



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 : กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

21

รายวิชา ว 33222 เคมี 6

ชั้น ม.6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เคมีไฟฟ้า

เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า เซลล์กัลวานิก

เวลาเรียน 2 ชั่วโมง

ผู้สร้างสรรค์การจัดการเรียนรู้ อาจารย์ ศุภศิลป์ ภาษี

1. มาตรฐานการเรียนรู้ / ตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด

1. การระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด
ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์

2. สาระการเรียนรู้

เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ให้พลังงานไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) หรือเซลล์โวลตาอิก (voltaic cell) โดยมีแอโนดเป็นขั้วลบ แคโทดเป็นขั้วบวก และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกเซลล์จากแอโนดไปยังแคโทด ปฏิกิริยาเคมีในเซลล์กัลวานิกเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เอง (spontaneous reaction) นอกจากเซลล์กัลวานิกแล้วยังมีเซลล์เคมีไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติก (electrolytic cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ต้องให้กระแสไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (non spontaneous reaction)

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 จุดประสงค์ปลายทาง

นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจสามารถวิเคราะห์แหล่งขั้ว แอโนด แคโทด และปฏิบัติการแยกการทำงานของขั้วแอโนด และแคโทด ตลอดจนเขียนแผนภาพครึ่งเซลล์ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีได้ถูกต้อง

3.2 จุดประสงค์นำทาง

1. ด้านพุทธิพิสัย (K)

นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจ การเกิดปฏิกิริยาของเซลล์ไฟฟ้าเคมี และนำไปใช้ ตลอดจนสรุปความรู้ได้ถูกต้อง

2. ด้านทักษะพิสัย (P)

นักเรียนมีทักษะและใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อสรุปการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเขียนภาพปฏิกิริยาทางเคมีของการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดได้

3. ด้านจิตพิสัย (A)

นักเรียนเห็นคุณค่าการศึกษาวិทยาศาสตร์และตั้งใจเรียนอย่างมีวินัย ใฝ่เรียนรู้ และมุ่งมั่นตั้งใจเรียน

ด้านพุทธิพิสัย (ความรู้) : K	ด้านทักษะพิสัย (ทักษะ) : P	ด้านเจตพิสัย (เจตคติ) : A
1. ระบุองค์ประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี 2. สามารถอธิบายความหมายของเซลล์ไฟฟ้าเคมี 3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1. การเขียนสมการเคมี 2. การจำแนกขั้วแอโนด แคโทด 3. การเขียนแผนภาพครึ่งเซลล์	1. ความรับผิดชอบในการทำงาน 2. ความเห็นอกเห็นใจเพื่อนร่วมทีม 3. ความรอบคอบ 4. ความมุ่งมั่นอดทน

4. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- ☒ ความสามารถในการสื่อสาร ☒ ความสามารถในการคิด ☒ ความสามารถในการแก้ปัญหา
☒ ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต ☐ ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

5. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- ☐ รักชาติ ศาสน์ กษัตริย์ ☒ ซื่อสัตย์สุจริต ☒ มีวินัย ☒ ใฝ่เรียนรู้
☐ อยู่อย่างพอเพียง ☒ มุ่งมั่นในการทำงาน ☐ รักความเป็นไทย ☒ มีจิตสาธารณะ

6.กระบวนการจัดการเรียนรู้: การบรรยาย/การสาธิต/การปฏิบัติ ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ CIPPA model 7 ขั้นตอน (ทีศนา เขมมณี)

ขั้นนำ

ขั้นที่ 1 ขั้นทบทวนความรู้เดิม C (Construction) คือ ครูจัดกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนมีโอกาสสร้างความรู้ด้วยตนเอง

1.1 ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ว่ากระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และการถ่านไอออนอิเล็กตรอน ขั้วที่จ่ายอิเล็กตรอนเรียกว่า ขั้วแอโนด ขั้วที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่า ขั้วแคโทด เพื่อนำเข้าสู่เซลล์เคมีไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

1.2 ครูให้นักเรียนสอบก่อนเรียนในเรื่องเซลล์กัลวานิก

ขั้นการจัดกิจกรรม

ขั้นที่ 2 ขั้นแสวงหาความรู้ใหม่ C (Construction) คือ ครูจัดกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนมีโอกาสสร้างความรู้ด้วยตนเอง

2.1 ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่มๆ ละ 4-5 คน ครูใช้คำถามกระตุ้นหรืออธิบายเกี่ยวกับ เซลล์เคมีไฟฟ้า โดยใช้รูปภาพเซลล์กัลวานิก เพื่อให้นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปฏิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งแอโนดและแคโทด ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หน้าที่ของสะพานเกลือหรือเยื่อ และการรักษาสมดุลของไอออนบวกและไอออนลบในแต่ละครึ่งเซลล์

ขั้นที่ 3 ขั้นศึกษาทำความเข้าใจข้อมูล ความรู้ใหม่และเชื่อมโยงกับความรู้เดิม I (Interaction) คือ ให้นักเรียนทำกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มี ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับบุคคลและแหล่งความรู้ที่หลากหลาย

3.1 ครูให้นักเรียนศึกษาใบกิจกรรมที่ 3 “การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก” ตามลำดับขั้นตอนที่ปรากฏในใบกิจกรรม ดังนี้

3.1.1 สะพานไอออนในการทดลองนี้ ทำโดยใช้กระดาษกรองชุบด้วยสารละลาย KCl อิมตัวจนเปียกชุ่มทั่วทั้งแผ่น

3.1.2 มิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ คือ มีขั้วตูดอยู่ตรงกลาง

3.1.3 ให้นักเรียนสังเกตทิศทางการเบนของเข็มมิเตอร์ว่าเบนไปทางขั้วโลหะใด

ขั้นที่ 4 ขั้นแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจกับกลุ่ม I (Interaction) คือ ให้นักเรียนทำกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มี ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับบุคคลและแหล่งความรู้ที่หลากหลาย

4.1. นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทำกิจกรรมตามใบกิจกรรมที่ 3 มาทำการแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจกันภายในกลุ่ม

ขั้นสรุป

ขั้นที่ 5 ขั้นสรุปและจัดระเบียบความรู้ P (Physical Participation) คือ จัดกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนได้เคลื่อนไหวร่างกาย

5.1. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายผลการทดลองที่ได้ และช่วยกันสรุปเพื่อให้ได้หลักการในการสร้างเซลล์กัลวานิก

5.1.1 เมื่อต่อเซลล์กัลวานิกให้ครบวงจรแล้วเข็มของมิเตอร์เบนแสดงว่ามีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เนื่องจากการไหลต่อเนื่องกันของอิเล็กตรอน

5.1.2 เมื่อต่อระบบที่ประกอบด้วย $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Zn(s)} | \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ พบว่าเข็มของมิเตอร์เบนเข้าหาขั้วทองแดง แสดงว่าขั้วสังกะสีเสียอิเล็กตรอนให้แก่ Cu^{2+} ที่อยู่รอบๆ ขั้วทองแดง การถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่าง Zn กับ Cu^{2+} จึงสนับสนุนคำอธิบายเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ศึกษามาแล้วในกิจกรรมที่ 1 “ปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน”

เมื่อสังกะสีเสียอิเล็กตรอนกลายเป็น Zn^{2+} ผิวของสังกะสีจะกร่อนไป อิเล็กตรอนจากขั้วสังกะสีจะเคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำไปยังขั้วทองแดง ส่วน Cu^{2+} ในสารละลาย CuSO_4 จะรับอิเล็กตรอนกลายเป็นทองแดงเกาะ

ที่ขั้วทองแดง ดังนั้น ในปฏิกิริยาที่บรรจุโลหะ Cu และสารละลาย Cu^{2+} จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ระบบที่มีโลหะจุ่มอยู่ในสารละลายของโลหะไอออนนี้ เรียกว่า ครึ่งเซลล์และโลหะที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เรียกว่า ขั้วไฟฟ้า

5.2 ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง เซลล์กัลวานิก ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น

ขั้นที่ 6 ขั้นแสดงผลงาน P (Process Learning) คือ จัดกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้เรียนรู้กระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการคิด กระบวนการแก้ปัญหา กระบวนการทำงานให้สำเร็จ

6.1. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมาครูสุ่มงล้อเลือกตัวแทนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลงานเซลล์กัลวานิก

6.2 ครูชื่นชมกลุ่มนักเรียนที่ออกมานำเสนอผลงาน และให้กำลังใจนักเรียนในห้องเรียน

ขั้นที่ 7 ขั้นประยุกต์ใช้ความรู้ A (Application) คือ การจัดกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้นำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน

7.1. ครูสอบถามนักเรียนว่านักเรียนคิดว่าในชีวิตประจำวันของเรา พวกเราเคยสังเกตหรือไม่ ว่าเรามีการใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ไฟฟ้าเคมีอยู่ในชีวิตประจำวัน ครูยกตัวอย่างเพื่อให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น

7. สื่อ อุปกรณ์ และแหล่งการเรียนรู้

1. ใบกิจกรรมที่ 3 การทดลอง “การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก”
2. แบบบันทึกกิจกรรมการทดลอง
3. ใบความรู้ที่ 3 เรื่อง “เซลล์กัลวานิก”
4. ใบงานที่ 3 เรื่อง “เซลล์กัลวานิก”
4. แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน

-PowerPoint -หนังสือเรียนรายวิชา เคมี เล่ม 4

8. การวัดและประเมินผล

การวัดผลประเมินผลด้าน	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1.วัดจากแบบทดสอบ 2.วัดจากการตรวจใบงานที่ 3	1.แบบทดสอบหลังเรียน ชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ 2. ใบงานที่ 3	1. ทำแบบทดสอบถูกมากกว่าหรือ เท่ากับ 6 ข้อขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป

2. ด้านทักษะ กระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติตามใบ กิจกรรมที่ 3	แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงาน	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึง ประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรม ความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

.....

.....

ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไขปัญหา

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สร้างสรรคการจัดการเรียนรู้
(.....)

10. ความคิดเห็นผู้บริหาร/ผู้ที่ได้รับมอบหมาย

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้บริหาร/ผู้ที่ได้รับมอบหมาย
(.....)



โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

บันทึกผลหลังการสอน

วิชา เคมี ภาคเรียนที่ 2 ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2566

ครูผู้สอน อ.ศุภศิลป์ ภาชี

กลุ่มสาระการเรียนรู้สาขาวิจัยพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แผนการจัดการเรียนรู้ที่.....เรื่อง.....เวลาคาบ

1. จำนวนนักเรียนที่ใช้สอน

ระดับชั้น	จำนวนนักเรียน (คน)
มัธยมศึกษาปีที่ 6/1	28
มัธยมศึกษาปีที่ 6/2	30

2. ผลการสอน

- 2.1) ความเหมาะสมของระยะเวลา () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.2) ความเหมาะสมของเนื้อหา () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.3) ความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนการสอน () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.4) ความเหมาะสมของสื่อการสอนที่ใช้ () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.5) พฤติกรรม/การมีส่วนร่วมของนักเรียน () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง

2.6) ผลการปฏิบัติกิจกรรม/ใบกิจกรรม การทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

1) การประเมินผลก่อนการเรียนโดยใช้แบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ พบว่านักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย.....จากคะแนนเต็ม..... มีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้คือร้อยละ 50

2.) การประเมินผลหลังการเรียน โดยใช้แบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ พบว่า นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย.....จากคะแนนเต็ม..... มีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้คือร้อยละ 60

3.) การประเมินด้านทักษะกระบวนการ ผลการประเมินโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมพบว่า มีนักเรียนร้อยละ ผ่านเกณฑ์การประเมิน และมีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

3. ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

4. ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

.....

.....

ลงชื่อ..... ผู้สอน/ผู้บันทึก

(อ.ดร.ศุภศิลป์ ภาชี)

ตำแหน่ง อาจารย์

...../...../.....

ลงชื่อผู้บริหาร

(อ.ดร.นพทรัพย์ พิชัยสามารถ)

ผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

...../...../.....



ใบความรู้ที่ 3

เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี-เซลล์กัลวานิก

1. ประเภทและส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) คือ อุปกรณ์ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นไฟฟ้า หรือไฟฟ้าเป็นเคมี แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็น พลังงานไฟฟ้า เกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยากันในเซลล์ แล้วเกิดกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์อัลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน แบตเตอรี่

2. เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารเคมีที่อยู่ในเซลล์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

ส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

1. ขั้วไฟฟ้า ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

ก. ขั้วว่องไว (Active electrode) ได้แก่ ขั้วโลหะทั่วไป เช่น Zn , Cu , Pb ขั้วพวกนี้บางโอกาสจะเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาด้วย

ข. ขั้วเฉื่อย (Inert electrode) คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมใด ๆ ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น Pt , C (แกรไฟต์)

ในเซลล์ไฟฟ้าหนึ่ง ๆ จะต้องประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ คือ ขั้วแอโนด (Anode) คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขั้วแคโทด (Cathode) คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

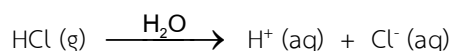
2. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์ คือ สารที่สถานะเป็นของเหลว นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนบวกและลบเคลื่อนที่ไปมา อิเล็กโทรไลต์มี 2 ชนิดคือ

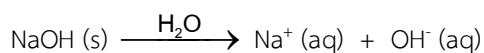
ก. สารประกอบไอออนิกหลอมเหลว เช่น $\text{NaCl (s)} \rightarrow \text{Na}^+ (\text{l}) + \text{Cl}^- (\text{l})$

ข. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารละลายกรด เบส และเกลือ

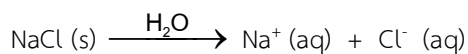
สารละลายกรด



สารละลายเบส

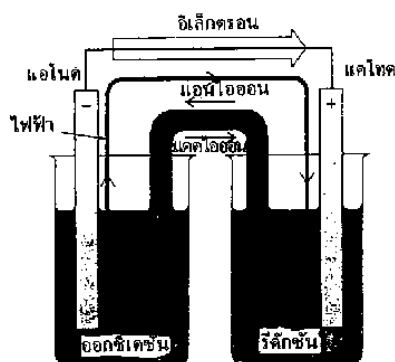


สารละลายเกลือ



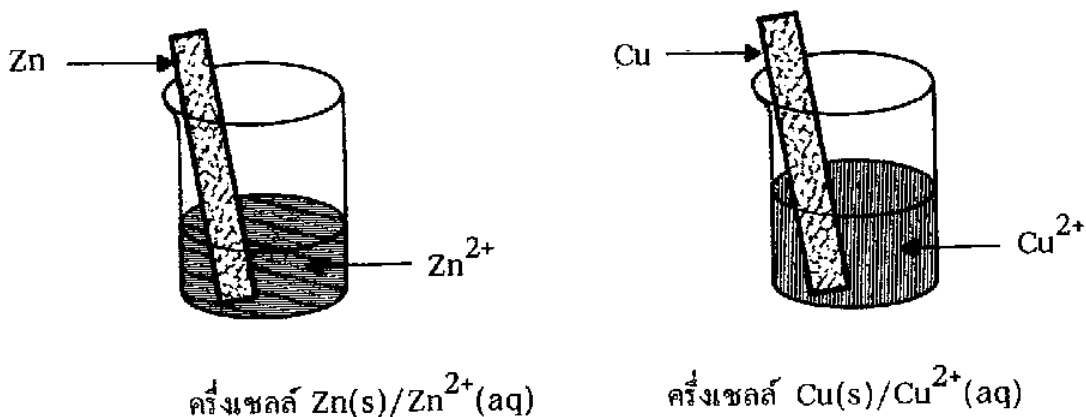
2. เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์วอลตาอิก (Voltaic cell)

เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็น พลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไป ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ 2 ครึ่งเซลล์มาต่อเข้าด้วยกัน และเชื่อมวงจรภายในให้ครบวงจรโดยใช้สะพานไอออนต่อไว้ระหว่างสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์



รูปที่ 1 แสดงอิเล็กตรอนไหลในเซลล์จากขั้วแอโนด (-) ไปยังขั้วแคโทด (+) อิเล็กตรอนเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแคโทด และอิเล็กตรอนไหลเข้าหาขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

ครึ่งเซลล์ (Half cell) คือ ระบบที่มีสารจุ่มอยู่ในไอออนของสารนั้น ถ้าสารที่จุ่มเป็นโลหะก็ใช้โลหะนั้นเป็นขั้ว เช่น Zn จุ่มใน Zn^{2+} Zn ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 2 แสดงครึ่งเซลล์สังกะสี และครึ่งเซลล์ทองแดง

แต่ถ้าสารที่จุ่มเป็นก๊าซหรือไอออนของสารในรูปสารละลาย จะต้องใช้ขั้วเฉื่อย เช่น Pt หรือ ขั้ว C (แกรไฟต์) เป็นขั้วแทน เช่น

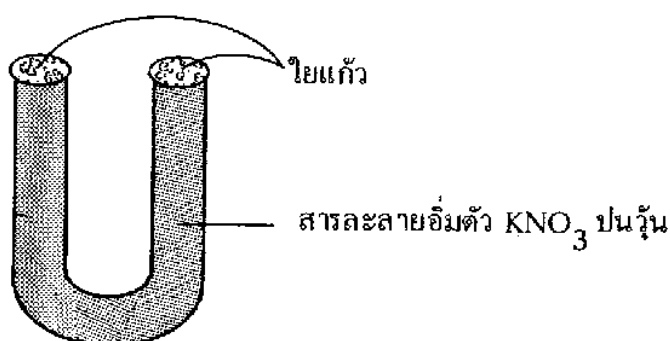
1. ก๊าซ $H_2(g)$ จุ่มใน $H^+(aq)$ โดยมี Pt เป็นขั้ว
2. ก๊าซ Cl_2 จุ่มใน $Cl^-(aq)$ โดยมี Pt เป็นขั้ว
3. $Fe^{2+}(aq)$ จุ่มในสารละลาย $Fe^{3+}(aq)$ โดยมี Pt เป็นขั้ว

สะพานไอออน (Salt bridge)

สะพานไอออน (Salt bridge) คือ ตัวเชื่อมต่อวงจรภายในของแต่ละครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันให้ครบวงจร ไอออนในแต่ละครึ่งเซลล์สามารถไหลผ่านสะพานไอออนนี้ได้ สะพานไอออนเป็น ตัวกันไม่ให้สารละลายในครึ่งเซลล์ทั้งสองผสมกัน

การสร้างสะพานไอออน

ทำได้โดยบรรจุสารละลายอิมตัวของเกลือ KNO_3 ปนุนที่ร้อนลงในหลอดแก้วรูปตัวยูให้เต็มพอดี เมื่อเย็นลงสารละลายที่ปนุนนี้จะแข็งตัวในหลอดแก้ว แต่ละปลายอุดด้วยใยแก้ว ซึ่งนำไปใส่วางค่อมให้ปลายหลอดแก้วแต่ละปลายจุ่มอยู่ในสารละลายของแต่ละครึ่งเซลล์ หลังกจากเสร็จต้องทำความสะอาดด้วยน้ำ แล้วแช่ไว้ในสารละลายอิมตัวของ KNO_3 ในน้ำ สะพานไอออนดังกล่าวสามารถนำไปใช้ซ้ำกันหลายครั้งได้



รูปที่ 3 แสดงสะพานไอออน

ในการปฏิบัติการเคมี เราทำสะพานไอออนง่าย ๆ ด้วยกระดาษกรองกว้างประมาณ 1 cm ยาว ๆ ชุบสารละลายอิมตัว KNO_3 ให้เปียกหมดทั้งแผ่น นำไปใช้แทนสะพานไอออนได้

สมบัติของสารที่ใช้ทำสะพานไอออน

1. เป็นสารประกอบไอออนิกที่ละลายน้ำแตกเป็นไอออนได้ดี มีปริมาณไอออนเกิดขึ้นมาก
2. ไอออนต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารใด ๆ ในสารละลายของครึ่งเซลล์ทั้งสอง

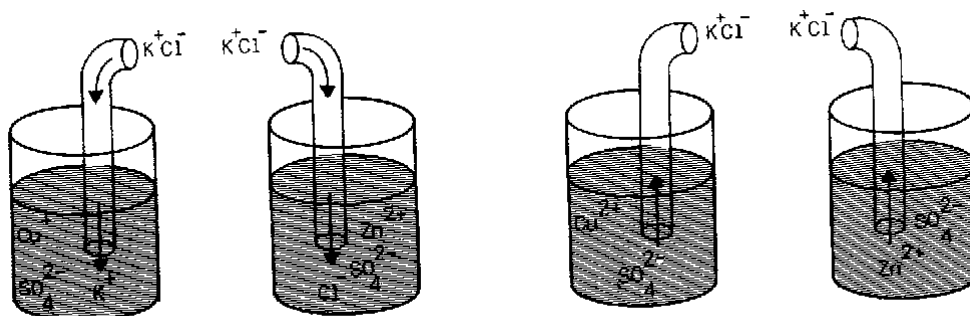
3. ไอออนบวกและลบที่แตกตัวได้จากสารต้องสามารถในการเคลื่อนที่เร็วใกล้เคียงกัน
4. สารที่ใช้ทำสะพานไอออน มีหลายชนิด เช่น KNO_3 KCl NH_4Cl
5. ต้องเป็นสารละลายอิ่มตัว ประกอบด้วยไอออนมาก

หน้าที่ของสารที่ใช้ทำสะพานไอออน

1. ทำให้ครบวงจรไฟฟ้า เพราะเชื่อมทั้งสองเซลล์เข้าด้วยกัน
2. รักษาสมดุลระหว่างไอออนบวก และไอออนลบ ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละ ครึ่งเซลล์ตลอดเวลาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิก โดยไอออนบวกและ

ไอออนลบจะเคลื่อนที่จากสะพานไอออนลงสู่สารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์ เพื่อให้ประจุในแต่ละครึ่งเซลล์สมดุล

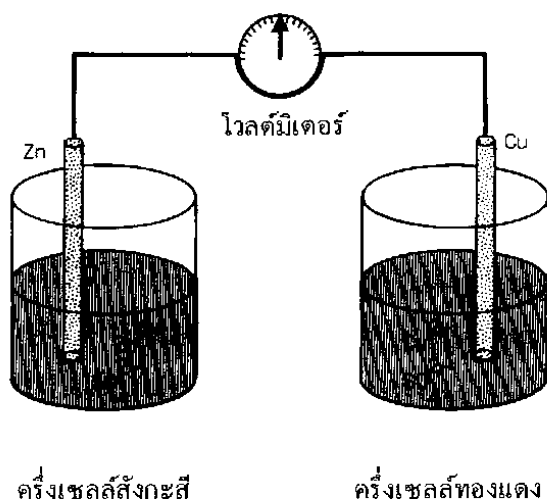
การรักษาสมดุลของประจุ ที่เกิดจากไอออนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ในแต่ละครึ่งเซลล์ ด้วยการระบายไอออน ที่ทำให้เกิดการสะสมประจุผ่านสะพานไอออนลงสู่สารละลายอีกครึ่งเซลล์หนึ่ง เพื่อให้ประจุในสารละลายแต่ละครึ่งเซลล์สมดุล เช่น เซลล์กัลวานิก ครึ่งเซลล์ที่เกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันสารละลายในครึ่งเซลล์จะเกิดการสะสมประจุบวก เนื่องจากมีปริมาณไอออนบวกมากกว่าปริมาณไอออนลบเพื่อรักษาสมดุลประจุ จึงระบายไอออนบวก ขึ้นสู่สะพานไอออนไป



รูปที่ 4 การรักษาสมดุลของประจุที่เกิดจากไอออนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแต่ละครึ่งเซลล์

เซลล์กัลวานิกกับสะพานไอออน

เซลล์กัลวานิกที่เกิดจากครึ่งเซลล์สังกะสี กับครึ่งเซลล์ทองแดง ถ้าไม่มีสะพานไอออนเชื่อมต่อระหว่างสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์ เซลล์จะไม่ทำงาน ซึ่งจะอธิบายได้ดังนี้

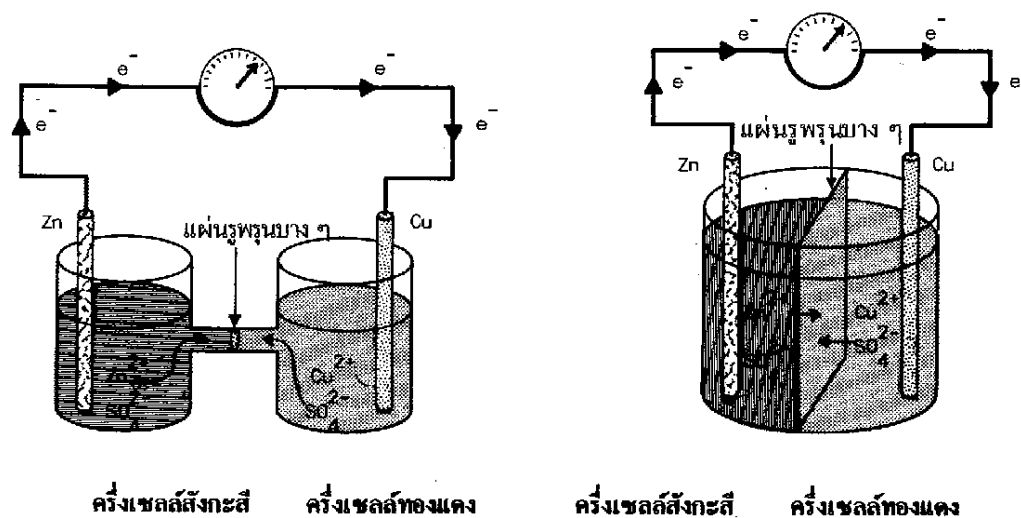


รูปที่ 5 เซลล์กัลวานิกที่ไม่มีสะพานไอออน

เซลล์กัลวานิกที่ไม่มีสะพานไอออนต่อกัน จะพบว่า ที่ครึ่งเซลล์สังกะสี ขั้วสังกะสี สังกะสีอะตอมมีแนวโน้มเอียงในการให้อิเล็กตรอน เกิดเป็นไอออนบวก (Zn^{2+}) ลงในสารละลาย สำหรับครึ่งเซลล์ทองแดง ทองแดงไอออน (Cu^{2+}) รับอิเล็กตรอนเป็นโลหะทองแดงเกาะที่ขั้วทองแดง ทำให้ปริมาณทองแดงไอออนในสารละลายลดลง ดังนั้น สารละลายในครึ่งเซลล์สังกะสีเกิดการสะสมประจุบวกมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) ที่ขั้วเป็นไอออนบวกมากขึ้น และประจุบวกของ Zn^{2+} มีปริมาณมากขึ้นจะไปดึงดูดอิเล็กตรอนที่เกิดจากอะตอมของสังกะสีที่ขั้วโลหะสังกะสีให้หลุดออก และแรงดึงดูดของประจุบวกของ Zn^{2+} ในสารละลายนี้มากกว่า ทำให้อิเล็กตรอนไหลออกสู่วงจรภายนอก จาก Zn ไปยัง Cu ไม่ได้ เซลล์จึงไม่ทำงาน ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

ถ้าเซลล์กัลวานิกนี้มีสะพานไอออนต่อเชื่อมระหว่างสารละลายในครึ่งเซลล์ทั้งสองจะพบว่า ไอออนของสารในสะพานไอออนจะเคลื่อนที่ลงสู่สารละลายในเซลล์เพื่อดุลประจุ เช่น เคลื่อนไอออนลบในสะพานไอออนลงไปที่ดุลประจุที่เกิดจากสังกะสี ไอออนในครึ่งเซลล์สังกะสี และเคลื่อนไอออนบวกในสะพานไอออนลงไปที่ดุลประจุที่เกิดจากไอออนลบในครึ่งเซลล์ทองแดง ทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนไหลในวงจรจากขั้วสังกะสีไปยังขั้วทองแดง เซลล์กัลวานิกนี้จะทำงานได้

สำหรับเซลล์กัลวานิกบางชนิดไม่มีสะพานไอออนเชื่อมต่อระหว่างสารละลายในแต่ละ ครึ่งเซลล์เพื่อดุลประจุ แต่ใช้แผ่นรูพรุนบาง ๆ (Porous disk) คั่นอยู่ระหว่างสารละลายในครึ่งเซลล์ทั้ง 2 ทำหน้าที่ดุลประจุป้องกันไม่ให้ครึ่งเซลล์เกิดการสะสมประจุโดยไอออนที่ทำให้เกิดการสะสมประจุในสารละลายของครึ่งเซลล์หนึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านรูเล็กของแผ่นรูพรุนบาง ๆ ไปยังสารละลายอีกครึ่งเซลล์หนึ่งได้



รูปที่ 6 เซลล์กัลวานิกชนิดที่ใช้แผ่นรูพรุนบาง ๆ

ครึ่งเซลล์สังกะสี

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน $\text{Zn (s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^-$; Zn^{2+} เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการสะสมประจุบวกของ Zn^{2+}

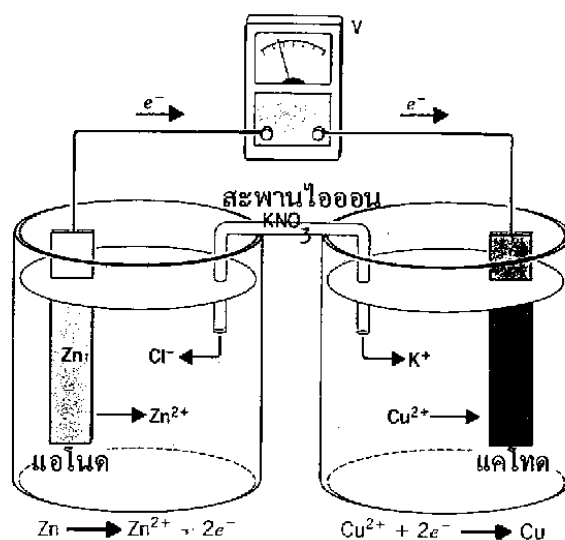
ครึ่งเซลล์ทองแดง

เกิดปฏิกิริยารีดักชัน $\text{Cu}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu (s)}$; Cu^{2+} ลดลง แต่ SO_4^{2-} เท่าเดิมเป็นผลให้ SO_4^{2-} มากกว่าเกิดการสะสมประจุลบของ SO_4^{2-}

ดังนั้น Zn^{2+} จะเคลื่อนที่ผ่านแผ่นรูพรุนบาง ๆ ไปยังสารละลายของครึ่งเซลล์ทองแดง และ SO_4^{2-} จะเคลื่อนที่ผ่านแผ่นรูพรุนบาง ๆ จากสารละลายในครึ่งเซลล์ทองแดงไปยังสารละลายในครึ่งเซลล์สังกะสี ทำให้เกิดการดุลประจุขึ้น

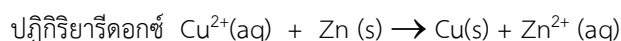
ตัวอย่างเซลล์กัลวานิก

1. **เซลล์ดาเนียลล์** เป็นเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยครึ่งเซลล์สังกะสี ($\text{Zn(s)}/\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$) ต่อกับครึ่งเซลล์ทองแดง ($\text{Cu (s)}/\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$) ให้ครบวงจรดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่งที่โลหะ Zn ถูกออกซิไดส์เป็น Zn^{2+} ที่ขั้วแอโนด

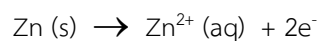
และ Cu^{2+} ถูกรีดิวซ์เป็นโลหะ Cu ที่แคโทด



เมื่อต่อครึ่งเซลล์ทองแดงและครึ่งเซลล์สังกะสีเข้าด้วยกัน โดยเชื่อมต่อด้วยสะพานไอออนในสารละลายแต่ละครึ่งเซลล์ให้ครบวงจรแล้ว ต่อโวลต์มิเตอร์กับวงจรภายนอก จะพบว่าเข็มโวลต์มิเตอร์จะเบนจากขั้ว Zn ไปยัง Cu อ่านศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ได้เท่ากับ 1.10 โวลต์ และสักครู่หนึ่งพบว่าขั้วโลหะ Zn สีกกร่อนไปส่วนขั้วโลหะ Cu มีคราบสีน้ำตาลแดงมาเกาะ สารละลายสีน้ำเงินจางลง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้ว่า

1. การที่เข็มโวลต์มิเตอร์เบนจากขั้ว Zn ไปยังขั้ว Cu แสดงว่าเกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากขั้ว Zn ไปยังขั้ว Cu โดยมี Zn ให้อิเล็กตรอนส่วน Cu^{2+} รับอิเล็กตรอน

2. Zn ให้อิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด (ขั้ว Zn) ดังสมการ



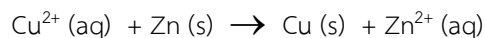
Zn สีกกร่อนเกิด Zn^{2+} ลงในสารละลายปริมาณมากขึ้น ทำให้เกิดการสะสมประจุบวก สะพานไอออนจะเคลื่อนไอออนลบ (NO_3^-) ลงในสารละลายเพื่อดุลประจุ

3. อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากขั้ว Zn มายังขั้ว Cu Cu^{2+} ในครึ่งเซลล์ทองแดงจะไปรับอิเล็กตรอนเป็นโลหะ Cu ทำให้มีมวลเพิ่มขึ้น เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่แคโทด (ขั้ว Cu) ดังสมการ



เนื่องจาก Cu^{2+} รับอิเล็กตรอนเป็นโลหะ Cu , Cu^{2+} ในสารละลายมีปริมาณลดลง ซึ่งเดิมมีไอออนลบ (SO_4^{2-}) และไอออนบวก (Cu^{2+}) สมดุลกันอยู่ เป็นผลให้เกิดการสะสมประจุลบ (SO_4^{2-}) สะพานไอออนจะเคลื่อนไอออนบวก (K^+) ลงในสารละลาย เพื่อรักษาสมดุลของประจุ จึงทำให้อิเล็กตรอนไหลในวงจรได้ตลอด

4. เมื่อรวมปฏิกิริยาในแต่ละครึ่งเซลล์ที่เกิดขึ้นเข้าด้วยกัน จะได้ปฏิกิริยารีดอกซ์ดังสมการต่อไปนี้

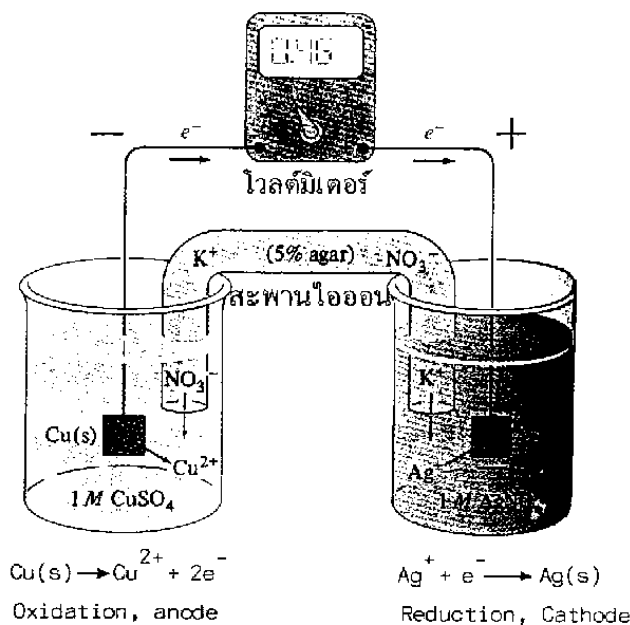


5. ขั้ว Zn เป็นขั้วที่อิเล็กตรอนไหลออก ซึ่งเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเรียกว่าขั้วนี้ว่า ขั้วแอโนด หรือทำหน้าที่เป็นขั้วลบ $\rightarrow$ ให้อิเล็กตรอน

6. ขั้ว Cu เป็นขั้วที่อิเล็กตรอนไหลเข้า ซึ่งเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และเรียกว่าขั้วนี้ว่า ขั้วแคโทด หรือทำหน้าที่เป็นขั้วบวก $\rightarrow$ รับอิเล็กตรอน

เซลล์กัลวานิกนี้ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ทองแดงและครึ่งเซลล์สังกะสี มีชื่อเรียกเฉพาะว่า เซลล์ดาเนียลล์ (Daniel cell) ซึ่งอาจจะใช้ภาชนะพูน หรือแผ่นพูนชั้นสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์ทั้งสองแทนสะพานไอออน

2. **เซลล์ทองแดง - เงิน** เป็นเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ทองแดง ($\text{Cu}(\text{s}) / \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$) ต่อกับครึ่งเซลล์เงิน ($\text{Ag}(\text{s}) / \text{Ag}^+(\text{aq})$) ดังรูปที่ 8



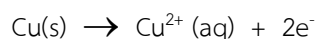
รูปที่ 8 เซลล์ทองแดง-เงิน

เมื่อต่อครึ่งเซลล์ทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยเชื่อมด้วยสะพานไอออนในสารละลายแต่ละครึ่งเซลล์ จะพบว่าเข็มของโวลต์มิเตอร์เบนจากขั้วทองแดงไปขั้วเงิน อ่านศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ได้เท่ากับ 0.46 โวลต์ และสักครู่พบว่าโลหะทองแดงสึกกร่อน ส่วนขั้วโลหะเงินมีสารสีเทาตามมาเกาะ สารละลายสีน้ำเงินเข้มข้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอธิบายได้ว่า

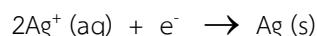
1. การที่เข็มโวลต์มิเตอร์เบนจากขั้วทองแดงไปยังขั้วเงินแสดงว่า เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากขั้วทองแดงไปยังขั้วเงิน โดยมี Cu ให้อิเล็กตรอนส่วน Ag^+ รับอิเล็กตรอน

2. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

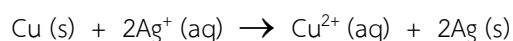
ขั้วทองแดงเป็นแอโนด (ขั้วลบ) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ขั้วเงิน เป็นขั้วแคโทด (ขั้วบวก) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน



ปฏิกิริยาสุทธิ



ลักษณะสำคัญของเซลล์กัลวานิก

- กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นกระแสตรง คือ กระแสอิเล็กตรอน
- อิเล็กตรอนจะไหลจากครึ่งเซลล์ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำไปสู่ครึ่งเซลล์ที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง
- เซลล์กัลวานิกต่างชนิดกัน จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ต่างกัน และจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับครึ่งเซลล์ที่นำมาต่อกัน
- เซลล์กัลวานิกที่มีขั้ววงไว้ในครึ่งเซลล์ที่แอโนด (ขั้วลบ) โลหะนั้นจะสึกกร่อนมวลลดลง เพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ให้อิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวก ส่วนขั้วแคโทด (ขั้วบวก) จะมีมวลมากขึ้นเพราะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน)
- ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิกมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์
- เมื่อเกิดอิเล็กตรอนไหลนาน ๆ ในวงจรของเซลล์กัลวานิก จะเกิดการสะสมประจุใน ครึ่งเซลล์กล่าวคือ ครึ่งเซลล์แอโนดที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดการสะสมประจุบวก และ ครึ่งเซลล์แคโทด เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จะเกิดการสะสมประจุลบ ทั้งนี้เนื่องจากสะพานไอออนไม่สามารถรักษาภาวะสมดุลของประจุไว้ได้ทัน ทำให้อิเล็กตรอนไหลในวงจรลดลง เป็นผลให้ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ลดลงด้วย และเมื่อแต่ละครึ่งเซลล์สะสมประจุจนถึงขีดหนึ่งจะไม่มีอิเล็กตรอนไหลออกนอกวงจร ขณะนั้นเข็มโวลต์มิเตอร์จะชี้ที่เลขศูนย์ ทั้งนี้เพราะขณะนั้นเกิดภาวะสมดุลเคมีขึ้นในแต่ละครึ่งเซลล์นั้น

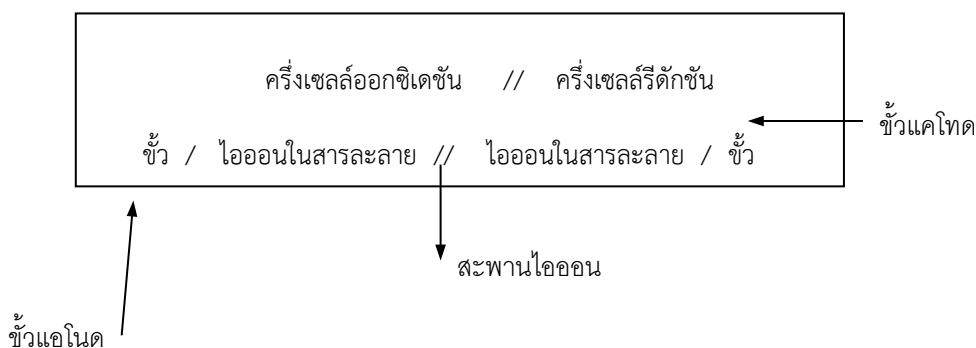
3. แผนภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Cell Diagram)

คือ กลุ่มสัญลักษณ์ที่แสดงเซลล์กัลวานิกหนึ่ง ๆ ซึ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของครึ่งเซลล์ องค์ประกอบของแต่ละครึ่งเซลล์ และขั้วไฟฟ้าของเซลล์

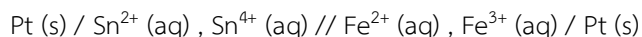
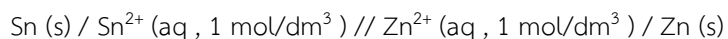
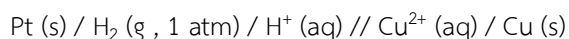
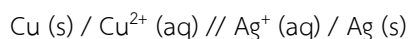
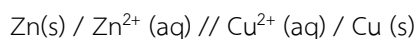
หลักการเขียนแผนภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมี มีวิธีการเขียนดังนี้

1. เขียนครึ่งเซลล์ออกซิเดชันทางซ้าย และครึ่งเซลล์รีดักชันทางขวา โดยในครึ่งเซลล์ออกซิเดชันให้เขียนสารที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าก่อนแล้วจึงตามด้วย สารละลายไอออนของขั้ว ไฟฟ้านั้น ส่วนในครึ่งเซลล์รีดักชันให้เขียนสารที่ทำหน้าที่ขั้วไฟฟ้าไว้ด้านขวาสุดดังแผนภาพ
2. ถ้าสารต่างสถานะกันก็ให้คั่นด้วยเครื่องหมาย / และถ้าสถานะเดียวกันก็ใช้เครื่องหมาย ,
3. สะพานไอออนให้เขียนไว้ตรงกลางระหว่างเซลล์ทั้งสอง แทนด้วยเครื่องหมาย //
4. จะเขียนความเข้มข้นของสารละลาย หรือความดันของก๊าซได้โดยใส่ไว้ในวงเล็บตามหลังไอออนนั้น

แผนภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมี



ตัวอย่างแผนภาพของเซลล์กัลวานิกบางชนิด



ตัวอย่างที่ 1_ กำหนดแผนภาพเซลล์กัลวานิกเป็น

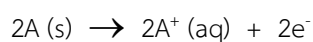


จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ก. จงระบุขั้วแอโนดและแคโทด
- ข. บอกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ และสารที่เป็นตัวรีดิวซ์
- ค. เขียนสมการ แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละครึ่งเซลล์
- ง. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น

วิธีทำ

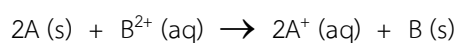
- ก. ขั้วแอโนด A (s) ขั้วแคโทด B (s)
- ข. A เป็นตัวรีดิวซ์ B²⁺ เป็นตัวออกซิไดซ์
- ค. ครึ่งเซลล์ A เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังนี้



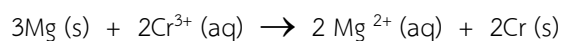
ครึ่งเซลล์ B เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ดังนี้



- ง. สมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ตัวอย่างที่ 2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิกเป็นดังนี้



จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ก. เขียนแผนภาพของเซลล์กัลวานิกนี้ 2
- ข. บอกขั้วแอโนดและขั้วแคโทด 2
- ค. เขียนสมการของปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน 4

วิธีทำ

0

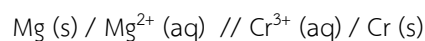
0

- ก. $3Mg (s) + 2Cr^{3+} (aq) \rightarrow 2A^+ (aq) + 2Cr (s)$

Mg เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพราะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

Cr^{3+} เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เพราะมีเลขออกซิเดชันลดลง

เขียนแผนภาพของเซลล์กัลวานิกได้ดังนี้



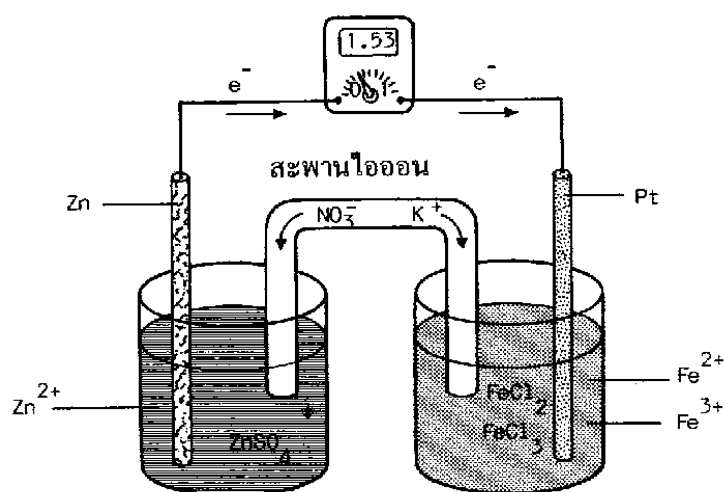
ข. ขั้วบวก เป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน หรือรับอิเล็กตรอน คือ ขั้ว Cr

ขั้วลบ เป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือให้อิเล็กตรอน คือ ขั้ว Mg

ค. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ; $3\text{Mg (s)} \rightarrow 3\text{Mg}^{2+} (\text{aq}) + 6\text{e}^-$

ปฏิกิริยารีดักชัน ; $2\text{Cr}^{3+} (\text{aq}) + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr (s)}$

ตัวอย่างที่ 3 เซลล์กัลวานิกที่ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ $\text{Pt (s)} / \text{Fe}^{2+} (\text{aq}), \text{Fe}^{3+} (\text{aq})$ และครึ่งเซลล์ $\text{Zn (s)} / \text{Zn}^{2+} (\text{aq})$ ต่อกันดังรูป



จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ระบุขั้วลบและขั้วบวกของเซลล์

ข. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน

ค. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

ง. เขียนแผนภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

วิธีทำ

ก. ขั้วลบคือขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ขั้ว Zn ในครึ่งเซลล์ $\text{Zn (s)} / \text{Zn}^{2+} \text{ (aq)}$

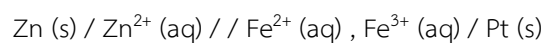
ขั้วบวก คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน คือ ขั้ว Pt ในครึ่งเซลล์ $\text{Pt (s)} / \text{Fe}^{2+} \text{ (aq)}, \text{Fe}^{3+} \text{ (aq)}$

ข. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ $\text{Zn (s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+} \text{ (aq)} + 2 \text{e}^-$

ปฏิกิริยารีดักชัน คือ $2\text{Fe}^{3+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} \text{ (aq)}$

ค. ปฏิกิริยารีดอกซ์ $\text{Zn (s)} + 2\text{Fe}^{3+} \text{ (aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{Fe}^{2+} \text{ (aq)}$

ง. แผนภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมี คือ





ใบกิจกรรมที่ 3

เรื่อง การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิกได้
2. บอกทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิกได้
3. บอกได้ว่าโลหะหรือโลหะไอออนใดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน
4. บอกหน้าที่ของสะพานไอออนได้

เวลาที่ใช้ทำกิจกรรม 50 นาที (ดูรายการสารเคมีและอุปกรณ์ในหนังสือเรียน)

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. นักเรียนแบ่งกลุ่มๆ ละ 5-6 คน
2. ศึกษาขั้นตอนการทดลองต่อไปนี้อย่างละเอียดแล้วลงมือปฏิบัติกิจกรรม
 - 2.1 จุ่มแผ่นทองแดงขนาด $0.5\text{ cm} \times 7.0\text{ cm}$ ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 cm^3 ที่มีสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 mol/dm^3 อยู่ประมาณ 20 cm^3 เขียนฉลากที่บีกเกอร์ว่า $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ และจุ่มแผ่นสังกะสีขนาด $0.5\text{ cm} \times 7.0\text{ cm}$ ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย ZnSO_4 เข้มข้น 1 mol/dm^3 อยู่ประมาณ 20 cm^3 และเขียนฉลากที่บีกเกอร์ว่า $\text{Zn(s)} | \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$
 - 2.2 นำบีกเกอร์ทั้งสองในข้อ 2.1 มาวางชิดกัน โดยใช้สะพานไอออน ซึ่งทำจากกระดาษกรองขนาด $1.0\text{ cm} \times 12.0\text{ cm}$ ชุบสารละลาย KCl อิมมิดิเจนเปียกชุ่มทั้งแผ่นวางพาดปาก บีกเกอร์ทั้งสอง โดยให้ปลายข้างหนึ่งจุ่มอยู่ในสารละลาย ZnSO_4 และอีกข้างหนึ่งจุ่มอยู่ในสารละลาย CuSO_4
 - 2.3 ต่อแผ่นทองแดงและสังกะสีเข้ากับมิเตอร์วัดความต่างศักย์ สังเกตทิศทางการเบนของเข็มและอ่านค่าความต่างศักย์
 - 2.4 สลับขั้วของมิเตอร์ที่ต่อกับทองแดงไปสังกะสี และขั้วที่ต่อกับสังกะสีไปต่อกับทองแดง สังเกตการเบนของเข็มของมิเตอร์ และอ่านค่าความต่างศักย์
 - 2.5 นำบีกเกอร์มาอีกสองใบ ใบหนึ่งบรรจุสารละลาย MgSO_4 และจุ่มแผ่น Mg ลงไปและเขียนฉลากที่บีกเกอร์ว่า $\text{Mg(s)} | \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ อีกใบหนึ่งบรรจุสารละลาย FeSO_4 และจุ่มแผ่นเหล็กลงไปและเขียนฉลากที่บีกเกอร์ว่า $\text{Fe(s)} | \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ โดยใช้ขนาดของโลหะ ความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายเท่ากับในข้อ 1 ทุกประการ แล้วนำบีกเกอร์ในข้อ 2.1 และข้อ 2.5 มาต่อกันเป็นคู่ดังนี้



จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 และ 2.4 ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนคู่ของ ปีกเกอร์ต้องเปลี่ยนสะพานไอออนใหม่ สังเกตว่าเข็มของมิเตอร์เบนไปทางขั้วโลหะใด และอ่านค่าความต่างศักย์

3.นักเรียนนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน แล้วร่วมกันอภิปรายผลการทดลอง และหาข้อสรุป

ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

โลหะและโลหะไอออนคู่ที่ต่อกัน	ขั้วโลหะที่เข็มของมิเตอร์ เบนเข้าหา	ความต่างศักย์ (V)
$\text{Cu(s)} \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Zn(s)} \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$	ทองแดง	1.1
$\text{Cu(s)} \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Mg(s)} \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$	ทองแดง	2.7
$\text{Zn(s)} \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Mg(s)} \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$	สังกะสี	1.6
$\text{Cu(s)} \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Fe(s)} \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	ทองแดง	0.7
$\text{Zn(s)} \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Fe(s)} \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	เหล็ก	0.3
$\text{Fe(s)} \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Mg(s)} \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$	เหล็ก	1.9





แบบบันทึกการทดลอง กิจกรรมที่ 3

การทดลองเรื่อง.....

จุดประสงค์ของการทดลอง

.....

.....

สมาชิกในกลุ่ม

.....

.....

วิธีการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

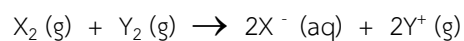




ใบงานที่ 3 เรื่อง เซลล์กัลวานิก

คำชี้แจง จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

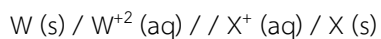
1. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิกเป็นดังนี้



จงตอบคำถามต่อไปนี้

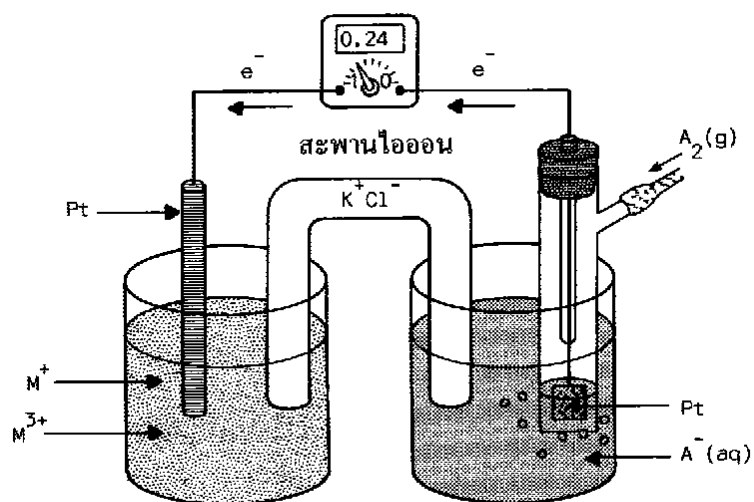
- ก. จงระบุขั้วแอโนดและแคโทด ค. จงเขียนปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน
 ข. สารใดเป็นตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์ ง. เขียนแผนภาพของเซลล์กัลวานิกนี้

2. แผนภาพเซลล์กัลวานิก 2 เซลล์ เป็นดังนี้



เมื่อนำครึ่งเซลล์ $\text{Y}(\text{s}) / \text{Y}^{3+}(\text{aq})$ มาต่อกับครึ่งเซลล์ $\text{W}(\text{s}) / \text{W}^{+2}(\text{aq})$ เป็นเซลล์กัลวานิกที่มีแผนภาพเซลล์เป็นอย่างไร
 ? และเขียนสมการที่เกิดขึ้นด้วย

3. เซลล์กัลวานิกที่เกิดจากครึ่งเซลล์ $\text{Pt}(\text{s}) / \text{A}_2(\text{g}) / \text{A}^-(\text{aq})$ กับครึ่งเซลล์ $\text{Pt}(\text{s}) / \text{M}^+(\text{aq}) / \text{M}^{3+}(\text{aq})$ ดังรูป



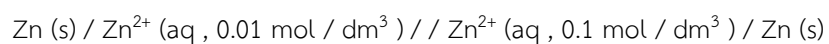
จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. บอกขั้วแอโนด และขั้วแคโทด

ค. เขียนสมการของปฏิกิริยารีดอกซ์

ข. เขียนสมการของปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน ง. เขียนแผนภาพของเซลล์กัลวานิก

4. กำหนดแผนภาพของเซลล์กัลวานิกต่อไปนี้

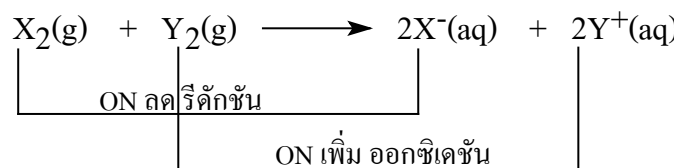


จงเขียนรูปและแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์กัลวานิกนี้ และบอกชื่อประเภทของเซลล์กัลวานิกนี้ด้วย พร้อมทั้งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละครึ่งเซลล์นี้

(หมายเหตุ นักเรียนควรฝึกทำแบบฝึกหัดที่ 16.3 ในหนังสือเรียน เพิ่มเติม)

เฉลยใบงานที่ 3 เรื่อง เซลล์กัลวานิก

1. แนวคิด



ก. ขั้วแอโนดคือ Pt ในครึ่งเซลล์ $\text{Pt}(\text{s}) / \text{Y}_2(\text{g}) / \text{Y}^+(\text{aq})$

ขั้วแคโทด คือ Pt ในครึ่งเซลล์ $\text{Pt}(\text{s}) / \text{X}_2(\text{g}) / \text{X}^-(\text{aq})$

ข. ตัวออกซิไดส์ X_2 และตัวรีดิวซ์ Y_2

ค. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ $\text{Y}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{Y}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^-$

ปฏิกิริยารีดักชัน คือ $\text{X}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{X}^-(\text{aq})$

ง. แผนภาพของเซลล์คือ



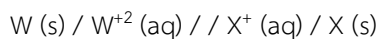
2. เฉลย



- จากแผนภาพเซลล์แสดงว่า ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $\text{X}(\text{s}) / \text{X}^+(\text{aq})$ น้อยกว่าครึ่งเซลล์ $\text{Y}(\text{s}) / \text{Y}^{3+}(\text{aq})$

- ปฏิกิริยารีดอกซ์คือ $3\text{X}(\text{s}) + \text{Y}^{3+}(\text{aq}) \longrightarrow 3\text{X}^+(\text{aq}) + \text{Y}(\text{s})$

แสดงว่า Y^{3+} รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า X^+

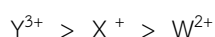


- จากแผนภาพเซลล์แสดงว่า ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ $\text{W}(\text{s}) / \text{W}^{2+}(\text{aq})$ น้อยกว่าครึ่งเซลล์ $\text{X}(\text{s}) / \text{X}^+(\text{aq})$

- ปฏิกิริยารีดอกซ์คือ $\text{W}(\text{s}) + 2\text{X}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{W}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{X}(\text{s})$

แสดงว่า X^+ รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า W^{2+}

เมื่อเรียงลำดับความสามารถในการชิงอิเล็กตรอนจากมากไปน้อย จะได้ดังนี้



เซลล์กัลวานิกที่ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ $\text{Y}(\text{s}) / \text{Y}^{3+}(\text{aq})$ กับครึ่งเซลล์ $\text{W}(\text{s}) / \text{W}^{2+}(\text{aq})$

แผนภาพเซลล์คือ $\text{W}(\text{s}) / \text{W}^{2+}(\text{aq}) // \text{Y}^{3+}(\text{aq}) / \text{Y}(\text{s})$

ปฏิกิริยารีดอกซ์คือ $2\text{Y}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{W}(\text{s}) \longrightarrow 2\text{Y}(\text{s}) + 3\text{W}^{2+}(\text{aq})$

3. เฉลย

ก. ขั้วแอโนด คือ Pt ในครึ่งเซลล์ $\text{Pt (s)} / \text{A}_2 (\text{g}) / \text{A}^- (\text{aq})$

ขั้วแคโทด คือ Pt ในครึ่งเซลล์ $\text{Pt (s)} / \text{M}^+ (\text{aq}), \text{M}^{3+} (\text{aq})$

ข. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ $2\text{A}^- (\text{aq}) \rightarrow \text{A}_2 (\text{g}) + 2\text{e}^-$

ปฏิกิริยารีดักชัน คือ $\text{M}^{3+} (\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{M}^+ (\text{aq})$

ค. ปฏิกิริยารีดอกซ์ $2\text{A}^- (\text{aq}) + \text{M}^{3+} (\text{aq}) \rightarrow \text{A}_2 (\text{g}) + \text{M}^+ (\text{aq})$

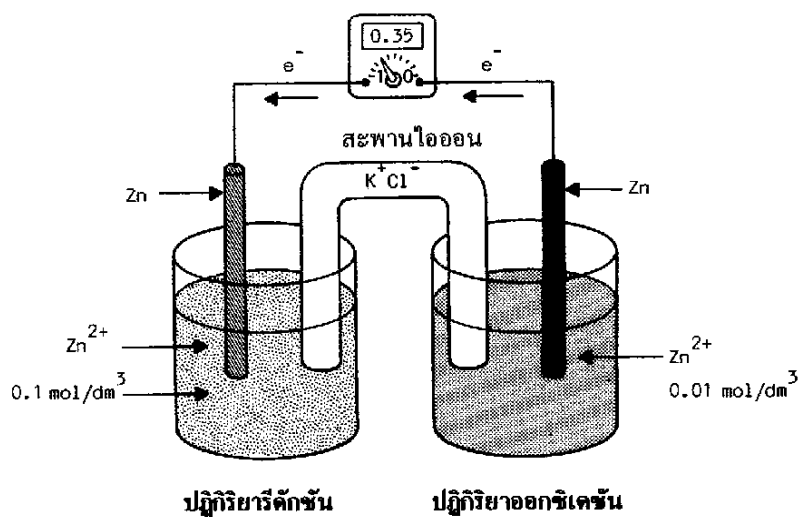
ง. แผนภาพเซลล์ $\text{Pt (s)} / \text{A}_2 (\text{g}) / \text{A}^- (\text{aq}) // \text{M}^+ (\text{aq}), \text{M}^{3+} (\text{aq}) / \text{Pt (s)}$

4.เฉลย

แผนภาพของเซลล์กัลวานิก

$\text{Zn (s)} / \text{Zn}^{2+} (\text{aq}, 0.01 \text{ mol} / \text{dm}^3) // \text{Zn}^{2+} (\text{aq}, 0.1 \text{ mol} / \text{dm}^3) / \text{Zn (s)}$

รูปของเซลล์กัลวานิก



ปฏิกิริยารีดักชัน คือ $\text{Zn}^{2+} (\text{aq}, 0.1 \text{ mol} / \text{dm}^3) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn (s)}$

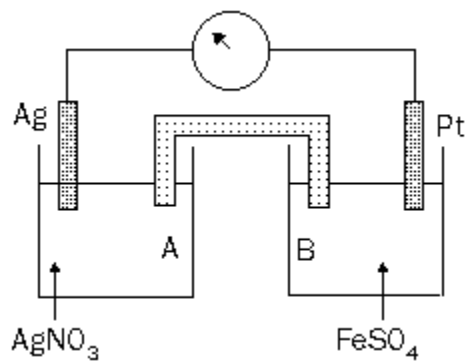
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน $\text{Zn (s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+} (\text{aq}, 0.01 \text{ mol} / \text{dm}^3) + 2\text{e}^-$

เซลล์กัลวานิกนี้เป็นเซลล์ความเข้มข้น



แบบทดสอบชุดที่ 3 เรื่อง เซลล์กัลวานิก

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวเท่านั้น



คำชี้แจง จากรูปเซลล์ไฟฟ้าเคมีต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อที่ 1 - 3

1. สะพานไอออนควรทำด้วยสารละลายข้อใด

- ก. สารละลายอิ่มตัว KCl ค. สารละลายอิ่มตัว NH_4NO_3 หรือ KNO_3
ข. สารละลายอิ่มตัว KNO_3 หรือ NH_4Cl ง. ข้อ ก, ข, และ ค

2. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง

- ก. Ag^+ เป็นตัวรีดิวซ์ดีกว่า Fe^{2+}
ข. Fe^{2+} เป็นตัวออกซิไดซ์ดีกว่า Ag^+
ค. ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน B มากกว่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ A
ง. ปฏิกิริยาของเซลล์ไฟฟ้าคือ $\text{Fe}^{2+} + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Ag}$

3. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในครึ่งเซลล์ออกซิเดชันคือข้อใด ?

- ก. $\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$ ค. $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
ข. $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$ ง. $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

4. สมมติว่าสะพานไอออนใช้สารละลายอิ่มตัว X^+Y^- ข้อใดแสดงการเคลื่อนที่ของไอออนในสะพาน ไอออนได้ถูกต้อง

- ก. Y^- เคลื่อนที่ไปสู่ครึ่งเซลล์ A ส่วน X^+ เคลื่อนที่สู่ B
ข. X^+ เคลื่อนที่ไปสู่ครึ่งเซลล์ A ส่วน Y^- เคลื่อนที่สู่ B
ค. ทั้ง X^+ และ Y^- ต่างก็เคลื่อนที่ไปมาระหว่างครึ่งเซลล์ทั้งสอง
ง. ไอออนในสะพานไอออนไม่เคลื่อนที่ลงในครึ่งเซลล์ทั้งสอง เพียงแต่ให้อิเล็กตรอนผ่านเท่านั้น

5. ครึ่งเซลล์ใดที่ขั้วโลหะสึกกร่อนเมื่อใช้เซลล์ไฟฟ้าไปนานๆ

- ก. แอนโนด ค. ทั้งแอโนดและแคโทด
ข. แคโทด ง. ไม่มีข้อใดถูกต้อง

6. ข้อความที่เกี่ยวข้องกับเซลล์กลวานิกต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง

- รีดักชันเกิดที่แคโทด
- แคโทดเป็นขั้วบวกและแอโนดเป็นขั้วลบ
- พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี
- อิเล็กตรอนไหลผ่านวงจรภายนอกจากขั้วลบไปยังขั้วบวก

7. ปฏิกิริยาในเซลล์ไฟฟ้าเคมีเข้าสู่สมดุล เพราะ

- ก. ไอออนในครึ่งเซลล์ทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน
- ข. ไอออนในครึ่งเซลล์ทั้งสองมีความเข้มข้นเท่ากัน
- ค. ไอออนในครึ่งเซลล์ทั้งสองมีปริมาณเท่ากัน
- ง. อิเล็กโทรดทั้งสองมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

8. ในการทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างเซลล์ $\text{Zn(s)} | \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$
ข้อใดไม่ถูกต้อง

- ก. ใช้สะพานไอออนที่ทำจากกระดาษกรองจุ่มสารละลาย KCl
- ข. เข็มของมิเตอร์เบนจากขั้วสังกะสีไปยังขั้วทองแดง
- ค. ใช้ถ่านไฟฉายเป็นแหล่งจ่ายไฟ
- ง. ขั้วทองแดงเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

9. ปฏิบัติงานได้นำไปสร้างเซลล์กลาวานิกได้

- ဂ. $\text{Cu(s)} + \text{Ni}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ni(s)}$
- ဈ. $2\text{Cl}^{-}(\text{aq}) + \text{Br}_2(\text{l}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{Br}^{-}(\text{aq})$
- ဏ. $2\text{I}^{-}(\text{aq}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{I}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$
- ည. $2\text{H}^{+}(\text{aq}) + 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$

10. ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในเส้นลวดที่ต่อระหว่าง Cu กับ Ag ถ้า.....

- ก. ใช้ลวดสังกะสีแทนลวดทองแดง
- ข. ใช้สารละลายคอปเปอร์(II) ซัลเฟต แทนสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด
- ค. ใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟตแทนสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด
- ง. ใช้กระบอกแก้วแทนภาชนะรูปกรวย

เฉลยแบบทดสอบชุดที่ 3 เรื่อง เซลล์กัลวานิก

- | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1) ข้อ ง | 2) ข้อ ง | 3) ข้อ ข | 4) ข้อ ข |
| 5) ข้อ ก | | | |
| 6) ข้อ ค | 7) ข้อ ง | 8) ข้อ ค | 9) ข้อ ค |
| 10) ข้อ ง | | | |



แบบสังเกต ด้านจิตพิสัย 5 ระดับ

ลำดับ ที่	ชื่อ - สกุล	E_PLC พฤติกรรมจิตพิสัย/ระดับคะแนน			
		มุ่งมั่นตั้งใจ ใส่ใจ มีความกระตือรือร้นและแสดงออกถึงความสนใจ ศึกษาเรียนรู้ตลอดกระบวนการในทุกรูปแบบการเรียนรู้ (5 คะแนน)	มีวินัย มีความรับผิดชอบในการงานที่ได้รับมอบหมาย เสร็จตามเวลาที่กำหนด มีคุณภาพ (5 คะแนน)	ใฝ่เรียนรู้ ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้กับผู้อื่นและเพื่อนร่วมชั้นเรียน (5 คะแนน)	รวม
1.					
2.					
3.					

หัวข้อที่ประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน
ความมุ่งมั่นในการทำงาน ตั้งใจ ใส่ใจและแสดงออกถึงความสนใจศึกษาเรียนรู้ตลอดกระบวนการในทุกรูปแบบการเรียนรู้	5 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ สนใจตลอดกระบวนการ 4 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ สนใจตลอดกระบวนการบางช่วง 3 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ 2 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ ไม่สนใจ 1 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น แต่ไม่ตั้งใจ
ใฝ่เรียนรู้ มีความร่วมมือในการทำงาน ร่วมมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้กับผู้อื่นและเพื่อนร่วมชั้นเรียน	5 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้เป็นอย่างดีเยี่ยม 4 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้เป็นอย่างดี 3 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ระดับปานกลาง 2 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้เป็นบางกิจกรรม 1 คะแนน = ร่วมมือ และปฏิบัติกิจกรรมน้อยไม่ต่อเนื่อง
มีวินัย ความเป็นระเบียบเรียบร้อย มีความรับผิดชอบในการงานที่ได้รับมอบหมาย เสร็จตามเวลาที่กำหนด มีคุณภาพ	5 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับดีเยี่ยม 4 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับดี 3 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับปานกลาง 2 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับน้อย 1 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลาบางส่วน และมีคุณภาพระดับน้อย



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 : กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

51

รายวิชา ว 33222 เคมี 6

ชั้น ม.6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เคมีไฟฟ้า

เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า เซลล์อิเล็กโทรไลต์

เวลาเรียน 2 ชั่วโมง

ผู้สร้างสรรค์การจัดการเรียนรู้ อาจารย์ ศุภศิลป์ ภาษี

1. มาตรฐานการเรียนรู้ / ตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด

- การระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด
ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์

2. สาระการเรียนรู้

เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ให้พลังงานไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) หรือเซลล์โวลตาอิก (voltaic cell) โดยมีแอโนดเป็นขั้วลบ แคโทดเป็นขั้วบวก และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกเซลล์จากแอโนดไปยังแคโทด ปฏิกิริยาเคมีในเซลล์กัลวานิกเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เอง (spontaneous reaction) นอกจากเซลล์กัลวานิกแล้วยังมีเซลล์เคมีไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งซึ่งเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลติก (electrolytic cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ต้องให้กระแสไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (non spontaneous reaction)

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

- ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า (K)
- เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนด แคโทด และปฏิกิริยารวม (P)
- เขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์ (P)
- นักเรียนมีความรับผิดชอบในการทำงาน (A)

ด้านพุทธิพิสัย (ความรู้) : K	ด้านทักษะพิสัย (ทักษะ) : P	ด้านเจตพิสัย (เจตคติ) : A
1. ระบุองค์ประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี 2. สามารถอธิบายความหมายของเซลล์ไฟฟ้าเคมี 3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1. การเขียนสมการเคมี 2. การจำแนกขั้วแอโนด แคโทด 3. การเขียนแผนภาพครึ่งเซลล์	1. ความรับผิดชอบในการทำงาน 2. ความเห็นอกเห็นใจเพื่อนร่วมทีม 3. ความรอบคอบ 4. ความมุ่งมั่นอดทน

4. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- ☒ ความสามารถในการสื่อสาร ☒ ความสามารถในการคิด ☒ ความสามารถในการแก้ปัญหา
☐ ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต ☐ ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

5. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- ☐ รักชาติ ศาสน์ กษัตริย์ ☐ ซื่อสัตย์สุจริต ☐ มีวินัย ☒ ใฝ่เรียนรู้
☐ อยู่อย่างพอเพียง ☒ มุ่งมั่นในการทำงาน ☐ รักความเป็นไทย ☒ มีจิตสาธารณะ

6.กระบวนการจัดการเรียนรู้: การบรรยาย/การสาธิต/การปฏิบัติ ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ CIPPA model 7 ขั้นตอน ชั้นนำ

ขั้นที่ 1 ขั้นทบทวนความรู้เดิม

- 1.3 ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ว่ากระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และการถ่านไอออนอิเล็กตรอน ขั้วที่จ่ายอิเล็กตรอนเรียกว่า ขั้วแอโนด ขั้วที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่า ขั้วแคโทด เพื่อนำเข้าสู่เซลล์เคมีไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า
 1.4 ครูให้นักเรียนสอบก่อนเรียนในเรื่องเซลล์อิเล็กโทรไลต์

ขั้นการจัดกิจกรรม

ขั้นที่ 2 ขั้นแสวงหาความรู้ใหม่

- 2.2 ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่มๆ ละ 4-5 คน ครูใช้คำถามกระตุ้นหรืออธิบายเกี่ยวกับ เซลล์เคมีไฟฟ้า โดยใช้รูปภาพเซลล์อิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งแอโนดและแคโทด ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หน้าที่ของสะพานเกลือหรือเยื่อ และการรักษาสมดุลของไอออนบวกและไอออนลบในแต่ละครึ่งเซลล์
 2.3 ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน เรื่อง เซลล์อิเล็กโทรไลต์ ว่า คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ จะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นในเซลล์นั้น และภายในเซลล์จะมีสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสารนี้สามารถจะแตกตัวเป็นไอออนบวก และไอออนลบ และทำให้เกิดน้ำไฟฟ้าได้ ซึ่งมีการนำความรู้ด้านนี้มาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมมากมาย

ขั้นที่ 3 ขั้นศึกษาทำความเข้าใจข้อมูล ความรู้ใหม่และเชื่อมโยงกับความรู้เดิม

3.1 ครูให้นักเรียนศึกษาใบกิจกรรมที่ 7 “ประโยชน์ของเซลล์ อิเล็กโทรไลต์” และนำอภิปรายว่า หลักการของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ สามารถนำมาใช้ในการทำให้โลหะมีความคงทนและสวยงามได้

3.2 นักเรียนศึกษาและทำกิจกรรม ใบกิจกรรมที่ 7 เรื่อง การชุบโลหะด้วยสังกะสี

โดยครูแนะนำก่อนการทดลองว่า เมื่อทำความสะอาดชิ้นโลหะที่จะชุบสะอาดแล้ว ห้ามใช้มือจับ ต้องใช้ปากคีบ/ใช้กระดาษทรายขัดแผ่นสังกะสีให้สะอาด/จัดขั้วไฟฟ้าให้ถูกต้อง

ขั้นที่ 4 ขั้นแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจกับกลุ่ม

4.1. นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทำกิจกรรมตามใบกิจกรรมที่ 7 มาทำการแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจกันภายในกลุ่ม เพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

- 1) ที่แอโนด Zn จะเสียอิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โลหะสังกะสีร้อนไปเกิด Zn^{2+} ละลายในสารละลาย ดังสมการ $\text{Zn (s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^-$
- 2) ที่แคโทด Zn^{2+} ในสารละลายจะรับอิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้โลหะสังกะสีเกาะที่แคโทด ดังสมการ $\text{Zn}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn (s)}$

ขั้นสรุป

ขั้นที่ 5 ขั้นสรุปและจัดระเบียบความรู้

5.1. นักเรียนศึกษาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับ การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และประโยชน์ของเซลล์ อิเล็กโทรไลต์ จากใบความรู้ที่ 7 โดยร่วมกันสรุปว่า การชุบโลหะให้ได้ผิวเรียบและสวยงามขึ้นกับปัจจัย ดังนี้

- 1) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีความเข้มข้นพอเหมาะ
- 2) กระแสไฟฟ้าที่ต้องปรับค่าความต่างศักย์ให้มีความเหมาะสมตามชนิดและขนาดของชิ้นโลหะที่ต้องการชุบ
- 3) โลหะที่ใช้เป็นแอโนดต้องบริสุทธิ์ ถ้าหาไม่ได้อาจใส่สารบางชนิดลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นมลทินไม่ให้มาเกาะบนวัตถุที่นำมาชุบ เช่น ในทางอุตสาหกรรมจะใส่สารประกอบไซยาไนด์เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยากับโลหะที่เป็นมลทินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนทำให้สารที่เป็นมลทินนั้นไม่มาเกาะบนวัตถุที่ชุบ
- 4) ไม่ควรชุบนานเกินไป

5.2 ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง เซลล์อิเล็กโทรไลต์ ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น

ขั้นที่ 6 ขั้นแสดงผลงาน

6.1. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมาครูสุ่มงล้อเลือกตัวแทนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลงานเซลล์อิเล็กโทรไลต์

6.2 ครูชื่นชมกลุ่มนักเรียนที่ออกมานำเสนอผลงาน และให้กำลังใจนักเรียนในห้องเรียน

ขั้นที่ 7 ขั้นประยุกต์ใช้ความรู้

7.1. ครูสอบถามนักเรียนว่านักเรียนคิดว่าในชีวิตประจำวันของเรา พวกเราเคยสังเกตหรือไม่ ว่าเรามีการใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ไฟฟ้าเคมีอยู่ในชีวิตประจำวัน ครูยกตัวอย่างเพื่อให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น

7.2 1. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 10 ข้อ เวลา 10 นาที จากนั้นนักเรียนและครูร่วมกันเฉลยแบบทดสอบ นักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ ครูยกย่องชมเชย ส่วนนักเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ให้กลับไปทบทวนความรู้ใหม่ แล้วเขียนสรุปความมาให้ครูอ่านในคาบต่อไป

7. สื่อ อุปกรณ์ และแหล่งการเรียนรู้

1. ใบกิจกรรมที่ 7 การทดลอง “การแยกสารละลายด้วยไฟฟ้า”
2. ใบความรู้ที่ 7 เรื่อง “เซลล์อิเล็กโทรไลต์”
3. ใบงานที่ 7 เรื่อง “เซลล์อิเล็กโทรไลต์”
4. แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน

-PowerPoint

-หนังสือเรียนรายวิชา เคมี เล่ม 4

8. การวัดและประเมินผล

การวัดผลประเมินผล ด้าน	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความ เข้าใจ	1.วัดจากแบบทดสอบ 2.วัดจากการตรวจใบงานที่ 7	1.แบบทดสอบหลัง เรียน ชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ 2. ใบงานที่ 7	1. ทำแบบทดสอบ ถูกมากกว่าหรือ เท่ากับ 6 ข้อขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
2. ด้านทักษะ กระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติตามใบ กิจกรรมที่ 7	แบบสังเกตพฤติกรรม การทำงาน	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป

3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรมความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป
-------------------------------	--	---	--------------------------

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

.....

.....

ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไขปัญหา

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สร้างสรรคการจัดการเรียนรู้
(.....)

10. ความคิดเห็นผู้บริหาร/ผู้ที่ได้รับมอบหมาย

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้บริหาร/ผู้ที่ได้รับมอบหมาย
(.....)



โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

บันทึกผลหลังการสอน

วิชา เคมี ภาคเรียนที่ 2 ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2566

ครูผู้สอน อ.ศุภศิลป์ ภาชี

กลุ่มสาระการเรียนรู้สาขาวิจัยพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แผนการจัดการเรียนรู้ที่.....เรื่อง.....เวลาคาบ

1. จำนวนนักเรียนที่ใช้สอน

ระดับชั้น	จำนวนนักเรียน (คน)
มัธยมศึกษาปีที่ 6/1	28
มัธยมศึกษาปีที่ 6/2	30

2. ผลการสอน

- 2.1) ความเหมาะสมของระยะเวลา () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.2) ความเหมาะสมของเนื้อหา () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.3) ความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนการสอน () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.4) ความเหมาะสมของสื่อการสอนที่ใช้ () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.5) พฤติกรรม/การมีส่วนร่วมของนักเรียน () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง

2.6) ผลการปฏิบัติกิจกรรม/ใบกิจกรรม การทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

1) การประเมินผลก่อนการเรียนโดยใช้แบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ พบว่านักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย.....จากคะแนนเต็ม..... มีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้คือร้อยละ 50

2.) การประเมินผลหลังการเรียน โดยใช้แบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ พบว่า นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย.....จากคะแนนเต็ม..... มีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้คือร้อยละ 60

3.) การประเมินด้านทักษะกระบวนการ ผลการประเมินโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมพบว่า มีนักเรียนร้อยละ ผ่านเกณฑ์การประเมิน และมีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

3. ปัญหาและอุปสรรค

4. ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

ลงชื่อ..... ผู้สอน/ผู้บันทึก

(อ.ดร.ศุภศิลป์ ภาชี)

ตำแหน่ง อาจารย์

...../...../.....

ลงชื่อผู้บริหาร

(อ.ดร.นพทรัพย์ พิชัยสามารถ)

ผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

...../...../.....

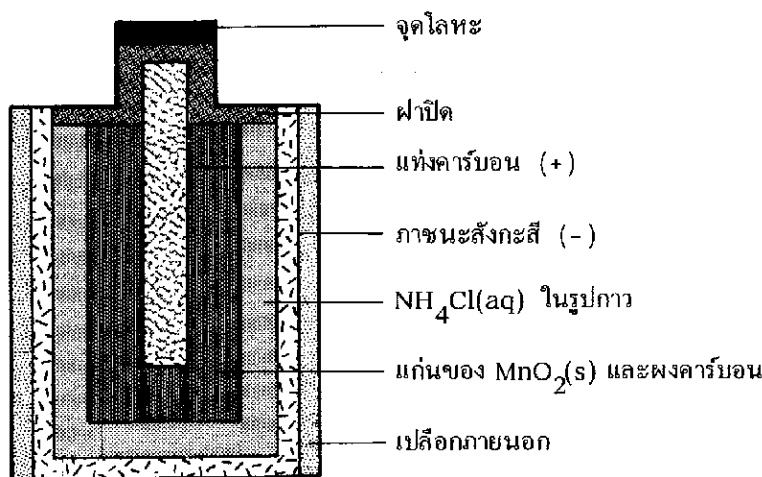


ใบงานที่ 7

เรื่อง ประโยชน์ของเซลล์กัลวานิก

คำชี้แจง จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

1. กำหนดรูปแสดงโครงสร้างของเซลล์แห้งชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวาง เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีใช้สำหรับให้ ความสว่าง เครื่องคิดเลข วิทยุ ของเด็กเล่น เป็นต้น



จงตอบคำถามต่อไปนี้โดยใช้รูปภาพนี้

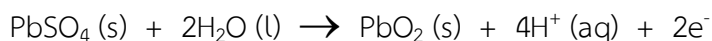
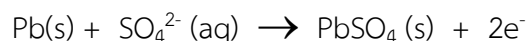
- เขียนสมการแสดงครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (1) ภาชนะสังกะสี (2) แท่งคาร์บอน (แกรไฟต์)
- บอกทิศทางของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อต่อครบวงจร
- อธิบายผลของการไม่มีสารต่อไปนี้ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี (1) MnO_2 (s) (2) ผงคาร์บอน
- บอกข้อแตกต่างระหว่างเซลล์แห้งก่อนใช้กับเซลล์แห้งชนิดที่ใช้แล้ว

2. จากสมการของปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่กำหนดให้ นี้ จงระบุสารใดเป็นตัวออกซิไดส์ และสารใดเป็นตัวรีดิวซ์

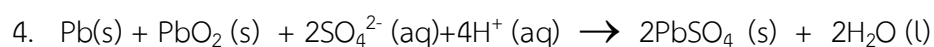
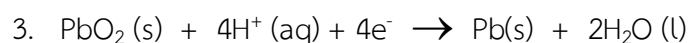
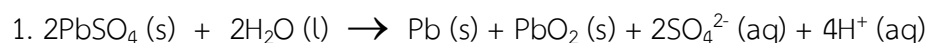
- ถ่านไฟฉาย ; $\text{Zn(s)} + \text{MnO}_2\text{(s)} + 2\text{NH}_4^+\text{(aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}\text{(aq)} + \text{Mn}_2\text{O}_3\text{(s)} + 2\text{NH}_3\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$
- เซลล์อัลคาไลน์ ; $\text{Zn(s)} + 2\text{MnO}_2\text{(s)} \rightarrow \text{Zn(OH)}_2\text{(s)} + \text{Mn}_2\text{O}_3\text{(s)}$
- เซลล์ปรอท ; $\text{Zn(s)} + \text{HgO(s)} \rightarrow \text{ZnO(s)} + \text{Hg(l)}$
- เซลล์เงิน ; $\text{Zn(s)} + \text{Ag}_2\text{O(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Zn(OH)}_2\text{(s)} + 2\text{Ag(s)}$
- เซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว : $\text{Pb(s)} + \text{PbO}_2\text{(s)} + 4\text{H}^+\text{(aq)} + 2\text{SO}_4^{2-}\text{(aq)} \rightarrow 2\text{PbSO}_4\text{(s)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$
- เซลล์นิกเกิล-แคดเมียม : $\text{Cd(s)} + \text{NiO}_2\text{(s)} + 2\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Cd(OH)}_2\text{(s)} + \text{Ni(OH)}_2\text{(s)}$

3. เซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วถูกใช้ในการแยกสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ จงเขียนรูปการต่อเซลล์ทั้ง 2 ให้ระบุขั้วแคโทด และแอโนดในแต่ละเซลล์ เขียนทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอนในวงจร แสดงการเคลื่อนที่ของไอออนเข้าหาขั้ว และเขียนครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แต่ละขั้ว

4. แบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วเกี่ยวข้องกับครึ่งปฏิกิริยาแบบออกซิเดชัน ดังสมการนี้



4.1 ข้อใดแสดงปฏิกิริยาสุทธิการจ่ายไฟของแบตเตอรี่นี้



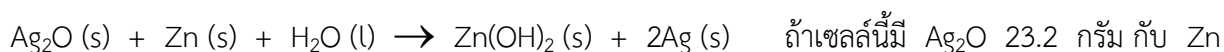
4.2 ข้อความในข้างล่างข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับแบตเตอรี่ขณะจ่ายไฟ

1. ความหนาแน่นของสารอิเล็กโทรไลต์คงที่

2. ความหนาแน่นของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น

3. ความหนาแน่นของสารอิเล็กโทรไลต์ลดลง

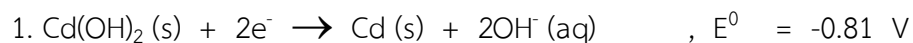
5. เซลล์เงิน เป็นเซลล์แห้งชนิดเซลล์ปฐมภูมิ เป็นเซลล์ที่เบา ราคาแพง ใช้ทนและใช้ได้นาน ปฏิกิริยาของเซลล์คือ



13 กรัม จะเกิดโลหะ Ag หนักกี่กรัม

(กำหนดมวลอะตอมของ O = 16 , Zn = 65 , Ag = 108)

6. ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์แบบรีดักชันที่กำหนดให้เกิดขึ้นในเซลล์นิแคต



3. สมการของปฏิกิริยาขณะจ่ายไฟคือ

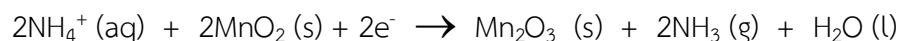
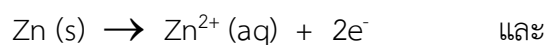
4. สารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ของเซลล์คือ

5. ปฏิกิริยาของขณะจ่ายไฟ ที่แอโนดคือ

ที่ แคโทดคือ

6. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์มีค่าเท่ากับเท่าใด

7. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถ่านไฟฉาย



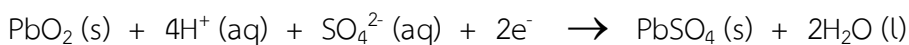
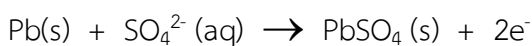
จงตอบคำถามต่อไปนี้

7.1 สารที่เป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์คือสารใด ตามลำดับ

7.2 ขั้วแอโนดและแคโทดคือ ?

8. เปรียบเทียบเซลล์ปฐมภูมิ และเซลล์ทุติยภูมิ พร้อมทั้งยกตัวอย่างเซลล์ประกอบคำอธิบาย

9. เซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว เกิดปฏิกิริยาขณะจ่ายไฟ ดังนี้



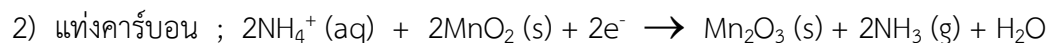
จงตอบคำถามต่อไปนี้

9.1 บอกส่วนประกอบของเซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว เมื่อทำหน้าที่จ่ายไฟ

9.2 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่ขั้วบวก และขั้วลบขณะอัดไฟ

เฉลยใบงานที่ 7 เรื่อง ประโยชน์ของเซลล์กัลวานิก

ข้อ 1.



(l)

ข. อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วภาชนะ Zn ไปยังขั้วแท่งคาร์บอน

ค. 1) ถ้าไม่มี MnO_2 จะเกิดก๊าซ H_2 รวมตัวกันเป็นฉนวนชั้นบาง ๆ เกาะรอบแท่งคาร์บอน ทำให้กระแสอิเล็กตรอนหยุดไหล $2\text{NH}_4^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ แต่ถ้ามี MnO_2 จะพบว่า MnO_2 ออกซิไดส์ H_2 เป็น H_2O

2) เนื่องจากผงคาร์บอนสามารถลดความต้านทานภายในเซลล์ได้ดังนั้น เมื่อไม่มีผงคาร์บอน จะทำให้อิเล็กตรอนไหลน้อยลง

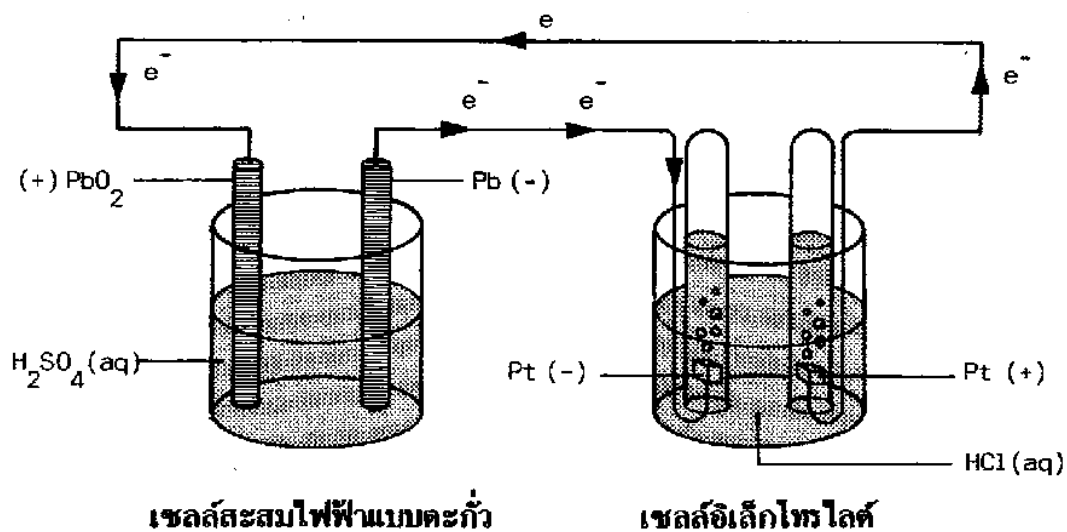
ง. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเซลล์แห้งก่อนใช้และเซลล์แห้งหลังใช้แล้ว

	เซลล์แห้งก่อนใช้	เซลล์แห้งหลังใช้	เหตุผล
1. ความหนาแน่นของ ภาชนะ Zn	หนากว่า	บางกว่า	ใช้ Zn เป็นขั้ว เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน
2. สีของสารเคมีผสม	สีดำ	สีเทา	Mn_2O_3 (สีขาว) ผสมกับ MnO_2 (สีดำ) เกิดสารสีเทา
3. สารเคมีแต่ละชนิด ในของผสม	$\text{MnO}_2(\text{s})$ $\text{Zn}(\text{s})$ $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$	Mn_2O_3 $\text{ZnCl}_2(\text{aq})$ $\text{NH}_3(\text{aq})$ H_2O	สารตั้งต้นถูกใช้ไปและสาร ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น

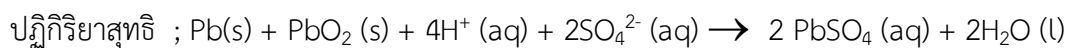
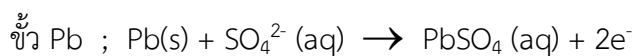
ข้อ 2. เฉลย

ข้อ	ตัวรีดิวซ์	ตัวออกซิไดส์
ก	Zn	MnO_2
ข	Zn	MnO_2
ค	Zn	HgO
ง	Zn	Ag_2O
จ	Pb	PbO_2
ฉ	Cd	NiO_2

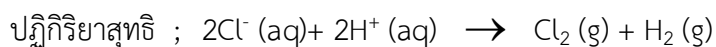
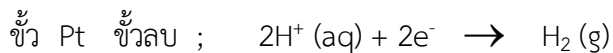
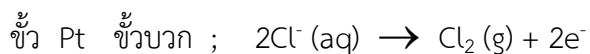
ข้อ 3. แนวคิด



เซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว



เซลล์อิเล็กโทรไลต์

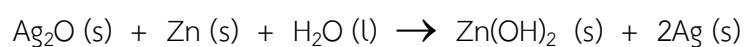


ข้อ 4. แนวคิด

4.1 ข้อ 4 เพราะรวมสมการของปฏิกิริยาสุทธิได้เช่นนั้น

4.2 ข้อ 3 เพราะใช้กรด H_2SO_4 ไป และเกิดน้ำขึ้น

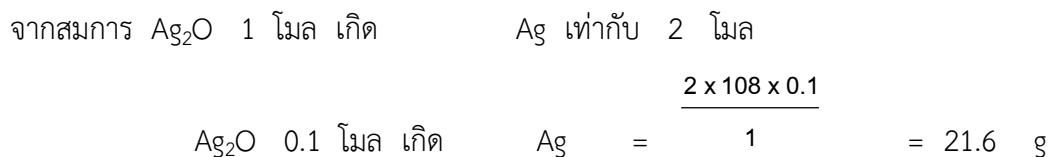
ข้อ 5 แนวคิด



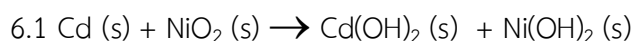
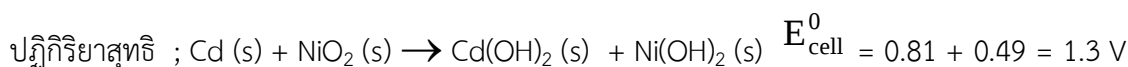
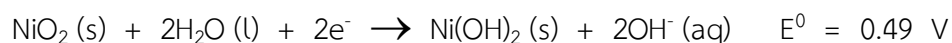
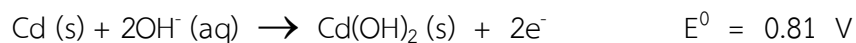
$$\text{Ag}_2\text{O} \quad 23.2 \text{ g} = 23.2 / 232 = 0.1 \text{ mol}$$

$$\text{Zn}(\text{s}) \quad 13 \text{ g} = 13 / 65 = 0.2 \text{ mol}$$

จากการวิเคราะห์พบว่า Ag_2O ถูกใช้หมดในที่สุด จึงใช้ Ag_2O เป็นหลักในการเทียบหาโลหะ Ag ที่เกิดขึ้นจากสมการดังนี้

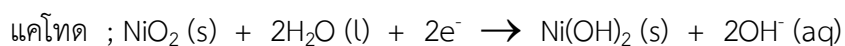
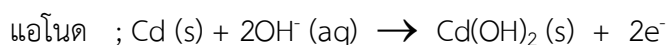


ข้อ 6 แนวคิด



6.2 KOH หรือ NaOH (เบส)

6.3 การจ่ายไฟ



$$6.4 \quad E_{\text{cell}}^0 = 0.81 + 0.49 = 1.3 \text{ V}$$

ข้อ 7. แนวคิด

7.1 Zn ถูกออกซิไดส์ และ MnO_2 ถูกรีดิวซ์

7.2 แอโนด คือ Zn และ แคโทด คือ แกรไฟต์ (C) ที่มี MnO_2

ข้อ 8. แนวคิด

เปรียบเทียบเซลล์ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ดังนี้

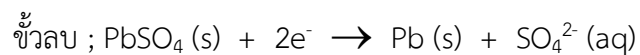
เซลล์ปฐมภูมิ	เซลล์ทุติยภูมิ
1. เป็นเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่ง	1. เป็นเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่ง
2. ใช้ไฟหมดแล้วอัดไฟกลับมาใช้ใหม่ไม่ได้	2. ใช้ไฟหมดแล้วสามารถอัดไฟกลับมาใช้ใหม่ได้
3. เป็นเซลล์เดี่ยว	3. ต่อกันหลายเซลล์เป็นแบตเตอรี่

ข้อ 9. แนวคิด

9.1 การจ่ายไฟ

1. ขั้ว Pb เป็นแอโนด หรือ ขั้วลบ
2. ขั้ว PbO₂ เป็นแคโทด หรือ ขั้วบวก

9.2 การอัดไฟ





ใบความรู้ที่ 7 เรื่อง ประโยชน์ของเซลล์อิเล็กโทรไลต์

เซลล์อิเล็กโทรไลต์ เป็นเซลล์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี ซึ่งสามารถอาศัยหลักการนี้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เช่น การชุบโลหะ การทำโลหะให้บริสุทธิ์ การถลุงแยกแร่ การแยกสารละลายเกลือด้วยกระแสไฟฟ้า

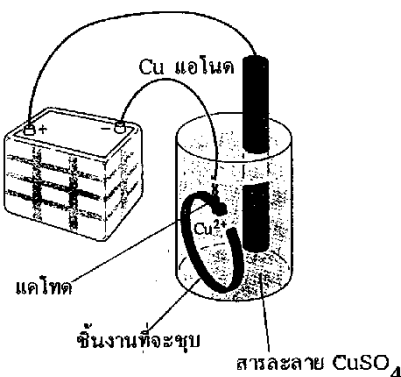
1. การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) คือ กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสอย่างหนึ่งที่อาศัยพลังงานไฟฟ้าทำให้อิออนของโลหะชนิดหนึ่ง กลายเป็นโลหะเคลือบ หรือ เกาะบนโลหะอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งโดยหลักการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การป้องกันการผุกร่อนของโลหะบางชนิด การทำให้โลหะมีความสวยงามและคงทน ฯลฯ

หลักทั่วไปในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

1. จัดชิ้นงานที่จะชุบต่อเข้ากับขั้วแคโทด (ขั้วลบ)
2. ต้องการชุบด้วยโลหะใด ให้ใช้โลหะนั้นเป็นแอโนด (ขั้วบวก)
3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีไอออนของโลหะที่ใช้เป็นขั้วแอโนด
4. ต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง และการกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สวยงาม

เช่น ต้องการชุบสร้อยเงินให้เป็นสร้อยทอง นำสร้อยเงินต่อเข้ากับขั้วแคโทด และใช้โลหะทองคำ ต่อเข้ากับขั้วแอโนด โดยใช้สารละลายที่มีไอออนของทอง เช่น Au^+ , Au^{3+} เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ปรับค่าศักย์ไฟฟ้าให้เหมาะสม จะได้สร้อยทองคำที่ทำจาก โลหะเงิน

ตัวอย่างการชุบชิ้นงานทองแดงโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง

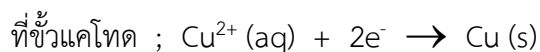
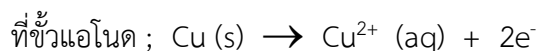


รูปที่ 1 แสดงการชุบชิ้นงานด้วยทองแดงโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง

จากภาพอธิบายได้ว่า

1. ต่อโลหะทองแดง (Cu) เข้ากับขั้วแอโนด หรือขั้วบวก
2. ต่อชิ้นงานที่จะเคลือบเข้ากับขั้วแคโทด หรือขั้วลบของแบตเตอรี่
3. ใช้สารละลาย Cu^{2+} เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น $\text{CuSO}_4(\text{aq})$
4. ผ่านไฟฟ้ากระแสตรงที่มีศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมลงไป

เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงไปในเซลล์ ดังรูป จะพบว่า อิเล็กตรอนจากแบตเตอรี่จะเคลื่อนลงไปสู่ขั้วแคโทด ทำให้ขั้วนี้มีปริมาณของอิเล็กตรอนมาก และ Cu^{2+} ซึ่งเป็นไอออนบวกก็จะเคลื่อนที่เข้ามาจับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยารีดักชัน กลายเป็น โลหะทองแดง เคลือบอยู่บนชิ้นงาน ขณะเดียวกันที่ขั้วแอโนดซึ่งมีโลหะทองแดง ต่ออยู่ก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ Cu^{2+} ลงสู่สารละลายเพื่อชดเชยกับ Cu^{2+} ที่ลดลง ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์คงที่ และอิเล็กตรอนที่ขั้วแอโนดไหลเข้าไปที่ขั้วบวก(แคโทด) ของแบตเตอรี่ ทำให้กระแสไฟฟ้าครบวงจร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด และแคโทด เป็นดังนี้



การชุบโลหะให้ผิวเรียบและสวยงามนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

1. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีความเข้มข้นที่เหมาะสม
2. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ต้องปรับค่าความต่างศักย์ให้เหมาะสมกับชนิดและขนาดของชิ้นโลหะที่ต้องชุบ
3. โลหะที่ใช้เป็นแอโนดต้องบริสุทธิ์ และถ้าไม่บริสุทธิ์ต้องใช้สารบางชนิดเติมลงไปเพื่อทำ

ปฏิกิริยา กับสารที่เป็นมลทินไม่ให้มาเกาะบนผิวโลหะที่นำมาชุบ เช่น ในทางอุตสาหกรรมจะใส่สารประกอบไซยาไนด์เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับโลหะที่เป็นมลทิน โดยจะ เกิดสารประกอบเชิงซ้อน จึงไม่มารบกวนหรือเกาะบนโลหะที่ต้องการชุบ

4. ไม่ควรชุบนานเกินไป ควรชุบเพียง 2-3 นาทีเท่านั้น

ตารางที่ 1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

โลหะที่ต้องการชุบ	แอโนด	สารละลายอิเล็กโทรไลต์	การนำไปใช้
Cu	Cu	20% CuSO_4 , 7% H_2SO_4	การชุบโลหะเพื่อความสวยงาม
Ag	Ag	4% AgCN , 4% KCN , 4% K_2CO_3	ภาชนะต่าง ๆ ที่ใช้กับโต๊ะอาหาร เครื่องเพชร พลอย
Au	Cu , C , Ni -Cr	3% AuCN , 19 % KCN , K_2HPO_4 สารละลายบัฟเฟอร์	เครื่องเพชรพลอย

Cr	Pb	25 % CrO_3 , 0.25% H_2SO_4 , 30% NiSO_4 , 2% NiCl_2 , 1% H_3BO_3	ส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์
Ni	Ni	30 % NiSO_4 , 2% NiCl_2 , 1% H_3BO_3	แผ่นพื้นฐานโลหะ
Zn	Zn	4% $\text{Zn}(\text{CN})_2$, 5% NaCN , 8% NaOH , 5% Na_2CO_3	สังกะสีมุงหลังคา
Sn	Sn	8% H_2SO_4 , 7% SnSO_4	กระป๋องเคลือบดีบุก

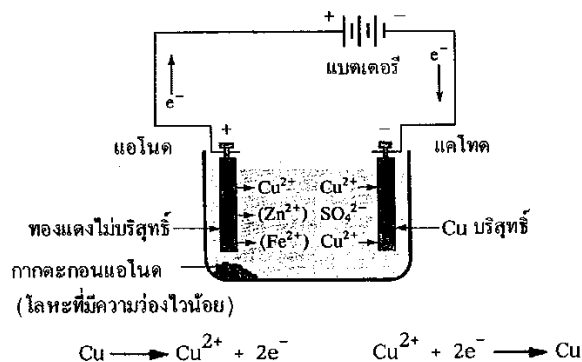
จากตารางที่ 1 จะพบว่าในกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จะมี CN^- อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งนี้เพื่อใช้ทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ความเข้มข้นของโลหะไอออนลดลง เป็นการป้องกันไม่ให้ไอออนบวกของโลหะเกิดเป็นโลหะเคลือบผิวสารที่ต้องการเร็วเกินไป ซึ่งจะทำให้โลหะเคลือบได้หยาบไม่เรียบ หลุดง่าย

2. การทำโลหะให้บริสุทธิ์ด้วยไฟฟ้า (Electrorefining)

การทำโลหะให้บริสุทธิ์ เป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการถลุงแร่ โดยทั่วไป โลหะที่ถลุงได้จากแร่มักจะมีมลทินปนอยู่เล็กน้อย เพื่อให้โลหะนี้บริสุทธิ์มากขึ้นจะใช้กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส ที่เรียกว่า Electrorefining ซึ่งมีหลักการดังนี้

1. นำโลหะที่จะทำให้บริสุทธิ์ต่อเข้ากับขั้วแอโนด (ขั้วบวก)
2. ใช้โลหะบริสุทธิ์อีกแท่งหนึ่งต่อเข้ากับขั้วแคโทด (ขั้วลบ)
3. ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีไอออนบวกของโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ประกอบอยู่ด้วย
4. ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และจัดให้มีศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่เหมาะสม

ตัวอย่างการทำโลหะทองแดงที่ได้จากการถลุงแร่คัลโคไพไรต์ (CuFeS_2) ให้บริสุทธิ์ด้วยไฟฟ้า



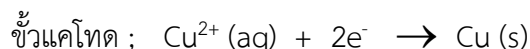
รูปที่ 2 การทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการอิเล็กโทรลิซิส

การถลุงแร่ทองแดงชื่อว่า คาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) จะได้โลหะทองแดงที่บริสุทธิ์ 99 % เท่านั้น ถ้าต้องการทำให้บริสุทธิ์ขึ้นอีกต้องนำโลหะทองแดงที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส แยกมลทินในทองแดงออก

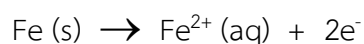
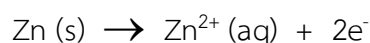
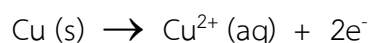
มลทินที่พบในโลหะทองแดงมี 2 ชนิด คือ

1. โลหะที่ถูกออกซิไดส์ง่าย (พวกนี้มีค่า E^0 ต่ำ) เช่น Zn , Fe
2. โลหะที่ถูกออกซิไดส์ยาก (พวกนี้มีค่า E^0 สูง) เช่น Pt , Au , Ag

การจัดเครื่องมือดังรูป 2 ต่อ Cu ที่ไม่บริสุทธิ์เข้ากับขั้วแอโนด และ Cu บริสุทธิ์เข้ากับขั้วแคโทด จุ่มขั้วทั้งสองในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ CuSO_4 ผสมกับ H_2SO_4 แล้วต่อให้ครบวงจรกับ แบตเตอรี่ ผ่านไฟฟ้ากระแสตรงที่มีศักย์พอเหมาะลงไป จะพบว่าเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ขั้วแอโนด และแคโทดดังนี้



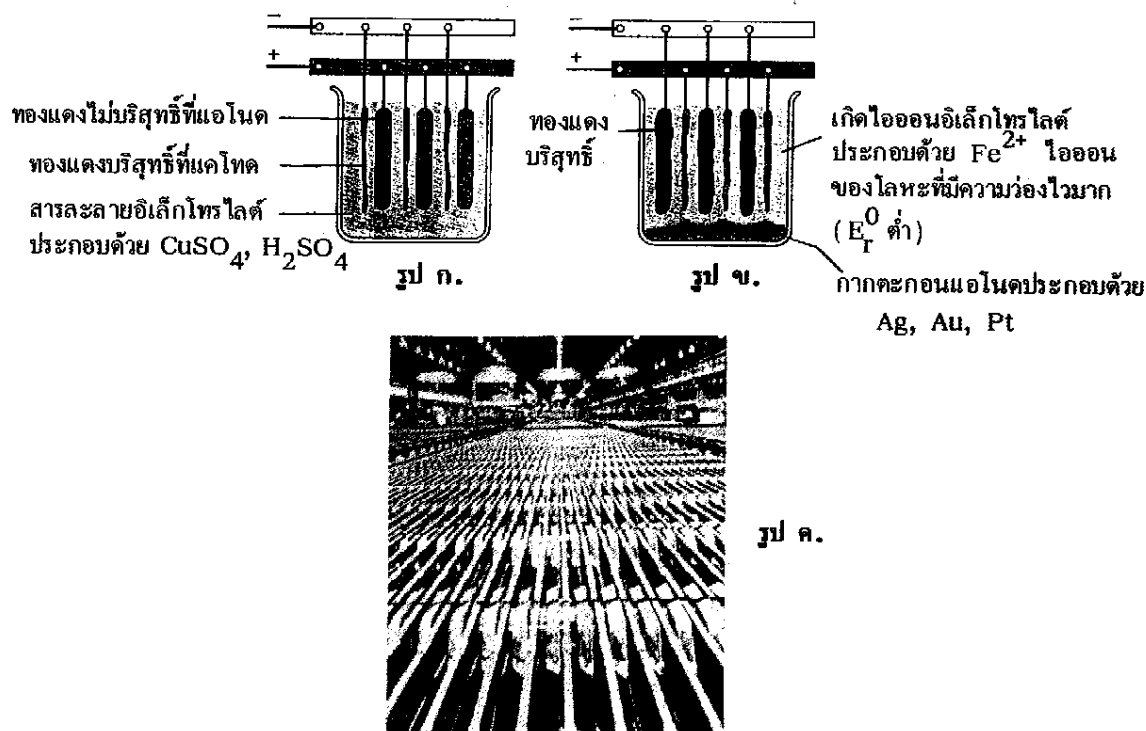
ขั้วแอโนด ; เป็นขั้วที่ต่อกับ Cu ไม่บริสุทธิ์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น โดยโลหะ Cu และพวกที่เป็นมลทิน เช่น Zn , Fe (มีค่า E^0 ต่ำ) จะให้อิเล็กตรอนและเกิดเป็นไอออนบวก คือ Cu^{2+} , Zn^{2+} , และ Fe^{2+} ส่วนพวกมลทินที่มี E^0 สูง เช่น Ag , Pt , Au จะให้อิเล็กตรอนยาก จะตกเป็นตะกอนลงที่แอโนด เรียกตะกอนของโลหะพวกนี้ว่า Anode mud



ไอออนบวกของโลหะที่เกิดจากแอโนดในสารละลาย คือ Zn^{2+} ($E^0 = -0.76 \text{ V}$) , Fe^{2+} ($E^0 = -0.41 \text{ V}$) ซึ่งมีค่า E^0 ต่ำกว่า Cu^{2+} ($E^0 = +0.34 \text{ V}$) ดังนั้นจึงพบว่า Cu^{2+} จะเข้าไปรับอิเล็กตรอนและเกิดปฏิกิริยารีดักชันเป็นโลหะ Cu ที่แคโทดได้ดีกว่า Zn^{2+} , และ Fe^{2+} ซึ่งรับอิเล็กตรอนยากกว่าและมีโอกาสเกิดเป็น

โลหะที่แคโทดได้น้อย จึงทำให้โลหะทองแดงที่แยกได้ที่ขั้วแคโทด มีความบริสุทธิ์ 99.95 %

H_2SO_4 ที่เติมลงไปจะมีหน้าที่ไปกัดกร่อนให้ Cu , Zn และ Fe เสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนเร็วและง่ายขึ้น



รูปที่ 3 แสดงเซลล์อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้สำหรับการทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์ในอุตสาหกรรม

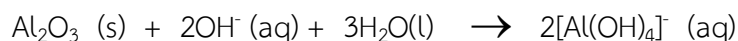
- ก. ก่อนการเกิดอิเล็กโทลลิซิส
- ข. หลังการเกิดอิเล็กโทลลิซิส
- ค. เซลล์อิเล็กโทรไลต์ในอุตสาหกรรมสำหรับการทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์ด้วยไฟฟ้า

3. การทำอิเล็กโทลลิซิสในการผลิตโลหะ

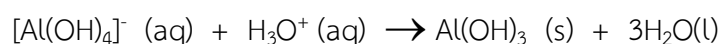
ก. การผลิตโลหะอลูมิเนียมปี ค.ศ. 1886 Charles Martin เป็นนักศึกษาที่วิทยาลัย Oberlin ใน Ohio ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ประดิษฐ์ เครื่องมือเพื่อใช้ในการทำอิเล็กโทลลิซิสสำหรับผลิตอะลูมิเนียม และในขณะเดียวกัน Paul Heroult ที่ประเทศฝรั่งเศสก็ค้นพบวิธีการที่ทันสมัยในการผลิตอะลูมิเนียมด้วยการอิเล็กโทลลิซิสในห้องปฏิบัติการที่ปารีส

ขั้นตอนการผลิตโลหะอลูมิเนียมสามารถสรุปได้ดังนี้

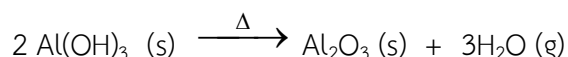
1. กระบวนการทำแร่บอกไซต์ให้บริสุทธิ์ เรียก กระบวนการเบเยอร์ โดยใช้แร่บอกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีมลทินปน คือ Fe_2O_3 และ TiO_2 จึงต้องแยกมลทินออกก่อน และเนื่องจาก Al_2O_3 เป็นสารแอมเฟอเทอริก (เป็นกรดและเบส) จึงนำแร่บอกไซด์ที่มีมลทินอยู่ด้วยไปละลายในสารละลาย NaOH จะพบว่า Al_2O_3 ละลายใน NaOH แต่มลทินเป็นออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นเบส ไม่ละลายใน NaOH แล้วกรองตะกอนที่เป็นมลทินออก
- ดังนี้



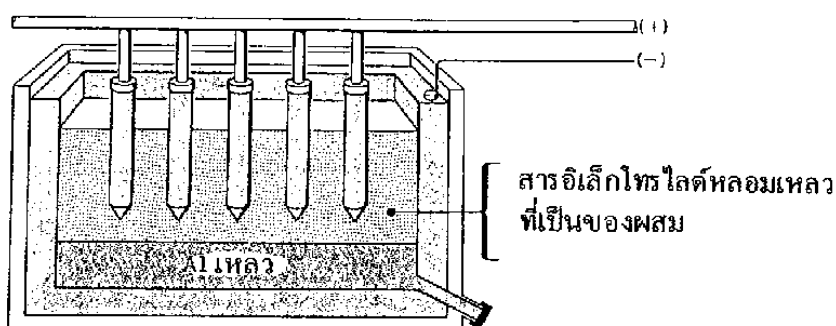
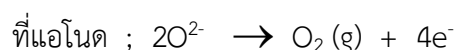
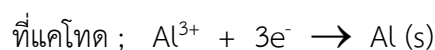
สารละลายที่ได้เจือจางด้วยน้ำแล้วเติมกรดให้เกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ ตกตะกอนดังนี้



กรองตะกอน $\text{Al}(\text{OH})_3$ เมาจะได้ Al_2O_3 บริสุทธิ์ คือ



2. กระบวนการผลิต Al จากแร่บอกไซต์(Al_2O_3) เรียกว่าการถลุง Al จากแร่บอกไซต์ หรือ Hall - Heroult Process Al_2O_3 มีจุดหลอมเหลวสูงมาก (2020°C) และ Al_2O_3 หลอมเหลวจะนำ ไฟฟ้าน้อย การอิเล็กโทรลิซิส Al_2O_3 หลอมเหลวจึงไม่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงละลาย Al_2O_3 15% โดยมวลในสินแร่โคริโอไลต์ (Na_3AlF_6) เหนือที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C จะได้สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี จากนั้นก็นำสารละลาย Al_2O_3 ในแร่โคริโอไลต์เหลวไปแยกด้วยไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ที่อุณหภูมิ 950°C (ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของ Al_2O_3) ได้โลหะ Al ที่มีความบริสุทธิ์ 99.0 - 99.8 % ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าแอโนด และแคโทดเป็นดังนี้



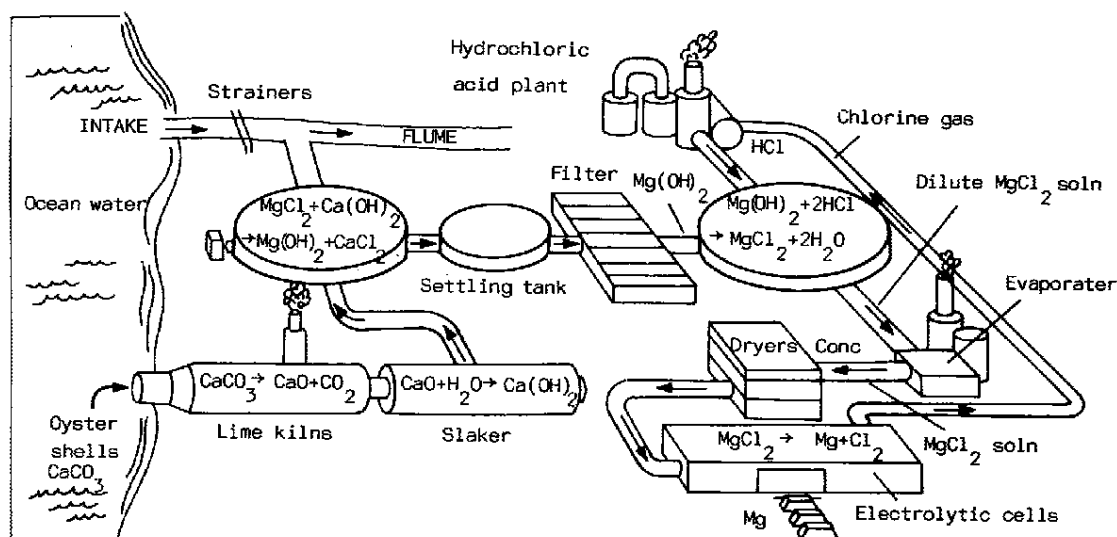
รูปที่ 4 เซลล์อิเล็กโทรไลต์สำหรับผลิตอะลูมิเนียม ใช้ขั้วแกรไฟต์(C) ด้วยสารละลาย Al_2O_3 ในแร่โคริโอไลต์ เนื่องจากการผลิต Al โดยการอิเล็กโทรลิซิส ต้องใช้พลังงานสูงมากประมาณ 15,000 KWh ต่อ Al 1 ตัน จึงมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงนิยมนำโลหะอะลูมิเนียมที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่มากกว่าที่จะใช้วิธีการอิเล็กโทรลิซิสจากแร่บอกไซต์

ข. การผลิตโลหะแมกนีเซียม

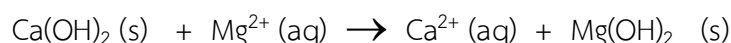
โลหะแมกนีเซียม เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นต่ำ (1.74 g/cm^3) แข็งแรงทนทาน ใช้ประโยชน์ในการทำโลหะผสม เช่น ผสมกับโลหะอะลูมิเนียมสำหรับทำปีกเครื่องบิน ใช้ทำไส้หลอดไฟฟลักซ์เพื่อใช้ในการถลุงรูป

แหล่งที่พบโลหะแมกนีเซียม เกิดจากแร่คาร์บอเนต และเกลือในน้ำทะเล โดยในน้ำทะเลพบว่ามี Mg อยู่ 0.13%

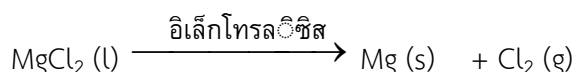
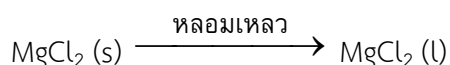
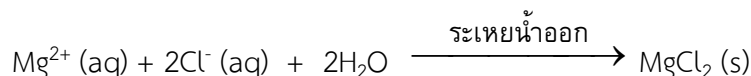
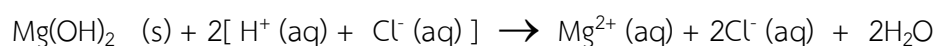
ขั้นตอนการผลิตโลหะแมกนีเซียม

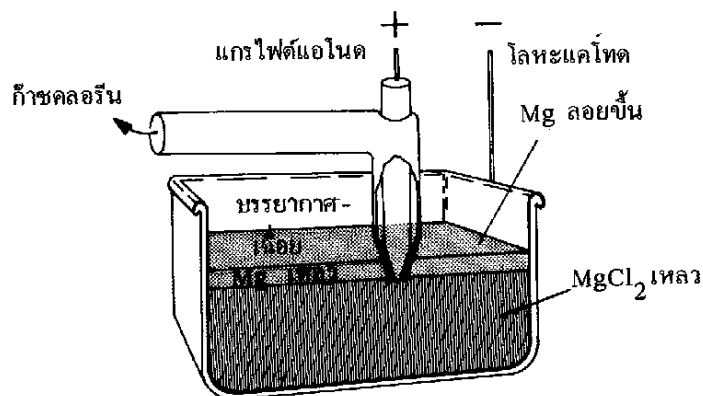


รูปที่ 5 แผนภาพแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมการผลิตแมกนีเซียมจาก Mg^{2+} ไอออนจากน้ำทะเล เมื่อนำน้ำทะเลมาเติมเบส (Ca(OH)_2) จะพบว่า Mg^{2+} ในน้ำทะเลจะตกตะกอนอยู่ในรูป Mg(OH)_2 ดังนี้



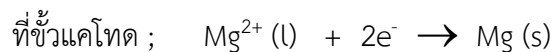
แล้วล้างตะกอน $\text{Mg(OH)}_2 (\text{s})$ ออกนำไปทำปฏิกิริยาสะเทินกับกรด HCl จากนั้นระเหยน้ำออกจะได้ของแห้ง MgCl_2 ทำให้ MgCl_2 หลอมเหลวแล้วผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงไปในเซลล์ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อยจะได้ Mg หลวออกมา พร้อมกับก๊าซ Cl_2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้





รูปที่ 6 เซลล์อิเล็กโทรไลต์สำหรับการแยก MgCl_2 ที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า โลหะ Mg จะเกิดที่แคโทดลอยอยู่บน MgCl_2 ที่เหลว และถูกแยกออกเป็นระยะ ๆ ส่วนก๊าซ Cl_2 เกิดรอบ ๆ แกรไฟต์ ซึ่งเป็นแอโนด ผ่านท่อเล็ก ๆ แยกออกไป

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังนี้



ในอุตสาหกรรมการผลิตโลหะแมกนีเซียม แมกนีเซียม 1 กิโลกรัม ต้องใช้พลังงาน 300 MJ ดังนั้นจึงต้องมีค่าใช้จ่ายสูง จึงนิยมนำโลหะแมกนีเซียมที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่มากกว่า เพราะประหยัด พลังงานและค่าใช้จ่ายได้มากกว่า (แมกนีเซียมที่นำกลับมาใช้ใหม่ 1 กิโลกรัมใช้พลังงานเพียง 7 MJ)

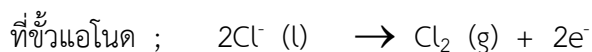
ค. การผลิตโลหะโซเดียม

โลหะโซเดียมมีจุดหลอมเหลว (97.8°C) และความหนาแน่นต่ำ (0.97 g/cm^3) มีความว่องไวทางเคมีสูง ปัจจุบันใช้โซเดียมสำหรับเป็นสารหล่อเย็นในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู และใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในการเตรียมโลหะไททาเนียม (Ti) และโซเดียมเปอร์ออกไซด์ นอกจากนั้นยังใช้ไอของโซเดียมบรรจุในหลอดไฟเพื่อให้เป็นไฟสีเหลือง

ในปี ค.ศ. 1807 Sir Humphrey Davy เป็นคนแรกที่แยก Na จากการอิเล็กโทรลิซิส NaOH ต่อมาในปี ค.ศ. 1833 Faraday และคณะได้แยก Na จากการอิเล็กโทรลิซิส NaCl หลอมเหลว แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่ใช้ในการผลิตโลหะโซเดียมในอุตสาหกรรม จนกระทั่งปี ค.ศ. 1921 จึงมีการผลิตโลหะโซเดียมในอุตสาหกรรมโดยใช้ Down cell โดย Du Pont Chemical Company

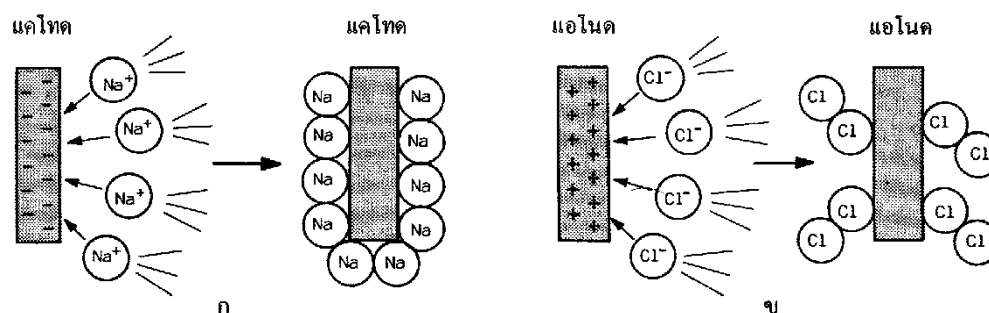
อุตสาหกรรมการผลิตโซเดียม

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงใน NaCl ที่หลอมเหลว จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นดังนี้



ที่ขั้วแคโทด ; $2\text{Na}^+ (\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Na} (\text{l})$

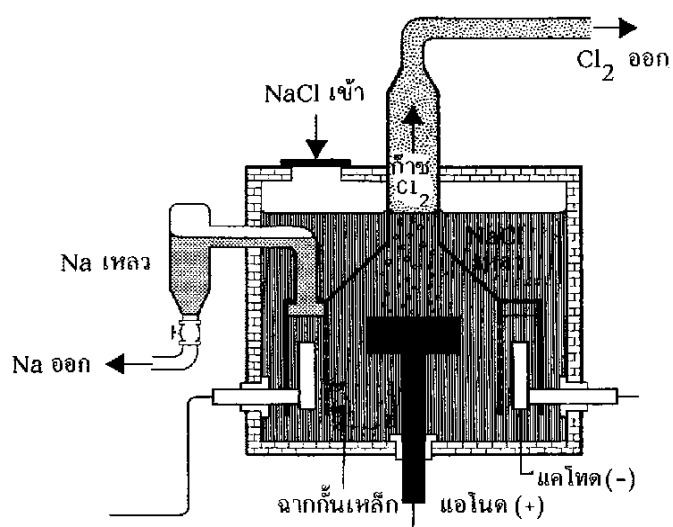
ปฏิกิริยาสุทธิ ; $2\text{Na}^+ (\text{l}) + 2\text{Cl}^- (\text{l}) \rightarrow 2\text{Na} (\text{l}) + \text{Cl}_2 (\text{l})$



รูปที่ 7 แสดงแรงดึงดูดระหว่างประจุตรงกันข้ามที่เกิดขึ้นจาก Na^+ ไอออนเคลื่อนเข้าหาขั้วลบ (แคโทด) และ Cl^- ไอออนเคลื่อนเข้าหาขั้วบวก (แอโนด)

ก. Na^+ เคลื่อนเข้าไปรับอิเล็กตรอนกลายเป็นอะตอม Na ที่เป็นกลางที่ขั้วแคโทด

ข. Cl^- เคลื่อนที่เข้าไปให้อิเล็กตรอนแล้วกลายเป็นอะตอม Cl ที่เป็นกลาง แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุล Cl_2 ของก๊าซที่แอโนด (ขั้วบวก)



รูปที่ 8 Downs cell สำหรับผลิต Na และ Cl_2 จาก NaCl หลอมเหลวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส

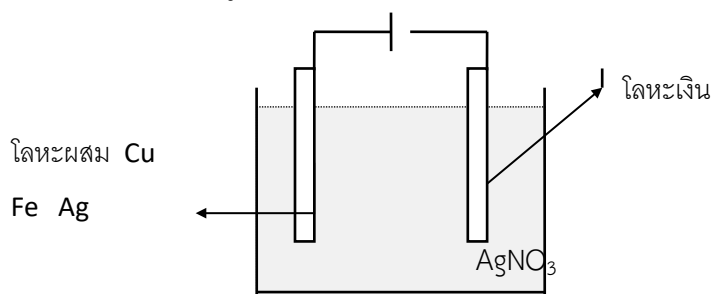


แบบทดสอบชุดที่ 7 ประโยชน์ของเซลล์อิเล็กโทรไลต์

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวเท่านั้น

- ข้อใดถูกต้องสำหรับการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า
 - ต่อสิ่งที่จะชุบเข้ากับขั้วไฟฟ้าลบเสมอ
 - ต่อโลหะที่จะใช้ชุบเข้ากับขั้วไฟฟ้าแอโนด
 - ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนของโลหะที่เป็นขั้วบวก
 - ถูกทุกข้อ
- ถ้าต้องการชุบเหรียญทองแดงด้วยเงิน ควรใช้อะไรเป็นอิเล็กโทรไลต์ และใช้อะไรเป็นแอโนดตามลำดับ
 - สารละลายที่มี Ag^+ ,โลหะเงิน
 - สารละลายที่มี Ag^+ , เหรียญทองแดง
 - สารละลายที่มี Cu^{2+} ,โลหะเงิน
 - สารละลายที่มี Cu^{2+} , เหรียญทองแดง
- ถ้านางสาวลำดวนต้องการชุบอาหารด้วยโครเมียมโดยวิธี อิเล็กโทรลิซิส เธอควรทำอย่างไร ?
 - ใช้กรดอาหารเป็นแอโนด จุ่มอยู่ในสารละลายที่มีไอออนของ Cr^{3+}
 - ใช้กรดอาหารเป็นแอโนด จุ่มอยู่ในสารละลายกรด
 - ใช้กรดอาหารต่อกับขั้วไฟฟ้าลบ และจุ่มในสารละลายที่มีโครเมียมไอออน
 - ใช้กรดอาหารต่อกับขั้วไฟฟ้าบวก และจุ่มในสารละลายกรด
- ถ้าต้องการชุบโลหะ X ด้วย โลหะ Y วิธีการในข้อใดต่อไปนี้กล่าวไม่ถูกต้อง
 - ใช้โลหะ X ต่อกับขั้วไฟฟ้าแคโทด
 - ใช้โลหะ Y ต่อกับขั้วไฟฟ้าที่เป็นแอโนด
 - ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนของโลหะ X
 - ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น
- เมื่อท่านต้องการชุบสร้อยเหล็กให้เป็นสร้อยทอง ท่านจะต้องปฏิบัติตามข้อใดได้
 - ต่อสร้อยเหล็กเข้ากับบวกของแบตเตอรี่ แล้วจุ่มในสารละลายเกลือ
 - ต่อสร้อยเหล็กเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ แล้วจุ่มในสารละลายเกลือของโลหะ A
 - ต่อสร้อยทองเข้ากับ ขั้วไฟฟ้าบวก แล้วจุ่มสร้อยเหล็กในสารละลายเกลือ
 - ต่อสร้อยทองเข้ากับขั้วไฟฟ้าลบ แล้วจุ่มสร้อยเหล็กในสารละลายเกลือของโลหะ A
- ทองแดงที่ถูกล้างจากสินแร่ เมื่อทำให้บริสุทธิ์โดยใช้หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิซิส ข้อความในข้อใดต่อไปนี้ผิด
 - ใช้สินแร่ที่ต้องการถูกล้างต่อเข้ากับขั้วแอโนด และใช้ทองแดงบริสุทธิ์เป็นแคโทด
 - สารที่เจือปนในทองแดงที่นำมาถูกล้าง สามารถเป็นตัวรีดิวซ์ที่แตกต่างจากทองแดงมากพอสมควร
 - สารที่เจือปนในทองแดงถูกล้างที่ถูกออกซิไดซ์ได้ยากกว่าทองแดงจะตกตะกอนอยู่ก้นภาชนะ

- ง. สารละลายในเซลล์เป็นอิเล็กโทรไลต์อะไรก็ได้
7. สิ่งใดไม่ควรปฏิบัติในการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า
- โลหะที่จะ ชุบต่อเข้ากับขั้วแคโทดของเซลล์
 - ใช้สิ่งที่จะชุบเป็นแคโทดเสมอ
 - ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีไอออนของโลหะที่จะชุบ
 - ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเสมอ
8. นักเรียนคนหนึ่งทำการทดลองดังรูป



ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง

- จุดประสงค์เพื่อต้องการทำโลหะเหล็ก ทองแดง และเงินให้บริสุทธิ์
 - จุดประสงค์เพื่อต้องการแยกโลหะเงินให้บริสุทธิ์เท่านั้น
 - จุดประสงค์เพื่อต้องการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า
 - การทดลองนี้ที่ขั้วแอโนดหรือขั้วไฟฟ้าลบจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ตัวเลือกดังนี้

ก. ข้อ 1 และ 2

ค. ข้อ 2 และ 4

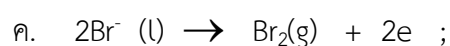
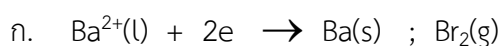
ข. ข้อ 1 และ 4

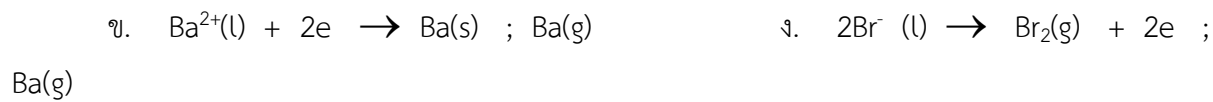
ง. ข้อ 2 เท่านั้น

9. การผลิตโลหะโซเดียม โดยใช้วัตถุดิบจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าบวกหรือแอโนด เป็นอย่างไร



10. เมื่อแยก BaBr_2 ที่หลอมเหลวด้วยกระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดและสิ่งที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดคือข้อใดตามลำดับ ?





เฉลยแบบทดสอบที่ 7 ประโยชน์ของเซลล์อิเล็กโทรไลต์

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1. ง | 2. ก | 3. ค | 4. ค | 5. ข |
| 6. ง | 7. ก | 8. ค | 9. ค | 10. ก |



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7 : กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

76

รายวิชา ว 33222 เคมี 6

ชั้น ม.6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เคมีไฟฟ้า

เรื่อง การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน

เวลาเรียน 2 ชั่วโมง

ผู้สร้างสรรค์การจัดการเรียนรู้ อาจารย์ ศุภศิลป์ ภาชี

1. มาตรฐานการเรียนรู้ / ตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด

1. อธิบายสาเหตุที่ทำให้โลหะเกิดการผุกร่อนพร้อมทั้งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาและบอกวิธีป้องกันได้

2. สาระการเรียนรู้

การผุกร่อนของโลหะเกิดจากการที่โลหะเสียอิเล็กตรอนให้แก่ น้ำและออกซิเจน ดังนั้นเมื่อทราบสาเหตุแล้วจึงสามารถป้องกันมิให้โลหะต่างๆ ที่ใช้งานอยู่ในชีวิตประจำวันเกิดการผุกร่อนได้

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุสาเหตุของการเกิดการผุกร่อนของโลหะได้ (K)
2. เขียนสมการแสดงการผุกร่อนของโลหะได้ (P)
3. ทดลองการป้องกันการผุกร่อนของโลหะหลักด้วยวิธีต่างๆ ได้ (P)
4. นักเรียนมีความรับผิดชอบในการทำงาน (A)

ด้านพุทธิพิสัย (ความรู้) : K	ด้านทักษะพิสัย (ทักษะ) : P	ด้านเจตพิสัย (เจตคติ) : A
1. ระบุสาเหตุของการเกิดการผุกร่อนของโลหะได้ 2. สามารถอธิบายความหมายของการผุกร่อนของโลหะ 3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1. การเขียนสมการเคมีการผุกร่อน 2. ทดลองการป้องกันการผุกร่อน	1. ความรับผิดชอบในการทำงาน 2. ความเห็นอกเห็นใจเพื่อนร่วมทีม 3. ความรอบคอบ 4. ความมุ่งมั่นอดทน

4. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- ☒ ความสามารถในการสื่อสาร ☒ ความสามารถในการคิด ☒ ความสามารถในการแก้ปัญหา
- ☐ ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต ☐ ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

5. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- ☐ รักชาติ ศาสน์ กษัตริย์
 ☐ ซื่อสัตย์สุจริต
 ☐ มีวินัย
 ☒ ใฝ่เรียนรู้
☐ อยู่อย่างพอเพียง
 ☒ มุ่งมั่นในการทำงาน
 ☐ รักความเป็นไทย
 ☒ มีจิตสาธารณะ

6.กระบวนการจัดการเรียนรู้: การบรรยาย/การสาธิต/การปฏิบัติ ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ หมวก 6 ใบ

ขั้นนำ

1. ครูนำตัวอย่างตะปูที่ขึ้นสนิมมาให้นักเรียนดู แล้วชี้ให้นักเรียนเห็นว่าโลหะสามารถผุกร่อนได้ ครูถามเพื่อให้นักเรียนอภิปรายว่า จะมีวิธีป้องกันการเกิดสนิมหรือการผุกร่อนของโลหะอย่างไร ซึ่งนักเรียนจะได้ทำกิจกรรมเพื่อศึกษาและตอบคำถามดังกล่าวในวันนี้

2. นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน เรื่อง การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน

ขั้นการจัดกิจกรรม หมวก 6 ใบ

1.ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่มๆ ละ 4-5 คน

หมวกใบที่ 1 หมวกสีขาว

ครูให้นักเรียนสังเกตความจริงและคิดเกี่ยวกับข้อเท็จจริง ข้อมูลเบื้องต้นของการเกิดสนิมของตะปู โดยไม่ต้องแสดงความคิดเห็น

หมวกใบที่ 2 หมวกสีแดง

ครูและนักเรียนร่วมกันศึกษาและอภิปรายเนื้อหาในใบความรู้ที่ 8 “การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน” โดยนำอภิปรายเกี่ยวกับการผุกร่อนของเครื่องใช้ที่ทำด้วยโลหะ ที่พบในชีวิตประจำวันและอธิบายการเกิดสนิมเหล็ก และวิธีป้องกันการผุกร่อนของโลหะเพื่อนำเข้าสู่การทดลอง

นักเรียนศึกษาและทำกิจกรรมตามใบกิจกรรมที่ 8 เรื่อง การป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก ให้นักเรียนแสดงความรู้สึก ความคิดเกี่ยวกับความรู้สึกรู้ โดยสามารถบอกตามตรง ว่าชอบหรือไม่ชอบ ดีหรือไม่ดี โดยไม่มีเหตุผลประกอบ

หมวกใบที่ 3 หมวกสีเหลือง

นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมานำเสนอหน้าห้อง โดยครูอาจสุ่มตัวอย่างมา 1 - 2 กลุ่มตามความเหมาะสมแก่เวลาเพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

- 1) วางตะปูเหล็กไว้ในอากาศจะเกิดสนิมน้อย เพราะในอากาศมีไอน้ำและออกซิเจน
- 2) ตะปูเหล็กที่เคลือบด้วยน้ำมันหรือสีจะไม่เกิดสนิม เนื่องจาก น้ำมันหรือสีช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กสัมผัสกับน้ำและออกซิเจน
- 3) ตะปูเหล็กที่เชื่อมกับสังกะสี จะไม่เกิดสนิม เนื่องจาก ค่า E^0 ของครึ่งเซลล์สังกะสีต่ำกว่าครึ่งเซลล์เหล็ก สังกะสีจะเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าเหล็ก

4) ตะปูเหล็กที่มีน้ำท่วมครึ่งหนึ่ง ส่วนที่จุ่มในน้ำจะเกิดสนิม และจะเกิดมากบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำกับอากาศ เนื่องจากเหล็กสัมผัสกับน้ำและออกซิเจน

5) ตะปูเหล็กที่ต่อกับขั้วบวกของถ่านไฟฉายเกิดสนิมมากที่สุด เนื่องจากตะปูเหล็กทำหน้าที่เป็นแอโนด จึงเสียอิเล็กตรอนให้กับขั้วบวกของถ่านไฟฉาย ซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด

6) ตะปูเหล็กที่ต่อกับขั้วลบของถ่านไฟฉายไม่เกิดสนิม เนื่องจากตะปูเหล็กทำหน้าที่เป็นแคโทด จึงไม่เสียอิเล็กตรอน นักเรียนอธิบายประโยชน์ ลักษณะที่เห็นจุดเด่น สิ่งที่เป็นประโยชน์ ในการศึกษาการป้องกันการผุกร่อนของตะปู เป็นข้อมูลในเชิงบวก เพื่อเปิดโอกาสให้เกิดการพัฒนา

หมวดใบที่ 4 หมวดสีดำ

ครูให้นักเรียน เสนอแนวคิดข้อควรระวังในการทดลอง คิดส่วนที่เป็นจุดที่ต้องพัฒนาตนเอง ข้อเสียหรืออุปสรรคในการทำ การทดลองโดยที่จะต้องมีความปลอดภัย ช่วยให้เห็นข้อบกพร่องหรือจัดอันดับ

หมวดใบที่ 5 หมวดสีเขียว

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการมดำ และวิธีอะโนไดซ์ ตามใบความรู้ที่ 8 เรื่อง การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรมตามใบงานที่ 8 เรื่อง การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน เพื่อให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ เกิดกระบวนการคิดใหม่ๆ เพื่อการพัฒนาป้องกันการผุกร่อนของโลหะที่ดีขึ้น และเป็นการคิดอย่างสร้างสรรค์

ขั้นสรุป

หมวดใบที่ 6 หมวดสีน้ำเงิน

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น เพื่อให้กระบวนการคิด เกิดความชัดเจน เข้าใจในเรื่องการป้องกันการผุกร่อน สามารถคิดรวบยอด หาข้อสรุป และยุติข้อขัดแย้งได้

นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 10 ข้อ เวลา 10 นาที จากนั้นนักเรียนและครู ร่วมกันเฉลยแบบทดสอบ นักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ ครูยกย่องชมเชย ส่วนนักเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ให้กลับไปทบทวนความรู้ใหม่ แล้วเขียนสรุปความมาให้ครูอ่านในคาบต่อไป

7. สื่อ อุปกรณ์ และแหล่งการเรียนรู้

1. ใบกิจกรรมที่ 8 การทดลอง “การป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก”
2. ใบความรู้ที่ 8 เรื่อง “การป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก”
3. ใบงานที่ 8 เรื่อง “การป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก”
4. แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน

-PowerPoint

-หนังสือเรียนรายวิชา เคมี เล่ม 4

8. การวัดและประเมินผล

การวัดผลประเมินผลด้าน	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1.วัดจากแบบทดสอบ 2.วัดจากการตรวจใบงานที่ 8	1.แบบทดสอบหลังเรียน ชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ 2. ใบงานที่ 8	1. ทำแบบทดสอบถูก มากกว่าหรือ เท่ากับ 6 ข้อขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้น ไป
2. ด้านทักษะ กระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติตามใบ กิจกรรมที่ 8	แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงาน	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึง ประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรม ความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

.....

.....

ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไขปัญหา

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สร้างสรรค์การจัดการเรียนรู้
(.....)

10. ความคิดเห็นผู้บริหาร/ผู้ที่ได้รับมอบหมาย

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้บริหาร/ผู้ที่ได้รับมอบหมาย
(.....)



ใบงานที่ 8 เรื่อง การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน

คำชี้แจง จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

ข้อ 1. สมบัติของเหล็กและดีบุกถูกทดสอบด้วยการทดลอง 2 การทดลอง บันทึกการทดลองได้ดังนี้

การทดลอง	ผลการทดลอง
1. ผงดีบุกจากการตะไบโลหะดีบุกลงในสารละลายไฮดรอกไซด์ (II) คลอไรด์	ไม่พบการเปลี่ยนแปลงใด ๆ
2. ผงตะไบเหล็กผสมกับสารละลายดีบุก (II) คลอไรด์	เกิดตะกอนของแร่ดีบุก

จากผลการทดลอง จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. เพราะเหตุใดกระป๋องเหล็กที่เคลือบด้วยดีบุกเพื่อใช้เก็บอาหารต่าง ๆ จึงไม่ผุกร่อนทั้ง ๆ ที่ ดีบุกสามารถรับอิเล็กตรอนจากโลหะเหล็กได้

ข. เพราะเหตุใดจึงใช้ดีบุกเคลือบกระป๋องเหล็ก

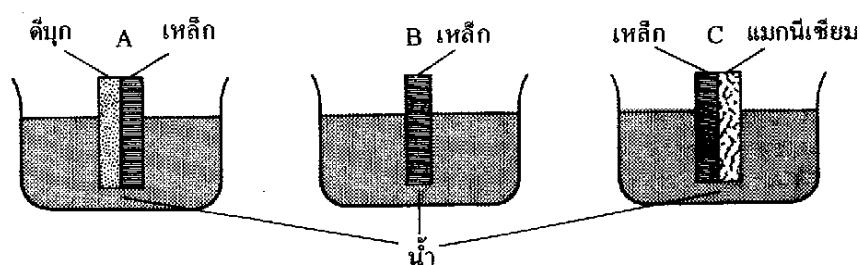
ค. ถ้าพื้นที่ผิวของดีบุกที่เคลือบกระป๋องเหล็กแตกออกถึงเนื้อเหล็กภายใน จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนของเหล็กหรือไม่ อย่างไร ถ้ามี จงเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วย

ข้อ 2 ก. กรดชนิดใดบ้างที่สามารถทำให้ทองแดงเกิดการผุกร่อนได้

ข. เพราะเหตุใดอะลูมิเนียมซึ่งเป็นโลหะที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีมากกว่าเหล็ก แต่เกิดการผุกร่อนช้ากว่าเหล็ก

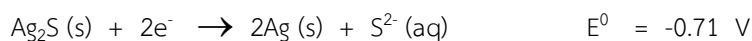
ค. เพราะเหตุใดเรือเดินทะเลจึงเกิดการผุกร่อนเร็วกว่าเรือที่แล่นในน้ำจืด

ง. นักเรียนคนหนึ่งจัดอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองดังต่อไปนี้

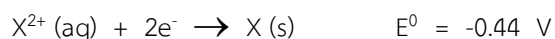
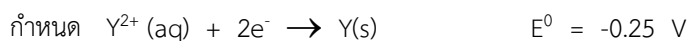


การทดลองใดที่โลหะเหล็กจะเกิดการผุกร่อนเร็วที่สุด เพราะเหตุใด

ข้อ 3. โลหะเงินจะเกิดการผุกร่อนได้เมื่อรวมตัวกับซัลไฟด์ในอากาศเกิดสารสีเทาเรียกว่า Tarnished silver หรือเรียกว่าเงินหมอง ซึ่งเป็น ซิวเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) Tarnished silver นี้สามารถถูกล้างออกจากภาชนะเงินได้โดยใส่ลงไปในอ่างอลูมิเนียมที่มีสารอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีส่วนในการเกิดปฏิกิริยา เช่น NaCl (aq) จงอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้โดยใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี กำหนดค่า E^0 ของปฏิกิริยาครีเซลล์ดังนี้

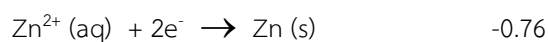
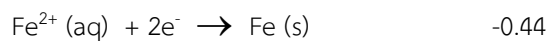
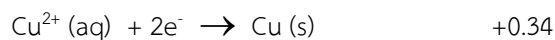


ข้อ 4. เมื่อทำการทดลองดังรูป



ก. โลหะใดเกิดการผุกร่อน ข. จงบอกวิธีในการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ

ข้อ 5. กำหนดศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน ดังนี้



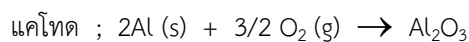
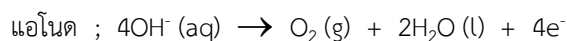
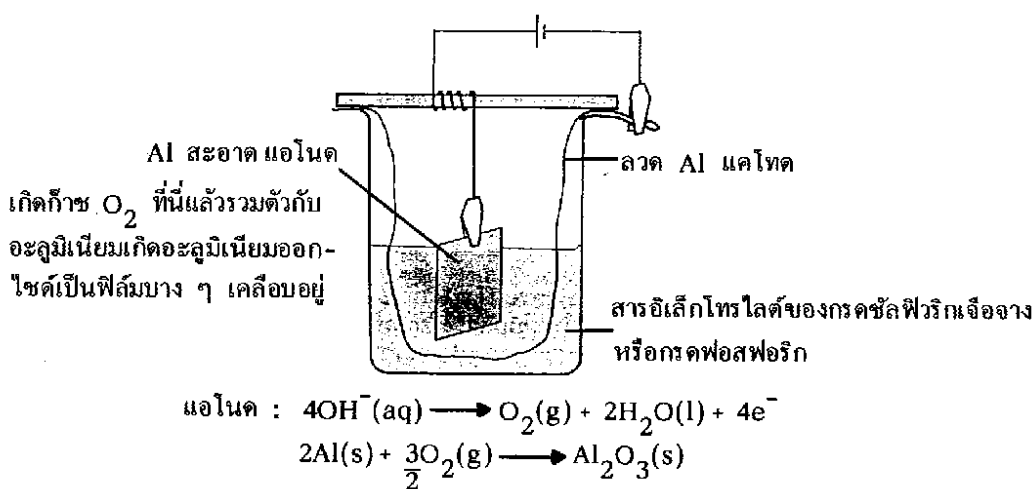
ในการทดลองภาวะต่าง ๆ ของตะปูเหล็ก

การทดลองที่	วิธีทดลอง
1	ใส่ตะปูเหล็กในน้ำ โดยมีน้ำท่วมครึ่งหนึ่งของตะปูเหล็ก
2	ต่อตะปูเหล็กกับสังกะสี แล้วแช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ โดยให้ปลายด้านที่ไม่ต่อกับสังกะสีอยู่พ้นผิวน้ำ
3	ต่อตะปูเหล็กกับทองแดง แล้วแช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ โดยให้ปลายด้านที่ไม่ต่อกับทองแดงอยู่พ้นผิวน้ำ
4	แช่ตะปูเหล็ก โดยให้ครึ่งหนึ่งอยู่พ้นผิวน้ำ และต่อปลายที่พ้นผิวน้ำเข้ากับขั้วลบของถ่านไฟฉาย

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ในการทดลองที่หนึ่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้ามีให้เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วย
- ในปฏิกิริยาการผุกร่อนของเหล็กสารใดเป็นตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์
- การทดลองใดเป็นการป้องกันการผุกร่อนของเหล็กด้วยวิธีแคโทดิก
- การทดลองใดที่ตะปูเหล็กมีการผุกร่อน

ข้อ 6. เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในเซลล์ไฟฟ้าเคมีดังรูป จะเกิดฟองผุดรอบ ๆ เส้นลวดอะลูมิเนียม และแผ่นอะลูมิเนียมที่ทำความสะดวกแล้ว ปรากฏว่าเกิดสารสีขาวไปเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมนี้ด้วย



จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า

ข. ครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้ว คือ

แอโนด

แคโทด.....

ค. ที่ขั้วแอโนดเกิดสารใด

เฉลยใบงานที่ 8 การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน

เฉลยข้อ 1. จากข้อมูลการทดลองวิเคราะห์และสรุปได้ดังนี้

การทดลองที่	ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง	สรุปผลการทดลอง
1	$\text{Sn} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow$ ไม่เกิดปฏิกิริยา	Fe^{2+} ซึ่งอิเล็กตรอนจาก Sn ไม่ได้
2	$\text{Fe} + \text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Sn}$ (ตะกอนสีเทา)	Sn^{2+} ซึ่งอิเล็กตรอนของ Fe ได้

อาศัยข้อมูลข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่า Sn^{2+} ซึ่งอิเล็กตรอนได้ดีกว่า Fe^{2+}

ก. จากการทดลองจะเห็นว่าดีบุกที่เคลือบอยู่บนผิวของกระป๋องเหล็ก สามารถทำให้เหล็กเกิดการ ผุกร่อนได้ แต่ในความเป็นจริงกระป๋องเหล็กไม่เกิดสนิมขึ้น ทั้งนี้เพราะ ดีบุกที่เคลือบผิวกระป๋องเหล็กอยู่นั้นเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ SnO ที่เสถียรและไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะเคลือบเป็นฟิล์มบาง ๆ เกาะที่ผิวโลหะนั้นกันไม่ให้ น้ำ และออกซิเจนซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็ก และเกิดการผุกร่อนได้

ข. 1. เพราะดีบุกเป็นโลหะที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง

2. ดีบุกสามารถเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์เคลือบผิวโลหะได้แน่น ป้องกันน้ำและออกซิเจน

สัมผัสกับเหล็กได้

ค. ถ้ากระป๋องเหล็กเกิดรอยแยก หรือแตก จะทำให้กระป๋องเหล็กเกิดการผุกร่อนเร็วและมากขึ้น เพราะ Sn^{2+} สามารถ ซึ่งอิเล็กตรอนได้ดีกว่า Fe^{2+} (Sn^{2+} มีค่า $E^0 > \text{Fe}^{2+}$)

เฉลยข้อ 2

ก. กรดที่สามารถทำให้โลหะทองแดงผุกร่อนได้ เช่น กรด HNO_3 เจือจาง , HClO_4 , HClO , HClO_2 HClO_3

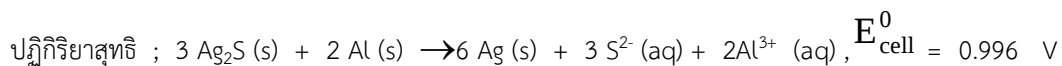
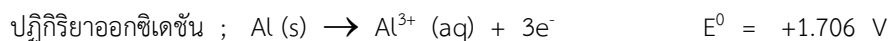
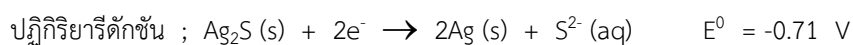
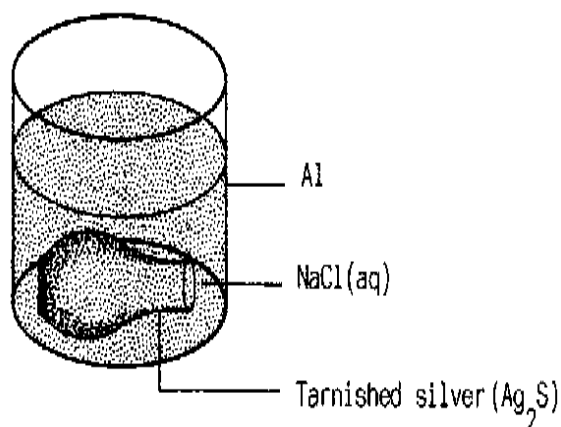
ข. Al แม้ว่าจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐานน้อยกว่า Fe แต่ผุกร่อนช้ากว่า Fe เพราะว่า Al สามารถรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ Al_2O_3 เคลือบผิว ซึ่งออกไซด์นี้เป็นออกไซด์ที่มีความเสถียร ไม่ละลายน้ำ สารต่าง ๆ ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อของ Al ไม่ได้ Al จึงไม่ผุกร่อน ส่วน Fe รวมตัวกับก๊าซออกซิเจน และน้ำ เกิดเป็นสนิมเหล็ก ไม่เกาะเคลือบผิว Fe ทำให้ Fe มีรอยและ รูพรุนมากขึ้น จึงผุกร่อนได้เร็วยิ่งขึ้น

ค. เรือเดินทะเลเกิดการผุกร่อนเร็วกว่าเรือที่แล่นในน้ำจืด เพราะเรือเดินทะเลอยู่ในน้ำเค็มมี NaCl ซึ่งเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ดี และ Cl^- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดสนิมเหล็กในเรือเดินทะเล ดังนั้น จึงผุกร่อนเร็ว ส่วนเรือในน้ำจืดไม่มีเกลือ จึงเกิดการผุกร่อนช้ากว่า

ง. ทุกบีกเกอร์โลหะ Fe จุ่มอยู่ในน้ำ และสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จึงผุกร่อนทุกบีกเกอร์ และพบว่าบีกเกอร์ A มี Sn สัมผัสกับ Fe ซึ่ง Sn นี้มีค่า E^0 มากกว่าเหล็ก ดังนั้น จึงทำให้เหล็กเกิดการ ผุกร่อนมากเร็วขึ้นกว่าในบีกเกอร์อื่นๆ

เฉลยข้อ 3.

เนื่องจากค่า E^0 ของ Ag_2S สูงกว่า E^0 ของ Al ดังนั้น Ag_2S จึงชิงอิเล็กตรอนของอลูมิเนียมได้ในสารละลาย NaCl ที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์เฉื่อย เกิด $\text{Ag}(\text{s})$ ส่วน Al จะผุกร่อนเป็น Al^{3+} ซึ่งอธิบายในรูปเซลล์กัลวานิก ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



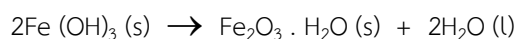
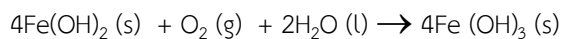
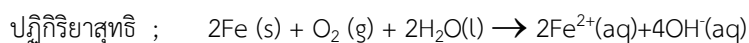
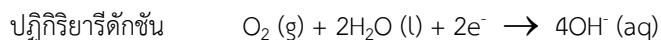
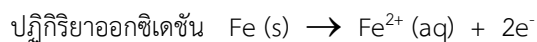
เฉลยข้อ 4.

ก. จากรูปโลหะ Y พันตะปู X พบว่าค่า E^0 ของ X ต่ำกว่าของ Y ดังนั้นตะปู X จะผุกร่อน โลหะ X จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำ ในอากาศเกิดออกไซด์ของ X จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดสนิม

ข. วิธีป้องกันการผุกร่อน เช่น การทาสี ทาน้ำมัน ทาสารกันสนิม เคลือบพลาสติก หรือให้สัมผัสกับโลหะที่มีค่า E^0 ต่ำกว่า

เฉลยข้อ 5.

ก. การทดลองที่ 1 เกิดสารสีน้ำตาลแดงเกาะที่บริเวณของตะปูเหล็กที่เป็นรอยต่อระหว่างน้ำกับออกซิเจนในอากาศ
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



สนิมเหล็ก

ข. Fe เป็นตัวรีดิวซ์ และ O_2 เป็นตัวออกซิไดซ์

ค. การทดลองที่ 2 Zn ต่อกับ Fe Zn ป้องกันการผุกร่อนของ Fe ได้ เพราะ Zn มีค่า E^0 ต่ำกว่า Fe

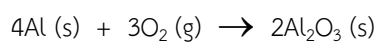
ง. การทดลองที่ 1, 3

การทดลองที่ 3 Fe ผุกร่อน เพราะ Cu ต่อกับ Fe นอกจาก Cu ไม่ได้ป้องกันการผุกร่อน และยังทำให้เหล็กเกิดการผุกร่อนเร็วขึ้นอีกด้วย เพราะ Cu มีค่า $E^0 (+0.34)$ สูงกว่าเหล็ก (-0.409)

เฉลยข้อ 6.

ก. การอะโนไดซ์

ข. แอโนด ; $4\text{OH}^- \text{ (aq)} \rightarrow \text{O}_2 \text{ (g)} + 2\text{H}_2\text{O (l)} + 4\text{e}^-$ และ



แคโทด ; $4\text{H}^+ \text{ (aq)} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2 \text{ (g)}$

ค. เกิด Al_2O_3 เคลือบผิว





โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

บันทึกผลหลังการสอน

วิชา เคมี ภาคเรียนที่ 2 ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2566

ครูผู้สอน อ.ศุภศิลป์ ภาษี

กลุ่มสาระการเรียนรู้สาขาวิจัยพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แผนการจัดการเรียนรู้ที่.....เรื่อง.....เวลาคาบ

.....

1. จำนวนนักเรียนที่ใช้สอน

ระดับชั้น	จำนวนนักเรียน (คน)
มัธยมศึกษาปีที่ 6/1	28
มัธยมศึกษาปีที่ 6/2	30

2. ผลการสอน

- 2.1) ความเหมาะสมของระยะเวลา () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.2) ความเหมาะสมของเนื้อหา () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.3) ความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนการสอน () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.4) ความเหมาะสมของสื่อการสอนที่ใช้ () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.5) พฤติกรรม/การมีส่วนร่วมของนักเรียน () ดีมาก () ดี () พอใช้ () ต้องปรับปรุง
- 2.6) ผลการปฏิบัติกิจกรรม/ใบกิจกรรม การทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

1) การประเมินผลก่อนการเรียนโดยใช้แบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ พบว่านักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย.....จากคะแนนเต็ม..... มีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้คือร้อยละ 50

2.) การประเมินผลหลังการเรียน โดยใช้แบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ พบว่า นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ย.....จากคะแนนเต็ม..... มีนักเรียนร้อยละ ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้คือร้อยละ 60

3.) การประเมินด้านทักษะกระบวนการ ผลการประเมินโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมพบว่ามีนักเรียนร้อยละ ผ่านเกณฑ์การประเมิน และมีนักเรียนร้อยละไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

3. ปัญหาและอุปสรรค

4. ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

ลงชื่อ..... ผู้สอน/ผู้บันทึก

(อ.ดร.ศุภศิลป์ ภาชี)

ตำแหน่ง อาจารย์

...../...../.....

ลงชื่อผู้บริหาร

(อ.ดร.นพทรัพย์ พิชัยสามารถ)

ผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

...../...../.....



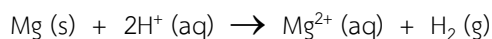
ใบความรู้ที่ 8 เรื่อง การผุกร่อนของโลหะและการป้องกัน

การผุกร่อนของโลหะ คือ กระบวนการของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดจากโลหะถูกออกซิไดส์เป็นสาร ประกอบในภาวะแวดล้อมต่าง ๆ กัน เช่น การเกิดสนิม (Iron rust $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) โลหะเงินเกิดความหมอง (Tranished silver, Ag_2S) การเกิดสารสีเขียว (Green patina CuCO_3) เคลือบบนโลหะทองแดง ทองเหลือง ทองบรอนซ์

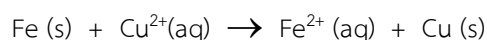
ลักษณะสำคัญของการผุกร่อนของโลหะ

1. การผุกร่อนของโลหะเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์โดยโลหะให้อิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนสารอื่นที่รับอิเล็กตรอนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน หรือเป็นตัวออกซิไดซ์
2. เหล็กทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน และน้ำ เกิดออกไซด์ Fe_2O_3 เรียกว่า การเกิดสนิมเหล็ก (Rust)
3. สนิมของโลหะต่างชนิดกันจะเกิดสีต่างกัน เช่น สนิมเหล็ก Fe_2O_3 มีสีน้ำตาล สนิมทองแดง CuO มีสีดำ หรือสีน้ำตาลดำ ส่วนสนิมอลูมิเนียมคือ Al_2O_3 มีสีขาว
4. สนิมของโลหะมักเกิดในรูปของออกไซด์ เช่น Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CuO
5. โลหะที่ผุกร่อนง่าย ได้แก่ โลหะที่มีค่า E^0 ต่ำ เช่น โลหะอัลคาไลน์ (หมู่ 1A) และโลหะ อัลคาไลน์เอิร์ท (หมู่ 2A)
6. ปัจจัยที่จะทำให้โลหะทั่วไปผุกร่อนสรุปได้ดังนี้

6.1 โลหะจุ่มในกรด (ยกเว้นโลหะมีตระกูล Au , Ag , Pt) จะผุกร่อนเกิดการไฮโดรเจน เช่น



6.2 โลหะจุ่มอยู่ในไอออนบวกของโลหะที่มีค่า E^0 สูงกว่า จะเกิดการผุกร่อนได้ เช่น โลหะเหล็กจะเกิดการผุกร่อนได้เมื่อจุ่มอยู่ในสารละลาย $\text{Cu}^{2+} (\text{aq})$ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาดังนี้

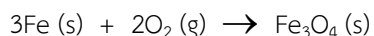
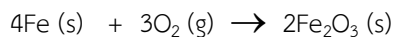
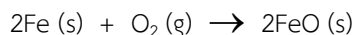


6.3 โลหะทำปฏิกิริยากับ O_2 และน้ำพร้อมกันจะเกิดออกไซด์ เรียกกระบวนการนี้ว่า

การเกิดสนิม

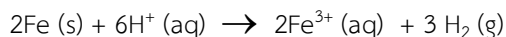
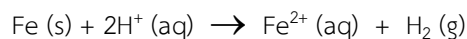
การศึกษาการผุกร่อนของโลหะเหล็ก

1. เหล็กจะเป็นสนิมอย่างช้า ๆ เมื่อสัมผัสกับอากาศแห้ง เพราะอะตอมของเหล็กที่ผิวหน้าจะทำปฏิกิริยาอย่างช้า ๆ กับก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศ เกิดออกไซด์ของเหล็กหลายชนิดปนกัน ดังนี้

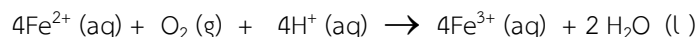


โลหะที่เกิดสนิมขึ้นจะเกิดรูจำนวนมากที่ผิวของโลหะ ทำให้อะตอมของออกซิเจนและน้ำสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะ ทำให้เกิดกระบวนการผุกร่อนต่อ ๆ ไป

2. เหล็กจมในสารละลายกรดเกิดปฏิกิริยาการผุกร่อน ได้อิออนของเหล็กและก๊าซไฮโดรเจน ดังนี้



ถ้ามี O_2 อยู่ด้วย Fe^{2+} จะถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{3+} ไอออนดังนี้



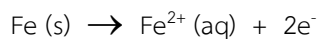
ทุกปฏิกิริยาข้างต้นนี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ

3. เหล็กจะไม่เป็นสนิมเมื่อสัมผัสกับน้ำที่ไม่มีออกซิเจนละลายอยู่

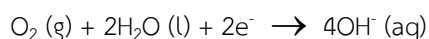
4. เหล็กจะเป็นสนิม เมื่อสัมผัสกับน้ำที่มีออกซิเจนละลายน้ำ ได้ดีกว่าการสัมผัสกับอากาศแห้ง ๆ ที่ปราศจากน้ำ

เมื่อโลหะเหล็กอยู่ในน้ำที่มีก๊าซออกซิเจนละลายอยู่จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นดังนี้

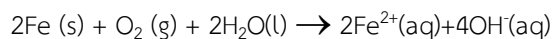
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน



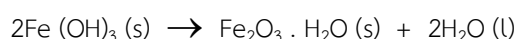
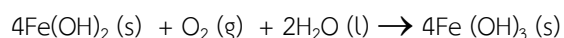
ปฏิกิริยารีดักชัน



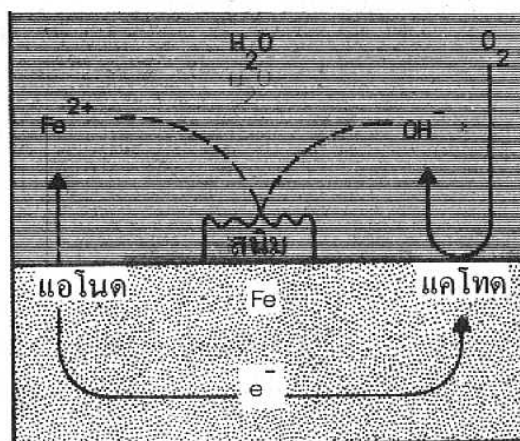
ปฏิกิริยาสุทธิ ;



Fe^{2+} และ OH^- ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันเกิดเป็นตะกอน Fe(OH)_2 แล้วถูกออกซิไดส์ด้วย H_2O และ O_2 เป็นสนิมในที่สุด



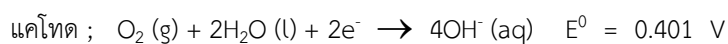
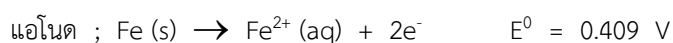
สนิมเหล็ก



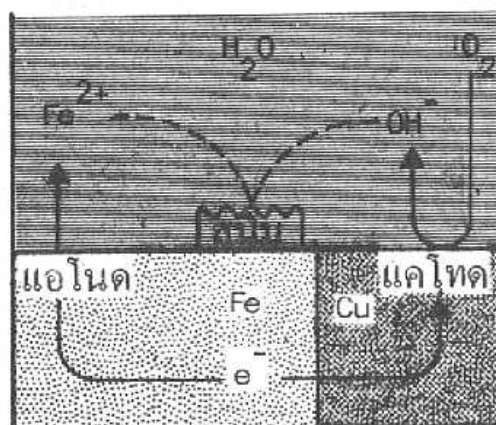
รูปที่ 1 เมื่อโลหะ Fe ถูกจุ่มอยู่ในน้ำที่มี O_2 ละลายอยู่ ออกซิเดชันของ Fe และรีดักชันของ O_2 สามารถเกิดขึ้นที่จุดต่างกันบนผิวโลหะ ผลสุทธิจะเกิด Fe^{2+} และ OH^- แล้วแพร่เข้ามารวมกัน เกิดสารเชิงซ้อนที่ถูกออกซิไดส์เป็นสนิม $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O (s)}$

5. เหล็กจะเกิดสนิมเร็วขึ้นเมื่อสัมผัสกับโลหะทองแดง

อธิบายได้ในรูปเซลล์กัลวานิกที่จุด 2 จุดโลหะ เหล็กสัมผัสกับโลหะทองแดง โดยโลหะเหล็กทำหน้าที่แอโนดให้อิเล็กตรอนเกิด Fe^{2+} ไอออน



Fe^{2+} ไอออนที่เกิดขึ้นที่แอโนดแพร่มารวมตัวกับ OH^- ไอออนที่แคโทดเกิดตะกอนแล้วถูก ออกซิไดส์ไปเป็นสนิมเหล็กในที่สุด เรียกกระบวนการนี้ว่า galvanic corrosions เพราะปฏิกิริยาสุทธิล้ำยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิก

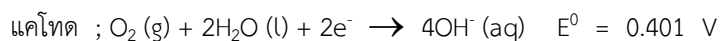
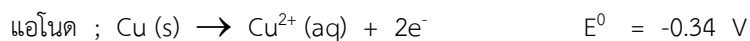


รูปที่ 2 เมื่อโลหะเหล็กสัมผัสกับโลหะทองแดงโดยมีหยดน้ำที่มี O_2 ละลายอยู่ อธิบายในรูปเซลล์กัลวานิก

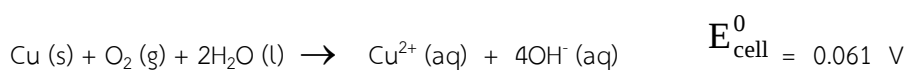
Fe ถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{2+} ไอออน เกิดอิเล็กตรอนถ่ายเทไปยังโลหะทองแดงซึ่ง O_2 ในน้ำถูก

รีดิวซ์ไปเป็น OH^- ไอออน

โลหะทองแดงจะไม่ผุกร่อนเมื่อสัมผัสกับเหล็ก เพราะว่าทองแดงเป็นตัวรีดิวซ์อ่อนกว่าเหล็ก ถ้าเซลล์กัลวานิกประกอบด้วยโลหะทองแดงเป็นแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะพบว่าอิเล็กตรอนไหลไปยังโลหะเหล็กที่เป็นแคโทดโดยมี O_2 ละลายอยู่ในน้ำ และก๊าซ O_2 ถูกรีดิวซ์



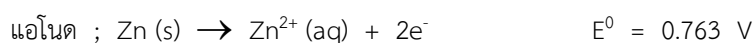
ศักย์ไฟฟ้าสุทธิของปฏิกิริยานี้มีค่าน้อยกว่า ศักย์ไฟฟ้าสุทธิของปฏิกิริยาที่เกิดเหล็กเป็นแอโนด

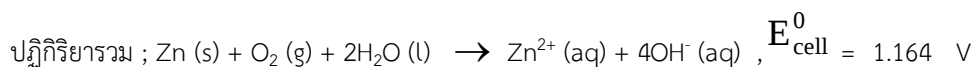
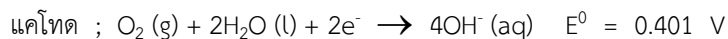


ดังนั้น เหล็กจึงผุกร่อนง่ายกว่าทองแดง

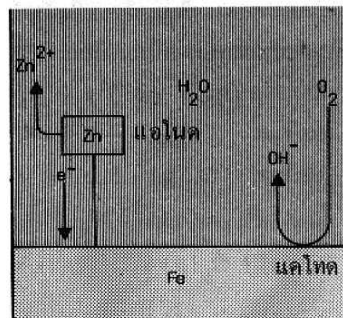
6. เหล็กจะไม่เป็นสนิมเมื่อสัมผัสกับโลหะสังกะสี หรือแมกนีเซียม

โลหะที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ต่ำกว่าเหล็ก (คือ โลหะที่มี E^0 ต่ำกว่า เช่น Zn ,Mg) สัมผัสกับเหล็กจะสามารถป้องกันการผุกร่อนได้ ดังรูป 3 กระบวนการนี้เรียกว่า Cathodic protection ซึ่งสามารถอธิบายในรูปเซลล์กัลวานิกคือ โลหะเหล็กเป็นแคโทด ส่วนโลหะสังกะสีหรือแมกนีเซียมจะเป็นแอโนด เกิดปฏิกิริยาดังนี้





ศักย์ไฟฟ้าสุทธิสำหรับปฏิกิริยานี้มีค่ามากกว่าศักย์ไฟฟ้าสุทธิ สำหรับปฏิกิริยาที่มีเหล็กเป็นแอโนด ดังนั้นโลหะสังกะสีจะผุกร่อนแทนเหล็ก โดยหลักการนี้ได้นำมาใช้ทำสังกะสีมุงหลังคา กล่าวคือใช้โลหะสังกะสีเคลือบแผ่นเหล็กเพื่อป้องกันการผุกร่อนของแผ่นเหล็ก

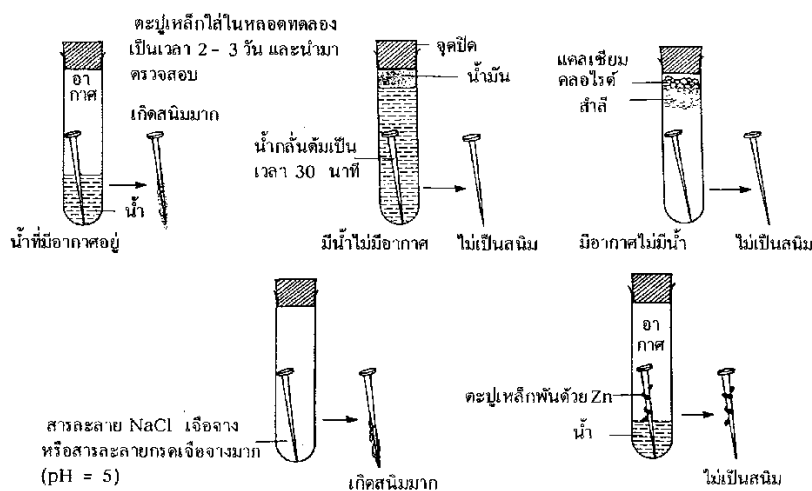


ท่อเหล็กต่อกับแมกนีเซียมหรือสังกะสีป้องกันการผุกร่อนของเหล็กได้

รูปที่ 3 การผุกร่อนของเหล็กสามารถป้องกันโดยวิธี Cathodic protection

การทดลองศึกษาภาวะที่ทำให้เหล็กเกิดการผุกร่อน

การทดลองดังรูป 4 แสดงภาวะที่ทำให้เหล็กเป็นสนิม



รูปที่ 4 ภาวะที่จะทำให้เหล็กเป็นสนิม

จากรูปที่ 4 การทดลองภาวะที่ทำให้เหล็กเป็นสนิม สรุปได้ว่า

1. เหล็กเป็นสนิมต้องใช้ O_2 และ H_2O
2. เหล็กจะเป็นสนิมเร็วขึ้นเมื่ออยู่ในน้ำที่มีเกลือละลายแตกตัวเป็นไอออนอยู่
3. เหล็กจะเป็นสนิมเร็วขึ้นเมื่ออยู่ในสารละลายกรดเล็กน้อย
4. เหล็กจะไม่เป็นสนิมเมื่อสัมผัสกับโลหะสังกะสี

การทดสอบการผุกร่อนของเหล็ก

การเกิดสนิม เป็นการผุกร่อนของเหล็กอย่างหนึ่ง ขั้นตอนระหว่างการผุกร่อนจะเกิด OH^- และ Fe^{2+} ขึ้นก่อน แล้วจึงถูกออกซิไดส์ไปเป็นสนิมเหล็ก $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ ดังนั้น การทดสอบการผุกร่อนของเหล็กจึงควรตรวจหา OH^- และ Fe^{2+} ซึ่งมีวิธีตรวจสอบดังนี้

1. การตรวจหา OH^- นำสารที่จะทดสอบมาหยดฟีนอล์ฟทาลีน ถ้าได้สีชมพูแสดงว่า สารนั้นมี OH^-
2. การตรวจหา Fe^{2+} นำสารที่จะทดสอบมาเติมโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์รต์ (III)

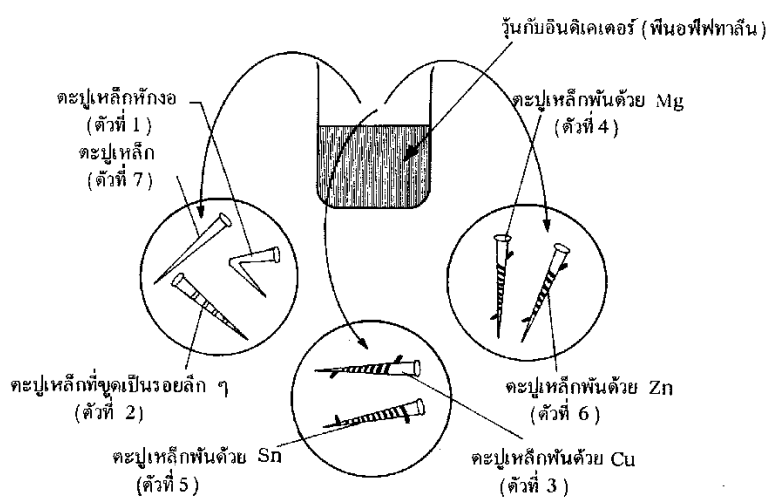
$K_3[Fe(CN)_6]$ แล้วเกิดตะกอนสีน้ำเงินของโพแทสเซียมไอร์รอน (II) เฮกซะไซยาโนเฟอร์รต์ (III) $KFe[Fe(CN)_6]$ ดังสมการ



ตะกอนสีน้ำเงิน

การทดลองการผุกร่อนของเหล็ก

การทดลองดังรูป 5 แสดงการผุกร่อนของเหล็ก



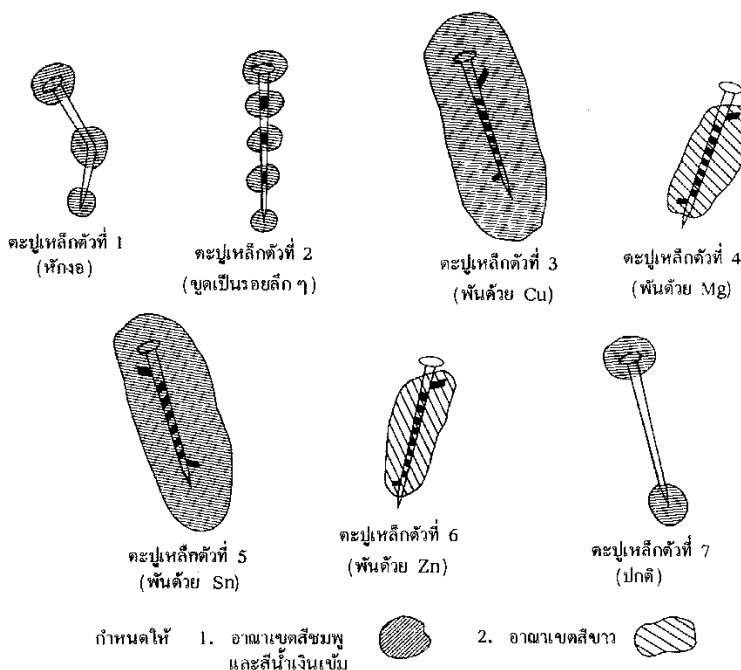
รูปที่ 5 แสดงการทดสอบการผุกร่อนของเหล็ก

การทดลองในรูปที่ 5 ใช้สารละลายวุ้น สารละลายนี้ทำให้ร้อนแล้วเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สารละลายนี้มีสาร 2 ชนิดผสมอยู่ ดังนี้

1. โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) $K_3[Fe(CN)_6]$ จะเกิดตะกอนสีน้ำเงินขึ้นเมื่อมี Fe^{2+} อยู่ สารนี้ใช้ทดสอบ Fe^{2+}
2. ฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์ จะเกิดสารสีชมพูขึ้นเมื่อรวมตัวกับ OH^- ซึ่งใช้สารนี้ทดสอบ OH^-

วิธีทดลอง

เทสารละลายวุ้นที่มีฟีนอล์ฟทาเลอินและ $K_3[Fe(CN)_6]$ อยู่ด้วย ลงในขามกระเบื้องที่มีตะปูชนิดต่าง ๆ ดังรูป 5 เมื่อเย็นลง วุ้นจะแข็งตัวทิ้งไว้ 1 -2 วัน บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 6 ผลการทดลองการผุกร่อนของเหล็ก

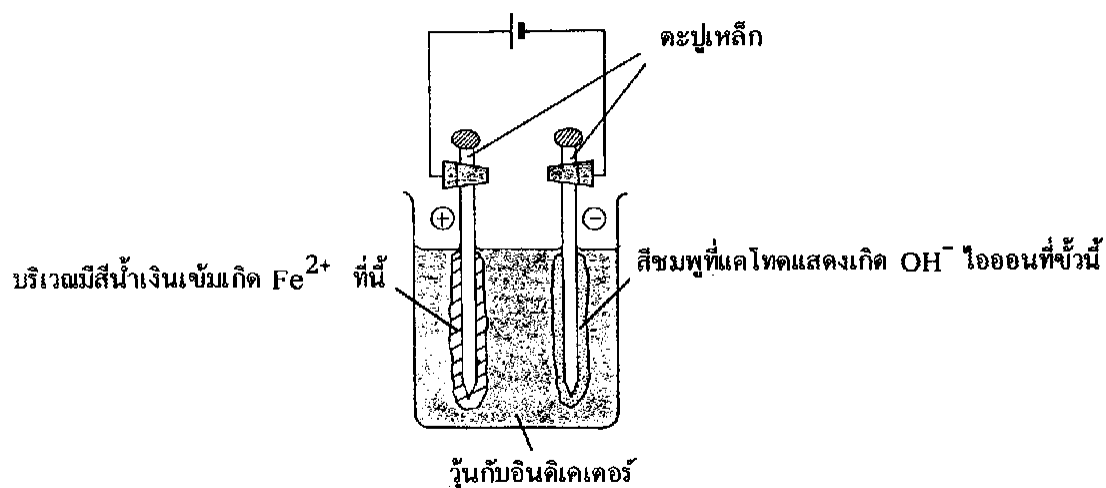
จากผลการทดลองในรูป 6 สรุปได้ว่า

1. ตะปูเหล็กทุกตัวเกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ไอออน, Fe^{2+} และ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ยกเว้นตะปูเหล็กที่พินด้วยแมกนีเซียมและสังกะสี
2. เมื่อตะปูเหล็กพินกับแมกนีเซียมและพินสังกะสีจะเกิด OH^- ไอออนไม่เกิด Fe^{2+} ไอออน แต่จะเกิด Mg^{2+} และ Zn^{2+} แสดงว่า Mg และ Zn ผุกร่อน
3. ไฮดรอกไซด์ ไอออนเกิดได้ง่ายขึ้น เมื่อ หรือเหล็กผุกร่อนได้ง่ายขึ้นเมื่อ

3.1 บริเวณที่ผิวของเหล็กแตกหรือหักออก

3.2 เมื่อเหล็กสัมผัสกับโลหะที่มีค่า E^0 สูงกว่า เช่น Cu

การทดลองแสดงธรรมชาติการเกิดสนิมของเหล็กในรูปไฟฟ้าเคมี

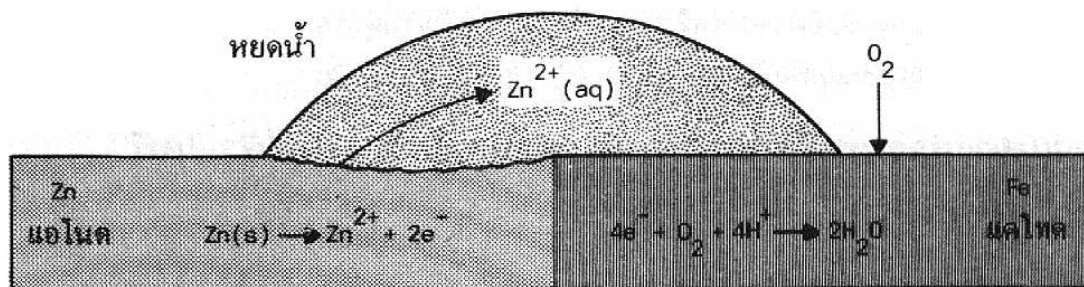


รูป

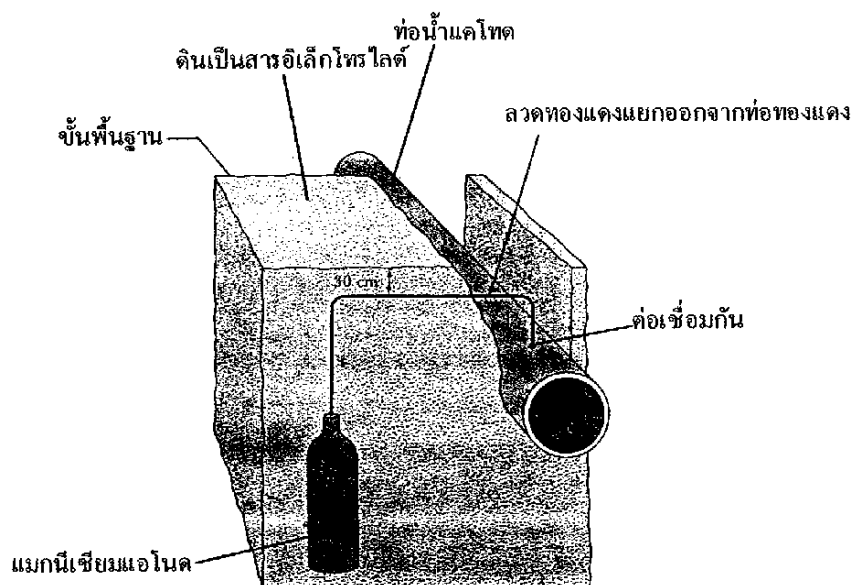
ที่ 7 แสดงธรรมชาติของการเกิดสนิมเหล็ก

การป้องกันการผุกร่อนของโลหะ

1. ทาสี ทาน้ำมัน หรือทาสารกันสนิม
2. ฉาบหรือเคลือบโลหะที่สามารถเกิดสารเคลือบผิวสลายตัวยาก เสถียร เช่น Al , Sn , และ Cr
โดย Al เมื่อเกิดออกไซด์จะเคลือบผิวโลหะไว้ ซึ่งเสถียรและสลายตัวยาก วิธีการนี้เรียกว่า วิธีอะโนไดซ์
3. ทำเป็นโลหะผสม เช่น การทำเหล็กกล้าไร้สนิม โดยการนำเหล็กไปผสมกับโลหะโครเมียม
นิกเกิล และ คาร์บอนในสัดส่วนที่เหมาะสม
4. วิธีแคโทดิก โดยการต่อโลหะให้สัมผัสกับโลหะที่มีค่า E^0 ต่ำกว่า (หรือโลหะที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี)



รูปที่ 8 Cathodic protection โลหะเหล็กสัมผัสกับโลหะที่มีความว่องไวทางเคมีมาก (E^0 ต่ำ) เช่น Zn โลหะนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงผุกร่อนแทน Fe ส่วน Fe เกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยมีน้ำ และออกซิเจนรับอิเล็กตรอน ดังนั้น Fe จึงไม่ผุกร่อน



รูปที่ 9 ท่อเหล็กผูกติดกับโลหะแมกนีเซียม (E^0 ต่ำกว่า) เป็นแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยให้อิเล็กตรอนแทนท่อเหล็ก ดังนั้น ท่อเหล็กจึงไม่ผุกร่อนแต่แมกนีเซียม ผุกร่อน

การป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีอะโนดและรณดำ

โลหะบางชนิดมีสมบัติพิเศษ คือ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดออกไซด์ของโลหะ (สนิมของโลหะ) ออกไซด์นี้จะแผ่เป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบบนผิวโลหะ มีความเสถียรและไม่ละลายน้ำ จึงป้องกันไม่ให้เกิดการผุกร่อนอีกต่อไป เพราะ ออกซิเจนและน้ำ

หรือสารต่าง ๆ ไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปได้ โลหะที่มีสมบัติดังกล่าว ได้แก่ Al , Sn , Cr , Zn เนื่องจากในธรรมชาติการเกิดออกไซด์ของโลหะเกิดช้าไม่สม่ำเสมอ จึงต้องใช้วิธีการอะโนไดซ์ เพื่อทำให้เกิดออกไซด์ของโลหะเคลือบเร็วและสม่ำเสมอ

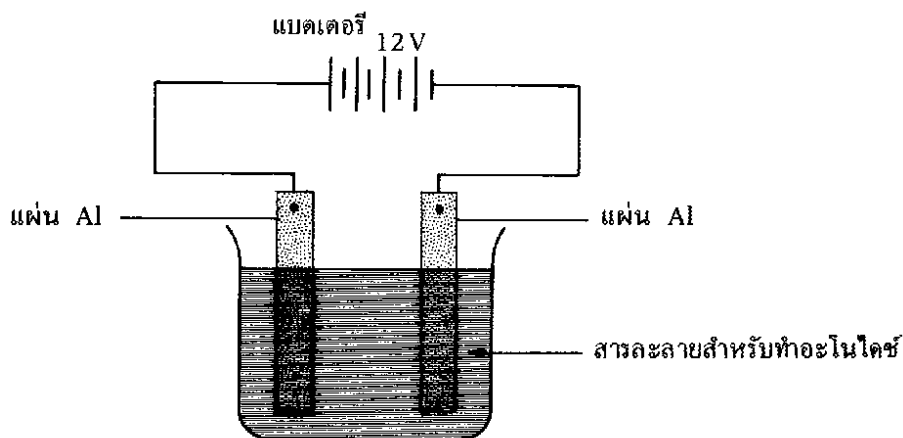
การทำอะโนไดซ์โลหะอลูมิเนียม ใช้กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสสารละลายกรด ใช้ Al เป็นขั้ว

มี 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การเตรียมชิ้นงาน Al ที่จะอะโนไดซ์

1. การเตรียมสารละลายสำหรับล้างไขมัน เป็นสารละลายผสมที่เตรียมจากการใช้โซเดียมฟอสเฟต 5 g และโซเดียมซิลิเกต 1.5 g ละลายน้ำให้เป็นสารละลาย 1 dm³
2. แช่ชิ้นงาน Al ลงในสารละลายสำหรับล้างไขมันที่ 90 - 95 °C เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำชิ้นงานล้างน้ำให้สะอาด
3. ชัดชิ้นงาน Al ให้สะอาดด้วยกระดาษทราย แล้วนำไปแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 2.5 mol/dm³ เป็นเวลา 2 นาที ถ้าชิ้นงาน Al ดำให้ใช้สาลีเช็ดออก แล้วล้างน้ำให้สะอาด
4. นำชิ้นงานไปล้างไขมันออกในสารละลายในสารละลายสำหรับล้างไขมันที่ 90 - 95 °C แกว่งชิ้นงาน Al ในสารละลายไปมา แต่อย่านานเพราะจะทำให้ชิ้นงานดำอีก แล้วล้างน้ำ เช็ดให้สะอาดและแห้ง หรือผึ่งให้แห้งก็ได้

ขั้นที่ 2 การทำอะโนไดซ์แผ่น Al



รูปที่ 10 อุปกรณ์การทำอะโนไดซ์แผ่นอลูมิเนียม

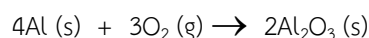
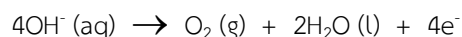
1. การเตรียมสารละลายทำอะโนไดซ์ เป็นสารละลายผสมของกรดซัลฟิวริก(H₂SO₄) เข้มข้น 18 mol/dm³ ปริมาตร 100 cm³ กับกรดออกซาลิก(H₂C₂O₄) 50 g ละลายน้ำทำให้เป็นสารละลายปริมาตร 1 ลิตร
2. จัดอุปกรณ์ดังรูป 10 ผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 V ประมาณ 15 นาที แล้วกลับด้านของแผ่นชิ้นงาน Al ที่แอโนด แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าต่ออีก 15 นาที เพื่อให้ชิ้นงานถูกอะโนไดซ์ทั่วแผ่น จะพบว่าชิ้นงาน Al จะมี Al₂O₃ ไปเคลือบเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ทั่วทั้งแผ่น

3. นำชิ้นงานที่อะโนไดซ์แล้วมาล้างน้ำให้สะอาด เช็ดให้แห้ง นำไปทดสอบการนำไฟฟ้า ถ้าไม่นำไฟฟ้าแสดงว่าเกิดอะโนไดซ์ทั่วแผ่นแล้ว เพราะสารประกอบ Al_2O_3 เป็นสารประกอบไอออนิกที่ไม่นำไฟฟ้า

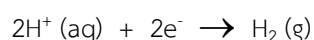
อธิบาย การอะโนไดซ์ Al ด้วย Al_2O_3 โดยใช้หลักการอิเล็กโทรลิซิส ดังนี้

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรงลงในสารละลายกรดผสมระหว่าง $H_2SO_4 + H_2C_2O_4$ เกิดปฏิกิริยาให้ OH^- ไอออนเกิดขึ้น โดยมีแผ่น Al 2 แผ่นเป็นขั้ว โดยมีชิ้นงาน Al เป็นขั้วแอโนด และแผ่น Al อีกแผ่นเป็นขั้วแคโทด

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ; OH^- ถูกออกซิไดซ์เกิด O_2 และ O_2 จะไปออกซิไดส์ชิ้นงาน Al ต่อ เกิด Al_2O_3 แผ่นเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด ; H^+ จากการถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซ H_2 ที่ขั้ว แผ่น Al ไม่เปลี่ยนแปลง



ขั้นที่ 3 การย้อมสี

นำชิ้นงาน Al ที่อะโนไดซ์แล้วไปแช่ในสารละลายของผงสีเข้มข้น 0.1 - 10.0 % โดยมวลที่ 50 - 60 °C เป็นเวลา 10 -20 นาที นำชิ้นงาน Al นี้ไปล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง จะได้ชิ้นงาน Al ที่ อะโนไดซ์ตามต้องการ

การรมดำแผ่นโลหะ

เป็นการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ โดยการเคลือบสารสีดำที่แผ่นโลหะ โดยใช้ความร้อน การรมดำโลหะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การเตรียมชิ้นงาน

ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายชนิดละเอียด ล้างชิ้นงานด้วยไตรคลอโรเอทิลีน 2 นาที ใช้ผ้าหรือสำลีเช็ดชิ้นงานให้สะอาด แล้วล้างไตรคลอโรเอทิลีนอีกครั้งหนึ่ง

ขั้นที่ 2 การเตรียมสารละลายรมดำ

ผสม NaOH 375 กรัม กับ $NaNO_3$ 125 กรัม ลงในน้ำแล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร

ขั้นที่ 3 การรมดำชิ้นงาน

นำแผ่นโลหะที่เป็นชิ้นงานไปแช่ในสารละลายสำหรับรมดำที่ 136 -143 °C จะได้สารสีดำเกาะเคลือบที่ผิวชิ้นงาน นำชิ้นงานที่ได้ไปล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง ทาน้ำมันให้ทั่วเพื่อให้ชิ้นเป็นมันเงาเกิดความสวยงาม





แบบทดสอบชุดที่ 8 การผุกร่อนของโลหะและวิธีป้องกัน

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวเท่านั้น

คำชี้แจง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ประกอบการตอบคำถามข้อ 1 - 4

“ ในการทดลองเพื่อศึกษาการผุกร่อนของเหล็ก โดยเทวุ้นเหลวที่ผสม $K_3Fe(CN)_6$ และฟีนอล์ฟทาไลน์ไว้ลงในภาชนะที่บรรจุตะปูเหล็ก และตะปูเหล็กที่พันด้วยโลหะต่างๆ ปรากฏผลดังนี้ “

โลหะในระบบที่ทดลอง	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้
1. เหล็ก	เกิดสารสีน้ำเงินเล็กน้อย
2. เหล็กพันด้วยโลหะ A	เกิดสารสีน้ำเงินมาก
3. เหล็กพันด้วยโลหะ B	เกิดสารสีน้ำเงินมากที่สุด
4. เหล็กที่พันด้วยโลหะ C	ไม่มีสารสีน้ำเงินแต่มีสารสีชมพูเกิดขึ้น

1. สารสีน้ำเงินที่สังเกตเห็นเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาของสารใด?

ก. โลหะ B กับ $K_3Fe(CN)_6$

ค. โลหะ B กับฟีนอล์ฟทาไลน์

ข. ไอร์รอน (II) ไออออนกับไฮดรอกไซด์ไอออน

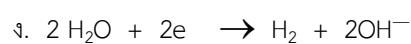
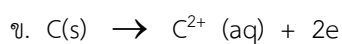
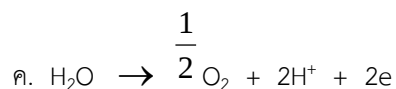
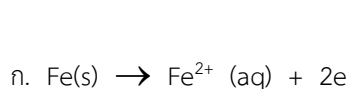
ง. ไอร์รอน (II) ไออออนกับ $K_3Fe(CN)_6$

2. จะเรียงลำดับความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของธาตุต่างๆ จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้คือ ?

ก. Fe, A, B, C ข. C, B, A, Fe

ค. B, A, Fe, C ง. C, Fe, A, B

3. ในระบบที่ประกอบด้วยเหล็กพันโลหะ C ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นตามสมการใด ?



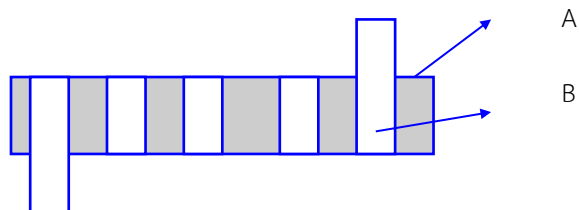
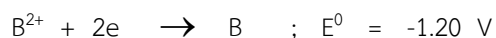
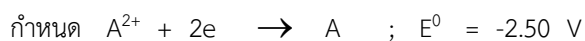
4. โลหะที่ใช้ป้องกันการผุกร่อนของเหล็กได้ดีคือโลหะใด ?

- ก. A ข. B ค. C ง. ได้ทั้งโลหะ A, B และ C

5.การป้องกันการผุกร่อนของเหล็กทำได้หลายวิธีต่อไปนี้ นอกจากข้อใด ?

- ก. ทาสีหรือน้ำมัน
ข. เคลือบหรือฉาบผิวด้วยโลหะบางชนิด เช่น สังกะสี
ค. เชื่อมด้วยโลหะที่รับอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าเหล็ก
ง. ใส่สารละลายที่ป้องกันสนิม เช่น โซเดียมไนไตรท์

6.เมื่อทำการทดลองดังรูป



โลหะชนิดใดจะเกิดการผุกร่อน เพราะเหตุใด ?

- ก. โลหะ B เพราะโลหะ B มีค่า E^0 มากกว่า โลหะ A
ข. โลหะ A เพราะโลหะ A มีค่า E^0 น้อยกว่า โลหะ B
ค. โลหะ A เพราะโลหะ A เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าโลหะ B
ง. ถูกทุกข้อ

7.จากการศึกษาการผุกร่อนของโลหะสังกะสีพบว่าเมื่อนำชิ้นโลหะ A มาผูกติดไว้กับสังกะสีจะสามาช่วยป้องกันการผุกร่อนของสังกะสีได้ ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ข้อใดไม่ควรเป็นสมบัติของโลหะ A

- ก. A เป็นโลหะที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าสังกะสี
ข. A เป็นโลหะที่เสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าสังกะสี
ค. ค่า E^0 ของครึ่งเซลล์ของ A น้อยกว่าค่า E^0 ของครึ่งเซลล์สังกะสี

ง. ไอออนของโลหะ A ซึ่งอิเล็กตรอนได้ดีกว่า Zn^{2+}

8. ข้อใดเป็นการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีอะโนดซ์

ก. ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป ในแผ่นอะลูมิเนียมที่จุ่มในสารละลายเบส

ข. ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแผ่นอะลูมิเนียมที่จุ่มในสารละลายกรด

ค. ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแผ่นอะลูมิเนียมที่จุ่มในสารละลายเกลือ

ง. ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแผ่นอะลูมิเนียมที่จุ่มในน้ำ

9. การทำอะโนดซ์นิยมทำกับโลหะใด ?

ก. ดีบุก, ตะกั่ว, โครเมียม

ค. อะลูมิเนียม, ดีบุก

ข. โครเมียม, สังกะสี

ง. โลหะทุกชนิด

10. ข้อใดต่อไปนี้หมายถึงสนิมเหล็ก

ก. Fe_2O_3

ข. Fe_3O_2

ค. Fe_4O_6

ง. FeO

เฉลยแบบทดสอบชุดที่ 8

1. ง

2. ง

3. ข

4. ค

5. ค

6. ง

7. ง

8. ข

9. ค

10. ก



แบบสังเกต ด้านจิตพิสัย 5 ระดับ

ลำดับ ที่	ชื่อ - สกุล	E_PLC พฤติกรรมจิตพิสัย/ระดับคะแนน			
		มุ่งมั่นตั้งใจ ใส่ใจ มีความกระตือรือร้นและแสดงออกถึงความสนใจศึกษาเรียนรู้ตลอดกระบวนการในทุกรูปแบบการเรียนรู้ (5 คะแนน)	มีวินัย มีความรับผิดชอบในการงานที่ได้รับมอบหมาย เสร็จตามเวลาที่กำหนด มีคุณภาพ (5 คะแนน)	ใฝ่เรียนรู้ ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้กับผู้อื่นและเพื่อนร่วมชั้นเรียน (5 คะแนน)	รวม
1.					
2.					
3.					

หัวข้อที่ประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน
ความมุ่งมั่นในการทำงาน ตั้งใจ ใส่ใจและแสดงออกถึงความสนใจศึกษาเรียนรู้ตลอดกระบวนการในทุกรูปแบบการเรียนรู้	5 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ สนใจตลอดกระบวนการ 4 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ สนใจตลอดกระบวนการบางช่วง 3 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ 2 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น ตั้งใจ ไม่สนใจ 1 คะแนน = มีพฤติกรรมมุ่งมั่น แต่ไม่ตั้งใจ
ใฝ่เรียนรู้ มีความร่วมมือในการทำงาน ร่วมมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้กับผู้อื่นและเพื่อนร่วมชั้นเรียน	5 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้เป็นอย่างดีเยี่ยม 4 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้เป็นอย่างดี 3 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ระดับปานกลาง 2 คะแนน = ร่วมมือ ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้เป็นบางครั้ง 1 คะแนน = ร่วมมือ และปฏิบัติกิจกรรมน้อยไม่ต่อเนื่อง
มีวินัย ความเป็นระเบียบเรียบร้อย มีความรับผิดชอบในการงานที่ได้รับมอบหมาย เสร็จตามเวลาที่กำหนด มีคุณภาพ	5 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับดีเยี่ยม 4 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับดี 3 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับปานกลาง 2 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลา และมีคุณภาพระดับน้อย 1 คะแนน = มีความรับผิดชอบ ทำเสร็จตามเวลาบางส่วน และมีคุณภาพระดับน้อย

อ้างอิง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 4 (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 4 (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

Brown, T.L. & other. (2012). Chemistry: the central science (12th ed). Illinois: Prince-Hall Inc.

Chang, R. & Goldsby, K. A. (2016). Chemistry. 12th ed. Retrieved January 18, 2018, from <https://www.pdflobby.com/2018/02/chemistry-12th-edition-by-changgoldsbys.html>