจึงมีสมบัติเป็นเบส

11. ยาลดกรดชนิดหนึ่งมีแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Mg(OH)}_2$ ) ผสมบ้าง ถ้านำยาลดกรดชนิดนี้ 0.10 กรัม มาไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) 0.10 โมลต่อลิตร เมื่อถึงจุดยุติปรากฏว่าต้องใช้กรดไฮโดรคลอริก 10 มิลลิลิตร จงคำนวณว่าในยาลดกรดนี้มีแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ผสมอยู่ร้อยละโดยมวลเท่าใด

ปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{Mg(OH)}_2$  กับกรด  $\text{HCl}$  เป็นดังนี้



$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{Mg(OH)}_2 &= \frac{0.10 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL HCl sol}^n} \times 10 \text{ mL HCl sol}^n \times \frac{1 \text{ mol Mg(OH)}_2}{2 \text{ mol HCl}} \\ &\times \frac{58.32 \text{ g Mg(OH)}_2}{1 \text{ mol Mg(OH)}_2} \times \frac{1}{0.10 \text{ g ยาลดกรด}} \times 100\% \\ &= 29 \% \text{ g Mg(OH)}_2 / \text{g ยาลดกรด} \end{aligned}$$

ดังนั้น ยาลดกรดมีแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 29 โดยมวล

12. สารละลายที่ประกอบด้วยสารต่อไปนี้เป็นสารละลายบัฟเฟอร์หรือไม่ เพราะเหตุใด

12.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) กับโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ )

$\text{NaOH}$  และ  $\text{NaCl}$  แยกตัวได้จนถือว่าเป็นสมบูรณ ดังสมการเคมี



เมื่อผสมสารละลาย  $\text{NaOH}$  กับ  $\text{NaCl}$  ในสารละลายผสมจะไม่มีสารที่เป็นคู่กรด-เบสที่สามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{H}_3\text{O}^+$  หรือ  $\text{OH}^-$  ที่เติมลงไปได้ ดังนั้น สารละลายผสมนี้จึงไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

12.2 แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) กับโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ )

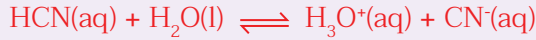
$\text{NH}_3$  และ  $\text{NaCl}$  แยกตัวได้ดังสมการเคมี



เมื่อผสมสารละลาย  $\text{NH}_3$  กับ  $\text{NaCl}$  ในสารละลายผสมจะไม่มีสารที่เป็นคู่กรด-เบสที่สามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{H}_3\text{O}^+$  หรือ  $\text{OH}^-$  ที่เติมลงไปได้ ดังนั้น สารละลายผสมนี้จึงไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

### 12.3 กรดไฮโดรไซยานิก (HCN) กับโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN)

HCN และ NaCN แยกตัวได้ตั้งสมการเคมี



เมื่อผสมสารละลาย HCN กับ NaCN ในสารละลายผสมจะมีสารที่เป็นคู่กรด-เบสที่สามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{H}_3\text{O}^+$  หรือ  $\text{OH}^-$  ที่เติมลงไปได้ ดังนั้น สารละลายผสมนี้จึงเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

### 12.4 กรดไฮโดรซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{S}$ ) กับโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS)

$\text{H}_2\text{S}$  และ NaHS แยกตัวได้ตั้งสมการเคมี



เมื่อผสมสารละลาย  $\text{H}_2\text{S}$  กับ NaHS ในสารละลายผสมจะมีสารที่เป็นคู่กรด-เบสที่สามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{H}_3\text{O}^+$  หรือ  $\text{OH}^-$  ที่เติมลงไปได้ ดังนั้น สารละลายผสมนี้จึงเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

13. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการควบคุม pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ในข้อ 12 เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไป

เมื่อเติมเบสลงในสารละลายบัฟเฟอร์ HCN/ $\text{CN}^-$



เมื่อเติมกรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์ HCN/ $\text{CN}^-$



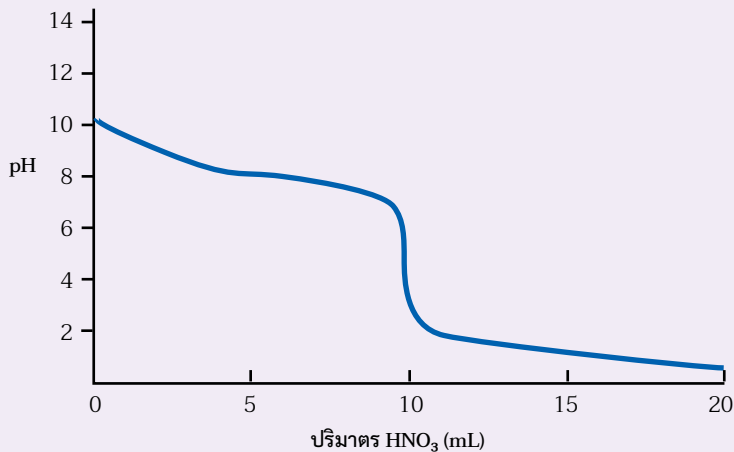
เมื่อเติมเบสลงในสารละลายบัฟเฟอร์  $\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-$



เมื่อเติมกรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์  $\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-$



14. กราฟการไทเทรตสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) 0.100 โมลต่อลิตร กับสารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร แสดงดังรูป



จงตอบคำถามต่อไปนี้

14.1 สารใดบรรจุในขวดรูปกรวย และมีสมบัติเป็นกรดหรือเบส

สารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และมีสมบัติเป็นเบส

14.2 สารใดเป็นสารละลายมาตรฐาน และมี pH เท่าใด

สารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เนื่องจากสารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.100 mol/L

จาก  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$

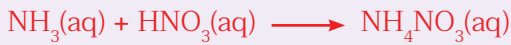
$$= -\log (0.100)$$

$$= 1.000$$

ดังนั้น สารละลายกรดไนตริกมี pH เท่ากับ 1.000

14.3 ที่จุดสมมูลมีสารใดเกิดขึ้น และมี pH เท่าใด

ปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{NH}_3$  กับ  $\text{HNO}_3$  เป็นดังนี้



ดังนั้น ที่จุดสมมูล มีสารละลายแอมโมเนียมไนเตรตเกิดขึ้น โดยจุดสมมูลจากกราฟไทเทรตนี้คือ  $\text{pH} = 4$

14.4 เมื่อเติมสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ปริมาตร 7.00 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้เป็นสารละลายบัฟเฟอร์หรือไม่

ช่วงที่มีการเติม  $\text{HNO}_3$  ลงไป 7.00 mL เป็นช่วงก่อนถึงจุดสมมูล จากกราฟการไทเทรตจะเห็นว่า ช่วงนี้มีการเปลี่ยนแปลง pH เพียงเล็กน้อย แสดงว่าเป็นช่วงที่สารละลายมีสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

14.5 เมื่อเติมสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ปริมาตร 15.00 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้มี pH เท่าใด และเป็นสารละลายบัฟเฟอร์หรือไม่

เมื่อเติม  $\text{HNO}_3$  ลงไป 15.00 mL เป็นช่วงหลังจุดสมมูล จากกราฟการไทเทรตจะเห็นว่า pH มีค่าประมาณ 1 ซึ่งในสารละลายมีเพียง  $\text{HNO}_3$  ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับ  $\text{NH}_3$  สารละลายจึงไม่มีสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

## บทที่ 11

## เคมีไฟฟ้า



ipst.me/8830

## ผลการเรียนรู้

1. คำนวณเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์
2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์
3. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์
4. ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกิริยา
5. ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์
6. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ชั่วไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
7. อธิบายหลักการทำงานและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ
8. ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ
9. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน



## การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p><b>ผลการเรียนรู้</b></p> <p>1. คำนวณเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์</p> <p><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b></p> <p>1. คำนวณเลขออกซิเดชันของธาตุในสารประกอบและไอออนต่าง ๆ</p> <p>2. อธิบายความหมายของปฏิกิริยารีดอกซ์ และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์จากเลขออกซิเดชันของสารในปฏิกิริยา</p>  |   |   |
| <p><b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. การใช้จำนวน</p> <p>2. การสังเกต</p> <p>3. การทดลอง</p> <p>4. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป</p>  | <p><b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b></p> <p>1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</p> | <p><b>จิตวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. การใช้วิจารณญาณ</p> <p>2. ความใจกว้าง</p> <p>3. ความอยากรู้อยากเห็น</p> <p>4. ความรอบคอบ</p> |
| <p><b>ผลการเรียนรู้</b></p> <p>2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์</p> <p><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b></p> <p>1. อธิบายความหมายของครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน ตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์</p> <p>2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน และระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์</p> |   |   |
| <p><b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. การใช้จำนวน</p>   | <p><b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b></p> <p>-</p>  | <p><b>จิตวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. ความรอบคอบ</p>   |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>3. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ |  |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การสังเกต<br>2. การทดลอง<br>3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. การใช้วิจารณญาณ<br>2. ความใจกว้าง<br>3. ความอยากรู้อยากเห็น |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>4. ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกิริยา<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา   |  |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การใช้จำนวน  | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา    | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. การใช้วิจารณญาณ<br>2. ความใจกว้าง<br>3. ความรอบคอบ          |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p><b>ผลการเรียนรู้</b></p> <p>5. ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์</p> <p><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b></p> <p>1. ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า</p> <p>2. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนด แคโทด และปฏิกิริยารวม</p> <p>3. เขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์</p>  |   |   |
| <p><b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. การสังเกต</p> <p>2. การลงความเห็นจากข้อมูล</p>  | <p><b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b></p> <p>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการแก้ปัญหา</p>   | <p><b>จิตวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. การใช้วิจารณญาณ</p> <p>2. ความใจกว้าง</p> <p>3. ความรอบคอบ</p> |
| <p><b>ผลการเรียนรู้</b></p> <p>6. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ชั่วไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น</p> <p><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b></p> <p>1. ทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์</p> <p>2. เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์โดยพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน</p> <p>3. ระบุขั้วไฟฟ้า และเขียนปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยารีดอกซ์</p> <p>4. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า</p> |   |   |
| <p><b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. การสังเกต</p> <p>2. การใช้จำนวน</p> <p>3. การทดลอง</p>  | <p><b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b></p> <p>1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</p> <p>2. การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการแก้ปัญหา</p> | <p><b>จิตวิทยาศาสตร์</b></p> <p>1. การใช้วิจารณญาณ</p> <p>2. ความใจกว้าง</p> <p>3. ความรอบคอบ</p> |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>7. อธิบายหลักการทำงานและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. อธิบายความหมายของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ<br>2. อธิบายหลักการทำงานและเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ  |   |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>-   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>-   | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์   |
| <b>ผลการเรียนรู้</b><br>8. ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทำงานเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ<br><b>จุดประสงค์การเรียนรู้</b><br>1. อธิบายสาเหตุหรือภาวะที่ทำให้โลหะเกิดการผุกร่อนจากสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง และวิธีการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ<br>2. ทดลองและอธิบายหลักการทำงานชุบโลหะโดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก<br>3. ทดลองและอธิบายหลักการทำงานแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า<br>4. อธิบายหลักการทำงานโลหะให้บริสุทธิ์ |   |   |
| <b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b><br>1. การสังเกต<br>2. การตั้งสมมติฐาน<br>3. การทดลอง   | <b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b><br>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา<br>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ | <b>จิตวิทยาศาสตร์</b><br>1. ความอยากรู้อยากเห็น<br>2. การใช้วิจารณญาณ<br>3. ความมุ่งมั่นอดทน<br>4. ความรอบคอบ |

**ผลการเรียนรู้**

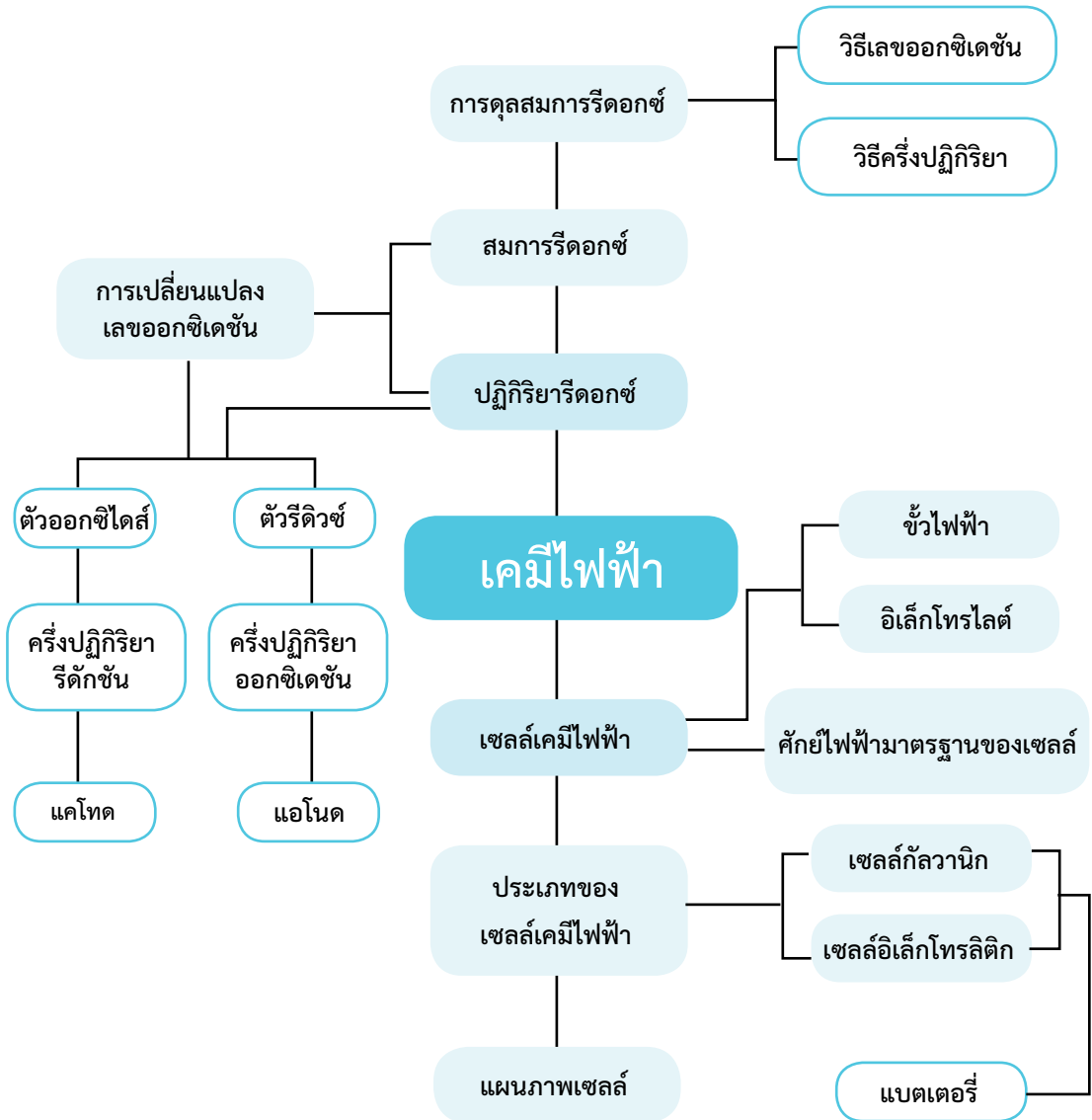
9. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน

**จุดประสงค์การเรียนรู้**

1. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า

| ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ | ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21   | จิตวิทยาศาสตร์                 |
|------------------------------|---|--------------------------------|
| -                            | 1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ<br>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ | 1. การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ |

## ผังมโนทัศน์ บทที่ 11 เคมีไฟฟ้า



## สาระสำคัญ

เคมีไฟฟ้าเป็นการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า โดยปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารเรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ ประกอบด้วยครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวรีดิวซ์ซึ่งให้อิเล็กตรอน และครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของตัวออกซิไดส์ซึ่งรับอิเล็กตรอน ความสามารถในการให้หรือรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์สังเกตได้จากการทดลอง การดุลสมการรีดอกซ์ทำได้โดยวิธีเลขออกซิเดชันหรือวิธีครึ่งปฏิกิริยา

เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเชื่อมต่อแต่ละครึ่งเซลล์ด้วยสะพานเกลือหรือเยื่อ โดยขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่า แอโนด และขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันเรียกว่า แคโทด เซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถเขียนแสดงได้ด้วยแผนภาพเซลล์

ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นได้เองซึ่งพบในเซลล์กัลวานิก แต่ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง ต้องมีการให้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอกจึงจะเกิดปฏิกิริยาซึ่งพบในเซลล์อิเล็กโทรลิติก

ความรู้เกี่ยวกับเซลล์เคมีไฟฟ้าทั้งเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติกสามารถนำไปใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ การชุบโลหะ การแยกสลายด้วยไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่นำไปสู่นวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

## เวลาที่ใช้

### บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ

|   |            |
|---|------------|
| 11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์   | 30 ชั่วโมง |
| 11.2 การดุลสมการรีดอกซ์                 | 6 ชั่วโมง  |
| 11.3 เซลล์เคมีไฟฟ้า                     | 6 ชั่วโมง  |
| 11.4 ประโยชน์ของเซลล์เคมีไฟฟ้า          | 9 ชั่วโมง  |
| 11.4 ประโยชน์ของเซลล์เคมีไฟฟ้า          | 6 ชั่วโมง  |
| 11.5 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า | 3 ชั่วโมง  |

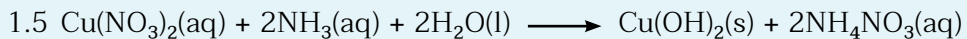
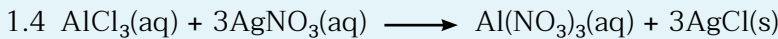
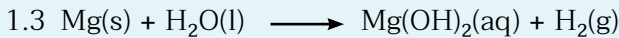
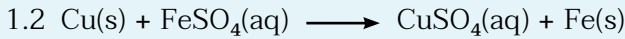
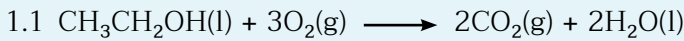
## ความรู้ก่อนเรียน

การดุลสมการเคมี สมการไอออนิกสุทธิ พลังงานไอออนไนเซชัน อิเล็กโทรเนกาติวิตี ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้า



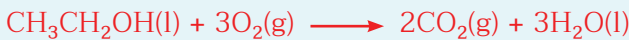
### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

#### 1. ข้อใดดุลสมการได้ถูกต้อง



ข้อ 1.2 1.4 และ 1.5 ดุลสมการได้ถูกต้อง

ข้อ 1.1 ดุลสมการได้ดังนี้



ข้อ 1.3 ดุลสมการได้ดังนี้



#### 2. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

..... ✓ 2.1 ธาตุในหมู่ IA มีค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 น้อยกว่าธาตุในหมู่ VIIA ที่อยู่ในคาบเดียวกัน

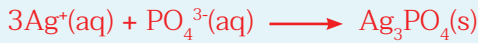
..... ✗ 2.2 Ca มีค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 มากกว่า Mg  
Ca มีค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 น้อยกว่า Mg

..... ✓ 2.3 ธาตุฟลูออรีน (F) มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีมากที่สุด รองลงมาคือ ธาตุออกซิเจน (O) และธาตุไนโตรเจน (N) ตามลำดับ

..... ✓ 2.4 ธาตุไฮโดรเจน (H) เป็นธาตุที่มี 1 เวเลนซ์อิเล็กตรอน ทำให้มีสมบัติบางประการเหมือนธาตุหมู่ IA และเมื่อรับอิเล็กตรอนเพิ่มอีก 1 อิเล็กตรอน จะมีสมบัติเหมือนธาตุฮีเลียม (He) ซึ่งเป็นแก๊สมีสกุล จึงมีสมบัติบางประการเหมือนธาตุหมู่ VIIA

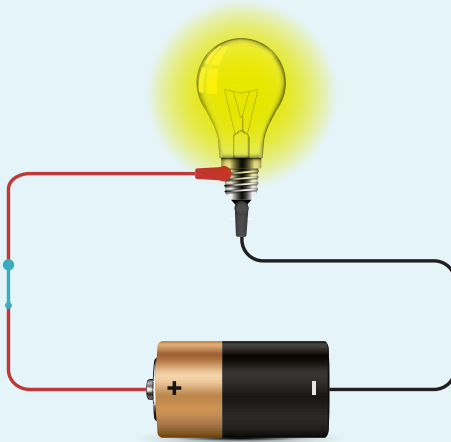


3. เขียนสมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยาเคมีเมื่อผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ) กับสารละลายโพแทสเซียมฟอสเฟต ( $\text{K}_3\text{PO}_4$ ) พร้อมทั้งระบุชื่อตะกอนที่เกิดขึ้น  
สมการไอออนิกสุทธิเขียนแสดงได้ดังนี้



ตะกอนที่เกิดขึ้นคือ  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  ซิลเวอร์ฟอสเฟต (silver phosphate)

4. พิจารณารูปและตอบคำถามต่อไปนี้



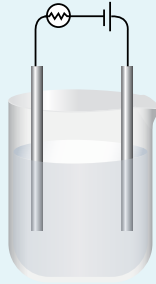
- 4.1 ระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน พร้อมอธิบายว่ามีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างไร

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบของถ่านไฟฉายไปตามสายไฟ ผ่านหลอดไฟและสายไฟอีกเส้นเพื่อไปยังขั้วบวกของถ่านไฟฉาย โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นการเคลื่อนที่จากขั้วลบของถ่านไฟฉายที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังขั้วบวกของถ่านไฟฉายที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง

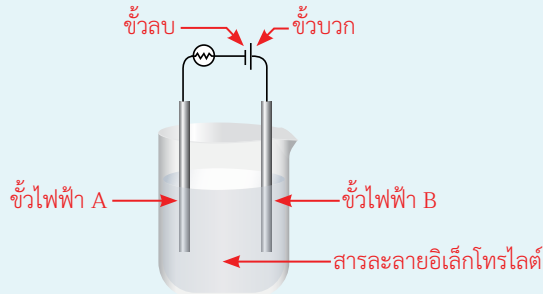
- 4.2 ระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า พร้อมอธิบายว่ามีความสัมพันธ์กับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไร

ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ออกจากขั้วบวกของถ่านไฟฉายไปตามสายไฟ ผ่านหลอดไฟและสายไฟอีกเส้นเพื่อไปยังขั้วลบของถ่านไฟฉาย ซึ่งการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้ามักตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

## 5. พิจารณาแผนภาพวงจรไฟฟ้าดังรูป



### 5.1 ระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้า



**อิเล็กตรอน** เคลื่อนที่ออกจากขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปตามสายไฟ ผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้า และสายไฟอีกเส้นเพื่อไปยังขั้วไฟฟ้า A

**กระแสไฟฟ้า** เคลื่อนที่ออกจากขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปตามสายไฟ ไปยังขั้วไฟฟ้า B ผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้า A สายไฟอีกเส้น อุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟ และขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

### 5.2 สารละลายที่เมื่อเติมลงในปีกเกอร์แล้วทำให้หลอดไฟสว่างควรเป็นสารละลายประเภทใด ยกตัวอย่างสารละลายประเภทนี้มา 2 ชนิด

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น  $\text{CuSO}_4(\text{aq})$   $\text{NaCl}(\text{aq})$

## 11.1 เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. คำนวณเลขออกซิเดชันของธาตุในสารประกอบและไอออนต่าง ๆ
2. อธิบายความหมายของปฏิกิริยารีดอกซ์ และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์จากเลขออกซิเดชันของสารในปฏิกิริยา
3. อธิบายความหมายของครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน ตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์
4. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน และระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์
5. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน  | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|--|--|
| ตัวออกซิไดส์เป็นสารที่เกิดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และตัวรีดิวซ์เป็นสารที่เกิดครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน | ตัวออกซิไดส์เป็นสารที่เกิดครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน และตัวรีดิวซ์เป็นสารที่เกิดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน |

### สื่อการเรียนรู้และแหล่งเรียนรู้

รูปตารางธาตุที่แสดงเลขออกซิเดชันของธาตุ และรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงเมื่อจุ่มแผ่นโลหะสังกะสีลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต

### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูยกตัวอย่างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ รวมทั้งที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ ถ่านไฟฉาย เพื่อชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาเคมีสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ และการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีและพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า เคมีไฟฟ้า
2. ครูอธิบายว่าพลังงานไฟฟ้าเกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารเรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีนั้น

3. ครูอธิบายเกี่ยวกับข้อกำหนดและวิธีการหาเลขออกซิเดชันของธาตุ และให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ในสารประกอบ ธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีมากกว่าจะมีเลขออกซิเดชันเป็นค่าลบ จากนั้นแสดง การคำนวณเลขออกซิเดชันตามตัวอย่าง 1 และ 2 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

เลขออกซิเดชันของโครเมียม (Cr) ในโครเมียม(II)ออกไซด์ (CrO) และโครเมตไอออน ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) มีค่าเป็นเท่าใด

**คำนวณเลขออกซิเดชันของ Cr ใน CrO**

ผลรวมของเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดใน CrO เท่ากับ 0 จะได้

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Cr}] + [\text{เลขออกซิเดชันของ O}] = 0$$

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Cr}] + (-2) = 0$$

$$\text{เลขออกซิเดชันของ Cr} = +2$$

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของโครเมียม (Cr) ในโครเมียม(II)ออกไซด์ (CrO) มีค่า เท่ากับ +2

**คำนวณเลขออกซิเดชันของ Cr ใน  $\text{CrO}_4^{2-}$**

ผลรวมของเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดใน  $\text{CrO}_4^{2-}$  เท่ากับ -2 จะได้

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Cr}] + [4 \times \text{เลขออกซิเดชันของ O}] = -2$$

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Cr}] + [4 \times (-2)] = -2$$

$$\text{เลขออกซิเดชันของ Cr} = +6$$

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของโครเมียม (Cr) ในโครเมตไอออน ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) มีค่าเท่ากับ +6

5. ครูชี้ให้เห็นว่า เลขออกซิเดชันของธาตุออกซิเจน จากตัวอย่าง 2 มีได้หลายค่า จากนั้น ให้นักเรียนพิจารณาเลขออกซิเดชันของธาตุอื่น ๆ ในตาราง 11.1 แล้วครูแสดงรูปตารางธาตุที่มี ค่าเลขออกซิเดชันของธาตุดังนี้

|                    |                |                |                            |                                 |  |  |                                  |                            |                      |                      |                      |                      |                      |  |                                 |  |  |          |
|--------------------|----------------|----------------|----------------------------|---------------------------------|--|--|----------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|---------------------------------|--|--|----------|
| 1<br>IA            |                |                |                            |                                 |  |  |                                  |                            |                      |                      |                      | 18<br>VIII A         |                      |  |                                 |  |  |          |
| 1<br>H<br>+1<br>-1 | 2<br>IIA       |                |                            |                                 |  |  |                                  |                            |                      |                      |                      | 5<br>B<br>+3         | 6<br>C<br>+2<br>-4   | 7<br>N<br>+5<br>+4<br>+3<br>+2<br>+1<br>-3 | 8<br>O<br>+2<br>-1<br>-2        | 9<br>F<br>-1                                       | 10<br>Ne   |          |
| 3<br>Li<br>+1      | 4<br>Be<br>+2  |                |                            |                                 |  |  |                                  |                            |                      |                      |                      | 13<br>Al<br>+3       | 14<br>Si<br>+4<br>-4 | 15<br>P<br>+5<br>+3<br>-3                  | 16<br>S<br>+6<br>+4<br>+2<br>-2 | 17<br>Cl<br>+6<br>+5<br>+4<br>+3<br>+2<br>+1<br>-1 | 18<br>Ar   |          |
| 11<br>Na<br>+1     | 12<br>Mg<br>+2 | 3<br>IIIB      | 4<br>IVB                   | 5<br>VB                         | 6<br>VIB                               | 7<br>VIIB                                    | 8<br>VIII B                      |                            | 9                    | 10                   | 11<br>IB             | 12<br>IIB            | 13<br>Al<br>+3       | 14<br>Si<br>+4<br>-4                       | 15<br>P<br>+5<br>+3<br>-3       | 16<br>S<br>+6<br>+4<br>+2<br>-2                    | 17<br>Cl<br>+6<br>+5<br>+4<br>+3<br>+2<br>+1<br>-1 | 18<br>Ar |
| 19<br>K<br>+1      | 20<br>Ca<br>+2 | 21<br>Sc<br>+3 | 22<br>Ti<br>+4<br>+3<br>+2 | 23<br>V<br>+5<br>+4<br>+3<br>+2 | 24<br>Cr<br>+6<br>+5<br>+4<br>+3<br>+2 | 25<br>Mn<br>+7<br>+6<br>+5<br>+4<br>+3<br>+2 | 26<br>Fe<br>+3<br>+2             | 27<br>Co<br>+3<br>+2       | 28<br>Ni<br>+2       | 29<br>Cu<br>+2<br>+1 | 30<br>Zn<br>+2       | 31<br>Ga<br>+3       | 32<br>Ge<br>+4<br>-4 | 33<br>As<br>+5<br>+3<br>-3                 | 34<br>Se<br>+6<br>+4<br>-2      | 35<br>Br<br>+3<br>+1<br>-1                         | 36<br>Kr<br>+4<br>+2                               |          |
| 37<br>Rb<br>+1     | 38<br>Sr<br>+2 | 39<br>Y<br>+3  | 40<br>Zr<br>+4             | 41<br>Nb<br>+5<br>+4            | 42<br>Mo<br>+6<br>+4<br>+3             | 43<br>Tc<br>+7<br>+6<br>+4                   | 44<br>Ru<br>+8<br>+6<br>+4<br>+3 | 45<br>Rh<br>+4<br>+3<br>+2 | 46<br>Pd<br>+4<br>+2 | 47<br>Ag<br>+1       | 48<br>Cd<br>+2       | 49<br>In<br>+3       | 50<br>Sn<br>+4<br>+2 | 51<br>Sb<br>+5<br>+3<br>-3                 | 52<br>Te<br>+6<br>+4<br>-2      | 53<br>I<br>+7<br>+5<br>+1<br>-1                    | 54<br>Xe<br>+6<br>+4<br>+2                         |          |
| 55<br>Cs<br>+1     | 56<br>Ba<br>+2 | 57<br>La<br>+3 | 72<br>Hf<br>+4             | 73<br>Ta<br>+5                  | 74<br>W<br>+6<br>+4                    | 75<br>Re<br>+7<br>+6<br>+4                   | 76<br>Os<br>+8<br>+4             | 77<br>Ir<br>+4<br>+3       | 78<br>Pt<br>+4<br>+2 | 79<br>Au<br>+3<br>+1 | 80<br>Hg<br>+2<br>+1 | 81<br>Tl<br>+3<br>+1 | 82<br>Pb<br>+4<br>+2 | 83<br>Bi<br>+5<br>+3                       | 84<br>Po<br>+2                  | 85<br>At<br>-1                                     | 86<br>Rn   |          |

ตัวอย่างรูปตารางธาตุที่แสดงเลขออกซิเดชันของธาตุ

จากนั้นอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า นอกจากธาตุหมู่ IA IIA IIIA (ยกเว้น Tl) และ IIIB แล้ว ธาตุที่เหลือส่วนใหญ่มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า และมีค่าได้สูงสุดเท่ากับเลขหมู่หรือจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนของธาตุนั้น

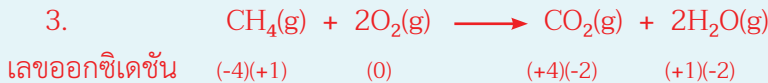
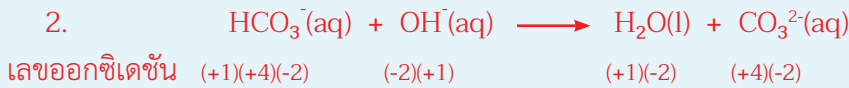
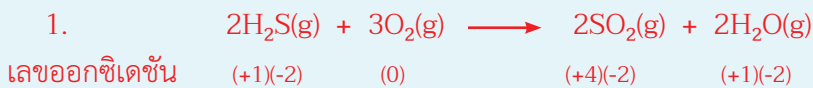
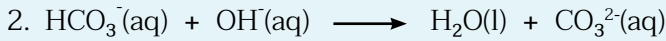
6. ครูให้นักเรียนพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันในปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ตัวอย่างปฏิกิริยาในหนังสือเรียนเพื่อระบุว่า ปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

7. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

ปฏิกิริยาใดต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์



ดังนั้น ปฏิกิริยาในข้อ 1 และ 3 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

8. ครูใช้คำถามนำว่า จะทราบได้อย่างไรว่ามีปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้น โดยให้ศึกษาจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสี (Zn) กับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) ในกิจกรรม 11.1

9. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 11.1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

|            |                      |           |             |
|------------|----------------------|-----------|-------------|
| เวลาที่ใช้ | อธิบายก่อนทำการทดลอง | 5         | นาที        |
|            | ทำการทดลอง           | 15        | นาที        |
|            | อธิบายหลังทำการทดลอง | 20        | นาที        |
|            | <b>รวม</b>           | <b>40</b> | <b>นาที</b> |



#### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ   | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|--|----------------|
| <b>สารเคมี</b>   |                |
| 1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L | 25 mL          |
| 2. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn) ขนาด 2 cm × 5 cm                     | 1 ชิ้น         |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>                                       |                |
| 1. บีกเกอร์ ขนาด 50 mL                                       | 1 ใบ           |
| 2. กระจกตวง ขนาด 25 mL                                       | 1 อัน          |
| 3. แท่งแก้วคน  | 1 อัน          |
| 4. กระดาษทราย ขนาด 3 cm × 3 cm                               | 1 ชิ้น         |

#### การเตรียมล่วงหน้า

1. ตัดแผ่นโลหะ Zn ขนาด 2 cm × 5 cm 1 ชิ้น ต่อ 1 กลุ่ม
2. เตรียม  $\text{CuSO}_4$  0.10 mol/L ปริมาตร 500 mL โดยชั่ง  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  12.49 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 20 กลุ่ม)

## ตัวอย่างผลการทดลอง

| การทดลอง   | การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้   |   |
|------------|--|---|
|            | สารละลาย   | แผ่นโลหะ  |
| ก่อนทดลอง  |   |   |
|            | สารละลายมีสีฟ้า  | โลหะมีสีเทาเงิน   |
| เมื่อทดลอง |  |   |
|            | สารละลายสีฟ้าจางลง<br>เมื่อตั้งไว้เป็นเวลา 1-2 นาที                                | มีของแข็งสีน้ำตาลแดงเกาะบน<br>แผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ใน<br>สารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็ง<br>สีน้ำตาลแดงออก พบว่า<br>ผิวโลหะกร่อนและบางลง |

## อภิปรายผลการทดลอง

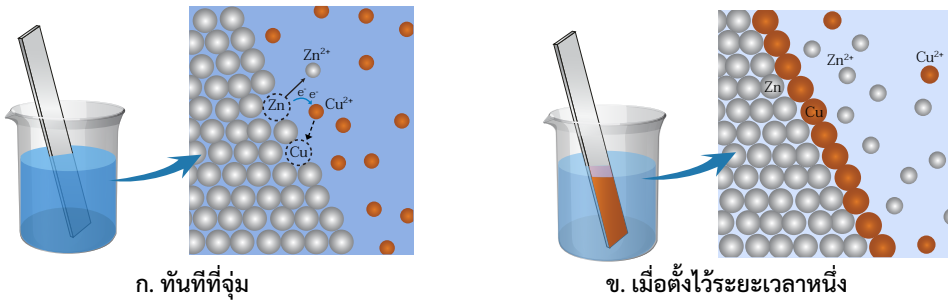
เมื่อจุ่มแผ่นโลหะ Zn ลงใน  $\text{CuSO}_4$  ที่มีสีฟ้า ซึ่งเป็นสีของ  $\text{Cu}^{2+}$  ในน้ำ ปรากฏว่ามีของแข็งสีน้ำตาลแดงเกาะที่แผ่นโลหะ Zn เมื่อทำให้ของแข็งสีน้ำตาลแดงหลุดออก จะพบว่าผิวของแผ่นโลหะ Zn กร่อนและบางลง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของโลหะ Zn ให้กับ  $\text{Cu}^{2+}$  เกิดเป็น  $\text{Zn}^{2+}$  และโลหะ Cu เมื่อแผ่นโลหะ Zn จุ่มอยู่ในสารละลายนานขึ้น จะสังเกตเห็นโลหะ Cu ซึ่งมีสีน้ำตาลแดงบนผิวของแผ่นโลหะ Zn พร้อม ๆ กับสารละลายสีฟ้าที่จางลงได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งแสดงว่าปริมาณของ  $\text{Cu}^{2+}$  ในสารละลายลดลง

## สรุปผลการทดลอง

ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่าง Zn และ  $\text{Cu}^{2+}$  มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ซึ่งสังเกตได้จากการเกิดขึ้นของโลหะ Cu บนแผ่นโลหะ Zn การจางลงของสีฟ้าของ  $\text{Cu}^{2+}$  และการกร่อนของโลหะ Zn



10. ครูอธิบายการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ในกิจกรรม 11.1 โดยใช้รูปประกอบดังนี้



ตัวอย่างรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงเมื่อจุ่มแผ่นโลหะสังกะสีลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต

11. ครูอธิบายความหมายของตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน และให้นักเรียนระบุตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ ในปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต พร้อมทั้งเขียนสมการครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยารีดอกซ์ เพื่อให้เห็นว่า การรวมครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันจะได้สมการรีดอกซ์ที่อยู่ในรูปของสมการไอออนิกสุทธิ

12. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



ตรวจสอบความเข้าใจ

ระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ พร้อมทั้งเขียนแสดงครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์ต่อไปนี้

- $$\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$$

ตัวรีดิวซ์ คือ  $\text{Cu(s)}$     ตัวออกซิไดส์ คือ  $\text{Ag}^+(\text{aq})$   
 ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน  $\text{Cu(s)} \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$   
 ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน  $2\text{Ag}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Ag(s)}$
- $$2\text{Al(s)} + 6\text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{H}_2(\text{g})$$

ตัวรีดิวซ์ คือ  $\text{Al(s)}$     ตัวออกซิไดส์ คือ  $\text{H}^+(\text{aq})$   
 ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน  $2\text{Al(s)} \longrightarrow 2\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 6\text{e}^-$   
 ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน  $6\text{H}^+(\text{aq}) + 6\text{e}^- \longrightarrow 3\text{H}_2(\text{g})$

13. ครูใช้คำถามนำว่า โลหะและไอออนของโลหะในสารละลายแต่ละชนิด มีความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ต่างกันหรือไม่ ทราบได้อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 11.2

14. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.2 การทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 11.2 การทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะและไอออนของโลหะคู่ต่าง ๆ
2. เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะ และตัวออกซิไดส์ของไอออนของโลหะ

|            |                       |           |             |
|------------|-----------------------|-----------|-------------|
| เวลาที่ใช้ | อภิปรายก่อนทำการทดลอง | 10        | นาที        |
|            | ทำการทดลอง            | 30        | นาที        |
|            | อภิปรายหลังทำการทดลอง | 20        | นาที        |
|            | <b>รวม</b>            | <b>60</b> | <b>นาที</b> |

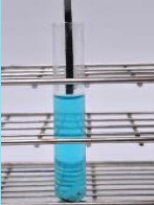
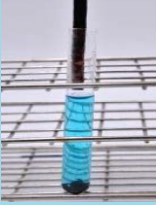

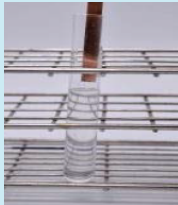

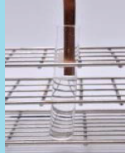
## วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ   | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|--|----------------|
| <b>สารเคมี</b>   |                |
| 1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L | 10 mL          |
| 2. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L        | 10 mL          |
| 3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.10 mol/L   | 10 mL          |
| 4. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg) ขนาด 0.5 cm × 11 cm               | 2 ชิ้น         |
| 5. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn) ขนาด 0.5 cm × 11 cm                  | 2 ชิ้น         |
| 6. แผ่นโลหะทองแดง (Cu) ขนาด 0.5 cm × 11 cm                   | 2 ชิ้น         |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>                                       |                |
| 1. หลอดทดลองขนาดเล็ก   | 6 หลอด         |
| 2. กระจกตวง ขนาด 10 mL                                       | 3 อัน          |
| 3. แท่งแก้วคน  | 3 อัน          |
| 4. กระดาษทราย ขนาด 3 cm × 3 cm                               | 3 ชิ้น         |

## การเตรียมล่วงหน้า

- ตัดแผ่นโลหะ Mg โลหะ Zn และโลหะ Cu ขนาด 0.5 cm × 11 cm ชนิดละ 2 ชิ้น ต่อ 1 กลุ่ม และใช้กระดาษทรายขัดแผ่นโลหะแต่ละชนิดให้สะอาด (การตัดแผ่นโลหะแต่ละชนิด ต้องตัดให้แผ่นโลหะสูงกว่าหลอดทดลองขนาดเล็ก เพื่อความสะดวกในการทดลอง)
  - เตรียม  $\text{CuSO}_4$  0.10 mol/L ปริมาตร 100 mL โดยชั่ง  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  2.50 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 mL
  - เตรียม  $\text{ZnSO}_4$  0.10 mol/L ปริมาตร 100 mL โดยชั่ง  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  2.88 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 mL
  - เตรียม  $\text{MgSO}_4$  0.10 mol/L ปริมาตร 100 mL โดยชั่ง  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  2.47 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 mL
- (สารละลายข้อ 2–4 ที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 10 กลุ่ม)

## ตัวอย่างผลการทดลอง

| โลหะ<br>สารละลาย | Mg  | Zn  | Cu  |
|------------------|---|---|---|
| $\text{CuSO}_4$  |  <p>มีของแข็งสีน้ำตาลแดง เกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดง ออกพบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ และสารละลายมีสีฟ้าแกมเขียว เมื่อตั้งไว้เป็นเวลานานขึ้น</p> |  <p>มีของแข็งสีน้ำตาลแดง เกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดง ออก พบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ และสารละลายสีฟ้าจางลง เมื่อตั้งไว้เป็นเวลานานขึ้น</p> | -   |
| $\text{ZnSO}_4$  |  <p>มีของแข็งสีดำเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีดำออกพบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ</p>  | -   |  <p>ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง</p> |
| $\text{MgSO}_4$  | -   |  <p>ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง</p>  |  <p>ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง</p> |

### อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อจุ่มแผ่นโลหะลงในสารละลายที่มีไอออนของโลหะ บางคู่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง แสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยโลหะและไอออนของโลหะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นดังนี้

| โลหะ<br>สารละลาย  | Mg | Zn | Cu |
|-------------------|----|----|----|
| CuSO <sub>4</sub> | ✓  | ✓  | -  |
| ZnSO <sub>4</sub> | ✓  | -  | ✗  |
| MgSO <sub>4</sub> | -  | ✗  | ✗  |

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นนั้นเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ และระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของแต่ละปฏิกิริยาได้ดังนี้

- โลหะ Mg ที่จุ่มใน CuSO<sub>4</sub>



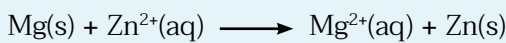
ตัวรีดิวซ์ คือ Mg(s)    ตัวออกซิไดส์ คือ Cu<sup>2+</sup>(aq)

- โลหะ Zn ที่จุ่มใน CuSO<sub>4</sub>



ตัวรีดิวซ์ คือ Zn(s)    ตัวออกซิไดส์ คือ Cu<sup>2+</sup>(aq)

- โลหะ Mg ที่จุ่มใน ZnSO<sub>4</sub>



ตัวรีดิวซ์ คือ Mg(s)    ตัวออกซิไดส์ คือ Zn<sup>2+</sup>(aq)

จะเห็นว่า โลหะ Mg เกิดปฏิกิริยาเมื่อจุ่มใน CuSO<sub>4</sub> และ ZnSO<sub>4</sub> แต่โลหะ Zn เกิดปฏิกิริยาเมื่อจุ่มใน CuSO<sub>4</sub> เท่านั้น ดังนั้นโลหะ Mg จึงเป็นตัวรีดิวซ์ได้ดีกว่า Zn ส่วนโลหะ Cu ไม่เกิดปฏิกิริยาเมื่อจุ่มลงในสารละลายใดเลย จึงเป็นตัวรีดิวซ์ที่ไม่ดีที่สุด

ในทางกลับกัน Cu<sup>2+</sup> ในสารละลาย เกิดปฏิกิริยากับโลหะ Mg และ Zn แต่ Zn<sup>2+</sup> ในสารละลาย เกิดปฏิกิริยากับโลหะ Mg เท่านั้น แสดงว่า Cu<sup>2+</sup> เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า Zn<sup>2+</sup> ส่วน Mg<sup>2+</sup> ในสารละลาย ไม่เกิดปฏิกิริยากับโลหะใดเลย จึงเป็นตัวออกซิไดส์ที่ไม่ดีที่สุด

### สรุปผลการทดลอง

ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะและตัวออกซิไดส์ของไอออนของโลหะ พิจารณาได้จากการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของโลหะและไอออนของโลหะ เรียงลำดับ ได้ดังนี้

- ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ :  $Mg > Zn > Cu$
- ความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ :  $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mg^{2+}$

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

จากการทดลอง เมื่อจุ่มโลหะ Mg ใน  $CuSO_4$  และจุ่มโลหะ Mg ใน  $ZnSO_4$  จะมีฟองแก๊สเกิดขึ้นด้วย ซึ่งอาจอธิบายได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันในตาราง 11.3 ซึ่งโลหะ Mg สามารถให้อิเล็กตรอนกับ  $H_2O$  เกิดแก๊ส  $H_2$  ได้ แต่โดยปกติปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ช้าที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อแผ่นโลหะ Mg เริ่มทำปฏิกิริยากับ  $Cu^{2+}$  หรือ  $Zn^{2+}$  ซึ่งทำให้พื้นผิวของ Mg เพิ่มขึ้นและมีความร้อนเกิดขึ้น ปฏิกิริยาการเกิดแก๊ส  $H_2$  จึงเกิดได้มากขึ้นจนสังเกตเห็นฟองแก๊สจำนวนมาก

อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้เป็นการพิจารณาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะ และตัวออกซิไดส์ของไอออนของโลหะ

15. ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ที่สรุปได้จากกิจกรรม 11.2 สอดคล้องกับตาราง 11.2 หรือไม่ จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะอื่น ๆ ในตาราง 11.2 เพื่อให้ได้ข้อสังเกตเกี่ยวกับแนวโน้มว่า ธาตุโลหะหมู่หลักเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าธาตุโลหะทรานซิชัน ในขณะที่ไอออนของธาตุโลหะทรานซิชันเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าไอออนของธาตุโลหะหมู่หลัก

16. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และตอบคำถามชวนคิด



### ตรวจสอบความเข้าใจ

- จากตาราง 11.2 โลหะใดบ้างเมื่อจุ่มลงในสารละลายกรดแล้วเกิดปฏิกิริยาให้แก๊สไฮโดรเจน ( $H_2$ )  
โลหะ K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Pb เพราะ  $H^+$  เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าไอออนของโลหะเหล่านั้น
- ถ้าใส่สร้อยคอทองคำ (Au) ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ทองคำจะเกิดการออกซิไดส์กลายเป็นไอออนหรือไม่ เพราะเหตุใด  
ไม่เกิด เนื่องจากไอออนของ Au ( $Au^{3+}$ ) เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า  $H^+$  ดังนั้น  $H^+$  จึงไม่สามารถรับอิเล็กตรอนจาก Au ได้



### ชวนคิด

สร้อยคอทองคำ (Au) ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดกัดทอง (aqua regia) ซึ่งเป็นสารละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก ( $HNO_3$ ) เข้มข้น ดังสมการเคมี

$$Au(s) + 3HNO_3(aq) + 4HCl(aq) \longrightarrow HAuCl_4(aq) + 3NO_2(g) + 3H_2O(l)$$

ปฏิกิริยานี้สารใดเป็นตัวออกซิไดส์ เพราะเหตุใด  
กรด  $HNO_3$  เป็นตัวออกซิไดส์ เพราะธาตุ N มีเลขออกซิเดชันลดลงจาก +5 เป็น +4

17. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 11.1 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับวิธีการคำนวณเลขออกซิเดชัน ปฏิกริยารีดอกซ์ ตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน การเขียนสมการเคมีแสดงครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์ และการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ จากการอภิปราย รายงานการทดลอง การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
3. ทักษะการสังเกตและการทดลอง จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลองและรายงานการทดลอง
4. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากรายงานการทดลอง
5. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการใช้วิจารณ์ญาณและความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
7. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
8. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด





## แบบฝึกหัด 11.1

1. กำหนดเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่กำหนดให้ต่อไปนี้

1.1 ธาตุแคลเซียม (Ca) ในแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ )

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Ca}] + [2 \times \text{เลขออกซิเดชันของ Cl}] = 0$$

แทนค่าได้เป็น

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Ca}] + [2 \times (-1)] = 0$$

$$\text{เลขออกซิเดชันของ Ca} = +2$$

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของธาตุแคลเซียม (Ca) ในแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) มีค่าเท่ากับ +2

1.2 ธาตุคลอรีน (Cl) ในเปอร์คลอเรตไอออน ( $\text{ClO}_4^-$ )

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Cl}] + [4 \times \text{เลขออกซิเดชันของ O}] = -1$$

แทนค่าได้เป็น

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ Cl}] + [4 \times (-2)] = -1$$

$$\text{เลขออกซิเดชันของ Cl} = +7$$

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของธาตุคลอรีน (Cl) ในเปอร์คลอเรตไอออน ( $\text{ClO}_4^-$ ) มีค่าเท่ากับ +7

1.3 ธาตุไนโตรเจน (N) ในแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ N}] + [4 \times \text{เลขออกซิเดชันของ H}] + [\text{เลขออกซิเดชันของ Cl}] = 0$$

แทนค่าได้เป็น

$$[\text{เลขออกซิเดชันของ N}] + [4 \times (+1)] + (-1) = 0$$

$$\text{เลขออกซิเดชันของ N} = -3$$

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของธาตุไนโตรเจน (N) ในแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) มีค่าเท่ากับ -3

1.4 ธาตุกำมะถัน (S) ในเตตระไทโอเนตไอออน ( $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ )

$$[4 \times \text{เลขออกซิเดชันของ S}] + [6 \times \text{เลขออกซิเดชันของ O}] = -2$$

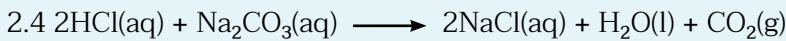
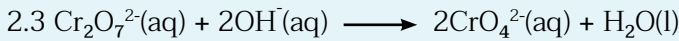
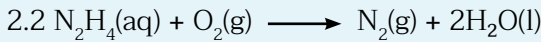
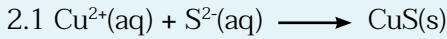
แทนค่าได้เป็น

$$[4 \times \text{เลขออกซิเดชันของ S}] + [6 \times (-2)] = -2$$

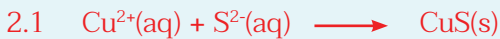
$$\text{เลขออกซิเดชันของ S} = +\frac{5}{2}$$

ดังนั้น เลขออกซิเดชันของธาตุกำมะถัน (S) ในเตตระไทโอเนตไอออน ( $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ ) มีค่าเท่ากับ  $+\frac{5}{2}$

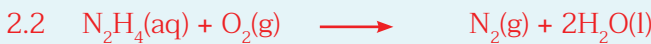
2. ปฏิกิริยาต่อไปนี้นี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์



หาเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยากัน ได้ดังนี้



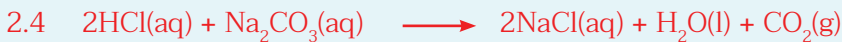
เลขออกซิเดชัน (+2) (-2) (+2)(-2)



เลขออกซิเดชัน (-2)(+1) (0) (0) (+1)(-2)



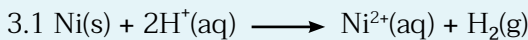
เลขออกซิเดชัน (+6)(-2) (-2)(+1) (+6)(-2) (+1)(-2)



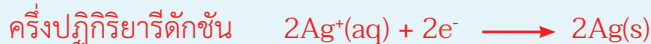
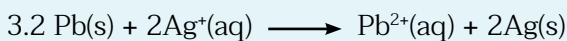
เลขออกซิเดชัน (+1)(-1) (+1)(+4)(-2) (+1)(-1) (+1)(-2) (+4)(-2)

ดังนั้น ปฏิกิริยาในข้อ 2.2 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากเลขออกซิเดชันของธาตุมีการเปลี่ยนแปลง

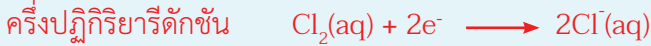
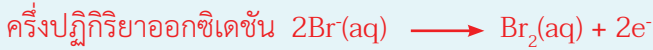
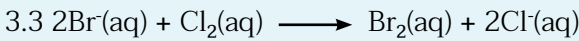
3. ระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ พร้อมทั้งเขียนสมการแสดงครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน จากปฏิกิริยารีดอกซ์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้



ตัวรีดิวซ์ คือ  $\text{Ni}(\text{s})$  และ ตัวออกซิไดส์ คือ  $\text{H}^+(\text{aq})$



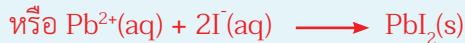
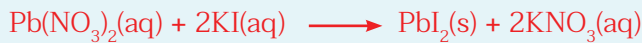
ตัวรีดิวซ์ คือ  $\text{Pb}(\text{s})$  และ ตัวออกซิไดส์ คือ  $\text{Ag}^+(\text{aq})$



ตัวรีดิวซ์ คือ  $\text{Br(aq)}$  และ ตัวออกซิไดส์ คือ  $\text{Cl}_2\text{(aq)}$

4. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากข้อความต่อไปนี้ และพิจารณาว่าเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์หรือไม่ เพราะเหตุใด

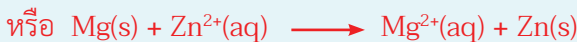
4.1 ผสมสารละลายเลด(II)ไนเตรต ( $\text{Pb(NO}_3)_2$ ) กับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกิดตะกอนสีเหลือง



เลขออกซิเดชัน (+2) (-1) (+2)(-1)

ดังนั้น ปฏิกิริยานี้ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากเลขออกซิเดชันของสารไม่เปลี่ยนแปลง

4.2 จุ่มลวดแมกนีเซียม (Mg) ลงในสารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) เกิดสารสีเทาเงินที่ลวดแมกนีเซียมตรงบริเวณที่จุ่มในสารละลาย เมื่อเคาะสารสีเทาเงินออกพบว่าลวดแมกนีเซียมกร่อนไป

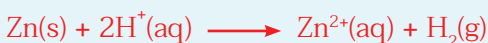
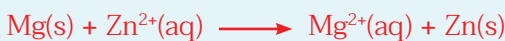


เลขออกซิเดชัน (0) (+2) (+2) (0)

ดังนั้น ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากเลขออกซิเดชันของสารเปลี่ยนแปลง

5. โลหะแมกนีเซียม (Mg) ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) ส่วนโลหะสังกะสี (Zn) ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ )

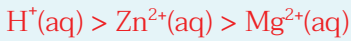
5.1 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น



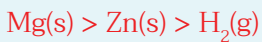
5.2 เรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของ  $H^+(aq)$   $Mg^{2+}(aq)$  และ  $Zn^{2+}(aq)$

และความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของ  $H_2(g)$   $Mg(s)$  และ  $Zn(s)$

ลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ เป็นดังนี้



ลำดับความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ เป็นดังนี้



## 11.2 การดุลสมการรีดอกซ์

### 11.2.1 การดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชัน

### 11.2.2 การดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยา

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา

#### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับหลักการดุลสมการเคมีทั่วไป ซึ่งเป็นการเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เพื่อทำให้ผลรวมของจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิด และประจุไฟฟ้ารวมในด้านซ้ายเท่ากับด้านขวาของสมการ จากนั้นครูเชื่อมโยงเข้าสู่การดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา

2. ครูใช้ตัวอย่าง 3–5 อธิบายการดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชัน จากตัวอย่างที่ง่ายไปหายากดังนี้

- ตัวอย่าง 3 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่มีเฉพาะธาตุที่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน
- ตัวอย่าง 4 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ดุลในภาวะกรดและมีทั้งธาตุที่เปลี่ยนและไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน

• ตัวอย่าง 5 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ดุลในภาวะเบสและมีทั้งธาตุที่เปลี่ยนและไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน

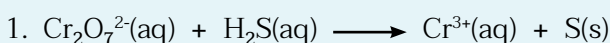
3. ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปขั้นตอนการดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชัน โดยมีข้อสังเกตว่า การดุลสมการจะมีรายละเอียดในบางขั้นตอนเพิ่มขึ้นตามความซับซ้อนของปฏิกิริยารีดอกซ์

4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



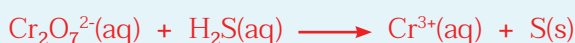
## ตรวจสอบความเข้าใจ

ดุลสมการรีดอกซ์ต่อไปนี้อยู่โดยวิธีเลขออกซิเดชันทั้งในภาวะกรดและเบส



ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันในภาวะกรด

ขั้นที่ 1 พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



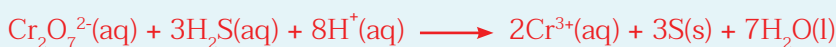
เลขออกซิเดชัน +6                      -2                      +3                      0

S มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 ส่วน Cr มีเลขออกซิเดชันลดลง 3

ขั้นที่ 2 ดุลเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับกับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์



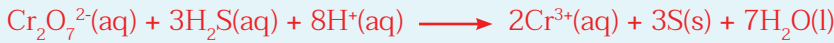
ขั้นที่ 3 ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ต้องดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม  $7\text{H}_2\text{O}$  และดุลอะตอม H โดยเติม  $8\text{H}^+$  เพื่อให้จำนวนอะตอมของ O เป็น 7 และ H เป็น 14 เท่ากันทั้งสองข้างของสมการ



ตรวจสอบความถูกต้องโดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

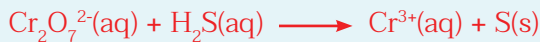
|                 | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + 8\text{H}^+(\text{aq})$ | $2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{S}(\text{s}) + 7\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |
|-----------------|---|--|
| จำนวน Cr        | 2   | 2  |
| จำนวน S         | 3   | 3  |
| จำนวน O         | 7   | 7  |
| จำนวน H         | 14  | 14   |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $(2-) + 0 + 8(1+) = 6+$   | $2(3+) + 0 + 0 = 6+$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



**ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันในภาวะเบส**

**ขั้นที่ 1** พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



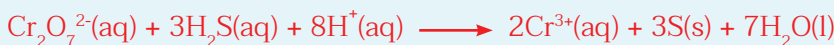
เลขออกซิเดชัน +6                      -2                      +3                      0

S มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 ส่วน Cr มีเลขออกซิเดชันลดลง 3

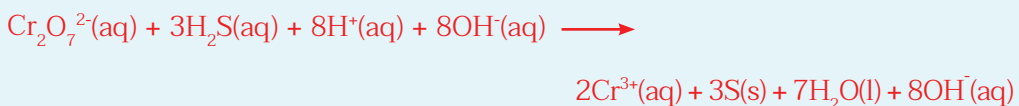
**ขั้นที่ 2** ดุลเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์



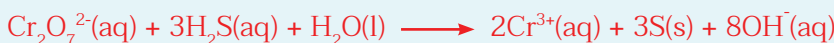
**ขั้นที่ 3** ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ต้องดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม  $7\text{H}_2\text{O}$  และดุลอะตอม H โดยเติม  $8\text{H}^+$  เพื่อให้จำนวนอะตอมของ O เป็น 7 และ H เป็น 14 เท่ากันทั้งสองข้างของสมการ



เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดในภาวะเบส จึงเติม  $\text{OH}^-$  จำนวนเท่ากับ  $\text{H}^+$  ซึ่งในที่นี้เติม  $8\text{OH}^-$  ทั้งสองด้านของสมการ



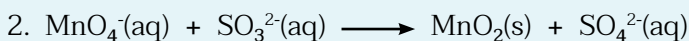
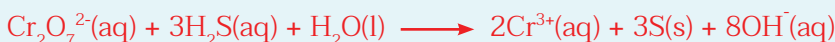
รวม  $\text{OH}^-$  กับ  $\text{H}^+$  ให้เป็น  $\text{H}_2\text{O}$  และหักล้าง  $\text{H}_2\text{O}$  ในสองด้านของสมการ



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้า ทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | $2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{S}(\text{s}) + 8\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|-----------------|---|--|
| จำนวน Cr        | 2   | 2  |
| จำนวน S         | 3   | 3  |
| จำนวน O         | 8   | 8  |
| จำนวน H         | 8   | 8  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $(2-) + 0 + 0 = 2-$   | $2(3+) + 0 + 8(1-) = 2-$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



**ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันในภาวะกรด**

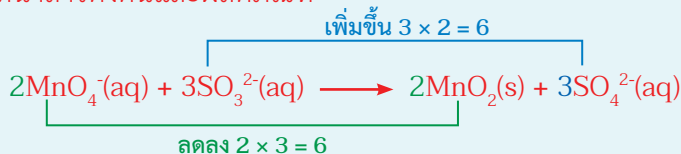
**ขั้นที่ 1** พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



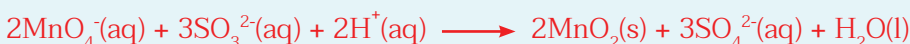
เลขออกซิเดชัน +7                      +4                                      +4                      +6

S มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 ส่วน Mn มีเลขออกซิเดชันลดลง 3

**ขั้นที่ 2** ดุลเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์



**ขั้นที่ 3** ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ต้องดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม  $\text{H}_2\text{O}$  และดุลอะตอม H โดยเติม  $2\text{H}^+$  เพื่อให้จำนวนอะตอมของ O เป็น 17 และ H เป็น 2 เท่ากันทั้งสองข้างของสมการ



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

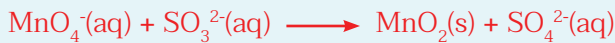
|                 | $2\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 3\text{SO}_3^{2-} (\text{aq}) + 2\text{H}^+ (\text{aq})$ | $2\text{MnO}_2 (\text{s}) + 3\text{SO}_4^{2-} (\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$ |
|-----------------|---|--|
| จำนวน Mn        | 2   | 2  |
| จำนวน S         | 3   | 3  |
| จำนวน O         | 17  | 17   |
| จำนวน H         | 2   | 2  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $2(1-) + 3(2-) + 2(1+) = 6-$  | $0 + 3(2-) + 0 = 6-$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



**ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันในภาวะเบส**

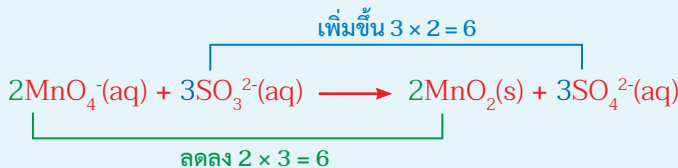
**ขั้นที่ 1** พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



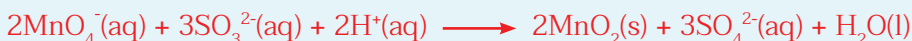
เลขออกซิเดชัน +7                      +4                      +4                      +6

S มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 ส่วน Mn มีเลขออกซิเดชันลดลง 3

**ขั้นที่ 2** ดุลเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

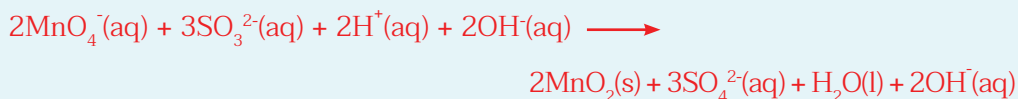


**ขั้นที่ 3** ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ต้องดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม  $\text{H}_2\text{O}$  และดุลอะตอม H โดยเติม  $2\text{H}^+$  เพื่อให้จำนวนอะตอมของ O เป็น 17 และ H เป็น 2 เท่ากันทั้งสองข้างของสมการ





เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดในภาวะเบส จึงเติม  $\text{OH}^-$  จำนวนเท่ากับ  $\text{H}^+$  ซึ่งในที่นี้เติม  $2\text{OH}^-$  ทั้งสองด้านของสมการ



รวม  $\text{OH}^-$  กับ  $\text{H}^+$  ให้เป็น  $\text{H}_2\text{O}$  และหักล้าง  $\text{H}_2\text{O}$  ในสองด้านของสมการ



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 3\text{SO}_3^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | $2\text{MnO}_2(\text{s}) + 3\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|-----------------|--|--|
| จำนวน Mn        | 2  | 2  |
| จำนวน S         | 3  | 3  |
| จำนวน O         | 18   | 18   |
| จำนวน H         | 2  | 2  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $2(1-) + 3(2-) + 0 = 8-$   | $0 + 3(2-) + 2(1-) = 8-$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



5. ครูใช้ตัวอย่าง 6–8 อธิบายการดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยา จากตัวอย่างที่ง่ายไปหายากดังนี้

- ตัวอย่าง 6 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ดุลในภาวะกรดและมีทั้งธาตุที่เปลี่ยนและไม่เปลี่ยนแปลงออกซิเดชัน

- ตัวอย่าง 7 และ 8 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ดุลในภาวะเบสและมีทั้งธาตุที่เปลี่ยนและไม่เปลี่ยนแปลงออกซิเดชัน โดยให้สังเกตว่า สมการที่ดุลแล้วอาจมี  $\text{OH}^-$  อยู่ทางด้านสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ก็ได้

6. ครูอาจชี้ให้เห็นว่า ในการดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยาไม่จำเป็นต้องกำหนดครึ่งปฏิกิริยาตั้งแต่แรก เนื่องจากเมื่อทำการดุลประจุไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนในขั้นที่ 1 แล้ว จะทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาใดเป็นครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน

7. ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปขั้นตอนการดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยา โดยมีข้อสังเกตว่า การดุลสมการจะมีรายละเอียดในบางขั้นตอนเพิ่มขึ้นตามความซับซ้อนของปฏิกิริยารีดอกซ์

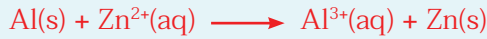
8. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



## ตรวจสอบความเข้าใจ

ดุลสมการรีดอกซ์ในตัวอย่าง 3–5 โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยา

จากตัวอย่าง 3 ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยาได้ดังนี้



พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน      0      +2                      +3      0

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน       $\text{Al(s)} \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq})$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน       $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Zn(s)}$

**ขั้นที่ 1** ดุลจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

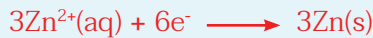
| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                     |   |
|--|---|
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{Al(s)} \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq})$        |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม $\text{H}_2\text{O}$                     |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม $\text{H}^+$                             |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{Al(s)} \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3e^-$ |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                       |   |
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Zn(s)}$        |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม $\text{H}_2\text{O}$                     |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม $\text{H}^+$                             |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \longrightarrow \text{Zn(s)}$ |

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุด

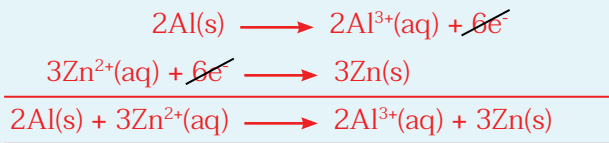
**ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน** คูณด้วย 2 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



**ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน** คูณด้วย 3 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือ ไอออน ที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



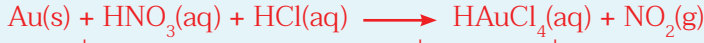
ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $2\text{Al(s)} + 3\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ | $2\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{Zn(s)}$ |
|-----------------|--|--|
| จำนวน Al        | 2  | 2  |
| จำนวน Zn        | 3  | 3  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 3(2+) = 6+$                             | $2(3+) + 0 = 6+$                             |

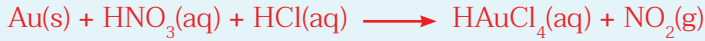
ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



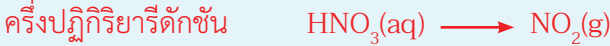
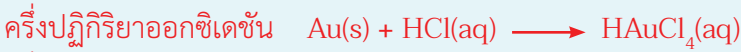
**จากตัวอย่าง 4 ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยาได้ดังนี้**



พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน      0                      +5    +3                                      +4



**ขั้นที่ 1** ดุลจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                  |   |
|---|---|
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{Au(s)} + 4\text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow \text{HAuCl}_4(\text{aq})$   |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม H <sub>2</sub> O   |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | $\text{Au(s)} + 4\text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow \text{HAuCl}_4(\text{aq}) + 3\text{H}^+(\text{aq})$                          |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{Au(s)} + 4\text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow \text{HAuCl}_4(\text{aq}) + 3\text{H}^+(\text{aq}) + 3\text{e}^-$            |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                    |   |
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{HNO}_3(\text{aq}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g})$   |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | $\text{HNO}_3(\text{aq}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$                                      |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | $\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$              |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุด

**ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน**



**ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน** คูณด้วย 3 เพื่อให้มี  $3\text{e}^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออนที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



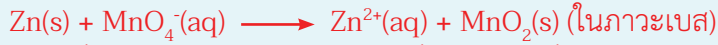
ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $\text{Au(s)} + 4\text{HCl(aq)} + 3\text{HNO}_3\text{(aq)}$ | $\text{HAuCl}_4\text{(aq)} + 3\text{NO}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{O(l)}$ |
|-----------------|---|---|
| จำนวน Au        | 1   | 1   |
| จำนวน N         | 3   | 3   |
| จำนวน Cl        | 4   | 4   |
| จำนวน O         | 9   | 9   |
| จำนวน H         | 7   | 7   |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 0 + 0 = 0$   | $0 + 0 + 0 = 0$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



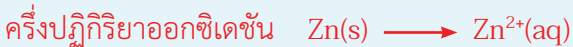
จากตัวอย่าง 5 คุณสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยาได้ดังนี้



พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน 0 +7 +2 +4



**ขั้นที่ 1** คุณจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                     |  |
|--|--|
| คุณจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{Zn(s)} \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$   |
| คุณจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม $\text{H}_2\text{O}$  |
| คุณจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม $\text{H}^+$  |
| คุณจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{Zn(s)} \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^-$  |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                       |  |
| คุณจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s})$   |
| คุณจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$                                 |
| คุณจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$        |
| คุณจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 3e^- \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด

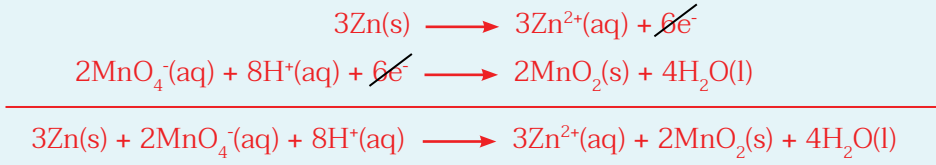
ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน คูณด้วย 3 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



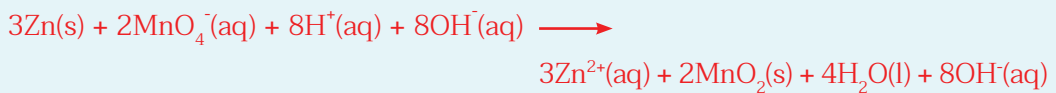
ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน คูณด้วย 2 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออน ที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดในภาวะเบส จึงเติม  $\text{OH}^-$  จำนวนเท่ากับ  $\text{H}^+$  ซึ่งในที่นี้เติม  $8\text{OH}^-$  ทั้งสองด้านของสมการ



รวม  $\text{OH}^-$  กับ  $\text{H}^+$  ให้เป็น  $\text{H}_2\text{O}$  และหักล้าง  $\text{H}_2\text{O}$  ในสองด้านของสมการ



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $3\text{Zn(s)} + 2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | $3\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{MnO}_2(\text{s}) + 8\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|-----------------|--|--|
| จำนวน Zn        | 3  | 3  |
| จำนวน Mn        | 2  | 2  |
| จำนวน O         | 12   | 12   |
| จำนวน H         | 8  | 8  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 2(1-) + 0 = 2-$   | $3(2+) + 0 + 8(1-) = 2-$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



9. ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า การดุลสมการโดยวิธีครึ่งปฏิกิริยาจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ ให้คำตอบเหมือนกับตัวอย่าง 3–5 ของการดุลสมการโดยวิธีเลขออกซิเดชัน ดังนั้น การดุลสมการไม่ว่าด้วยวิธีใดจะให้คำตอบที่เหมือนกัน

10. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 11.2 เพื่อทบทวนความรู้



### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับวิธีการดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา จากการทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการทำแบบฝึกหัด
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการใช้วิจารณญาณและความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด



## แบบฝึกหัด 11.2

1. ดุลสมการรีดอกซ์ต่อไปนี้โดยวิธีเลขออกซิเดชัน



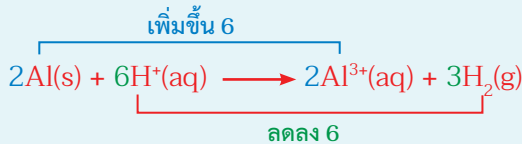
**ขั้นที่ 1** พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



เลขออกซิเดชัน    0    +1                    +3            0

Al มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 3 ส่วน H มีเลขออกซิเดชันลดลง 1

**ขั้นที่ 2** ดุลเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์



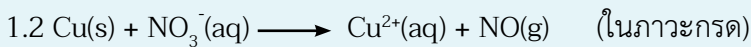
**ขั้นที่ 3** ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ไม่มีธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน

ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $2\text{Al(s)} + 6\text{H}^+(\text{aq})$ | $2\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ |
|-----------------|--|--|
| จำนวน Al        | 2  | 2  |
| จำนวน H         | 6  | 6  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 6(1+) = 6+$                         | $2(3+) + 0 = 6+$                                     |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้





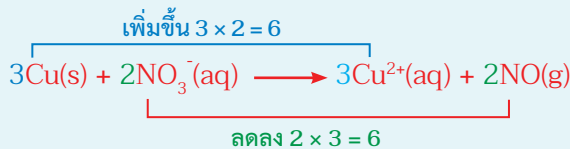
**ขั้นที่ 1** พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



เลขออกซิเดชัน    0       +5                               +2       +2

Cu มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 ส่วน N มีเลขออกซิเดชันลดลง 3

**ขั้นที่ 2** คูณเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์



**ขั้นที่ 3** คูณจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ต้องคูณจำนวนอะตอม O โดยเติม  $4\text{H}_2\text{O}$  และคูณอะตอม H โดยเติม  $8\text{H}^+$  เพื่อให้จำนวนอะตอมของ O เป็น 6 และ H เป็น 8 เท่ากันทั้งสองข้างของสมการ

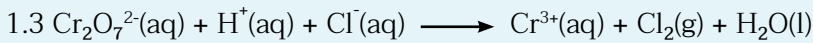


ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

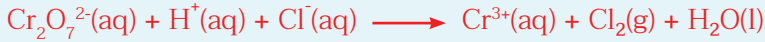
|                 | $3\text{Cu(s)} + 2\text{NO}_3^-(\text{aq}) + 8\text{H}^+(\text{aq})$ | $3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{NO(g)} + 4\text{H}_2\text{O(l)}$ |
|-----------------|--|---|
| จำนวน Cu        | 3  | 3   |
| จำนวน N         | 2  | 2   |
| จำนวน O         | 6  | 6   |
| จำนวน H         | 8  | 8   |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 2(1-) + 8(1+) = 6+$   | $3(2+) + 0 + 0 = 6+$  |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้





**ขั้นที่ 1** พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



เลขออกซิเดชัน +6                      -1                      +3                      0

Cl มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 1 ส่วน Cr มีเลขออกซิเดชันลดลง 3

**ขั้นที่ 2** คูลเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์



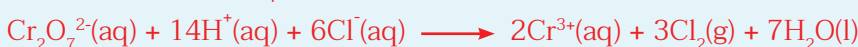
**ขั้นที่ 3** คูลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ต้องคูลจำนวนอะตอม O โดยเติม  $6\text{H}_2\text{O}$  เมื่อรวมกับ  $\text{H}_2\text{O}$  จะได้  $7\text{H}_2\text{O}$  และคูลอะตอม H โดยเติม 14 หน้า  $\text{H}^+$  เพื่อให้จำนวนอะตอมของ O เป็น 7 และ H เป็น 14 เท่ากันทั้งสองข้างของสมการ

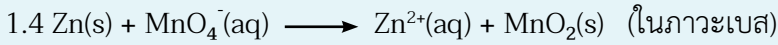


ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14\text{H}^+(\text{aq}) + 6\text{Cl}^-(\text{aq})$ | $2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{Cl}_2(\text{g}) + 7\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |
|-----------------|---|---|
| จำนวน Cr        | 2   | 2   |
| จำนวน Cl        | 6   | 6   |
| จำนวน O         | 7   | 7   |
| จำนวน H         | 14  | 14  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $(2-) + 14(1+) + 6(1-) = 6+$  | $3(2+) + 0 + 0 = 6+$  |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้





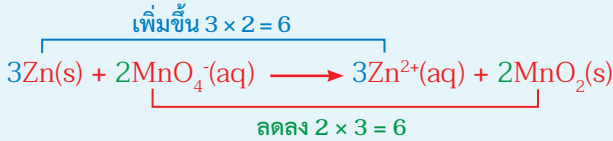
**ขั้นที่ 1** พิจารณาเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลง



เลขออกซิเดชัน    0            +7                            +2            +4

Zn มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 ส่วน Mn มีเลขออกซิเดชันลดลง 3

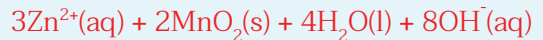
**ขั้นที่ 2** คูณเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นให้เท่ากับเลขออกซิเดชันที่ลดลง โดยเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์



**ขั้นที่ 3** คูณจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เปลี่ยนเลขออกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ต้องคูณจำนวนอะตอม O โดยเติม  $4\text{H}_2\text{O}$  และคูณอะตอม H โดยเติม  $8\text{H}^+$  เพื่อให้จำนวนอะตอมของ O เป็น 8 และ H เป็น 8 เท่ากันทั้งสองข้างของสมการ



เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดในภาวะเบส จึงเติม  $\text{OH}^-$  จำนวนเท่ากับ  $\text{H}^+$  ซึ่งในที่นี้เติม  $8\text{OH}^-$  ทั้งสองด้านของสมการ



รวม  $\text{OH}^-$  กับ  $\text{H}^+$  ให้เป็น  $\text{H}_2\text{O}$  และหักล้าง  $\text{H}_2\text{O}$  ในสองด้านของสมการ



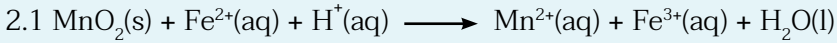
ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $3\text{Zn(s)} + 2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O(l)}$ | $3\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{MnO}_2(\text{s}) + 8\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|-----------------|---|--|
| จำนวน Zn        | 3   | 3  |
| จำนวน Mn        | 2   | 2  |
| จำนวน O         | 12  | 12   |
| จำนวน H         | 8   | 8  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 2(1-) + 0 = 2-$  | $3(2+) + 0 + 8(1-) = 2-$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



2. ดุลสมการรีดอกซ์ต่อไปนี้เป็นวิธีครึ่งปฏิกิริยา



พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน +4            +2                                    +2            +3

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน  $\text{MnO}_2(\text{s}) \longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$

**ขั้นที่ 1** ดุลจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

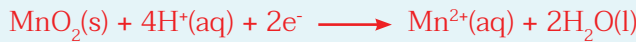
| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                  |   |
|---|---|
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$   |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม H <sub>2</sub> O   |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม H <sup>+</sup>   |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^-$  |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                    |   |
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{MnO}_2(\text{s}) \longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$  |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | $\text{MnO}_2(\text{s}) \longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | $\text{MnO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$               |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{MnO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |

ขั้นที่ 2 ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุด

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน คูณด้วย 2 เพื่อให้มี  $2e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



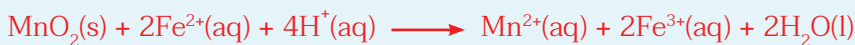
ขั้นที่ 3 รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออน ที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



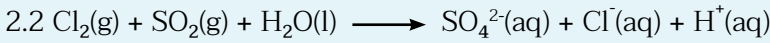
ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{MnO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+(\text{aq})$ | $2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |
|-----------------|--|--|
| จำนวน Fe        | 2  | 2  |
| จำนวน Mn        | 1  | 1  |
| จำนวน O         | 2  | 2  |
| จำนวน H         | 4  | 4  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $2(2+) + 0 + 4(1+) = 8+$   | $2(3+) + (2+) + 0 = 8+$  |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



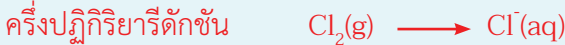




พิจารณาการเปลี่ยนเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน 0 +4 +6 -1



**ขั้นที่ 1** ดูจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

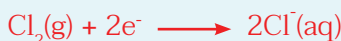
| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                    |   |
|---|---|
| ดูจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{SO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$   |
| ดูจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | $\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$                                 |
| ดูจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | $\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq})$        |
| ดูจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^-$ |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                      |   |
| ดูจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{Cl}^-(\text{aq})$   |
| ดูจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม $\text{H}_2\text{O}$   |
| ดูจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม $\text{H}^+$   |
| ดูจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2e^- \longrightarrow 2\text{Cl}^-(\text{aq})$  |

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด

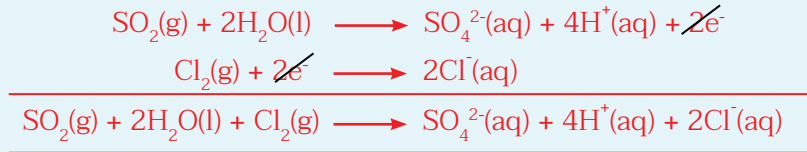
ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออนที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน

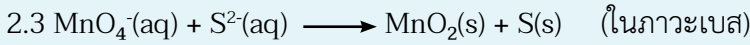


ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

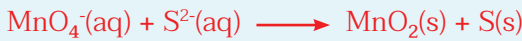
|                 | $\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ | $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$ |
|-----------------|---|--|
| จำนวน S         | 1   | 1  |
| จำนวน Cl        | 2   | 2  |
| จำนวน O         | 4   | 4  |
| จำนวน H         | 4   | 4  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 0 + 0 = 0$   | $(2-) + 4(1+) + 2(1-) = 0$   |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้





พิจารณาการเปลี่ยนเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน +7                      -2                                      +4                      0

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน  $\text{S}^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{S}(\text{s})$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน  $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s})$

**ขั้นที่ 1** ดุลจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                     |  |
|--|--|
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{S}^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{S}(\text{s})$  |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม $\text{H}_2\text{O}$  |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม $\text{H}^+$  |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{S}^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{S}(\text{s}) + 2e^-$   |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                       |  |
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H               | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s})$   |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$ | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$                                 |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$         | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$        |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$             | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 3e^- \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด

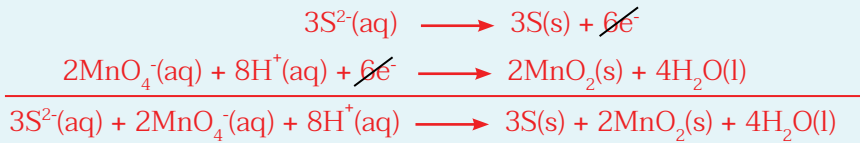
ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน คูณด้วย 3 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



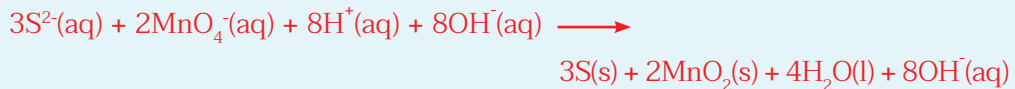
ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน คูณด้วย 2 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



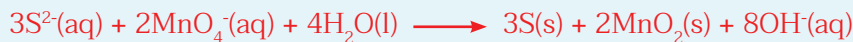
**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออนที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดในภาวะเบส จึงเติม  $\text{OH}^-$  จำนวนเท่ากับ  $\text{H}^+$  ซึ่งในที่นี้เติม  $8\text{OH}^-$  ทั้งสองด้านของสมการ



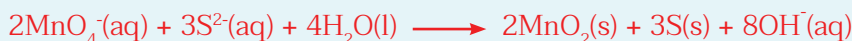
รวม  $\text{OH}^-$  กับ  $\text{H}^+$  ให้เป็น  $\text{H}_2\text{O}$  และหักล้าง  $\text{H}_2\text{O}$  ในสองด้านของสมการ



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $3\text{S}^{2-}(\text{aq}) + 2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | $3\text{S}(\text{s}) + 2\text{MnO}_2(\text{s}) + 8\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|-----------------|--|---|
| จำนวน S         | 3  | 3   |
| จำนวน Mn        | 2  | 2   |
| จำนวน O         | 12   | 12  |
| จำนวน H         | 8  | 8   |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $3(2-) + 2(1-) + 0 = 8-$   | $0 + 0 + 8(1-) = 8-$  |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้

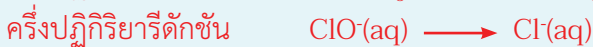




พิจารณาการเปลี่ยนเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน +3                      +1                      +6                      -1



**ขั้นที่ 1** คูณจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                  |  |
|---|--|
| คูณจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{Cr(OH)}_3(\text{s}) \longrightarrow \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$   |
| คูณจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | $\text{Cr(OH)}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$  |
| คูณจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | $\text{Cr(OH)}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 5\text{H}^+(\text{aq})$               |
| คูณจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{Cr(OH)}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 5\text{H}^+(\text{aq}) + 3\text{e}^-$ |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                    |  |
| คูณจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{ClO}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cl}^-(\text{aq})$   |
| คูณจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | $\text{ClO}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  |
| คูณจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | $\text{ClO}^-(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$                       |
| คูณจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{ClO}^-(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$         |

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุด

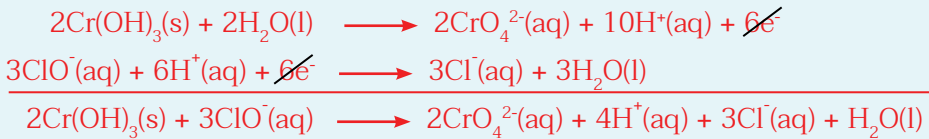
ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน คูณด้วย 2 เพื่อให้มี 6e<sup>-</sup> เท่ากับครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



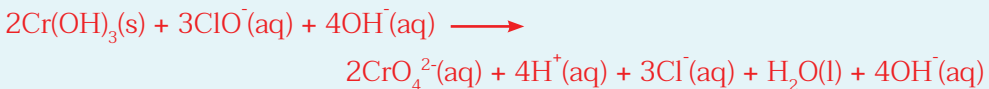
ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน คูณด้วย 3 เพื่อให้มี 6e<sup>-</sup> เท่ากับครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



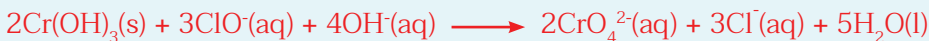
**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออนที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดในภาวะเบส จึงเติม  $\text{OH}^-$  จำนวนเท่ากับ  $\text{H}^+$  ซึ่งในขั้นนี้เติม  $4\text{OH}^-$  ทั้งสองด้านของสมการ



รวม  $\text{OH}^-$  กับ  $\text{H}^+$  ให้เป็น  $\text{H}_2\text{O}$



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $2\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{ClO}^-(\text{aq}) + 4\text{OH}^-(\text{aq})$ | $2\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 3\text{Cl}^-(\text{aq}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |
|-----------------|--|---|
| จำนวน Cr        | 2  | 2   |
| จำนวน Cl        | 3  | 3   |
| จำนวน O         | 13   | 13  |
| จำนวน H         | 10   | 10  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $0 + 3(1-) + 4(1-) = 7-$   | $2(2-) + 3(1-) + 0 = 7-$  |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้





**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน คูณด้วย 3 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



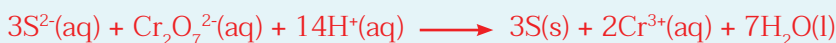
**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออน ที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $3S^{2-}(aq) + Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H^+(aq)$ | $3S(s) + 2Cr^{3+}(aq) + 7H_2O(l)$ |
|-----------------|--|-----------------------------------|
| จำนวน S         | 3  | 3                                 |
| จำนวน Cr        | 2  | 2                                 |
| จำนวน O         | 7  | 7                                 |
| จำนวน H         | 14   | 14                                |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $3(2-) + (2-) + 14(1+) = 6+$                 | $0 + 2(3+) + 0 = 6+$              |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้





4. เขียนและดุลสมการรีดอกซ์เมื่อเติมสารละลายของไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ลงในสารละลายเปอร์แมงกาเนตไอออน (MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>) ซึ่งมีสีม่วงแดงในภาวะเบส พบว่าสีม่วงแดงจางหายไป เกิดตะกอนสีดำของแมงกานีส(IV)ออกไซด์ (MnO<sub>2</sub>) และไอโอดेटไอออน (IO<sub>3</sub><sup>-</sup>) จากโจทย์เขียนสมการได้ดังนี้



พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เลขออกซิเดชัน -1 +7 +4 +5

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน  $\text{I}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{IO}_3^-(\text{aq})$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน  $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s})$

**ขั้นที่ 1** ดุลจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

| ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน                  |   |
|---|---|
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{I}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{IO}_3^-(\text{aq})$  |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | $\text{I}^-(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{IO}_3^-(\text{aq})$  |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | $\text{I}^-(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{IO}_3^-(\text{aq}) + 6\text{H}^+(\text{aq})$                 |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{I}^-(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{IO}_3^-(\text{aq}) + 6\text{H}^+(\text{aq}) + 6\text{e}^-$   |
| ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน                    |   |
| ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H            | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s})$  |
| ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม H <sub>2</sub> O  | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  |
| ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม H <sup>+</sup>    | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$               |
| ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม e <sup>-</sup> | $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ |

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด

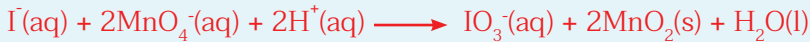
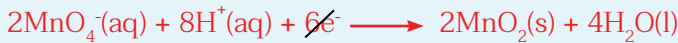
**ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน**



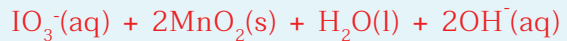
**ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน** คูณด้วย 2 เพื่อให้มี  $6\text{e}^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออน ที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดในภาวะเบส จึงเติม  $\text{OH}^-$  จำนวนเท่ากับ  $\text{H}^+$  ซึ่งในที่นี้เติม  $2\text{OH}^-$  ทั้งสองด้านของสมการ



รวม  $\text{OH}^-$  กับ  $\text{H}^+$  ให้เป็น  $\text{H}_2\text{O}$  และหักล้าง  $\text{H}_2\text{O}$  ในสองด้านของสมการ



ตรวจสอบความถูกต้อง โดยนับผลรวมของจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและประจุไฟฟ้าทางด้านซ้ายและด้านขวาของสมการ ซึ่งต้องได้จำนวนเท่ากัน

|                 | $\text{I}^-(\text{aq}) + 2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | $\text{IO}_3^-(\text{aq}) + 2\text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ |
|-----------------|---|--|
| จำนวน I         | 1   | 1  |
| จำนวน Mn        | 2   | 2  |
| จำนวน O         | 9   | 9  |
| จำนวน H         | 2   | 2  |
| ผลรวมประจุไฟฟ้า | $(1-) + 2(1-) + 0 = 3-$   | $(1-) + 0 + 2(1-) = 3-$  |

ดังนั้น สมการรีดอกซ์ที่ดุลแล้ว เป็นดังนี้



## 11.3 เซลล์เคมีไฟฟ้า

### 11.3.1 องค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า

### 11.3.2 แผนภาพเซลล์

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า
2. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนด แคโทด และปฏิกิริยารวม
3. เขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน                                 | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|---|--|
| อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสารละลายในเซลล์เคมีไฟฟ้า      | อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำแต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสารละลายในเซลล์เคมีไฟฟ้า |
| แผนภาพเซลล์เขียนได้เฉพาะเซลล์กัลวานิก                 | แผนภาพเซลล์เขียนได้ทั้งเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก                         |
| แผนภาพเซลล์อิเล็กโทรลิติกเหมือนกับแผนภาพเซลล์กัลวานิก | แผนภาพเซลล์อิเล็กโทรลิติกมีครึ่งเซลล์สลับด้านกันกับของเซลล์กัลวานิก                |

#### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูใช้คำถามนำว่า จากที่ทราบแล้วว่ากระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน นักเรียนคิดว่าการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารในปฏิกิริยารีดอกซ์เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าหรือไม่อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่เซลล์เคมีไฟฟ้าและปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า
2. ครูใช้คำถามกระตุ้นหรืออธิบายเกี่ยวกับเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยใช้รูป 11.1 เพื่อให้ นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งแอโนดและแคโทด ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หน้าที่ของสะพานเกลือหรือเยื่อ และการรักษาสมดุลของไอออนบวกและไอออนลบในแต่ละครึ่งเซลล์
3. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

จากเซลล์เคมีไฟฟ้าในรูป 11.1 จงตอบคำถามต่อไปนี้

- โลหะใดทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี และโลหะใดทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาเคมีด้วย

โลหะทองแดง (Cu) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี ส่วนโลหะสังกะสี (Zn) เป็นขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาเคมีด้วย

- ไอออนใดเป็นอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี และไอออนใดเป็นอิเล็กโทรไลต์ที่เกิดปฏิกิริยาเคมีด้วย

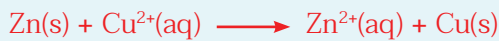
$Zn^{2+}$  และ  $SO_4^{2-}$  เป็นอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี  $Cu^{2+}$  เป็นอิเล็กโทรไลต์ที่เกิดปฏิกิริยาเคมีด้วย

- เมื่อเวลาผ่านไป ขั้วโลหะใดกร่อนและขั้วโลหะใดหนาขึ้น

ขั้วโลหะสังกะสี (Zn) กร่อน และขั้วโลหะทองแดง (Cu) หนาขึ้น

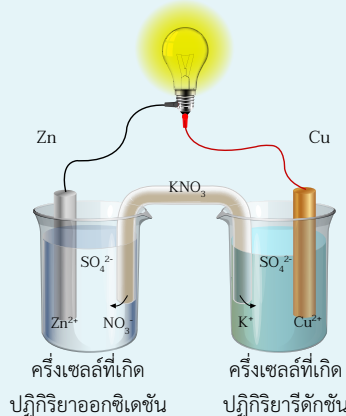
- เขียนสมการรีดอกซ์ที่เกิดขึ้น

สมการรีดอกซ์ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

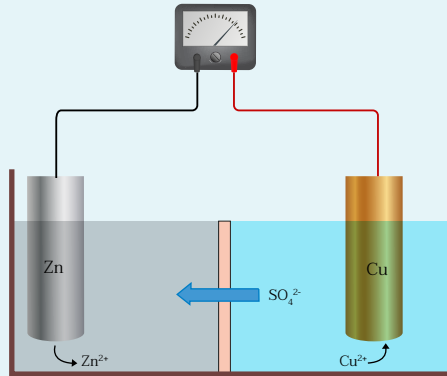


- เมื่อต่อเซลล์เคมีไฟฟ้าครบวงจร โดยใช้สะพานเกลือที่มีสารละลายโพแทสเซียมไนเตรต ( $KNO_3$ ) เข้มข้น จงระบุว่าไอออนแต่ละชนิดในสะพานเกลือมีทิศทางเคลื่อนที่อย่างไร เพราะเหตุใด พร้อมวาดรูปประกอบ

$K^+$  จะเคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านที่มีขั้วไฟฟ้า Cu เพื่อชดเชยประจุบวกของ  $Cu^{2+}$  ที่ทำปฏิกิริยาไป ส่วน  $NO_3^-$  จะเคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านที่มีขั้วไฟฟ้า Zn เพื่อรักษาสมดุลของประจุไฟฟ้าเนื่องจากมี  $Zn^{2+}$  เกิดเพิ่มขึ้น



6. เมื่อต่อเซลล์เคมีไฟฟ้าครบวงจร ไอออนใดจะทำหน้าที่รักษาสมดุลของประจุไฟฟ้าในสารละลายและมีทิศทางการเคลื่อนที่ผ่านเยื่อคั้นเซลล์อย่างไร พร้อมวาดรูปประกอบ  $\text{SO}_4^{2-}$  จะเคลื่อนที่ไปในสารละลายด้านที่มีขั้วไฟฟ้า Zn เพื่อรักษาสมดุลของประจุไฟฟ้าเนื่องจากมี  $\text{Zn}^{2+}$  เกิดเพิ่มขึ้น



7. เพราะเหตุใดเมื่อต่อเซลล์เคมีไฟฟ้าครบวงจรเป็นเวลานาน กระแสไฟฟ้าจึงลดลง เนื่องจากปริมาณของสารตั้งต้น คือ โลหะสังกะสี (Zn) และคอปเปอร์(II)ไอออน ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ลดลง หรือไอออนในสะพานเกลือลดลง

4. ครูใช้คำถามกระตุ้นหรืออธิบายเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติกโดยใช้รูป 11.1 และรูป 11.2 ประกอบการอธิบาย เพื่อให้นักเรียนสามารถระบุความเหมือนและความแตกต่างของเซลล์ทั้งสองประเภท ศักย์ไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาในเซลล์อิเล็กโทรลิติก และการต่อขั้วไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรลิติก

5. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

จากเซลล์เคมีไฟฟ้าในรูป 11.1 และ 11.2 จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. เปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก

#### ความเหมือน

- เซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติกมีองค์ประกอบของเซลล์เหมือนกันคือขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์
- เซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แอโนด และเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่แคโทด
- เซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติกมีโลหะทองแดงเป็นขั้วบวก และโลหะสังกะสีเป็นขั้วลบ

#### ความแตกต่าง

- เซลล์กัลวานิกเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เองและให้พลังงานไฟฟ้า แต่เซลล์อิเล็กโทรลิติกต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี
  - ในเซลล์กัลวานิก โลหะทองแดงเป็นแคโทด แต่ในเซลล์อิเล็กโทรลิติก โลหะทองแดงเป็นแอโนด
  - ในเซลล์กัลวานิก โลหะสังกะสีเป็นแอโนด แต่ในเซลล์อิเล็กโทรลิติก โลหะสังกะสีเป็นแคโทด
  - ปฏิกิริยารีดอกซ์ในเซลล์อิเล็กโทรลิติกเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยารีดอกซ์ในเซลล์กัลวานิก
2. จากรูป 11.2 หากสลับให้ขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้ากับโลหะสังกะสีและขั้วลบต่อเข้ากับโลหะทองแดง จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นที่ขั้วโลหะทั้งสองหรือไม่ อย่างไร
- มีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นที่ขั้วโลหะสังกะสี และปฏิกิริยารีดักชันของคอปเปอร์(II)ไอออนเกิดขึ้นที่ขั้วโลหะทองแดง ซึ่งมีทิศทางเดียวกันกับการเกิดปฏิกิริยาในเซลล์กัลวานิกในรูป 11.1 แต่ในกรณีนี้จะเกิดปฏิกิริยารุนแรงกว่าเนื่องจากการให้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป

6. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 11.3 เพื่อทบทวนความรู้

7. ครูอธิบายเกี่ยวกับการเขียนแผนภาพเซลล์ของรูป 11.1 และ 11.2 พร้อมทั้งอธิบายความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในแผนภาพเซลล์ จากนั้นอธิบายการเขียนแผนภาพเซลล์จากสมการเคมีและการเขียนปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องจากแผนภาพเซลล์โดยใช้ตัวอย่าง 9–11 ประกอบการอธิบาย

8. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 11.4 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า การเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์ จากการอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูล จากการอภิปราย
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการทำแบบฝึกหัด
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการใช้วิจารณญาณและความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด



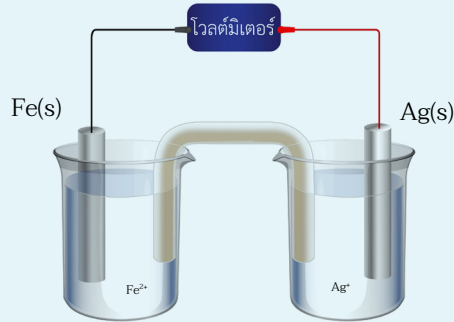
### แบบฝึกหัด 11.3

1. เพราะเหตุใดจึงไม่ทำเซลล์กัลวานิกโดยการจุ่มขั้วโลหะทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ลงในสารละลายผสมของคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) และซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) ในภาชนะเดียวกัน

เนื่องจาก  $\text{Cu}^{2+}$  เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า  $\text{Zn}^{2+}$  ดังนั้นถ้าใช้สารละลายผสมของคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) และซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) ในภาชนะเดียวกัน จะทำให้  $\text{Cu}^{2+}$  รั่วอิเล็กตรอนโดยตรงจากโลหะสังกะสี (Zn) เกิดเป็นโลหะทองแดง (Cu) เคลือบบนผิวของโลหะสังกะสี จนทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อได้

2. ระบุว่าครึ่งเซลล์ใดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งเซลล์ใดเกิดปฏิกิริยารีดักชันพร้อมทั้งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยา และปฏิกิริยารวมของเซลล์ จากเซลล์เคมีไฟฟ้าที่กำหนดให้ต่อไปนี้

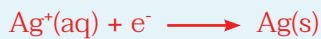
2.1



ครึ่งเซลล์ที่มีโลหะเหล็ก (Fe) เป็นขั้วไฟฟ้า เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังสมการ



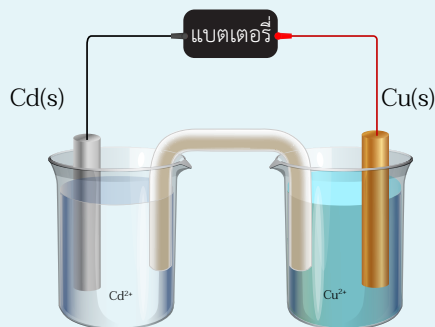
ครึ่งเซลล์ที่มีโลหะเงิน (Ag) เป็นขั้วไฟฟ้า เกิดปฏิกิริยารีดักชันดังสมการ



ปฏิกิริยารวมของเซลล์ เขียนแสดงได้ดังนี้



2.2



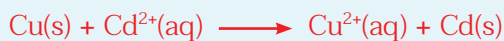
ครึ่งเซลล์ที่มีโลหะทองแดง (Cu) เป็นขั้วไฟฟ้า เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังสมการ



ครึ่งเซลล์ที่มีโลหะแคดเมียม (Cd) เป็นขั้วไฟฟ้า เกิดปฏิกิริยารีดักชันดังสมการ



ปฏิกิริยารวมของเซลล์ เขียนแสดงได้ดังนี้

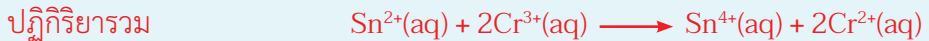
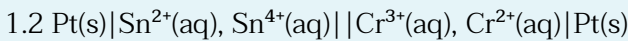
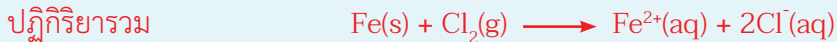




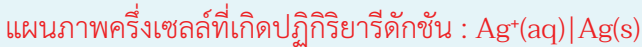
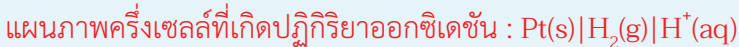
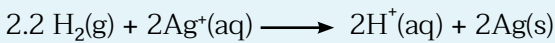
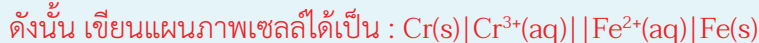
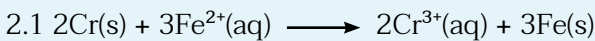


## แบบฝึกหัด 11.4

1. จากแผนภาพเซลล์กัลวานิกที่กำหนดให้ จงเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนด แคโทด และปฏิกิริยารวมของเซลล์



2. เขียนแผนภาพเซลล์จากปฏิกิริยาที่กำหนดให้ต่อไปนี้



### 11.3.3 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

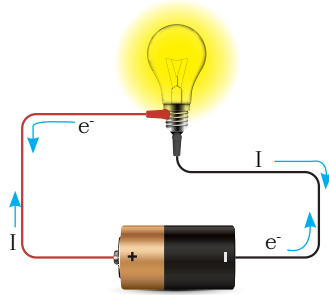
1. ทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์
2. เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์โดยพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน
3. ระบุขั้วไฟฟ้า และเขียนปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยารีดอกซ์
4. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน   | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|---|--|
| <p>มีการปรับเปลี่ยนเครื่องหมายของค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันสำหรับ <math>E^0_{\text{anode}}</math> ในการคำนวณโดยใช้สมการ</p> $E^0_{\text{cell}} = E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}}$ <p>เนื่องจากปฏิกิริยาที่แอโนดเป็นออกซิเดชัน เช่น <math>\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})</math> <math>E^0 = 0.34 \text{ V}</math><br/> <math>\text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-</math> <math>E^0 = -0.34 \text{ V}</math></p> | <p>ถึงแม้ว่า <math>E^0</math> ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะมีเครื่องหมายตรงข้ามกับ <math>E^0</math> ของปฏิกิริยารีดักชัน แต่การคำนวณโดยใช้สมการ</p> $E^0_{\text{cell}} = E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}}$ <p>ค่า <math>E^0_{\text{cathode}}</math> และ <math>E^0_{\text{anode}}</math> เป็นค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันเสมอ โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนเครื่องหมาย</p> |
| <p>เมื่อมีการคูณเลขสัมประสิทธิ์ของสมการของครึ่งเซลล์ จะต้องมีการคูณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์นั้นด้วยเช่น</p> $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 0.34 \text{ V}$ $3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 1.02 \text{ V}$  | <p>เมื่อมีการคูณเลขสัมประสิทธิ์ของสมการของครึ่งเซลล์ จะไม่มีการคูณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์นั้น แต่จะใช้ค่าเดิม เช่น</p> $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 0.34 \text{ V}$ $3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 0.34 \text{ V}$   |

**แนวการจัดการเรียนรู้**

1. ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยครูอาจวาดรูปวงจไฟฟ้าประกอบการอธิบาย



จากนั้นให้นักเรียนระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้าในเซลล์กัลวานิก  $Zn(s)|Zn^{2+}(aq)||Cu^{2+}(aq)|Cu(s)$  และใช้คำถามว่า ขั้วใดมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า ซึ่งควรได้คำตอบว่า ขั้วโลหะทองแดงมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า

2. ครูอธิบายความหมายของศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ จากนั้นใช้คำถามว่า ค่าความต่างศักย์หรือศักย์ไฟฟ้าของเซลล์วัดได้อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 11.3

3. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.3 การทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



**กิจกรรม 11.3 การทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า**

**จุดประสงค์การทดลอง**

1. ทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก
2. ระบุครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจากทิศทางการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

|                   |                       |           |             |
|-------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| <b>เวลาที่ใช้</b> | อภิปรายก่อนทำการทดลอง | 5         | นาที        |
|                   | ทำการทดลอง            | 15        | นาที        |
|                   | อภิปรายหลังทำการทดลอง | 20        | นาที        |
|                   | <b>รวม</b>            | <b>40</b> | <b>นาที</b> |

## วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ  | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|---|----------------|
| <b>สารเคมี</b>  |                |
| 1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 1.0 mol/L                                     | 20 mL          |
| 2. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 1.0 mol/L  | 20 mL          |
| 3. สารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ )   | 5 mL           |
| 4. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn) ขนาด 1.5 cm × 5 cm  | 1 แผ่น         |
| 5. แผ่นโลหะทองแดง (Cu) ขนาด 1.5 cm × 5 cm   | 1 แผ่น         |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>  |                |
| 1. มิเตอร์ความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าชนิดที่มีเลขศูนย์อยู่ตรงกลาง (ไมโครแอมมิเตอร์-โวลต์มิเตอร์)* | 1 เครื่อง      |
| 2. ปีกเกอร์ ขนาด 50 mL  | 2 ใบ           |
| 3. กระจกตวง ขนาด 10 mL  | 2 อัน          |
| 4. กระดาษกรอง ขนาด 1.0 cm × 10 cm   | 1 แผ่น         |
| 5. กระดาษทราย ขนาด 3 cm × 3 cm  | 2 แผ่น         |
| 6. กระดาษเยื่อ  | 2 แผ่น         |

**\*หมายเหตุ**

มิเตอร์ (ไมโครแอมมิเตอร์ – โวลต์มิเตอร์) ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบมีขีดศูนย์อยู่ตรงกลาง และสร้างให้เข็มมิเตอร์เบนไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

**การเตรียมล่วงหน้า**

1. ตัดแผ่นโลหะ Zn และ โลหะ Cu ขนาด 1.5 cm × 5 cm อย่างละ 1 ชิ้น ต่อ 1 กลุ่ม
2. เตรียม  $\text{CuSO}_4$  1.0 mol/L ปริมาตร 300 mL โดยชั่ง  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  74.88 g ละลายใน น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 300 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของ นักเรียนประมาณ 15 กลุ่ม)
3. เตรียม  $\text{ZnSO}_4$  1.0 mol/L ปริมาตร 300 mL โดยชั่ง  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  53.84 g ละลายใน น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 300 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของ นักเรียนประมาณ 15 กลุ่ม)
4. เตรียมสารละลาย  $\text{KNO}_3$  อิมตัวปริมาตร 75 mL โดยชั่ง  $\text{KNO}_3$  ประมาณ 30 g เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 75 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียน ประมาณ 15 กลุ่ม)

### ตัวอย่างผลการทดลอง

เข็มของมิเตอร์เบนเข้าหาขั้วโลหะทองแดง และค่าตัวเลขที่วัดได้ตามผลการทดลองจริง

### หมายเหตุ

ที่สภาวะมาตรฐาน ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์  $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})||\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}$  คือ 1.10 โวลต์ อย่างไรก็ตามค่าที่วัดได้จากการทดลองของนักเรียนอาจมีค่าเบี่ยงเบนไปจากนี้เล็กน้อยเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความบริสุทธิ์ของสารและขั้วโลหะที่ใช้ ความแม่นยำของเครื่องมือวัดค่าศักย์ไฟฟ้า อุณหภูมิที่ทำการทดลอง

### อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ  $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$  ซึ่งเป็นแอโนด และครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันคือ  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}$  ซึ่งเป็นแคโทด เมื่อต่อครึ่งเซลล์ทั้งสองให้ครบวงจร ได้เซลล์กัลวานิก  $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})||\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}$  ซึ่งมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วโลหะ Zn ในฝั่งแอโนดไปยังขั้วโลหะ Cu ในฝั่งแคโทด และมีกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่จากแคโทดไปยังแอโนด ซึ่งเข็มของมิเตอร์เบนเข้าหาขั้วโลหะ Cu แสดงว่าเข็มของโวลต์มิเตอร์เบนไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ขั้วโลหะ Cu มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้วโลหะ Zn ตามค่าที่วัดได้ (ซึ่งตามทฤษฎีเมื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่สภาวะมาตรฐานจะได้ค่าศักย์ไฟฟ้า 1.10 โวลต์)

### สรุปผลการทดลอง

เมื่อต่อครึ่งเซลล์  $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$  กับครึ่งเซลล์  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}$  ให้ครบวงจร อิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่จากขั้วโลหะ Zn ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปยังขั้วโลหะ Cu ซึ่งเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่วัดได้จะเป็นค่าที่บอกว่าครึ่งเซลล์  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}$  มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า  $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$  อยู่เท่าใด

4. ครูให้ความรู้เพิ่มเติมโดยใช้รูป 11.3 เพื่ออธิบายว่า ถ้าเปลี่ยนชนิดของโวลต์มิเตอร์เป็นแบบดิจิตอลและต่อขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าเข้ากับขั้วบวกและต่อขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเข้ากับขั้วลบของโวลต์มิเตอร์ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นบวก แต่ถ้าต่อสลับขั้วค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นลบ

5. ครูใช้คำถามว่า จากกิจกรรม 11.3 นักเรียนสามารถวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของแต่ละครึ่งเซลล์ ได้โดยตรงหรือไม่ เพราะเหตุใด ซึ่งควรได้คำตอบว่า ไม่ได้ เพราะค่าที่วัดได้เป็นค่าความต่างศักย์ระหว่าง 2 ครึ่งเซลล์หรือเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ จากนั้นครูอธิบายเกี่ยวกับการกำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าของแต่ละครึ่งเซลล์โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง และอธิบายองค์ประกอบของครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน โดยใช้รูป 11.4 ประกอบ

6. ครูอธิบายการต่อครึ่งเซลล์ในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของครึ่งเซลล์ทองแดง และสังกะสี โดยใช้รูป 11.5 ประกอบ จากนั้นใช้คำถามว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้มีเครื่องหมายเป็นบวกหรือลบมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาในแต่ละครึ่งเซลล์อย่างไร ซึ่งควรได้คำตอบว่า ถ้ามีเครื่องหมายเป็นบวกแสดงว่าครึ่งเซลล์ที่สนใจเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และถ้ามีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าครึ่งเซลล์ที่สนใจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

7. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

จากรูป 11.5 (ข) หากต้องการให้ศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากการต่อครึ่งเซลล์สังกะสีมาตรฐาน กับ SHE มีค่าเป็นบวก ควรต่อโวลต์มิเตอร์อย่างไร

หากต้องการให้ศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากการต่อครึ่งเซลล์สังกะสีมาตรฐานกับ SHE มีค่าเป็นบวก ควรต่อ Zn กับขั้วลบและ SHE กับขั้วบวกของโวลต์มิเตอร์ ตามลำดับ

8. ครูให้นักเรียนพิจารณาตาราง 11.3 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์หรือตัวรีดิวซ์ โดยครูให้ข้อสังเกตว่า สารบางชนิดอาจมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันได้มากกว่า 1 ค่า ขึ้นกับภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีจากนั้นยกตัวอย่างค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันของ  $O_2$  ซึ่งมี 3 ค่า ดังนี้

|  |         |
|--|---------|
| 1. $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$   | +1.23 V |
| 2. $O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2O_2(aq)$ | +0.68 V |
| 3. $O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$  | +0.40 V |

ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า เมื่อพิจารณาสมการเคมี 1. และ 2. พบว่า เกิดในภาวะที่เป็นกรดเหมือนกัน แต่เลขออกซิเดชันของออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาสมการเคมี 1. และ 3. พบว่า เลขออกซิเดชันของออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงเท่ากันแต่เกิดในภาวะต่างกัน โดยสมการ 1. เกิดในภาวะที่เป็นกรด ส่วนสมการ 3. เกิดในภาวะที่เป็นกลาง ดังนั้นภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีจึงมีผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันแตกต่างกัน

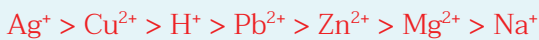
9. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

พิจารณาตาราง 11.3 และตอบคำถามต่อไปนี้

- ลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์จากมากไปน้อยของ  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Ag}^+$  เป็นอย่างไร



- ลำดับความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์จากมากไปน้อยของ Sn, Na, Au, Mg และ Zn เป็นอย่างไร



10. ครูให้ความรู้จากข้อมูลในตาราง 11.3 ถ้าเปลี่ยนปฏิกิริยาของครึ่งเซลล์รีดักชันให้เป็นปฏิกิริยาของครึ่งเซลล์ออกซิเดชัน ค่าศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยานั้นจะมีค่าเป็นตัวเลขที่เท่าเดิมแต่มีเครื่องหมายตรงกันข้าม

11. ครูอธิบายวิธีการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ โดยใช้ตัวอย่าง 12–15 ซึ่งตัวอย่าง 12 และ 13 เป็นการแทนค่าในสูตร ตัวอย่าง 14 เป็นการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าจากสมการรีดอกซ์ และตัวอย่าง 15 เป็นการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับเลขสัมประสิทธิ์

12. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 11.5 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความหมายและการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์และค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า จากการอภิปราย รายงานการทดลอง การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ

2. ทักษะการสังเกตและการทดลอง จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลองและรายงานการทดลอง

3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด

4. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง

5. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย

6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการใช้วิจารณญาณและความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย

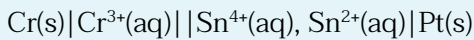
7. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง



## แบบฝึกหัด 11.5

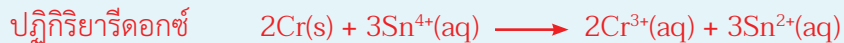
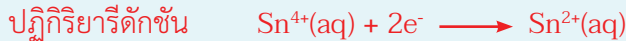
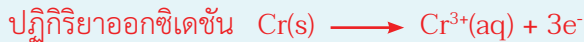
ตอบคำถามต่อไปนี้โดยกำหนดให้การคำนวณใช้ค่า  $E^0$  จากตาราง 11.3

## 1. กำหนดแผนภาพเซลล์ให้ดังนี้



1.1 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยารีดอกซ์

จากแผนภาพแสดงว่าครึ่งเซลล์  $\text{Cr(s)}|\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$  เป็นแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งเซลล์  $\text{Pt(s)}|\text{Sn}^{4+}(\text{aq}), \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  เป็นแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ดังนั้น จึงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้



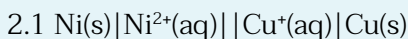
## 1.2 คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์

ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์จากตาราง 11.3

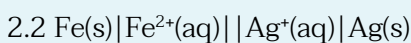


$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.13 - (-0.74) \\ &= 0.87 \text{ V} \end{aligned}$$

## 2. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ต่อไปนี้



$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.52 - (-0.25) \\ &= 0.77 \text{ V} \end{aligned}$$



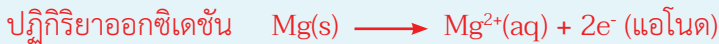
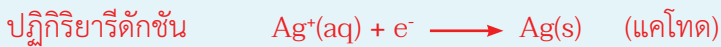
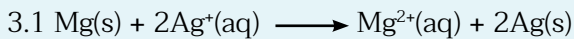
$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.80 - (-0.44) \\ &= 1.24 \text{ V} \end{aligned}$$



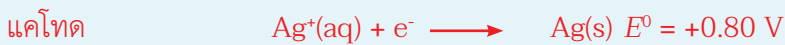


$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.77 - (-2.37) \\ &= 3.14 \text{ V} \end{aligned}$$

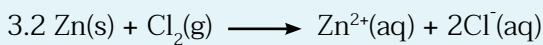
3. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์จากปฏิกิริยาต่อไปนี้



หาค่า  $E^0$



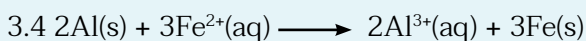
$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.80 - (-2.37) \\ &= 3.17 \text{ V} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 1.36 - (-0.76) \\ &= 2.12 \text{ V} \end{aligned}$$



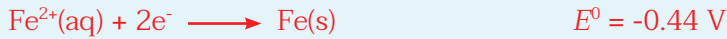
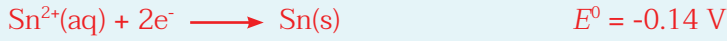
$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.77 - 0.13 \\ &= 0.64 \text{ V} \end{aligned}$$



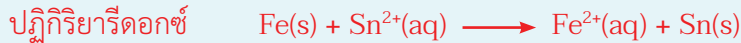
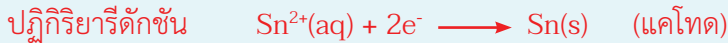
$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= -0.44 - (-1.66) \\ &= 1.22 \text{ V} \end{aligned}$$

4. ภาวะที่ทำด้วยเหล็กเหมาะสมที่จะใช้บรรจุสารละลายทิน(II)คลอไรด์ ( $\text{SnCl}_2$ ) หรือไม่ เพราะเหตุใด

จากตาราง 11.3



จากค่า  $E^0$  แสดงว่า  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  กล่าวคือ  $\text{Fe}(\text{s})$  เสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า  $\text{Sn}(\text{s})$  ดังนั้นจึงไม่ควรบรรจุสารละลาย  $\text{SnCl}_2$  ในภาชนะที่ทำด้วยเหล็ก เพราะว่า  $\text{Fe}(\text{s})$  จะเสียอิเล็กตรอนให้แก่  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  ทำให้ภาชนะเกิดการผุกร่อน ดังปฏิกิริยา



## 11.4. ประโยชน์ของเซลล์เคมีไฟฟ้า

### 11.4.1 แบตเตอรี่

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ
2. อธิบายหลักการทำงานและเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน   | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|---|--|
| แบตเตอรี่เกี่ยวข้องกับเซลล์กัลวานิกเท่านั้น เนื่องจากเป็นแหล่งให้พลังงานไฟฟ้า | แบตเตอรี่เกี่ยวข้องกับทั้งเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก โดยในการประจุใหม่ในแบตเตอรี่ประเภทเซลล์ทุติยภูมิจะใช้หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติก |
| ถ่านไฟฉายไม่ใช่แบตเตอรี่  | ถ่านไฟฉายเป็นแบตเตอรี่ชนิดหนึ่ง  |

#### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูใช้คำถามว่า นักเรียนเคยเห็นวัสดุหรืออุปกรณ์ที่ใช้หลักการของเซลล์เคมีไฟฟ้าอะไรบ้างในชีวิตประจำวัน ซึ่งอาจได้คำตอบว่า แบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย
2. ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างแบตเตอรี่ที่รู้จักพร้อมยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของแบตเตอรี่นั้น จากนั้นครูใช้คำถามนำว่า แบตเตอรี่ดังกล่าวใช้หลักการของเซลล์เคมีไฟฟ้าประเภทใด เพื่อนำไปสู่การอธิบายหลักการทำงานของแบตเตอรี่
3. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับประเภทและความแตกต่างของแบตเตอรี่ประเภทเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
4. ครูอธิบายหลักการทำงานของแบตเตอรี่ซิงค์-คาร์บอน แบตเตอรี่แอลคาไลน์ แบตเตอรี่ซิลเวอร์ออกไซด์ และแบตเตอรี่ตะกั่ว โดยใช้รูป 11.6–11.8 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แบตเตอรี่ประเภทปฐมภูมิ เมื่อเก็บไว้นาน ๆ แม้จะไม่ได้ใช้ก็เสื่อมสภาพได้เนื่องจากการสูญเสียประจุไฟฟ้าไปตามกาลเวลา ดังนั้นการเลือกซื้อแบตเตอรี่ประเภทนี้จึงควรสังเกตวันหมดอายุ

5. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

การประจุของแบตเตอรี่ทุติยภูมิ ใช้หลักการของเซลล์กัลวานิกหรืออิเล็กโทรลิติก เพราะเหตุใด

ใช้หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติกเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีไม่สามารถเกิดขึ้นได้เองต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี

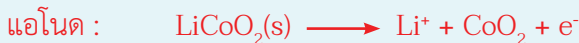
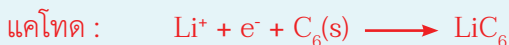
6. ครูอธิบายหลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 11.9 ประกอบ

7. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการจ่ายไฟของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน จงเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แอโนด แคโทด และปฏิกิริยารวมระหว่างการประจุ



2. ระหว่างการจ่ายไฟของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ธาตุใดมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นและธาตุใดมีเลขออกซิเดชันลดลง

ธาตุคาร์บอนมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (จาก 0 เป็น  $-\frac{1}{6}$ ) ส่วนธาตุโคบอลต์มีเลขออกซิเดชันลดลง (จาก +4 เป็น +3)

8. ครูอธิบายความหมายของเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ และเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยใช้รูป 11.10 และ 11.11 ประกอบการอธิบาย
9. ครูให้นักเรียนเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ และเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยประเด็นที่เปรียบเทียบ เช่น ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น การนำไปใช้งาน ความปลอดภัย
10. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 11.6 เพื่อทบทวนความรู้

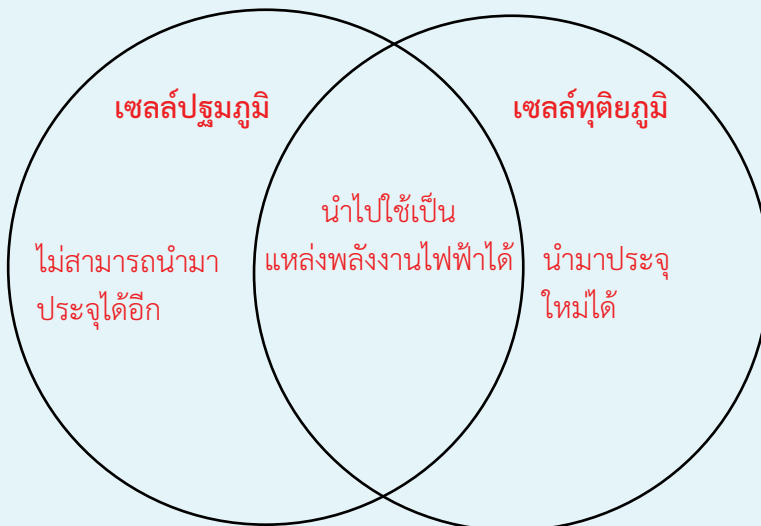
### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับหลักการงานและการเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ จากการอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการอภิปราย



#### แบบฝึกหัด 11.6

1. จงเขียนแผนผังเวนน์เปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างเซลล์ปฐมภูมิกับเซลล์ทุติยภูมิ



2. เพราะเหตุใดเมื่อใช้แบตเตอรี่ตะกั่วไปนาน ๆ จึงไม่สามารถประจุได้อีก เพราะ  $\text{PbSO}_4$  ที่เกิดขึ้นจากการจ่ายไฟบางส่วนไม่เกาะหรือหลุดออกจากขั้วไฟฟ้าทำให้แผ่นตะกั่วกร่อนจนไม่สามารถประจุได้อีก

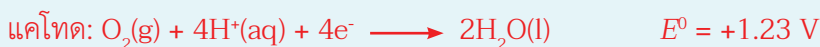
3. เปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ และแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์



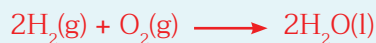
$$E^0_{\text{cell}} = 0.40 - (-0.83) = 1.23 \text{ V}$$

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน



$$E^0_{\text{cell}} = 1.23 - 0.00 = 1.23 \text{ V}$$

เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ และเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เท่ากัน สอดคล้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์รวมซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีเดียวกัน



## 11.4.2 การกัดกร่อนของโลหะและการป้องกัน

### 11.4.3 การชุบโลหะ

### 11.4.4 การแยกสลายด้วยไฟฟ้า

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสาเหตุหรือภาวะที่ทำให้โลหะเกิดการผุกร่อนจากสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องและวิธีการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ
2. ทดลองและอธิบายหลักการชุบโลหะโดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก
3. ทดลองและอธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า
4. อธิบายหลักการทำให้โลหะให้บริสุทธิ์

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน  | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|--|--|
| กระบวนการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมเกิดขึ้นกับเครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบเท่านั้น | กระบวนการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมเกิดขึ้นกับเครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างที่มีโลหะชนิดอื่นได้ด้วย เช่น เหล็ก ลังกะสี ทองแดง |
| สนิมมีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลแดงเท่านั้น   | สนิมอาจมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ เช่น สนิมของทองแดงมีสีเขียว  |

#### สื่อการเรียนรู้และแหล่งเรียนรู้

รูปเครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างใหม่ ๆ ที่ยังไม่เป็นสนิม และภาพเดียวกันที่เป็นสนิม

#### แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูนำรูปเครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างใหม่ ๆ ที่ยังไม่เป็นสนิม และภาพเดียวกันที่เป็นสนิม ให้นักเรียนสังเกตและอธิบายความแตกต่างของรูปทั้งสองพร้อมบอกสาเหตุที่ทำให้ภาพทั้งสองมีความแตกต่างกัน เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า เครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างที่ทำด้วยโลหะหรือมีโลหะเป็นส่วนประกอบ เมื่อใช้งานระยะเวลาหนึ่งมักพบปัญหาคือเกิดการผุกร่อนหรือเกิดสนิม

2. ครูให้ความรู้ว่าการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยโลหะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและแก๊สออกซิเจนเกิดปฏิกิริยารีดักชัน จากนั้นยกตัวอย่างการเกิดสนิมเหล็กโดยเขียนสมการและใช้รูป 11.12 ประกอบการอธิบาย

3. ครูอธิบายการเกิดสนิมเหล็กในธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พร้อมเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

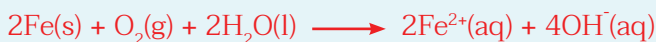


### ตรวจสอบความเข้าใจ

คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ให้  $\text{Fe}^{2+}$  ในกระบวนการเกิดสนิมเหล็ก โดยใช้ข้อมูลในตาราง 11.3

1. ในภาวะที่เป็นกลาง

ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ให้  $\text{Fe}^{2+}$  ในกระบวนการเกิดสนิมเหล็กในภาวะที่เป็นกลางเป็นดังสมการเคมี

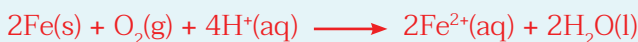


คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E_{\text{cell}}^0 &= E_{\text{cathode}}^0 - E_{\text{anode}}^0 \\ &= 0.40 - (-0.44) \\ &= 0.84 \text{ V} \end{aligned}$$

2. ในภาวะที่เป็นกรด

ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ให้  $\text{Fe}^{2+}$  ในกระบวนการเกิดสนิมเหล็กในภาวะที่เป็นกรดเป็นดังสมการเคมี



คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E_{\text{cell}}^0 &= E_{\text{cathode}}^0 - E_{\text{anode}}^0 \\ &= 1.23 - (-0.44) \\ &= 1.67 \text{ V} \end{aligned}$$

3. การเกิดสนิมเหล็กในสภาวะใดเกิดได้ง่ายกว่ากัน เพราะเหตุใด

ค่า  $E_{\text{cell}}^0$  ปฏิกิริยาการเกิดสนิมในสภาวะกรดมีค่าเท่ากับ 1.67 V ซึ่งมากกว่าค่า  $E_{\text{cell}}^0$  สภาวะที่เป็นกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.84 V ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสนิมในสภาวะกรดเกิดได้ง่ายกว่าที่สภาวะที่เป็นกลาง



4. ครูให้นักเรียนอภิปรายว่าถ้านำเครื่องมือที่มีเหล็กหรือโลหะบางชนิดเป็นส่วนประกอบไปวางเก็บไว้ที่โกดังริมทะเล เครื่องมือดังกล่าวจะมีโอกาสเกิดสนิมได้ช้าหรือเร็วกว่าการเก็บเครื่องมือไว้ในบ้านเรือนปกติ เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าการเกิดสนิมอาจเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อเหล็กสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ เช่น  $\text{NaCl}$   $\text{MgCl}_2$  ดังนั้นโลหะที่อยู่บริเวณชายทะเลจึงเกิดสนิมได้เร็ว

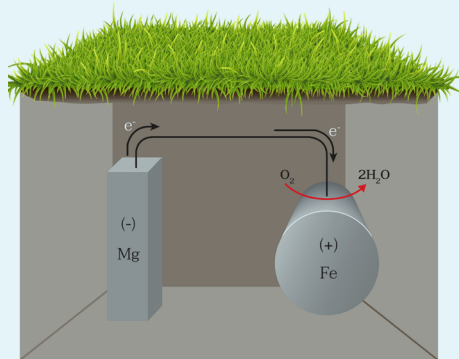
5. ครูให้นักเรียนอภิปรายวิธีการป้องกันการเกิดสนิมของโลหะ จากนั้นให้นักเรียนเปรียบเทียบคำตอบของนักเรียนกับเนื้อหาในหนังสือเรียน

6. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

การป้องกันการเกิดสนิมของท่อเหล็กที่ฝังไว้ใต้ดินโดยใช้โลหะแมกนีเซียม ดังรูป



จงเขียนปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น



7. ครูทบทวนความรู้ว่า การป้องกันการเกิดสนิมเหล็กทำได้หลายวิธีซึ่งการชุบโลหะก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง จากนั้นครูใช้คำถามนำว่า การชุบโลหะต้องใช้หลักการของเซลล์กัลวานิก หรือเซลล์อิเล็กโทรลิติก และในการชุบโลหะเราควรนำโลหะที่ต้องการชุบไว้ที่ขั้วใดของเซลล์เคมีไฟฟ้า เพราะเหตุใด เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 11.4 การทดลองชุบเหล็กด้วยสังกะสี

8. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.4 การทดลองชุบเหล็กด้วยสังกะสี แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 11.4 การทดลองชุบเหล็กด้วยสังกะสี

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองชุบเหล็กด้วยสังกะสีโดยใช้หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติก
2. อธิบายหลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

|            |                       |    |      |
|------------|-----------------------|----|------|
| เวลาที่ใช้ | อภิปรายก่อนทำการทดลอง | 5  | นาที |
|            | ทำการทดลอง            | 10 | นาที |
|            | อภิปรายหลังทำการทดลอง | 15 | นาที |
|            | รวม                   | 30 | นาที |

#### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ   | ปริมาณต่อกลุ่ม      |
|--|---------------------|
| <b>สารเคมี</b>                                 |                     |
| 1. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $ZnSO_4$ ) 0.10 mol/L | 20 mL               |
| 2. ตะปูหรือวัสดุที่ทำจากเหล็กยาว 2.5 cm        | 1 ชิ้น              |
| 3. แผ่นสังกะสีขนาด 1 cm × 2.5 cm               | 1 ชิ้น              |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>                         |                     |
| 1. กระดาษทราย ขนาด 3 cm × 3 cm                 | 1 แผ่น              |
| 2. บีกเกอร์ ขนาด 50 mL                         | 1 ใบ                |
| 3. แบตเตอรี่ขนาด 1.5 V                         | 1 ชุด               |
| 4. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีดำ)          | 1 เส้น              |
| 5. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีแดง)         | 1 เส้น              |
| 6. กระจกนาฬิกา                                 | 1 อัน               |
| 7. เทปใส                                       | 1 ม้วน (ใช้ร่วมกัน) |
| 8. กระดาษเยื่อ                                 | 2 แผ่น              |

### การเตรียมล่วงหน้า

1. ตัดแผ่น Zn ขนาด 1 cm × 2.5 cm จำนวน 1 ชิ้น ต่อ 1 กลุ่ม
2. เตรียม  $\text{ZnSO}_4$  0.1 mol/L ปริมาตร 300 mL โดยชั่ง  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  5.39 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 300 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 15 กลุ่ม)

### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูควรแนะนำนักเรียนว่า ขณะนำตะปูที่ถูกชุบด้วยสังกะสีมาวางบนกระจกนาฬิกา ต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพราะโลหะสังกะสีที่ชุบบนผิวตะปูอาจหลุดออกได้

### ตัวอย่างผลการทดลอง

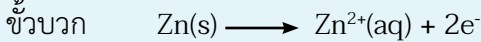
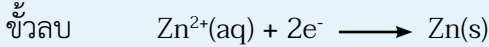
| โลหะ        | ผลการสังเกต   |
|-------------|---|
| แผ่นสังกะสี | แผ่นสังกะสีส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลายกร่อน สังเกตเห็นผิวขรุขระเล็กน้อย   |
| ตะปูเหล็ก   | ขณะที่อยู่ในสารละลายจะเห็นว่า มีของแข็งมาเกาะที่ผิวตะปูเหล็ก เมื่อนำตะปูเหล็กออกมาวางบนกระจกนาฬิกาและตั้งไว้ให้แห้ง พบว่ามีสารสีเทาเงินเกาะที่ตะปูเหล็ก |

### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแผ่นสังกะสีอาจจะไม่ชัดเจน เพื่อให้เห็นการกร่อนของสังกะสีชัดเจนขึ้น ครูอาจทำการทดลองล่วงหน้าเพื่อให้นักเรียนสังเกตผลการทดลองในชั่วโมงเรียนหรือตั้งการทดลองทิ้งไว้เป็นเวลาหลายชั่วโมงแล้วนักเรียนมาสังเกตผลการทดลองในภายหลัง

### อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า มีสารสีเทาของโลหะ Zn เกาะที่ตะปูเหล็กซึ่งต่ออยู่กับขั้วลบ และโลหะสังกะสีซึ่งต่ออยู่กับขั้วบวกมีการผุกร่อน แสดงว่าที่ขั้วลบเกิดปฏิกิริยารีดักชันและที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนี้



ดังนั้นขั้วลบเป็นแคโทดและขั้วบวกเป็นแอโนด แสดงว่าโลหะที่ต้องการชุบควรต่อกับขั้วลบ ซึ่งเป็นแคโทด และโลหะที่ใช้ชุบควรต่อกับขั้วบวกซึ่งเป็นแอโนด

ในการทดลองนี้ใช้สารละลาย  $\text{ZnSO}_4$  เป็นอิเล็กโทรไลต์ โดยที่แคโทด  $\text{Zn}^{2+}$  ในสารละลายรับอิเล็กตรอนกลายเป็นโลหะ Zn เคลือบบนตะปู ขณะเดียวกันที่แอโนด โลหะ Zn จะให้อิเล็กตรอนกลายเป็น  $\text{Zn}^{2+}$  ทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ไม่เปลี่ยนแปลง

### สรุปผลการทดลอง

ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าทำได้โดยต่อโลหะที่ต้องการชุบกับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นแคโทด และต่อโลหะที่ใช้ชุบกับขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นแอโนด และมีสารละลายที่มีไอออนของโลหะที่ใช้ชุบเป็นอิเล็กโทรไลต์

## 9. ครูสรุปหลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ของโลหะเพียงชนิดเดียว เมื่อรวมปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจะเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าจึงไม่ขึ้นกับศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะที่ใช้ชุบ

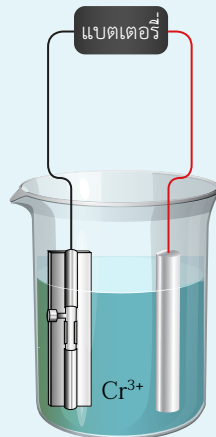
## 10. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ถ้าใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแทนไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถชุบโลหะได้หรือไม่ เพราะเหตุใด  
ไม่ได้ เพราะการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับทำให้ขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับวัตถุที่ต้องการชุบสลับไปมา  
ระหว่างแคโทดกับแอโนด จึงเกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันบนวัตถุดังกล่าว
2. ถ้าต้องการชุบกลอนประตูเหล็กด้วยโครเมียมจะทำได้อย่างไร อธิบายพร้อมวาดรูป  
ประกอบคำอธิบาย

ต่อกลอนประตูเหล็กกับขั้วลบ (แคโทด) ของแบตเตอรี่ และต่อแผ่นโลหะโครเมียม  
กับขั้วบวก (แอโนด) ของแบตเตอรี่ ใช้สารละลายที่มี  $\text{Cr}^{3+}$  เป็นอิเล็กโทรไลต์



11. ครูให้ความรู้ว่าการชุบโลหะเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากหลักการของเซลล์  
อิเล็กโทรลิติกแล้วเชื่อมโยงเข้าสู่การนำหลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติกมาใช้ในกระบวนการแยกสลาย  
ด้วยไฟฟ้า จากนั้นอธิบายการแยกสลายโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า และเขียนสมการ  
ประกอบการอธิบายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

12. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ชั่วไฟฟ้าใดเกิดโลหะโซเดียมและชั่วไฟฟ้าใดเกิดแก๊สคลอรีน  
เนื่องจากเป็นเซลล์อิเล็กโทรลิติก ดังนั้น ชั่วบวกจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้แก๊สคลอรีน ส่วนขั้วลบจึงเกิดปฏิกิริยารีดักชันให้โลหะโซเดียม
2. การผลิตโลหะโซเดียมและแก๊สคลอรีน จากโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลว ต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่าเท่าใด  
4.07 โวลต์

13. ครูใช้คำถามว่าถ้าทำการแยกสลาย KI หลอมเหลวด้วยไฟฟ้าจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารใด ซึ่งควรได้คำตอบว่า ได้  $I_2$  และโลหะ K จากนั้นครูใช้คำถามนำว่า หากทำการแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้าจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารใด และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเหมือนหรือต่างกัน อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 11.5

14. ครูให้นักเรียนตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการทดลองโดยตัวอย่างสมมติฐาน เช่น อนุภาคในสารละลาย KI ได้แก่  $K^+$   $I^-$  และ  $H_2O$  มีความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และออกซิไดส์ต่างกัน จึงมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาที่ชั่วไฟฟ้าได้ต่างกัน

15. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.5 การทดลองแยกสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยไฟฟ้า และให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง



### กิจกรรม 11.5 การทดลองแยกสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยไฟฟ้า

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองแยกสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติก
2. ระบุแอโนดและแคโทด
3. เขียนสมการรีดอกซ์แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นและคำนวณศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

| เวลาที่ใช้ | อธิบายก่อนทำการทดลอง | 5         | นาที        |
|------------|----------------------|-----------|-------------|
|            | ทำการทดลอง           | 15        | นาที        |
|            | อธิบายหลังทำการทดลอง | 20        | นาที        |
|            | <b>รวม</b>           | <b>40</b> | <b>นาที</b> |

#### วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

| รายการ                                       | ปริมาณต่อกลุ่ม  |
|--|-----------------|
| <b>สารเคมี</b>                               |                 |
| 1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 1.0 mol/L | 1.0 mL (20 หยด) |
| 2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน                      | 3 หยด           |
| <b>วัสดุและอุปกรณ์</b>                       |                 |
| 1. แบตเตอรี่ ขนาด 9 V                        | 1 ก้อน          |
| 2. เข็มหมุด                                  | 2 อัน           |
| 3. กระจกนาฬิกาหรือจานเพาะเชื้อ               | 1 อัน           |
| 4. หลอดหยดพร้อมจุกยาง                        | 2 ชุด           |
| 5. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากกระแซ้ (สีแดง)       | 1 เส้น          |
| 6. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากกระแซ้ (สีดำ)        | 1 เส้น          |
| 7. กระดาษสีขาว ขนาด 10 cm × 10 cm            | 1 แผ่น          |

### การเตรียมล่วงหน้า

1. ตัดกระดาษสีขาขนาด  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  จำนวน 1 ชิ้น ต่อ 1 กลุ่ม
2. เตรียม KI 1.0 mol/L ปริมาตร 30 mL โดยชั่ง KI 4.98 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 30 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 30 กลุ่ม)

### ข้อเสนอแนะสำหรับครู

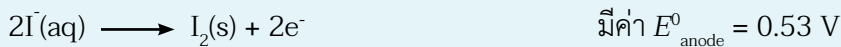
กระดาษสีขาที่แจกให้นักเรียน ใช้สำหรับรองกระจกนาฬิกาหรือจานเพาะเชื้อเพื่อให้นักเรียนสังเกตผลการทดลองได้ชัดเจน

### ตัวอย่างผลการทดลอง

| ขั้วไฟฟ้า          | ผลการสังเกต                           |
|--------------------|---------------------------------------|
| ขั้วบวก<br>(แอโนด) | สารละลายมีสีเหลือง-น้ำตาลเกิดขึ้น     |
| ขั้วลบ<br>(แคโทด)  | มีฟองแก๊สเกิดขึ้น<br>สารละลายมีสีชมพู |

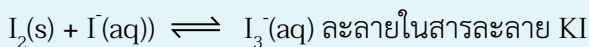
### อภิปรายผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้สารละลาย KI เป็นอิเล็กโทรไลต์ซึ่งประกอบด้วย  $\text{K}^+$   $\text{I}^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  และจากการทดลองพบว่า สารละลายที่บริเวณแอโนดมีสีเหลือง-น้ำตาลซึ่งน่าจะเกิดจากไอโอดีน ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่แอโนดน่าจะเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของ  $\text{I}^-$  ดังนี้



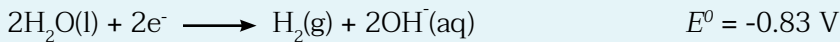
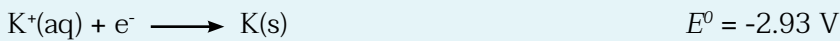
### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

สีน้ำตาลของสารละลายอาจเกิดจาก  $\text{I}_3^-(\text{aq})$  ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา

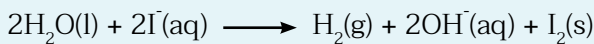




ส่วนที่แคโทดพบว่า มีฟองแก๊สเกิดขึ้น และสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนมีสีชมพู แสดงว่ามีไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของ  $K^+$  และ  $H_2O$  ดังสมการเคมีต่อไปนี้



พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของ  $K^+$  น้อยกว่าของ  $H_2O$  ดังนั้นปฏิกิริยารีดักชันที่แคโทดจึงเป็นปฏิกิริยารีดักชันของ  $H_2O$  ที่ให้ฟองแก๊สไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนเป็นผลิตภัณฑ์ โดยไม่มีปฏิกิริยารีดักชันของ  $K^+$  เกิดขึ้น จึงมีค่า  $E^0_{\text{cathode}} = -0.83 \text{ V}$  ดังนั้นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น คือ

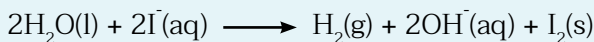


และมีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= (-0.83) - 0.53 \\ &= -1.36 \text{ V} \end{aligned}$$

### สรุปผลการทดลอง

การแยกสลายสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยไฟฟ้าทำให้เกิดไอโอดีนที่แอโนดเกิดแก๊สไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนที่แคโทด โดยมีปฏิกิริยารีดอกซ์ ดังสมการเคมี



ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เท่ากับ  $-1.36 \text{ V}$

15. ครูให้นักเรียนศึกษาการแยกสลายสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ด้วยไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนแล้วนำเสนอข้อมูลดังต่อไปนี้

- องค์ประกอบของสารละลาย  $\text{CuSO}_4$
- ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เป็นไปได้ที่แคโทด และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริง
- ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นไปได้ที่แอโนด และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริง
- ปฏิกิริยารวมของเซลล์
- ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

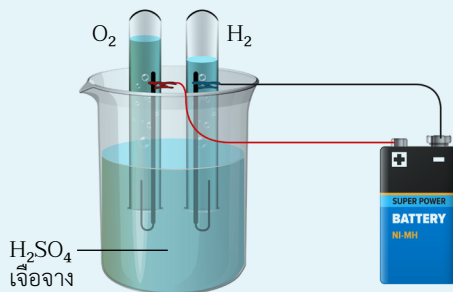
16. ครูสรุปเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างการแยกสลายด้วยไฟฟ้าของสารละลายและสารหลอมเหลวตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

17. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

กระบวนการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้าให้เป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน ดังรูปก็จัดเป็นการแยกสลายด้วยไฟฟ้า



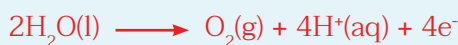
อุปกรณ์การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ของการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า



2. ที่ขั้วบวก น้ำเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้แก๊สออกซิเจน จงเขียนสมการของปฏิกิริยานี้ พร้อมทั้งดุลสมการ



3. ที่ขั้วลบ ไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) เกิดปฏิกิริยารีดักชันได้แก๊สไฮโดรเจน จงเขียนสมการของปฏิกิริยานี้พร้อมทั้งดุลสมการ



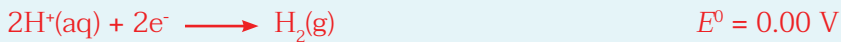
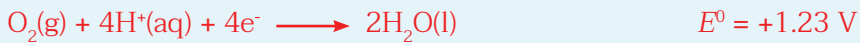
4. ที่แคโทดและแอโนดเกิดแก๊สชนิดใดตามลำดับ

แอโนด เกิด  $O_2(g)$

แคโทด เกิด  $H_2(g)$

5. ถ้าต้องการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าที่ภาวะมาตรฐานต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่าเท่าใด

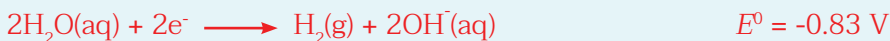
$E^0$  ที่แอโนดและแคโทดเป็นดังนี้



$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.00 - 1.23 \\ &= -1.23 \text{ V} \end{aligned}$$

แสดงว่าต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่า 1.23 โวลต์

6. ถ้าไม่เติมสารละลายกรด จงเขียนสมการปฏิกิริยารีดักชันของการเกิดแก๊สไฮโดรเจน ( $H_2$ ) จากน้ำ ( $H_2O$ )



7. ปฏิกิริยาการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าโดยไม่เติมสารละลายกรด จะเกิดได้ยากหรือง่ายกว่ากรณีที่เติมสารละลายกรด เพราะเหตุใด

กรณีที่ไม่เติมกรด

$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= -0.83 - 1.23 \\ &= -2.06 \text{ V} \end{aligned}$$

กรณีที่ไม่เติมกรดพบว่าต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่า แสดงว่าปฏิกิริยาการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าโดยไม่เติมสารละลายกรดจะเกิดได้ยากกว่ากรณีที่เติมสารละลายกรด

18. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการทำโลหะให้บริสุทธิ์ โดยยกตัวอย่างการทำทองแดงให้บริสุทธิ์ โดยใช้รูป 11.13 ประกอบ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

19. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



### ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ชิ้นทองแดงที่ไม่บริสุทธิ์เป็นแคโทดหรือแอโนด  
ทองแดงที่ไม่บริสุทธิ์เป็นแอโนด
2. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกและขั้วลบ  
ขั้วลบ (แคโทด) เกิดปฏิกิริยา  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$   
ขั้วบวก (แอโนด) เกิดปฏิกิริยา  $\text{Cu}(\text{s}) \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$   
 $\text{Fe}(\text{s}) \longrightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$   
 $\text{Zn}(\text{s}) \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$
3. เพราะเหตุใดที่แคโทดจึงมีเพียง  $\text{Cu}^{2+}$  เท่านั้นที่รับอิเล็กตรอน ทั้งที่ในสารละลายมี  $\text{Fe}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  อยู่ด้วย  
เพราะค่า  $E^0$  ของ  $\text{Cu}^{2+}$  (+0.34 V) มีค่ามากกว่า  $\text{Fe}^{2+}$  (-0.44 V) และ  $\text{Zn}^{2+}$  (-0.76 V) จึงรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า
4. ที่ภาวะมาตรฐาน ต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่าเท่าใดเพื่อให้ได้โลหะทองแดงที่บริสุทธิ์  
มากกว่า 0 V แต่ควรต่ำกว่า 0.44 V เพื่อป้องกันไม่ให้  $\text{Fe}^{2+}$  รับอิเล็กตรอนและไปเกาะที่โลหะทองแดงบริสุทธิ์

20. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 11.7 เพื่อทบทวนความรู้

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า การชุบโลหะ การทำโลหะให้บริสุทธิ์ และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ จากรายงานการทดลอง การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการสังเกต การตั้งสมมติฐาน และการทดลอง จากรายงานการทดลองและการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
4. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น ความมุ่งมั่นอดทน และความรอบคอบ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการใช้วิจารณญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย

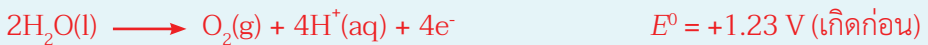


## แบบฝึกหัด 11.7

1. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แอโนด แคโทด และปฏิกิริยารวมของเซลล์ พร้อมคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานที่ต้องใช้ในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า

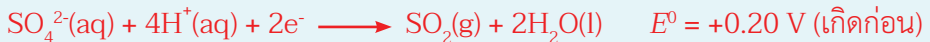
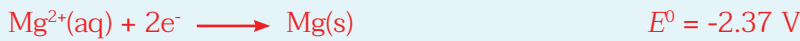
1.1 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 1.0 โมลต่อลิตร

แอโนด ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นไปได้



$\text{Mg}^{2+}$  ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

แคโทด ปฏิกิริยารีดักชันที่เป็นไปได้



ปฏิกิริยารวมของเซลล์

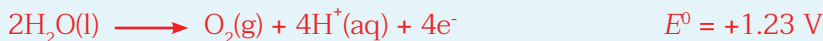
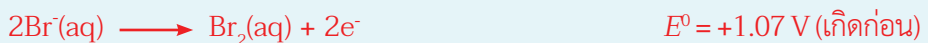


$$E^0_{\text{cell}} = 0.20 - 1.23$$

$$= -1.03 \text{ V}$$

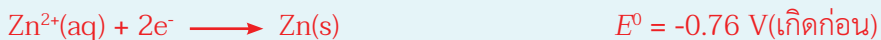
1.2 สารละลายซิงค์โบรไมด์ ( $\text{ZnBr}_2$ ) 1.0 โมลต่อลิตร

แอโนด ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นไปได้



$\text{Zn}^{2+}$  ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

แคโทด ปฏิกิริยารีดักชันที่เป็นไปได้



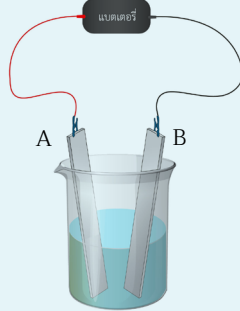
ปฏิกิริยารวมของเซลล์



$$E^0_{\text{cell}} = -0.76 - 1.07$$

$$= -1.83 \text{ V}$$

2. จากรูปการทำโลหะสังกะสีให้บริสุทธิ์ด้วยไฟฟ้า จงตอบคำถามต่อไปนี้



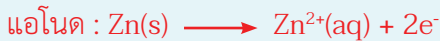
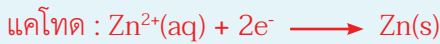
2.1 ขั้วใดเป็นแคโทด เพราะเหตุใด

B เป็นแคโทดเพราะต่อกับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

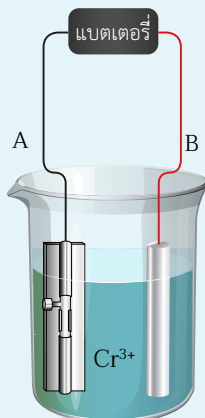
2.2 สารละลายที่ใช้ควรเป็นสารละลายใดได้บ้าง ให้ยกตัวอย่าง 2 ชนิด



2.3 จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่แคโทดและแอโนด



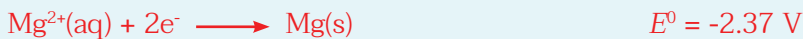
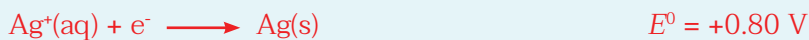
3. จงออกแบบเซลล์อิเล็กโทรลิติกสำหรับการชุบกลอนประตู่เหล็กด้วยโครเมียม โดยการวาดรูปแสดงส่วนประกอบของเซลล์ และเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด



4. ถ้านำแผ่นทองแดงบริสุทธิ์และแผ่นทองแดงที่มีเหล็กผสมวางไว้ในห้องที่มีความชื้นพบว่ามีจุดเล็ก ๆ สีน้ำตาลแดงเกิดขึ้น 4–5 จุด บนแผ่นทองแดงที่มีเหล็กผสม นักเรียนคิดว่าจุดสีน้ำตาลแดงนั้นคืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร

เพราะเหล็กที่ปนอยู่ในเนื้อทองแดง สัมผัสกับน้ำและแก๊สออกซิเจน เกิดเป็นสนิมเหล็ก ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง

5. ถ้าไม่ต้องการให้สัร้อยคอปเงินเกิดสนิม ควรนำโลหะชนิดใดมาพันไว้ เพราะเหตุใด ควรนำโลหะที่มีค่า  $E^0$  ของไอออนโลหะต่ำกว่า  $\text{Ag}^+$  เช่น  $\text{Mg}$  มาพันเกี่ยวสัร้อยคอปเงินไว้ เพื่อให้เงินทำหน้าที่เป็นแคโทด ส่วนโลหะที่นำมาพันเกี่ยวไว้เป็นแอโนดซึ่งมีการให้อิเล็กตรอนกับเงินเกิดขึ้น





## 11.5 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า

### จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

| ความเข้าใจคลาดเคลื่อน               | ความเข้าใจที่ถูกต้อง   |
|-------------------------------------|--|
| อิเล็กโทรไลต์มีสถานะของเหลวเท่านั้น | อิเล็กโทรไลต์มีสถานะอื่นได้ เช่น พอลิเมอร์<br>อิเล็กโทรไลต์เป็นอิเล็กโทรไลต์แข็ง |

### แนวการจัดการเรียนรู้

- ครูทบทวนเกี่ยวกับการนำความรู้เรื่องเซลล์เคมีไฟฟ้า ทั้งเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติกไปใช้ประโยชน์ เช่น สร้างแบตเตอรี่ ชุบโลหะ แยกสลายสารละลายไอออนิก จากนั้นถามคำถามว่า เราจะสามารถนำความรู้เรื่องเซลล์เคมีไฟฟ้ามาสร้างนวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่บทเรียน
- ครูให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า โดยยกตัวอย่างการปรับเปลี่ยนชนิดสารที่เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ชั่วไฟฟ้า และอิเล็กโทรไลต์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
- ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.6 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลนอกเวลาและกลับมานำเสนอข้อมูลการสืบค้นในคาบถัดไป



### กิจกรรม 11.6 สืบค้นข้อมูลเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า

#### จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า

|            |                      |    |      |
|------------|----------------------|----|------|
| เวลาที่ใช้ | อภิปรายก่อนทำกิจกรรม | 5  | นาที |
|            | ทำกิจกรรม            | 40 | นาที |
|            | อภิปรายหลังทำกิจกรรม | 10 | นาที |
|            | รวม                  | 55 | นาที |

## วัสดุและอุปกรณ์

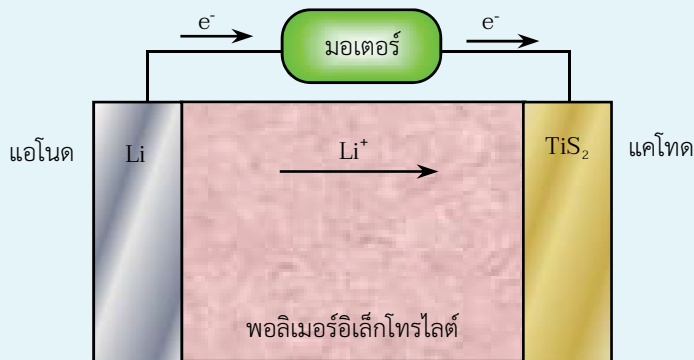
| รายการ            | ปริมาณต่อกลุ่ม |
|-------------------|----------------|
| 1. กระดาษปรู๊ฟ    | 1 แผ่น         |
| 2. ปากกาเขียนป้าย | 2-3 ด้าม       |

## ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

## แบตเตอรี่อิเล็กโทรไลต์ของแข็ง

แบตเตอรี่อิเล็กโทรไลต์ของแข็งเป็นเซลล์สะสมไฟฟ้าที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีลักษณะเป็นของแข็ง เช่น พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้าได้และยอมให้อิออนเคลื่อนที่ผ่านได้ดี

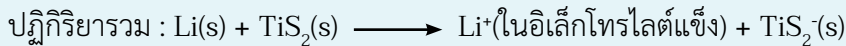
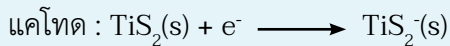
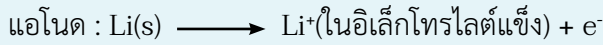
ตัวอย่างแบตเตอรี่อิเล็กโทรไลต์ของแข็ง เช่น แบตเตอรี่ที่ใช้โลหะลิเทียมเป็นแอโนด และไทเทเนียมไดซัลไฟด์เป็นแคโทด โดยมีพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เป็นอิเล็กโทรไลต์ ดังรูป



รูป ส่วนประกอบของแบตเตอรี่อิเล็กโทรไลต์ของแข็งที่ใช้  $\text{TiS}_2$  เป็นแคโทด

โลหะลิเทียมให้อิเล็กตรอนแล้วกลายเป็น  $\text{Li}^+$  ผ่านอิเล็กโทรไลต์แข็งไปยังแคโทดซึ่งมี  $\text{TiS}_2$  ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนเกิดเป็น  $\text{TiS}_2^-$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

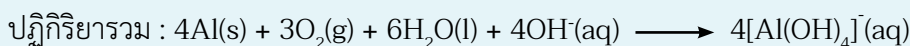
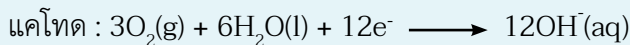
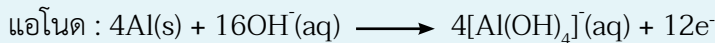


เซลล์ชนิดนี้ให้อิเอ็มเอฟประมาณ 3 โวลต์ และเป็นเซลล์ทุติยภูมิ จึงสามารถประจุได้เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ตะกั่ว ปัจจุบันมีการนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ไปใช้กับรถยนต์ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่น แต่ราคายังแพงเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว

### แบตเตอรี่อากาศ

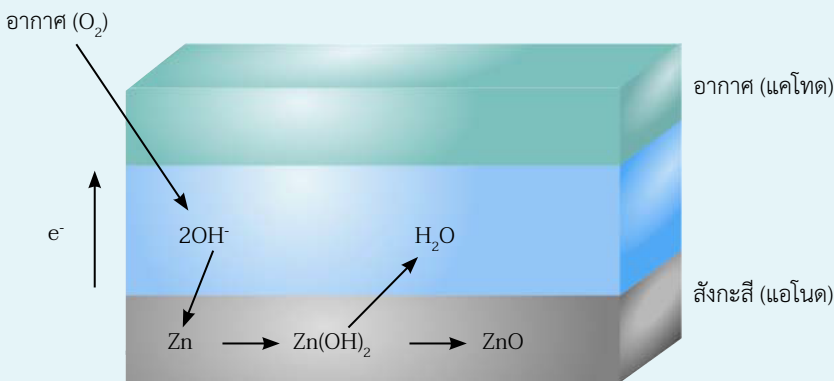
ปัจจุบันนี้ในรถยนต์ไฟฟ้าจะเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ซึ่งเป็นเซลล์ทุติยภูมิ โดยแบตเตอรี่ในปัจจุบันยังคงมีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับพลังงานที่ให้ ทำให้รถยนต์ไฟฟ้ายังมีขีดความสามารถที่จำกัด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบบแบตเตอรี่ให้ได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากหนึ่งหน่วยมวลของวัสดุที่ใช้ทำปฏิกิริยามากขึ้น แบตเตอรี่อากาศเป็นตัวอย่างหนึ่งของพัฒนาการที่ใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดส์ดังกล่าวและใช้โลหะ เช่น สังกะสีหรืออะลูมิเนียมเป็นตัวรีดิวซ์และอาจใช้สารละลาย  $\text{NaOH}$  เข้มข้นเป็นอิเล็กโทรไลต์

สำหรับแบตเตอรี่อะลูมิเนียม-อากาศที่ใช้โลหะอะลูมิเนียมเป็นแอโนด เมื่อต่อเซลล์โลหะอะลูมิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้  $\text{Al}^{3+}$  ซึ่งรวมตัวกับ  $\text{OH}^-$  ในอิเล็กโทรไลต์เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  ส่วนที่แคโทดซึ่งใช้แท่งคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้าแก๊สออกซิเจนเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้  $\text{OH}^-$  ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เป็นดังนี้



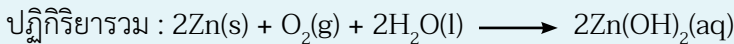
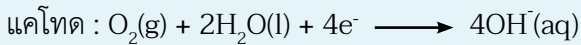
ในขณะที่ใช้งาน  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  ที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่จะเปลี่ยนไปเป็น  $\text{Al}(\text{OH})_3$  เคลือบโลหะอะลูมิเนียม ดังนั้นหลังจากใช้งานในรถยนต์ได้ระยะทางประมาณ 200 กิโลเมตร ต้องมีการกำจัด  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าออกไป

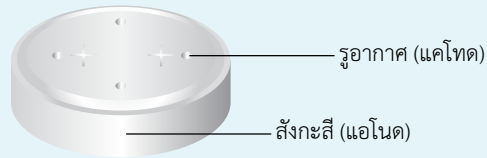
นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ขึ้นใหม่อีกรูปแบบหนึ่งคือแบตเตอรี่สังกะสี-อากาศ ซึ่งมีแผนภาพดังรูป



รูป แบตเตอรี่สังกะสี - อากาศ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เป็นดังนี้





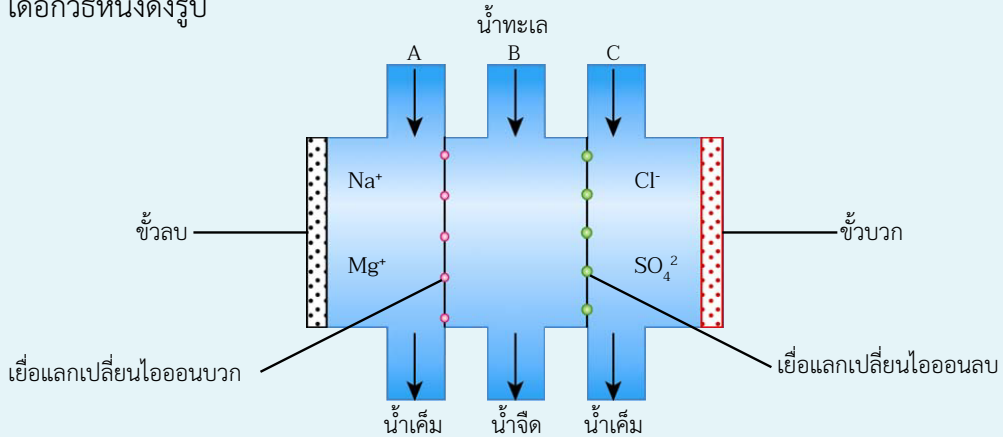
รูป แบตเตอรี่สังกะสี – อากาศ ชนิดเม็ดกระดุม

เมื่อนำแบตเตอรี่ไปประจุ แก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาย้อนกลับจะถูกปล่อยออกจากแบตเตอรี่ ส่วนซิงค์ออกไซด์จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นสังกะสี

แบตเตอรี่สังกะสี-อากาศมีข้อดีคือ มีอายุการเก็บรักษานาน ให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ สำหรับการประยุกต์ใช้งาน นิยมนำมาใช้กับอุปกรณ์ช่วยฟัง

### การทำอิเล็กโทรไลซิสน้ำทะเล

อิเล็กโทรไลซิสเป็นเซลล์อิเล็กโทรลิติกที่แยกไอออนออกจากสารละลาย และให้ไอออนเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งเป็นเยื่อบาง ๆ ไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงกันข้าม สารละลายจึงมีความเข้มข้นของไอออนลดลง หลักการนี้นำไปใช้ผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลได้อีกวิธีหนึ่งดังรูป



รูป การทำอิเล็กโทรไลซิสน้ำทะเล

เมื่อผ่านน้ำทะเลเข้าไปทางช่อง B ไอออนบวกในน้ำทะเล เช่น  $\text{Na}^+$   $\text{Mg}^{2+}$  ที่ผ่านเข้าทางช่อง B จะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนบวกไปยังขั้วลบที่อยู่ทางช่อง A ส่วนไอออนลบ เช่น  $\text{Cl}^-$   $\text{SO}_4^{2-}$  จะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนลบไปยังขั้วบวกซึ่งอยู่ทางช่อง C ดังนั้น น้ำที่ไหลออกทางช่อง B จึงมีไอออนน้อยลง น้ำที่ผ่านออกทางช่อง B จึงเป็นน้ำจืด

4. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาในบทเรียน แล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

### แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า จากรายงานการสืบค้นและการนำเสนอ
2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ และความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากรายงานการสืบค้นและการนำเสนอ
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากรายงานการสืบค้น

แบบฝึกหัด

เฉลยแบบฝึกหัด

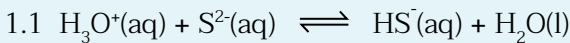


แบบฝึกหัดท้ายบท

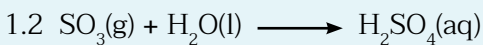
แบบทดสอบ

เฉลยแบบทดสอบ

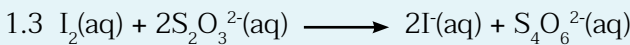
1. ปฏิกิริยาต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์หรือไม่ เพราะเหตุใด



ไม่ใช่ปฏิกิริยารีดอกซ์ เพราะเลขออกซิเดชันของสารไม่เปลี่ยนแปลง



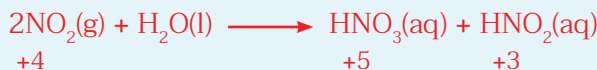
ไม่ใช่ปฏิกิริยารีดอกซ์ เพราะเลขออกซิเดชันของสารไม่เปลี่ยนแปลง



เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เพราะเลขออกซิเดชันของสารเปลี่ยนแปลง ดังนี้



เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เพราะเลขออกซิเดชันของสารเปลี่ยนแปลง ดังนี้



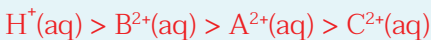
## 2. กำหนดผลการทดลองให้ดังนี้

- ก. จุ่มโลหะ A ลงใน  $\text{HCl(aq)}$  พบว่าโลหะ A กร่อนอย่างรวดเร็วและมี  $\text{H}_2(\text{g})$  เกิดขึ้นมาก
- ข. จุ่มโลหะ B ลงใน  $\text{ASO}_4(\text{aq})$  ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อจุ่มลงใน  $\text{HCl(aq)}$  จะเกิด  $\text{H}_2(\text{g})$
- ค. จุ่มโลหะ C ลงใน  $\text{ASO}_4(\text{aq})$  พบว่า โลหะ C กร่อน และมีสารสีเทาเกาะที่โลหะ C

จงเรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของ  $\text{A}^{2+}$   $\text{B}^{2+}$   $\text{C}^{2+}$  และ  $\text{H}^+$  จากมากไปน้อย

- ก. โลหะ A ให้อิเล็กตรอนแก่  $\text{H}^+(\text{aq})$  ได้ง่าย แสดงว่าความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของ  $\text{H}^+(\text{aq}) > \text{A}^{2+}(\text{aq})$
- ข. โลหะ B จุ่มลงในสารละลายกรดเกิด  $\text{H}_2(\text{g})$  แสดงว่าความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของ  $\text{H}^+(\text{aq}) > \text{B}^{2+}(\text{aq})$  แต่เมื่อจุ่มลงในสารละลาย  $\text{ASO}_4$  ซึ่งมี  $\text{A}^{2+}(\text{aq})$  ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของ  $\text{B}^{2+}(\text{aq}) > \text{A}^{2+}(\text{aq})$
- ค. โลหะ C จุ่มลงในสารละลาย  $\text{ASO}_4$  ซึ่งมี  $\text{A}^{2+}(\text{aq})$  แล้ว C กร่อน แสดงว่าความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของ  $\text{A}^{2+}(\text{aq}) > \text{C}^{2+}(\text{aq})$

ดังนั้นความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์เป็นดังนี้



## 3. เมื่อนำครึ่งเซลล์ $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ ไปต่อกับครึ่งเซลล์ $\text{Pt(s)}|\text{Fe}^{2+}(\text{aq}), \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$

### 3.1 เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิก

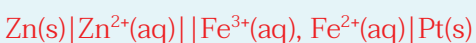
จากตาราง 11.3

$\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$  มีค่า  $E^0$  น้อยกว่า  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  ดังนั้น

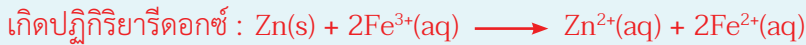
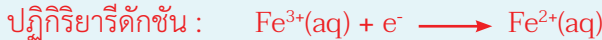
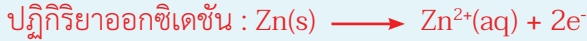
ครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ  $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$

ครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน คือ  $\text{Pt(s)}|\text{Fe}^{2+}(\text{aq}), \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$

แผนภาพเซลล์กัลวานิกจึงเขียนได้ดังนี้



3.2 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยารีดอกซ์

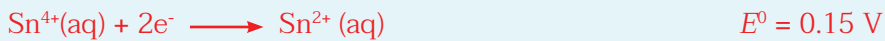
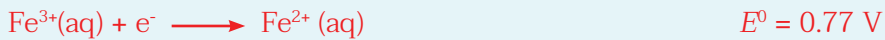
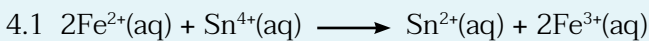


3.3 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์กัลวานิกนี้มีค่าเท่าใด

$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.77 - (-0.76) \\ &= 1.53 \text{ V} \end{aligned}$$

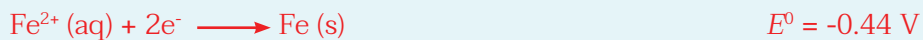
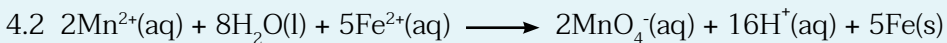
ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์กัลวานิกนี้มีค่า 1.53 โวลต์

4. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ของปฏิกิริยาที่กำหนดให้ และระบุว่าปฏิกิริยาต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เองหรือไม่ เพราะเหตุใด



$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.15 - 0.77 \\ &= -0.62 \text{ V} \end{aligned}$$

เนื่องจากค่า  $E^0$  ติดลบ แสดงว่าปฏิกิริยาดังกล่าวไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง ถ้าต้องการให้เกิดปฏิกิริยานี้ต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่า 0.62 โวลต์

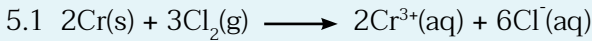


$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= (-0.44) - 1.51 \\ &= -1.95 \text{ V} \end{aligned}$$

เนื่องจากค่า  $E^0$  ติดลบ แสดงว่าปฏิกิริยาดังกล่าวไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง ถ้าต้องการให้เกิดปฏิกิริยานี้ต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่า 1.95 โวลต์



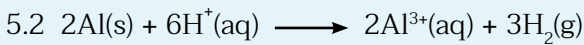
5. จงเขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกและหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์จากปฏิกิริยาต่อไปนี้



แผนภาพเซลล์กัลวานิก คือ



$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 1.36 - (-0.74) \\ &= 2.10 \text{ V} \end{aligned}$$



แผนภาพเซลล์กัลวานิก คือ



$$\begin{aligned} E^0_{\text{cell}} &= E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}} \\ &= 0.00 - (-1.66) \\ &= 1.66 \text{ V} \end{aligned}$$

6. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายต่อไปนี้ และระบุผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นที่แคโทดและแอโนด

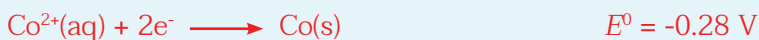


เมื่อ  $\text{CoI}_2$  ละลายน้ำจะแตกตัวดังนี้



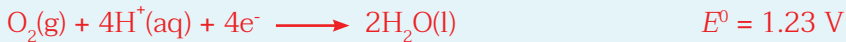
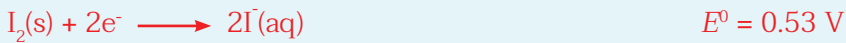
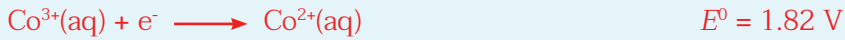
สารละลาย  $\text{CoI}_2$  ในน้ำประกอบด้วย  $\text{Co}^{2+}$   $\text{I}^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}$

จากตาราง 11.3 จะเห็นว่าไม่มีปฏิกิริยารีดักชันของ  $\text{I}^-$  ดังนั้นจึงเหลือปฏิกิริยารีดักชันที่เป็นไปได้เป็นดังนี้



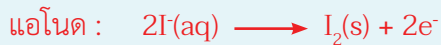
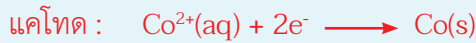
เมื่อเปรียบเทียบค่า  $E^0$  จะพบว่า  $\text{Co}^{2+}$  รับอิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ดังนั้นที่แคโทดจึงเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ  $\text{Co}^{2+}$

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นไปได้ของ  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{I}^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ให้พิจารณาจากปฏิกิริยาครีเซลล์รีดักชัน ที่มี  $\text{I}^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  เป็นผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ดังนั้นจึงมีปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณาดังนี้



เมื่อเปรียบเทียบค่า  $E^0$  จะพบว่า  $\text{I}^-$  ให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ดังนั้นที่แอโนดจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ  $\text{I}^-$

ปฏิกิริยาการแยกสลายสารละลาย  $\text{CoI}_2$  ด้วยไฟฟ้า จึงเป็นดังนี้



ปฏิกิริยารวมของเซลล์ :



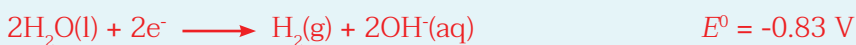
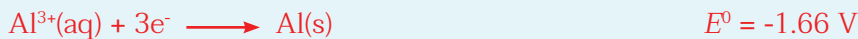
ดังนั้น เกิดโลหะ  $\text{Co}$  ที่แคโทด และ  $\text{I}_2$  ที่แอโนด

## 6.2 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

เมื่อ  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ละลายน้ำจะแตกตัวดังนี้

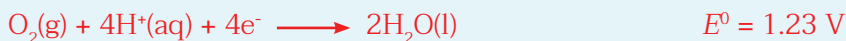
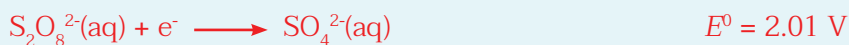


สารละลาย  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ในน้ำประกอบด้วย  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ปฏิกิริยารีดักชันที่เป็นไปได้เป็นดังนี้



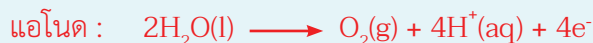
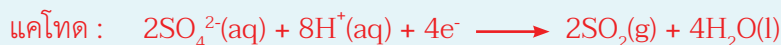
เมื่อเปรียบเทียบค่า  $E^0$  จะพบว่า  $\text{SO}_4^{2-}$  ในสารละลายรับอิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ดังนั้นที่แคโทดจึงเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ  $\text{SO}_4^{2-}$

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นไปได้ ของ  $\text{Al}^{3+}$   $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ให้พิจารณาจากปฏิกิริยาครึ่งเซลล์รีดักชันที่มี  $\text{Al}^{3+}$   $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  เป็นผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ เนื่องจากไม่มีปฏิกิริยารีดักชันที่ให้  $\text{Al}^{3+}$  เป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเหลือปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณา ดังนี้



เมื่อเปรียบเทียบค่า  $E^0$  จะพบว่า  $\text{H}_2\text{O}$  ให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ดังนั้นที่แอโนดจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ  $\text{H}_2\text{O}$

ปฏิกิริยาการแยกสลายสารละลาย  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ด้วยไฟฟ้า จึงเป็นดังนี้



ปฏิกิริยารวมของเซลล์ :



ดังนั้น เกิด  $\text{SO}_2$  ที่แคโทด และ  $\text{O}_2$  ที่แอโนด

## ภาคผนวก

## ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล

### แบบทดสอบ

การประเมินผลด้วยแบบทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียน โดยเฉพาะด้านความรู้และความสามารถทางสติปัญญา ครูควรมีความเข้าใจในลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการสร้างหรือเลือกใช้แบบทดสอบให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด โดยลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

#### 1) แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก

แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก ได้แก่ แบบทดสอบแบบเลือกตอบ แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด และแบบทดสอบแบบจับคู่ รายละเอียดของแบบทดสอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

##### 1.1) แบบทดสอบแบบเลือกตอบ

เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดตัวเลือกให้หลายตัวเลือก โดยมีตัวเลือกที่ถูกเพียงหนึ่งตัวเลือก องค์ประกอบหลักของแบบทดสอบแบบเลือกตอบมี 2 ส่วน คือ คำถามและตัวเลือก แต่บางกรณีอาจมีส่วนของสถานการณ์เพิ่มขึ้นมาด้วย แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีหลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามเดียว แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามชุด แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถาม 2 ชั้น โครงสร้างดังตัวอย่าง

#### แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่ไม่มีสถานการณ์

คำถาม.....

ตัวเลือก

ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

### แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่มีสถานการณ์

สถานการณ์.....

คำถาม.....

ตัวเลือก

ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

### แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเป็นชุด

สถานการณ์.....

คำถาม.....

ตัวเลือก

ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2 .....

ตัวเลือก

ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

### แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

**คำสั่ง** ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ หรือ ✗ หน้าข้อความ

- ..... 1. ข้อความ.....
- ..... 2. ข้อความ.....
- ..... 3. ข้อความ.....
- ..... 4. ข้อความ.....
- ..... 5. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สามารถสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และครอบคลุมเนื้อหา สามารถตรวจได้รวดเร็วและให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสเดาได้มาก และการสร้างข้อความให้เป็นจริงหรือเป็นเท็จโดยสมบูรณ์ในบางเนื้อทำได้ยาก

#### 1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความ 2 ชุด ที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

### แบบทดสอบแบบจับคู่

**คำสั่ง** ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำตอบมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำถาม

| ชุดคำถาม      | ชุดคำตอบ |
|---------------|----------|
| ..... 1. .... | ก. ....  |
| ..... 2. .... | ข. ....  |
| ..... 3. .... | ค. ....  |
|               | ง. ....  |

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่ายตรวจให้คะแนนได้ตรงกัน และเดาคำตอบได้ยากเหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

## 2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคิดคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไปการเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้น และการเขียนตอบแบบอธิบาย รายละเอียดของแบบทดสอบที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

### 2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่ง และข้อความที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถามจะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิดเพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

### 2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนสร้างคำตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ให้อิสระแก่นักเรียนในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจให้คะแนนยาก และการตรวจให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน



## แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปจะประเมิน 2 ส่วน คือ ประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

### ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

| รายการที่ต้องสำรวจ               | ผลการสำรวจ             |       |
|----------------------------------|------------------------|-------|
|                                  | มี<br>(ระบุจำนวนครั้ง) | ไม่มี |
| การวางแผนการทดลอง                |                        |       |
| การทดลองตามขั้นตอน               |                        |       |
| การสังเกตการทดลอง                |                        |       |
| การบันทึกผล                      |                        |       |
| การอธิบายผลการทดลองก่อนลงข้อสรุป |                        |       |

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย

| ทักษะปฏิบัติการทดลอง                    | คะแนน  |  |   |
|---|--|--|---|
|   | 3  | 2  | 1   |
| การเลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลอง | เลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้ถูกต้องเหมาะสมกับงาน                  | เลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้ถูกต้องแต่ไม่เหมาะสมกับงาน          | เลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองไม่ถูกต้อง  |
| การใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลอง      | ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้อย่างคล่องแคล่วและถูกต้องตามหลักการปฏิบัติ | ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้ถูกต้องตามหลักการปฏิบัติแต่ไม่คล่องแคล่ว | ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองไม่ถูกต้อง   |
| การทดลองตามแผนที่กำหนด                  | ทดลองตามวิธีการและขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง มีการปรับปรุงแก้ไขเป็นระยะ  | ทดลองตามวิธีการและขั้นตอนที่กำหนดไว้ มีการปรับปรุงแก้ไขบ้าง                | ทดลองตามวิธีการและขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือดำเนินการข้ามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ไม่มีการปรับปรุงแก้ไข |

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบมาตรฐานค่า

| ทักษะที่ประเมิน  | ผลการประเมิน                         |                                      |                                      |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|  | ระดับ 3                              | ระดับ 2                              | ระดับ 1                              |
| 1. วางแผนการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน<br>2. ปฏิบัติการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้อง เหมาะสม และจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบ สะดวกต่อการใช้งาน<br>3. บันทึกผลการทดลองได้ถูกต้อง และครบถ้วนสมบูรณ์ | ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 3 ข้อ | ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 2 ข้อ | ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 1 ข้อ |

ตัวอย่างแนวทางการให้คะแนนการเขียนรายงานการทดลอง

| คะแนน  |  |   |
|--|--|---|
| 3  | 2  | 1   |
| เขียนรายงานตามลำดับขั้นตอน ผลการทดลองตรงตามสภาพจริงและสื่อความหมาย | เขียนรายงานการทดลองตามลำดับ แต่ไม่สื่อความหมาย | เขียนรายงานโดยลำดับขั้นตอนไม่สอดคล้องกัน และไม่สื่อความหมาย |

### แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง โดยทั่วไปทำโดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติหรือพฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ และแปลผลไปถึงจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง

### ตัวอย่างแบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

**คำชี้แจง** จงทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับคุณลักษณะที่นักเรียนแสดงออก โดยจำแนก ระดับพฤติกรรมการแสดงออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

|                 |   |
|-----------------|---|
| มาก             | หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ |
| ปานกลาง         | หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเป็นครั้งคราว |
| น้อย            | หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นน้อยครั้ง     |
| ไม่มีการแสดงออก | หมายถึง นักเรียนไม่แสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเลย        |

| รายการพฤติกรรมการแสดงออก  | ระดับพฤติกรรมการแสดงออก |         |      |                 |
|---|-------------------------|---------|------|-----------------|
|   | มาก                     | ปานกลาง | น้อย | ไม่มีการแสดงออก |
| <b>ด้านความอยากรู้อยากเห็น</b><br>1. นักเรียนสอบถามจากผู้รู้หรือไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เมื่อเกิดความสงสัยในเรื่องราววิทยาศาสตร์<br>2. นักเรียนชอบไปงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์<br>3. นักเรียนนำการทดลองที่สนใจไปทดลองต่อที่บ้าน                    |                         |         |      |                 |
| <b>ด้านความซื่อสัตย์</b><br>1. นักเรียนรายงานผลการทดลองตามที่ทดลองได้จริง<br>2. เมื่อทำการทดลองผิดพลาด นักเรียนจะลอกผลการทดลองของเพื่อส่งครู<br>3. เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงาน ออกแบบสิ่งประดิษฐ์ นักเรียนจะประดิษฐ์ตามแบบที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ |                         |         |      |                 |

| รายการพฤติกรรมกรรมการแสดงออก   | ระดับพฤติกรรมกรรมการแสดงออก |         |      |                 |
|--|-----------------------------|---------|------|-----------------|
|  | มาก                         | ปานกลาง | น้อย | ไม่มีการแสดงออก |
| <b>ด้านความใจกว้าง</b><br>1. แม้ว่านักเรียนจะไม่เห็นด้วยกับการสรุปผลการทดลองในกลุ่ม แต่ก็ยอมรับผลสรุปของสมาชิกส่วนใหญ่<br>2. ถ้าเพื่อนแย้งวิธีการทดลองของนักเรียน และมีเหตุผลที่ดีกว่า นักเรียนพร้อมที่จะนำข้อเสนอแนะของเพื่อนไปปรับปรุงงานของตน<br>3. เมื่องานที่นักเรียนตั้งใจและทุ่มเททำ ถูกตำหนิหรือโต้แย้ง นักเรียนจะหมดกำลังใจ |                             |         |      |                 |
| <b>ด้านความรอบคอบ</b><br>1. นักเรียนสรุปผลการทดลองทันทีเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง<br>2. นักเรียนทำการทดลองซ้ำ ๆ ก่อนที่จะสรุปผลการทดลอง<br>3. นักเรียนตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง   |                             |         |      |                 |
| <b>ด้านความมุ่งมั่นอดทน</b><br>1. ถึงแม้ว่างานค้นคว้าที่ทำอยู่มีโอกาสสำเร็จได้ยาก นักเรียนจะยังค้นคว้าต่อไป<br>2. นักเรียนล้มเลิกการทดลองทันที เมื่อผลการทดลองที่ได้ขัดจากที่เคยได้เรียนมา<br>3. เมื่อทราบว่าชุดการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน นักเรียนก็เปลี่ยนไปศึกษาชุดการทดลองที่ใช้เวลาน้อยกว่า            |                             |         |      |                 |

| รายการพฤติกรรมกรรมการแสดงออก  | ระดับพฤติกรรมกรรมการแสดงออก |         |      |                 |
|---|-----------------------------|---------|------|-----------------|
|   | มาก                         | ปานกลาง | น้อย | ไม่มีการแสดงออก |
| <b>เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์</b><br>1. นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ<br>2. นักเรียนชอบทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์<br>3. นักเรียนสนใจติดตามข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ |                             |         |      |                 |

### วิธีการตรวจให้คะแนน

ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์โดยกำหนดน้ำหนักของตัวเลือกในช่องต่าง ๆ เป็น 4 3 2 1 ข้อความที่มีความหมายเป็นทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความดังนี้

| ระดับพฤติกรรมกรรมการแสดงออก | คะแนน |
|-----------------------------|-------|
| มาก                         | 4     |
| ปานกลาง                     | 3     |
| น้อย                        | 2     |
| ไม่มีการแสดงออก             | 1     |

ส่วนของข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบการกำหนดให้คะแนนในแต่ละข้อความจะมีลักษณะเป็นตรงกันข้าม

### การประเมินการนำเสนอผลงาน

การประเมินผลและให้คะแนนการนำเสนอผลงานใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกับการประเมินภาระงานอื่น คือ การใช้คะแนนแบบภาพรวม และการให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การให้คะแนนในภาพรวม เป็นการให้คะแนนที่ต้องการสรุปภาพรวมจึงประเมินเฉพาะประเด็นหลักที่สำคัญ ๆ เช่น การประเมินความถูกต้องของเนื้อหา ความรู้และการประเมินสมรรถภาพด้านการเขียนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบภาพรวม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

#### ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาความรู้ (แบบภาพรวม)

| รายการประเมิน   | ระดับคุณภาพ  |
|---|--------------|
| เนื้อหาไม่ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่   | ต้องปรับปรุง |
| เนื้อหาถูกต้องแต่ให้สาระสำคัญน้อยมาก และไม่ระบุแหล่งที่มาของความรู้       | พอใช้        |
| เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญ แต่ยังไม่ครบถ้วน มีการระบุแหล่งที่มาของความรู้ | ดี           |
| เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญครบถ้วน และระบุแหล่งที่มาของความรู้ชัดเจน       | ดีมาก        |

#### ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน (แบบภาพรวม)

| รายการประเมิน  | ระดับคุณภาพ  |
|--|--------------|
| เขียนสับสน ไม่เป็นระบบ ไม่บอกปัญหาและจุดประสงค์ ขาดการเชื่อมโยง เนื้อหาบางส่วนไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ใช้ภาษาไม่เหมาะสมและสะกดคำไม่ถูกต้อง ไม่อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้   | ต้องปรับปรุง |
| เขียนเป็นระบบแต่ไม่ชัดเจน บอกจุดประสงค์ไม่ชัดเจน เนื้อหาถูกต้องแต่มีรายละเอียดไม่เพียงพอ เนื้อหาบางตอนไม่สัมพันธ์กัน การเรียบเรียงเนื้อหาไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้   | พอใช้        |
| เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักไม่ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เนื้อหาบางตอนเรียบเรียงไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง มีการยกตัวอย่าง รูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้            | ดี           |
| เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เรียบเรียงเนื้อหาได้ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง ชัดเจนเข้าใจง่าย มีการยกตัวอย่าง รูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้ | ดีมาก        |

2) การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย เป็นการประเมินเพื่อต้องการนำผลการประเมินไปใช้พัฒนางานให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์ และพัฒนาคุณภาพให้สูงขึ้นกว่าเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เกณฑ์ย่อย ๆ ในการประเมินเพื่อให้รู้ทั้งจุดเด่นที่ควรส่งเสริมและจุดด้อยที่ควรแก้ไขปรับปรุงการทำงานในส่วนนั้น ๆ เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย มีตัวอย่างดังนี้

#### ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพ (แบบแยกองค์ประกอบย่อย)

| รายการประเมิน   | ระดับคุณภาพ  |
|---|--------------|
| <b>ด้านการวางแผน</b>  |              |
| ไม่สามารถออกแบบได้ หรือออกแบบได้แต่ไม่ตรงกับประเด็นปัญหาที่ต้องการเรียนรู้  | ต้องปรับปรุง |
| ออกแบบการได้ตามประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นบางส่วน  | พอใช้        |
| ออกแบบครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังไม่ชัดเจน  | ดี           |
| ออกแบบได้ครอบคลุมทุกประเด็นสำคัญของปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน และตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ                                   | ดีมาก        |
| <b>ด้านการดำเนินการ</b>   |              |
| ดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว   | ต้องปรับปรุง |
| ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว   | พอใช้        |
| ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบการสาธิตได้อย่างคล่องแคล่วและเสร็จทันเวลา ผลงานในบางขั้นตอนไม่เป็นไปตามจุดประสงค์ | ดี           |
| ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบได้ถูกต้อง คล่องแคล่ว และเสร็จทันเวลา ผลงานทุกขั้นตอนเป็นไปตามจุดประสงค์          | ดีมาก        |



| รายการประเมิน   | ระดับคุณภาพ  |
|---|--------------|
| <b>ด้านการอธิบาย</b>  |              |
| อธิบายไม่ถูกต้อง ขัดแย้งกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์   | ต้องปรับปรุง |
| อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แต่การอธิบายเป็นแบบพรรณนาทั่วไปซึ่งไม่คำนึงถึงการเชื่อมโยงกับปัญหาทำให้เข้าใจยาก | พอใช้        |
| อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาแต่ข้ามไปในบางขั้นตอน ใช้ภาษาได้ถูกต้อง                     | ดี           |
| อธิบายตามแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาและจุดประสงค์ ใช้ภาษาได้ถูกต้องเข้าใจง่าย สื่อความหมายได้ชัดเจน  | ดีมาก        |

## บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559).

**คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสศ.

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559).

**คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 4** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสศ.

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559).

**หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสศ.

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559).

**หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 4** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสศ.

Brown, T. L., et al. (2012). **Chemistry: the central science** (12<sup>th</sup> ed). Illinois: Prince-Hall Inc.

Burdge, J. and Overby, J. (2018). **Chemistry Atoms First** (3<sup>rd</sup> ed). New York: McGraw-Hill Education.

Chang, R. (2010). **Chemistry** (10<sup>th</sup> ed). New York: The McGraw-Hill.

Chang, R., & Goldsby, K. A. (2016). **Chemistry** (12<sup>th</sup> ed). Retrieved January 18, 2018, from <https://www.pdflobby.com/2018/02/chemistry-12th-edition-by-chang-goldsby.html>

Eugene, L.Jr., et al. (2000). **Chemistry: Connections to Our Changing World** (2<sup>nd</sup> ed). New Jersey: Prince-Hall, Inc.

Haynes, W. M. (2010). **CRC Handbook of Chemistry and Physics** (91<sup>st</sup> ed). Florida: CRC Press Inc.

Jenkins, F., et al. (2003). **Nelson Chemistry 12**. Ontario: Thomson Nelson.

Owen, S., et al. (2014). **Chemistry for the IB Diploma** (2<sup>nd</sup> ed). Cambridge: Cambridge University Press.

Phillips, J. S., et al. (2014). **Glencoe Science Chemistry Concepts and Applications**. New York: McGraw-Hall Companies, Inc.

Silberberg, M.S. (2009). **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change**. (5<sup>th</sup> ed). New York: McGraw-Hill.

Wilbraham, A. C., et al. (2000). **Addison - Wesley Chemistry** (5<sup>th</sup> ed). New Jersey: Prentice Hall, Inc.

คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม 4  
ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)  
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์

ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้จัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4

ศ.ดร.มงคล สุขวัฒน์สินธิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายณรงค์ศิลป์ รูปพนม

ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผศ.ดร.จินดา แต่มบรรจง

ผู้อำนวยการ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางสาวศศิณี อังกานนท์

ผู้อำนวยการ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางกมลวรรณ เกียรติกวินกุล

ผู้อำนวยการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางสุทธาทิพย์ หวังอำนวยพร

ผู้อำนวยการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางสาวศิริรัตน์ พริกสี

ผู้อำนวยการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดร.สนธิ พลชัยยา

ผู้อำนวยการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดร.ปุกนิภา พระพุทธคุณ

นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นางสาวณัฐริกา งามกิจภิญโญ

นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

**คณะผู้ร่วมพิจารณาคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4**

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินธิ์       | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย   |
| รศ.ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม         | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย   |
| รศ.ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิมย์   | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย   |
| ผศ.ดร.เสาวรักษ์ เฟื่องสวัสดิ์  | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย   |
| ผศ.ดร.พร้อมพงศ์ เพียรพินิจธรรม | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย   |
| นายธิตี จรางเดช                | สำนักงานห้องเรียนวิศว์-วิทย์<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| นางสายชล อมาตยกุล              | โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา 2 กรุงเทพมหานคร                     |
| นางสาวพรเพชร พานทอง            | โรงเรียนเทพศิลา กรุงเทพมหานคร   |
| นางภรณี อักบัวอาลี             | โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม กรุงเทพมหานคร                               |
| นายธีรพล ชนะภัย                | โรงเรียนสตรีทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช                                    |
| นางจรรยา ไทยเสรีกุล            | โรงเรียนสตรีพัทลุง จ.พัทลุง   |

**คณะบรรณาธิการ**

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินธิ์       | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |
| รศ.ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม         | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |
| รศ.ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิมย์   | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |
| ผศ.ดร.เสาวรักษ์ เฟื่องสวัสดิ์  | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |
| ผศ.ดร.พร้อมพงศ์ เพียรพินิจธรรม | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |
| นายณรงค์ศิลป์ รูปพนม           | ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี<br>ผู้ชำนาญ       |
| ผศ.ดร.จินดา แต่มบรรจง          | สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี<br>ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย |
| นางกมลวรรณ เกียรติกวินกุล      | สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  |



สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ