

การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า  
เพื่อพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ  
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

USING THE SMALL-SCALE CHEMISTRY LABORATORY DIRECTIONS  
WITH THINKING TOOLS OF ELECTROCHEMISTRY LESSONS TO  
DEVELOP THE LEARNING OUTCOMES AND SYSTEM  
THINKING SKILLS FOR GRADE 11 STUDENTS

ธนรัตน์ ทองวิจิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด  
เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิด  
เชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ผู้วิจัย

ธนรัตน์ ทองวิจิต

สาขาวิชา

การสอนวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนดาช รัชเวทย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ ดร.นิรนุช ไชยรัมย์

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา จำรัส)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนดาช รัชเวทย์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.นิรนุช ไชยรัมย์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ โชติกเฉชาณรงค์)

วันที่ 8 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2567

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** : การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

**ผู้วิจัย** : ธนรัตน์ ทองวิจิต

**สาขาวิชา** : การสอนวิทยาศาสตร์

**กลุ่มวิชา** : เคมี

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**

: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนดาญ์ รัชเวทย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

: อาจารย์ ดร.นิรันดร์ ไชยรัมย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

**บทคัดย่อ**

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน 3) เปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน 23 คน ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เคมีไฟฟ้า 2) แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบก่อนเรียนและหลังเรียน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติการทดสอบวิลคอกซัน (Wilcoxon Signed Ranks Test) ค่าประสิทธิภาพ (E1/E2) ผลการวิจัย พบว่า 1) บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีประสิทธิภาพ (E1/E2) เท่ากับ 81.68/82.45 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้คือ 80/80 2) ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และ 3) ทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

**คำสำคัญ:** ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน, เคมีสีเขียว, เคมีไฟฟ้า, การคิดเชิงระบบ

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** : การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะ การคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

**ผู้วิจัย** : ธนรัตน์ ทองวิชิต

**สาขาวิชา** : การสอนวิทยาศาสตร์

**กลุ่มวิชา** : เคมี

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**

: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ รัชเวทย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

: อาจารย์ ดร.นิรันดร์ ไชยรัมย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

### บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนารูปแบบปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับ เครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 2) เปรียบเทียบ ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน 3) เปรียบเทียบทักษะการคิดเชิง ระบบของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน 23 คน ได้มา จากวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) บท ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เคมีไฟฟ้า 2) แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบ ย่อส่วนร่วมเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิด เชิงระบบก่อนเรียนและหลังเรียน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน สถิติการทดสอบวิไลคอกซ์สัน (Wilcoxon Signed Ranks Test) ค่าประสิทธิภาพ (E1/E2) ผลการวิจัย พบว่า 1) บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีประสิทธิภาพ (E1/E2) เท่ากับ 81.68/82.45 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้คือ 80/80 2) ผลสัมฤทธิ์ การเรียนรู้ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และ 3) ทักษะการคิด เชิงระบบของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

**คำสำคัญ:** ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน, เคมีสีเขียว, เคมีไฟฟ้า, การคิดเชิงระบบ

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนดาษ์ รัชเวทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์ ดร.นิรุช ไซรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำ แก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากท่านผู้อำนวยการโรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ตลอดจนเพื่อนครูและนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 ปีการศึกษา 2566 ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าของหนังสือ วารสาร เอกสาร และงานวิจัยทุกเล่มที่เป็นข้อมูลในการทำวิจัยเรื่องนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ให้การช่วยเหลือ ประสานงาน และให้คำแนะนำต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูทเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบผลสำเร็จมาจนตราប់เท่าทุกวันนี้

ธนรัตน์ ทองวิจิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ข
ABSTRACT.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
สมมติฐานการวิจัย.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	7
กรอบงานการวิจัย.....	8
<b>2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>9</b>
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนวิชาเคมี.....	10
ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน.....	39
ทักษะการคิดเชิงระบบ.....	45
ผลลัพธ์การเรียนรู้.....	68
การวิจัยเชิงปฏิบัติการ.....	73
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>77</b>
รูปแบบการวิจัย.....	77
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	76

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	78
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	82
การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้.....	83
<b>4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>88</b>
ตอนที่ 1 ผลการทดลองในปฏิบัติการ.....	88
ตอนที่ 2 ผลการใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมกับเครื่องมือ ช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง.....	113
<b>5 สรุป อภิปรายผล ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>119</b>
สรุปผลการวิจัย.....	119
อภิปรายผล.....	120
ข้อจำกัด.....	127
ข้อเสนอแนะ.....	128
บรรณานุกรม.....	129
ภาคผนวก .....	135
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	136
ภาคผนวก ข แบบประเมินที่ใช้ในการหาคุณภาพเครื่องมือวิจัยและค่า ดัชนีความสอดคล้อง (IOC).....	207
ภาคผนวก ค ภาพการดำเนินการวิจัย.....	232
ภาคผนวก ง รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ และหนังสือขอความอนุเคราะห์ใน การทำวิจัย.....	245
ประวัติผู้วิจัย.....	250

## สารบัญตาราง

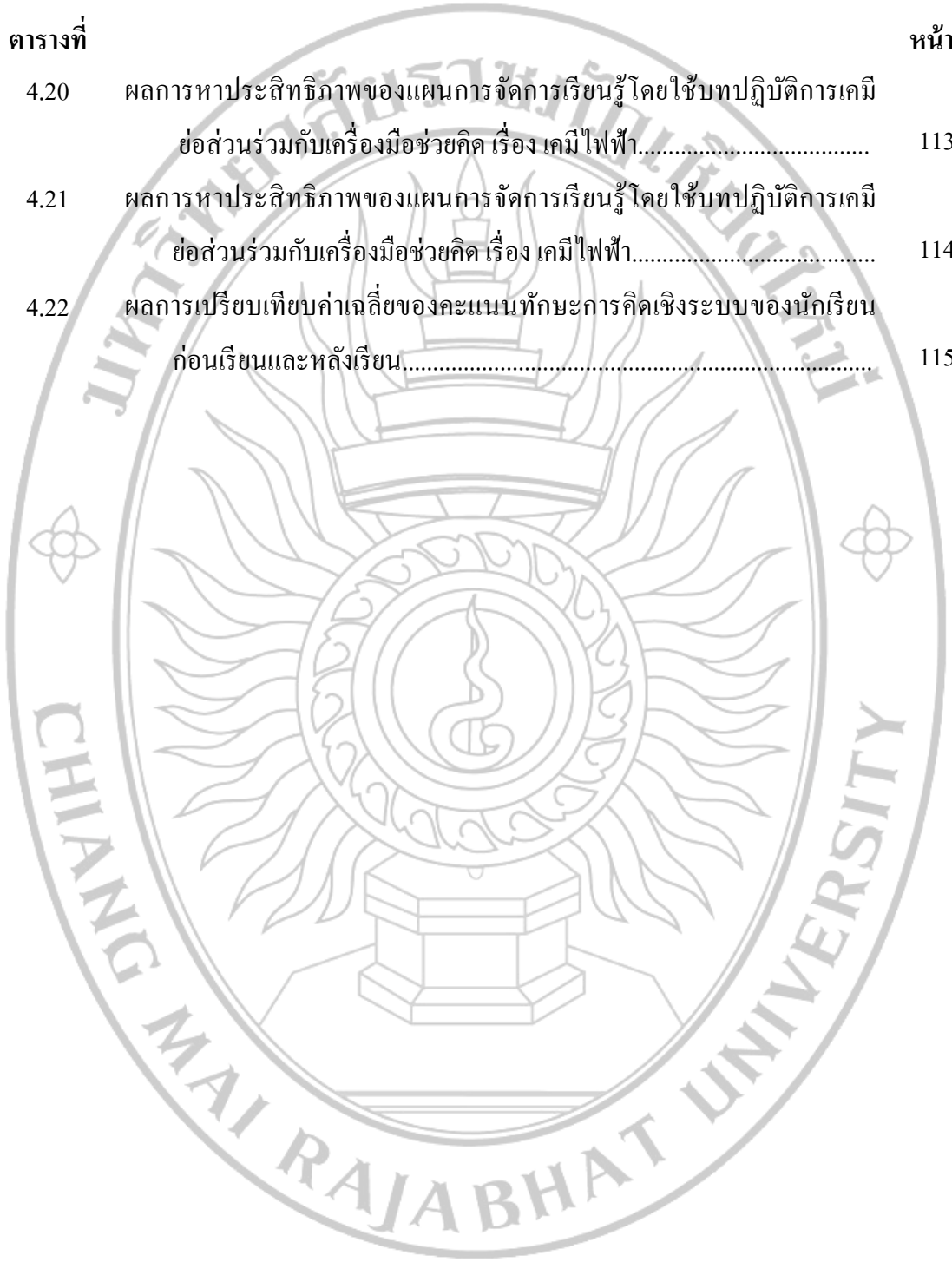
ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวชี้วัดตามมาตรฐานการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชาเคมี ช่วงชั้น ม.4 - ม.6.....	15
2.2	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทักษะการคิดเชิงระบบกับวิชาเคมี ตาม STH Model...	51
4.1	รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยาระหว่างโลหะกับสารละลาย.....	89
4.2	เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยาระหว่างโลหะกับสารละลาย.....	90
4.3	เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยาระหว่างโลหะกับสารละลาย.....	91
4.4	รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์.....	92
4.5	เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์.....	93
4.6	เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์.....	94
4.7	รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก.....	97
4.8	เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก.....	98

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.9	เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก.....	99
4.10	รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก.....	100
4.11	เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก.....	101
4.12	เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก...	102
4.13	รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า.....	104
4.14	เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า.....	105
4.15	เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า..	106
4.16	เปรียบเทียบภาพชุดอุปกรณ์ระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน.....	107
4.17	เปรียบเทียบปริมาณสารเคมีระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน.....	109
4.18	เปรียบเทียบต้นทุนชุดอุปกรณ์ระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน.....	111
4.19	เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน .....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.20	ผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมี ย่อด่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า.....	113
4.21	ผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมี ย่อด่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า.....	114
4.22	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน.....	115



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	7
1.2	8
2.1	27
2.2	36
2.3	42
2.4	48
2.5	50
2.6	54
2.7	55
2.8	57
2.9	59
2.10	62
2.11	62
2.12	63
2.13	64
2.14	65
2.15	66
2.16	75
4.1	96
4.2	103
4.3	112
4.4	118

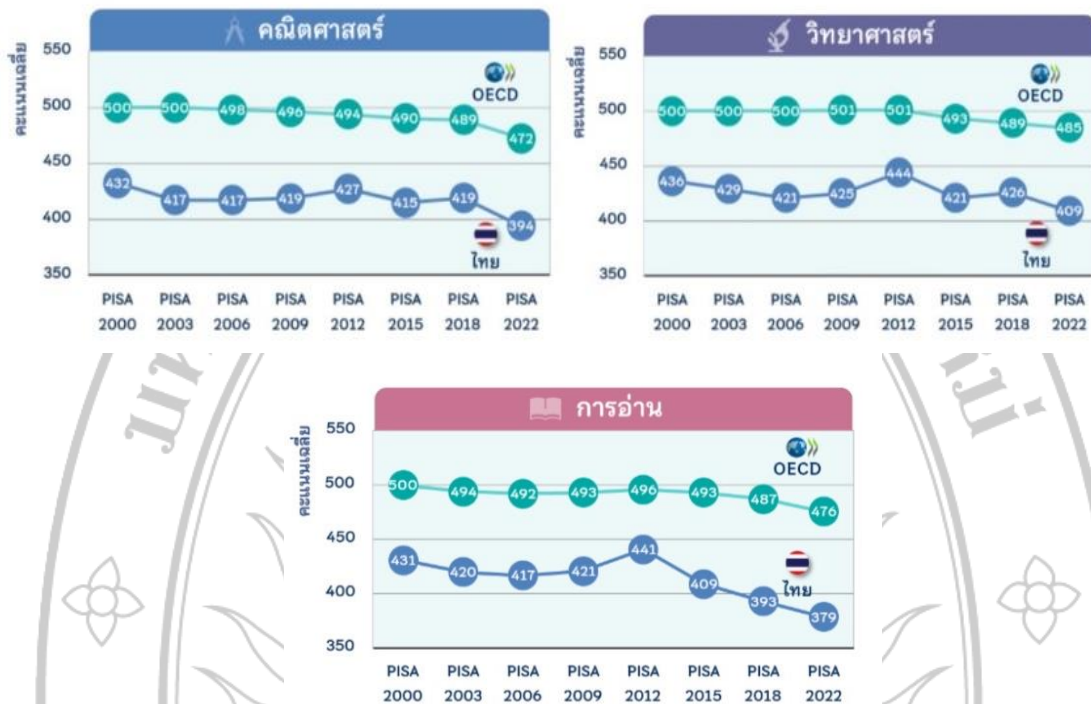
## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลกในศตวรรษที่ 21 ได้เปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของเราไปอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงของสังคมและเศรษฐกิจโลก อันเนื่องมาจากการปฏิวัติดิจิทัล (Digital Revolution) การเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรม 4.0 (The Fourth Industrial Revolution) การดำเนินงานเพื่อบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ 2573 (Sustainable Development Goals: SDGs 2030) ผลกระทบของการเป็นประชาคมอาเซียน และความต้องการคนที่มีทักษะในศตวรรษที่ 21 เหล่านี้ ล้วนเป็นแรงกดดันจากภายนอกที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย ผสมกับแรงกดดันจากภายในอันได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสังคมไปสู่สังคมผู้สูงอายุ การติดกับดักรายได้ปานกลาง การเติบโตทางเศรษฐกิจที่ทำให้ธรรมชาติเสื่อมโทรม ปัญหาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษาในทุกกระดับ รวมถึงปัญหาการพัฒนาบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่งผลให้ประเทศไทยจำเป็นต้องปฏิรูปการศึกษา เพื่อให้เป็นกลไกหลักในการขับเคลื่อนประเทศ ตามกรอบยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560) การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในสถานศึกษาจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะวิทยาศาสตร์ เป็นรากฐานที่สำคัญของการพัฒนาประเทศ วิทยาศาสตร์ช่วยพัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจัย ทำให้นักเรียนมีทักษะในการค้นคว้าหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) จากผลการประเมินคะแนนสอบ PISA 2022 (Programme for International Student Assessment) โดยองค์การความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Co-operation and Development: OECD) พบว่านักเรียนไทยมีคะแนนเฉลี่ยด้านคณิตศาสตร์ ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการอ่านลดลงทั้งสามด้าน เมื่อเทียบกับ PISA 2018 และถือเป็นปีที่นักเรียนไทยมีคะแนนสอบทั้งสามวิชาต่ำสุดในรอบ 20 ปี แต่หากประเมินผลสอบ PISA 2022 ในภาพรวมจะพบว่า ระบบการศึกษาทั่วโลกมีคะแนนเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับ PISA 2018 ซึ่งเป็นผลกระทบจากการที่ทุกประเทศต้องเผชิญกับวิกฤตการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 สำหรับประเทศไทยยังพบว่า

มีช่องว่างของคะแนนระหว่างนักเรียนกลุ่มคะแนนสูงกับนักเรียนกลุ่มคะแนนต่ำที่กว้างมาก (สสวท., 2566)



ภาพที่ 1.1 คะแนนเฉลี่ยการสอบ PISA 2000 – 2022 ของนักเรียนไทย  
ที่มา : จากการแถลงข่าวผลการประเมิน PISA 2022 โดย สสวท., 2566

จากสถานการณ์ดังกล่าว ถือเป็นปัญหาทางการศึกษาที่จำเป็นต้องรีบแก้ไขและควรมีการปฏิรูปการศึกษาอย่างเร่งด่วน เพื่อเตรียมความพร้อมให้แก่นักเรียนสำหรับการประเมิน PISA 2025ที่กำลังจะมาถึงในอนาคต โดยเฉพาะการพัฒนาครูให้มีสมรรถนะในการจัดการเรียนรู้ เพื่อเสริมสร้างทักษะที่จำเป็นในการนำความรู้ไปใช้ในชีวิตจริง โดยเฉพาะ วิชาเคมีซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร มีความรู้ทางเคมีมากมายถูกค้นพบจากปฏิบัติการเคมี (Chang, 2008) การทำปฏิบัติการเคมีจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการจัดการเรียนการสอน วิชาเคมี โดยเฉพาะเมื่อดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เพราะผลการทดลองจะให้หลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งถือเป็นลักษณะเฉพาะของการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (สสวท., 2560) แต่ด้วยเนื้อหาสาระที่ค่อนข้างมาก จำนวนนักเรียนต่อห้องมากเกินไป เวลาสำหรับการจัดการเรียนการสอนมีจำกัด อุปกรณ์หรือสารเคมีมีไม่เพียงพอ หรือมีข้อจำกัดด้านงบประมาณในการจัดซื้อจัดหา ทำให้ครูต้องสอนโดยการสาธิตการทดลองหรืออธิบายแทนการทดลอง

ส่งผลให้นักเรียนขาดประสบการณ์ในการทดลองทางเคมี รวมทั้งขาดโอกาสในการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้านอื่น ๆ (ศักดิ์ศรี สุภายรร, การตีตะรัตน์ วุฒิสเสลา, และสุภาพ ตาเมือง, 2559) การใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยสูง จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการทำปฏิบัติการเคมีในชั้นเรียน เนื่องจากมีการใช้ปริมาณสารเคมีน้อย ใช้ระยะเวลาทำการทดลองสั้น ช่วยลดภาระในการเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี ช่วยลดภาระการกำจัดของเสียจากการทดลอง รวมทั้งลดปริมาณของเสียจากการทดลองอีกด้วย นอกจากนี้ การใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนยังมีส่วนสำคัญในการพัฒนาการศึกษาสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา โดย UNESCO และ (International Union of Pure and Applied Chemistry: IUPAC) ได้ส่งเสริมให้มีการใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา เพื่อเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงการศึกษา (Chemical Society of Thailand, 2020) กอปรกับทิศทางการพัฒนาสังคมในปัจจุบันที่เน้นการพัฒนาอย่างยั่งยืน จึงควรมีการจัดการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry) หรือเคมีอย่างยั่งยืน (Sustainable Chemistry) ที่ยึดหลักการออกแบบกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่ลดการใช้หรือการสร้างสารที่เป็นอันตราย เพื่อจัดการกับปัญหาล้างแฉดล้อมและมลพิษที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติ โดยครูสามารถสอดแทรกปัญหาที่ใกล้ตัวนักเรียนจากสถานการณ์ปัจจุบัน หรือออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน เพื่อให้ นักเรียนสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้พื้นฐานไปสู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างเป็นระบบ (Zuin, Eilks, Elschami, & Kummerer, 2021)

จากกรอบการประเมินด้านวิทยาศาสตร์ของ PISA 2025 สามารถจำแนกองค์ประกอบที่เกี่ยวกับการศึกษาวิทยาศาสตร์ออกเป็น 4 ด้านที่สัมพันธ์กัน ได้แก่ 1) บริบท 2) ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ 3) สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ และ 4) อุดมการณ์ทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนยุคใหม่จะต้องมีสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมด้วย เนื่องจากนับตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ 18 จนถึงปัจจุบัน ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลกและการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด (สสวท., 2566) หนึ่งในทักษะจำเป็นสำหรับโลกยุคศตวรรษที่ 21 จึงเป็นทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking) ซึ่งเป็นการคิดในภาพรวมของพฤติกรรมหรือปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์จากส่วนย่อยไปหาส่วนใหญ่ได้อย่างมีเหตุผล การจัดการศึกษาวิชาเคมีในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นการสร้างนักเรียนยุคใหม่ที่สามารถประยุกต์ความรู้ด้านเคมีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตจริง และสามารถนำทักษะการคิดเชิงระบบไปใช้สำหรับการทำงานในอนาคตได้ (Orgill, York, & MacKellar, 2019) การคิดเชิงระบบจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นให้นักเรียนสนใจวิชาเคมีมากยิ่งขึ้น เพราะมีการเชื่อมโยงเนื้อหาวิชาเข้าสู่ชีวิตจริงหรือเรื่อง

ใกล้ตัวของนักเรียน และมีการใช้ความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาซึ่งสอดคล้องกับการแก้ปัญหาในชีวิตจริง การคิดเชิงระบบจะช่วยให้ครูผู้สอนสามารถอธิบาย โนทัศน์วิชาเคมีที่สัมพันธ์กับปัญหาของโลกได้ดียิ่งขึ้น ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีได้ลึกซึ้งและหลายมิติ นำไปสู่การสร้างสังคมแห่งการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Constable, Jimenez-Gonzalez, & Matlin, 2019; Mahaffy, Krief, Hopf, Mehta, & Matlin, 2018) มีเครื่องมือมากมายที่สามารถใช้สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์เชิงระบบ เช่น แผนภาพพฤติกรรมภายใต้ช่วงเวลา (Behavior Over Time diagram: BOT) แผนภาพ วงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagram: CLD) แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer Model) แผนที่ความคิด (Mind Mapping) เป็นต้น (Kim, 2000) ผู้วิจัยเห็นว่า ปฏิกริยาเรดอกซ์เป็นปฏิกริยาที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม เช่น การฟุกร่อนของโลหะ การเกิดสนิมเหล็ก การชุบโลหะ การทำโลหะให้บริสุทธิ์ แบตเตอรี่ เซลล์เชื้อเพลิง ฯลฯ อีกทั้งปัจจุบันมนุษยชาติกำลังประสบปัญหาภาวะโลกร้อน มลพิษทางอากาศ PM2.5 ทำให้ทิศทางพลังงาน โลกมุ่งไปสู่การใช้พลังงานทางเลือกทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล เพื่อเป้าหมายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกแบบสุทธิเป็นศูนย์ ทำให้รัฐบาลจากหลายประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย สนับสนุนให้ประชาชนหันมาใช้รถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้พัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ อีกทั้งยังเป็นการเสริมสร้างแนวคิดเคมีสีเขียวและการพัฒนาอย่างยั่งยืนให้แก่ นักเรียน นำไปสู่การสร้างบุคลากรที่มีสมรรถนะที่จำเป็นสู่สังคมในศตวรรษที่ 21 ต่อไป

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80
2. เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
3. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

### ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้พัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
2. ได้แนวทางการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
3. ได้แนวทางการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
4. เสริมสร้างแนวความคิดพัฒนาอย่างยั่งยืนให้แก่นักเรียน ผ่านกิจกรรมการทดลองที่เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่า และลดการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

### สมมติฐานการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80
2. นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีทักษะการคิดเชิงระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

### ขอบเขตของการวิจัย

#### ขอบเขตด้านประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 2 ห้องเรียน มีนักเรียน รวม 45 คน

#### ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน มีนักเรียนรวม 23 คน ได้มาจากวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

### ขอบเขตด้านเนื้อหา

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ตามตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) และทักษะการคิดเชิงระบบตามแบบจำลองภูเขาน้ำแข็ง (Iceberg Model) ทั้ง 4 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับสถานการณ์ (Event) 2) ระดับแบบแผน (Pattern) 3) ระดับโครงสร้าง (Structure) และ 4) ระดับภาพจำลองความคิด (Mental Model)

### ขอบเขตด้านเวลา

ภาคการเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566

### ขอบเขตด้านสถานที่

โรงเรียนสารสาสน์วิเทศน์เชียงใหม่ ถนนเจริญเมือง ซอย 6 ตำบลท่าศาลา อำเภอเมือง เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50000

### นิยามศัพท์เฉพาะ

**ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน (Small-Scale Chemistry Laboratory)** หมายถึง ปฏิบัติการเคมีที่ย่อขนาดของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน แต่ยังคงให้ผลการทดลองเหมือนเดิมไม่ต่างจากปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน สามารถมองเห็นผลการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน และสามารถนำมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ โดยควรมีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ต้นทุนต่ำ สามารถนำมาใช้ซ้ำได้ กำนึงถึงความปลอดภัยขณะใช้งาน และลดปริมาณสารเคมี เพื่อลดปริมาณของเสียและประหยัดเวลาในการทดลอง

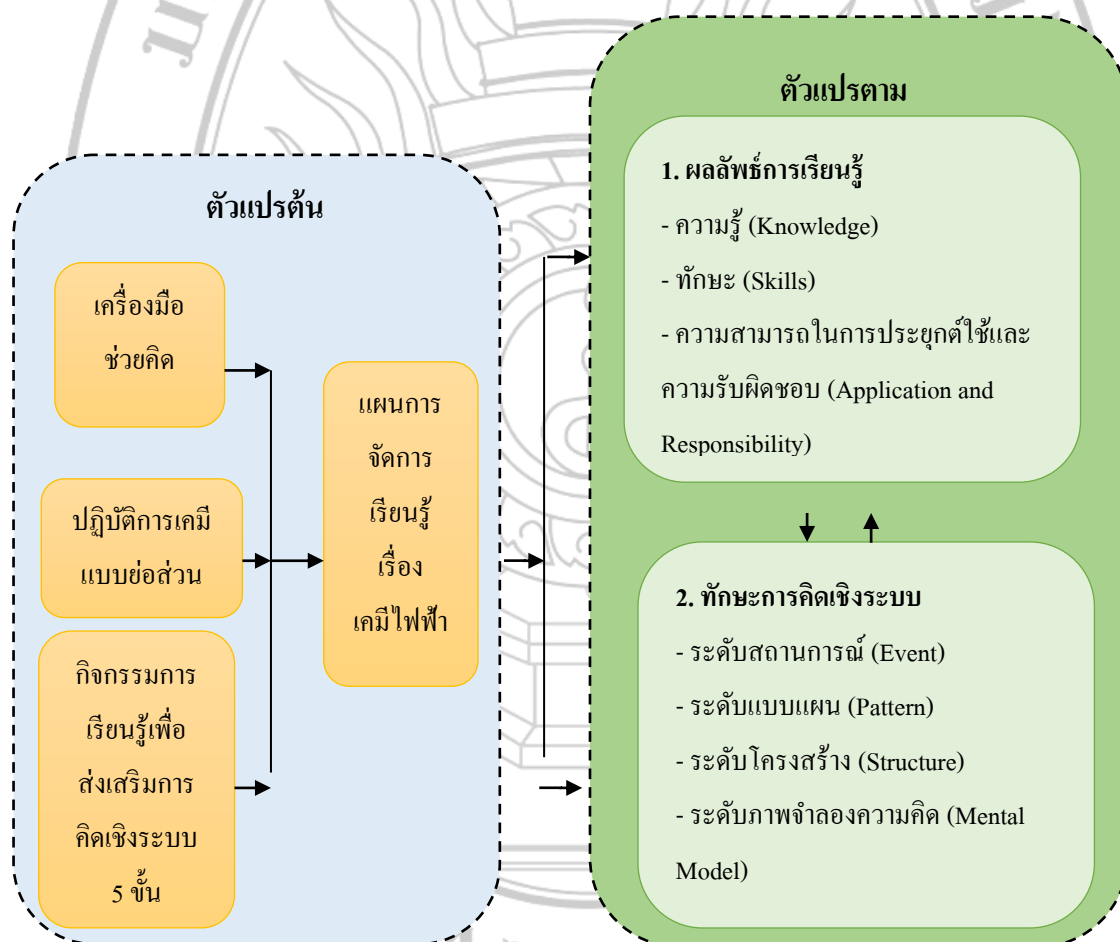
**เครื่องมือช่วยคิด (Thinking Tools)** หมายถึง เครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์ปัญหา เพื่อให้มองเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย และสามารถสร้างเครือข่ายของความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยกับระบบใหญ่ รวมไปถึงระบบใหญ่กับสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเครื่องมือช่วยคิดเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ เช่น แผนภาพพฤติกรรมภายใต้ช่วงเวลา (Behavior over Time Diagram) แผนภาพวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagram) แผนที่ความคิด (Mind Map) เป็นต้น

**การคิดเชิงระบบ (System Thinking)** หมายถึง ความสามารถในการทำความเข้าใจและตีความความซับซ้อนของระบบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละส่วนของระบบ รวมถึงการทำความเข้าใจพฤติกรรมของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Behavior

Over Time) และการทำความเข้าใจปฏิสัมพันธ์ระหว่างแต่ละส่วนของระบบ ว่าส่งผลต่อปรากฏการณ์ระดับระบบอย่างไร

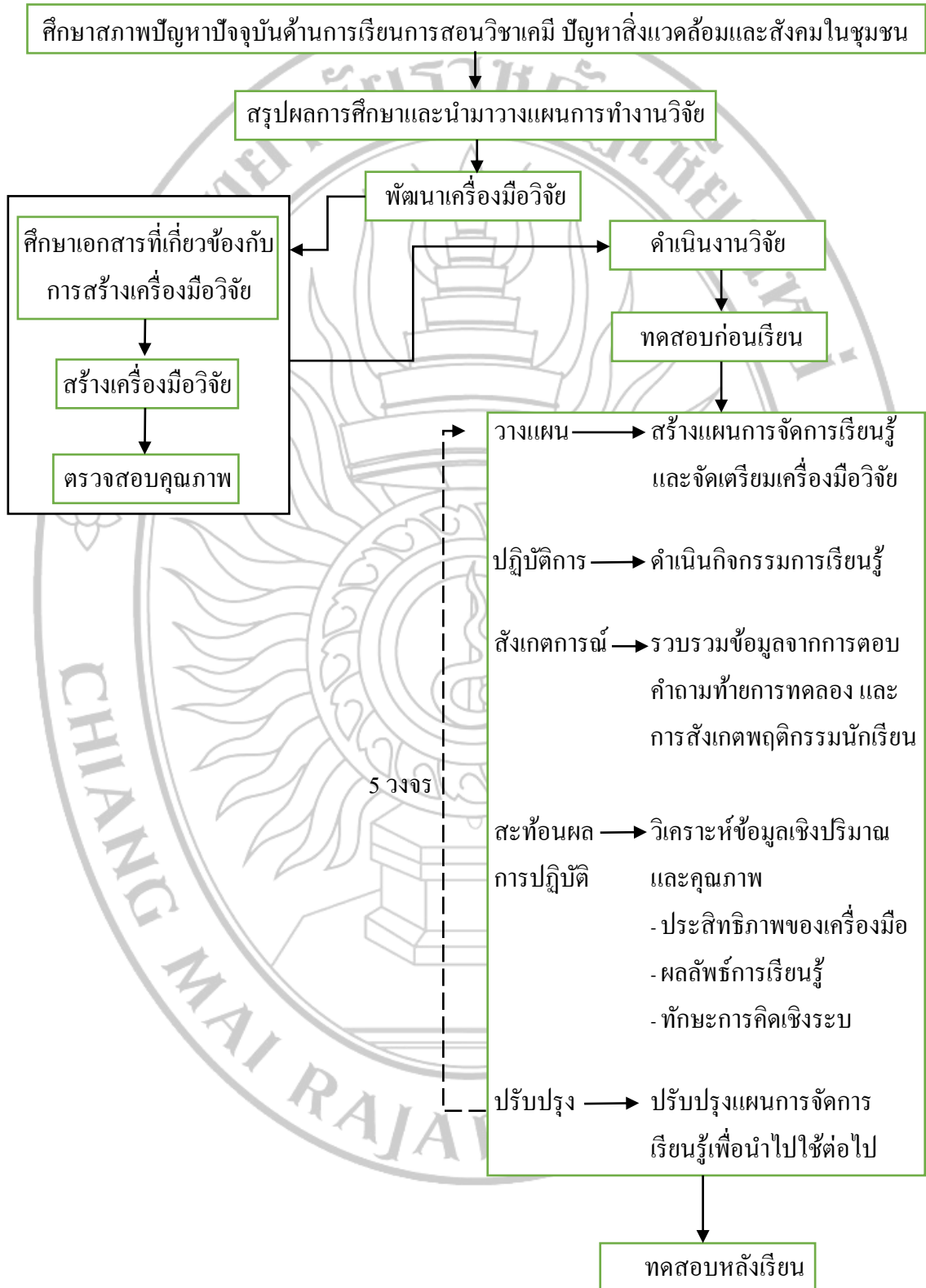
**ผลลัพธ์การเรียนรู้ (Learning Outcomes)** หมายถึง เกณฑ์บ่งชี้คุณลักษณะการเรียนรู้ และผลของการเรียนรู้ทั้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเรียนรู้ตามมาตรฐานการเรียนรู้ของหลักสูตรที่กำหนดไว้ในแต่ละระดับและประเภทการศึกษา และ/หรือประสบการณ์ที่เกิดขึ้นจากการฝึกปฏิบัติ และ/หรือจากการทำงาน ประกอบด้วย 3 มิติ ได้แก่ ความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skills) และความสามารถในการประยุกต์ใช้และความรับผิดชอบ (Application and Responsibility)

### กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## กรอบงานการวิจัย



ภาพที่ 1.2 กรอบงานการวิจัย



## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อ ดังนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนวิชาเคมี
  - 1.1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551
  - 1.2 สาระ มาตรฐานการเรียนรู้ และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
  - 1.3 สาระเคมีและผลการเรียนรู้
  - 1.4 แนวคิดและทฤษฎีการเรียนรู้ที่มีอิทธิพลต่อการเรียนการสอนในยุคปัจจุบัน
  - 1.5 หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ
  - 1.6 กรอบการประเมินด้านวิทยาศาสตร์
2. ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน (Small-Scale Chemistry Laboratory)
  - 2.1 ความหมายและประโยชน์ของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน
  - 2.2 ข้อจำกัดของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน
  - 2.3 แนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry)
  - 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน
3. ทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking Skills)
  - 3.1 ความหมายและลักษณะของการคิดเชิงระบบ
  - 3.2 ความจำเป็นของการนำทักษะการคิดเชิงระบบสู่วิชาเคมี
  - 3.3 กรอบการทำงานสำหรับการวิเคราะห์ทักษะการคิดเชิงระบบในการเรียนการสอนวิชาเคมี
  - 3.4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ
  - 3.5 เครื่องมือช่วยคิดเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ
  - 3.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ
4. ผลลัพธ์การเรียนรู้

- 4.1 ความหมายของผลลัพธ์การเรียนรู้และสมรรถนะ
- 4.2 องค์ประกอบของผลลัพธ์การเรียนรู้
- 4.3 การวัดและประเมินผลฐานสมรรถนะ
5. การวิจัยเชิงปฏิบัติการ
  - 5.1 ความหมายและจุดมุ่งหมายของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ
  - 5.2 ลักษณะของการวิจัยเชิงปฏิบัติการทางการศึกษา
  - 5.3 วงจรของวิจัยเชิงปฏิบัติการ
  - 5.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนวิชาเคมี

#### 1. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

กระทรวงศึกษาธิการ (2551) ได้กำหนดหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยมีสาระสำคัญดังนี้

##### วิสัยทัศน์

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน มุ่งพัฒนาผู้เรียนทุกคน ซึ่งเป็นกำลังของชาติ ให้เป็นมนุษย์ที่มีความสมดุลทั้งด้านร่างกาย ความรู้ คุณธรรม มีจิตสำนึกในความเป็นพลเมืองไทย และเป็นพลโลก ยึดมั่นในการปกครองตามระบอบประชาธิปไตยอันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข มีความรู้และทักษะพื้นฐาน รวมทั้งเจตคติที่จำเป็นต่อการศึกษาต่อ การประกอบอาชีพ และการศึกษาตลอดชีวิต โดยมุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญบนพื้นฐานความเชื่อว่าทุกคนสามารถเรียนรู้ และพัฒนาตนเองได้เต็มศักยภาพ

##### หลักการ

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน มีหลักการที่สำคัญ ดังนี้

- 1) เป็นหลักสูตรการศึกษาเพื่อความเป็นเอกภาพของชาติ มีจุดหมายและมาตรฐานการเรียนรู้เป็นเป้าหมายสำหรับพัฒนาเด็กและเยาวชนให้มีความรู้ ทักษะ เจตคติและคุณธรรมบนพื้นฐานของความเป็นไทยควบคู่กับความเป็นสากล
- 2) เป็นหลักสูตรการศึกษาเพื่อปวงชน ที่ประชาชนทุกคนมีโอกาสได้รับการศึกษาอย่างเสมอภาค และมีคุณภาพ
- 3) เป็นหลักสูตรการศึกษาที่สนองการกระจายอำนาจ ให้สังคมมีส่วนร่วมในการจัดการศึกษาให้สอดคล้องกับสภาพและความต้องการของท้องถิ่น

- 4) เป็นหลักสูตรการศึกษาที่มีโครงสร้างยืดหยุ่นทั้งด้านสาระการเรียนรู้ เวลาและการจัด การเรียนรู้
- 5) เป็นหลักสูตรการศึกษาที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ
- 6) เป็นหลักสูตรการศึกษาสำหรับการศึกษาในระบบ นอกกระบบและตามอัธยาศัยรอบคอบทุกกลุ่มเป้าหมาย สามารถเทียบโอนผลการเรียนรู้ และประสบการณ์

#### จุดหมาย

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้เป็นคนดี มีปัญญา มีความสุข มีศักยภาพในการศึกษาต่อและประกอบอาชีพ จึงกำหนดเป็นจุดหมายเพื่อให้เกิดกับผู้เรียน เมื่อจบการศึกษาขั้นพื้นฐาน ดังนี้

- 1) มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมที่พึงประสงค์ เห็นคุณค่าของตนเอง มีวินัย และปฏิบัติตนตามหลักธรรมของพระพุทธศาสนาหรือศาสนาที่ตนนับถือ ยึดหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง
- 2) มีความรู้ ความสามารถในการสื่อสาร การคิด การแก้ปัญหา การใช้เทคโนโลยี และมีทักษะชีวิต
- 3) มีสุขภาพกายและสุขภาพจิตที่ดี มีสุนทรีย์ และรักการออกกำลังกาย
- 4) มีความรักชาติ มีจิตสำนึกในความเป็นพลเมืองไทยและพลโลก ยึดมั่นในวิถีชีวิต และการปกครองตามระบอบประชาธิปไตยอันมีพระมหากษัตริย์ทรงเป็นประมุข
- 5) มีจิตสำนึกในการอนุรักษ์วัฒนธรรมและภูมิปัญญาไทย การอนุรักษ์และพัฒนาสิ่งแวดล้อม มีจิตสาธารณะที่มุ่งทำประโยชน์และสร้างสิ่งที่ดีงามในสังคมและอยู่ร่วมกันในสังคมอย่างมีความสุข

#### สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน มุ่งให้ผู้เรียนเกิดสมรรถนะสำคัญ 5 ประการ ดังนี้

- 1) **ความสามารถในการสื่อสาร** เป็นความสามารถในการรับและส่งสาร มีวัฒนธรรมในการใช้ภาษาถ่ายทอดความคิด ความรู้ความเข้าใจ ความรู้สึก และทัศนะของตนเอง เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารและประสบการณ์อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาตนเองและสังคม รวมทั้ง การเจรจาต่อรองเพื่อขจัดและลดปัญหาความขัดแย้งต่าง ๆ การเลือกรับหรือไม่รับข้อมูลข่าวสารด้วยหลักเหตุผลและความถูกต้อง ตลอดจนการเลือกใช้วิธีการสื่อสาร ที่มีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อตนเองและสังคม

2) **ความสามารถในการคิด** เป็นความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ การคิดอย่างสร้างสรรค์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการคิดเป็นระบบ เพื่อนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้หรือสารสนเทศเพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับตนเองและสังคมได้อย่างเหมาะสม

3) **ความสามารถในการแก้ปัญหา** เป็นความสามารถในการแก้ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เผชิญได้อย่างถูกต้องเหมาะสมบนพื้นฐานของหลักเหตุผล คุณธรรมและข้อมูลสารสนเทศ เข้าใจความสัมพันธ์และการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ต่างๆ ในสังคม แสวงหาความรู้ ประยุกต์ความรู้มาใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหา และมีการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น ต่อตนเอง สังคมและสิ่งแวดล้อม

4) **ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต** เป็นความสามารถในการนำกระบวนการต่าง ๆ ไปใช้ในการดำเนินชีวิตประจำวัน การเรียนรู้ด้วยตนเอง การเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง การทำงาน และการอยู่ร่วมกันในสังคมด้วยการสร้างเสริมความสัมพันธ์อันดีระหว่างบุคคล การจัดการปัญหาและความขัดแย้งต่างๆ อย่างเหมาะสม การปรับตัวให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมและสภาพแวดล้อม และการรู้จักหลีกเลี่ยงพฤติกรรมไม่พึงประสงค์ที่ส่งผลกระทบต่อตนเองและผู้อื่น

5) **ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี** เป็นความสามารถในการเลือกและใช้เทคโนโลยีด้านต่าง ๆ และมีทักษะกระบวนการทางเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาตนเองและสังคม ในด้านการเรียนรู้ การสื่อสาร การทำงาน การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ถูกต้อง เหมาะสม และมีคุณธรรม

#### **คุณลักษณะอันพึงประสงค์**

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ เพื่อให้สามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นในสังคมได้อย่างมีความสุขในฐานะเป็นพลเมืองไทย และพลโลก ดังนี้

- 1) รักชาติ ศาสน์ กษัตริย์
- 2) ซื่อสัตย์สุจริต
- 3) มีวินัย
- 4) ใฝ่เรียนรู้
- 5) อยู่อย่างพอเพียง
- 6) มุ่งมั่นในการทำงาน
- 7) รักความเป็นไทย
- 8) มีจิตสาธารณะ

นอกจากนี้ สถานศึกษาสามารถกำหนดคุณลักษณะอันพึงประสงค์เพิ่มเติมให้สอดคล้องตามบริบทและจุดเน้นของตนเอง

## 2. สาระ มาตรฐานการเรียนรู้ และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

กระทรวงศึกษาธิการ (2560) ได้กำหนดสาระ มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดไว้ในตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ดังนี้

### 2.1 สาระและมาตรฐานการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

#### สาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ

มาตรฐาน ว 1.1 เข้าใจความหลากหลายของระบบนิเวศ ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งไม่มีชีวิตกับสิ่งมีชีวิต และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบนิเวศ การถ่ายทอดพลังงาน การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในระบบนิเวศ ความหมายของประชากร ปัญหาและผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแนวทางการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมรวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 1.2 เข้าใจสมบัติของสิ่งมีชีวิต หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสัตว์และมนุษย์ที่ทำงานสัมพันธ์กัน ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ ของพืชที่ทำงานสัมพันธ์กัน รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 1.3 เข้าใจกระบวนการและความสำคัญของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม สารพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

#### สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับ โครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

- มาตรฐาน ว 2.2 เข้าใจธรรมชาติของแรงในชีวิตประจำวัน ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของวัตถุ รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์
- มาตรฐาน ว 2.3 เข้าใจความหมายของพลังงาน การเปลี่ยนแปลงและการถ่ายโอนพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสสารและพลังงาน พลังงานในชีวิตประจำวัน ธรรมชาติของคลื่น ปฏิกิริยาการแผ่รังสีที่เกี่ยวกับเสียง แสง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

### สาระที่ 3 วิทยาศาสตร์โลก และอวกาศ

- มาตรฐาน ว 3.1 เข้าใจองค์ประกอบ ลักษณะ กระบวนการเกิด และวิวัฒนาการของเอกภพ กาแล็กซี ดาวฤกษ์ และระบบสุริยะ รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ภายในระบบสุริยะ ที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิต และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศ
- มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของระบบโลก กระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในโลกและบนผิวโลก ธรณีพิบัติภัย กระบวนการเปลี่ยนแปลงลมฟ้า อากาศและภูมิอากาศโลก รวมทั้งผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

### สาระที่ 4 เทคโนโลยี

- มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจแนวคิดหลักของเทคโนโลยีเพื่อการดำรงชีวิตในสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ใช้ความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และศาสตร์อื่นๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม
- มาตรฐาน ว 4.2 เข้าใจและใช้แนวคิดเชิงคำนวณในการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริงอย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในการเรียนรู้ การทำงาน และการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รู้เท่าทัน และมีจริยธรรม

## 2.2 ตัวชี้วัด

ตัวชี้วัดตามมาตรฐานการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ในวิชาเคมี สำหรับนักเรียนช่วงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวชี้วัดตามมาตรฐานการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชาเคมี ช่วงชั้น  
ม.4 - ม.6

มาตรฐานการเรียนรู้	ตัวชี้วัด ช่วงชั้น ม.4 - ม.6
<p>มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับ โครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติ ของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ระบุว่าสารเป็นธาตุหรือสารประกอบและอยู่ในรูปอะตอมโมเลกุลหรือไอออนจากสูตรเคมี</li> <li>2. เปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของแบบจำลองอะตอมของโบร์กับแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก</li> <li>3. ระบุจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนของอะตอมและไอออนที่เกิดจากอะตอมเดียว</li> <li>4. เขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุและระบุการเป็นไอโซโทป</li> <li>5. ระบุหมู่และคาบของธาตุและระบุว่าธาตุเป็นโลหะ อโลหะ กึ่ง โลหะ กลุ่มธาตุแบริลเลียม เททิล หรือกลุ่มธาตุแทรนซิชันจากตารางธาตุ</li> <li>6. เปรียบเทียบสมบัติการนำไฟฟ้าการให้และรับอิเล็กตรอนระหว่างธาตุในกลุ่มโลหะกับอโลหะ</li> <li>7. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างประโยชน์และอันตรายที่เกิดจากธาตุแบริลเลียม เททิล และธาตุแทรนซิชัน</li> <li>8. ระบุว่าพันธะโคเวเลนต์เป็นพันธะเดี่ยวพันธะคู่ หรือพันธะสามและระบุจำนวนคู่อิเล็กตรอน ระหว่างอะตอมคู่ร่วมพันธะจากสูตร โครงสร้าง</li> <li>9. ระบุสภาพขั้วของสารที่ โมเลกุลประกอบด้วย 2 อะตอม</li> <li>10. ระบุสารที่เกิดพันธะไฮโดรเจนได้จากสูตร โครงสร้าง</li> </ol>

- |  |  |
|--|--|
|  | <p>11. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดของสารโคเวเลนต์กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลตามสภาพขั้วหรือการเกิดพันธะไฮโดรเจน</p> <p>12. เขียนสูตรเคมีของไอออนและสารประกอบไอออนิก</p> |
|--|--|



## ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

มาตรฐานการเรียนรู้	ตัวชี้วัด ช่วงชั้น ม. 4 - ม. 6
	<p>13. ระบุว่าสารเกิดการละลายแบบแตกตัวหรือไม่แตกตัว พร้อมให้เหตุผลและระบุว่าสารละลายที่ได้เป็นสารละลาย อีเล็กโทรไลต์หรือนอนอีเล็กโทรไลต์</p> <p>14. ระบุสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนว่าอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวจากสูตร โครงสร้าง</p> <p>15. สืบค้นข้อมูลและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนั้น</p> <p>16. ระบุสมบัติความเป็นกรด-เบส จากโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์</p> <p>17. อธิบายสมบัติการละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ของสาร</p> <p>18. วิเคราะห์และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติเทอร์มอพลาสติกและเทอร์โมเซตของพอลิเมอร์และการนำพอลิเมอร์ไปใช้ประโยชน์</p> <p>19. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอผลกระทบของการใช้ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม พร้อมแนวทางป้องกันหรือแก้ไข</p> <p>20. ระบุสูตรเคมีของสารตั้งต้นผลิตภัณฑ์และแปลความหมายของสัญลักษณ์ในสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมี</p> <p>21. ทดลองและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว อุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี</p> <p>22. สืบค้นข้อมูลและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันหรือในอุตสาหกรรม</p>

## ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

มาตรฐานการเรียนรู้	ตัวชี้วัด ช่วงชั้น ม. 4 - ม. 6
	23. อธิบายความหมายของปฏิกิริยารีดอกซ์ 24. อธิบายสมบัติของสารกัมมันตรังสีและคำนวณครึ่งชีวิตและปริมาณของสารกัมมันตรังสี 25. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างประโยชน์ของสารกัมมันตรังสีและการป้องกันอันตราย ที่เกิดจากกัมมันตภาพรังสี

**ที่มา :** ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551, 2560, น. 53 – 59

### 2.3 คุณภาพผู้เรียน เมื่อจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

2.3.1 เข้าใจการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ กลไกการรักษาคุณภาพของ มนุษย์ ภูมิคุ้มกันในร่างกายของมนุษย์และความคิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน การใช้ประโยชน์จากสารต่างๆ ที่พืชสร้างขึ้น การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วิวัฒนาการที่ทำให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ความสำคัญและผลของเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ ต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม

2.3.2 เข้าใจความหลากหลายของไบโอมในเขตภูมิศาสตร์ต่าง ๆ ของโลก การเปลี่ยนแปลง แทนที่ในระบบนิเวศ ปัญหาและผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม แนวทางในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และการแก้ไขปัญหาสังคมสิ่งแวดล้อม

2.3.3 เข้าใจชนิดของอนุภาคสำคัญที่เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างอะตอม สมบัติบางประการของธาตุ การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ ชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค และสมบัติต่างๆ ของสารที่มีความสัมพันธ์กับแรงยึดเหนี่ยว พันธะเคมี โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ การเกิดปฏิกิริยาเคมี ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการเขียนสมการเคมี

2.3.4 เข้าใจปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวลและความเร่ง ผลของความเร่งที่มีต่อการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของวัตถุ แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็ก ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้า และแรงภายในนิวเคลียส

2.3.5 เข้าใจพลังงานนิวเคลียร์ ความสัมพันธ์ระหว่างมวลและพลังงาน การเปลี่ยน พลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า เทคโนโลยีด้านพลังงาน การสะท้อน การหักเห

การเลี้ยวเบน และการรวมคลื่น การได้ยิน ปฏิกิริยาการที่เกี่ยวกับเสียง สึกกับการมองเห็นสี คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.6 เข้าใจการแบ่งชั้นและสมบัติของโครงสร้างโลก สาเหตุ และรูปแบบการเคลื่อนที่ ของแผ่นธรณีที่สัมพันธ์กับการเกิดลักษณะธรณีสัมพันธ์ สาเหตุ กระบวนการเกิดแผ่นดินไหว ภูเขาไฟ ระเบิด สึนามิ ผลกระทบ แนวทางการเฝ้าระวัง และการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย

2.3.7 เข้าใจผลของแรงเนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ แรงคอริโอลิส ที่มีต่อการหมุนเวียนของอากาศ การหมุนเวียนของอากาศตามเขตละติจูด และผลที่มีต่อภูมิอากาศ ความสัมพันธ์ของการหมุนเวียนของอากาศ และการหมุนเวียนของกระแสน้ำผิวหน้าในมหาสมุทร และผลต่อลักษณะลมฟ้าอากาศ สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก และแนวปฏิบัติเพื่อลดกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก รวมทั้งการแปลความหมายสัญลักษณ์ลมฟ้าอากาศที่สำคัญจากแผนที่อากาศ และข้อมูลสารสนเทศ

2.3.8 เข้าใจการกำเนิดและการเปลี่ยนแปลงพลังงาน สสาร ขนาด อุณหภูมิของเอกภพ หลักฐานที่สนับสนุนทฤษฎีบิกแบง ประเภทของกาแล็กซี โครงสร้างและองค์ประกอบของ กาแล็กซีทางช้างเผือก กระบวนการเกิดและการสร้างพลังงาน ปัจจัยที่ส่งผลต่อความส่องสว่างของ ดาวฤกษ์ และความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับ โชนมิติมาตรของดาวฤกษ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสี อุณหภูมิผิว และสเปกตรัมของดาวฤกษ์ วิวัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของ ดาวฤกษ์ กระบวนการเกิดระบบสุริยะ การแบ่งเขตบริหารของดวงอาทิตย์ ลักษณะของดาวเคราะห์ที่เอื้อต่อการดำรงชีวิต การเกิดลมสุริยะ พายุสุริยะและผลที่มีต่อโลก รวมทั้งการสำรวจอวกาศและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศ

### 1.3 สารเคมีและผลการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

จากการศึกษาคู่มือหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2560) มีรายละเอียดของสารเคมีและผลการเรียนรู้ ดังนี้

#### 1.3.1 สารเคมี

1) เข้าใจโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ สมบัติของธาตุ พันธะเคมีและสมบัติของสาร แก๊สและสมบัติของแก๊ส ประเภทและสมบัติของสารประกอบอินทรีย์และพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2) เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

3) เข้าใจหลักการทำปฏิบัติการเคมี การวัดปริมาณสาร หน่วยวัด และการเปลี่ยนหน่วยการคำนวณปริมาณของสาร ความเข้มข้นของสารละลาย รวมทั้งการบูรณาการความรู้และทักษะในการอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันและการแก้ปัญหาทางเคมี

### 1.3.2 ผลการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

สาระเคมี 2 เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

#### ผลการเรียนรู้

เมื่อนักเรียนเรียนจบหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้าแล้ว นักเรียนสามารถ

- 1) คำนวณเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์
- 2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์
- 3) ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์
- 4) ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกิริยา
- 5) ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์
- 6) คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
- 7) อธิบายหลักการทำงานและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ
- 8) ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าและอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ
- 9) สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน

### 1.3.3 ตารางเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง เคมีไฟฟ้า

1) เคมีไฟฟ้าเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานไฟฟ้าและการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ซึ่งเป็นเลขที่แสดงประจุไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าสมมติของอะตอมธาตุ เรียกปฏิกิริยาชนิดนี้ว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์

2) ปฏิกิริยารีดอกซ์มีทั้งครึ่งปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน โดยสารที่ให้อิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เรียกว่า ตัวรีดิวซ์ ส่วนสารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง เรียกว่า ตัวออกซิไดส์

3) การเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์สามารถพิจารณาได้จากผลการทดลองของปฏิกิริยารีดอกซ์

4) ปฏิกิริยารีดอกซ์เขียนแทนได้ด้วยสมการรีดอกซ์ ซึ่งการดุลสมการรีดอกซ์ทำได้โดยใช้เลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา

5) เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบด้วยแอโนด แคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือ โดยที่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแอโนดไปแคโทด เซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถเขียนแสดงได้ด้วยแผนภาพเซลล์

6) ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ คำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นได้เองซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่าเซลล์กัลวานิก แต่ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ไม่สามารถเกิดได้เอง ต้องมีการให้กระแสไฟฟ้าจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้ เซลล์ชนิดนี้เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติก

7) เซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แบตเตอรี่ ซึ่งมีทั้งเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ปฐมภูมิไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้โดยการประจุไฟ จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ อีกปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ทุติยภูมิสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้โดยการประจุไฟ จึงนำกลับมาใช้ได้

8) เซลล์อิเล็กโทรลิติกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในทั้งในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ

9) ปฏิกริยาเคมีหลายปฏิกริยาที่พบในชีวิตประจำวันเป็นปฏิกริยา รีดออกซ์ เช่น ปฏิกริยาการเผาไหม้ ปฏิกริยาในเซลล์เคมีไฟฟ้า ซึ่งความรู้เรื่องเซลล์เคมีไฟฟ้า และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า นำไปสู่นวัตกรรมด้านพลังงาน ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

#### 1.4 แนวคิดและทฤษฎีการเรียนรู้ที่มีอิทธิพลต่อการเรียนการสอนในยุคปัจจุบัน

มีนักการศึกษาได้สร้างทฤษฎีการเรียนรู้ไว้มากมาย โดยมีทฤษฎีการเรียนรู้ที่มีอิทธิพลต่อการเรียนการสอนในยุคปัจจุบัน 6 ทฤษฎี (Jagodowski, 2019) ดังนี้

**1.4.1 ทฤษฎีพหุปัญญา (Multiple Intelligence)** เป็นทฤษฎีที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยโฮเวิร์ด การ์ดเนอร์ (Howard Gardner) อาจารย์จากมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเชื่อว่ามนุษย์มีความสามารถทางปัญญาที่แตกต่างกันหลายด้าน โดยปัจจุบันมีการค้นพบความสามารถทางปัญญาตามทฤษฎีพหุปัญญาถึง 9 ด้าน ได้แก่ ด้านภาษา ด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ ด้านมิติสัมพันธ์ ด้านการเคลื่อนไหว ด้านดนตรี ด้านปฏิสัมพันธ์ ด้านความเข้าใจตนเอง ด้านธรรมชาติ และด้านการคิดวิเคราะห์ จากทฤษฎีพหุปัญญาทำให้ครูจำเป็นต้องออกแบบหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับความหลากหลายของนักเรียน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ตามความถนัดของตนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

**1.4.2 ทฤษฎีอนุกรมวิธานของบลูม (Bloom's Taxonomy)** เป็นทฤษฎีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1956 โดย เบนจามิน บลูม (Benjamin Bloom) นักการศึกษาชาวอเมริกัน ซึ่งมองว่าการจัดการเรียนการสอนที่ประสบความสำเร็จ จำเป็นต้องมีการกำหนดจุดมุ่งหมายของการเรียนรู้ให้ชัดเจน โดยบลูมได้แบ่งจุดมุ่งหมายของการเรียนรู้ออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่

- 1) ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain) มีระดับการเรียนรู้ 6 ระดับ คือ จดจำ เข้าใจ ประยุกต์ วิเคราะห์ สังเคราะห์และประเมินค่า
- 2) ด้านจิตพิสัย (Affective Domain) มีระดับการแสดงออก 5 ระดับ คือ รับรู้ ตอบสนอง เห็นคุณค่า สร้างแนวคิด และสร้างอุปนิสัย
- 3) ด้านทักษะพิสัย (Psychomotor Domain) มีระดับพฤติกรรม 5 ระดับ คือ รับรู้ ทำตาม ทำได้ถูกต้อง ทำอย่างต่อเนื่อง และเป็นธรรมชาติ

**1.4.3 แนวคิดบริเวณความใกล้เคียงพัฒนาการทางปัญญาและการเสริมต่อการเรียนรู้ (The Zone of Proximal Development – ZPD and Scaffolding)** เป็นแนวคิดที่ถูกนำเสนอโดยเลฟ วิกอตสกี (Lev Vygotsky) ซึ่งได้เสนอนักเรียนแต่ละคนจะมีขอบเขตระหว่างสิ่งที่นักเรียนทำได้โดยอิสระ ซึ่งมาจากการสังเกตและประสบการณ์ที่นักเรียนมี กับสิ่งที่นักเรียนทำได้

เมื่อได้รับคำแนะนำ โดยนักเรียนแต่ละคนจะมี ZPD ที่แตกต่างกัน หมายความว่านักเรียนบางคนมีความสามารถในการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ในขณะที่นักเรียนบางคนจำเป็นต้องได้รับการชี้แนะที่เหมาะสม เพื่อเสริมต่อการเรียนรู้ (Scaffolding) ดังนั้นจึงควรจัดหลักสูตรให้เหมาะสมกับนักเรียนแต่ละคน

#### 1.4.4 ทฤษฎีโครงสร้างความรู้และปัญญานิยม (Schema and Constructivism)

เป็นทฤษฎีที่ถูกนำเสนอโดยฌอง เพียเจต์ (Jean William Fritz Piaget) มีใจความสำคัญว่า ครูผู้สอนควรพิจารณาสิ่งที่นักเรียนรู้อยู่ก่อนที่จะเริ่มบทเรียนใหม่ และจัดการเรียนการสอนที่เชื่อมโยงกิจกรรมการเรียนรู้เข้ากับองค์ความรู้ที่มีอยู่เดิมของนักเรียน ซึ่งจะทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาสาระได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เพียเจต์ยังกล่าวว่า มนุษย์สร้างความหมายต่าง ๆ ผ่านการกระทำและประสบการณ์ ซึ่งถือเป็นแนวคิดพื้นฐานของการจัดการเรียนการสอนแบบเน้นลงมือปฏิบัติหรือ Active Learning

#### 1.4.5 ทฤษฎีพฤติกรรมนิยมของสกินเนอร์ (Skinner's Behaviorism)

สกินเนอร์ (Skinner) นักจิตวิทยาชาวอเมริกัน ได้อธิบายถึงพฤติกรรมของมนุษย์ว่า เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากการตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากภายนอก โดยครูสามารถนำทฤษฎีพฤติกรรมนิยมของสกินเนอร์มาปรับใช้กับนักเรียน ในกรณีที่ครูต้องการส่งเสริมพฤติกรรมบางอย่างของนักเรียน ให้ครูเสริมแรงเชิงบวก เช่น การให้รางวัล การให้คำชมเชย เป็นต้น และในกรณีที่ครูต้องการลดพฤติกรรมอย่างของนักเรียน ให้ครูเสริมแรงเชิงลบ เช่น การตำหนิ การหักคะแนน การทำโทษ เป็นต้น

#### 1.4.6 แนวคิดหลักสูตรเกลียวสว่าน (Spiral Curriculum) เป็นแนวคิดที่ถูก

นำเสนอโดย เจอโรม บรูเนอร์ (Jerome Bruner) นักจิตวิทยาชาวสหรัฐอเมริกา มีใจความสำคัญว่า ในการจัดทำหลักสูตร ควรให้มีหัวข้อและเนื้อหาเดียวกันในทุกๆ ระดับชั้น แต่จะมีระดับความยากง่ายแตกต่างกัน กล่าวคือในระดับชั้นต้นๆ เนื้อหาวิชาจะค่อนข้างง่าย และเพิ่มระดับความยากของเนื้อหาขึ้นตามลำดับให้เหมาะสมกับวัย แนวคิดนี้นำมาสู่การออกแบบหลักสูตรร่วมกันของสถานศึกษา เพื่อให้การจัดการศึกษาตามแนวคิดหลักสูตรเกลียวสว่านมีความต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

### 1.5 หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ

#### 1.5.1 ความหมายของหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (2563) ได้ให้ความหมายของหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ ดังนี้

หลักสูตรฐานสมรรถนะ คือ หลักสูตรที่มุ่งเป้าหมายการพัฒนาไปที่ทักษะการทำได้ ไม่ใช่เพียงแค่การมีความรู้เท่านั้น โดยจะระบุผู้เรียนในแต่ละช่วงวัยว่าทำอะไรได้บ้าง

กล่าวคือ ใช้ทักษะ (Skill) เป็นตัวนำ โดยมีความรู้และเจตคติ/คุณลักษณะเป็นตัวสนับสนุน โดยหลักสูตรฐานสมรรถนะเอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้ของนักเรียน ดังนี้

- 1) ช่วยให้นักเรียนได้รับการพัฒนาสมรรถนะหลักที่สำคัญในการดำรงชีวิต การทำงาน และการเรียนรู้ตลอดชีวิต ซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญในโลกแห่งศตวรรษที่ 21
- 2) ช่วยให้การจัดการเรียนรู้มุ่งเป้าหมายไปที่การพัฒนานักเรียนให้เกิดสมรรถนะที่ต้องการ มิใช่เพียงการสอนเนื้อหาความรู้เพียงอย่างเดียว
- 3) ช่วยลดสาระการเรียนรู้ที่ไม่จำเป็น ส่งผลให้สถานศึกษามีพื้นที่ในการจัดการเรียนรู้อื่นที่ตอบสนองความแตกต่างของนักเรียนเรียน วิถีชีวิต วัฒนธรรม ชาติพันธุ์ และบริบทได้มากขึ้น
- 4) ช่วยลดภาระและเวลาในการสอบตามตัวชี้วัดจำนวนมาก การสอบวัดสมรรถนะหลักของนักเรียน ช่วยให้เห็นความสามารถที่เป็นองค์รวมของนักเรียน
- 5) ช่วยเอื้อให้สถานศึกษาสามารถออกแบบหลักสูตรที่เหมาะสมกับความต้องการและบริบทของตนได้โดยยึดสมรรถนะกลางเป็นเกณฑ์เทียบเคียง เป็นการส่งเสริมให้เกิดรูปแบบหลักสูตรที่หลากหลาย

**การจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ** คือ การจัดการเรียนการสอนที่ใช้ผลลัพธ์การเรียนรู้เป็นเป้าหมาย โดยมุ่งเน้นผลที่จะเกิดกับผู้เรียน ซึ่งก็คือความสามารถของผู้เรียนในการประยุกต์ใช้ความรู้ ทักษะ เจตคติ และคุณลักษณะต่างๆ อย่างเป็นองค์รวมในการปฏิบัติงาน การแก้ปัญหา และการใช้ชีวิต เป็นการเรียนการสอนที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เรียนรู้เพื่อให้สามารถใช้ในการได้จริงในสถานการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตจริง เป็นการเรียนเพื่อใช้ประโยชน์ ไม่ใช่การเรียนเพื่อรู้เท่านั้น

### 1.5.2 ลักษณะสำคัญของหลักสูตรฐานสมรรถนะ

ธนรัชชัย สวัสดิ์ และ รัตนะ บัวสนธ์ (2565) ได้ให้ลักษณะสำคัญของหลักสูตรฐานสมรรถนะ ดังนี้

- 1) กำหนดผลการเรียนรู้อย่างชัดเจนว่าผู้เรียนสามารถทำอะไรได้เมื่อจบหลักสูตร (Course Outcomes/ Performance Outcomes)
- 2) ใช้มาตรฐานสมรรถนะเป็นกรอบในการพัฒนาหลักสูตร กำหนดเนื้อหา วางแผนการจัดการเรียนรู้ และประเมินผล ทำให้การเรียนการสอนเชื่อมโยงกับการประเมินผลและการรับรองคุณวุฒิ

3) มีเกณฑ์การปฏิบัติ (Performance Criteria) เพื่อใช้ประเมินนักเรียนที่แน่นอน มีมาตรฐานสมรรถนะเป็นข้อกำหนดความรู้และทักษะ โดยสามารถนำความรู้และทักษะนั้น ๆ ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

### 1.5.3 แนวทางจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (2563) ได้เสนอแนะ 6 แนวทางในการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ โดยครูสามารถเลือกใช้ตามความพร้อมและความถนัดของตนเองรวมทั้งความเหมาะสมกับบริบท ดังนี้

1) **แนวทางที่ 1 ใช้งานเดิม เสริมสมรรถนะ** เป็นการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับหลักสูตรที่สอดคล้องกับบทเรียน โดยระบุเป็นวัตถุประสงค์การเรียนรู้ เสริมกิจกรรมลงไป ไม่ได้เปลี่ยนแปลงแผนการสอนเดิม เพื่อให้ให้นักเรียนมีการพัฒนาสมรรถนะที่เข้มข้น เกิดสมรรถนะที่ต้องการพร้อมกับการเรียนเนื้อหาและทักษะตามปกติ

2) **แนวทางที่ 2 ใช้งานเดิม ต่อเติมสมรรถนะ** เป็นการพัฒนาการจัดการเรียนรู้เดิมของครูผู้สอนเน้นสมรรถนะที่มากขึ้นจากงานเดิม มีการออกแบบงานหรือสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกฝน มีการนำความรู้ ทักษะ และเจตคติไปประยุกต์ใช้สถานการณ์ที่หลากหลาย

3) **แนวทางที่ 3 ใช้รูปแบบการเรียนรู้ผู้ดูแลพัฒนาสมรรถนะ** เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีการนำรูปแบบการเรียนต่าง ๆ มาวิเคราะห์เชื่อมโยงกับสมรรถนะที่สอดคล้องกัน และเพิ่มเติมกิจกรรมที่สามารถช่วยพัฒนาสมรรถนะนั้นให้เพิ่มขึ้น

4) **แนวทางที่ 4 สมรรถนะเป็นฐาน ผสานตัวชี้วัด** เป็นการจัดการเรียนรู้โดยการนำสมรรถนะที่ต้องการพัฒนาเป็นตัวตั้งและนำตัวชี้วัดที่สอดคล้องกันมาออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้ให้นักเรียนได้เรียนรู้ทั้งเนื้อหาสาระและทักษะตามตัวชี้วัดไปพร้อมกัน

5) **แนวทางที่ 5 บูรณาการผสานหลายสมรรถนะ** เป็นการจัดการเรียนรู้โดยนำสมรรถนะหลักหลายสมรรถนะเป็นตัวตั้ง และวิเคราะห์ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการเรียนการสอนที่มีลักษณะเป็นหน่วยบูรณาการที่ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้แบบองค์รวม

6) **แนวทางที่ 6 สมรรถนะชีวิตในกิจวัตรประจำวัน** เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีการสอดแทรกสมรรถนะที่ส่งเสริมการทำกิจวัตรประจำวันต่าง ๆ ของนักเรียนให้มีประสิทธิภาพและคุณภาพ โดยการใช้กิจกรรมในชีวิตประจำวันมาเป็นสถานการณ์ในการฝึกฝนสมรรถนะ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดสมรรถนะที่ต้องการอย่างเป็นธรรมชาติและยั่งยืน

การจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ ควรเป็นกิจกรรมการเรียนรู้แบบเชิงรุก (Active Learning) หมายถึง จะต้องอาศัยกระบวนการเรียนรู้ที่ผู้เรียนต้องมีส่วนร่วมอย่างเต็มที่ทั้งทางกาย (Physically

Active) คือ การให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมเคลื่อนไหวร่างกายในรูปแบบที่หลากหลายเหมาะสมกับวัย ทางสติปัญญา (Intellectually Active) คือ การให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมเคลื่อนไหวทางสติปัญญาหรือสมอง ฝึกการใช้ความคิด ทางสังคม (Social Active) คือ การให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนมีการเคลื่อนไหวทางสังคม หรือมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับผู้อื่นและสิ่งแวดล้อมรอบตัว เป็นการขยายขอบเขตการเรียนรู้ของนักเรียนให้กว้างขึ้น และทางอารมณ์ (Emotional Active) คือ การให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนเกิดการเคลื่อนไหวทางอารมณ์หรือความรู้สึกที่จะช่วยให้การเรียนรู้นั้นเกิดความหมายต่อตนเอง

### 1.6 กรอบการประเมินด้านวิทยาศาสตร์

PISA 2025 ให้นิยามของสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ (สสวท., 2566) ไว้ดังนี้ “สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ (Science Competency) หมายถึง ความสามารถของบุคคลที่มีส่วนร่วมในการอภิปรายเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ความยั่งยืน และเทคโนโลยีได้อย่างสมเหตุสมผล เพื่อนำไปสู่การลงมือกระทำได้”

การประเมินด้านวิทยาศาสตร์ของ PISA มุ่งเน้นที่การใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน โดยการประเมิน PISA 2025 จะตรวจสอบความสามารถของนักเรียนอายุ 15 ปี ในการแสดงสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ในสามด้านภายในบริบทที่หลากหลาย ทั้งในระดับส่วนบุคคล ระดับท้องถิ่น/ประเทศ และระดับโลก การประเมินนี้แตกต่างจากการเรียนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนทั่วไปที่มักเน้นที่เนื้อหาวิชาการ แต่กรอบการประเมินของ PISA มองวิทยาศาสตร์ในมุมมองที่กว้างขึ้น เพื่อระบุถึงความรู้ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการมีส่วนร่วมของสมาชิกในสังคมปัจจุบัน

ตามจุดประสงค์ของการประเมิน PISA 2025 สามารถจำแนกองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ออกเป็น 4 ด้าน ที่สัมพันธ์กัน ดังนี้

1. **บริบท (Context)** หมายถึง สถานการณ์หรือประเด็นปัญหาในระดับส่วนบุคคล ระดับท้องถิ่น/ประเทศ และระดับโลก ทั้งที่เป็นเรื่องในปัจจุบันหรือในอดีตที่ผ่านมาซึ่งจำเป็นต้องมีความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

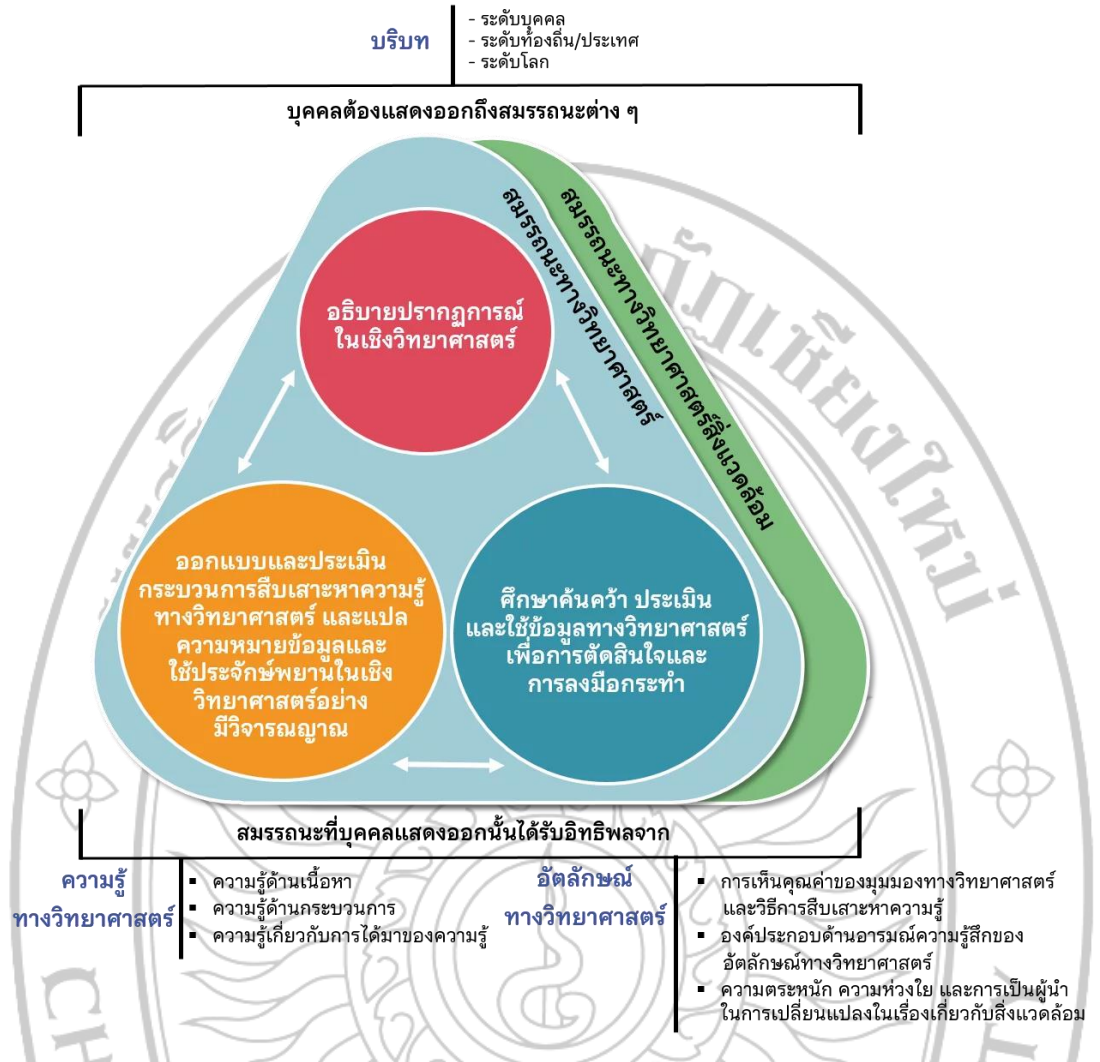
2. **ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Knowledge)** หมายถึง ความเข้าใจในข้อเท็จจริง แนวคิดหลัก และทฤษฎีสำคัญ ที่ทำให้เกิดความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ โดยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย (1) **ความรู้ด้านเนื้อหา (Content Knowledge)** เป็นความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริง แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับโลกธรรมชาติที่วิทยาศาสตร์ได้สร้างขึ้นและสิ่งประดิษฐ์ทางเทคโนโลยี (2) **ความรู้ด้านกระบวนการ (Procedural Knowledge)** เป็นความรู้เกี่ยวกับวิธีการในการสร้าง

แนวคิดต่าง ๆ และ (3) ความรู้เกี่ยวกับการได้มาของความรู้ (Epistemic Knowledge) เป็นความเข้าใจในเหตุผลพื้นฐานของกระบวนการสร้างความรู้

**3. สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ (Science Competencies)** หมายถึง ความสามารถในการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ การออกแบบและประเมินกระบวนการ สืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการแปลความหมายข้อมูลและใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างมีวิจารณญาณ และการศึกษาค้นคว้า ประเมินและใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อการตัดสินใจและการลงมือกระทำ

**4. อัตลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ (Science Identity)** หมายถึง กลุ่มของลักษณะอุปนิสัย การเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลง เจตคติต่อวิทยาศาสตร์และต้นทุนทางวิทยาศาสตร์ของบุคคล ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้จากความสนใจในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การให้คุณค่ากับวิธีการสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและการรับรู้และตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม





**ภาพที่ 2.1** องค์ประกอบของกรอบการประเมินด้านวิทยาศาสตร์ – สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์

ที่มา : จากกรอบการประเมินวิทยาศาสตร์ โดย สสวท., 2566

### 1.6.1 บริบทที่ใช้ในการประเมิน

PISA ให้ความสำคัญกับการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในสถานการณ์ต่าง ๆ อย่างหลากหลายเพื่อจัดการกับประเด็นทางวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม โดยสถานการณ์ที่ใช้จะไม่จำกัดในบริบทของประเทศใดประเทศหนึ่ง แต่จะสะท้อนถึงสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน ในบริบทสามระดับ ได้แก่ บริบทส่วนบุคคล (เช่น เรื่องที่เกี่ยวข้องกับตนเอง ครอบครัว หรือเพื่อน) บริบททางสังคม/ท้องถิ่นหรือประเทศ (เช่น ประเด็นที่มีผลต่อสังคม วัฒนธรรม สุขภาพ หรือชีวิตมนุษย์) และบริบทระดับโลก (เช่น ประเด็นทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นข่าวในสื่อหรือส่งผล

กระทบต่อสังคมโลกหรืออนาคตของโลก) คำถามในการประเมิน PISA จึงเชื่อมโยงกับสถานการณ์จริงในชีวิตของนักเรียน ไม่จำกัดเฉพาะสถานการณ์ใน โรงเรียนเท่านั้น แต่ครอบคลุมถึงเรื่องที่เกี่ยวข้องกับนักเรียนเอง ครอบครัว ชุมชน หรือสถานการณ์ระดับโลก แม้ว่าเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะเป็นบริบททั่วไปในการประเมิน แต่คำถามในบริบททางประวัติศาสตร์ที่เหมาะสมก็สามารถนำมาใช้ประเมินความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการและความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ได้เช่นกัน

### 1.6.2 สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์

สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 3 สมรรถนะ มีรายละเอียดดังนี้

#### 1) การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์

สมรรถนะนี้เป็นความสามารถในการรับรู้ สร้าง ประยุกต์ใช้ และประเมินคำอธิบายและแนวทางแก้ไขของปัญหาหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและทางเทคโนโลยีที่หลากหลาย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถ ดังนี้

- 1.1) การระลึกและนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม
- 1.2) การใช้รูปแบบต่าง ๆ ในการแสดงแทนของความรู้และสามารถแปลความหมายข้อมูลเหล่านี้กลับไปกลับมาได้
- 1.3) การสร้างและตรวจสอบความถูกต้องของการทำนายผลทางวิทยาศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้
- 1.4) การระบุ สร้างแบบจำลอง และประเมินแบบจำลองนั้นได้
- 1.5) การรับรู้และสร้างสมมติฐานเชิงอธิบายของปรากฏการณ์ต่าง ๆ
- 1.6) การอธิบายถึงศักยภาพของการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้เพื่อประโยชน์ของสังคม

นักเรียนที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะสามารถใช้ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่กำหนด เพื่อสร้างคำอธิบายสำหรับปรากฏการณ์ต่างๆ ทำนายผลลัพธ์ และวางแผนแก้ไขปัญหามที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ได้ รวมถึงสามารถใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันและสามารถรับรู้หรือสร้างสมมติฐานเบื้องต้นในบริบทที่ขาดข้อมูลหรือความรู้เกี่ยวกับเรื่องนั้น ๆ นอกจากนี้ นักเรียนยังต้องสามารถอธิบายถึงศักยภาพของการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมได้ เช่น การใช้ความรู้เกี่ยวกับไวรัสและแบคทีเรียเพื่อกำหนดนโยบายสังคมในการป้องกัน

การแพร่เชื้อ หรือการใช้ความรู้ด้านกระบวนการทางเคมีในการหาแนวทางแก้ไขปัญหายั่งยืน เช่น การพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

## 2) การออกแบบและประเมินกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการแปลความหมายข้อมูลและใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างมีวิจารณญาณ

สมรรถนะนี้เป็นความสามารถในการออกแบบและประเมินกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงวิธีการระบุคำถามอย่างเป็นวิทยาศาสตร์และการแปลความหมายข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถ ดังนี้

- 2.1) การระบุคำถามในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนดให้
- 2.2) การออกแบบการทดลองที่เหมาะสมเพื่อตอบคำถาม
- 2.3) การประเมินว่าการทดลองที่ได้ออกแบบไว้นั้นเหมาะสมที่สุดสำหรับการตอบคำถามหรือไม่

2.4) การตีความข้อมูลที่มีการนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ สามารถลงข้อสรุปที่เหมาะสมจากข้อมูลและประเมินข้อดีที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเหล่านั้นได้

นักเรียนที่สามารถออกแบบและประเมินกระบวนการสืบค้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการแปลความหมายข้อมูลและใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์อย่างมีวิจารณญาณ จำเป็นต้องมีทักษะในการแยกแยะคำถามที่สามารถตอบได้ด้วยการสืบค้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จากคำถามประเภทอื่น ๆ ที่ต้องใช้ความรู้ในรูปแบบที่แตกต่างกัน การประเมินคำถามต้องใช้ วิจารณญาณในการตัดสินใจเกี่ยวกับตัวแปรและความสำคัญของผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้น ทักษะนี้ต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสืบค้นทางวิทยาศาสตร์ เช่น การระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องและการประเมินความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้รับเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลองจริง นอกจากนี้ นักเรียนควรสามารถตีความและประเมินความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูล และข้อสรุปที่ได้จากหลักฐานเบื้องต้น รวมถึงการใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์หรือสรุปข้อมูล ควรมีความสามารถในการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ และเลือกวิธีการแสดงผลที่เหมาะสม ทั้งนี้ ความรู้ความเข้าใจเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการพัฒนาความฉลาดรู้ด้านข้อมูลและการนำเสนอข้อมูลที่มีกพบในช่องทางออนไลน์และสื่อต่าง ๆ

## 3) การศึกษาค้นคว้า ประเมิน และใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อการตัดสินใจ และการลงมือกระทำ

สมรรถนะนี้เป็นความสามารถในการศึกษาค้นคว้าและประเมินข้อมูล คำกล่าวอ้าง และข้อโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ที่นำเสนอในรูปแบบและบริบทต่าง ๆ และสามารถลงข้อสรุปที่เหมาะสม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถดังนี้

3.1) การสืบค้น ประเมิน และสื่อสารเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ (ข้อมูลในเชิงวิทยาศาสตร์ สังคม เศรษฐกิจ และจริยธรรม) ซึ่งอาจมีความสำคัญหรือมีคุณค่ากับการตัดสินใจในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ว่าสนับสนุนข้อโต้แย้งหรือแนวทางการแก้ปัญหาเหล่านั้นหรือไม่

3.2) การแยกแยะระหว่างคำกล่าวอ้างที่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนหรือคำกล่าวอ้างจากผู้เชี่ยวชาญกับคำกล่าวอ้างจากผู้ที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญ หรือเป็นความเห็นของบุคคลทั่วไป รวมถึงสามารถให้เหตุผลเกี่ยวกับการแยกแยะนั้น

3.3) การสร้างข้อโต้แย้งในการสนับสนุนข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมจากชุดข้อมูล

3.4) การวิจารณ์ข้อบกพร่องที่พบบ่อยในข้อโต้แย้งที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการได้มาของความรู้และความรู้ด้านกระบวนการ เช่น การตั้งสมมติฐานที่ไม่ดี สาเหตุกับความสัมพันธ์ คำอธิบายที่ไม่ถูกต้อง และการสรุปจากข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัด

3.5) การตัดสินใจโดยใช้ข้อโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ทั้งในระดับส่วนตัวหรือส่วนรวม ที่มีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาในปัจจุบันหรือสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืน

นักเรียนที่มีความสามารถในการศึกษาค้นคว้า ประเมิน และใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อการตัดสินใจและการปฏิบัติต้องมีทักษะในการประเมินแหล่งที่มาของข้อมูล ความเชี่ยวชาญของผู้ให้ข้อมูล ลักษณะของสื่อที่เผยแพร่ข้อมูล การตรวจสอบโดยผู้วิจัยอื่น ๆ และคุณภาพของข้อมูล เช่น ความแม่นยำ ความถูกต้อง ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น ผู้ที่ได้รับการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ควรมีแนวโน้มที่จะไม่เชื่อถือข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการและการได้มาของความรู้ รวมถึงสามารถระบุสมมติฐาน ยืนยันข้อมูล และวิเคราะห์ด้วยเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ได้ นอกจากนี้ยังต้องสามารถสร้างข้อสรุปจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และระบุข้อบกพร่องที่พบบ่อย เช่น สมมติฐานที่ไม่ถูกต้อง ความแตกต่างระหว่างความสัมพันธ์กับสาเหตุการอธิบายที่ผิดพลาด และการสรุปข้อมูลจากหลักฐานที่จำกัด อีกทั้งควรเข้าใจว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจและพัฒนาทักษะในการค้นคว้า ประเมินค่า และใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ ทั้งในระดับส่วนบุคคล ระดับท้องถิ่น/ประเทศและระดับโลก

### 1.6.3 ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

การประเมินความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ที่ PISA กำหนดไว้นั้นครอบคลุมความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามด้าน ได้แก่ ความรู้ด้านเนื้อหา (Content Knowledge) ความรู้ด้านกระบวนการ

(Procedural Knowledge) และความรู้เกี่ยวกับการได้มาของความรู้ (Epistemic Knowledge) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**1) ความรู้ด้านเนื้อหา** เป็นความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริง แนวความคิดหลัก แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับโลกธรรมชาติ โดย PISA เลือกประเมินความรู้ในสาขาวิชาหลัก ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ ทั้งนี้ มีเกณฑ์การเลือกแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประเมิน ดังนี้

1.1) เป็นความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตจริง

1.2) แสดงให้เห็นถึงแนวความคิดหลักทางวิทยาศาสตร์หรือทฤษฎีที่สำคัญ ซึ่งถูกสร้างและใช้อย่างยาวนาน

1.3) เหมาะสมกับระดับพัฒนาการของนักเรียนอายุ 15 ปี

**2) ความรู้ด้านกระบวนการ** เป็นความรู้เกี่ยวกับกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งความรู้ในเรื่องการปฏิบัติ และแนวความคิดเกี่ยวกับการสืบเสาะหาความรู้ เช่น การตรวจสอบซ้ำเพื่อลดความผิดพลาด และลดความไม่แน่นอน การควบคุมตัวแปรและการมีกระบวนการมาตรฐานเพื่อนำเสนอ และสื่อสารข้อมูลลักษณะทั่วไปของความรู้ด้านกระบวนการที่จะทดสอบนักเรียน ครอบคลุมถึง

2.1) แนวคิดเรื่องตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรควบคุม

2.2) แนวคิดเรื่องการวัด เช่น การวัดเชิงปริมาณ (การใช้เครื่องมือวัด) การวัดเชิงคุณภาพ (การสังเกต) การใช้มาตรวัดและการวัดตัวแปรเชิงกลุ่มและตัวแปรต่อเนื่อง

2.3) วิธีการประเมินและลดข้อผิดพลาด เช่น การวัดซ้ำและการหาค่าเฉลี่ยจากการวัด

2.4) กลไกในการยืนยันความเที่ยงตรงของข้อมูล (ความใกล้เคียงของค่าที่ได้จากการวัดปริมาณเดิมซ้ำ) และความถูกต้องของข้อมูล (ความใกล้เคียงของค่าที่ได้จากการวัดกับค่าจริง)

2.5) วิธีการทั่วไปในการสรุปและนำเสนอข้อมูลโดยใช้ตาราง กราฟ และแผนภูมิอย่างเหมาะสม

2.6) วิธีการควบคุมตัวแปร และบทบาทของการควบคุมตัวแปรในการออกแบบการทดลอง หรือการทดลองแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุม เพื่อหลีกเลี่ยงผลที่สับสน และการระบุกลไกของสาเหตุที่อาจเป็นไปได้

2.7) ลักษณะของการออกแบบที่เหมาะสมเพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนด เช่น การทดลอง การสำรวจตรวจสอบภาคสนามหรือการค้นหารูปแบบและบทบาทของกลุ่มควบคุมในการหาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล

2.8) กระบวนการต่าง ๆ ในการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญในชุมชนวิทยาศาสตร์เพื่อให้แน่ใจว่าความรู้ที่อ้างมานั้นมีความน่าเชื่อถือ

**3) ความรู้เกี่ยวกับการได้มาของความรู้** เป็นความเข้าใจในโครงสร้างและลักษณะสำคัญของวิทยาศาสตร์ที่มีต่อกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเข้าใจบทบาทของคำถาม การสังเกต ทฤษฎี สมมติฐาน แบบจำลอง และการอภิปรายโต้แย้งในทางวิทยาศาสตร์ที่มีต่อกระบวนการสร้างความรู้และความรู้ที่สร้างขึ้นด้วยวิทยาศาสตร์ การยอมรับรูปแบบที่หลากหลายในกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ และบทบาทในการตรวจสอบจากผู้อื่นที่ทำให้ความรู้ที่สร้างขึ้นนั้นน่าเชื่อถือ ซึ่งความรู้เกี่ยวกับการได้มาของความรู้ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับบทบาทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ บทบาทของข้อมูลและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ ธรรมชาติของการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ และธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในการทำงานร่วมกันและการเป็นชุมชน

#### 1.6.4 อัตลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์

การมอบความสำคัญให้กับอัตลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของกรอบการประเมินทางวิทยาศาสตร์ใน PISA 2025 มีพื้นฐานจากแนวคิดที่ว่า แม้ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์จะมีความสำคัญและมีคุณค่าต่ออนาคตของเยาวชน แต่ผลลัพธ์ของอัตลักษณ์ก็มีความสำคัญต่อการส่งเสริมความเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงและการเป็นพลเมืองที่มีความกระตือรือร้นในโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น การรับรู้เกี่ยวกับตนเองของนักเรียน การรับรู้ความสามารถของตนเอง ความเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงของนักเรียน แรงจูงใจ ความเชื่อเกี่ยวกับการได้มาของความรู้และทุนทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่ร่วมกับความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์เพื่อการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพ ทัศนคติต่อวิทยาศาสตร์และทัศนคติเชิงวิทยาศาสตร์เป็นสองมิติสำคัญที่ช่วยสะท้อนให้เห็นถึงระดับความสนใจที่แสดงออกเกี่ยวกับปัญหา การมีส่วนร่วมในกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ และการให้คุณค่าต่อวิธีการคิดและการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์

โครงสร้างของอัตลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ใน PISA 2025 ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีส่วนช่วยส่งเสริมเส้นทางวิชาชีพด้านวิทยาศาสตร์ โดยสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องประเมินความสามารถในด้านทักษะที่เกี่ยวข้องกับชีวิตในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในการตัดสินใจและความสามารถในการมีส่วนร่วม

ในการจัดการต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อชีวิตประจำวัน ซึ่งจะถูกวัดด้วยเครื่องมือทั้งในแบบทดสอบ และแบบสอบถาม โดย PISA 2025 ได้จำแนกอัตลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 มิติหลัก ได้แก่

อัตลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 3 มิติหลัก ประกอบด้วยโครงสร้าง ดังต่อไปนี้

#### โครงสร้างด้านต้นทุนทางวิทยาศาสตร์

1. ต้นทุนทางวิทยาศาสตร์ เป็นความรู้ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เจตคติ อุปนิสัย ทรัพยากร พฤติกรรม และการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม เช่น การเข้าร่วมกิจกรรมทาง วิทยาศาสตร์ ความรู้ความเข้าใจในงานด้านวิทยาศาสตร์ที่ได้รับจากนอกโรงเรียน

2. ความเชื่อเกี่ยวกับการได้มาของความรู้ นั่นคือ การเห็นคุณค่าโดยทั่วไป ของวิทยาศาสตร์และการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

#### โครงสร้างด้านเจตคติ

1. แนวคิดเกี่ยวกับตนเองในด้านวิทยาศาสตร์ (ความรู้สึกเกี่ยวกับตนเอง ในด้านความสัมพันธ์กับวิทยาศาสตร์ รวมถึงการมีส่วนร่วมในอนาคต)

2. การรับรู้ความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ของตนเอง

3. ความเพลิดเพลินในด้านวิทยาศาสตร์

4. แรงจูงใจเชิงเครื่องมือ (แรงจูงใจในการเรียนรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์)

#### โครงสร้างด้านสิ่งแวดล้อม

1. ความตระหนักเรื่องสิ่งแวดล้อม

2. ความห่วงใยเรื่องสิ่งแวดล้อม

3. การเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงในเรื่องสิ่งแวดล้อม

#### 1.6.5 สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ผลกระทบจากมนุษย์ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในระบบต่าง ๆ ของโลก (IPCC, 2021) โดยเฉพาะตั้งแต่เริ่มต้นยุคอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ 18 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลกและการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด การแก้ปัญหาจำเป็นต้องอาศัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับความรู้อื่น ๆ เพื่อสร้างทางเลือกในการดำรงชีวิตอย่างยั่งยืน เยาวชนจึงควรมีความ เข้าใจและนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ร่วมกับการคิดเชิงวิเคราะห์ การสื่อสารและเข้าใจ ความรู้ที่หลากหลาย รวมถึงเคารพภูมิปัญญาของทุกชนชาติ ดังนั้น การศึกษาจึงควรส่งเสริม ให้เยาวชนพัฒนาจิตสำนึกและความยุติธรรม ตามแนวคิดที่ว่ามนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม และมีการคิดเชิงระบบเพื่อสนับสนุนการดำรงชีวิตอย่างยั่งยืนในระดับบุคคล ระดับท้องถิ่น/ประเทศ และระดับโลก

การพัฒนาให้เกิดความเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลง (Agency) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเยาวชนอายุ 15 ปี เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามความจำเป็นในการบรรลุเป้าหมายการเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งมีความซับซ้อนอย่างครบถ้วนและประเมินค่าข้อสันนิษฐานจากผู้เชี่ยวชาญได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการกำหนดเป้าหมายเพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงและวิธีการกระทำที่รับผิดชอบ รวมถึงการตัดสินใจโดยการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการตัดสินใจที่จะลงมือกระทำอย่างรับผิดชอบสำหรับตนเองร่วมกับผู้อื่นเป็นตัววัดของการเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงในยุคแอนโทรโปซีน ตัวอย่างเช่น การแสดงความเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงในยุคแอนโทรโปซีน ประกอบไปด้วยการพิจารณาทางเลือกในการดำเนินชีวิตส่วนตัว การส่งเสริมให้ผู้อื่นพิจารณาและเปลี่ยนแปลง และการให้ข้อเสนอแนะต่อองค์กรและรัฐบาลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่จำเป็น การกระทำเหล่านี้ช่วยให้การจัดการทรัพยากรมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีความสำคัญในการทำให้เยาวชนมีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับระบบ โลกและการมีปฏิสัมพันธ์กับระบบมนุษย์ การทำความเข้าใจถึงระดับความซับซ้อนของประเด็นปัญหาในเวทียุคเชิงสังคมและเข้าใจความสัมพันธ์ของปัญหาเหล่านี้ผ่านการใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เช่น การสร้างแผนผังของระบบ เป็นสิ่งจำเป็นในการเตรียมความพร้อมให้เยาวชนรับมือกับความท้าทายในยุคปัจจุบัน เช่น การบรรเทาและการปรับตัวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ในยุคที่ไม่แน่นอนเช่นนี้ เยาวชนยังต้องมีลักษณะอุปนิสัยและทัศนคติต่อการทำงานของตนเองและการทำงานร่วมกับผู้อื่นและคนอื่นๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นระบบและยั่งยืนดังนี้

1. การคิดเชิงระบบ เป็นความสามารถในการรับรู้ถึงการมีปฏิสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องและเข้าใจผลที่ตามมาของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเหล่านั้น
2. การรับรู้ถึงความสามารถและศักยภาพของตนเองเป็นความเชื่อว่าตนเองสามารถลงมือกระทำได้
3. การรับรู้ถึงความสามารถและศักยภาพของการทำงานเป็นกลุ่ม เป็นการเชื่อว่ากลุ่มของตนเองสามารถประสบความสำเร็จตามที่ตั้งเป้าหมายได้
4. ผลลัพธ์ที่คาดหวัง เป็นความเชื่อว่าการกระทำของตนเองจะส่งผลต่อประเด็นปัญหาที่สนใจ
5. การเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลง เป็นการรับรู้ว่าคุณคณามีอิทธิพลต่อการกระทำและสถานการณ์ของตนเอง

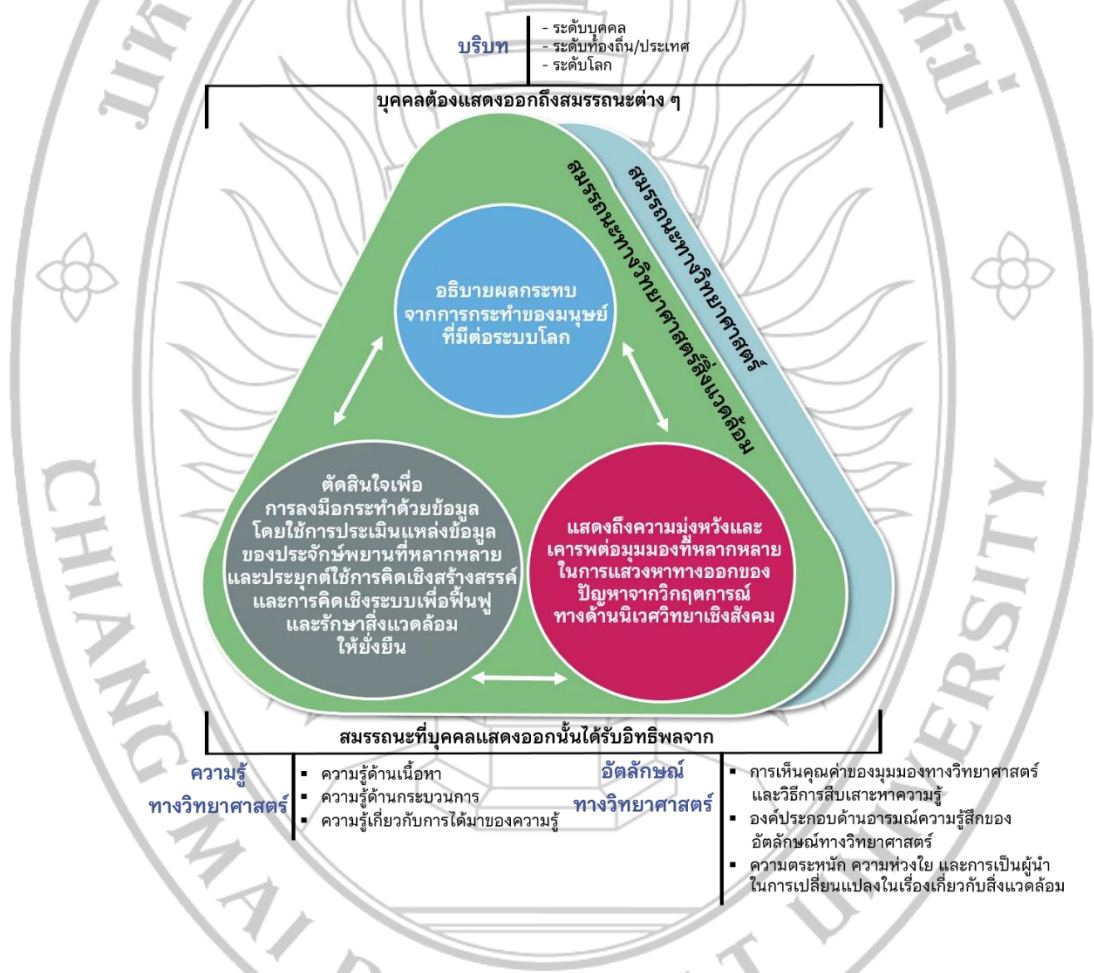
6. ความมุ่งหวัง เป็นความรู้สึกว่ามีวิธีการที่นำไปสู่อนาคตที่เป็นไปได้ ซึ่งคุ้มค่าที่จะทำให้สำเร็จ

ความสามารถในการรับรู้และเข้าใจระบบที่ซับซ้อนและความสัมพันธ์ระหว่างระบบเหล่านี้มีความสำคัญต่อการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและสังคม โดยจำเป็นต้องพิจารณาว่าการแทรกแซงสามารถปรับปรุงสถานการณ์ได้อย่างไร ความเชื่อมั่นในตนเองในการลงมือกระทำและการมองเห็นภาพอนาคตอย่างมีความหวังเป็นสิ่งสำคัญ การคิดเชิงระบบมีความสำคัญในด้านการศึกษาวิทยาศาสตร์ เนื่องจากช่วยให้เข้าใจว่า การเปลี่ยนแปลงในตัวแปรหนึ่งสามารถส่งผลต่อตัวแปรอื่นได้อย่างไร ความมุ่งหวังเป็นสิ่งสำคัญในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนเพราะช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นในศักยภาพที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ความเชื่อในความสามารถของบุคคลในการทำงานร่วมกับชุมชนเพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลง หรือที่เรียกว่าความเชื่อมั่นในความร่วมมือก็มีความสำคัญเช่นกัน การผสมผสานความหวังเข้ากับความรู้เกี่ยวกับระบบโลกที่เชื่อมโยงกันสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมได้ และการประเมินความหวังของเยาวชนเกี่ยวกับอนาคตนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินความสามารถในการรับมือกับสถานการณ์ในยุคแอนโทรโปซีน

การเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงในยุคแอนโทรโปซีนจำเป็นต้องเข้าใจว่ามนุษย์สร้างผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบโลก และยังคงทำเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้น เยาวชนที่เป็นผู้นำในยุคแอนโทรโปซีนต้องเชื่อว่าการกระทำของพวกเขาจะได้รับการยอมรับ เห็นชอบ และก่อให้เกิดผลดีเมื่อพวกเขาลงมือทำเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ การขาดแคลนน้ำจืด และปัญหาอื่น ๆ ที่ซับซ้อน ดังนั้น การเป็นผู้นำในยุคแอนโทรโปซีนจึงหมายถึงการดำเนินชีวิตและการกระทำที่มองว่าตนเองเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศ เห็นคุณค่าและใส่ใจสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และการพึ่งพาซึ่งกันและกัน ผู้นำในยุคแอนโทรโปซีนจะรับรู้ถึงวิธีต่าง ๆ ที่สังคมสร้างความไม่เป็นธรรม และจะลงมือกระทำเพื่อสนับสนุนให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการพัฒนาความเป็นอยู่ที่ดีของชุมชนและระบบนิเวศ พวกเขาแสดงออกถึงความมุ่งมั่น ไม่ย่อท้อ และความเชื่อมั่นในการรับมือกับวิกฤตทั้งทางสังคมและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ พวกเขายังเคารพและพิจารณามุมมองและระบบความรู้ที่หลากหลาย รวมทั้งแสดงความสามารถในการร่วมมือกับเยาวชนและผู้ใหญ่ในทุกช่วงวัยเพื่อการทำงานร่วมกันระหว่างรุ่นในการเป็นพลเมืองที่ช่วยขับเคลื่อนการพัฒนาความเป็นอยู่ที่ดีของชุมชนและอนาคตที่ยั่งยืน โดยเยาวชนที่มีความเป็นผู้นำในยุคแอนโทรโปซีนจะทำงานทั้งในระดับท้องถิ่นจนถึงระดับโลกเพื่อทำความเข้าใจและจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในชุมชนต้องเผชิญ

นักเรียนที่มีสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ต้องแสดงให้เห็นถึงความสามารถ ดังนี้

1. การอธิบายผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ที่มีต่อระบบโลก
2. การตัดสินใจเพื่อการลงมือกระทำด้วยข้อมูล โดยใช้การประเมินแหล่งข้อมูลของประจักษ์พยานที่หลากหลาย และการประยุกต์ใช้การคิดเชิงสร้างสรรค์และการคิดเชิงระบบเพื่อฟื้นฟูและรักษาสิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืน
3. การแสดงถึงความมุ่งมั่นและเคารพต่อมุมมองที่หลากหลายในการแสวงหาทางออกของปัญหาจากวิกฤตการณ์ทางด้านนิเวศวิทยาเชิงสังคม (socio-ecological crises)



ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบของกรอบการประเมินด้านวิทยาศาสตร์ – สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ที่มา : จากกรอบการประเมินวิทยาศาสตร์ โดย สสวท., 2566

โดยสมรรถนะเหล่านี้ต้องอาศัยทั้งองค์ประกอบทางปัญญาและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากองค์ประกอบทางปัญญา ซึ่งสื่อถึงลักษณะของการเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงในยุคแอนโตรโปซีน โดยในแต่ละสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมมีรายละเอียดเพิ่มเติม ดังนี้

### 1) การอธิบายผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ที่มีต่อระบบโลก

องค์ประกอบของสมรรถนะนี้ถูกวัดโดยสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สมรรถนะที่ 1 (การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์) อย่างไรก็ตาม สมรรถนะนี้มุ่งเน้นไปที่การกระทำของมนุษย์เพื่อสำรวจความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับผลกระทบของมนุษย์ต่อระบบโลก สมรรถนะนี้จึงต้องใช้ทั้งความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้ด้านกระบวนการ นักเรียนที่มีสมรรถนะดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถ ดังนี้

1.1) การอธิบายได้ว่าระบบทางกายภาพ ระบบสิ่งมีชีวิต และระบบของโลกเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอย่างไร และแต่ละระบบมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างไร

1.2) การศึกษาค้นคว้าและนำความรู้เกี่ยวกับการกระทำของมนุษย์กับระบบเหล่านี้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ได้

1.3) การนำความรู้ไปใช้เพื่ออธิบายผลกระทบของมนุษย์ที่มีต่อระบบเหล่านี้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ทั้งในเชิงบวกและเชิงลบ

1.4) การอธิบายได้ว่าปัจจัยต่าง ๆ ทางสังคม วัฒนธรรม หรือเศรษฐกิจมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบเหล่านี้ได้อย่างไร

2) การตัดสินใจเพื่อการลงมือกระทำด้วยข้อมูล โดยใช้การประเมินแหล่งข้อมูลของประจักษ์พยานที่หลากหลาย และการประยุกต์ใช้การคิดเชิงสร้างสรรค์และการคิดเชิงระบบเพื่อฟื้นฟูและรักษาสีสิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืน

องค์ประกอบของสมรรถนะนี้ถูกวัดโดยสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สมรรถนะที่ 2 (การสร้างและประเมินการออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการแปลความหมายข้อมูลและใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างมีวิจารณญาณ) และสมรรถนะที่ 3 (การค้นคว้า ประเมิน และใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อการตัดสินใจและการลงมือกระทำ) ซึ่งต้องใช้ความรู้ด้านเนื้อหา ความรู้ด้านกระบวนการ และความรู้เกี่ยวกับการได้มาของความรู้ นักเรียนที่มีสมรรถนะดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถ ดังนี้

2.1) การเข้าถึงและประเมินหลักฐานจากวิธีการได้มาซึ่งความรู้หรือแหล่งข้อมูลที่หลากหลายอย่างคิดวิเคราะห์

2.2) การประเมินและออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหาทางนิเวศวิทยาเชิงสังคมที่เป็นไปได้โดยใช้การคิดเชิงสร้างสรรค์และการคิดเชิงระบบ โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อคนในรุ่นปัจจุบันและอนาคต

2.3) การมีส่วนร่วมในกระบวนการพลเมืองทั้งในแบบส่วนบุคคลและส่วนรวม (เช่น การมีส่วนร่วมในกิจกรรมของชุมชนโดยมีจุดประสงค์ในการปรับปรุงสิ่งแวดล้อมเพื่อให้อุณหภูมิชีวิตในชุมชนดีขึ้น) เพื่อรับรู้ข้อมูลและลงมติการตัดสินใจร่วมกัน

2.4) การตั้งเป้าหมายในการทำงานร่วมกันระหว่างเยาวชนและผู้ใหญ่รุ่นต่าง ๆ และดำเนินการเพื่อการฟื้นฟูและการเปลี่ยนแปลงทางนิเวศวิทยาเชิงสังคมที่ยั่งยืนในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับท้องถิ่นจนถึงระดับโลก

3) การแสดงถึงความมุ่งมั่นและเคารพต่อมุมมองที่หลากหลายในการแสวงหาทางออกของปัญหาจากวิกฤตการณ์ทางด้านนิเวศวิทยาเชิงสังคม (Socio-Ecological Crises)

องค์ประกอบของสมรรถนะนี้ถูกวัดโดยแนวคิดของอัตลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งรวมถึงความเชื่อเกี่ยวกับการได้มาของความรู้ อนุสัยในความหวงใจและใส่ใจต่อผู้อื่น สิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ และโลกของเรา และความรู้สึของการเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงและความเชื่อมั่นในการจัดการกับวิกฤตการณ์ทางนิเวศวิทยาเชิงสังคม ซึ่งสมรรถนะนี้ต้องใช้ทั้งความรู้ด้านเนื้อหา ความรู้ด้านกระบวนการ และความรู้เกี่ยวกับการได้มาของความรู้ นักเรียนที่มีสมรรถนะดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถ ดังนี้

3.1) การแสดงการกระทำที่ยึดตามหลักจริยธรรมด้วยการใส่ใจผู้อื่นรวมทั้งสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ภายใต้โลกทัศน์ที่ว่ามนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม

3.2) การรับรู้ถึงวิธีการต่าง ๆ ที่สังคมได้สร้างความไม่เป็นธรรมและลงมือกระทำเพื่อสนับสนุนให้ทุกคนสามารถมีส่วนร่วมในการสร้างความเป็นอยู่ที่ดีของชุมชนและระบบนิเวศ

3.3) การแสดงความไม่ย่อท้อ ความมุ่งมั่นและความเชื่อมั่นของตนเองและส่วนรวมในการตอบสนองต่อวิกฤตการณ์ทางนิเวศวิทยาเชิงสังคม

3.4) การเคารพต่อมุมมองที่หลากหลายเกี่ยวกับประเด็นปัญหาต่าง ๆ และแสวงหาแนวทางในการแก้ไขเพื่อฟื้นฟูชุมชนและระบบนิเวศที่ได้รับผลกระทบ

## ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

### 1. ความหมายและประโยชน์ของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

ในช่วงทศวรรษ 1990 ได้มีการนำปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมาใช้ในห้องเรียนอย่างแพร่หลาย มีจุดเริ่มต้นมาจากทวีปแอฟริกา โดย Research and Development in Mathematics, Science, and Technology Education (RADMASTE) ต่อมาในปี ค.ศ. 1996 UNESCO และ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) ได้ส่งเสริมให้มีการใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา เพื่อเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงการศึกษา

กลุ่ม DOW Thailand ได้ให้ความหมายของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนไว้ว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน คือ ปฏิบัติการเคมีที่ย่อขนาดของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน แต่ยังคงให้ผลการทดลองเหมือนเดิม ไม่ต่างจากปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน สามารถมองเห็นผลการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน และสามารถนำมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ โดยควรมีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ต้นทุนต่ำ สามารถนำมาใช้ซ้ำได้ คำนึงถึงความปลอดภัยขณะใช้งาน และลดปริมาณสารเคมี เพื่อลดปริมาณของเสียและประหยัดเวลาในการทดลอง ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน มีประโยชน์อย่างมากโดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนา หรือในพื้นที่ห่างไกลที่ขาดแคลนอุปกรณ์การทดลองหรือสารเคมี โดยประโยชน์ของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีหลายประการ เช่น ช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากอุปกรณ์การทดลองส่วนใหญ่เป็นพลาสติกหรืออาจตัดแปลงวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ รอบตัวมาทำเป็นอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งมีราคาถูกเมื่อเทียบกับอุปกรณ์เครื่องแก้ว มีการใช้สารเคมีปริมาณน้อย ทำให้ต้นทุนของสารต่อการทดลองถูกลง และปลอดภัย เนื่องจากอุปกรณ์การทดลองส่วนใหญ่เป็นพลาสติก ทำให้ลดความเสี่ยงที่อุปกรณ์เครื่องแก้วจะแตกแล้วเกิดอันตรายกับนักเรียนได้ นอกจากนี้ การใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ยังช่วยลดความเสี่ยงในการรับปริมาณสารเคมีเกินขนาด ลดปริมาณของเสีย ลดเวลาทำการทดลอง และช่วยครูลดภาระในการเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี (Chemical Society of Thailand, 2020)

National Council of Education Research and Training (NERT, 2000) กล่าวว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน คือปฏิบัติการเคมีทางเลือกที่นำมาใช้ทดแทนปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน โดยมีหลักการคือ การลดปริมาณสารเคมี การใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่าย สามารถทำการทดลองได้ง่ายและรวดเร็ว โดยยังคงให้ผลการทดลองสมบูรณ์เช่นเดียวกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน โดย NERT ได้สรุปประโยชน์ของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนไว้ 4 ประการ ดังนี้

1) เป็นมิตรต่อนักเรียน คือ ช่วยลดอุบัติเหตุเนื่องจากมีการใช้สารเคมีปริมาณน้อยลง และอุปกรณ์การทดลองส่วนใหญ่เป็นพลาสติก ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่าอุปกรณ์เครื่อง

แก้ว ช่วยให้นักเรียนสามารถทำการทดลองได้อย่างรวดเร็ว และมีเวลาเหลือไปทำกิจกรรมอื่นๆต่อไปได้ อีกทั้งยังช่วยพัฒนาทักษะการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า อีกด้วย

2) เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากปริมาณของเสียหลังการทดลองลดลง ทำให้มีการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมลดลง ถือเป็นการปลูกฝังแนวความคิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมให้นักเรียน

3) เป็นมิตรต่อโรงเรียน คือ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมชุดการทดลอง ช่วยลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในชั้นเรียนและช่วยลดพื้นที่ในการจัดเก็บอุปกรณ์และสารเคมีอีกด้วย

4) เป็นมิตรต่อครู เพราะปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะทำให้ครูมีเครื่องมือที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจโมโนมิวซาเคมีมากขึ้น และครูสามารถเตรียมชุดปฏิบัติการได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้อย่างสะดวกและต่อเนื่อง อีกทั้งการทดลองทางวิทยาศาสตร์ จะทำให้นักเรียนมองเห็นผลการทดลอง ซึ่งเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ ส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจและจดจำเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น

Slater (2009) กล่าวว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน มีหลักการดังนี้

- 1) ช่วยเพิ่มความปลอดภัย เนื่องจากมีการใช้สารเคมีปริมาณน้อย อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกทำให้ลดอุบัติเหตุเครื่องแก้วแตกได้ และนักเรียนสามารถควบคุมกิจกรรมได้ง่าย
- 2) ลดปริมาณของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม
- 3) ลดพื้นที่ในการจัดเก็บอุปกรณ์และสารเคมี
- 4) ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากสารเคมีและอุปกรณ์เครื่องแก้วที่มีราคาแพง
- 5) ประหยัดเวลาในการทดลอง เนื่องจากสารเคมีปริมาณน้อย ทำให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้เร็ว อีกทั้งยังช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดและเก็บอุปกรณ์อีกด้วย
- 6) ช่วยให้มีครูมีเวลาเพิ่มขึ้น และสามารถนำเวลาที่เหลือไปทำกิจกรรมอื่นๆเพิ่มเติม หรือให้นักเรียนทำกิจกรรมซ้ำอีกครั้ง
- 7) สามารถเตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ได้หลายชุด จึงทำให้นักเรียนต่อกลุ่มมีขนาดลดลง นักเรียนทุกคนจึงมีโอกาสได้ทำการทดลองด้วยตนเอง

สรุปได้ว่าเป็น ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน คือปฏิบัติการเคมีที่ย่อขนาดของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน โดยมีหลักการคือการลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ ทำให้ปริมาณของเสียจากการทดลองลดลง มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ต่างๆ รอบตัวที่หาได้ง่าย และมีความปลอดภัย โดยยังคงให้ผลการทดลองสมบูรณ์ไม่แตกต่างจากปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน ครูสามารถเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีได้ง่าย และเมื่อเสร็จกิจกรรมแล้วก็สามารถนำอุปกรณ์บางอย่างกลับมาใช้ซ้ำได้

## 2. ข้อจำกัดของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

ถึงแม้ว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรทราบ (Angeles-Macalalad, 2013; Mafumiko, 2008) ได้แก่

2.1) ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน มักมีการใช้อุปกรณ์พลาสติกทดแทนอุปกรณ์เครื่องแก้ว จึงทำให้มีข้อจำกัดเรื่องอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการทดลอง กล่าวคือ ถ้าหากทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือใช้กรดที่มีความเข้มข้นมากๆ อาจทำให้อุปกรณ์พลาสติกเกิดการหลอมเหลว จนไม่สามารถทำการทดลองได้ และอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ตัวนักเรียนอีกด้วย

2.2) ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน อาจไม่เหมาะกับงานด้านเคมีวิเคราะห์ที่จำเป็นต้องใช้ความเที่ยงและความแม่นยำของเครื่องมือวัด เนื่องจากอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมักเป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองอย่างง่าย ๆ ไม่ผ่านการปรับเทียบ (Calibrated) ใดๆ

2.3) การสังเกตเพื่อทำการวัดปริมาณสารต่าง ๆ ทำได้ยากเนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดเล็กและมวลหรือปริมาตรสารเคมีมีปริมาณน้อยมาก จึงยากที่จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

2.4) อุปกรณ์การทดลองมีขนาดเล็ก จึงเหมาะกับจัดกิจกรรมการทดลองแบบกลุ่มไม่เกิน 2-3 คน ดังนั้นปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนอาจไม่เหมาะกับการจัดการเรียนรู้แบบกลุ่มที่มีขนาดใหญ่

2.5) การสังเกตปริมาณเชิงคุณภาพอาจทำได้ยาก เช่น สี กลิ่น เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้มีน้อย จึงทำให้ยากต่อการสังเกต

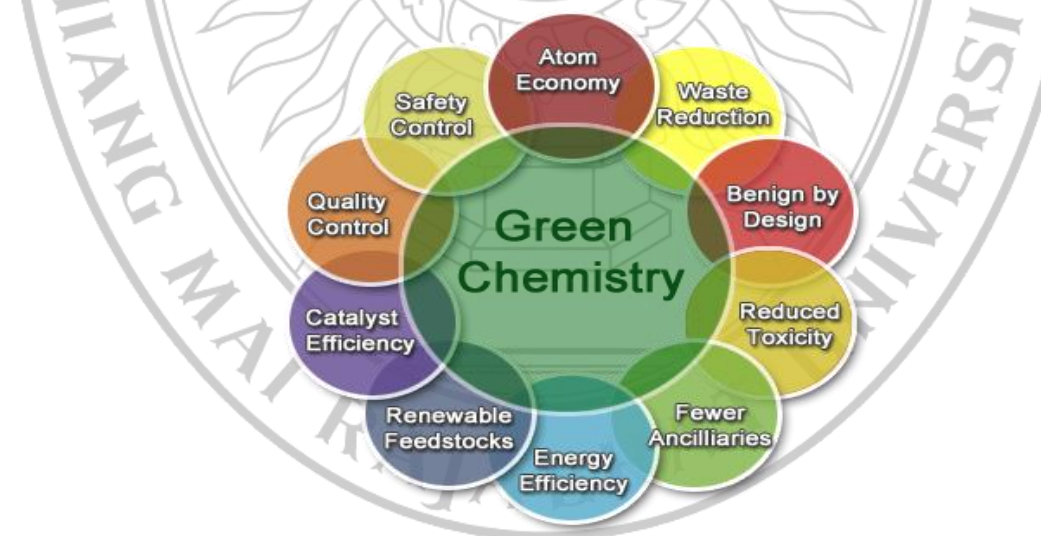
## 3. แนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry)

เคมีสีเขียว คือ สาขาหนึ่งของเคมีที่ยึดหลักในการออกแบบกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่ลดการใช้หรือการสร้างที่เป็นอันตราย มีจุดเริ่มต้นในช่วงคริสต์ศตวรรษ 1990 ในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป เพื่อจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลพิษที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติ ภาคอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็นต้องปรับตัวโดยนำเอาแนวคิดเคมีสีเขียวมาปรับใช้ อันจะนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน การจัดการเรียนรู้ในปัจจุบันจึงควรมีการสอดแทรกแนวคิดเคมีสีเขียวให้แก่นักเรียนอันเป็นการเสริมสร้างสมรรถนะที่จำเป็นสำหรับโลกในยุคศตวรรษที่ 21 โดยการออกแบบปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน สามารถใช้หลักการเคมีสีเขียวเป็นกรอบแนวคิดได้ โดยเคมีสีเขียวมีหลักการ 12 ประการ (Zuin et al., 2021) ดังนี้

3.1) ป้องกันการเกิดของเสีย ดีกว่าปล่อยให้เกิดของเสียขึ้นแล้วค่อยไปกำจัดทิ้ง (Prevent Waste)

3.2) ออกแบบกระบวนการสังเคราะห์ให้สารตั้งต้นถูกนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุด (Atomic Economy)

- 3.3) ออกแบบกระบวนการสังเคราะห์ที่ไม่เป็นอันตรายหรือเป็นพิษน้อยหรือไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (Less Hazardous Chemical Synthesis)
- 3.4) ออกแบบสารเคมีและผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (Designing Safer Chemicals and Products)
- 3.5) ใช้ตัวทำละลายและกระบวนการที่ปลอดภัย (Use Safer Solvents and Reaction Conditions)
- 3.6) เพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานให้สูงสุด (Design for Energy Efficiency)
- 3.7) ใช้สารหรือวัตถุดิบที่นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนวัตถุดิบที่ขาดแคลน (Use Renewable Feedstock)
- 3.8) ลดการเกิดสารอนุพันธ์ เนื่องจากยังมีขั้นตอนของกระบวนการมาก ยังมีของเสียเกิดขึ้นมาก (Reduce Derivatives)
- 3.9) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ (Catalysts)
- 3.10) ออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วมีการสลายตัวโดยไม่ก่ออันตราย (Design for Degradation)
- 3.11) การวิเคราะห์อย่างทันทีทันใดเพื่อป้องกันการเกิดมลภาวะ (Real Time Analysis for Pollution Prevention)
- 3.12) ลดการใช้สารเคมีที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ รวมถึงสารไวไฟ และวัตถุระเบิด (Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention)



ภาพที่ 2.3 หลักการเคมีสีเขียว 12 ประการ (Green Chemistry Principles)

ที่มา : <https://www.halosurfaces.com/green-chemistry-principle-4-safer-chemicals/>

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

พิชมณูล์ สีนประเสริฐรัตน์, เชษฐ ศิริสวัสดิ์ และภัทรภร ชัยประเสริฐ (2019) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แบบย่อส่วน เรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง กรด-เบส สูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนมีค่าเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการทดลอง มีโอกาสคิดแก้ปัญหา และดำเนินการทดลองด้วยตนเองทุกขั้นตอน โดยมีครูเป็นเพียงผู้ชี้แนะส่งเสริมนักเรียน ทำให้เข้าใจเนื้อหาสาระได้ดียิ่งขึ้น

สุภาพ ตาเมือง, กานต์ตะวัน วุฒิสেলা และศักดิ์ศรี สุภาพร (2560) ที่ได้พัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เพื่อสนับสนุนความเข้าใจมโนคติ เรื่อง สมดุลเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลวิจัยพบว่า นักเรียนที่มีความเข้าใจมโนคติหลังเรียนด้วยชุดการทดลองย่อส่วน ถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ เพิ่มขึ้นร้อยละ 51.48 ส่วนนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนคติผิดและไม่มีความเข้าใจมโนคติ ลดลงร้อยละ 51.89 และนักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนด้วยชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งยังพบว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองแบบย่อส่วนสามารถทำให้นักเรียนมีความคงทนของมโนคติที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ชญานิ เชื้อเมืองพาน, เชษฐ ศิริสวัสดิ์ และ ปริญญา ทองสอน (2564) เรื่อง การสร้างบทปฏิบัติการทดลองแบบย่อส่วน วิชาเคมี เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการทดลองตามหนังสือเรียนเคมี เล่ม 4 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กับบทปฏิบัติการการทดลองแบบย่อส่วนที่สร้างขึ้น ผลวิจัยพบว่า ผลการทดลองตามบทปฏิบัติการแบบย่อส่วน ไม่แตกต่างจากผลการทดลองเคมีแบบมาตรฐาน แต่มีการลดปริมาณสารเคมี ทำให้สามารถทำการทดลองได้ง่ายขึ้น ใช้เวลาน้อยลง นักเรียนทุกคนจึงมีโอกาสดำเนินมือทำการทดลองด้วยตัวเอง ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน สูงกว่าเกณฑ์ระดับดี ทั้งนี้เนื่องมาจากกิจกรรมการเรียนรู้ได้ออกแบบให้นักเรียนมุ่งเน้นลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตัวเองอย่างเป็นขั้นเป็นตอน ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก นักเรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กันภายในกลุ่ม และพบว่า

นักเรียนมีเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน สูงกว่าระดับดีอีกด้วย

เพชรวิไล ขัตติวงษ์, ปุริม จารุจรัส, ศักดิ์ศรี สุภาธร, และ ชฎิล กุลสิงห์ (2557) ได้พัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เพื่อให้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเรื่องเคมีไฟฟ้า โดยมีแนวคิดเคมีรักษ์สิ่งแวดล้อม คือ ลดปริมาณการใช้สารเคมี ลดปริมาณของเสียจากสารเคมี และลดเวลาที่ใช้ในการทดลอง แต่ยังคงรักษาภาวะที่สมบูรณ์ของการทดลองไว้ได้ เทียบเท่ากับชุดการทดลองแบบมาตรฐาน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเซลล์กัลวานิกที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu Zn Al Mg และ Fe ใช้เส้นด้ายชนิดฝ้ายราคาถูกทำสะพานเกลือ จากนั้นหาความเข้มข้นและปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วนำไปทดลองเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กับวิธีมาตรฐาน พบว่าทั้งผลการทดลองของทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อนำมาใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการใช้สารเคมีลดลง 15 มิลลิลิตรต่อการทดลอง จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ชุดการทดลองนี้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน รวมถึงแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry)

อรทัย ชัยวิไลยศ และ วิษณุ ธงไชย (2559) ได้พัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนเรื่อง ปฏิกิริยาเคมี โดยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผลวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชุดการทดลองแบบย่อส่วนมีกระบวนการสร้างโดยอาศัยหลักในการสร้างที่ดี มีจุดประสงค์ที่ชัดเจน มีความเหมาะสมกับเนื้อหาและเวลารวมทั้งมีภาพประกอบเหมาะสมกับระดับความสามารถและความแตกต่างระหว่างบุคคล นักเรียนมีโอกาสได้ลงมือปฏิบัติจริง และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยชุดการทดลองแบบย่อส่วนเรื่องปฏิกิริยาเคมี โดยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น อยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง และค้นพบองค์ความรู้ใหม่จากประสบการณ์ตรง มีการเรียนรู้แบบกระบวนการกลุ่ม ทำให้นักเรียนเกิดความสามัคคี สนุกสนานไปกับกิจกรรม

Syaadah, Mulyono & Suhandha (2020) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเรื่อง สารคอลลอยด์ เพื่อพัฒนาทักษะการรู้คิดสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลวิจัยพบว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีความก้าวหน้าทางการเรียน (N-gain) เฉลี่ย 0.63 ซึ่งถือว่าเป็นความก้าวหน้าทางการเรียนระดับกลาง นอกจากนี้ จากแบบสอบถามนักเรียน พบว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีได้ง่ายขึ้น เนื่องจากนักเรียนสามารถทำการทดลองได้ด้วย

ตนเอง จึงสามารถเข้าใจและจดจำเนื้อหาได้นาน รวมทั้งสามารถเชื่อมโยงสิ่งที่ได้สังเกตเข้าสู่ทฤษฎีที่ได้เรียนรู้

Tesfamariam, Lykknes & Kvittingen (2014) ได้พัฒนาชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน “MyLab Chemistry Kits” เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มความเข้าใจแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนได้ นอกจากนี้ จากการสัมภาษณ์ครูที่เข้าร่วมวิจัย พบว่า ครูมีเวลาเหลือมากขึ้น เนื่องจากสามารถเตรียมการทดลองได้ง่าย และใช้เวลาสำหรับทำการทดลองลดลง ทำให้ครูมีเวลาสร้างปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ง่ายต่อการใช้งาน และรู้สึกสนุกกับกิจกรรม

Mafumiko (2008) ได้ศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนในห้องเรียน เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนวิชาเคมี สำหรับครูและนักเรียนเกรด 13 (A-Level Chemistry Classes) ผลวิจัยพบว่า ครูและนักเรียนส่วนใหญ่มีการตอบสนองเชิงบวกต่อบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน โดยพบว่าครูสามารถเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ ได้ง่าย นักเรียนก็รู้สึกตื่นเต้นและสนุกสนานไปกับกิจกรรม เนื่องจากนักเรียนสามารถจัดเตรียมอุปกรณ์ได้ง่าย รวดเร็ว สามารถเตรียมอุปกรณ์ได้หลายชุด นักเรียนทุกคนจึงมีโอกาสดลงมือทำการทดลองด้วยตนเอง และมีโอกาสแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนภายในกลุ่มเล็กๆ ทั้งนี้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนที่ดีควรมีคู่มือหรือคำอธิบายการใช้ที่เพียงพอ มีการออกแบบกิจกรรมและคำถามท้ายกิจกรรมที่เหมาะสม และครูควรให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนอย่างเพียงพอ

### ทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking Skills)

#### 1. ความหมายและลักษณะของการคิดเชิงระบบ

พจนานุกรม ฉบับบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 ได้ให้ความหมายของคำว่า ระบบ ดังนี้ “ระบบ หมายถึง กลุ่มของสิ่งซึ่งมีลักษณะประสานเข้าเป็นสิ่งที่เดียวกันตามหลักแห่งความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกัน ด้วยระเบียบของธรรมชาติหรือหลักเหตุผลทางวิชาการ เช่น ระบบประสาท ระบบทางเดินอาหาร ระบบจักรวาล ระบบสังคม ระบบการบริหารประเทศ” โดยการคิดเชิงระบบมีรากฐานมาจากทฤษฎีระบบทั่วไป (General System Theory) ซึ่งถูกนำเสนอโดย ลูโดวิก วอน เบร์ทาแลนซี (Ludwig Von Bertalanfy) นักชีววิทยาชาวออสเตรีย โดยเขาให้ความสำคัญกับการมองโลกแบบองค์รวมและการให้ความสำคัญกับองค์ประกอบต่าง ๆ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ต่อมาแนวคิดการคิดเชิงระบบได้แพร่หลายไปยังศาสตร์อื่น ๆ เช่น สาขาจิตวิทยา สาขาการจัดการ รวมไปถึงระบบการบริการสุขภาพ เป็นต้น (ฤทัยรัตน์ ชิงมงคล และ สมยศ ชิดมงคล, 2560)

ในอดีตนักวิทยาศาสตร์มักมีวิธีการคิดแบบลดทอน (Reductionist Approach) ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติ โดยเชื่อว่าสิ่งที่ซับซ้อนสามารถถูกอธิบายได้ด้วยส่วนย่อย ๆ ที่ไม่ซับซ้อน การคิดแบบลดทอนได้นำมาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ธรรมชาติมากมาย เช่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันสามารถใช้ทำนายพฤติกรรมของวัตถุได้อย่างแม่นยำ นำมาซึ่งความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามการคิดแบบลดทอนก็ยังมีข้อจำกัด โดยเฉพาะระบบที่มีความซับซ้อนมากๆ เช่น ระบบการทำงานของสิ่งมีชีวิต ที่นอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางชีวภาพแล้ว ยังมีปัจจัยทางกายภาพ รวมถึงจิตวิทยาและปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมต่างๆ อีกด้วย (Orgill et al., 2019) ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ จึงนำหลักการคิดเชิงระบบ มาใช้ในการทำความเข้าใจปัญหาที่มีความซับซ้อน โดยมีนักวิชาการหลายท่านได้กล่าวการคิดเชิงระบบไว้ ดังนี้

Orgill et al. (2019) กล่าวว่า การคิดเชิงระบบ หมายถึง การคิดในภาพรวมของพฤติกรรมหรือปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์จากส่วนย่อยไปหาส่วนใหญ่ได้อย่างมีเหตุผล การจัดการศึกษาวิชาเคมีในปัจจุบันได้มุ่งเน้นการสร้างนักเรียนยุคใหม่ที่สามารถประยุกต์ความรู้ด้านเคมีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในชีวิตจริงและสามารถนำทักษะการคิดเชิงระบบไปใช้สำหรับการทำงานในอนาคตได้

Evagorou, Korfiatis, Nicolaou, & Constrantinou (2009) กล่าวว่า การคิดเชิงระบบ คือ ความสามารถในการทำความเข้าใจ และตีความความซับซ้อนของระบบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ

- 1) การมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละส่วนของระบบ
- 2) การทำความเข้าใจพฤติกรรมของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Behavior Over Time)
- 3) การทำความเข้าใจปฏิสัมพันธ์ระหว่างแต่ละส่วนของระบบ ว่าส่งผลต่อปรากฏการณ์ระดับระบบอย่างไร

Richmond (2018) หนึ่งในผู้เชี่ยวชาญด้านการคิดเชิงระบบยุคเริ่มต้น ได้พัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบที่สำคัญ เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาในงานด้านธุรกิจและการจัดการ ต่อมาได้มีการนำทักษะการคิดเชิงระบบมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม และปัญหาความยากจน เป็นต้น นักการศึกษาเคมีในปัจจุบันจึงได้นำทักษะการคิดเชิงระบบมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาเคมี เพื่อให้ นักเรียนสามารถนำความรู้วิชาเคมี ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ โดย Richmond กล่าวว่า ทักษะการคิดเชิงระบบ ประกอบด้วย 7 ทักษะ ได้แก่

1) **การคิดแบบพลวัต (Dynamic Thinking)** คือ การเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การพัฒนาทักษะการคิดแบบพลวัตสามารถทำได้โดยใช้แผนภาพพฤติกรรมภายใต้เวลา (Behavior Over Time Diagram)

2) **การคิดแบบระบบแห่งสาเหตุ (System-as-Cause Thinking)** คือ การพิจารณาปัจจัยภายในและภายนอกที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบ และสามารถบอกแนวทางในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมนั้น การคิดแบบระบบแห่งสาเหตุเป็นการขยายขอบเขตของความสัมพันธ์ภายในระบบไปสู่ภายนอก ทำให้ขอบเขตของระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น (Extensive Boundary) อีกทั้งยังเป็นการมองหาสาเหตุให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Intensive Boundary)

3) **การคิดแบบมองภาพรวม (Forest Thinking)** คือ การมองว่าทั้งระบบคือหน่วยเดียวแบบองค์รวม แทนที่จะมุ่งไปที่การมองรายละเอียดของพฤติกรรมแบบแยกส่วน แต่เปลี่ยนไปเป็นการมองหาความคล้ายคลึงของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นและสร้างแนวทางการแก้ไขปัญหาแบบองค์รวม

4) **การคิดแบบปฏิบัติการ (Operational Thinking)** คือ การศึกษาว่าปัจจัยอะไรเป็นสาเหตุของพฤติกรรมของระบบ และปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อระบบอย่างไร

5) **การคิดแบบวงจรสัมพันธ์ (Closed-Loop Thinking)** คือ การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ในระบบที่ลู่ปัจจัย โดยมองว่าสาเหตุต่างๆ เป็นหนึ่งในกระบวนการที่ส่งผลกระทบไปยังส่วนอื่นๆ และสร้างผลลัพธ์ย้อนกลับมายังสาเหตุเป็นวงจร

6) **การคิดเชิงปริมาณ (Quantitative Thinking)** คือ การศึกษาว่าปริมาณของปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบอย่างไร

7) **การคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Thinking)** คือ การสร้างและทดสอบสมมติฐานจากแบบจำลองของระบบได้ เครื่องมือที่สามารถใช้พัฒนาทักษะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ได้ง่าย ได้แก่ แบบจำลองคอมพิวเตอร์ โดยสามารถกำหนดตัวแปรต่าง ๆ และสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับสมมติฐาน

ฤทัยรัตน์ ชิดมมงคล และสมยศ ชิดมมงคล (2560) กล่าวว่า การคิดเชิงระบบคือกระบวนการทางปัญญาในการแก้ปัญหาแบบองค์รวม และเห็นถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงกัน หากมีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ย่อมส่งผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ต่อเนื่องกันไปทั้งระบบ การคิดเชิงระบบจึงเป็นการคิดแบบพลวัตที่ยอมรับว่าระบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีลักษณะสำคัญ ดังนี้

1) **คิดแบบองค์รวม (Holistic)** คือ การมองเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยย่อยที่ส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวม

2) การคิดที่สัมพันธ์กับการมองบริบท (Context) คือ การคิดที่พยายามมองหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับระบบ

3) คิดเป็นลำดับขั้น (Hierarchy) ระบบใหญ่ที่มีความซับซ้อน เกิดจากระบบย่อย ๆ มาประกอบกันและมีปฏิสัมพันธ์กัน ในขณะที่เดียวกันภายในระบบย่อยเองก็มีความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ เช่นกัน

4) คิดแบบมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน (Interaction) โดยเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบกับระบบด้วยกัน ระบบย่อยกับระบบย่อย รวมทั้งระบบใหญ่กับสิ่งแวดล้อม หากมีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวม

5) คิดแบบวงจรป้อนกลับ (Feedback loops) การคิดเชิงระบบไม่ใช่การคิดแบบเส้นตรง แต่เป็นการคิดแบบวงกลม คือ หากมีการเปลี่ยนแปลงที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบ ย่อมส่งผลกระทบต่อส่วนอื่น ๆ ตามมา และย้อนกลับมาส่งผลที่เหตุหรือจุดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง ลักษณะแบบนี้เรียกว่า วงจรป้อนกลับ (Feedback-loops) ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งแบบเสริมแรงหรือปรับสมดุล

นอกจากนี้ ยังสามารถเปรียบเทียบวิธีการคิดเชิงระบบกับการมองแบบภูเขาน้ำแข็ง (Iceberg Model) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แบบจำลองภูเขาน้ำแข็งกับการคิดเชิงระบบ (Iceberg Model)

ที่มา : จากการคิดเชิงระบบ: ประสบการณ์การสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ โดย ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล, 2560, น. 216

วิธีคิดของการคิดเชิงระบบ มีระดับการคิด 4 ระดับ ดังนี้

1) **ระดับสถานการณ์ (Event)** เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นและมองเห็นได้ทันที เป็นระดับที่อยู่บนผิวน้ำของภูเขาน้ำแข็ง เช่น ข่าวสาร เหตุการณ์ประจำเป็น หรือเป็นการคิดแก้ปัญหาเฉพาะหน้า โดยไม่สนใจรูปแบบของสถานการณ์ เพื่อให้ปัญหานั้นสิ้นสุดลง เช่น ทำข้อสอบไม่ได้จึงลอกเพื่อน เป็นต้น

2) **ระดับแบบแผน (Patterns)** เป็นการมองพฤติกรรมของระบบที่เกิดขึ้นภายใต้ช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อดูทิศทางหรือรูปแบบที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์หลายๆ ครั้ง ซึ่งจะนำไปสู่การคิดในระดับโครงสร้างต่อไป เช่น ทำข้อสอบไม่ได้เพราะ ไม่มีเวลาเตรียมสอบ เนื่องจากการบ้านเยอะ หรือการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของยอดขายในช่วงเวลาหนึ่ง เป็นต้น

3) **ระดับโครงสร้าง (Structure)** เป็นการพยายามหาคำตอบว่าโครงสร้างใดบ้างที่ทำให้เกิดแบบแผนพฤติกรรมดังกล่าว ทำให้เกิดความเข้าใจปัญหาอย่างลึกซึ้ง เช่น โครงสร้างทางเศรษฐกิจ โครงสร้างประชากร สภาพสังคม กฎหมาย หรือความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ

4) **ระดับภาพจำลองของความคิด (Mental Model)** เป็นความคิดที่อยู่ในระดับลึกที่สุด และมองไม่เห็นได้ง่าย ซึ่งส่งผลต่อแรงผลักดันให้กระทำสิ่งต่างๆ การสร้างภาพจำลองความคิดจะนำไปสู่การออกแบบการแก้ปัญหาหรือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม โดยภาพจำลองความคิดมีลักษณะเป็นนามธรรม อันประกอบไปด้วยค่านิยม ความเชื่อ และสมมติฐานที่คนมีต่อระบบ เช่น ความเชื่อเกี่ยวกับการบริหารงาน มุมมองต่อการเปลี่ยนแปลง ศาสนา วัฒนธรรม เป็นต้น

การใช้แบบจำลองนี้จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์สามารถเข้าใจปัญหาได้อย่างลึกซึ้งถึงระดับความคิดที่เป็นรากฐานของปัญหา ทำให้สามารถหาทางแก้ไขที่ตรงจุดมากขึ้น

Assaraf & Orion (2005 อ้างถึงใน Orgill et al., 2019) ได้พัฒนาแบบจำลองลำดับขั้นการคิดเชิงระบบ (System Thinking Hierarchical Model: STH Model) ขึ้น และกล่าวว่า การพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบขั้นสูงจำเป็นต้องมีทักษะการคิดเชิงระบบขั้นต่ำวก่อน โดยแบบจำลองลำดับขั้นการคิดเชิงระบบนั้น มี 3 ระดับ 8 ขั้นย่อย ดังนี้

**ระดับการวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบ**

**ขั้นที่ 1** ความสามารถในการวิเคราะห์องค์ประกอบและกระบวนการภายในระบบ

**ระดับการสังเคราะห์องค์ประกอบของระบบ**

**ขั้นที่ 2** ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของระบบ

**ขั้นที่ 3** ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตภายในระบบ

**ขั้นที่ 4** ความสามารถในการจัดองค์ประกอบและกระบวนการต่างๆ ของระบบ ภายใต้

กรอบความสัมพันธ์ต่าง ๆ

**ขั้นที่ 5** ความสามารถในการเข้าใจวงจรธรรมชาติของระบบ

### ระดับการนำไปใช้

ขั้นที่ 6 ความสามารถในการสร้างให้เป็นกฎทั่วไป

ขั้นที่ 7 การเข้าใจมิติที่ซ่อนอยู่ภายในระบบ

ขั้นที่ 8 ความสามารถในการคิดย้อนกลับและทำนายพฤติกรรมของระบบ



ภาพที่ 2.5 แบบจำลองลำดับขั้นการคิดเชิงระบบ (System Thinking Hierarchical Model: STH Model)

ที่มา : From Introduction to system Thinking for the Chemistry Education Community by Orgill, York, & MacKellar, 2019, p. 2726

นอกจากนี้ Assaraf & Orion ยังได้แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ลำดับขั้นการคิดเชิงระบบ หรือ STH model ในการอธิบายพฤติกรรมของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทักษะการคิดเชิงระบบกับวิชาเคมี ตาม STH Model

ทักษะจาก STH Model	คำถาม	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทักษะที่สัมพันธ์กับวิชาเคมี
ความสามารถในการวิเคราะห์องค์ประกอบและกระบวนการภายในระบบ	องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบคืออะไรและมีลักษณะอย่างไร	ในการทำความเข้าใจระบบ Photochemical Smog ซึ่งถูกควบคุมโดยสมดุลของแก๊ส $\text{NO}_2$ ซึ่งมีสีน้ำตาลแดงและแก๊ส $\text{NO}$ นักเรียนต้องสามารถระบุชนิดของแก๊สที่เกี่ยวข้อง และสามารถบอกคุณสมบัติของแก๊สแต่ละชนิดได้ รวมถึงสามารถบอกที่มาของแก๊สแต่ละชนิดได้ เช่น ปริมาณของแก๊ส $\text{NO}$ เกิดจากการเผาไหม้ฟอสซิลและกิจกรรมของมนุษย์ เป็นต้น
ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของระบบ	แต่ละองค์ประกอบของระบบมีความสัมพันธ์กันอย่างไร	นักเรียนศึกษาสมดุลเคมีของปฏิกิริยา $\text{NO}_2 \longleftrightarrow \text{NO}$ และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้
ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตภายในระบบ	แต่ละองค์ประกอบของระบบมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ในแต่ละช่วงเวลา	ในการศึกษาสมดุลเคมีของปฏิกิริยา $\text{NO}_2 \longleftrightarrow \text{NO}$ ครูอาจให้นักเรียนทำการทดลองเปรียบเทียบกับอัตราการสลายตัวของแก๊ส $\text{NO}_2$ ในสถานะที่มีแสงแดดและไม่มีแสงแดด แล้วเชื่อมโยงความรู้เข้ากับสีของท้องฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวัน
ความสามารถในการจัดองค์ประกอบและกระบวนการต่าง ๆ ของระบบ ภายใต้กรอบความสัมพันธ์ต่าง ๆ	ความสัมพันธ์โดยรวมของแต่ละองค์ประกอบในระบบ เป็นอย่างไร	นักเรียนเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของแก๊สแต่ละชนิด รวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแก๊ส $\text{NO}$ ไปเป็น $\text{NO}_2$ และปัจจัยที่ส่งผลต่อการสลายตัวของแก๊ส $\text{NO}_2$ โดยศึกษาทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสามารถเชื่อมโยงแต่ละปัจจัยเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ทักษะจาก STH Model	คำถาม	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทักษะที่สัมพันธ์กับวิชาเคมี
ความสามารถในการเข้าใจวงจรธรรมชาติของระบบ	มีการเปลี่ยนแปลงใดที่เกิดขึ้นอย่างเป็นวงรอบหรือมีลักษณะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ ในแต่ละช่วงเวลา	เมื่อนักเรียนสังเกตสีของท้องฟ้าในตอนเช้า อาจพบว่าท้องฟ้ามีสีแดงกว่าปกติ (ปริมาณแก๊ส NO <sub>2</sub> มาก) แต่ในช่วงเย็นกลับมีสีแดงลดลง โดยนักเรียนสามารถนำความรู้จากความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบในระบบ มาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้
ความสามารถในการสร้างให้เป็นกฎทั่วไป	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีลักษณะทั่วไปอย่างไร สามารถนำไปใช้อธิบายระบบอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้หรือไม่	เมื่อนักเรียนเข้าใจความสัมพันธ์แต่ละปัจจัยหรือระบบย่อยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณแก๊ส NO <sub>2</sub> แล้ว นักเรียนสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปอธิบายการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแก๊สชนิดอื่นได้ เช่น แก๊ส O <sub>3</sub> เป็นต้น
การเข้าใจมิติที่ซ่อนอยู่ภายในระบบ	อะไรคือปัจจัยแฝงที่ซ่อนอยู่ และส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบอย่างไร	ปรากฏการณ์ Photochemical smog นักเรียนสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าว่าท้องฟ้า มีสีแดงเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊ส NO <sub>2</sub> ซึ่งเราไม่สามารถมองเห็นแก๊สนี้ได้ด้วยตาเปล่าในระดับโมเลกุล รวมถึงมองหา มิติอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อปริมาณแก๊ส NO <sub>2</sub> ทั้งทางตรงและทางอ้อม

## ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ทักษะจาก STH Model	คำถาม	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทักษะที่สัมพันธ์กับวิชาเคมี
ความสามารถในการคิดย้อนหลังและทำนายพฤติกรรมของระบบ	กิจกรรมในอดีตส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบในปัจจุบันอย่างไร และกิจกรรมในปัจจุบัน จะส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบในอนาคตอย่างไร	ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊ส NO <sub>2</sub> กับปรากฏการณ์ Photochemical smog นักเรียน จะพบว่าปริมาณของแก๊ส NO <sub>2</sub> ในอดีตค่อนข้างน้อย และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้นักเรียนมองเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง และสามารถทำนายปริมาณของแก๊ส NO <sub>2</sub> ในอนาคตได้

ที่มา : Introduction to System Thinking for The Chemistry Education Community, 2019, p. 2727

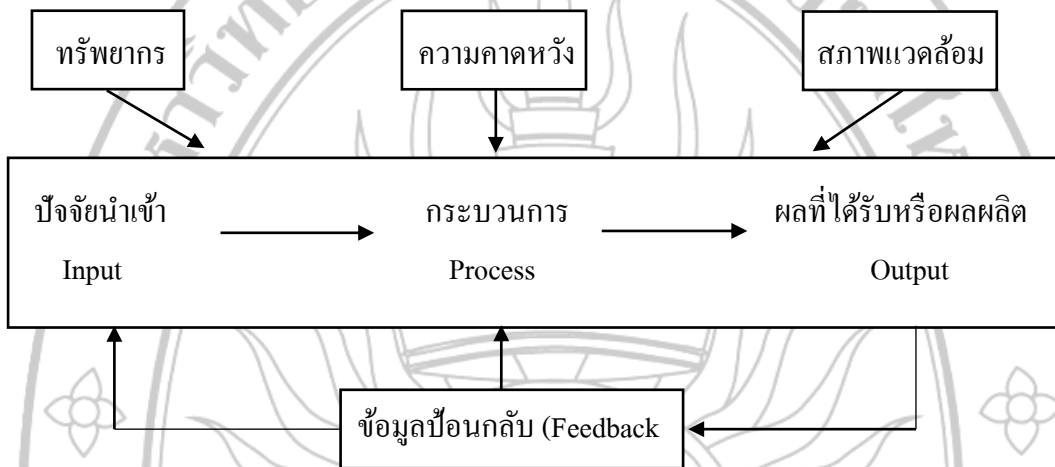
อัญชลี ธรรมะวิสิกุล (2552) กล่าวว่า ระบบ หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่รวมกัน ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบและความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบนั้น ๆ อย่างชัดเจน โดยองค์ประกอบของระบบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ องค์ประกอบภายในระบบ และองค์ประกอบที่อยู่นอกระบบ องค์ประกอบภายในระบบ มี 3 ส่วน ได้แก่

- 1) **ปัจจัยนำเข้า (Input)** หมายถึง ทรัพยากรต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ เช่น วัตถุดิบ แรงงาน เงินทุน เวลา เป็นต้น
- 2) **กระบวนการ (Process)** หมายถึง วิธีการหรือขั้นตอนต่าง ๆ ในการแปรรูปปัจจัยนำเข้า ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด
- 3) **ผลที่ได้รับหรือผลผลิต (Output)** หมายถึง สิ่งที่ได้รับตอบแทนจากปัจจัยนำเข้า และกระบวนการทั้งหมด เช่น การเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ การลดต้นทุนการผลิต การลดอุบัติเหตุ เป็นต้น

โดยในระบบจะต้องมีการตรวจสอบอยู่ทุกขั้นตอน เรียกว่า **ข้อมูลป้อนกลับ (Feedback)** เพื่อตรวจสอบว่าแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพดีหรือไม่เพียงใด

องค์ประกอบที่อยู่นอกระบบ มี 3 ส่วน ได้แก่

- 1) ทรัพยากร เช่น ปัจจัยด้านมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติ
  - 2) ความคาดหวัง เช่น ความคาดหวังของผู้ผลิต ลูกค้า รัฐบาล หรือประชาชนทั่วไป
  - 3) สภาพแวดล้อม เช่น ภาวะการตลาด ภาวะเศรษฐกิจ เทคโนโลยี การเมือง สภาพสังคม
- โดยวิธีการเชิงระบบ (System Approach) มีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.6

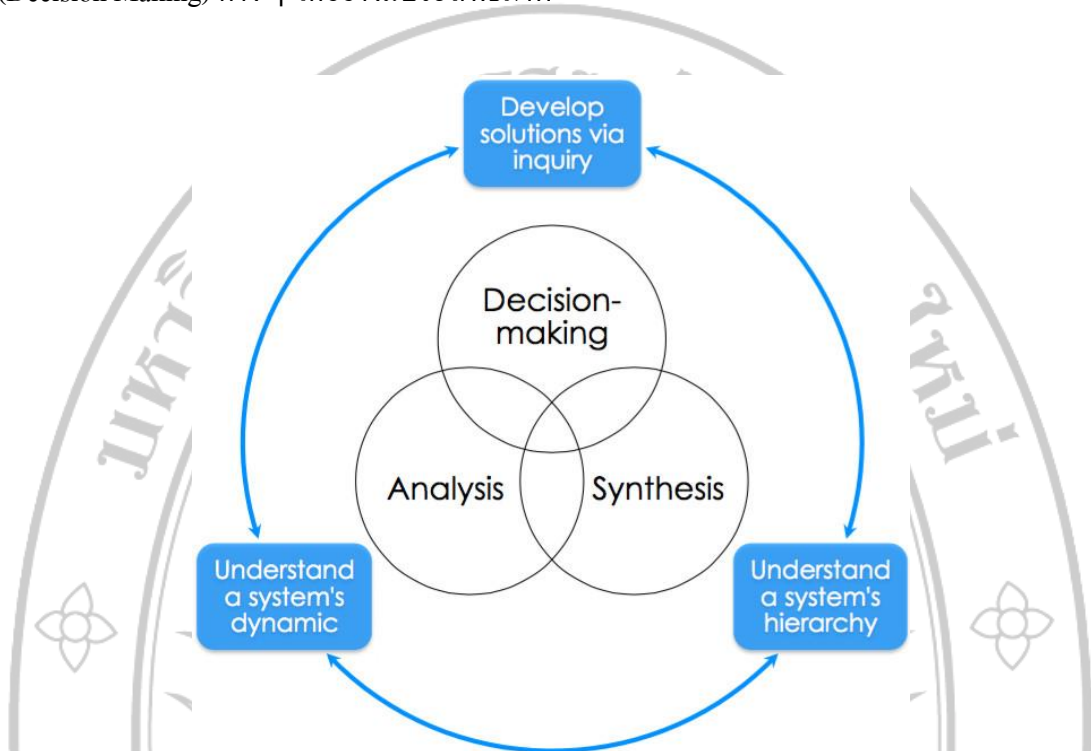


ภาพที่ 2.6 : วิธีการเชิงระบบ (System Approach)

ที่มา : <https://panchalee.wordpress.com/2009/04/28/system-concept/>

McLucas (2003) กล่าวว่า การคิดเชิงระบบเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เกิดกระบวนการแก้ปัญหา (Problem Solving) ที่มีประสิทธิภาพ โดยประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ (Analysis) คือ การเข้าใจความเป็นพลวัตของระบบ ซึ่งหมายถึงลักษณะที่ไม่หยุดนิ่ง และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา 2) การสังเคราะห์ (Synthesis) คือ การเข้าใจลักษณะที่เป็นลำดับชั้น (Hierarchy) ของระบบ ซึ่งหมายความว่าภายในระบบจะมีองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ประกอบรวมกันจนกลายเป็นระบบที่ใหญ่ขึ้น และมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม และ 3) การตัดสินใจ (Decision Making) คือ การพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหาแล้วตัดสินใจเลือกวิธีการที่ดีที่สุด ทั้งนี้ ความแตกต่างระหว่างการคิดแบบดั้งเดิม (Traditional Thinking) และการคิดเชิงระบบ (System Thinking) ประการแรก คือ การคิดเชิงระบบเป็นการมองปัญหาในภาพรวม และศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ รวมไปถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม (Synthesis) ประการที่ 2 คือ การวิเคราะห์แต่ละองค์ประกอบย่อยเพื่อทำความเข้าใจในกิจกรรมและพฤติกรรม

ต่าง ๆ (Analysis) เมื่อสามารถสังเคราะห์และวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบได้แล้ว จะนำมาซึ่งองค์ความรู้ที่สามารถนำไปพัฒนาแนวทางในการปัญหาและประกอบการตัดสินใจ (Decision Making) ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.7 : System Thinking : A Better Way of Problem-Solving

ที่มา : <https://www.linkedin.com/pulse/systems-thinking-better-way-problem-solving-dan-milberg>

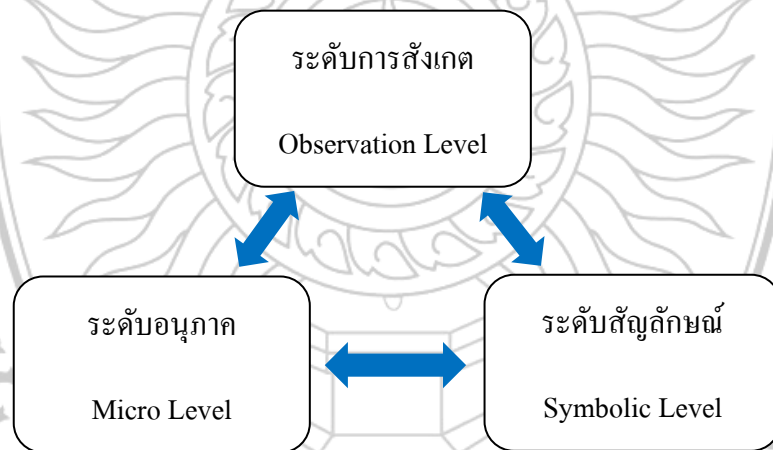
นอกจากนี้ในการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงระบบ สามารถใช้แนวคิด 3 ระดับ (Three Levels of Thinking หรือ Triplet Representations) มาเป็นกรอบแนวคิดได้ ซึ่ง Johnstone เป็นบุคคลแรกที่เริ่มใช้แนวคิดนี้ในปี 1982 เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเคมี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (บุษริ, 2561)

1) **ระดับการสังเกต (Observable Level)** หรือระดับมหภาค (Macro Level) เป็นระดับที่สามารถมองเห็นหรือใช้ประสาทสัมผัสรับรู้ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของสารได้ โดยส่วนใหญ่จะใช้ประสาทสัมผัสทางตาในการสังเกต ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันหรือเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัว เช่น การเปลี่ยนสีของใบไม้จากสีเขียวเป็นสีเหลือง การละลายน้ำของเกลือ การเปลี่ยนแปลงของขั้วโลหะและสารละลายในปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การสังเกตด้วยตาเปล่านั้นก็ไม่สามารถที่จะอธิบายการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาคได้ เช่น การถ่ายโอนอิเล็กตรอน เป็นต้น

2) **ระดับอนุภาค (Micro Level)** หรือระดับจุลภาค (Sub-Micro Level, Microscopic Level) เป็นระดับที่สายตาไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของสารได้ เช่น ไอออน อะตอม หรือโมเลกุล เป็นต้น อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ นักการศึกษา ได้พยายามสร้างและพัฒนาสื่อเพื่อใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคจากนามธรรม (Abstract) ให้มีความเป็นรูปธรรม (Concrete) โดยใช้สื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาคหลากหลายประเภท เช่น รูปภาพ แผนภาพ (Diagram) คอมพิวเตอร์แอนิเมชัน เป็นต้น

3) **ระดับสัญลักษณ์ (Symbolic Level)** เป็นระดับที่มีการเขียนสูตร สัญลักษณ์ สมการเคมี การคำนวณทางตัวเลขและกราฟต่างๆ เช่น การเขียนสูตรโมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) แทนน้ำที่เราสังเกตได้ด้วยตาเปล่า และแทนน้ำในระดับอนุภาคที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อนักเรียนเห็นสูตรโมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) ก็เข้าใจตรงกันว่าเป็นสัญลักษณ์ที่เขียนแทนน้ำที่เรามองเห็นด้วยตาเปล่า และเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการสร้างพันธะระหว่างธาตุออกซิเจน 1 อะตอม และธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอมในน้ำ 1 โมเลกุล



ภาพที่ 2.8 แนวคิด 3 ระดับ (Three Levels of Thinking)

ที่มา : จากการเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ โดย บุญวี เฟ่งเต็งดี, 2561, น. 145-157

สรุปได้ว่า การคิดเชิงระบบ หมายถึง การคิดแก้ปัญหาในแบบองค์รวม โดยพยายามมองหาความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบย่อย มองหาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยกับระบบ

ย่อยรวมไปถึงระบบกับสิ่งแวดล้อม สามารถสร้างกฎเกณฑ์ทั่วไปเพื่ออธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ต่างๆ ของระบบได้ ทั้งนี้ การคิดเชิงระบบมีลักษณะสำคัญคือ มีความเป็นวิทยาศาสตร์เป็นการคิดแบบพลวัตที่ยอมรับในการเปลี่ยนแปลงของระบบตลอดเวลาและเป็นการคิดแบบวงจรป้อนกลับ

## 2. ความจำเป็นของการนำทักษะการคิดเชิงระบบสู่วิชาเคมี

Mahaffy et al. (2018) ได้ให้เหตุผลสำคัญที่ควรมีการใช้ทักษะการคิดเชิงระบบในการจัดการเรียนการสอนวิชาเคมีไว้ 2 ประการ ได้แก่

2.1 เพื่อให้นักเรียนสามารถนำองค์ความรู้จากวิชาเคมีไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ เนื่องจากในชีวิตจริง ปัญหาต่าง ๆ มีความซับซ้อน ไม่ตรงไปตรงมาเหมือนกับที่นักเรียนเคยเจอในชั้นเรียน การคิดเชิงระบบจะช่วยให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้ดียิ่งขึ้น เช่น การแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน ที่จำเป็นต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจจากหลายศาสตร์และจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือกับหลายภาคส่วน จะเห็นได้ว่าการทำงานในชีวิตจริงนั้น มีปัจจัยหลายอย่างมากมายที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา จึงมีความจำเป็นที่จะต้องสอดแทรกบริบทต่าง ๆ เข้าไปในชั้นเรียน และสร้างกิจกรรมการเรียนรู้ที่เสริมสร้างการคิดเชิงระบบให้แก่นักเรียน

2.2 เพื่อสร้างสังคมแห่งการพัฒนาอย่างยั่งยืน เนื่องจากโลกในยุคปัจจุบันกำลังเผชิญหน้ากับความท้าทายด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทำให้สังคมปัจจุบันมุ่งเน้นไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน เช่น การพัฒนาแหล่งพลังงานสะอาด การผลิตน้ำบริสุทธิ์ต้นทุนต่ำ การพัฒนาคุณภาพดินและพืชผลเกษตรอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การพัฒนาพลังงานทางเลือกทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล การพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้จัดการกับโรคติดต่อ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดระบบการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาดังกล่าวในสังคมยุคปัจจุบันด้วย

Senge (2006 อ้างถึงใน เสน่ห์ จุ้ยโต และ กัลย์ ปิ่นเกษตร, 2565) ได้เสนอแนวทาง 5 ประการ ที่ช่วยผลักดันและสนับสนุนให้เกิดองค์การแห่งการเรียนรู้ ประกอบด้วย

1. การเป็นบุคคลที่รอบรู้ (Personal Mastery) คือ การที่บุคคลฝึกฝนตนเองให้เป็นคนที่ยอมรับเวลา เป็นคนรอบรู้ มีความต้องการที่จะฝึกฝนตนเองอย่างมีวินัย มีการปรับมุมมองอย่างต่อเนื่อง บนพื้นฐานของความต้องการที่แท้จริง เพื่อขยายความสามารถในการสร้างสรรค์ผลงาน

2. การมีแบบแผนความคิด (Mental Models) คือ การที่ทุกคนในองค์กรรับรู้และเข้าใจงานที่ทำแบบของคร่ำรวม สามารถเชื่อมโยงตำแหน่งที่ตนอยู่กับภาพรวมทั้งหมดได้

3. การสร้างวิสัยทัศน์ร่วมกัน (Shared Vision) คือ การที่ทุกคนในองค์กรมีส่วนร่วมในการสร้างวิสัยทัศน์ ทำให้ทุกคนเดินไปในทิศทางเดียวกัน ก่อให้เกิดความผูกพันองค์กรและสนับสนุนให้เกิดการร่วมพลัง (Synergism)

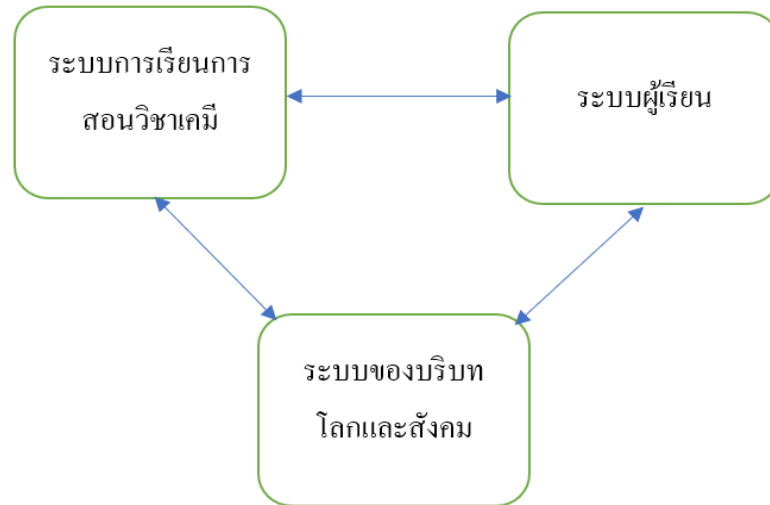
4. การเรียนรู้การทำงานเป็นทีม (Team Learning) คือ การที่ทุกคนในองค์กรแลกเปลี่ยนเรียนรู้ความรู้อันหลากหลาย ประสบการณ์ต่าง ๆ จนเกิดเป็นองค์ความรู้ที่สามารถถ่ายทอดภายในองค์กรรวมทั้งขยายไปยังหน่วยงานอื่น การทำงานเป็นทีมก่อให้เกิดการสร้างสรรคสิ่งใหม่เพื่อให้ได้ข้อสรุปเป็นแนวทางปฏิบัติร่วมกัน

5. การคิดอย่างเป็นระบบ (Systematic Thinking) ถือเป็นหัวใจขององค์กรแห่งการเรียนรู้และมีส่วนสำคัญต่อการสนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้ และนำมาซึ่งการพัฒนาอย่างยั่งยืนของทรัพยากรบุคคลในองค์กร การคิดอย่างเป็นระบบ คือ การอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลที่สืบเนื่องกัน เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาหรือเปลี่ยนแปลงระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น เพื่อเป็นการพัฒนานักเรียนให้เป็นบุคคลแห่งการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 จึงควรมีการเตรียมพร้อมทักษะต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน โดยเฉพาะทักษะการคิดเชิงระบบซึ่งถือเป็นหัวใจขององค์กรแห่งการเรียนรู้และนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน

**3. กรอบการทำงานสำหรับการออกแบบการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ**

Mahaffy et al. (2018) ได้เสนอกรอบการทำงานสำหรับการออกแบบการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ โดยได้แบ่งกรอบการทำงานออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบการเรียนการสอนวิชาเคมี ระบบผู้เรียน และระบบของบริบท โลกและสังคม ดังภาพที่ 2.9



**ภาพที่ 2.9** กรอบการทำงานสำหรับการออกแบบการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ

**ที่มา :** From Reorienting Chemistry Education through Systems Thinking by Mahaffy, Krief, Hopf, Mehta, & Matlin, 2018, p.3

3.1 ระบบการเรียนการสอนวิชาเคมี ได้แก่ หลักสูตร แผนการจัดการเรียนรู้ รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ เทคนิคการสอน ระบบการวัดผลประเมินผล เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล สื่อการเรียนการสอน

3.2 ระบบผู้เรียน ได้แก่ ทฤษฎีการเรียนรู้และพัฒนาการ จิตวิทยาการเรียนรู้ การเข้าใจนักเรียนรายบุคคล การจัดการเรียนรู้แบบเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

3.3 ระบบของบริบทโลกและสังคม ได้แก่ ปัญหาของโลกและสังคมในปัจจุบันที่สามารถนำองค์ความรู้ทางด้านเคมีไปใช้แก้ปัญหาได้ เช่น ปัญหาแก๊สเรือนกระจก ปัญหาฝนกรด ปัญหาน้ำเน่าเสีย เป็นต้น

#### 4. ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ

ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และสมยศ ชิดมงคล (2560) ได้สรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เป็นหลักสำคัญในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ ดังนี้

4.1 การระบุประเด็นปัญหา คือ การกระตุ้นนักเรียนให้เผชิญกับปัญหาหรือสถานการณ์ที่ท้าทาย โดยปัญหาควรมีความสอดคล้องกับบริบทสังคมและมีความเหมาะสมกับวุฒิภาวะและประสบการณ์ของนักเรียน

4.2 การรวบรวมข้อมูลและศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา คือ ขั้นตอนของการค้นหาและรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือสถานการณ์นั้น ๆ แล้วจัดหมวดหมู่

และกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหา แล้วเขียนภาพแสดงพฤติกรรมของตัวแปรภายใต้ช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้มองเห็นทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ

4.3 การพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของปัจจัย คือ การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ และนำมาสร้างวงจรป้อนกลับ เพื่อพิจารณาให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของข้อมูลแต่ละชุด ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้น และมองเห็นแบบแผนพฤติกรรมของระบบ

4.4 การสร้างสรรค์แผนการแก้ปัญหาและพิจารณาความเป็นไปได้ คือ การพิจารณาความเป็นไปได้ถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา ทำให้เกิดการแก้ไขปัญหามาในภาพรวม ไม่ใช่เพียงแค่การแก้ปัญหาเฉพาะจุดหรือปัญหาเฉพาะหน้า จึงถือเป็นการแก้ปัญหาย่างยั่งยืน

ชานินทร์ อินทวิเศษ, กิตติพงษ์ พุ่มพวง, รุจโรจน์ แก้วอุไร, และ สุภาณี เส็งศรี (2563) ได้สรุปลำดับขั้นตอนการใช้วิธีการคิดเชิงระบบกับการเรียนการสอน เพื่อส่งเสริมการคิดเชิงระบบ แก่นิสิตระดับปริญญาตรี ดังนี้

1. กำหนดประเด็นปัญหา เป็นขั้นตอนที่กระตุ้นให้นักเรียนทำความเข้าใจกับปัญหาหรือสถานการณ์ที่พบเจอ นักเรียนจะได้ระดมความคิด เพื่อค้นหาวิธีการแก้ไขปัญหาร่วมกัน

2. รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา เป็นขั้นตอนนักเรียนจะได้ค้นหาข้อมูล พฤติกรรมและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาและสถานการณ์นั้น ๆ เพื่อระบุลักษณะของตัวแปรให้ชัดเจน เพื่อนำไปพิจารณาความสัมพันธ์ต่าง ๆ

3. ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์ด้วยกราฟพฤติกรรมภายใต้ช่วยเวลา (Behavior Over Time: BOT) เพื่อพิจารณาและอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ โดยกำหนดเวลาให้อยู่ในช่วงเนวอนและพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาและอาจทำให้ได้มุมมองใหม่ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาอย่างคาดไม่ถึง ทั้งนี้ เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจปัญหาหรือสถานการณ์ที่พบเจอชัดเจนยิ่งขึ้น

4. สังเคราะห์โครงสร้างระบบจากข้อมูลที่ได้พิจารณาปัญหาตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อสร้างโครงสร้างระบบที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างของแผนผังวงจรสาเหตุที่แสดงถึงความเชื่อมโยงและปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ โดยแผนผังวงจรสาเหตุจะมี 2 ลักษณะ คือ กระบวนการเสริมแรง (Reinforcing Process) ที่มีลักษณะของความสัมพันธ์ที่ส่งเสริมกัน และกระบวนการปรับสมดุล (Balancing Process) ที่มีลักษณะของความสัมพันธ์ที่ยับยั้งกัน

5. สรุปผลข้อมูลที่ได้จากการสังเคราะห์โครงสร้างระบบ เพื่อให้ได้แนวทางหรือดำเนินการแก้ปัญหาได้ตรงกับสาเหตุที่แท้จริง แล้วแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน

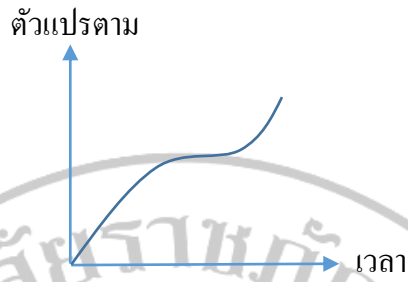
การส่งเสริมวิธีการคิดเชิงระบบจะช่วยให้นักเรียนสามารถควบคุมหรือเตรียมรับมือในการแก้ปัญหาที่สถานการณ์ที่เกิดขึ้น เป็นพื้นฐานสำหรับการคิดและสื่อสารสิ่งที่พบเจอ และช่วยให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างลึกซึ้ง อีกทั้งยังช่วยขยายขอบเขตการคิดไปสู่มุมมองใหม่ๆ การคิดเชิงระบบจึงถือเป็นทักษะที่สำคัญต่อนักเรียนในศตวรรษที่ 21

นิยม กิมานุวัฒน์, วิชิต สุรัตน์เรื่องชัยและสุนทร บำเรอราช (2559) ได้พัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาโดยมี 4 องค์ประกอบคือ

- 1) **ขั้นตอนการจัดกิจกรรม (Syntax)** นำเสนอเป็น 6 ชั้น (Phase) ประกอบด้วย
  - 1.1) ชั้นที่ 1 นำเสนอสถานการณ์
  - 1.2) ชั้นที่ 2 พัฒนาแนวทางการคิด
  - 1.3) ชั้นที่ 3 พิจารณาปัญหา
  - 1.4) ชั้นที่ 4 สนทนาแลกเปลี่ยน
  - 1.5) ชั้นที่ 5 เรียนรู้ผลงานกลุ่ม
  - 1.6) ชั้นที่ 6 สรุปร่วมกัน
- 2) **ระบบทางสังคม (Social System)** เป็นบทบาทของครู นักเรียนและความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน
- 3) **หลักการตอบสนอง (Principles of Reaction)** เป็นการแสดงโต้ตอบ การบอกวิธีการและการแสดงออกของครูต่อนักเรียน
- 4) **ระบบที่นำมาสนับสนุน (Support System)** เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการใช้รูปแบบการสอนให้มีประสิทธิผล
5. **เครื่องมือช่วยคิดเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ**

การคิดเชิงระบบจำเป็นที่จะต้องอาศัยเครื่องมือต่าง ๆ มาช่วยวิเคราะห์ปัญหา เพื่อให้มองเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย และสามารถสร้างเครือข่ายของความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยกับระบบใหญ่ รวมไปถึงระบบใหญ่กับสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเครื่องมือช่วยคิดเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ (วิลาวลัย โปธิทอง, 2556; Kim, 2000) ได้แก่

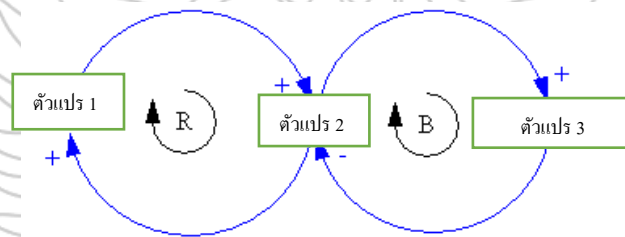
**5.1 แผนภาพแสดงพฤติกรรมภายใต้ช่วงเวลา (Behavior Over Time Diagram)** คือ การแสดงพฤติกรรมของตัวแปรในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เพื่อมองเห็นทิศทาง แนวโน้ม รูปแบบการเปลี่ยนแปลง นำไปสู่การเข้าใจความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของระบบ



ภาพที่ 2.10 แผนภาพแสดงพฤติกรรมภายใต้ช่วงเวลาหนึ่ง  
(Behavior Over Time Diagram)

ที่มา : From System Thinking Tools by Kim, 2000

5.2 แผนภาพวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagram) คือ แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์และปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งอาจประกอบไปด้วยวงรอบการป้อนกลับ 1 รอบ หรือมากกว่า ซึ่งเป็นทั้งกระบวนการเสริมแรง (Reinforcement) และกระบวนการสร้างความสมดุล (Balancing)



ภาพที่ 2.11 แผนภาพวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagram)

ที่มา : From System Thinking Tools by Kim, 2000

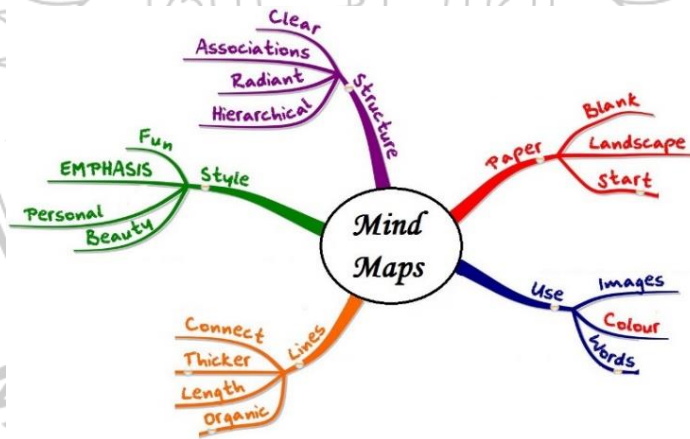
จากภาพที่ 2.11 จะเห็นว่า มีรูปแบบของวงจรป้อนกลับ 2 ลักษณะ คือ วงจรป้อนกลับแบบเสริมแรง (Reinforcing loop) และวงจรป้อนกลับแบบปรับสมดุลหรือสร้างเสถียรภาพ (Balancing Loop) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) วงจรเสริมแรง (Reinforcing Loops) เป็นวงจรความสัมพันธ์ที่ส่งผลสะท้อนกลับไปยังตัวแปรหนึ่ง ทำให้ตัวแปรนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง แล้วส่งผลให้ตัวแปรอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จนวนกลับมาส่งผลทวีคูณต่อตัวแปรต้นเหตุได้ ถ้าหากเกิดวงจรป้อนกลับแบบเสริมแรงหลาย ๆ รอบ สุดท้ายการดำรงอยู่ของวงจรนี้ก็จะหายไป เช่น เมื่อแม่ถึงกำหนดคลอด ศีรษะของทารกจะออกมายังปากมดลูก ทำให้ปากมดลูกขยายและถูกกระตุ้น แล้วส่งสัญญาณ

ประสาทไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลัง เพื่อให้หลังฮอร์โมนออกซิโทซิน ผลของฮอร์โมนออกซิโทซิน ทำให้มดลูกหดตัวมากขึ้น ส่งผลให้ศีรษะของทารกถูกดันออกไปทางปากมดลูกมากขึ้น ปากมดลูกก็ยิ่งถูกกระตุ้นและส่งสัญญาณไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลังอีกครั้ง วนเป็นวงจรต่อเนื่องเสริมแรงให้มากขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งทารกคลอด

2) **วงจรปรับสมดุล (Balancing Loops)** เป็นวงจรความสัมพันธ์ที่จะนำไปสู่สภาพที่ต้องการและรักษาสมดุลของความสัมพันธ์ไว้ วงจรนี้เป็นกระบวนการที่ดำเนินไปเพื่อให้ได้เป้าหมายหรือความคาดหวังที่ต้องการ จึงเป็นกระบวนการที่มีการปรับอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เป้าหมายกับสิ่งที่จริงอยู่ใกล้เคียงกัน เช่น หลังรับประทานอาหารเช้า ร่างกายจะมีปริมาณน้ำตาลในเลือดมากขึ้น ร่างกายจึงหลั่งฮอร์โมนอินซูลินออกมาจากตับอ่อนเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นไกลโคเจน เมื่อปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงและปริมาณไกลโคเจนเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลไปยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินจากตับอ่อน ทำให้ระดับน้ำตาลกลูโคสอยู่ในเกณฑ์ปกติ ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป

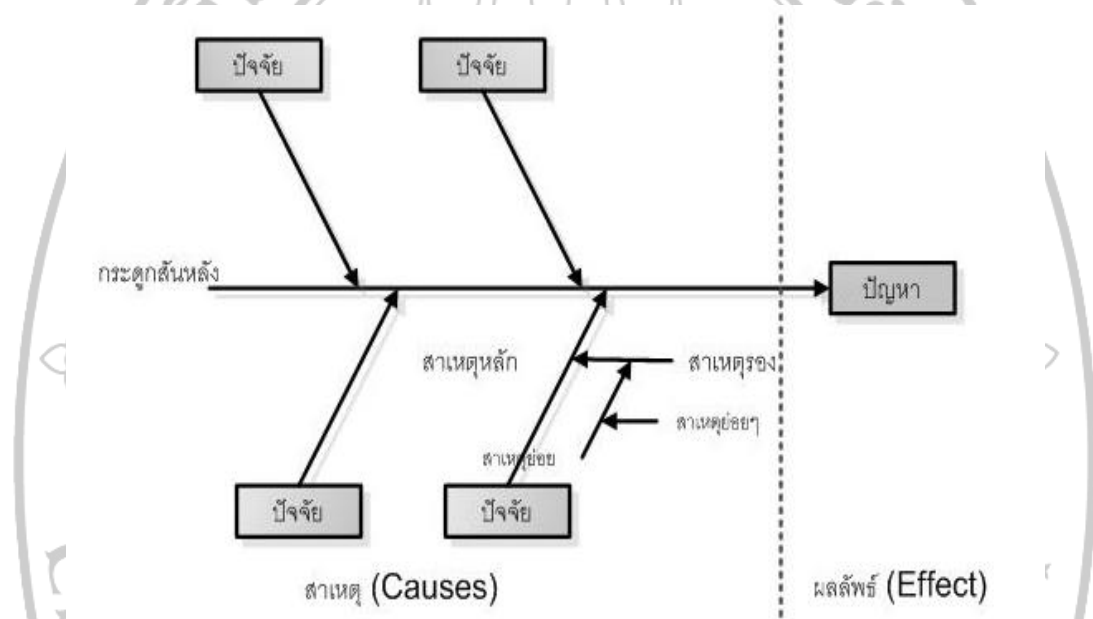
5.3 **แผนที่ความคิด (Mind Map)** คือ การจัดบันทึกรูปแบบหนึ่ง ที่มีทั้งข้อความสำคัญ รูปภาพ และสัญลักษณ์ แบบแผ่รัศมีออกมารอบ ๆ ศูนย์กลางเหมือนการแตกกิ่งก้านของต้นไม้ จึงช่วยให้มองเห็นภาพรวมของปัญหา และทำให้ง่ายต่อการจดจำ



ภาพที่ 2.12 แผนที่ความคิด (Mind Map)

ที่มา : <https://medium.com/@krutpong/mind-map-1ca590432630>

**5.4 ผังก้างปลา (Fishbone Diagram)** คือ แผนภาพแสดงสาเหตุแห่งปัญหา ถูกคิดค้นโดยวิศวกรชาวญี่ปุ่น ชื่อ คะ โอะรุ อิชิคาวา และเริ่มใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 เป็นผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุของปัญหา ชื่อเรียกผังก้างปลาจากลักษณะผังที่คล้ายปลา ประกอบไปด้วย หัวปลา โครงร่างกระดูกแกนกลางและก้างปลา โดยระบุปัญหาที่หัวปลา ระบุสาเหตุหลักของปัญหาเป็นลูกศรเข้าสู่กระดูกแกนกลาง และระบุสาเหตุย่อยที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบให้เกิดปัญหานั้น เข้าสู่สาเหตุหลัก



ภาพที่ 2.13 ผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

ที่มา : <http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm>

**5.5 การวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส ข้อจำกัด (SWOT Analysis)** คือ เครื่องมือที่ใช้ประเมินจุดแข็งและจุดอ่อนจากสภาพแวดล้อมภายใน โอกาสและอุปสรรคจากสภาพแวดล้อมภายนอก

	<b>ปัจจัยที่เอื้อประโยชน์</b>	<b>ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ</b>
<b>ปัจจัยภายใน</b>	<b>S</b> Strengths : จุดแข็ง ลักษณะเด่น ข้อดี ความสามารถ ที่เอื้อต่อการประสบความสำเร็จ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่าง - มีความรับผิดชอบ - มีความคิดสร้างสรรค์	<b>W</b> Weaknesses : จุดอ่อน ลักษณะด้อย ข้อเสีย ปัญหา ที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดความล้มเหลว ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่าง - ไม่กล้าแสดงออก - ชอบใช้อารมณ์ตัดสินปัญหา
<b>ปัจจัยภายนอก</b>	<b>O</b> Opportunities : โอกาส ความได้เปรียบ ที่เอื้อต่อการประสบความสำเร็จ สามารถใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่าง - ได้รับทุนการศึกษา - มีผู้ใหญ่คอยให้การสนับสนุน	<b>T</b> Threats : อุปสรรค ความเสียเปรียบ ที่เอื้อต่อความล้มเหลว ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่าง - ฐานะครอบครัวไม่ดี - เศรษฐกิจตกต่ำ

ภาพที่ 2.14 ตารางวิเคราะห์ SWOT

ที่มา : จาก SWOT analysis คือการวิเคราะห์หาจุดแข็งจุดอ่อนอุปสรรคโอกาส โดย รปศ. เพื่อ ตนเองสู่ส่วนรวม, 2563.

<https://www.facebook.com/S.Wongsurawat>

**5.6 ตารางการตัดสินใจ (Decision Matrix)** คือ ตารางแสดงเงื่อนไขการตัดสินใจ และกฎเกณฑ์ในการตัดสินใจ ช่วยให้นักวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์ได้อย่างเป็นระบบ เป็นเครื่องมือที่ช่วยแก้ปัญหาในกรณีที่มีปัญหาหลายๆ อย่างเกิดขึ้นพร้อมกัน ตารางการตัดสินใจ ประกอบไปด้วย ชุดของข้อมูลตามแถว (Row) ในแนวนอน และสดมภ์ (Column) ในแนวตั้ง โดยมี คำน้่าหนักคะแนนของแต่ละแนวทางการแก้ปัญหาตามเกณฑ์ที่กำหนด

## Decision Matrix

	Criterion A	Criterion B	Criterion C	Criterion D	Total Benefit
Solution 1					
Solution 2					
Solution 3					
Criteria Weights					

ภาพที่ 2.15 ตารางการตัดสินใจ (Decision Matrix)

ที่มา : [https://www.canr.msu.edu/news/decision\\_matrix\\_can\\_help\\_your\\_group\\_decide\\_part\\_1](https://www.canr.msu.edu/news/decision_matrix_can_help_your_group_decide_part_1)

### 6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ

พรพิทักษ์ คนหาญ (2557) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาขีดความสามารถด้านทักษะวิจัย และทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนห้องวิทยาศาสตร์ภูมิภาค ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ผลวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย มีความก้าวหน้าของการพัฒนาขีดความสามารถด้านทักษะวิจัยทั้ง 5 ด้าน โดยรวมอยู่ในระดับกลาง ( $\bar{g} = 0.66$ ) และมีคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบจากแบบทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และคะแนนจากแบบประเมินทักษะการคิดเชิงระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยนั้น สามารถแทรกขั้นตอนของการคิดเชิงระบบเข้าไปได้ โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลายจากธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมรอบโรงเรียน การมีเครื่องมือสืบค้นที่ทันสมัย และจัดสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้ ครูมีการกำหนดสถานการณ์ต่างๆ เพื่อให้ให้นักเรียนฝึกแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม มีการให้ข้อมูลย้อนกลับและการประเมินของครูผู้สอน เหล่านี้จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบได้

Khiritat, Dungchai & Duangpummet (2022) ได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โมเดลจาก LEGO เป็นฐาน เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์ ผลวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบหลังเรียนสูงกว่า ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งสาม 3 ระดับ ได้แก่ ระดับวิเคราะห์องค์ประกอบ ของระบบ ระดับสังเคราะห์องค์ประกอบของระบบ และระดับการนำไปใช้ โดยทักษะการคิดเชิง ระบบระดับการสังเคราะห์องค์ประกอบของระบบ มีคะแนนความก้าวหน้า (Normalized Gain) สูงที่สุด รองลงมาคือระดับการนำไปใช้ และระดับการวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบ ตามลำดับ นอกจากนี้ จากแบบประเมินตนเองของนักเรียน พบว่านักเรียนให้คะแนนการประเมินทักษะ การคิดเชิงระบบของตนเองสูงทั้ง 3 ระดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้โมเดลจาก LEGO ช่วยให้นักเรียนมองเห็นภาพและช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบในระดับโมเดล ได้ง่ายขึ้น

Melton, Saiful & Shein (2022) ได้พัฒนารอบการทำงานสำหรับครู เพื่อพัฒนา ทักษะการคิดเชิงระบบ ผลวิจัยพบว่า จากการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ภาวะโลกร้อนและ มลพิษทางอากาศ โดยอาศัยการบูรณาการกรอบการทำงาน 3 ด้าน ได้แก่ ทฤษฎีการเรียนรู้ที่ เกี่ยวข้อง งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจ และประเด็นทางสังคมที่กำลังเป็นที่สนใจ โดยการ จัดการเรียนรู้แบบฐาน STEM ช่วยให้นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบและทักษะการแก้ปัญหาดีขึ้น จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้กรอบการทำงานดังกล่าว พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนา ทักษะการคิดเชิงระบบและทักษะการแก้ปัญหาสำหรับนักเรียนในอนาคต

Gkiolmas, Karamanos, Chalkidis, Skordoulis, Papaconstantinou & Stavrou ( 2013) ได้พัฒนาการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ตอนปลาย โดยใช้โปรแกรม NetLogo โดยได้จัดการเรียนรู้เรื่องระบบนิเวศ ผลวิจัยพบว่า นักเรียน ที่ผ่านการจัดการเรียนรู้ด้วยโปรแกรม NetLogo มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อน เรียน อีกทั้งยังสามารถเข้าใจและอธิบายความซับซ้อนของระบบนิเวศได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำ องค์ความรู้จากระบบนิเวศที่เรียน ไปอธิบายระบบนิเวศอื่นๆ ที่ไม่ซับซ้อนได้

Roychoudhury, Shepardson & Hirsch (2017) ได้พัฒนาการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนา ทักษะการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนเกรด 12 โดยใช้บริบทของระบบภูมิอากาศและการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลวิจัยพบว่า การใช้บริบทของระบบภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศ มีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบเป็นอย่างยิ่ง เนื่องระบบ ภูมิอากาศมีความซับซ้อน และมีองค์ประกอบหลายอย่างเกี่ยวเนื่องกัน มีการเปลี่ยนแปลงแบบ พลวัต และมีวงจรป้อนกลับที่สังเกตได้ชัดเจน โดยหลังการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความ เข้าใจในระบบภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศลึกซึ้งขึ้น สามารถบอกความสัมพันธ์ ระหว่างกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม ซึ่งความรู้และทักษะเหล่านี้จะเป็น

เครื่องมือที่ช่วยให้นักเรียนตัดสินใจลงมือกระทำต่าง ๆ โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อระบบภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

## ผลลัพธ์การเรียนรู้

### 1. ความหมายของผลลัพธ์การเรียนรู้และสมรรถนะ

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ (2560) ได้ให้ความหมายของผลลัพธ์การเรียนรู้ไว้ในกรอบคุณวุฒิแห่งชาติ (Thailand National Qualifications Framework: Thailand NQF) ฉบับปรับปรุง ดังนี้

**ผลลัพธ์การเรียนรู้ (Learning Outcomes)** หมายถึง เกณฑ์บ่งชี้คุณลักษณะการเรียนรู้และผลของการเรียนรู้ทั้งที่เกิดจากกระบวนการเรียนรู้ตามมาตรฐานการเรียนรู้ของหลักสูตรที่กำหนดไว้ในแต่ละระดับและประเภทการศึกษา และ/หรือประสบการณ์ที่เกิดขึ้นจากการฝึกปฏิบัติ และ/หรือจากการทำงาน ประกอบด้วย 3 มิติ ได้แก่

**1.1 ความรู้ (Knowledge)** หมายถึง ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริง หลักการ ทฤษฎีและแนวปฏิบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชาที่เรียน/ทำงาน โดยเน้นความรู้เชิงทฤษฎีและ/หรือข้อเท็จจริงเป็นหลัก (Theoretical and/or Factual)

**1.2 ทักษะ (Skills)** หมายถึง ความสามารถปฏิบัติงาน ซึ่งบุคคลนั้นควรทำได้เมื่อได้รับมอบหมาย โดยสามารถเลือกใช้วิธีการจัดการและแก้ปัญหาการทำงาน ด้วยทักษะด้านกระบวนการคิด (Cognitive Skills) ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตรรกะ ทักษะการหยั่งรู้และความคิดสร้างสรรค์ (Logical, Intuitive, and Creative Thinking) หรือทักษะการปฏิบัติ/วิธีปฏิบัติที่มีความคล่องแคล่วและความชำนาญในการปฏิบัติตามกรอบคุณวุฒิแต่ละระดับ

**1.3 ความสามารถในการประยุกต์ใช้และความรับผิดชอบ (Application and Responsibility)** หมายถึง ความสามารถของบุคคลที่เกิดจากกระบวนการเรียนรู้ การใช้ความรู้ทักษะทางสังคม ในการทำงาน/ศึกษาอบรม เพื่อการพัฒนาวิชาชีพของบุคคล ซึ่งประกอบไปด้วยความสามารถในการสื่อสาร ภาวะผู้นำ ความรับผิดชอบ (Responsibility) และความเป็นอิสระ (Autonomy) ในการดำเนินการต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง เช่น ความสามารถในการตัดสินใจและความรับผิดชอบต่อตนเองและผู้อื่น

**สมรรถนะ (Competency)** หมายถึง ความสามารถในการปฏิบัติงานที่เกิดจากการประยุกต์ใช้ความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1) **สมรรถนะแกนกลาง (Core Competency)** หมายถึง ความรู้ ทักษะและคุณลักษณะทั่วไปที่ใช้ในการปฏิบัติงาน เช่น การสื่อสาร การคำนวณ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการทำงานเป็นทีม เป็นต้น

2) **สมรรถนะอาชีพ (Occupational Competency)** หมายถึง ความรู้ ความสามารถ และทักษะเฉพาะในการปฏิบัติงานในแต่ละสาขางานหรือสาขาวิชาชีพ (Functional Competency)

## 2. องค์ประกอบของผลลัพธ์การเรียนรู้

จากแนวคิดของ Smith & Piele (2006) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ควรเน้นพัฒนา นักเรียนให้เกิดการผลลัพธ์การเรียนรู้ใน 3 ด้าน ได้แก่

2.1 **ด้านพุทธิพิสัย** เป็นพฤติกรรมด้านความสามารถสติปัญญาของบุคคลสามารถจำแนกได้ตามทฤษฎีการเรียนรู้ของบลูม ดังนี้

2.2.1 **ความรู้ความจำ (Knowledge)** คือ ความสามารถในการระลึกได้ถึงเรื่องราวต่าง ๆ ที่เคยมีประสบการณ์มาก่อน มี 3 ลักษณะ คือ ความรู้เฉพาะเรื่อง ความรู้ในวิธีการดำเนินการ และความรู้รวบรวมในเนื้อเรื่อง

2.2.2 **ความเข้าใจ (Comprehension)** คือ ความสามารถในการแปลความตีความและขยายความ ซึ่งเป็นผลมาจากการนำเอาความรู้ความจำมาใช้ต่อยอด

2.2.3 **การนำไปใช้ (Application)** คือ ความสามารถในการนำเอาความรู้ความเข้าใจในเรื่องที่เคยเรียนหรือประสบมา ไปแก้ปัญหาในสถานการณ์แปลกใหม่หรือใกล้เคียงกับที่เคยพบเจอ

2.2.4 **การวิเคราะห์ (Analysis)** คือ ความสามารถในการแยกแยะองค์ประกอบของเรื่องราวหรือระบบออกเป็นส่วน ๆ มองเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบ มี 3 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หลักการ

2.2.5 **การประเมิน (Evaluation)** คือ ความสามารถในการตัดสินคุณค่าของแนวความคิด สามารถแสดงเหตุผลที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการตัดสินนั้น ๆ

2.2.6 **การสร้างสรรค์ (Creation)** คือ ความสามารถในการนำองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ตั้งแต่ 2 องค์ประกอบ มารวมเป็นเรื่องราวหรือระบบเดียวกัน ทำให้เห็นโครงสร้างชัดเจนขึ้น ซึ่งอาจเป็นเรื่องที่แปลกใหม่หรือต่อยอดมาจากองค์ประกอบเดิม ก่อให้เกิดความแปลกใหม่ มีคุณค่า และเป็นประโยชน์

**2.2 ด้านทักษะพิสัย** เป็นพฤติกรรมที่เกี่ยวกับความสามารถเชิงปฏิบัติการมี 5 ระดับ ดังนี้

2.2.1 การรับรู้ (Perception) คือ ชั้นแสดงอาการรับรู้โดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 5 คือ ตา หู จมูก ลิ้น และสัมผัสทางกาย โดยอาจรับรู้ต่อสิ่งเร้าด้วยประสาทสัมผัสพร้อมๆ กัน หรืออาจที่จะเลือกรับรู้ และมีการแปลความหมายสิ่งเร้าเพื่อตอบสนอง

2.2.2 การเตรียมพร้อม (Set) คือ สภาพความพร้อมของบุคคลที่จะแสดงพฤติกรรมออกมา มี 3 ด้าน คือ ความพร้อมด้านร่างกาย ความพร้อมด้านสมอง และความพร้อมด้านอารมณ์

2.2.3 การตอบสนองตามแนวทางที่กำหนดให้ (Guided Response) คือ การแสดงออกในลักษณะของการเลียนแบบและการลองผิดลองถูก

2.2.4 ความสามารถด้านกลไก (Mechanism) คือ ความสามารถในการนำความรู้หรือประสบการณ์ที่เคยเจอ มาสร้างวิธีสำหรับตนเองเพื่อการปฏิบัติได้

2.2.5 การตอบสนองที่ซับซ้อน (Complex Overt Response) คือ ความสามารถในการปฏิบัติที่ยุ่งยากซับซ้อนอย่างมั่นใจ ไม่ลังเล และกระทำอย่างเป็นอัตโนมัติ

**2.3 ด้านจิตพิสัย** เป็นพฤติกรรมที่เกี่ยวกับความรู้สึกรู้สึกนึกคิดทางจิตใจ อารมณ์และคุณธรรมของบุคคล มี 5 ระดับ ดังนี้

2.3.1 การรับรู้ (Receiving of Attending) มีลักษณะการตอบสนอง 3 ลักษณะ คือ การยอมรับ การตั้งใจที่รับรู้ และการเลือกสิ่งเร้าที่ต้องการรับรู้

2.3.2 การตอบสนอง (Responding) คือ พฤติกรรมโต้ตอบต่อสิ่งเร้าอย่างเต็มใจ และเกิดความพึงพอใจจากการตอบสนอง มี 3 ลักษณะ คือ การยินยอมที่จะตอบสนอง การเต็มใจที่จะตอบสนอง และความพึงพอใจจากการตอบสนอง

2.3.3 การสร้างคุณค่า (Valuing) คือ การมองเห็นคุณค่าของการตอบสนองต่อสิ่งเร้าหรือประสบการณ์ที่ได้ มี 3 ลักษณะ คือ การยอมรับในคุณค่า การนิยมชมชอบในคุณค่า และการสร้างคุณค่า

2.3.4 การจัดระบบคุณค่า (Organization) คือ การนำค่านิยมที่เกิดจากการสร้างคุณค่ามาจัดระเบียบ มี 2 ลักษณะ คือ การสร้างความคิดรวบยอดของคุณค่า และการจัดระบบของคุณค่า

2.3.5 การสร้างลักษณะนิสัย (Characterization by a Value Complex) คือ การจัดระบบคุณค่าที่มีอยู่ในตัวอย่างถาวร ซึ่งจะควบคุมพฤติกรรมการแสดงออกของบุคคลนั้น ๆ

ในแต่ละสถานการณ์ มี 2 ลักษณะ คือ การสร้างลักษณะนิสัยชั่วคราว และการสร้างลักษณะนิสัยถาวร

### 3. การวัดและประเมินผลฐานสมรรถนะ

การจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ คือ การจัดการเรียนการสอนที่ใช้ผลลัพธ์การเรียนรู้เป็นเป้าหมาย โดยมุ่งเน้นผลที่จะเกิดกับผู้เรียน ซึ่งก็คือความสามารถของผู้เรียนในการประยุกต์ใช้ความรู้ ทักษะ เจตคติ และคุณลักษณะต่าง ๆ อย่างเป็นองค์รวมในการปฏิบัติงาน การแก้ปัญหา และการใช้ชีวิต ดังนั้น การวัดและประเมินผลการเรียนรู้จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ โดยควรมีสาระสำคัญ ดังนี้ (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2563)

- 1) การประเมินผลรวบยอดจะมุ่งวัดสมรรถนะที่เป็นองค์รวมของความรู้ ทักษะ เจตคติ และคุณลักษณะต่าง ๆ ไม่ใช่เวลามากกับการสอบตามตัวชี้วัดจำนวนมาก
- 2) วัดจากพฤติกรรม การกระทำ การปฏิบัติที่แสดงออกถึงความสามารถในการใช้ความรู้ ทักษะ เจตคติและคุณลักษณะต่าง ๆ ตามเกณฑ์การปฏิบัติ (Performance Criteria) ที่กำหนดเป็นการวัดอิงเกณฑ์ และมีหลักฐานการปฏิบัติ (Evidence) ที่สามารถตรวจสอบได้
- 3) ใช้การประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) จากสิ่งที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติจริง และความก้าวหน้าในการปฏิบัติงาน เช่น การประเมินจากการปฏิบัติ (Performance Assessment) การใช้แฟ้มสะสมผลงาน (Portfolio Assessment) การประเมินตนเอง (Student Self-Assessment) และการประเมินโดยเพื่อน (Peer Assessment)
- 4) ใช้สถานการณ์เป็นฐาน เพื่อให้บริบทการวัดและประเมินเป็นสภาพจริงมากขึ้นซึ่งสามารถประเมินได้หลายประเด็นในสถานการณ์เดียวกัน
- 5) ประเมินผู้เรียนไปตามลำดับขั้นของสมรรถนะที่กำหนด หากไม่ผ่านจะต้องได้รับการซ่อมเสริมจนกระทั่งผ่าน จึงจะก้าวไปสู่ลำดับขั้นต่อไป
- 6) การรายงานผลโดยการให้ข้อมูลพัฒนาการและความสามารถของผู้เรียนตามลำดับขั้นที่ผู้เรียนทำได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

**3.1 ลักษณะของเครื่องมือวัดผลที่ดี** เครื่องมือวัดผลที่ดีย่อมนำมาซึ่งข้อเท็จจริงเกี่ยวกับผลการเรียนรู้ของนักเรียน อันจะนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนาแนวทางการจัดการศึกษาอย่างมีคุณภาพ โดยสุทธวีรณ พิศศักดิ์โสภณ (2557) ได้กล่าวถึงลักษณะของเครื่องมือวัดผลที่ดี ดังนี้

- 1) ความเที่ยงตรง (Validity) หมายถึง การวัดในสิ่งที่ต้องการวัดได้อย่างถูกต้อง

2) ความเชื่อมั่น (Reliability) หมายถึง การวัดที่ให้ผลแน่นอน สม่ำเสมอ มีความคงเส้นคงวา (Consistency)

3) ความเป็นปรนัย (Objectivity) หมายถึง ความชัดเจนของคำถามที่ไม่ว่าใครก็เข้าใจความหมายได้ถูกต้องตรงกัน มีการตรวจให้คะแนนตรงกันไม่ว่าใครจะตรวจก็ตาม และคะแนนที่ได้สามารถแปลความหมายได้ตรงกัน

4) อำนาจจำแนก (Discrimination) หมายถึง ความสามารถในการแยกหรือจำแนกบุคคลที่มีคุณลักษณะหรือความสามารถแตกต่างกันออกจากกันได้

5) ความยากพอเหมาะ (Difficulty) หมายถึง เป็นข้อสอบที่ไม่ยากเกินไปหรือง่ายเกินไป

6) วัดอย่างลึกซึ้ง (Searching) หมายถึง ลักษณะของคำถามครอบคลุมพฤติกรรมที่ต้องการวัด และไม่เป็นคำถามที่วัดแค่ความรู้ความจำเท่านั้น

7) ยุติธรรม (Fair) หมายถึง เป็นคำถามที่ไม่เปิดโอกาสให้ใครได้เปรียบหรือเสียเปรียบมากกว่ากัน

8) มีความจำเพาะเจาะจง (Definite) หมายถึง คำถามควรมุ่งถามประเด็นเดียว ไม่ควรถามหลายแง่มุมในข้อเดียว

9) มีประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง เป็นข้อสอบที่สามารถวัดผลได้จริง ประหยัดเวลา และงบประมาณ

10) มีการจูงใจให้ตอบ (Exemplary) หมายถึง การจูงใจเพื่อสร้างกำลังใจที่ดีแก่นักเรียนในการทำข้อสอบ เช่น เรียงลำดับจากข้อง่ายไปยาก หรือมีรูปภาพประกอบเพื่อดึงดูดความสนใจ เป็นต้น

### 3.2 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้

สันติ งามเสริฐ (2560) ได้เสนอขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ดังนี้

1) กำหนดจุดมุ่งหมายของแบบทดสอบ ว่าต้องการนำผลการทดสอบไปใช้วัดอะไร เพื่อจุดประสงค์อะไร โดยข้อสอบที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนควรมีความตรงเชิงเนื้อหา และสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

2) กำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ โดยควรระบุเป็นวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของนักเรียนหลังผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ให้ชัดเจน โดยพฤติกรรมของนักเรียนมักจะใช้คำในรูปกริยา ได้แก่ ระบุ อธิบาย จำแนก เสนอ สร้าง พัฒนา เป็นต้น

3) กำหนดผังการสร้างข้อสอบ โดยประกอบไปด้วยเนื้อหาที่จะออกสอบ น้ำหนักความสำคัญของแต่ละเนื้อหา จำนวนข้อสอบ และกระบวนการทางพุทธิปัญญาหรือสมรรถนะที่ต้องการวัด

4) เลือกรูปแบบของคำถาม โดยครูควรเลือกให้เหมาะสมกับผลการเรียนรู้และสมรรถนะที่มุ่งวัด

5) การเขียนข้อคำถามและตัวเลือกให้สอดคล้องกับผังการสร้างข้อสอบ โดยคำนึงถึงหลักการสร้างข้อสอบแต่ละประเภทอย่างเคร่งครัด

6) การตรวจสอบคุณภาพข้อสอบ โดยการหาคุณภาพข้อสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาสำคัญ คือ คุณภาพก่อนนำข้อสอบไปใช้ เช่น ความตรงเชิงเนื้อหา และคุณภาพหลังนำข้อสอบไปใช้ เช่น ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก เป็นต้น

### การวิจัยเชิงปฏิบัติการ

#### 1. ความหมายและจุดมุ่งหมายของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

มีผู้รู้หลายท่านได้ให้ความหมายของการวิจัยเชิงปฏิบัติการไว้ ดังนี้

วีระยุทธ ชาตะกาญจน์ (2553) ได้ให้ความหมายของการวิจัยเชิงปฏิบัติการว่าเป็นการศึกษารวบรวมหรือการแสวงหาข้อเท็จจริงโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสรุป อันจะนำไปสู่การแก้ปัญหาที่เผชิญอยู่ทั้งด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผล ในขอบเขตที่ตัวเองรับผิดชอบ การวิจัยเชิงปฏิบัติการมีจุดมุ่งหมายเพื่อจะปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการปฏิบัติงานประจำให้ดีขึ้น โดยเริ่มจากผู้ปฏิบัติงานมีความต้องการที่จะแก้ปัญหาก็พบเจอในกระบวนการทำงาน จึงได้ใช้ความรู้ทั้งจากทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยประสบมา สะท้อนแนวทางการแก้ปัญหาในกลุ่มผู้วิจัย และนำไปสู่การปรับปรุงพัฒนาแผนการดำเนินงานต่อไป

Holloway (2010) กล่าวว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการ คือ การแสวงหาความรู้ ภายใต้การดำเนินงานของปฏิบัติผู้ปฏิบัติงาน เพื่อตรวจสอบ ปรับปรุง พัฒนา ระบบการทำงานของตนเองผ่านกระบวนการที่เป็นวงจรต่อเนื่อง การวิจัยเชิงปฏิบัติการจึงเป็นทั้งการวิจัยและการปฏิบัติการ

สมปอง พะมุลิลา (ม.ป.ป.) กล่าวว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการ เป็นกระบวนการวิจัยที่มีเป้าหมายที่จะแก้ปัญหา มุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงโดยบุคลากรในระบบร่วมกับนักวิจัย เข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมบุคคลากรในระบบ ในการพัฒนาตนเองและผู้อื่นให้เหมาะสมกับการดำเนินการ

Lewin, Kemmis & McTaggart (1990 อ้างถึงใน ชีรวุฒิ เอกะกุล, 2552) กล่าวว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการเป็นกระบวนการที่มีความน่าเชื่อถือได้ ในการพัฒนาความสามารถของการ สะท้อนคิด การอภิปราย การตัดสินใจ และการลงมือทำเพื่อให้เกิดการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงในทาง ที่ดีขึ้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานแบบบันไดเวียน คือ การวางแผน การปฏิบัติ ประเมินผล และ สะท้อนผลสู่การวางแผนใหม่ และมีจุดเริ่มต้นมาจากความคิดที่ต้องการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง โดย กลุ่มผู้ร่วมงานเป็นผู้กำหนดว่าอะไรเป็นปัญหาที่แท้จริงและผลที่ตามมา เพื่อให้กลุ่มผู้ร่วมวิจัย ปฏิบัติการ นำไปกำหนดแผนในงานปฏิบัติเพื่อจัดการกับปัญหาต่อไป

สรุปได้ว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการ เป็นการวิจัยที่มุ่งเน้นพัฒนาผลการปฏิบัติงาน ของตนเอง ผ่านกระบวนการศึกษารวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มต้นจากผู้ปฏิบัติงานที่ ต้องการพัฒนาระบบการทำงานของตนเอง ผลของการดำเนินงานจะนำไปสู่การปรับปรุงระบบการ ทำงาน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หลายรอบ จนได้ผลลัพธ์ตามที่คาดหวัง

## 2. ลักษณะของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

วิระยุทธ ชาตะกาญจน์ (2553) ได้ให้ลักษณะของการวิจัยเชิงปฏิบัติการทางการศึกษา ไว้ดังนี้

### 2.1 เป็นการวิจัยแบบมีส่วนร่วมและมีการร่วมมือ (Participation and Collaboration)

โดยมีการทำงานร่วมมือกันของกลุ่ม ผู้ร่วมวิจัยทุกคนมีส่วนร่วมสำคัญและมีบทบาทเท่าเทียมกันในทุก ขั้นตอนของการวิจัย

2.2 เน้นการปฏิบัติ (Action Orientation) คือ มุ่งเน้นไปที่การปฏิบัติ อันจะนำมา ซึ่งผลลัพธ์ที่คาดหวัง และเกิดการปรับปรุงพัฒนา

2.3 ใช้การวิเคราะห์วิจารณ์ (Critical Function) คือ มีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เก็บรวบรวมมาอย่างละเอียดรอบคอบ นำไปสู่การตัดสินใจที่สมเหตุสมผล และเกิดการปรับปรุง พัฒนา

2.4 ใช้วงจรการปฏิบัติการ (the Action Research Spiral) จากแนวคิดของเคมิส และแมคทาการ์ท (Kemmis & McTaggart) คือ มีงานวางแผนและปรับปรุงแผน จนได้ผลลัพธ์ ที่เป็นที่พึงพอใจ เพื่อการเผยแพร่เชิงทฤษฎีต่อไป

## 3. วงจรของวิจัยเชิงปฏิบัติการ

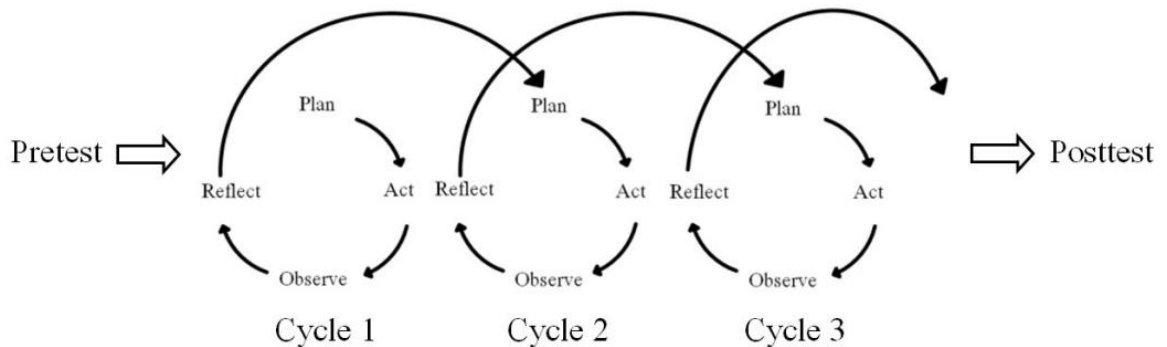
การวิจัยเชิงปฏิบัติการ มีองค์ประกอบพื้นฐาน 4 องค์ประกอบ ที่พัฒนาต่อเนื่องกัน เป็นวงจร (Kemmis & McTaggart, 1988 อ้างถึงใน วิระยุทธ ชาตะกาญจน์, 2558) ซึ่งประกอบไปด้วย

**3.1 การวางแผน (Plan)** คือ แนวทางปฏิบัติที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ ซึ่งสำหรับการวิจัยในชั้นเรียน การวางแผน คือขั้นตอนของการกำหนดปัญหา เช่น การระบุปัญหาต่าง ๆ ที่ครูพบในชั้นเรียน การกำหนดปัญหาและสาเหตุ การระบุแนวทางหรือวิธีแก้ปัญหารวมถึงการกำหนดชื่อเรื่องและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

**3.2 การปฏิบัติ (Act)** คือ การดำเนินการตามแผนที่ได้วางไว้อย่างมีเหตุผลและมีการควบคุมอย่างเหมาะสม

**3.3 การสังเกต (Observe)** คือ การเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติงาน ข้อมูลที่เก็บรวบรวมควรเป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกตอย่างรอบด้านทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายของข้อมูล เพื่อนำไปสู่การสะท้อนผลการปฏิบัติงาน

**3.4 การสะท้อน (Reflect)** คือ การทบทวนผลที่ได้บันทึกจากการสังเกต และการเก็บข้อมูลอื่น ๆ เป็นการสรุปผลที่ได้จากการดำเนินงานว่าสามารถแก้ไขปัญหได้อย่างไร มีหลักฐานข้อมูลสนับสนุนเพียงพอหรือไม่



ภาพที่ 2.16 วงจรของการทำงานวิจัยเชิงปฏิบัติการ

#### 4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

องอาจ นัยวัฒน์ (2548 อ้างถึงใน อรทัย ศรีทองธรรม, 2562) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการไว้ ดังนี้

4.1 ระบุแนวคิดและนิยามปัญหาให้ชัดเจน

4.2 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเพื่ออธิบายข้อเท็จจริงของสภาวะการณ์ที่เป็นปัญหาที่ต้องการได้รับการแก้ไขปรับปรุง

4.3 วางแผนเพื่อกำหนดยุทธวิธีปฏิบัติการแก้ไขปัญหา

4.4 นำแผนยุทธวิธีปฏิบัติที่วางไว้ไปลงมือปฏิบัติจริง

4.5 สังเกตการณ์ ติดตามตรวจสอบ และประเมินผลการปฏิบัติงานตามยุทธวิธีที่ได้ลงมือกระทำไปแล้ว

4.6 สะท้อนกลับผลจากการปฏิบัติ โดยอาศัยการคิดใคร่ครวญในเชิงวิพากษ์ด้วยทัศนะอันหลากหลายของนักวิจัย และผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยบนพื้นฐานของข้อมูลจากขั้นตอนที่ผ่านมา

4.7 ทบทวนและปรับปรุงแผนยุทธวิธีปฏิบัติการแก้ไขปัญหา

4.8 นำแผนยุทธวิธีปฏิบัติที่ปรับแล้ว ไปลงมือปฏิบัติจริง

4.9 สะท้อนกลับผลของการนำยุทธวิธีปฏิบัติที่ปรับและลงมือปฏิบัติไปแล้ว

4.10 ดำเนินการเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสถานการณ์ที่เป็นปัญหานั้น ได้รับการแก้ไขจนอยู่ในระดับที่พอใจ ภายใต้อำนาจด้านเวลาและทรัพยากรของการวิจัย

การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน คือ การศึกษาค้นคว้าอย่างเป็นระบบและมีกระบวนการที่เชื่อถือได้ โดยครูซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติการสอน ต้องการปรับปรุงพัฒนากิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาคุณภาพของผู้เรียน นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาวิชาชีพของครูผู้สอนเองด้วย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) จากแนวคิดของ Kemmis & McTaggart (1988 อ้างถึงใน วีระยุทธ ชาตะกาญจน์, 2558) ซึ่งเป็นการพัฒนาการจัดการเรียนรู้จากวงจรแรกและเริ่มวงจรใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้แนวปฏิบัติที่ดี โดยแต่ละวงจรมีขั้นตอนการวิจัย 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นวางแผน (Plan) 2) ขั้นปฏิบัติ (Act) 3) ขั้นสังเกต (Observe) และ 4) ขั้นสะท้อนผล (Reflect) โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการ 5 วงจร

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) มีแบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียววัดสองครั้ง (The One-Group Pretest-Posttest Design) โดยแบบแผนการวิจัยมีรายละเอียดดังภาพ

$O_1$ ----- $X_1$ --- $X_2$ --- $X_3$ --- $X_4$ --- $X_5$ ----- $O_2$

- เมื่อ  $O_1$  คือ การทดสอบก่อนการทดลอง  
 $X_1$  คือ การดำเนินการจัดการเรียนรู้วงจรที่ 1  
 $X_2$  คือ การดำเนินการจัดการเรียนรู้วงจรที่ 2  
 $X_3$  คือ การดำเนินการจัดการเรียนรู้วงจรที่ 3  
 $X_4$  คือ การดำเนินการจัดการเรียนรู้วงจรที่ 4  
 $X_5$  คือ การดำเนินการจัดการเรียนรู้วงจรที่ 5  
 $O_2$  คือ การทดสอบหลังการทดลอง

## ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

### ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 2 ห้องเรียน มีนักเรียน รวม 45 คน

### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน มีนักเรียนรวม 23 คน ได้มาจากวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

### เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

หลังจากที่ได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและออกแบบงานวิจัยเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 3 เครื่องมือ ได้แก่

1. แผนการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย 5 แผน ดังนี้
  - 1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์
  - 1.2 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง การป้องกันการผุกร่อนของโลหะ
  - 1.3 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า
  - 1.4 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า
  - 1.5 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า
2. บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ประกอบด้วย 5 บทปฏิบัติการ ดังนี้
  - 2.1 บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย
  - 2.2 บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์
  - 2.3 บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก
  - 2.4 บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก
  - 2.5 บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า
3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

## แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด

### ตอนที่ 1 สร้างบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

1. ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) คู่มือหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2560) และศึกษาจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาสาระรายวิชาเคมี บทที่ 11 เคมีไฟฟ้า จากหนังสือเรียนเคมี เล่ม 4 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2562) รวมทั้งกิจกรรมการทดลอง อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในแต่ละการทดลอง

2. ออกแบบปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนแล้วนำไปทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานแล้วทำการปรับปรุงแก้ไขให้มีคุณภาพ โดยสามารถให้ผลการทดลองเชิงคุณภาพเทียบเท่าปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน และเมื่อนำผลการทดลองเชิงปริมาณมาเปรียบเทียบกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานแล้ว ควรมีร้อยละความคลาดเคลื่อน (%error) ที่ยอมรับได้คือไม่เกินร้อยละ 10 (Anne Helmenstine, 2024)

3. กำหนดขอบเขตของเนื้อหา โดยอาศัยกรอบการทำงานสำหรับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ (Mahaffy et al., 2018) ดังนี้

3.1 ด้านระบบการเรียนรู้การสอนวิชาเคมี: ศึกษาขอบข่ายที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า จากคู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย วิชาเคมี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนและทักษะการคิดเชิงระบบ

3.2 ด้านระบบผู้เรียน: วิเคราะห์นักเรียนรายบุคคล พิจารณาการจัดกลุ่มนักเรียนให้เหมาะสม ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับจิตวิทยาการเรียนรู้และพัฒนาการ และเลือกรูปแบบกิจกรรมให้เหมาะสมกับบริบทและเวลา

3.3 ด้านระบบบริบทโลกและสังคม: ศึกษาปัญหาของโลก สังคม และสิ่งแวดล้อมในสถานการณ์ปัจจุบัน ที่ส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อนักเรียน เลือกประเด็นปัญหาที่น่าสนใจ และสร้างบริบทของเนื้อหาเพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่องค์ความรู้ทางเคมีและเชื่อมโยงเข้าสู่องค์ความรู้ในด้านอื่น ๆ อย่างเป็นระบบ

4. พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน จำนวน 5 บทปฏิบัติการ โดยให้แต่ละบทปฏิบัติการมีองค์ประกอบได้แก่ จุดประสงค์การทดลอง อุปกรณ์และสารเคมี วิธีทำการทดลอง แบบบันทึกรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยชุดคำถามเพื่อประเมินความรู้ที่มีการเรียงลำดับคำถามตามระดับขั้นความสามารถของบลูม (Bloom's Taxonomy) (Smith & Piele, 2006) โดยประกอบไปด้วยคำถามระดับความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ เพื่อปูพื้นฐานความรู้ให้นักเรียนสามารถต่อยอดไปสู่การคิดเชิงระบบได้ สำหรับชุดคำถามท้ายการทดลองเพื่อประเมินทักษะการคิดเชิงระบบนั้นจะเป็นคำถามจากสถานการณ์สมมติ ประกอบไปด้วยคำถาม 4 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับสถานการณ์ (Event) 2) ระดับแบบแผน (Pattern) 3) ระดับโครงสร้าง (Structure) และ 4) ระดับภาพจำลองความคิด (Mental Model) อ้างอิงจากแบบจำลองภูเขาน้ำแข็งกับการคิดเชิงระบบ (Iceberg Model) (ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล, 2560) จากนั้นนำบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาและให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี จำนวน 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา จำนวน 1 ท่าน รวม 3 ท่าน ตรวจสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน โดยให้มีผลการประเมินค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00

5. ปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

## ตอนที่ 2 สร้างแผนการจัดการเรียนรู้

1. สร้างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 5 แผน ๆ ละ 90 นาที รวม 450 นาที โดยศึกษาจากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) คู่มือหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2560) และศึกษาจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาสาระรายวิชาเคมี บทที่ 11 เคมีไฟฟ้า จากหนังสือเรียนเคมี เล่ม 4 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2562) ศึกษาวินิจฉัยเกี่ยวกับตัวผู้เรียน โดยกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ครอบคลุมทั้งด้านความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skills) และความสามารถในการประยุกต์ใช้และความรับผิดชอบ (Application and Responsibility) โดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ จะดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ 5 ชั้น ดังนี้ ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์ เพื่อพิจารณาและอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร

ทำให้มองเห็นทิศทางการสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างระบบจากข้อมูลที่ได้พิจารณาปัญหาในแต่ละขั้นตอน โดยโครงสร้างระบบจะมีลักษณะเป็นวงจรสาเหตุ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ วงจรเสริมแรง (Reinforcement Process) และวงจรปรับสมดุล (Balancing Process) และ ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้ เพื่อให้ได้แนวทางในการแก้ไขปัญหา แล้วแลกเปลี่ยนเรียนรู้กัน (ชานินทร์ อินทรวิเศษ และคณะ, 2563) รวมทั้งออกแบบวิธีการวัดผลและประเมินผลเกณฑ์การประเมินผล และบันทึกหลังการสอน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

2. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น ให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี จำนวน 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา จำนวน 1 ท่าน รวม 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาสาระในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ โดยให้มีผลการประเมินค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00

3. ปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

4. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

#### แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ และทักษะการคิดเชิงระบบ

2. วิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาสาระจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น จากนั้นสร้างตารางวิเคราะห์เนื้อหาและระดับพฤติกรรมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ โดยให้ครอบคลุมทั้งด้านความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skills) และความสามารถในการประยุกต์ใช้และความรับผิดชอบ (Application and Responsibility) ซึ่งในส่วนชุดคำถามเพื่อประเมินความรู้จะเป็นรูปแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ โดยมีคำถามหลายระดับตามระดับขั้นความสามารถของบลูม (Bloom's Taxonomy) (Smith & Piele, 2006) ประกอบไปด้วยคำถามระดับจดจำ เข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ สำหรับชุดคำถามเพื่อประเมินทักษะการคิดเชิงระบบนั้นจะเป็นรูปแบบอัตนัย จำนวน 3 สถานการณ์ ๆ ละ 4 ข้อ และมีโครงสร้างข้อคำถามเรียงลำดับตามทักษะการคิดเชิงระบบทั้ง 4 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับสถานการณ์ (Event) 2) ระดับแบบแผน (Pattern) 3) ระดับโครงสร้าง (Structure) และ 4) ระดับภาพจำลองความคิด (Mental Model) รวมทั้งหมดจำนวน 12 ข้อ อ้างอิงจากแบบจำลองภูเขาน้ำแข็งกับการคิดเชิงระบบ (Iceberg Model) (ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล, 2560) จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี จำนวน 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยี

การศึกษา จำนวน 1 ท่าน รวม 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยให้มีผลการประเมินค่าความเที่ยงตรง เชิงเนื้อหา (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00

3. ปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ
4. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ที่ผ่านการประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาศึกษาปีที่ 6 จำนวน 30 คน จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพของข้อสอบรายข้อ ได้แก่ ค่าอำนาจจำแนก ค่าความยากง่าย ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ด้วยวิธีของคูเตอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson Method) จากสูตร KR-20 และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดทักษะการคิดเชิงระบบ โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach Alpha's Coefficient) ผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือพบว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.42 – 0.93 มีค่าความยากง่ายตั้งแต่ 0.35 – 0.72 มีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ทั้งฉบับ ด้วยวิธีของคูเตอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson Method) จากสูตร KR-20 เท่ากับ 0.91 และมีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดทักษะการคิดเชิงระบบทั้งฉบับ โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach Alpha's Coefficient) เท่ากับ 0.87 (บุริมปรัชญ์ คณินพศุคย์, 2563)
5. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

#### การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบก่อนเรียน (Pretest) ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง
2. ดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ ตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเป็นฐานร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด จำนวน 5 แผน ได้แก่
  - 2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิกิริยาวิคอกซ์
  - 2.2 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง การป้องกันการผุกร่อนของโลหะ
  - 2.3 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า
  - 2.4 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า
  - 2.5 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า

กำหนดการสอน 5 สัปดาห์ ๆ ละ 2 คาบ (90 นาที) รวมทั้งสิ้น 10 คาบ (450 นาที) โดยครูสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนขณะทำการทดลอง การร่วมอภิปรายในชั้นเรียน รวมทั้งการตอบคำถามท้ายการทดลอง แล้วเขียนผลการสังเกตลงในบันทึกหลังการสอนหลังจบการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

3. หลังนักเรียนทำการทดลองด้วยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเสร็จเรียบร้อยแล้วให้นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลองเพื่อประเมินความรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ

4. เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอนในทุกแผนการจัดการเรียนรู้แล้ว ให้ทำการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบหลังเรียน (Posttest)

### การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำผลคะแนนการทดสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน มาคำนวณหาค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean:  $\bar{X}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

2. หาค่าประสิทธิภาพ E1/E2 ของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการวิเคราะห์คะแนนระหว่างเรียนจากการตอบคำถามท้ายการทดลอง การประเมินทักษะและคุณลักษณะ และคะแนนหลังเรียนจากแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ

3. เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้สถิติทดสอบวิลคอกซัน (Wilcoxon Signed Ranks Test) กำหนดด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 29.0.2.0

4. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากบันทึกหลังการสอน

5. นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์และสะท้อนผลการปฏิบัติงานในแต่ละวงจร เพื่อปรับปรุงพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้และแนวทางการปฏิบัติงานในดียิ่งขึ้นในวงจรต่อไป

#### สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

##### 1. สถิติพื้นฐาน

1.1 ร้อยละ (Percentage) กำหนดจากสูตร

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

เมื่อ P คือ ร้อยละ

f คือ ความถี่หรือจำนวนข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

1.2 ค่าเฉลี่ย (Mean:  $\bar{X}$ ) คำนวณจากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$  คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูล

1.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คำนวณจากสูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$  คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูล

1.4 ค่าประสิทธิภาพ E1/E2 (ชัยงค์ พรหมวงศ์, 2556) คำนวณจากสูตร

$$E1 = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ E1 คือ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ

$\sum X$  คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบระหว่างเรียน

N คือ จำนวนข้อมูล

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบทุกชิ้นรวมกัน

$$E2 = \frac{\sum X}{N \cdot B}$$

เมื่อ E2 คือ ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\sum X$  คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบหลังเรียน

N คือ จำนวนข้อมูล

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

## 2. สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพเครื่องมือ (สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ, ม.ป.ป. : ออนไลน์)

2.1 ค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากสูตร

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับเนื้อหา

$\sum R$  คือ ผลรวมของคะแนนจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) ที่ยอมรับได้ ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไป

2.2 ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) คำนวณจากสูตร

$$r_i = P_H - P_L$$

เมื่อ  $r_i$  คือ ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบที่  $i$  มีค่าตั้งแต่ -1.00 ถึง +1.00

$P_H$  คือ สัดส่วนของผู้ตอบถูกข้อนั้นในกลุ่มสูง

$P_L$  คือ สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกข้อนั้นในกลุ่มต่ำ

โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าอำนาจจำแนกที่ยอมรับได้ ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.20

ขึ้นไป

### 2.3 ค่าความยากง่าย (Difficulty) คำนวณจากสูตร

$$P_i = \frac{R_i}{N}$$

เมื่อ  $P_i$  คือ ค่าความยากง่าย

$R_i$  คือ จำนวนผู้ตอบถูกข้อนั้นทั้งหมด

$N$  คือ จำนวนคนที่ทำข้อนั้นทั้งหมด

โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าความยากที่ยอมรับได้ ต้องมีค่าระหว่าง 0.20-0.80

2.4 ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งหมด ด้วยวิธีของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson Method) คำนวณจากสูตร KR-20

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{s^2} \right]$$

เมื่อ  $r_{tt}$  คือ ค่าความเชื่อมั่น

$p$  คือ สัดส่วนของคนที่ทำถูก

$q$  คือ สัดส่วนของคำที่ทำผิด ( $q = 1-p$ )

$s^2$  คือ ค่าความแปรปรวน

$n$  คือ จำนวนคำถาม

โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.71 ขึ้นไป

2.5 ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งหมด โดยวิธีหาสัมประสิทธิ์แอลฟา ( $\alpha$ -Coefficient) ของครอนบาค คำนวณจากสูตร

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left[ 1 - \frac{\sum s}{s^2} \right]$$

เมื่อ  $\alpha$  คือ ค่าความเชื่อมั่น

$s$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$s^2$  คือ ค่าความแปรปรวน

$n$  คือ จำนวนคำถาม

โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.71 ขึ้นไป

### 3. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

3.1 สถิติทดสอบวิลคอกซัน (Wilcoxon Signed Ranks Test) (กัลยา บุญหล้า, น้ำเพชร ยอดแสง, สุริย์รัตน์ แก้วศรีเมือง, 2560)

การทดสอบมีวิธีการ คือ จัดอันดับความแตกต่าง ( $D_i$ ) โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย จากค่าน้อยที่สุดไปหาค่ามากที่สุด ในกรณีที่ผลต่างกรณีที่ผลต่างมีค่าเท่ากันหลายคู่ให้ใช้อันดับเฉลี่ย สำหรับข้อมูลที่มีค่าเท่ากันซึ่งผลต่างจะมีค่าเท่ากับ 0 ให้ตัดทิ้งไปไม่นำมาวิเคราะห์ มีผลทำให้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างลดลง หลังการจัดอันดับเรียบร้อยแล้ว ให้นำเครื่องหมาย + และ - ที่อยู่หน้าผลต่างระหว่างข้อมูล ( $D_i$ ) มากำกับไว้หน้าอันดับนั้น ๆ คำนวณหาค่า  $T^+$  ซึ่งเท่ากับผลรวมของอันดับที่มีเครื่องหมายเป็นบวก ทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า  $T^+$  ตามขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยจะจำแนกตามขนาดตัวอย่าง ดังนี้

กรณีขนาดตัวอย่างมีขนาดเล็ก (มีขนาดน้อยกว่าเท่ากับ 20)

$$T = \min |\sum R_i^+, \sum R_i^-|$$

เมื่อ  $\sum R_i^+$  และ  $\sum R_i^-$  คือ ผลรวมของอันดับของ  $iD$  ที่มีเครื่องหมายบวก และลบ ตามลำดับ

$T$  คือ ค่าของผลรวมของอันดับที่มีค่าน้อยกว่า (ไม่คิดเครื่องหมาย) ระหว่างอันดับที่มีเครื่องหมายบวกและอันดับที่มีเครื่องหมายลบ

เกณฑ์ในการตัดสินใจที่ได้จากการคำนวณจะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  เมื่อค่า  $T$  ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤต  $T$  ที่ได้จากการเปิดตาราง Wilcoxon Matched Pairs Sign-Rank Test กรณีขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ การแจกแจงของ  $T^+$  จะเข้าใกล้การแจกแจงปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ดังนี้

$$\mu_{T^+} = \frac{N(N+1)}{4} \quad \text{และ} \quad \sigma_{T^+}^2 = \frac{N(N+1)(2N+1)}{24}$$

สถิติทดสอบ คือ

$$Z = \frac{T^+ - \mu_{T^+}}{\sqrt{\sigma_{T^+}^2}}$$

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างและหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า 3) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนกับหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 3 ตอน และมีผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ตอน ดังนี้

**ตอนที่ 1 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์**

**ตอนที่ 2 ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า** หลังนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

**ตอนที่ 1 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์**

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 5 แผน โดยแต่ละแผนจะดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วมเป็นฐาน แผนละ 1 บทปฏิบัติการ รวมทั้งสิ้น 5 บทปฏิบัติการ ดังนี้

1. บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วม เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย
2. บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วม เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์
3. บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วม เรื่อง เซลล์กัลวานิก
4. บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วม เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก
5. บทปฏิบัติการเคมีแบบมีส่วนร่วม เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า

บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย

ที่-	ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน				ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน			
	รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)		รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)	
			หน่วยละ	รวม			หน่วยละ	รวม
1	บีคเกอร์ ขนาด 50 mL	4 ใบ	65	260	จานหลุม พลาสติก	1 อัน	40	40
2	กระบอกตวง ขนาด 25 mL	1 อัน	265	265	ขวดหยด พลาสติก ขนาด 10 mL	4 ขวด	5	20
3	แท่งแก้วคน สาร	1 อัน	25	25	ไม้จิ้มฟัน	1 ชิ้น	0.10	0.10
4	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	4 ชิ้น	0.20	0.80	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	2 ชิ้น	0.20	0.40
			รวม	550.80			รวม	60.50

\*ณ วันที่ 1 มีนาคม 2567

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย และสัดส่วนทรัพยากรที่ลดลง

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
3. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) 0.1 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) 0.1 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
5. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)	2 cm × 5 cm	0.5 cm × 1 cm	20 เท่า
6. ต้นทุนของชุดอุปกรณ์	550.80 บาท	60.50 บาท	9.1 เท่า
7. เวลาที่ใช้ในการทดลอง	30 นาที	15 นาที	2 เท่า
		เฉลี่ย	33 เท่า

จากตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทรัพยากรที่ลดลงระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย พบว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีการใช้สารละลายลดลง 50 เท่า ใช้แผ่นโลหะ Zn ลดลง 20 เท่า ต้นทุนของชุดอุปกรณ์ลดลง 9.1 เท่า และเวลาที่ใช้ในการทดลองลดลง 2 เท่า หรืออาจกล่าวได้ว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยาระหว่างโลหะกับสารละลาย สามารถลดการใช้ทรัพยากรโดยรวมเฉลี่ย 33 เท่า เมื่อเทียบกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย

สารละลาย	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น	
	ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน	ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน
$\text{CuSO}_4$	สารละลายสีฟ้าจางลง (สังเกตได้ยาก) เมื่อตั้งไว้เป็นเวลา 2–3 นาที มีของแข็งสีน้ำตาลแดงเกาะบนแผ่นโลหะ Zn ส่วนที่จุ่มในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดงออก พบว่ามีผิวโลหะกร่อนและบางลง	สารละลายสีฟ้าจางลง เมื่อตั้งไว้เป็นเวลาประมาณ 1 นาที แผ่นโลหะ Zn ส่วนที่จุ่มในสารละลายมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น เมื่อเขี่ยเอาของแข็งสีน้ำตาลเข้มออก พบว่ามีผิวโลหะกร่อนและบางลง
$\text{ZnSO}_4$	ไม่เกิดปฏิกิริยา	ไม่เกิดปฏิกิริยา
$\text{NaCl}$	ไม่เกิดปฏิกิริยา	ไม่เกิดปฏิกิริยา
$\text{HCl}$	เกิดฟองแก๊สขึ้นรอบแผ่น โลหะ และผิวโลหะกร่อนและบางลง	เกิดฟองแก๊สขึ้นรอบแผ่น โลหะ และผิวโลหะกร่อนและบางลง

จากตารางที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย พบว่าปฏิบัติการเคมีทั้งสองแบบให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น กรณีจุ่มแผ่นโลหะ Zn ลงในสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ที่ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะสังเกตเห็นสีฟ้าจางลงเร็วกว่าและง่ายกว่า แต่ในปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานจะสังเกตเห็นของแข็งที่มาเกาะบนแผ่น โลหะเป็นสีน้ำตาลแดงของ Cu ชัดเจนกว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์  
 ตารางที่ 4.4 รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมี  
 แบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์

ที่	ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน				ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน			
	รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)		รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)	
			หน่วยละ	รวม			หน่วยละ	รวม
1	หลอดทดลอง ขนาดเล็ก	9 หลอด	30	270	จานหลุม พลาสติก	1 อัน	40	40
2	กระบอกตวง ขนาด 10 mL	1 อัน	195	195	ขวดหยด พลาสติก ขนาด 10 mL	3 ขวด	5	15
3	แท่งแก้วคน สาร	1 อัน	25	25	ไม้จิ้มฟัน	1 ชิ้น	0.10	0.10
4	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	6 แผ่น	0.20	1.20	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	3 แผ่น	0.20	0.60
			รวม	491.20			รวม	55.70

\*ณ วันที่ 1 มีนาคม 2567

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และสัดส่วนทรัพยากรที่ลดลง

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.10 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
3. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.1 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
4. แผ่น โลหะทองแดง (Cu)	0.5 cm × 11 cm	0.5 cm × 1 cm	11 เท่า
6. แผ่น โลหะแมกนีเซียม (Mg)	0.5 cm × 11 cm	0.5 cm × 1 cm	11 เท่า
7. แผ่น โลหะแมกนีเซียม (Zn)	0.5 cm × 11 cm	0.5 cm × 1 cm	11 เท่า
8. ต้นทุนของชุดอุปกรณ์	491.20 บาท	55.70 บาท	8.8 เท่า
9. เวลาที่ใช้ในการทดลอง	30 นาที	15 นาที	2 เท่า
	เฉลี่ย		11.5 เท่า

จากตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทรัพยากรที่ลดลงระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ พบว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีการใช้สารละลายลดลง 20 เท่า ใช้แผ่นโลหะลดลง 11 เท่า ต้นทุนของชุดอุปกรณ์ลดลง 8.8 เท่า และเวลาที่ใช้ในการทดลองลดลง 2 เท่า หรืออาจกล่าวได้ว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ สามารถลดการใช้ทรัพยากรโดยรวมเฉลี่ย 11.5 เท่า เมื่อเทียบกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์

ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน			
สารละลาย โลหะ	CuSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>
Cu	-	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
Zn	มีของแข็งสีน้ำตาลแดงเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดงออก พบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ และสารละลายสีฟ้าจางลง เมื่อตั้งไว้เป็นเวลาประมาณ 2-3 นาที	-	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
Mg	มีของแข็งสีน้ำตาลแดงเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดงออก พบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ และสารละลายมีสีฟ้าแกมเขียว เมื่อตั้งไว้เป็นเวลาประมาณ 2-3 นาที	มีของแข็งสีดำเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีดำออก พบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ	-
ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน			
สารละลาย โลหะ	CuSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>
Cu	-	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

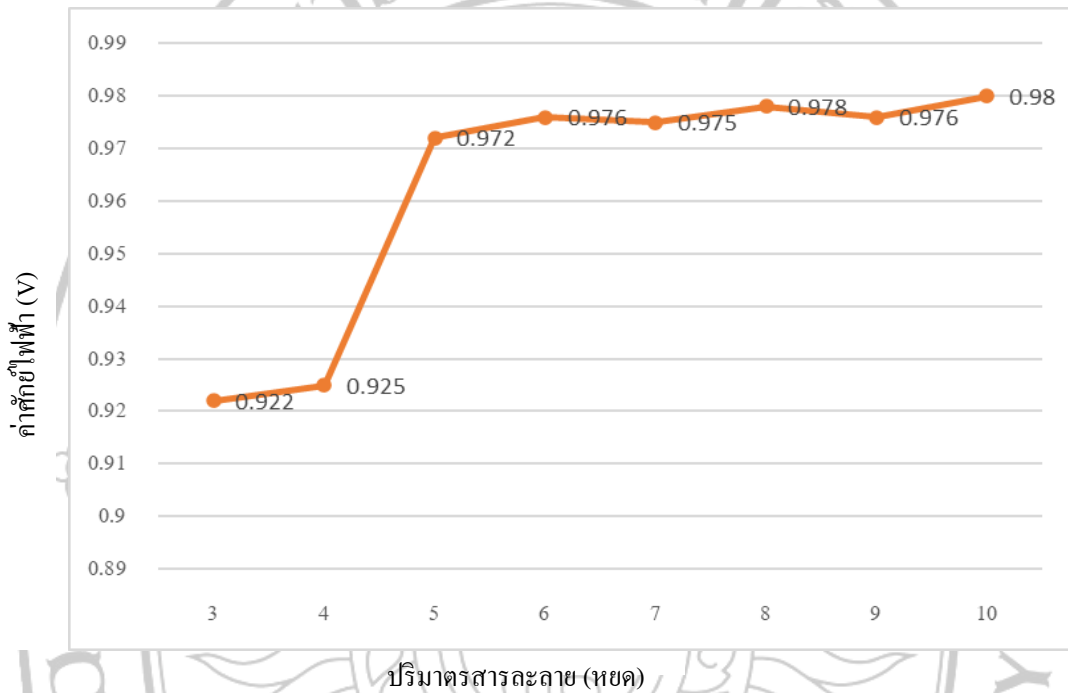
ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน			
สารละลาย โลหะ	$\text{CuSO}_4$	$\text{ZnSO}_4$	$\text{MgSO}_4$
Zn	มีของแข็งสีน้ำตาลเข้มเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย โดยเฉพาะบริเวณขอบแผ่นโลหะ เมื่อเจียของแข็งสีน้ำตาลเข้มออกพบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ และสารละลายมีสีฟ้าจางลง เมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที	-	ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง
Mg	มีของแข็งสีน้ำตาลเข้มเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเจียของแข็งสีน้ำตาลเข้มออกพบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ และสารละลายมีสีฟ้าแกมเขียว เมื่อตั้งไว้เป็นเวลาประมาณ 1 นาที	มีของแข็งสีดำเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเจียของแข็งสีดำออกพบว่าผิวโลหะมีลักษณะขรุขระ	-

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน และปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ พบว่าปฏิบัติการเคมีทั้งสองแบบให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น กรณีจุ่มโลหะ Zn และ Mg ลงในสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ที่ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายได้เร็วกว่าและง่ายกว่า ส่วนกรณีจุ่มโลหะ Mg ในลงสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  จะสังเกตเห็นฟองแก๊สมาเกาะที่โลหะ Mg เหมือนกัน และสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้าแกมเขียวเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เกิดจากการที่โลหะ Mg ทำปฏิกิริยากับน้ำ และเกิดไฮดรอกไซด์ไอออนขึ้น ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{Cu}^{2+}$  เกิดเป็นตะกอนสีเขียวของ  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  ทำให้สามารถสังเกตเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้าแกมเขียวได้ชัดเจนทั้งในปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

### บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองหาปริมาณสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมสำหรับ เซลล์เคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกแบบมาตรฐาน และแบบย่อส่วน ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายอิเล็กโทรไลต์และค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์  $Zn/Zn^{2+} // Cu^{2+}/Cu$

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์  $Zn/Zn^{2+} // Cu^{2+}/Cu$  เริ่มมีค่าคงที่ตั้งแต่ ปริมาณของสารละลายเป็น 5 หยด แต่จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้สารละลายเพียง 5 หยด สารละลายส่วนหนึ่งจะถูกเชื้อกที่ใช้ทำสะพานเกลือดูดซับสารละลายในจานหลุมไป ทำให้พื้นที่ ผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารละลายลดลง ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จึงไม่นิ่ง แต่ถ้าหากใช้ สารละลาย 10 หยด สารละลายจะถูกเชื้อกที่ใช้ทำสะพานเกลือดูดซับไปมากจนเลอะออกมาข้าง นอกหลุมพลาสติก ทั้งยังต้องใช้ความระมัดระวังค่อนข้างมาก เพื่อไม่ให้มือไปโดนจานหลุมจน สารละลายหกเลอะเทอะ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ปริมาณของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ 8 หยด ซึ่งจะ ให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เสถียรและสามารถทำการทดลองได้สะดวก

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ที่	ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน				ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน			
	รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)		รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)	
			หน่วยละ	รวม			หน่วยละ	รวม
1	บีกเกอร์ ขนาด 50 mL	2 ใบ	65	130	จานหลุม พลาสติก	1 อัน	40	40
2	กระบอกตวง ขนาด 25 mL	1 อัน	265	265	ขวดหยด พลาสติก ขนาด 10 mL	3 ขวด	5	15
3	กระดาษ กรอง ขนาด 1x10 cm	1 แผ่น	0.50	0.50	เชือกป่าน ความยาว 2.5 cm	1 เส้น	0.05	0.05
4	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	1 แผ่น	0.20	0.20	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	1 แผ่น	0.20	0.20
			รวม	395.70			รวม	55.25

\*ณ วันที่ 1 มีนาคม 2567

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิกและสัดส่วนทรัพยากรที่ลดลง

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
3. สารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมไนเตรด ( $\text{KNO}_3$ )	5 mL	0.5 mL	10 เท่า
4. แผ่นโลหะทองแดง (Cu)	1.5 cm × 5 cm	0.5 cm × 1.5 cm	10 เท่า
5. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)	1.5 cm × 5 cm	0.5 cm × 1.5 cm	10 เท่า
6. ต้นทุนของชุดอุปกรณ์	395.70 บาท	55.25 บาท	7.2 เท่า
7. เวลาที่ใช้ในการทดลอง	30 นาที	15 นาที	2 เท่า
		เฉลี่ย	19.9 เท่า

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทรัพยากรที่ลดลงระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก พบว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีการใช้สารละลายสำหรับครึ่งเซลล์ลดลง 50 เท่า ใช้สารละลายสำหรับสะพานเกลือลดลง 10 เท่า ใช้แผ่นโลหะ Zn และ Cu ลดลง 10 เท่า ต้นทุนของชุดอุปกรณ์ลดลง 7.2 เท่า และเวลาที่ใช้ในการทดลองลดลง 2 เท่า หรืออาจกล่าวได้ว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิกสามารถลดการใช้ทรัพยากรโดยรวมเฉลี่ย 19.9 เท่า เมื่อเทียบกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก

องค์ประกอบที่สังเกต	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น	
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน
หลอด LED	หลอด LED เปล่งแสงสีเหลืองชัดเจน	หลอด LED เปล่งแสงสีเหลืองชัดเจน
ขั้วโลหะ	แผ่นโลหะ Mg สุกร่อน แผ่นโลหะ Cu มีของแข็งสีน้ำตาลแดงมาเกาะหนาขึ้น	แผ่นโลหะ Mg สุกร่อน แผ่นโลหะ Cu มีของแข็งสีน้ำตาลเข้มมาเกาะหนาขึ้น
สารละลายอิเล็กโทรไลต์	สารละลาย $\text{CuSO}_4$ มีสีฟ้าจางลง (สังเกตได้ยาก) เมื่อปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานประมาณ 4-5 นาที	สารละลาย $\text{CuSO}_4$ มีสีฟ้าจางลงเมื่อปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1-2 นาที

จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก พบว่า ปฏิบัติการเคมีทั้งสองแบบให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น ในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะสังเกตเห็นของแข็งสีน้ำตาลเข้มมาเกาะที่โลหะ Cu หนาขึ้น ไม่ใช่สีน้ำตาลแดงของ Cu ชัดเจนเหมือนปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน และในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะสังเกตเห็นการจางลงของสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ได้เร็วกว่าและง่ายกว่าปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน

บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก

ตารางที่ 4.10 รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก

ที่-	ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน				ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน			
	รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)		รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)	
			หน่วยละ	รวม			หน่วยละ	รวม
1	บีกเกอร์ ขนาด 50 mL	4 ใบ	65	260	จานหลุม พลาสติก	1 อัน	40	40
2	กระบอกตวง ขนาด 25 mL	1 อัน	265	265	ขวดหยด พลาสติก ขนาด 10 mL	4 ขวด	5	20
3	กระดาษ กรอง ขนาด 1x10 cm	6 แผ่น	0.50	3	เชือกป่าน ความยาว 2.5 cm	6 เส้น	0.05	0.30
4	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	4 แผ่น	0.20	0.80	กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm	2 แผ่น	0.20	0.40
			รวม	528.80			รวม	60.70

\*ณ วันที่ 1 มีนาคม 2567

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก และสัดส่วนทรัพยากรที่ลดลง

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
4. สารละลายไอร์รอน(II)ไนเตรด ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
5. สารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมไนเตรด ( $\text{KNO}_3$ )	5 mL	0.5 mL	10 เท่า
6. แผ่นโลหะทองแดง (Cu)	1.5 cm × 5 cm	0.5 cm × 1 cm	15 เท่า
7. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)	1.5 cm × 5 cm	0.5 cm × 1 cm	15 เท่า
8. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg)	1.5 cm × 5 cm	0.5 cm × 1 cm	15 เท่า
9. ต้นทุนของชุดอุปกรณ์	528.80 บาท	60.70 บาท	8.7 เท่า
10. เวลาที่ใช้ในการทดลอง	40 นาที	20 นาที	2 เท่า
		เฉลี่ย	26.6 เท่า

จากตารางที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทรัพยากรที่ลดลงระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก พบว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีการใช้สารละลายสำหรับครึ่งเซลล์ลดลง 50 เท่า ใช้สารละลายสำหรับสะพานเกลือลดลง 10 เท่า ใช้แผ่นโลหะ Zn Cu และ Mg ลดลง 15 เท่า ต้นทุนของชุดอุปกรณ์ลดลง 8.7 เท่า และเวลาที่ใช้ในการทดลองลดลง 2 เท่า หรืออาจกล่าวได้ว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก สามารถลดการใช้ทรัพยากรโดยรวมเฉลี่ย 26.6 เท่า เมื่อเทียบกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า

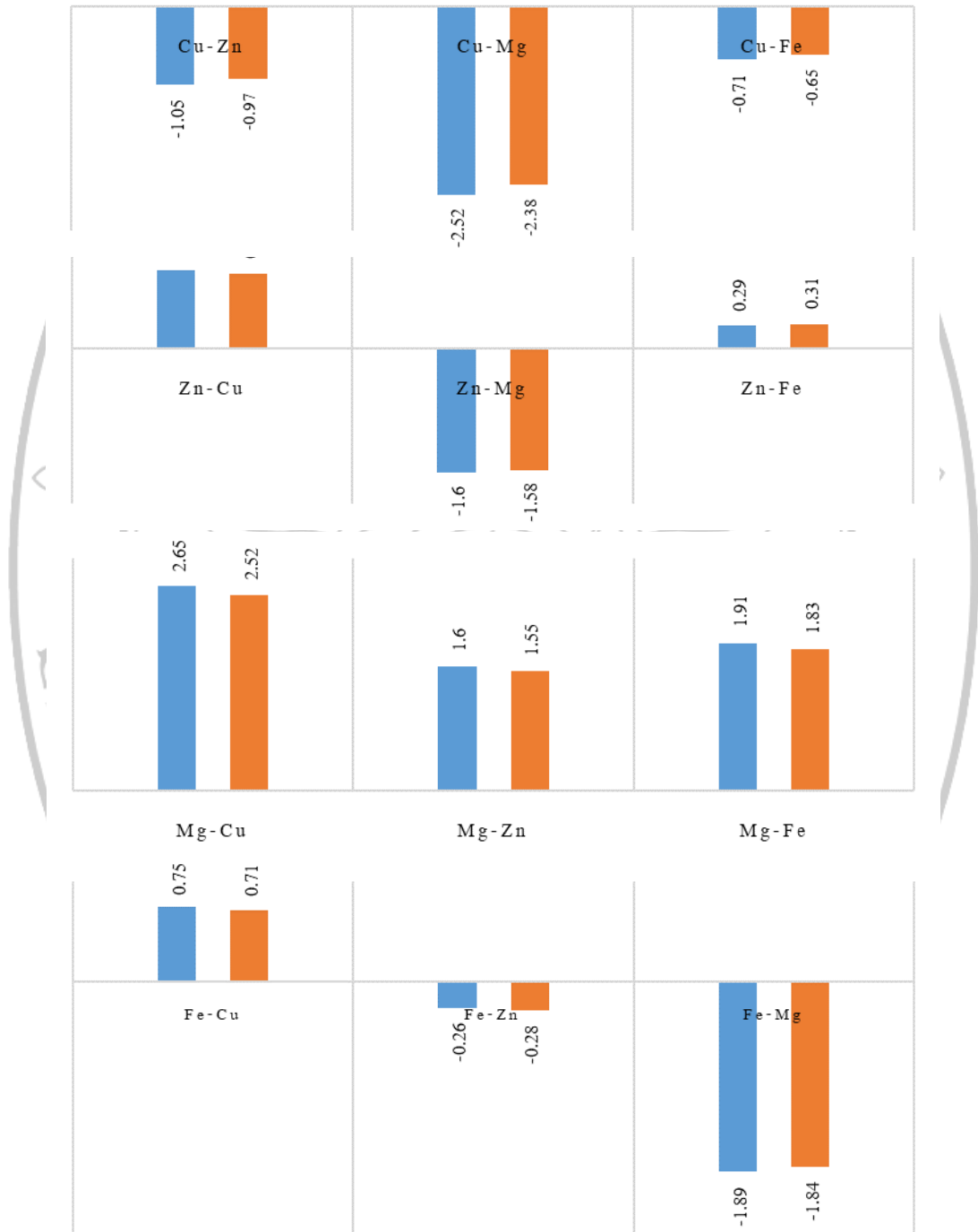
แอโนด แคโทด	Cu/Cu <sup>2+</sup>		%error
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
Cu/Cu <sup>2+</sup>	-	-	-
Zn/Zn <sup>2+</sup>	-1.05 V	-0.97 V	7.62%
Mg/Mg <sup>2+</sup>	-2.52 V	-2.38 V	5.56%
Fe/Fe <sup>2+</sup>	-0.71 V	-0.65 V	8.45%
Cu/Cu <sup>2+</sup>	1.01 V	0.97 V	3.96%
Zn/Zn <sup>2+</sup>	-	-	-
Mg/Mg <sup>2+</sup>	-1.60 V	-1.58 V	1.27%
Fe/Fe <sup>2+</sup>	0.31 V	0.29 V	9.68%
Cu/Cu <sup>2+</sup>	2.65 V	2.52 V	5.97%
Zn/Zn <sup>2+</sup>	1.60 V	1.55 V	3.23%
Mg/Mg <sup>2+</sup>	-	-	-
Fe/Fe <sup>2+</sup>	1.91 V	1.83 V	8.00%
Cu/Cu <sup>2+</sup>	0.75 V	0.71 V	5.33%
Zn/Zn <sup>2+</sup>	-0.28 V	-0.27 V	3.7%
Mg/Mg <sup>2+</sup>	-1.89 V	-1.84 V	2.65%
Fe/Fe <sup>2+</sup>	-	-	-

จากตารางที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีกัลวานิกแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อน (%error) เฉลี่ยเท่ากับ 5.45 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ ไม่เกินร้อยละ 10 (Anne Helmenstine, 2024)

การเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน แสดงดังภาพที่ 4.2

แผนภูมิเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก  
แบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

■ แบบมาตรฐาน ■ แบบย่อส่วน



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

จากภาพที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกแบบมาตรฐานและแบบ  
 ย่อส่วน พบว่า โดยส่วนใหญ่เซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ต่ำกว่าเซลล์  
 กัลวานิกแบบมาตรฐานเล็กน้อย

**บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า**

**ตารางที่ 4.13 รายละเอียดต้นทุนชุดอุปกรณ์ของปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมี  
 แบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า**

ที่-	ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบ มาตรฐาน				ต้นทุนชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน			
	รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)		รายการ	จำนวน	ราคา* (บาท)	
			หน่วยละ	รวม			หน่วยละ	รวม
1	บีกเกอร์ ขนาด 50 mL	2 ใบ	65	130	จานหลุม พลาสติก	1 อัน	40	40
2	กระบอกตวง ขนาด 25 mL	1 อัน	265	265	ขวดหยด พลาสติก ขนาด 10 mL	3 ขวด	5	15
3	กระดาษ กรอง ขนาด 1 cm x10 cm	1 แผ่น	0.50	0.5	เชือกป่าน ความยาว 2.5 cm	1 เส้น	0.05	0.05
			รวม	395.50			รวม	55.05

\*ณ วันที่ 1 มีนาคม 2567

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมี ต้นทุนชุดอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้าและสัดส่วนทรัพยากรที่ลดลง

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.10 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
3. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.1 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
4. แผ่นโลหะทองแดง (Cu)	0.5 cm × 11 cm	0.5 cm × 1 cm	11 เท่า
5. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg)	0.5 cm × 11 cm	0.5 cm × 1 cm	11 เท่า
6. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Zn)	0.5 cm × 11 cm	0.5 cm × 1 cm	11 เท่า
7. ต้นทุนของชุดอุปกรณ์	491.20 บาท	55.70 บาท	8.8 เท่า
8. เวลาที่ใช้ในการทดลอง	30 นาที	15 นาที	2 เท่า
	เฉลี่ย		11.5 เท่า

จากตารางที่ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทรัพยากรที่ลดลงระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า พบว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีการใช้สารละลายสำหรับครึ่งเซลล์ลดลง 50 เท่า ใช้สารละลายสำหรับสะพานเกลือลดลง 10 เท่า ใช้อินดิเคเตอร์ลดลง 3 เท่า ใช้ไส้ดินสอดลดลง 12 เท่า ต้นทุนของชุดอุปกรณ์ลดลง 7.2 เท่า และเวลาที่ใช้ในการทดลองลดลง 3 เท่า หรืออาจกล่าวได้ว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า สามารถลดการใช้ทรัพยากรโดยรวมเฉลี่ย 8.5 เท่า เมื่อเทียบกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า





ขั้วไฟฟ้า	ผลการสังเกต	
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน
ขั้วบวก (แอโนด)	สารละลายมีสีเหลืองน้ำตาล เกิดขึ้น	สารละลายมีสีเหลืองน้ำตาล เกิดขึ้น
ขั้วลบ (แคโทด)	เกิดแก๊สรอบ ๆ ไม้ดินสอด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู	เกิดแก๊สรอบ ๆ ไม้ดินสอด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

จากตารางที่ 4.15 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า พบว่า ปฏิบัติการเคมีทั้งสองแบบให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน



เปรียบเทียบปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนในภาพรวม

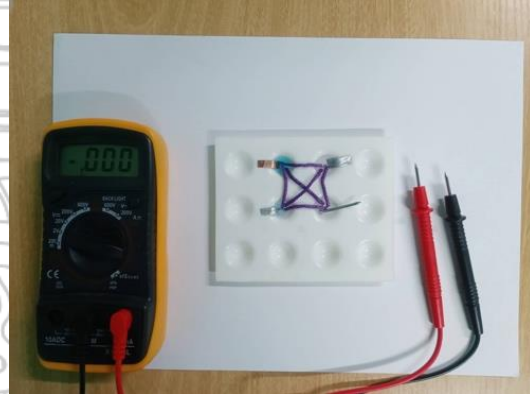
ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบภาพชุดอุปกรณ์ระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

ปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน	ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน
<p>1. ปฏิกริยาระหว่างโลหะกับสารละลาย</p> 	
<p>2. ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์</p> 	

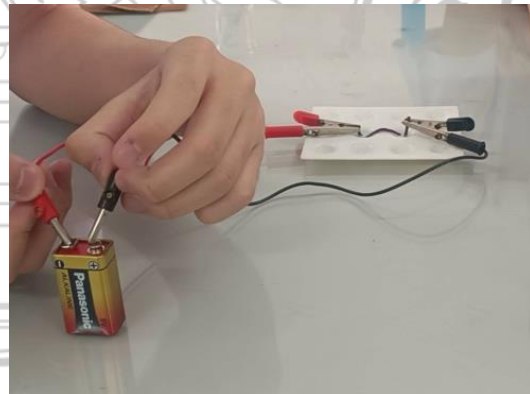
3. เซลล์กัลวานิก



4. การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก



5. การแยกสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า



ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมีระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
3. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) 0.10 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) 0.10 mol/L	25 mL	0.5 mL	50 เท่า
5. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)	2 cm x 5 cm	0.5 cm x 1 cm	20 เท่า
		เฉลี่ย	44 เท่า
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.10 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
3. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L	10 mL	0.5 mL	20 เท่า
4. แผ่นโลหะทองแดง (Cu)	0.5 cm x 11 cm	0.5 cm x 11 cm	11 เท่า
5. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg)	0.5 cm x 11 cm	0.5 cm x 1 cm	11 เท่า
6. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Zn)	0.5 cm x 11 cm	0.5 cm x 1 cm	11 เท่า
		เฉลี่ย	15.5 เท่า

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
3. สารละลายอิมตัวของ โพแทสเซียมไนเตรด ( $\text{KNO}_3$ )	5 mL	0.5 mL	10 เท่า
4. แผ่นโลหะทองแดง (Cu)	1.5 cm x 5 cm	0.5 cm x 1.5 cm	10 เท่า
5. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)	1.5 cm x 5 cm	0.5 cm x 1.5 cm	10 เท่า
		เฉลี่ย	26 เท่า
<b>ปฏิบัติการเคมี เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก</b>			
1. ปริมาตรสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
4. สารละลายไอร์ออน (II) ไนเตรด ( $\text{Fe(NO}_3)_2$ ) 1.0 mol/L	20 mL	0.4 mL	50 เท่า
5. สารละลายอิมตัวของ โพแทสเซียมไนเตรด ( $\text{KNO}_3$ )	5 mL	0.5 mL	10 เท่า
6. แผ่นโลหะทองแดง (Cu)	1.5 cm x 5 cm	0.5 cm x 1.5 cm	15 เท่า
7. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)	1.5 cm x 5 cm	0.5 cm x 1.5 cm	15 เท่า
8. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg)	1.5 cm x 5 cm	0.5 cm x 1 cm	15 เท่า
		เฉลี่ย	31.9 เท่า

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

รายการ	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
<b>ปฏิบัติการเคมี เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า</b>			
1. ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 0.1 mol/L	40 mL	0.8 mL	50 เท่า
2. สารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมไนเตรด (KNO <sub>3</sub> )	5 mL	0.5 mL	10 เท่า
3. ฟีนอล์ฟทาลีน	3 หยด	1 หยด	3 เท่า
4. ไม้คินสอ (C)	2 cm x 120 mm	2 mm x 10 mm	12 เท่า
		เฉลี่ย	18.8 เท่า

จากการเปรียบเทียบปริมาณสารเคมีระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วนทุกปฏิบัติการ พบว่ามีปริมาณสารเคมีลดลงเฉลี่ย 27.2 เท่า

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบต้นทุนชุดอุปกรณ์ระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

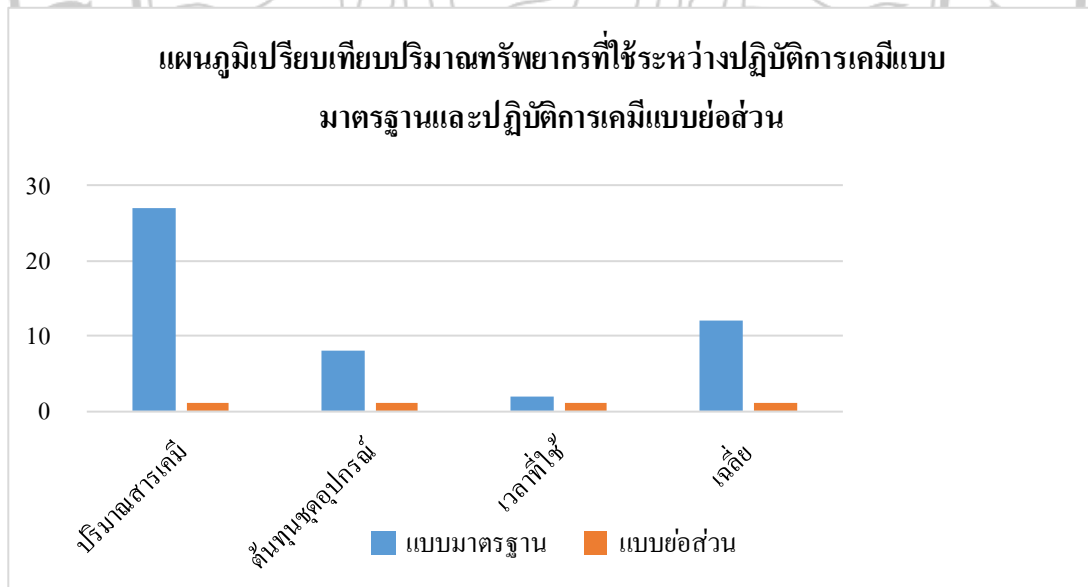
ปฏิบัติการเคมี	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
ปฏิกิริยาระหว่างโลหะและสารละลาย	550.80 บาท	60.50 บาท	9.1 เท่า
ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์	491.20 บาท	55.70 บาท	8.8 เท่า
เซลล์กัลวานิก	395.70 บาท	55.25 บาท	7.2 เท่า
การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก	528.80 บาท	60.70 บาท	8.7 เท่า
การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า	395.50 บาท	55.05 บาท	7.2 เท่า
		เฉลี่ย	8.2 เท่า

จากการเปรียบเทียบต้นทุนชุดอุปกรณ์ระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วนทุกปฏิบัติการ พบว่ามีต้นทุนชุดอุปกรณ์ลดลงเฉลี่ย 8.2 เท่า

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

ปฏิบัติการเคมี	รูปแบบปฏิบัติการเคมี		ทรัพยากรที่ลดลง
	แบบมาตรฐาน	แบบย่อส่วน	
ปฏิบัติการระหว่างโลหะและสารละลาย	30 นาที	15 นาที	2 เท่า
ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์	30 นาที	15 นาที	2 เท่า
การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก	30 นาที	15 นาที	2 เท่า
การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า	40 นาที	20 นาที	2 เท่า
	30 นาที	10 นาที	3 เท่า
		เฉลี่ย	2.2 เท่า

จากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทำการทดลองระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วนทุกปฏิบัติการ พบว่าเวลาที่ใช้ทำการทดลองลดลงเฉลี่ย 2.2 เท่า



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบทรัพยากรที่ใช้ระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน

**ตอนที่ 2 ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง**

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยข้อมูลเชิงปริมาณระหว่างการจัดการเรียนรู้ ได้มาจากคะแนนการตอบคำถามท้ายการทดลอง คะแนนทักษะ และคะแนนคุณลักษณะ ส่วนข้อมูลเชิงปริมาณหลังการจัดการเรียนรู้ ได้มาจากคะแนนแบบทดสอบ วัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ ส่วนข้อมูลเชิงคุณภาพได้มาจากการเก็บข้อมูล ขณะที่ผู้วิจัยได้ทดลองใช้ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนด้วยตนเอง และจากการสังเกตพฤติกรรมของ นักเรียนขณะดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้

**การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ**

**ตารางที่ 4.20 ผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีย่อส่วน ร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า**

ปฏิบัติการที่	คะแนนระหว่างการใช้บทปฏิบัติการ (E1)			คะแนนสอบหลังเรียน (E2)			E1/E2
	เต็ม	เฉลี่ย	ร้อยละ	เต็ม	เฉลี่ย	ร้อยละ	
1	22	18.04	82.00				
2	22	18.17	82.59				
3	22	18.30	83.18				
4	22	17.83	81.05	54	44.52	82.45	81.68/82.45
5	22	17.52	79.64				
<b>เฉลี่ย</b>	<b>22</b>	<b>17.97</b>	<b>81.68</b>				

จากตาราง 4.19 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพ (E1/E2) เท่ากับ 81.68/82.45 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียน  
(คะแนนเต็ม 30 คะแนน)

กลุ่มตัวอย่าง	สถิติ		
	N	$\bar{X}$	S.D.
ก่อนเรียน	23	9.13	1.46
หลังเรียน	23	24.61	2.92
<b>Wilcoxon Signed Ranks Test</b>			
<b>Ranks</b>			<b>Test Statistics</b>
	N	Mean Rank	Sum of Ranks
<b>Posttest – Pretest</b>	<b>Negative Ranks</b>	0	.00
	<b>Positive Ranks</b>	23	12.00
	<b>Ties</b>	0	
	<b>Total</b>	23	
			<b>Z</b>
			<b>Asymp. Sig. (2-tailed)</b>
			<b>Posttest – Pretest</b>
			-4.211
			<.001

\*p < .05

จากตารางที่ 4.20 พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ก่อนเรียนเท่ากับ 9.13 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.46 และค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้หลังเรียนเท่ากับ 24.61 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.92 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยใช้สถิติทดสอบวิลคอกซัน (Wilcoxon Signed Ranks Test) พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2

ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียน (คะแนนเต็ม 24 คะแนน)

กลุ่มตัวอย่าง	สถิติ		
	N	$\bar{X}$	S.D.
ก่อนเรียน	23	9.26	1.84
หลังเรียน	23	19.91	2.63
<b>Wilcoxon Signed Ranks Test</b>			
<b>Ranks</b>			
<b>Test Statistics</b>			
	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Posttest – Pretest	Negative Ranks	0	.00
	Positive Ranks	23	12.00
	Ties	0	
	Total	23	
		Z	Posttest – Pretest
		Asymp. Sig. (2-tailed)	<.001

\*p < .05

จากตารางที่ 4.21 พบว่านักเรียนมีค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบก่อนเรียนเท่ากับ 9.26 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.84 และค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบหลังเรียนเท่ากับ 19.91 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.63 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยใช้สถิติทดสอบวิคอกซัน (Wilcoxon Signed Ranks Test) พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 3

#### การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

##### 1. วิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

จากการทดลองใช้ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เคมีไฟฟ้า ทั้ง 5 ปฏิบัติการพบว่า ทุกปฏิบัติการสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนเทียบเท่ากับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน แต่เนื่องจากปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ มีขนาดเล็ก ขณะทำการทดลองจึงต้องใช้ความระมัดระวังค่อนข้างสูง เพื่อไม่ให้สารละลายที่อยู่ในจานหลุมหกเลอะเทอะ

โดยเฉพาะปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า ที่ต้องหยดสารละลายลงในจานหลุมพลาสติกถึง 4 หลุม และต้องเชื่อมแต่ละหลุมเข้าด้วยกันด้วยเส้นเชือกที่ใช้ทำสะพานเกลือถึง 6 เส้น และสภาพพื้นที่ที่ใช้ทำการทดลองจำเป็นต้องมีแสงสว่างเพียงพอ เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ง่าย เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้มีน้อยลง จึงอาจทำให้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ หรือการเก็บตัวอย่าง เช่น ตะกอน ทำได้ยากกว่าปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน

## 2. วิเคราะห์ข้อมูลจากบันทึกหลังการสอนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

### 2.1 พฤติกรรมของนักเรียนขณะดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ จากกรดำเนินการกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการคิดเชิงระบบ 5 ขั้น (ชานินทร์ อินทวิเศษ และคณะ, 2563) ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา พบว่า นักเรียนสามารถระบุปัญหาได้ดี และมีความรู้สึกร่วมกับปัญหาหรือสถานการณ์ที่ครูยกมาอภิปราย ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา พบว่านักเรียนสามารถบอกตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหาได้ โดยอาศัยความรู้ที่มีอยู่เดิม ความรู้จากการอธิบายของครู และความรู้ที่ได้จากการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน แล้วเชื่อมโยงองค์ความรู้ทั้งหมดเข้ากับผลการทดลองในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ทั้งนี้พบว่า นักเรียนบางส่วนยังขาดความรู้พื้นฐานสำหรับการเรียนรู้เรื่อง เคมีไฟฟ้า เช่น การหาเลขออกซิเดชันของธาตุ การแตกตัวของสารประกอบไอออนิก เป็นต้น ครูจึงจำเป็นต้องทบทวนเนื้อหาให้แก่ นักเรียนที่มีปัญหาดังกล่าวด้วย ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์ พบว่า ครูมีบทบาทสำคัญในการขยายความรู้ให้แก่ นักเรียน เนื่องจากประสบการณ์ของนักเรียนยังมีน้อย อาจมองไม่เห็นปัจจัยที่ซ่อนอยู่ภายในระบบ ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างระบบจากข้อมูลที่ได้พิจารณาปัญหาในแต่ละขั้นตอน ในขั้นนี้ นักเรียนจะต้องตอบคำถามท้ายการทดลองเพื่อปะติดปะต่อองค์ความรู้ทั้งหมด ในส่วนชุดคำถามเพื่อประเมินความรู้จะมีการเรียงลำดับคำถามตามระดับขั้นความสามารถของบลูม (Bloom's Taxonomy) (Smith & Piele, 2006) ซึ่งประกอบไปด้วยคำถามระดับความจำ ความเข้าใจการนำไปใช้ และการวิเคราะห์ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถตอบคำถามในระดับความจำและความเข้าใจได้ดี แต่คำถามในระดับการนำไปใช้และการวิเคราะห์ พบว่านักเรียนบางส่วนตอบคำถามไม่ครบถ้วน เนื่องจากนักเรียนขาดความรู้รอบตัวหรือขาดประสบการณ์ในเรื่องดังกล่าว สำหรับชุดคำถามเพื่อประเมินทักษะการคิดเชิงระบบนั้น ประกอบไปด้วยคำถาม 4 ระดับ ได้แก่ ระดับเหตุการณ์ ระดับแบบแผนพฤติกรรม ระดับ โครงสร้างระบบ และระดับภาพจำลองความคิด อ้างอิงจากแบบจำลองภูเขาน้ำแข็งกับการคิดเชิงระบบ (Iceberg Model) (ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และสมยศ ชิดมงคล, 2560) พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถระบุปัญหาจากสถานการณ์ได้ถูกต้อง (ระดับเหตุการณ์) แต่ในบางสถานการณ์มีปัญหาก็เกี่ยวข้องกันหลายปัญหา ทำให้นักเรียนสับสนว่าอะไร

เป็นปัญหาหลักและอะไรเป็นปัญหารอง นักเรียนบางส่วนจึงมีปัญหามือต้องวิเคราะห์โครงสร้างของระบบและสร้างแบบจำลองความคิด อย่างไรก็ตาม ในการจัดการเรียนรู้ในช่วงแรก นักเรียนยังไม่ค่อยเข้าใจคำถามหรือไม่แน่ใจว่าจะต้องตอบคำถามอย่างไร โดยเฉพาะในส่วนของคำถามเพื่อวัดทักษะการคิดเชิงระบบ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการที่นักเรียนไม่คุ้นชินกับลักษณะข้อสอบหรือไม่มีความประสพการณ์ในการทำข้อสอบลักษณะนี้ ครูจึงจำเป็นต้องยกตัวอย่างสถานการณ์ขึ้นมาเพื่อตอบคำถามด้านการคิดเชิงระบบในแต่ละระดับ เพื่อให้ นักเรียนเห็นภาพก่อน จึงจะสามารถปล่อยให้นักเรียนตอบคำถามทำการทดลองได้ด้วยตนเอง ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้ ในขั้นนี้ครูมีบทบาทสำคัญในการนำอภิปรายเพื่อให้ได้แนวทางในการแก้ไขปัญหา แล้วแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันพบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถสรุปผลข้อมูลและบอกแนวทางการแก้ปัญหาได้ถูกต้องตามหลักวิชาการ และพบว่านักเรียนบางคนมีแนวทางการแก้ปัญหาที่สร้างสรรค์ แปลกใหม่ เช่น ในการอภิปรายเกี่ยวกับสถานการณ์ที่ทำให้สายกีตาร์เกิดสนิมง่าย นักเรียนเลขที่ 2 เสนอว่า “อาจเป็นเพราะร้านกีตาร์เอาสายปลอมมาขายก็ได้ครับครู” และนักเรียนเลขที่ 10 เสนอว่า “หรือว่าน้ำยาเคลือบสายที่ร้านแถมมามีส่วนผสมของน้ำหรือเปล่าคะ” ซึ่งถือเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นได้ในชีวิตจริง และสามารถนำมาอภิปรายเพื่อหาทางแก้ไขร่วมกันต่อไป

**2.2 พฤติกรรมของนักเรียนขณะทำการทดลอง** พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ให้ความร่วมมือกับกิจกรรมการเรียนรู้ดีมาก นักเรียนมีความกระตือรือร้น สนุกสนาน และให้ความสนใจในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน แต่เนื่องจากปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ มีขนาดเล็ก นักเรียนบางคนอาจหยดสารละลายมากเกินไป หรือหยิบจับโลหะและสะพานเกลืออย่างไม่ระมัดระวัง ทำให้สารละลายเลอะออกมานอกจานหลุมจนสารละลายแต่ละหลุมผสมกัน ส่งผลให้อาจแปลผลการทดลองผิดพลาดได้ ครูจึงจำเป็นต้องกำชับนักเรียนให้ทำการทดลองด้วยความระมัดระวังมากเป็นพิเศษ ส่วนการจัดแผ่นโลหะด้วยกระดาษทรายนั้น นักเรียนบางคนทำได้ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากแผ่นโลหะมีขนาดเล็ก โดยนักเรียนบางคนใช้มือข้างหนึ่งจับกระดาษทรายหรือวางกระดาษทรายลงบนโต๊ะ และใช้มืออีกข้างหนึ่งจับแผ่นโลหะแล้วถูไปมาบนกระดาษทรายวิธีนี้นอกจากจะใช้เวลาในการขัดนานแล้ว ยังอาจทำให้เล็บถูกกระดาษทรายขีดข่วนได้ ครูควรแนะนำให้ นักเรียนใช้กระดาษทรายสองแผ่น โดยเอาด้านหยาบทั้งสองประกบกับแผ่นโลหะ แล้วถูกระดาษทรายทั้งสองแผ่นไปมา หรือวางกระดาษทรายแผ่นหนึ่งไว้บนโต๊ะ แล้ววางแผ่นโลหะลงไป จากนั้นนำกระดาษทรายอีกแผ่นมาประกบแล้วถูแผ่นโลหะไปมา วิธีนี้จะทำให้สามารถขัดแผ่นโลหะได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำให้เล็บมีรอยขีดข่วนจากกระดาษทรายอีกด้วย นอกจากนี้บางบทปฏิบัติการจำเป็นต้องทำในห้องปฏิบัติการ แต่ห้องปฏิบัติการมีแสงสว่างค่อนข้างน้อย นักเรียนจึงจำเป็นต้องใช้แสงจากไฟแฟลชโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้สังเกตผลการทดลองให้ชัดเจนยิ่งขึ้น



ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงอุปกรณ์ของนักเรียนขณะทำการทดลองบางส่วน



## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อด่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 นั้น มีจุดวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อด่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อด่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
3. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อด่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถสรุปผลการวิจัย ดังนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อด่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก และมีประสิทธิภาพ (E1/E2) เท่ากับ 81.68/82.45 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80
2. นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีทักษะการคิดเชิงระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## อภิปรายผล

การอภิปรายผล นำเสนอเป็น 2 ตอน ดังนี้

### ตอนที่ 1 อภิปรายผลการทดลองในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ในการวิจัยนี้ มีการออกแบบบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนทั้งหมด 5 บทปฏิบัติการ ดังนี้

1. บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย
2. บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์

ออกซิไดส์

3. บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก
4. บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก
5. บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า

เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงคุณภาพ พบว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนทุกปฏิบัติการ ให้ผลการทดลองเชิงคุณภาพไม่แตกต่างจากปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัย ได้พัฒนาชุดปฏิบัติการตามหลักการออกแบบปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน คือมีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ต้นทุนต่ำ สามารถนำมาใช้ซ้ำได้ คำนึงถึงความปลอดภัยขณะใช้งาน และลดปริมาณสารเคมี เพื่อลดปริมาณของเสียและประหยัดเวลาในการทดลอง แต่ทั้งนี้จะต้องให้ผลการทดลองในระดับที่ยอมรับได้ และยังคงสาระสำคัญเอาไว้ครบถ้วน (Chemical Society of Thailand, 2020) จากการเปรียบเทียบผลการทดลองเชิงคุณภาพระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนในแต่ละปฏิบัติการอย่างละเอียด พบว่าการเปลี่ยนแปลงของโลหะที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะสังเกตได้ยากกว่าในปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยาน้อยลง จึงทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะและสารละลายเกิดขึ้นน้อยกว่าในปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน ในทางตรงกันข้าม การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจะสังเกตได้ง่ายกว่าในปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีปริมาณสารละลายน้อยลงมาก เมื่อไอออนในสารละลายเกิดปฏิกิริยาจึงลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว ทำให้สังเกตเห็นการเปลี่ยนสีได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งถือเป็นข้อดีอย่างหนึ่งของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เพราะสามารถช่วยลดเวลาในการทำการทดลองลงได้ อีกทั้งปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนนี้นักเรียนสามารถเตรียมวัสดุอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองได้อย่างรวดเร็ว เช่น การขัดโลหะด้วยกระดาษทรายก็สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว เพราะโลหะมีขนาดเล็กลงมากเมื่อเทียบกับปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐาน การเตรียมสารละลายก็สามารถทำได้ง่ายเพียงแค่นำสารละลายลงไปในงานหลุมพลาสติกเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องใช้กระบอกตวงให้ยุ่งยาก รวมทั้งขั้นตอนการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นก็สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว

ด้วยเหตุผลดังกล่าวปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนจึงช่วยลดเวลาในการทดลองได้อย่างน้อย 2-3 เท่า นักเรียนจึงมีเวลาอภิปรายเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับศักดิ์ศรี สุภษร และคณะ (2560) ที่ได้พัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมดิวติวิทยาศาสตร์และการปรับแก้โมดิวติ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้น สามารถลดเวลาทำการทดลองลงได้ 1.5-3 เท่า และนักเรียนมีเวลาอภิปรายเพิ่มมากขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงปริมาณ โดยการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก ระหว่างปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานและแบบย่อส่วน พบว่าโดยส่วนใหญ่เซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนจะให้ค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเซลล์กัลวานิกแบบมาตรฐานเล็กน้อย โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.45 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้คือไม่เกินร้อยละ 10 (Anne Helmenstine, 2024) ทั้งนี้อาจเนื่องจากในเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างขั้วโลหะและสารละลายน้อย จึงทำให้มีความต้านทานภายในเซลล์สูงขึ้น ส่งผลให้การถ่ายโอนอิเล็กตรอนเกิดได้ยากขึ้น ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จึงลดลงเมื่อเทียบกับเซลล์กัลวานิกแบบมาตรฐาน (Bard & Faulkner, 2000)

จากสมการของเนินสต์ (วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2563)

$$E_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cell}} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

เมื่อ	$E_{\text{cell}}$	คือ	ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (V)
	$E^{\circ}_{\text{cell}}$	คือ	ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ (V)
	R	คือ	ค่าคงที่ของแก๊ส ( $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )
	T	คือ	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
	n	คือ	จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา
	F	คือ	เลขฟาราเดย์ ( $96,493 \text{ C}$ )
	Q	คือ	ผลหารปฏิกิริยา (Reaction Quotient)

โดยที่ Q หรือผลหารปฏิกิริยา (Reaction Quotient) มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสัมประสิทธิ์

เมื่อพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ จากสมการของเนินสต์จะพบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขณะทำการทดลอง รวมทั้งความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์และสาร

ตั้งต้นด้วย ดังนั้นจึงอาจทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองไม่ตรงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ บวกกับความต้านทานภายในเซลล์ ความบริสุทธิ์ของโลหะและสารเคมีต่าง ๆ ความเที่ยงตรง และความแม่นยำของเครื่องมือวัด รวมถึงปัจจัยมนุษย์ซึ่งก็คือตัวผู้ทำการทดลองเอง เหล่านี้ล้วนส่งผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกทั้งสิ้น สอดคล้องกับ Angeles-Macalalad (2013) ที่ได้วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามครูอาสาสมัครจำนวน 39 คน หลังใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน พบว่า การใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนให้มีความเที่ยงและความแม่นยำนั้นค่อนข้างทำได้ยาก รวมทั้งการเก็บตัวอย่าง เช่น ตะกอน ก็ทำได้ยากเช่นกัน และมีโอกาสที่สารเคมีจะเกิดการปนเปื้อนจนแปลผลผิดพลาดได้ ดังนั้นการทำการทดลองในเชิงปริมาณยังคงต้องมีการพัฒนาต่อไป แต่ในเชิงคุณภาพสามารถใช้ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนทดแทนปฏิบัติการเคมีแบบมาตรฐานได้

**ตอนที่ 2 อภิปรายผลหลังนำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง**

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก และมีประสิทธิภาพ (E1/E2) เท่ากับ 81.68/82.45 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการขึ้นมาโดยอ้างอิงเนื้อหาสาระตามผลการเรียนรู้และวิธีการทดลองจากหนังสือเรียนวิชาเคมี เล่มที่ 4 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2562) แต่ได้ย่อขนาดของการทดลองลงตามหลักการออกแบบปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน จึงทำให้นักเรียนใช้เวลาในการทำการทดลองน้อยลง แต่ยังคงสาระสำคัญเอาไว้ได้เทียบเท่ากับการทดลองด้วยชุดปฏิบัติการมาตรฐาน นักเรียนและครูจึงมีเวลาเหลือเพื่อใช้ในการอภิปรายประเด็นต่าง ๆ มากขึ้น อีกทั้งครูสามารถเตรียมชุดการทดลองได้หลายชุด จึงทำให้มีนักเรียนต่อกลุ่มน้อยลง นักเรียนจึงมีปฏิสัมพันธ์ภายในกลุ่มมากขึ้น สามารถทำการทดลองซ้ำได้ง่าย และมีโอกาสได้ลงมือทำด้วยตนเอง เพื่อฝึกฝนทักษะที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง นอกจากนี้ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ได้รับการแนะนำและปรับปรุงแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญหลายท่านจนได้แผนการจัดการเรียนรู้ที่มีคุณภาพ โดยได้มีการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดเชิงระบบ 5 ชั้น (ชานินทร์ อินทวิเศษ และคณะ, 2563) ดังนี้ ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา โดยผู้วิจัยได้เลือกประเด็นปัญหาที่ใกล้ตัวนักเรียนและเข้ากับบริบทสังคมในปัจจุบัน เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจใคร่รู้ ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา ในขั้นนี้ครูจะอธิบายความรู้พื้นฐานที่นักเรียนควรทราบเกี่ยวกับปัญหา จากนั้นนักเรียนจะได้ลงมือทำการทดลองด้วยชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในองค์ความรู้เบื้องต้น

ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์ ในขั้นนี้นักเรียนและครูจะได้ร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับพฤติกรรมของระบบที่เปลี่ยนไปในแต่ละสถานการณ์ เช่น ลักษณะของระบบในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อระบบทั้งทางตรงและทางอ้อม ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างระบบจากข้อมูลที่ได้จากการพิจารณาปัญหาในแต่ละขั้นตอน ในขั้นนี้นักเรียนจะต้องตอบคำถามท้ายการทดลอง ทั้งส่วนที่เป็นความรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ ซึ่งในส่วนชุดคำถามเพื่อประเมินความรู้ จะมีการเรียงลำดับคำถามตามระดับขั้นความสามารถของบลูม (Bloom's Taxonomy) (Smith & Piele, 2006) โดยประกอบไปด้วยคำถามระดับความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ เพื่อปูพื้นฐานความรู้ให้นักเรียนสามารถต่อยอดไปสู่การคิดเชิงระบบได้ สำหรับชุดคำถามเพื่อประเมินทักษะการคิดเชิงระบบนั้น ประกอบไปด้วยคำถาม 4 ระดับ ได้แก่ ระดับเหตุการณ์ ระดับแบบแผนพฤติกรรม ระดับโครงสร้างระบบ และระดับภาพจำลองความคิด อ้างอิงจากแบบจำลองภูเขาน้ำแข็งกับการคิดเชิงระบบ (Iceberg Model) (ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล, 2560) โดยในระดับภาพจำลองความคิด นักเรียนจะได้สร้างแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้ เพื่อให้ได้แนวทางในการแก้ไขปัญหาแล้วแลกเปลี่ยนเรียนรู้กัน จากการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดเชิงระบบดังกล่าว ร่วมกับการใช้ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน จึงทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีมากขึ้น และสามารถใช้พัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดเชิงระบบ ผ่านการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนและการตอบคำถามท้ายการทดลอง ซึ่งเป็นคำถามจากสถานการณ์ในชีวิตจริง จึงช่วยกระตุ้นความสนใจ และทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับ Mahaffy et al. (2018) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการคิดเชิงระบบในรูปแบบ STEM โดยใช้บริบทโลกและสังคมเป็นฐาน จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีได้ดีขึ้น เพราะมีการเชื่อมโยงเนื้อหาวิชาเข้าสู่ชีวิตจริงหรือเรื่องใกล้ตัวของนักเรียน และมีการใช้ความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาซึ่งสอดคล้องกับการแก้ปัญหาในชีวิตจริง

2. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียนพบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนผลลัพธ์การเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับสุภาพ ตามเมือง และคณะ (2559) จากการพัฒนาชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง สมดุลเคมี พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน สามารถทำให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงความเข้าใจและมีมโนคติที่สอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์มากขึ้น อีกทั้งยังทำให้นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีในทางบวกมากขึ้นอีกด้วย เช่นเดียวกับ พิชมณต์ สีนประเสริฐรัตน์ และคณะ (2562) ที่พบว่า นักเรียนที่ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุด

ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง กรด-เบส มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และญาติ เชื้อเมืองพาน และคณะ (2564) ที่พบว่า นักเรียนที่ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ระดับดี ทั้งนี้ เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเป็นฐานนั้น เน้นให้นักเรียนได้ลงมือทำการทดลองด้วยตนเอง ซึ่งถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมี เนื่องจากวิชาเคมีเป็นวิชาที่ศึกษาพฤติกรรมของสารในระดับโมเลกุล จึงยากต่อการจินตนาการให้เห็นภาพ ทำให้นักเรียนหลายคนเรียนไม่เข้าใจและเกิดความรู้สึกล้มใจต่อวิชาเคมีในที่สุด การที่นักเรียนทำการทดลองจะทำให้นักเรียนมองเห็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และจดจำเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้การทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ยังสอดคล้องกับปรัชญาพัฒนาการนิยม (Progressivism) ที่ให้ความสนใจต่อการปฏิบัติหรือลงมือทำ นักเรียนจะได้รับประสบการณ์และใช้กระบวนการแก้ปัญหาด้วยตนเอง โดยจอห์น ดิวอี้ (John Dewey) นักการศึกษาที่เชื่อในปรัชญา พัฒนาการนิยมเชื่อว่า มนุษย์จะต้องมีปรับตัวเพื่อให้มีชีวิตอยู่รอด เนื่องจากมนุษย์ต้องเผชิญปัญหา การจัดการเรียนรู้จึงจำเป็นต้องให้นักเรียนเผชิญกับปัญหา เพื่อให้เกิดการเรียนรู้จากการลงมือทำ (Margolis, 2007)

3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียน พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดเชิงระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้ดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดเชิงระบบ 5 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา ซึ่งเป็นขั้นตอนที่กระตุ้นให้นักเรียนทำความเข้าใจปัญหาหรือสถานการณ์ที่พบเจอ นักเรียนจะได้ระดมความคิดและอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับปัญหาที่กำลังเผชิญอยู่ ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา ทำให้นักเรียนสามารถระบุปัจจัยหรือตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และอธิบายลักษณะของตัวแปรได้ ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์ ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้เพิ่มขึ้น ได้ว่ามีปัจจัยใดที่ซ่อนอยู่บ้าง ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในปัญหาหรือสถานการณ์ที่พบเจอได้ชัดเจนขึ้น ดังนั้น ครูจำเป็นต้องศึกษาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของระบบให้รอบด้าน เช่น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ภาวะโลกร้อน กฎหมายหรือนโยบายของรัฐบาลที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น เพื่อให้นักเรียนพิจารณาและอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร ทำให้มองเห็นทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างระบบจากข้อมูลที่ ได้จากการพิจารณาปัญหาในแต่ละขั้นตอน โดยหลังจากที่นักเรียนได้รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว นักเรียนจะได้สร้างโครงสร้างของ

ระบบเป็นแผนผังวงจรสาเหตุที่แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงและปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกิดขึ้น โดยแผนผังวงจรสาเหตุจะมี 2 ลักษณะ คือ วงจรเสริมกำลัง (Reinforcing Loop) และวงจรปรับสมดุล (Balancing Loop) ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้ เพื่อให้ได้แนวทางในการแก้ไขปัญหาแล้ว แลกเปลี่ยนเรียนรู้กัน จะเห็นได้ว่าการที่นักเรียนจะวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบ ลำดับความสำคัญของปัญหา รวมถึงเขียนโครงสร้างของระบบได้นั้น นักเรียนจำเป็นต้องผ่านการเรียนรู้ขั้นพื้นฐานก่อน ได้แก่ ความจำ ความเข้าใจ และการนำไปใช้ เพื่อให้สามารถต่อยอดสู่การเรียนรู้ขั้นสูง ได้แก่ การวิเคราะห์ การประเมินค่า และการสังเคราะห์ (Smith & Piele, 2007) นักเรียนจึงจะสามารถเขียน โครงสร้างและอธิบายพฤติกรรมของระบบได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว จึงช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในปัญหา ขอบเขตองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง และช่วยพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนให้มากขึ้นได้ รวมไปถึงการขยายขอบเขตในการคิด ไปสู่มุมมองใหม่ ๆ (ชานินทร์ อินทวิเศษ และคนอื่น ๆ, 2563) ซึ่งรูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าว สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบของฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล (2560) ที่ได้สรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เป็นหลักสำคัญในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบไว้ 4 ขั้น ดังนี้ ขั้นที่ 1 ระบุประเด็นปัญหา เพื่อให้นักเรียนได้เผชิญกับสถานการณ์ที่ท้าทาย กระตุ้นให้เกิดการคิดและใช้ทักษะการคิดเชิงระบบเพื่อแก้ปัญหา ขั้นที่ 2 การรวบรวมข้อมูลและศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เพื่อจัดหมวดหมู่และกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ทำให้นักเรียนมองเห็นทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ขั้นที่ 3 การพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของปัจจัยหรือตัวแปรต่าง ๆ ด้วยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ และสร้างวงจรป้อนกลับ ทำให้นักเรียนมองเห็นแบบแผนของพฤติกรรมและภาพรวมของระบบ ขั้นที่ 4 การสร้างสรรค์แผนการแก้ปัญหาและพิจารณาความเป็นไปได้ ทำให้นักเรียนมองเห็นปัญหาแบบองค์รวม และเข้าใจปัญหาอย่างแท้จริง ไม่ใช่เพียงแต่การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า นอกจากนี้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเป็นฐาน จะช่วยให้นักเรียนทำการทดลองเสร็จเร็วขึ้น นักเรียนและครูจึงมีเวลาเหลือสำหรับการอภิปรายเพื่อเสริมความเข้าใจและพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบได้มากขึ้น อีกทั้งนักเรียนสามารถทำการทดลองได้ง่าย รู้สึกสนุกและตื่นเต้นที่ได้ลงมือทำการทดลอง สอดคล้องกับ Mafumiko (2008) ที่พบว่า ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนช่วยให้นักเรียนรู้สึกตื่นเต้น สนุกสนาน นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์ภายในกลุ่มมากขึ้น รวมทั้งมีเวลาในการอภิปรายร่วมกับเพื่อนและครูมากขึ้น ส่งผลให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวจึงมีส่วนช่วยพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนให้ดีขึ้นได้

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการอภิปรายของนักเรียนในภาพรวม พบว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจปัญหาทางเคมีได้ดีขึ้น เนื่องจากนักเรียนสามารถเข้าใจปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมของระบบ สามารถวิเคราะห์ความซับซ้อนของระบบได้ดีขึ้น มีมุมมองการแก้ปัญหาแบบองค์รวมที่ไม่ใช่เพียงแก้ปัญหาทางเคมี แต่ยังรวมถึงปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ และปัญหาทางสังคมที่เกี่ยวข้อง สามารถพิจารณาพฤติกรรมของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา สามารถมองย้อนกลับและทำนายพฤติกรรมของระบบได้ (Tumay, 2023) และนักเรียนยังมีทักษะการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมที่ดีขึ้น เช่น การควบคุมปัจจัยการผลิต การลดปริมาณของเสีย การลดต้นทุนการผลิต เป็นต้น สอดคล้องกับ Constable et al. (2019) และ Mahaffy et al. (2018) ที่พบว่า การคิดเชิงระบบจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีได้ดีขึ้นและหลายมิติ เพราะมีการเชื่อมโยงเนื้อหาวิชาเคมีเข้าสู่ชีวิตจริงหรือเรื่องใกล้ตัวของนักเรียน มีการใช้ความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาซึ่งสอดคล้องกับการแก้ปัญหาในชีวิตจริง ทำให้นักเรียนเห็นคุณค่าของวิชาเคมีมากยิ่งขึ้น และนำไปสู่การสร้างสังคมแห่งการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่ผู้วิจัยได้อาศัยกรอบการทำงานสำหรับการออกแบบการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ (Mahaffy et al., 2018) โดยได้แบ่งกรอบการทำงานออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบการเรียนการสอนวิชาเคมี ระบบผู้เรียน และระบบของบริบทโลกและสังคม ดังนี้

1. ระบบการเรียนการสอนวิชาเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์หลักสูตร แผนการจัดการเรียนรู้ รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ เทคนิคการสอน ระบบการวัดผลประเมินผล เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล และสื่อการเรียนการสอน
2. ระบบผู้เรียน ได้แก่ ทฤษฎีการเรียนรู้และพัฒนาการ จิตวิทยาการเรียนรู้ การเข้าใจนักเรียนรายบุคคล การจัดการเรียนรู้แบบเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ
3. ระบบของบริบทโลกและสังคม ได้แก่ ปัญหาของโลกและสังคมในปัจจุบันที่สามารถนำองค์ความรู้ทางด้านเคมีไปใช้แก้ปัญหาได้ เช่น ปัญหาแก๊สเรือนกระจก ปัญหาฝนกรด ปัญหาน้ำเน่าเสีย เป็นต้น

สอดคล้องกับ York & Orgill (2020) ที่ได้นำเสนอเครื่องมือสำหรับการออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบในวิชาเคมีไว้ว่า ควรประกอบไปด้วย 1) การมองระบบแบบองค์รวม (System as Whole) 2) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละส่วนย่อย (Relation between Parts) 3) การหาตัวแปรแห่งสาเหตุ (Causal Variables) 4) การศึกษาพฤติกรรมภายใต้ช่วงเวลา (Behavior over Time) และ 5) การศึกษาปฏิสัมพันธ์ของระบบกับสิ่งแวดล้อม (Interactions with Environment) ซึ่งการจัดการเรียนรู้ด้วยกรอบการทำงานดังกล่าว จะช่วยให้นักเรียนสามารถ

เข้าใจแนวคิดทางเคมีได้ดีซึ่งขึ้น มีทักษะในการแก้ปัญหาดีขึ้น และสามารถตัดสินใจภายใต้กรอบ ศีลธรรมและคำนึงถึงผลกระทบต่อ โลกมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้น การที่ผู้วิจัยได้ออกแบบคำถาม เพื่อประเมินทักษะการคิดเชิงระบบจากสถานการณ์สมมติที่น่าสนใจ ทำให้นักเรียนสามารถคิดหา แนวทางการแก้ปัญหาที่เข้ากับบริบทของวัฒนธรรมและสังคม ซึ่งการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบท เป็นฐานถือเป็นส่วนสำคัญของการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการคิดเชิงระบบ (Gilbert, 2007)

### ข้อจำกัด

จากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีความเที่ยงตรงและความแม่นยำต่ำกว่าปฏิบัติการเคมี แบบมาตรฐาน โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.45 ทำให้ขณะทำการทดลองจำเป็นต้องเพิ่มความระมัดระวังให้มากขึ้น
2. ผลการทดลองจากปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนอาจสังเกตเห็นได้ไม่ชัดเจน จำเป็นต้องทำการทดลองในที่ ๆ มีแสงสว่างเพียงพอ และการเก็บตัวอย่าง เช่น ตะกอน ค่อนข้าง ทำได้ยาก
3. นักเรียนไม่คุ้นชินกับลักษณะคำถามเพื่อวัดทักษะการคิดเชิงระบบ เนื่องจากเป็น คำถามจากสถานการณ์สมมติ นักเรียนจำเป็นต้องอ่านเนื้อเรื่องให้เข้าใจและวิเคราะห์ปัญหา ไปทีละขั้น ดังนั้นนักเรียนจำเป็นต้องใช้ความตั้งใจและสมาธิค่อนข้างสูงในการทำแบบทดสอบ
4. เนื่องจากเวลาในการทำกิจกรรมมีน้อย ทำให้รูปแบบกิจกรรมมีการบรรยายความรู้ จากครูเพื่อปูความรู้พื้นฐานอย่างรวดเร็ว เพื่อให้นักเรียนสามารถตอบคำถามวัดทักษะการคิดเชิง ระบบได้ ซึ่งการสอนแบบบรรยายนั้น ค่อนข้างแตกต่างจากธรรมชาติของกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ที่ต้องสืบเสาะหาความรู้

### ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

#### ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ควรมีการสาธิตวิธีการใช้และการกำจัดของเสียจากปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เพื่อให้นักเรียนสามารถทำการทดลองได้อย่างราบรื่น เพราะวัสดุอุปกรณ์มีขนาดเล็ก หากไม่ระมัดระวัง สารเคมีอาจหกเลอะเทอะได้
2. อธิบายให้นักเรียนเข้าใจถึงข้อจำกัดของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เพราะผลการทดลองอาจคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามทฤษฎี

3. สอดแทรกแนวคิดเคมีสีเขียว เพื่อส่งเสริมแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนให้นักเรียน โดยอธิบายให้นักเรียนเข้าใจถึงข้อดีของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน และนักเรียนสามารถนำวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น ๆ มาเป็นอุปกรณ์การทดลองได้

4. เลือกประเด็นปัญหาที่น่าสนใจ เข้ากับบริบทโลกและสังคมในปัจจุบัน เพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน นำไปสู่กระบวนการคิดเชิงระบบผ่านการอภิปรายและการตอบคำถามท้ายการทดลอง โดยมีครูคอยให้คำแนะนำอย่างเหมาะสม

#### ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป

1. ออกแบบและพัฒนาปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เคมีไฟฟ้า ให้มีความเที่ยงและความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ควรคำนึงถึงปริมาณทรัพยากรที่ใช้ ความปลอดภัยและความสะดวกขณะใช้งาน

2. ออกแบบและพัฒนาปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนหัวข้ออื่น ๆ เช่น แก๊สและสมบัติของแก๊ส อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลเคมี กรด-เบส เป็นต้น ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความเที่ยง ความแม่นยำ สามารถให้ข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพในระดับที่ยอมรับได้ และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน

3. ดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบอื่น ๆ เช่น การใช้ STEM ศึกษา การใช้สถานการณ์จำลอง การใช้บทบาทสมมติ การสอนโดยใช้กรณีตัวอย่าง เป็นต้น ร่วมกับปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะการคิดเชิงระบบ รวมไปถึงทักษะการคิดขั้นสูงอื่น ๆ เช่น การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น

4. ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีลักษณะสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-Based Learning) ให้มากขึ้น เพราะมีความใกล้เคียงกับธรรมชาติของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากที่สุด

5. สร้างแบบวัดทักษะการคิดเชิงระบบในรูปแบบอื่น ๆ เช่น แบบจำลองลำดับขั้นการคิดเชิงระบบ (System Thinking Hierarchical Model: STH Model) (Assaraf & Orion, 2005) ทั้งนี้ ควรคำนึงความเหมาะสมกับวัยของผู้เรียนด้วย

## บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กัลยา บุญหล้า, น้ำเพชร ยอดแสง, สุริย์รัตน์ แก้วศรีเมือง. (2560). การเปรียบเทียบสถิติทดสอบเมื่อประชากร 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระกัน. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 27(1), 78-87.
- จิตติรัตน์ แสงเลิศอุทัย. (2562). เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, 12(58), 13-24.
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*, 5(1), 7-20.
- ญาติ เชื้อเมืองพาน, เซษฐ์ ศิริสวัสดิ์, และ ปริญญา ทองสอน. (2564). การสร้างบทปฏิบัติการทดลองแบบย่อส่วน วิชาเคมี เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารครุศาสตร์ปริทัศน์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย*, 8(1), 69-85. สืบค้นจาก <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/EDMCU/article/view/245217>
- ชานินทร์ อินทวิเศษ, กิตติพงษ์ พุ่มพวง, รุจโรจน์ แก้วอุไร, และสุภาณี เล็งศรี. (2563). การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมวิธีการคิดเชิงระบบด้วยเครื่องมือเพื่อการเรียนรู้ของ Microsoft Office 365. *Journal of Information and Learning*, 31(3), 56–66. สืบค้นจาก <https://doi.org/10.14456/jil.2021.17>
- ธีระวุฒิ เอกะกุล. (2552). *การวิจัยปฏิบัติการ*. (พิมพ์ครั้งที่ 9). ขงสวัสดิ์อินเตอร์กรุ๊ป.
- นิยม กิমানุวัฒน์, วิชิต สุรัตน์เรืองชัย, และ สุนทร บำเรอราช. (2559). การพัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์*, 27(1), 61-73.
- บุษรี เฟ่งเล็งดี. (2561). การเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ. *วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์*, 33(2), 145-157.
- ปริมปรัชญ์ คณิณพศุศย์. (2563) เครื่องมือวิจัยทางธุรกิจและการเก็บรวบรวมข้อมูล. ในมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาชิราช สาขาวิชาการจัดการ, *เอกสารการสอนชุดวิชาแผนธุรกิจและการวิจัยธุรกิจ หน่วยที่ 12*. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาชิราช.

- พรพิทักษ์ ณ คนหาญ. (2557). การพัฒนาขีดความสามารถด้านทักษะวิจัยและทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนห้องวิทยาศาสตร์ภูมิภาค ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ โครงงานฐานวิจัย. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี).
- พิชมนุญต์ สีนประเสริฐรัตน์, เชษฐ ศิริสวัสดิ์, และ กัทธกร ชัยประเสริฐ. (2565). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แบบย่อส่วน เรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 24(1), 200-211. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/EDMCU/article/view/245217>
- เพชรวิไล ขัตติวงษ์, ปุริม จารุจรัส, ศักดิ์ศรี สุภาธร, และชฎิล กุลสิงห์ (2557). การพัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเคมีไฟฟ้า. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 5(2), 146-154.
- ธนวิชัย สวัสดิ์ และ รัตนะ บัวสนธ์. (2565). การจัดการศึกษาฐานสมรรถนะ. *วารสารศิลปะศาสตร์ราชชมงคลสุวรรณภูมิ*, 4(1), 187-201. สืบค้นจาก <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/article/view/254044/173132>
- ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และ สมยศ ชิดมงคล. (2560). การคิดเชิงระบบ: ประสพการณ์การสอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ. *วารสารครุศาสตร์*, 45(2), 209-224. สืบค้นจาก <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/EDUCU/article/view/107245>
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2563). *เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ*. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิลาวลัย โพธิ์ทอง. (2556). เครื่องมือช่วยคิดเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 10(2), 30-42.
- วีระยุทธ ชาติกาญจน์. (2553). การวิจัยเชิงปฏิบัติการ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 29(1), 1-7. สืบค้นจาก <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/issue/view/8827>
- ศักดิ์ศรี สุภาธร, การต์ตะรัตน์ วุฒิสเลา, และ สุภาพ ตามเมือง. (2559). การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเดลวิทยาศาสตร์และการปรับแก้โมเดลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) (ม.ป.ป.). *การหาคุณภาพของแบบทดสอบ*. TPQI. สืบค้นจาก <http://tpqi.go.th>

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). *คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย*. สืบค้นจาก <https://www.scimath.org/e-books/8417/flippingbook/index.html>
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2566). กรอบการประเมินด้านวิทยาศาสตร์. PISA Thailand. สืบค้นจาก [https://pisathailand.ipst.ac.th/about-pisa/science\\_competency\\_framework/](https://pisathailand.ipst.ac.th/about-pisa/science_competency_framework/)
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2566). *แถลงข่าวผลการประเมิน PISA 2022*. PISA Thailand. สืบค้นจาก <https://pisathailand.ipst.ac.th/news-21/>
- เสน่ห์ จุ้ยโต และ กัลย์ ปิ่นเกษตร. (2565). การเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้. ในมหาวิทยาลัยสุโขทัย ธรรมมาธิราช สาขาวิชาการจัดการ, *เอกสารการสอนชุดวิชากลยุทธ์การจัดการทรัพยากรมนุษย์ และองค์การแห่งการเรียนรู้*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- สมนึก กัททิษชนี. (2549). *การวัดผลการศึกษา*. ประสานการพิมพ์.
- สมปอง พะมูลิลา. (ม.ป.ป.). *การวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action research)*. <http://www.nurse.ubu.ac.th/sub/knowledgedetail/Actionresearch.pdf>
- สันติ งามเสริฐ. (2560). การสร้างข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน. *วารสารวิชาการ โรงเรียนนายเรือ*, 4(1), 48-66. สืบค้นจาก <http://www.rtnalibrary.com/web/RTNA%20Journal%20of%20Social%20Science/y.4-60/04.pdf>
- สุทธิวรรณ พิรศักดิ์โสภณ. (2557). *การสร้างเครื่องมือวัดผลทางการเรียน*. สืบค้นจาก <http://www.mathayom9.go.th/nitad/analyze/achiev-1.pdf>
- สุภาพ ตามเมือง, กานต์ตะวัน วุฒิสเลา, และ ศักดิ์ศรี สุภาธร. (2560). ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนความเข้าใจเรื่อง สมดุลเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 8(2), 379- 397. สืบค้นจาก <https://doi.org/10.14456/jstel.2017.25>
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). *กรอบคุณวุฒิแห่งชาติ (ฉบับปรับปรุง)*. พริกหวานกราฟฟิค.
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). *แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579*. พริกหวานกราฟฟิค.
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2563). *การจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะเชิงรุก*. 21 เช่นจู้รี่.
- อัญชลี ธรรมะวิชิกุล. (2552). *แนวคิดเชิงระบบ (System concept)*. สืบค้นจาก <https://panchalee.wordpress.com/2009/04/28/system-concept/>

- อรทัย ชัยวิไลศ และ วิษณุ ชงไชย. (2559). ชุดการทดลองย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยาเคมี โดย  
กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *การประชุม  
ผลงานวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราช  
ภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 16*. (262-273). มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- อรทัย ศรีทองธรรม. (2562). *การวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action research)*. สืบค้นจาก  
[https://odpc10.ddc.moph.go.th/wp-content/uploads/2018/02/20180216\\_033748.pdf](https://odpc10.ddc.moph.go.th/wp-content/uploads/2018/02/20180216_033748.pdf)
- Angeles-Macalalad, A. A. (2013). Perceived problems in using microscale chemistry experimentation.  
*International journal of scientific & engineering research*, 4(4), 1242-1243.
- Anne Helmenstine. (2016, November 3). *Sources of Error in Science Experiments*. Sciencenotes.  
<https://sciencenotes.org/error-in-science/>
- Bard A. J. & Faulkner L. R. (2000). *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*  
(2<sup>th</sup> ed.). Wiley publishing.
- Chang, R. (2008). *General chemistry: The essential concepts* (5<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill companies, Inc.
- Constable, D. J. C., Jimenez-Gonzalez, C., & Matlin, S. A. (2019). Navigating complexity using  
systems thinking in chemistry, with implications for chemistry Education. *J. Chem. Educ.*,  
96(12), 2689-2699. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00368>
- Chemical Society of Thailand. (2020). *Promoting science education in Thailand with small-scale  
chemistry experiments*. Retrieved from <http://www.chemsocthai.org>
- Evagorou, M. Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2009). An investigation of the  
potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary  
school: A case study with fifth-graders. *Int. J. Sci. Educ*, 4, 225-228.
- Gilbert, J. K. (2007). On the Nature of “Context” in Chemical Education. *International Journal of  
Science Education*. 28(9). 957-976.
- Gkiolmas, A., Karamanos, K., Chalkidis, A., Skordoulis, C., Papaconstantinou & Stavrou (2013).  
Using simulations of NetLogo as a tool for introducing Greek high-school students to eco-  
systemic thinking. *Advances in systems science and applications*, 13(3), 275-297.  
Retrieved from <https://ijassa.ipu.ru/index.php/ijassa/article/view/141>
- Holloway, I. W. (2010). *Qualitative research in nursing and health care* (3<sup>rd</sup> ed.). Laserwords  
Privates.

- Jagodowski, S. (2019). *The 6 most important theories of teaching*. Retrieved from <https://www.thoughtco.com/theories-of-teaching-4164514>
- Khirirat, W., Dungchai, W., & Duangpummet, P. (2022). A model-based inquiry activity using LEGO to promote system thinking of grade 11 students on buffer solution topic. *The IAFOR international conference on education*. Retrieved from <https://doi.org/10.22492/issn.2189-1036.2022.41>
- Kim, D. H. (2000). *Systems thinking tools: A user's reference guide* (2<sup>nd</sup> ed.). Pegasus communication, Inc.
- Mafumiko, F. M. S. (2008). The potential of Micro-scale chemistry experimentation in enhancing teaching and learning of secondary chemistry: experiences from Tanzania classrooms. *NUE journal of international education cooperation*, 3, 63-79.
- Margolis, E. (2007). Teaching John Dewey: An essay review of three books on John Dewey. *Education Review*, 10(14). Retrieved from <http://edrev.asu.edu/essays/v10n14index.html>
- Mahaffy, P. G., Krief, A., Hopf, H., Mehta, G., & Matlin, S. A. (2018). Reorienting chemistry education through systems thinking. *Nat Rev Chem* 2, 0126. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41570-018-0126>
- McLucas, A. (2003). *Decision Making: Risk Management, Systems Thinking and Situation Awareness*, Argos Press.
- Melton, J. W., Saiful, J. A., & Shein, P. P. (2022). Interdisciplinary STEM program on authentic aerosol science research and students' systems thinking approach in problem-solving. *Int. J. Sci. Educ*, 44(9), 1419-1439. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2080886>
- National council of education research and training (2020). *Manual of microscale laboratory kit*. NERT.
- Orgill, M., York S., & MacKellar J. (2019). Introduction to systems thinking for the chemistry education community. *J. Chem. Educ*, 96(12), 2720-2729. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00169>
- Roychoudhury, A., Shepardson, D. P., & Hirsch, A. S. (2017). System thinking and teaching in the context of climate system and climate change. In D. P. Shepardson, A. Roychoudhury, & A. S. Hirsch (Eds.), *Teaching and learning about climate change* (pp. 29–42). New York: Routledge. Retrieved from <https://doi.org/10.4324/9781315629841-3>

- Slater, A. (2009). *Teaching green – the high school years*. Green teacher.
- Smith, S. C., & Piele, P. K. (2006). *School leadership: Handbook for excellence in student learning*. (4<sup>th</sup> ed.). Corwin Press.
- Syaadah, Mulyono & Suhanda (2020). Implementation of small-scale chemistry lab to improve student cognitive abilities on the subtopic of colloid properties. *6<sup>th</sup> International seminar on science education*, 224-228. Atlantis press. Retrieved from <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210326.030>
- Tesfamariam, Lykknes & Kvittingen (2014). Small scale chemistry for a hands-on chemistry practical work in secondary school: experiment from Ethiopia. *The African journal of chemical education*, 4(3), 48-94. Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/ajce/article/view/104097>
- Tumay H. (2023). System Thinking in Chemistry and Chemical Education: A Framework for Meaningful Conceptual Learning and Competence in Chemistry. *J. Chem. Educ.*, 100(10), 3925-3933.
- York S., Orgill M. (2020). ChEMIST Table: A Tool for Designing or Modifying Instruction for a Systems Thinking Approach in Chemistry Education. *J Chem. Educ*, 97(8), 2214-2129.
- Zuin, V., G., Eilks, I., Elschami, M., & Kummerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chem*, 23(4), 594-1608. Retrieved from <https://doi.org/10.1039/D0GC03313H>



**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- แผนการจัดการเรียนรู้
- บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ



## แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

รายวิชา.....เคมี.....รหัสวิชา.....ว30224.....กลุ่มสาระการเรียนรู้.....วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 โรงเรียน.....สารสาสน์วิเทศเชียงใหม่.....ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.....ภาคเรียนที่ 1.....ปีการศึกษา.....2566  
 หน่วยการเรียนรู้ที่.....10.....ชื่อหน่วย.....เคมีไฟฟ้า.....  
 แผนการสอนเรื่อง.....ปฏิกิริยารีดอกซ์.....เวลา.....2 คาบ/ 90 นาที  
 ห้องที่สอน.....วันที่สอน : วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ.....  
 ผู้สอน.....นายธนรัตน์ ทองวิจิต.....

## 1. มาตรฐานการเรียนรู้และสาระเคมี

**มาตรฐาน ว 2.1** เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสารความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

**สาระเคมี 2** เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

## 2. ผลการเรียนรู้

1) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

## 3. จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1) นักเรียนสามารถระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์จากปฏิกิริยาได้ (K)
- 2) นักเรียนสามารถเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้ (K)
- 3) นักเรียนสามารถคำนวณหาเลขออกซิเดชันของสารทุกตัวของปฏิกิริยาได้ (P)
- 4) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการผุกร่อนของโลหะ (P)
- 5) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น (A)

## 4. สาระสำคัญ

ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้น ประกอบไปด้วย 2 ครึ่งปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน หมายถึง ปฏิกิริยาของสารที่ให้อิเล็กตรอน และปฏิกิริยารีดักชัน หมายถึง ปฏิกิริยาของสารที่รับอิเล็กตรอน

## 5. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- 1) ความสามารถในการสื่อสาร
- 2) ความสามารถในการคิด
- 3) ความสามารถในการแก้ปัญหา

## 6. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 1) ไม่เร่ร่อน

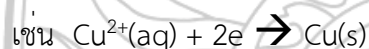
## 7. สาระการเรียนรู้

ปฏิกิริยารีดอกซ์ หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีที่มีการรับส่งอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้น แบ่งออกเป็น 2 ครั้งปฏิกิริยา ได้แก่

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือปฏิกิริยาเคมีที่มีการให้อิเล็กตรอน หรือมีการเพิ่มขึ้นของเลขออกซิเดชัน เรียกสารตั้งต้นที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนว่า “ตัวรีดิวซ์”



2. ปฏิกิริยารีดักชัน คือปฏิกิริยาเคมีที่มีการรับอิเล็กตรอน หรือมีการลดลงของเลขออกซิเดชัน เรียกสารตั้งต้นที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนว่า “ตัวออกซิไดส์”



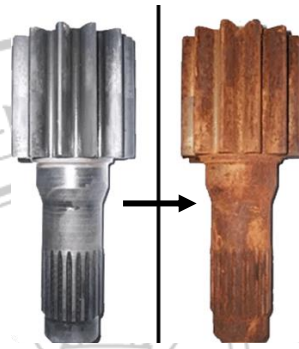
พิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์  $\text{Mg(s)} + \text{CuSO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{MgSO}_4(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$  จากปฏิกิริยาจะเห็นว่าโลหะ Mg ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนหรือตัวรีดิวซ์ สังเกตได้จากการที่ Mg มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (จาก 0 เป็น +2) ดังนั้นโลหะ Mg จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  มี  $\text{Cu}^{2+}$  ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนหรือตัวออกซิไดส์ สังเกตได้จากการที่  $\text{Cu}^{2+}$  มีเลขออกซิเดชันลดลง (จาก +2 เป็น 0) ดังนั้น  $\text{CuSO}_4$  จึงเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

## 8. กิจกรรมการเรียนรู้

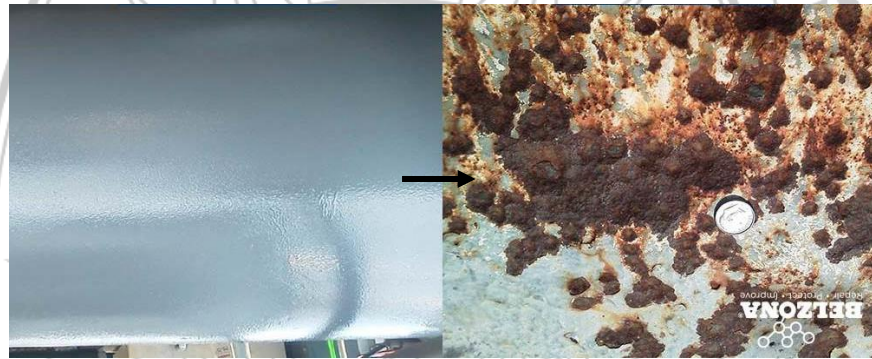
### ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา

- 1) ครูเปิดคลิปการทดลองปฏิกิริยาระหว่างโลหะ Mg กับสารละลายกรด HCl จากลิงค์ [https://www.youtube.com/watch?v=cpy\\_Zh-8sKA](https://www.youtube.com/watch?v=cpy_Zh-8sKA) ครูถามนักเรียนว่า นักเรียนคิดว่าการทดลองนี้เกิดปฏิกิริยาเคมีหรือไม่ และรู้อย่างไร ควรได้คำตอบว่า เกิดปฏิกิริยา สังเกตจากฟองแก๊สที่เกิดขึ้น และโลหะ Mg ผุกร่อน (5 นาที)
- 2) ครูนำรูปเครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างใหม่ๆ ที่ยังไม่เป็นสนิม และภาพเดียวกันที่เป็นสนิม ให้นักเรียนสังเกตและอธิบายความแตกต่างของรูปทั้งสองพร้อมบอกสาเหตุที่ทำให้ภาพทั้งสองมีความแตกต่างกัน เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า เครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือ

สิ่งก่อสร้างที่ทำด้วยโลหะหรือมีโลหะเป็นส่วนประกอบ เมื่อใช้งานระยะเวลาหนึ่งมักพบปัญหาคือเกิดการผุกร่อนหรือเกิดสนิม (5 นาที)



ภาพที่ 1



ภาพที่ 2



ภาพที่ 3

3) จากการเปลี่ยนแปลงในภาพที่ 1, 2 และ 3 ให้นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับประเด็นคำถามต่อไปนี้

- นักเรียนสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง

- นักเรียนคิดว่าเกิดขึ้นเพราะอะไร
- เราสามารถป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์นี้ได้หรือไม่ อย่างไร (10 นาที)

4) ครูถามนักเรียนว่า จากการเปลี่ยนแปลงในภาพที่ 1, 2 และ 3 มีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ควรได้คำตอบว่า เหมือนกันตรงที่โลหะในแต่ละภาพเกิดการผุกร่อนเหมือนกัน แต่รูปแบบของการผุกร่อนแตกต่างกัน โดยในภาพที่ 1 เกิดการผุกร่อนหรือขึ้นสนิมทั่วทั้งชิ้นโลหะ ภาพที่ 2 เกิดการผุกร่อนหรือขึ้นสนิมในแต่ละส่วนของชิ้นโลหะไม่เท่ากัน และภาพที่ 3 โลหะเกิดการผุกร่อนเล็กน้อย มีสีของโลหะเปลี่ยนไป ทั้งนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ สารที่เข้าทำปฏิกิริยากับโลหะ และประสิทธิภาพของการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ (5 นาที)

### ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา

5) ครูอธิบายว่าการเกิดสนิมหรือการผุกร่อนของโลหะจัดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยปฏิกิริยารีดอกซ์หมายถึงปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน โดยสารที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกสารที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนว่า “ตัวรีดิวซ์” ส่วนสารที่มารับอิเล็กตรอนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนว่า “ตัวออกซิไดส์” พร้อมทั้งยกตัวอย่างปฏิกิริยาการเกิดสนิมเหล็ก ดังนี้  $\text{Fe} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  จากนั้นนักเรียนและครูอภิปรายก่อนการทดลองในประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ธาตุใดบ้างที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน (Fe และ O)
- จะเขียนแสดงปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันได้อย่างไร (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$  / ปฏิกิริยารีดักชัน คือ  $\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$ )
- จะระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ได้อย่างไร (ตัวรีดิวซ์จะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเพราะเสียอิเล็กตรอน ส่วนตัวออกซิไดส์จะมีเลขออกซิเดชันลดลงเพราะรับอิเล็กตรอน ดังนั้นในปฏิกิริยาการเกิดสนิมเหล็ก Fe เป็นตัวรีดิวซ์ และ  $\text{O}_2$  เป็นตัวออกซิไดส์) (10 นาที)

6) ครูเกริ่นนำว่า วันนี้จะมีปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย พร้อมทั้งแนะนำให้นักเรียนรู้จักชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน วิธีการใช้อุปกรณ์แต่ละอย่าง รวมถึงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น จากนั้นแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 3-4 คน แล้วใช้คำถามว่า จะทราบได้อย่างไรว่ามีปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้น จากนั้นให้นักเรียนทำการทดลองตามบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย โดยให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลหะ และการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย พร้อมบันทึกผลการทดลองให้เรียบร้อย (15 นาที)

### ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์

7) นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับผลการทดลองที่เกิดขึ้น นำไปสู่ข้อสรุปเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลให้โลหะเกิดการผุกร่อนเร็วขึ้น ควรได้ข้อสรุปว่า 1) ชนิดของโลหะและสารละลาย เนื่องจากสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ต่างกัน 2) พื้นที่ผิวของโลหะ เนื่องจากถ้าพื้นที่ผิวมาก โมเลกุลของสารตั้งต้นก็จะเกิดการชนกันมากขึ้น ปฏิริยาจึงเกิดเร็วขึ้น 3) ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากถ้าความเข้มข้นของสารตั้งต้นมากขึ้น โมเลกุลของสารตั้งต้นก็จะชนกันมากขึ้น สารตั้งต้นจึงเกิดการชนกันมากขึ้น ปฏิริยาจึงเกิดเร็วขึ้น และ 4) อุณหภูมิ เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น พลังงานจลน์ของอนุภาคจะเพิ่มขึ้น การชนกันของสารตั้งต้นจึงเกิดได้บ่อยและแรงขึ้น ปฏิริยาจึงเกิดเร็วขึ้น ดังนั้นภาวะโลกร้อนจึงเร่งให้เกิดการผุกร่อนของโลหะได้เร็วขึ้น เช่นเดียวภาวะฝนกรดที่ทำให้โลหะเกิดปฏิกิริยากับน้ำฝนได้ดีขึ้น โลหะจึงเกิดการผุกร่อนได้เร็วขึ้นเช่นกัน (10 นาที)

### ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างของระบบ

8) นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลอง เพื่อประเมินความรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ โดยมีครูคอยให้คำแนะนำอย่างเหมาะสม (20 นาที)

### ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้

9) นักเรียนและครูร่วมกันสรุปและอภิปรายหลังการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ส่งผลต่อการผุกร่อนของโลหะ และอธิบายว่าเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์อย่างไร (10 นาที)

### 9. สื่อและแหล่งเรียนรู้

- 1) หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 4 (สสวท.)
- 2) สื่อ PowerPoint เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์
- 3) ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย
- 4) อินเทอร์เน็ต

### 10. การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์การเรียนรู้	ภาระงาน/ ชิ้นงาน	วิธีการวัด	เครื่องมือประเมิน	เกณฑ์การ ประเมิน
ด้านความรู้ (K)				

<p>1) นักเรียนสามารถระบุตัวรีดิวิซ์และตัวออกซิไดส์จากปฏิกิริยาได้</p> <p>2) นักเรียนสามารถเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้</p>	<p>คำถามท้ายการทดลอง</p>	<p>ประเมินจากการตอบคำถามท้ายการทดลอง</p>	<p>เกณฑ์การประเมินแบบ Rubrics แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์</p>	<p>ระดับคุณภาพดีขึ้นไปผ่านเกณฑ์</p>
<b>ด้านทักษะ (P)</b>				
<p>3) นักเรียนสามารถคำนวณหาเลขออกซิเดชันของสารทุกตัวของปฏิกิริยาได้</p> <p>4) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อการผุกร่อนของโลหะ</p>	<p>คำถามท้ายการทดลอง</p>	<p>ประเมินจากการตอบคำถามท้ายการทดลอง</p>	<p>-เกณฑ์การให้คะแนนทักษะการคำนวณ -เกณฑ์การให้คะแนนทักษะการคิดเชิงระบบ</p>	<p>ระดับคุณภาพดีขึ้นไปผ่านเกณฑ์</p>
<b>ด้านคุณลักษณะ (A)</b>				
<p>5) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น</p>	<p>-</p>	<p>ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรม การอภิปรายในชั้นเรียน</p>	<p>เกณฑ์การประเมินแบบ Rubrics แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์</p>	<p>ระดับคุณภาพดีขึ้นไปผ่านเกณฑ์</p>

## แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์

ประเด็น การประเมิน	ค่าน้ำหนัก คะแนน	แนวทางการให้คะแนน
ด้านความรู้ (K)	3	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 6-8 คะแนน
	2	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 4-6 คะแนน
	1	ตอบคำถามได้ถูกต้องน้อยกว่า 4 คะแนน
ด้านทักษะการ คำนวณ (P)	3	คำนวณหาค่าที่ต้องการโดยใช้วิธีการทางการคำนวณ ได้ถูกต้องทั้งหมด
	2	คำนวณหาค่าที่ต้องการโดยใช้วิธีการทางการคำนวณ ได้ถูกต้องส่วนใหญ่
	1	คำนวณหาค่าที่ต้องการโดยใช้วิธีการทางการคำนวณ ได้ถูกต้องบางส่วน
ด้านทักษะ การคิดเชิงระบบ (P)		ดูแบบประเมินทักษะการคิดเชิงระบบ
ด้านคุณลักษณะ (A)	3	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น มาก
	2	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น ปานกลาง
	1	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น น้อย

## เกณฑ์การให้คะแนนด้านความรู้

ตอบคำถามได้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์	ให้ 2 คะแนน
ตอบคำถามได้ถูกต้อง บางส่วน	ให้ 1 คะแนน
ตอบคำถามได้ ไม่ถูกต้อง	ให้ 0 คะแนน

## ระดับคะแนน

คะแนน	3	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน	2	หมายถึง ระดับดี
คะแนน	1	หมายถึง ระดับพอใช้

เกณฑ์การให้คะแนนด้านทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking)

ข้อ	ระดับการคิด	เกณฑ์การให้คะแนน
1	ระดับ สถานการณ์	2 หมายถึง สามารถระบุปัญหาได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัญหาได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัญหาไม่ถูกต้อง
2	ระดับ แบบแผน	2 หมายถึง สามารถระบุสาเหตุสำคัญได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุสาเหตุได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุสาเหตุไม่ถูกต้อง
3	ระดับ โครงสร้าง	2 หมายถึง สามารถระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ได้
4	ระดับ ภาพจำลอง ความคิด	2 หมายถึง สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง เขียนวงจรความสัมพันธ์ได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ไม่สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้

**ระดับคะแนน**

คะแนน	6-8	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน	4-5	หมายถึง ระดับดี
คะแนน	0-3	หมายถึง ระดับพอใช้

**11. กิจกรรมเสนอแนะ**

.....

.....

.....

.....

**12. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้**

ชั้น...../.....

จำนวนนักเรียน ..... คน

จำนวนนักเรียนที่ไม่มาเรียน.....คน

12.1 ผลการสอน

12.1.1 ผลการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน

.....  
.....  
.....

12.1.2 ผลการประเมินตามแบบประเมิน

- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน K ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน P ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน A ในระดับ .....

12.2 ปัญหาที่พบจากการสอนในคาบเรียน

.....  
.....  
.....

12.3 การแก้ไขปัญหาและอุปสรรค

.....  
.....  
.....

12.4 ผลการแก้ไข

.....  
.....  
.....

12.5 ข้อเสนอแนะในการสอนครั้งถัดไป

.....  
.....  
.....

สรุปผลการประเมิน

จากนักเรียนที่มาเรียนทั้งหมด.....คน

1. ด้านความรู้ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
2. ด้านกระบวนการ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
3. ด้านคุณลักษณะ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน

ลงชื่อ.....

(นาย/นางสาว.....)

ผู้สอน

ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย

**จุดประสงค์การทดลอง**

1. นักเรียนสามารถทดลองปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลายชนิดต่างๆ ได้
2. นักเรียนสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันได้
3. นักเรียนสามารถระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ได้
4. นักเรียนสามารถเขียนครึ่งปฏิกริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกริยารีดักชันได้

**สารเคมี**

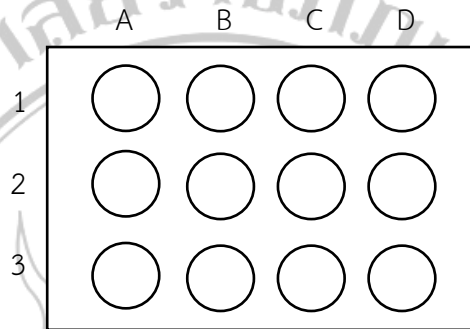
1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L จำนวน 10 หยด
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.10 mol/L จำนวน 10 หยด
3. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) 0.10 mol/L จำนวน 10 หยด
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) 0.10 mol/L จำนวน 10 หยด
5. แผ่นโลหะสังกะสี ( $\text{Zn}$ ) ขนาด 0.5 cm × 1 cm จำนวน 4 ชิ้น

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. จานหลุมพลาสติก 12 หลุม จำนวน 1 อัน
2. กระดาษทราย ขนาด 3 cm × 3 cm จำนวน 2 แผ่น

## วิธีทดลอง

1. ขัดแผ่นโลหะ Mg ด้วยกระดาษทราย
2. หยดสารละลาย  $\text{CuSO}_4$   $\text{MgSO}_4$   $\text{NaCl}$  และ  $\text{HCl}$  อย่างละ 10 หยด ลงในงานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A1 B1 C1 และ D1 ตามลำดับ สังเกตสีของสารละลาย



3. จุ่มแผ่นโลหะ Mg ลงในงานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A1 B1 C1 และ D1 ตามลำดับ ทิ้งไว้ 1-2 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งที่สารละลายและแผ่นโลหะ แล้วบันทึกผลการทดลอง

## ผลการทดลอง

สารละลาย	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
$\text{CuSO}_4$	
$\text{MgSO}_4$	
$\text{NaCl}$	

HCl	
-----	--

### คำถามท้ายการทดลอง

- **ด้านความรู้**

1. จงเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น
  - หลุม A1 Oxidation :  $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$  / Reduction :  $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$
  - หลุม D1 Oxidation :  $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$  / Reduction :  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
2. จงบอกตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมา 1 ปฏิกิริยา
  - หลุม A1 ตัวรีดิวซ์ คือ Mg / ตัวออกซิไดส์ คือ  $Cu^{2+}$
3. จากปฏิกิริยา  $Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$  จงระบุตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ พร้อมทั้งคำนวณเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลงไป
  - ตัวรีดิวซ์ คือ Mg มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 ตัวออกซิไดส์ คือ  $H^+$  มีเลขออกซิเดชันลดลง 1
4. เมื่อปล่อยให้โลหะ Mg สัมผัสกับอากาศปรากฏว่าโลหะ Mg มีสีดำมากขึ้นคล้ายเกิดสนิม จงอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
  - โลหะ Mg ถูกแก๊สออกซิเจนในอากาศออกซิไดส์ เกิดเป็นโลหะออกไซด์ที่ผิวของโลหะ Mg

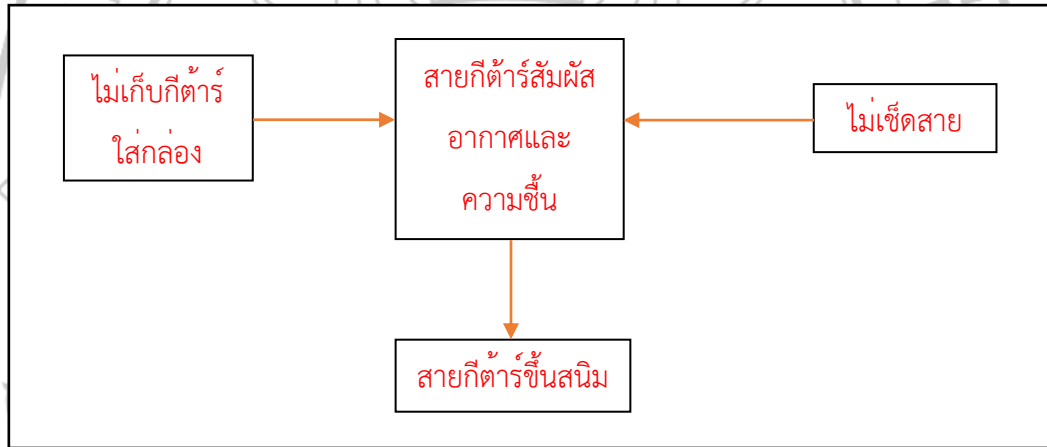
- **ด้านทักษะการคิดเชิงระบบ**

#### สถานการณ์ที่ 1 กีตาร์ของโบนัส

โบนัส มีความสามารถในการเต้นและร้องเพลง จึงเลือกเข้าชมรมดนตรี เพราะเขาต้องการฝึก ร้องเพลงและเล่นกีตาร์ให้เก่งขึ้น คุณแม่จึงซื้อกีตาร์ใหม่ให้โบนัส หลังจากที่โบนัสใช้กีตาร์ตัวนี้ไปได้ เพียงแค่ 1 สัปดาห์ปรากฏว่าสายขึ้นสนิม เขาจึงสงสัยว่าทำไมสายจึงขึ้นสนิมเร็วจัง เป็นเพราะเขา เล่นกีตาร์แล้วไม่เช็ดสายที่เปียกเหงื่อ และไม่เก็บใส่กล่องให้เรียบร้อยหรือเปล่า แต่ถึงอย่างไรเขาก็ยังมี น้ํายาเคลือบสายแถมมาจากร้าน เขาจึงยังสามารถใช้กีตาร์ตัวนี้เล่นต่อไปได้อีกสักระยะ จาก

สถานการณ์ดังกล่าว จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร
  - สายกีตาร์ขึ้นสนิมเร็ว
2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด
  - สายกีตาร์สัมผัสกับอากาศและความชื้น
3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
  - ไม่เก็บกีตาร์ใส่กล่อง ทำให้สายกีตาร์สัมผัสกับอากาศและความชื้นมากขึ้น
  - ไม่เช็ดสายกีตาร์หลังเล่น ทำให้สายกีตาร์เป็นเหงื่อจากมือ
4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา



**สมาชิกกลุ่ม**

1. .... เลขที่.....
2. .... เลขที่.....
3. .... เลขที่.....
4. .... เลขที่.....

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่.....

**แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2**

รายวิชา.....เคมี..... รหัสวิชา.....ว30224.....กลุ่มสาระการเรียนรู้.....วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 โรงเรียน.....สารสาสน์วิเทศเชียงใหม่.....ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่.....5.....ภาคเรียนที่.....1.....ปีการศึกษา.....2566  
 หน่วยการเรียนรู้ที่.....10.....ชื่อหน่วย.....เคมีไฟฟ้า.....

แผนการสอนเรื่อง..... การป้องกันการผุกร่อนของโลหะ..... เวลา 2 คาบ/ 90 นาที  
 ห้องที่สอน..... วันที่สอน : วัน..... ที่..... เดือน..... พ.ศ.....  
 ผู้สอน..... นายธนรัตน์ ทองวิชิต.....

### 1. มาตรฐานการเรียนรู้และสาระเคมี

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสารความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

สาระเคมี 2. เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

### 2. ผลการเรียนรู้

- 1) ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์
- 2) อธิบายหลักการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ

### 3. จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1) นักเรียนสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ได้ (K)
- 2) นักเรียนสามารถเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (K)
- 3) นักเรียนสามารถอธิบายหลักการป้องกันการผุกร่อนของโลหะตามหลักเคมีไฟฟ้าได้ (K)
- 4) นักเรียนมีทักษะการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ (P)
- 5) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ (P)
- 6) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น (A)

### 4. สาระสำคัญ

การผุกร่อนของโลหะ ถือเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยโลหะที่ผุกร่อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารที่ทำให้โลหะเกิดการเกิดผุกร่อนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ความรู้เกี่ยวกับเซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถนำไปใช้อธิบายสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการผุกร่อนของโลหะได้ รวมทั้งสามารถอธิบายหลักการป้องกันการผุกร่อนของโลหะได้

## 5. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- 1) ความสามารถในการสื่อสาร
- 2) ความสามารถในการคิด
- 3) ความสามารถในการแก้ปัญหา

## 6. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 1) ใฝ่เรียนรู้

## 7. สารการเรียนรู้

การผุกร่อนของโลหะ คือการที่ชิ้นส่วนของโลหะมีการหลุดออกไปจากเนื้อโลหะ อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความร้อน แรงเสียดทาน หรือการสัมผัสกับสารเคมีบางอย่าง ในทางเคมีไฟฟ้า การผุกร่อนของโลหะ คือการที่โลหะเสียหรือให้อิเล็กตรอนจนกลายเป็นไอออนบวก ดังนั้นจึงถือว่าโลหะเป็น “ตัวรีดิวซ์” และเรียกสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนว่า “ตัวออกซิไดส์” ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผุกร่อนของโลหะ ได้แก่ ความชื้นในอากาศ พื้นที่ผิวสัมผัส อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศ สภาพแวดล้อมที่มีไอของสารละลายเกลือ ความเป็นกรดเบส เป็นต้น โดยการผุกร่อนของโลหะ อาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐานของสิ่งปลูกสร้าง ตัวถังรถยนต์รวมทั้งอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุได้ รวมไปถึงอาจมีการปนเปื้อนของฝุ่นโลหะหนักในอาหารและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในที่สุด การป้องกันการผุกร่อนของโลหะมีหลายวิธี เช่น การทาสีหรือน้ำมัน วิธีแคโทดิก วิธีอะโนไดส์ และการรมดำ เป็นต้น

## 8. กิจกรรมการเรียนรู้

### ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา

1) นักเรียนและครูร่วมกันทบทวนเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์และการผุกร่อนหรือการเกิดสนิมของโลหะ ควรได้ข้อสรุปว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์คือปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน สำหรับการผุกร่อนหรือเกิดสนิมของโลหะ เกิดจากการที่โลหะนั้นเสียอิเล็กตรอนให้กับสารอื่นหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (5 นาที)

2) ครูถามนักเรียนว่า เราจะมีวิธีการป้องกันการผุกร่อนของโลหะได้อย่างไรบ้าง เพื่อนำเข้าสู่ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ควรได้คำตอบว่า การทาสีหรือทาน้ำมันที่โลหะ การเก็บโลหะไว้ในที่แห้งหรือความชื้นต่ำ เป็นต้น (5 นาที)

### ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา

3) ครูเกริ่นนำว่า วันนี้จะมีปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ พร้อมทั้งแนะนำให้นักเรียนรู้จักชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

วิธีการใช้อุปกรณ์แต่ละอย่าง รวมถึงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยก่อนการทดลอง นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ ในประเด็นต่างๆ ดังนี้

- โลหะที่ผุกร่อนง่ายจะมีความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์เป็นอย่างไร (โลหะที่ผุกร่อนง่ายจะมีความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์สูงและมีความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ต่ำ)
- มีค่าที่แสดงความสามารถในการให้หรือรับอิเล็กตรอนของสารหรือไม่ อย่างไร (มี ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ ซึ่งมี 2 ประเภท ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน ( $E^\circ_{\text{red}}$ ) และศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันมาตรฐาน ( $E^\circ_{\text{ox}}$ ) ถ้าสารใดมีศักย์ไฟฟ้ารีดักชันสูง แสดงว่าสารนั้นรับอิเล็กตรอนได้ดีหรือเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง ในทางตรงกันข้ามถ้าสารใดมีศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันสูง แสดงว่าสารนั้นให้อิเล็กตรอนได้ดีหรือเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง) โดยครูเปิดตารางแสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ให้นักเรียนดูประกอบด้วย

จากนั้นแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 3-4 คน แล้วให้นักเรียนทำการทดลองตามบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ โดยให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลหะ และการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย พร้อมบันทึกผลการทดลองให้เรียบร้อย (35 นาที)

### ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์

4) นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีป้องกันการผุกร่อนของโลหะ จากนั้นนักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับวิธีการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ ควรได้ข้อสรุปว่า วิธีการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ ได้แก่ 1) การทาสี/น้ำมัน/การรมดำและการเคลือบพลาสติก เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะสัมผัสกับแก๊สออกซิเจนและความชื้น 2) วิธีอโนไดส์ (Anodize) คือ กระบวนการทำให้เกิดสารประกอบออกไซด์เคลือบบนผิวของโลหะด้วยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปที่ขั้วโลหะที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จะเกิดสารประกอบออกไซด์เคลือบไว้ที่ผิวของโลหะคล้ายฟิล์ม นิยมทำกับธาตุ Al, Ti, Mg, Zn (ไม่ทำกับธาตุเหล็ก เพราะจะทำให้เกิดสนิมเหล็ก) 3) วิธีแคโทดิก (Cathodic) คือ การต่อโลหะที่ต้องการป้องกันการผุกร่อนเข้ากับโลหะอีกชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการรีดิวซ์มากกว่า ( $E^\circ_{\text{red}}$  ต่ำกว่า) หรือต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ เพื่อให้โลหะที่ต้องการป้องกันการผุกร่อนมีสภาพเป็นขั้วแคโทด จึงไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือไม่ผุแน่นอน และ 4) การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อน (20 นาที)

### ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างของระบบ

5) นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลอง เพื่อประเมินความรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ โดยมีครูคอยให้คำแนะนำอย่างเหมาะสม (20 นาที)

### ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้

6) นักเรียนและครูร่วมกันสรุปและอภิปรายหลังการทดลองเกี่ยวกับวิธีการป้องกันการผุกร่อนของโลหะทางตรงและทางอ้อม และผลกระทบของการผุกร่อนของโลหะที่มีต่อธุรกิจภาคอุตสาหกรรม (5 นาที)

### 9. สื่อและแหล่งเรียนรู้

- 1) หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 4 (สสวท.)
- 2) สื่อ PowerPoint เรื่อง การป้องกันการผุกร่อนของโลหะ
- 3) ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์
- 4) อินเทอร์เน็ต

จุดประสงค์การเรียนรู้	ภาระงาน/ ชิ้นงาน	วิธีการวัด	เครื่องมือ ประเมิน	เกณฑ์การ ประเมิน
<b>ด้านความรู้ (K)</b>				
1) นักเรียนสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ได้	คำถามท้ายการทดลอง	ประเมินจากการตอบคำถามท้ายการทดลอง	เกณฑ์การประเมินแบบ Rubrics	ระดับคุณภาพดีขึ้นไปผ่านเกณฑ์
2) นักเรียนสามารถเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ได้			เรียนรู้ที่ 2	
3) นักเรียนสามารถอธิบายหลักการป้องกันการผุกร่อนของโลหะตามหลักเคมีไฟฟ้าได้			ป้องกันการผุกร่อนของโลหะ	
<b>ด้านทักษะ (P)</b>				
4) นักเรียนมีทักษะการทดลอง	คำถามท้าย	-ประเมินจาก	-เกณฑ์การให้	ระดับ

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัววิวิธหรือตัวออกซีไดส์		การทดลอง	พฤติกรรมขณะทำการทดลอง	คะแนนทักษะการทดลอง	คุณภาพดีขึ้นไปผ่านเกณฑ์
ประเด็น	ค่าน้ำหนัก		ประเมินจาก	เกณฑ์การให้คะแนนทักษะ	
5) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ	คะแนน	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 3	การทดลอง	การคิดเชิงระบบ	
	2	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 4-6 คะแนน			
<b>ด้านคุณลักษณะ (A)</b>					
	1	ตอบคำถามได้ถูกต้องน้อยกว่า 4 คะแนน			
6) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น		ปฏิบัติตามทดลองได้ทั้งหมดอย่างคล่องแคล่ว เหมาะสม	ประเมินจากการสังเกต	เกณฑ์การประเมินแบบ	ระดับคุณภาพดีขึ้นไปผ่านเกณฑ์
ด้านทักษะการทดลอง (P)	2	ปฏิบัติตามทดลองได้ส่วนใหญ่ แต่ไม่คล่องแคล่ว ต้องการความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์	พฤติกรรม การสังเกต	Rubrics	ขึ้นไปผ่านเกณฑ์
	1	สามารถปฏิบัติตามทดลองได้บางส่วน		แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1	
ด้านทักษะการคิดเชิงระบบ (P)		คูแบบประเมินทักษะการคิดเชิงระบบ		เรื่อง การป้องกันการผุกร่อนของโลหะ	

## 10. การวัดและประเมินผล

เกณฑ์การประเมินแบบ Rubrics

ด้านคุณลักษณะ (A)	3	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น มาก
	2	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น ปานกลาง
	1	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น น้อย

### แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิภาณวิริยคุณ

#### เกณฑ์การให้คะแนนด้านความรู้

ตอบคำถามได้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์	ให้ 2 คะแนน
ตอบคำถามได้ถูกต้อง บางส่วน	ให้ 1 คะแนน
ตอบคำถามได้ ไม่ถูกต้อง	ให้ 0 คะแนน

#### ระดับคะแนน

คะแนน 3	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน 2	หมายถึง ระดับดี
คะแนน 1	หมายถึง ระดับพอใช้

#### เกณฑ์การให้คะแนนด้านทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking)

ข้อ	ระดับการคิด	เกณฑ์การให้คะแนน
1	ระดับ สถานการณ์	2 หมายถึง สามารถระบุปัญหาได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัญหาได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัญหาไม่ถูกต้อง
2	ระดับ แบบแผน	2 หมายถึง สามารถระบุสาเหตุสำคัญได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุสาเหตุได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุสาเหตุไม่ถูกต้อง
3	ระดับ โครงสร้าง	2 หมายถึง สามารถระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ

		0 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องของไม่ถูกต้อง
4	ระดับ	2 หมายถึง สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
	ภาพจำลอง	1 หมายถึง เขียนวงจรความสัมพันธ์ได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
	ความคิด	0 หมายถึง ไม่สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้

### ระดับคะแนน

คะแนน	6-8	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน	4-5	หมายถึง ระดับดี
คะแนน	0-3	หมายถึง ระดับพอใช้

### 11. กิจกรรมเสนอแนะ

.....

.....

.....

### 12. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

ชั้น...../.....

จำนวนนักเรียน ..... คน

จำนวนนักเรียนที่ไม่มาเรียน.....คน

#### 12.1 ผลการสอน

##### 12.1.1 ผลการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน

.....

.....

##### 12.1.2 ผลการประเมินตามแบบประเมิน

- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน K ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน P ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน A ในระดับ .....

#### 12.2 ปัญหาที่พบจากการสอนในคาบเรียน

.....

12.3 การแก้ไขปัญหาและอุปสรรค

12.4 ผลการแก้ไข

12.5 ข้อเสนอแนะในการสอนครั้งถัดไป

สรุปผลการประเมิน

จากนักเรียนที่มาเรียนทั้งหมด.....คน

- 1. ด้านความรู้ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
- 2. ด้านกระบวนการ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
- 3. ด้านคุณลักษณะ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน

ลงชื่อ.....

(นาย/นางสาว.....)

ผู้สอน

## จุดประสงค์การทดลอง

1. นักเรียนสามารถทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ได้
2. นักเรียนสามารถเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ได้
3. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการป้องกันการผุกร่อนของโลหะตามหลักเคมีไฟฟ้าได้

## สารเคมี

1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L จำนวน 10 หยด
2. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L จำนวน 10 หยด
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.10 mol/L จำนวน 10 หยด
4. แผ่นโลหะทองแดง (Cu) ขนาด 0.5 cm × 1 cm จำนวน 3 ชิ้น
5. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn) ขนาด 0.5 cm × 1 cm จำนวน 3 ชิ้น
6. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg) ขนาด 0.5 cm × 1 cm จำนวน 3 ชิ้น

## วัสดุและอุปกรณ์

1. จานหลุมพลาสติก 12 หลุม จำนวน 1 อัน
2. กระดาษทราย ขนาด 3 cm × 3 cm จำนวน 1 แผ่น

## วิธีทดลอง

1. ขัดแผ่นโลหะ Mg Zn และ Cu ด้วยกระดาษทราย
2. หยดสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  0.1 mol/L จำนวน 10 หยด ลงในจานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A1 A2 และ A3 ตามลำดับ สังกะสีของสารละลาย
3. หยดสารละลาย  $\text{ZnSO}_4$  0.1 mol/L จำนวน 10 หยด ลงในจานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง B1 B2 และ B3 ตามลำดับ สังกะสีของสารละลาย
4. หยดสารละลาย  $\text{MgSO}_4$  0.1 mol/L จำนวน 10 หยด ลงในจานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง C1 C2 และ C3 ตามลำดับ สังกะสีของสารละลาย

A B C D

1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. จุ่มแผ่นโลหะ Cu ลงในจานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A1 B1 และ C1 ตามลำดับ
6. ตั้งไว้ 1-2 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งที่สารละลายและแผ่นโลหะ แล้วบันทึกผลการทดลอง
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5-6 แต่เปลี่ยนไปใช้โลหะ Zn แทน โดยใส่ลงไปในจานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A2 B2 และ C2 ตามลำดับ
8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5-6 แต่เปลี่ยนไปใช้โลหะ Mg แทน โดยใส่ลงไปในจานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A3 B3 และ C3 ตามลำดับ

#### ผลการทดลอง

โลหะ \ สารละลาย	$\text{CuSO}_4$	$\text{ZnSO}_4$	$\text{MgSO}_4$
Cu			
Zn			
Mg			

#### คำถามท้ายการทดลอง

- ด้านความรู้
1. โลหะและไอออนของโลหะคู่ใดที่เกิดปฏิกิริยาเคมี ทราบได้อย่างไร
    - $\text{Zn}/\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Mg}/\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Mg}/\text{ZnSO}_4$  สังเกตได้จากโลหะเกิดการฟุ้งร้อน และสีของสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  จางลง

2. จากข้อ 1 เลือกเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น 1 สมการ
  - $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}$
3. เรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะ และความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของไอออนของโลหะ
  - ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ :  $\text{Mg} > \text{Zn} > \text{Cu}$
  - ความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ :  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$
4. จงบอกวิธีการป้องกันไม่ให้โลหะเกิดการผุกร่อนมา 2 วิธี พร้อมบอกหลักการอย่างคร่าวๆ
  - นำโลหะไปเคลือบสีหรือน้ำมัน เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะสัมผัสกับแก๊สออกซิเจนและน้ำ
  - การทำแคโทดิก โดยการนำโลหะที่ต้องการป้องกันการผุกร่อนไปต่อกับโลหะอีกชนิดหนึ่งที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน ( $E^\circ_{\text{red}}$ ) ต่ำกว่า เพื่อให้โลหะที่มีค่า  $E^\circ_{\text{red}}$  ต่ำกว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแทน
  - ด้านทักษะการคิดเชิงระบบ

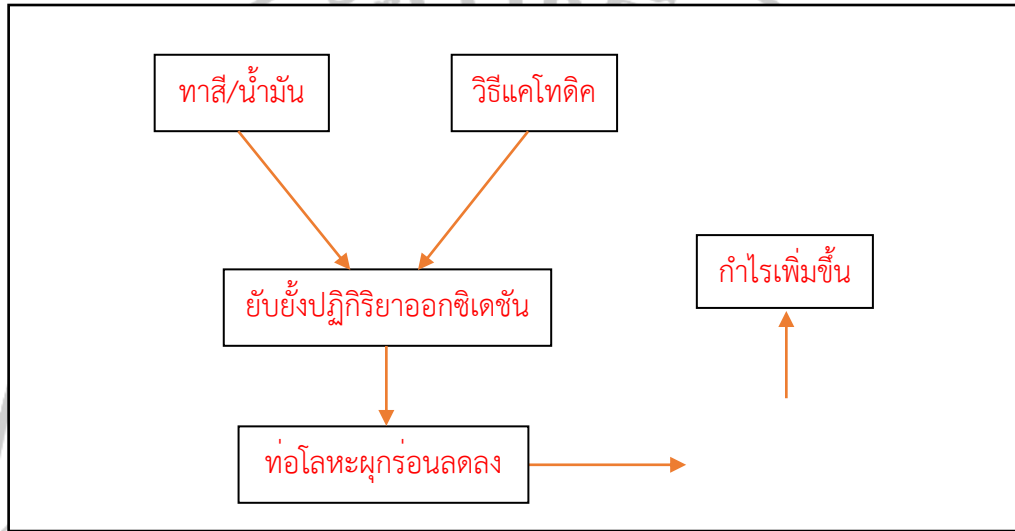
### สถานการณ์ที่ 2 ท่อส่งแก๊ส

พีท เป็นวิศวกรเครื่องกลของบริษัทแห่งหนึ่ง เขาได้รับหน้าที่ให้ดูแลระบบท่อขนส่งแก๊สธรรมชาติของโรงงาน ซึ่งเขาได้รับคำสั่งจากหัวหน้าให้วางระบบท่อขนส่งแก๊สใหม่ เนื่องจากท่อเก่าเกิดการผุกร่อนค่อนข้างมาก และหัวหน้าต้องการยืดอายุการใช้งานของท่อซึ่งทำจากโลหะให้ได้มากที่สุด เพื่อลดต้นทุนค่าบำรุงรักษา ซึ่งจะส่งผลให้บริษัทได้กำไรเพิ่มขึ้น จากสถานการณ์ดังกล่าว จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร
  - ท่อโลหะเกิดการผุกร่อน
2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด
  - ท่อโลหะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารต่างๆ ในสภาพแวดล้อม
3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
  - ทาสี/น้ำมัน ช่วยป้องกันไม่ให้โลหะสัมผัสกับอากาศและความชื้น

- การทำแคโทดิก ทำให้โลหะอีกชนิดเป็นตัวรีดิวซ์หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแทน

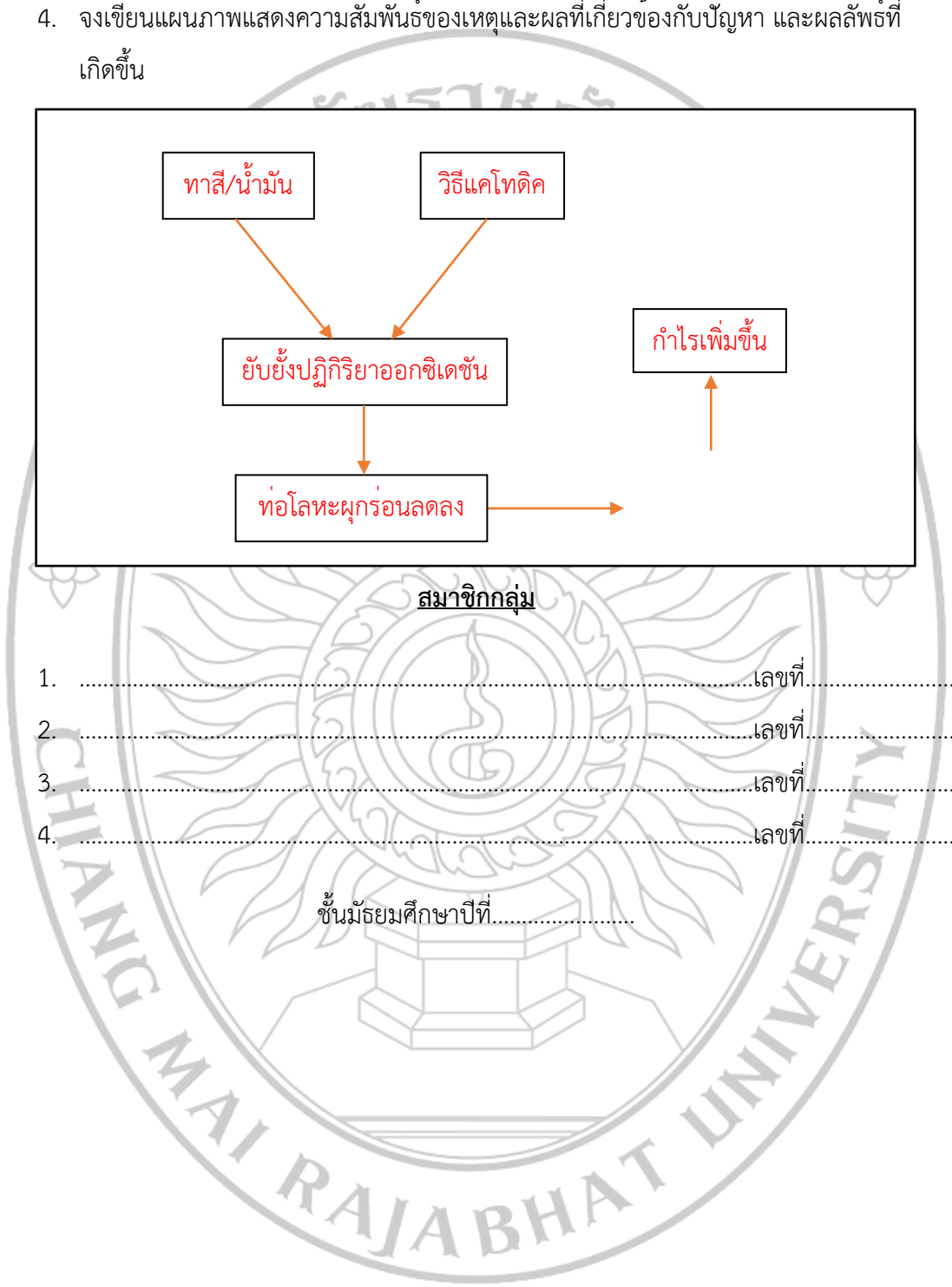
4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น



สมาชิกกลุ่ม

1. .... เลขที่.....
2. .... เลขที่.....
3. .... เลขที่.....
4. .... เลขที่.....

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่.....





**แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3**

รายวิชา.....เคมี..... รหัสวิชา..... ว30224..... กลุ่มสาระการเรียนรู้..... วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 โรงเรียน..... สรรศาสนวิเทศเชียงใหม่..... ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5..... ภาคเรียนที่ 1..... ปีการศึกษา 2566  
 หน่วยการเรียนรู้ที่..... 10..... ชื่อหน่วย..... เคมีไฟฟ้า  
 แผนการสอนเรื่อง..... เซลล์เคมีไฟฟ้า..... เวลา..... 2 คาบ/ 90 นาที  
 ห้องที่สอน..... วันที่สอน : วัน..... ที่..... เดือน..... พ.ศ.....  
 ผู้สอน..... นายธนรัตน์ ทองวิชิต.....

**1. มาตรฐานการเรียนรู้และสาระเคมี**

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสารความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

**สาระเคมี 2.** เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

## 2. ผลการเรียนรู้

1) ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์

## 3. จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1) นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าได้ (K)
- 2) นักเรียนสามารถเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด และปฏิกิริยารวมได้ (K)
- 3) นักเรียนสามารถเขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์ได้ (K)
- 4) นักเรียนมีทักษะการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและแคโทด (P)
- 5) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก (P)
- 6) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น (A)

## 4. สาระสำคัญ

เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเชื่อมต่อแต่ละครึ่งเซลล์ด้วยสะพานเกลือ โดยขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่า ขั้วแอโนด และขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า ขั้วแคโทด เซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถเขียนแสดงได้ด้วยแผนภาพเซลล์

## 5. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- 1) ความสามารถในการสื่อสาร
- 2) ความสามารถในการคิด
- 3) ความสามารถในการแก้ปัญหา

## 6. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 1) ใฝ่เรียนรู้

## 7. สาระการเรียนรู้

### ● ประเภทและส่วนประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า

เซลล์เคมีไฟฟ้า (Electrochemical cell) คือ อุปกรณ์ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นไฟฟ้า หรือไฟฟ้าเป็นเคมี แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์เคมีไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยากันในเซลล์แล้วเกิดกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์อัลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน แบตเตอรี่

2. เซลล์อิเล็กโทรลิติก (Electrolytic cell) คือ เซลล์เคมีไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารเคมีที่อยู่ในเซลล์แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

● ส่วนประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า

1. ขั้วไฟฟ้า ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

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

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

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

2. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารที่สถานะเป็นของเหลว นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนบวกและลบเคลื่อนที่ไปมา อิเล็กโทรไลต์มี 2 ชนิด คือ

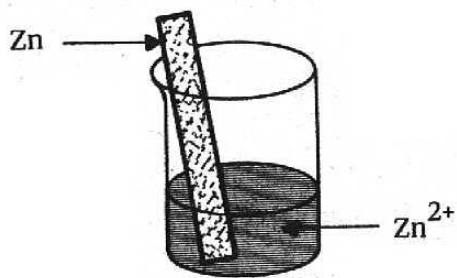
ก. สารประกอบไอออนิกหลอมเหลว เช่น  $\text{NaCl(s)} \rightleftharpoons \text{Na}^+(\text{l}) + \text{Cl}^-(\text{l})$

ข. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารละลายกรด เบส และเกลือ

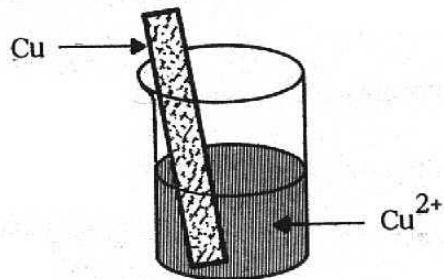
3. สะพานเกลือหรือเยื่อเมมเบรน คือ สารละลายเกลืออิมพัท เช่น สารละลาย  $\text{KNO}_3$  ทำหน้าที่ช่วยรักษาสมดุลไอออนและทำให้ครบวงจร

● แผนภาพเซลล์เคมีไฟฟ้า

ครึ่งเซลล์ (Half-cell) คือ ระบบที่มีสารจุ่มอยู่ในไอออนของสารนั้น ถ้าสารที่จุ่มเป็นโลหะก็ใช้โลหะนั้นเป็นขั้ว เช่น Zn จุ่มใน  $\text{Zn}^{2+}$  โลหะ Zn ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า



ครึ่งเซลล์  $\text{Zn(s)}/\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$



ครึ่งเซลล์  $\text{Cu(s)}/\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$

## รูปที่ 1 แสดงครึ่งเซลล์สังกะสีและครึ่งเซลล์ทองแดง

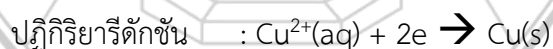
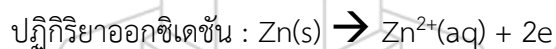
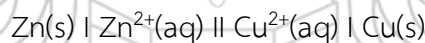
แต่ถ้าสารที่จุ่มหรือสารที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สหรือไอออนของสารในรูปสารละลาย จะต้องใช้ขั้วเฉื่อย เช่น Pt หรือ ขั้ว C (แกรไฟต์) เป็นขั้วแทน เช่น

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

## วิธีเขียนแผนภาพเซลล์ มีขั้นตอนดังนี้

1. เขียนปฏิกิริยาออกซิเดชันไว้ทางด้านซ้าย ปฏิกิริยารีดักชันไว้ทางด้านขวา และคั่นทั้งสองครึ่งปฏิกิริยาด้วยสะพานเกลือ เครื่องหมายเส้นขนาน (||)
2. แต่ละครึ่งเซลล์ระหว่างสารสถานะต่างกันจะคั่นด้วยเครื่องหมายขีด (|)
3. กรณีที่สารสถานะเดียวกันจะคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) หากไม่มีขั้วโลหะจะใช้โลหะแพลทินัม (Pt) หรือคาร์บอน (C) เป็นขั้วไฟฟ้าแทน เพราะขั้วไฟฟ้านี้เฉื่อยและไม่เกิดปฏิกิริยากับแก๊สและอิเล็กโทรไลต์
4. เซลล์ที่มีสถานะเป็นแก๊สต้องระบุความดันของแก๊สไว้ในวงเล็บและใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นระหว่างสถานะกับความดัน
5. การระบุความเข้มข้นในเซลล์ให้ระบุไว้ในวงเล็บและใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นระหว่างสถานะกับความเข้มข้น

## ตัวอย่าง



## 8. กิจกรรมการเรียนรู้

## ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา

1) ครูใช้คำถามนำว่า นักเรียนรู้หรือไม่ว่ากระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร ควรได้คำตอบว่า กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากนั้นครูสรุปว่า การถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารในปฏิกิริยารีดอกซ์เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้า (1 นาที)

2) ครูอธิบายว่า เซลล์เคมีไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า เซลล์กัลวานิก ซึ่งเป็นเซลล์เคมีไฟฟ้าที่สามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้เอง ตัวอย่างเซลล์กัลวานิกในชีวิตประจำวัน เช่น ถ่านไฟฉาย เป็นต้น และเซลล์เคมีไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมี เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติก ซึ่งเป็นเซลล์เคมีไฟฟ้าที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้เอง จำเป็นต้องใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้า เช่น การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จากนั้นครูถามนักเรียนว่า องค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้ามีอะไรบ้าง เพื่อนำเข้าสู่ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน (4 นาที)

### ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา

3) ครูเกริ่นนำว่า วันนี้จะมีปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก พร้อมทั้งแนะนำให้นักเรียนรู้จักชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน วิธีการใช้อุปกรณ์แต่ละอย่าง รวมถึงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยก่อนการทดลอง นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับประเด็นคำถาม ดังนี้

- วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย ประกอบไปด้วยอะไรบ้าง (แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ลวดตัวนำ ตัวต้านทาน)
- ถ่านไฟฉาย เป็นองค์ประกอบใดในวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย (แหล่งกำเนิดไฟฟ้า)
- ถ่านไฟฉาย มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานอย่างไร (เปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้า)
- การต่อวงจรไฟฟ้าให้ครบวงจร หมายความว่าอย่างไร (วงจรที่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำและตัวต้านทานหรือเครื่องใช้ไฟฟ้า จนไหลกลับเข้าสู่อีกขั้วของแหล่งจ่ายไฟฟ้า)

จากนั้นแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 3-4 คน แล้วให้นักเรียนทำการทดลองตามบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก โดยให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่หลอดไฟ ขั้วโลหะ และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พร้อมบันทึกผลการทดลองให้เรียบร้อย (40 นาที)

### ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์

4) นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก จากนั้นนักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับองค์ประกอบของเซลล์กัลวานิก ควรได้ข้อสรุปว่า องค์ประกอบของเซลล์กัลวานิก ได้แก่ ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วคือ ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และสะพานเกลือ เมื่อนำสายไฟฟ้ามารวมต่อขั้วไฟฟ้าทั้งสองเข้าด้วยกัน ก็จะทำให้ครบวงจรและมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น พร้อมทั้งอธิบายการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

- ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โลหะจึงเกิดการผุกร่อน
- ขั้วแคโทด เกิดปฏิกิริยารีดักชัน โลหะจึงหนาขึ้นเนื่องจากมีโลหะไอออนในสารละลายมาเกาะ
- สารละลายอิเล็กโทรไลต์ของขั้วแอโนดจะมีไอออนบวกมากขึ้น เพราะขั้วแอโนดผุกร่อนกลายเป็นไอออนบวกในสารละลาย ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของขั้วแคโทดจะมีไอออนบวกน้อยลง เพราะไอออนบวกในสารละลายไปรีดิวซ์ที่แคโทดกลายเป็นโลหะเกาะที่ขั้วแคโทด
- สะพานเกลือ ช่วยรักษาสมดุลของไอออนโดยไอออนบวกในสารละลายเกลือจะเคลื่อนที่ไปฝั่งขั้วแคโทด และไอออนลบในสารละลายเกลือจะเคลื่อนที่ไปฝั่งขั้วแอโนด

5) ครูอธิบายการเขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์ พร้อมยกตัวอย่างประกอบ (15 นาที)

#### ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างของระบบ

6) นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลอง เพื่อประเมินความรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ โดยมีครูคอยให้คำแนะนำอย่างเหมาะสม (20 นาที)

#### ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้

7) นักเรียนและครูร่วมกันสรุปและอภิปรายหลังการทดลองเกี่ยวกับองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และแนวทางในการพัฒนาแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพและคุ้มทุน (10 นาที)

### 9. สื่อและแหล่งเรียนรู้

- 1) หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 4 (สสวท.)
- 2) สื่อ PowerPoint เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า
- 3) ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก
- 4) อินเทอร์เน็ต

### 10. การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์การเรียนรู้	ภาระงาน/ ชิ้นงาน	วิธีการวัด	เครื่องมือ ประเมิน	เกณฑ์การ ประเมิน
ด้านความรู้ (K)				

<p>1) นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า</p> <p>2) นักเรียนสามารถเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดแคโทด และปฏิกิริยารวม</p> <p>3) นักเรียนสามารถเขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์</p>	<p>คำถามท้าย การทดลอง</p>	<p>ประเมินจากการ ตอบคำถามท้าย การทดลอง</p>	<p>เกณฑ์การ ประเมินแบบ Rubrics แผนการ จัดการเรียนรู้ ที่ 3 เรื่อง เซลล์กัลวานิก</p>	<p>ระดับ คุณภาพดี ขึ้นไปผ่าน เกณฑ์</p>
<b>ด้านทักษะ (P)</b>				
<p>4) นักเรียนมีทักษะการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและแคโทด</p> <p>5) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก</p>	<p>คำถามท้าย การทดลอง</p>	<p>-ประเมินจาก พฤติกรรมขณะ ทำการทดลอง</p> <p>-ประเมินจาก การตอบคำถาม ท้ายการทดลอง</p>	<p>-เกณฑ์การ ให้คะแนน ทักษะการ ทดลอง</p> <p>-เกณฑ์การ ให้คะแนน ทักษะการคิด เชิงระบบ</p>	<p>ระดับ คุณภาพดี ขึ้นไปผ่าน เกณฑ์</p>
<b>ด้านคุณลักษณะ (A)</b>				
<p>6) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น</p>	<p>-</p>	<p>ประเมินจากการ สังเกตพฤติกรรม การอภิปรายใน ชั้นเรียน</p>	<p>เกณฑ์การ ประเมินแบบ Rubrics แผนการ จัดการเรียนรู้ ที่ 2 เรื่อง เซลล์กัลวานิก</p>	<p>ระดับ คุณภาพดี ขึ้นไปผ่าน เกณฑ์</p>

ประเด็น การประเมิน	ค่าน้ำหนัก คะแนน	แนวทางการให้คะแนน
-----------------------	---------------------	-------------------



ด้านความรู้ (K)	3	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 6-8 คะแนน
	2	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 4-6 คะแนน
	1	ตอบคำถามได้ถูกต้องน้อยกว่า 4 คะแนน
ด้านทักษะการ ทดลอง (P)	3	ปฏิบัติการทดลองได้ทั้งหมดอย่างคล่องแคล่ว ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
	2	ปฏิบัติการทดลองได้ส่วนใหญ่ แต่ไม่คล่องแคล่ว ต้องการความช่วยเหลือแนะนำในการใช้อุปกรณ์ให้ถูกต้องและปลอดภัย
	1	สามารถปฏิบัติการทดลองเองได้บางส่วน
ด้านทักษะ การคิดเชิงระบบ (P)		ดูแบบประเมินทักษะการคิดเชิงระบบ
ด้านคุณลักษณะ (A)	3	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น มาก
	2	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น ปานกลาง
	1	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น น้อย

### แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า

#### เกณฑ์การให้คะแนนด้านความรู้

ตอบคำถามได้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ ให้ 2 คะแนน

ตอบคำถามได้ถูกต้อง บางส่วน ให้ 1 คะแนน

ตอบคำถามได้ ไม่ถูกต้อง ให้ 0 คะแนน

#### ระดับคะแนน

คะแนน 3 หมายถึง ระดับดีมาก

คะแนน 2 หมายถึง ระดับดี

คะแนน 1 หมายถึง ระดับพอใช้

เกณฑ์การให้คะแนนด้านทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking)

ข้อ	ระดับการคิด	เกณฑ์การให้คะแนน
1	ระดับ สถานการณ์	2 หมายถึง สามารถระบุปัญหาได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัญหาได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัญหาไม่ถูกต้อง
2	ระดับ แบบแผน	2 หมายถึง สามารถระบุสาเหตุสำคัญได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุสาเหตุได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุสาเหตุไม่ถูกต้อง
3	ระดับ โครงสร้าง	2 หมายถึง สามารถระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ถูกต้อง
4	ระดับ ภาพจำลอง ความคิด	2 หมายถึง สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง เขียนวงจรความสัมพันธ์ได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ไม่สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้

ระดับคะแนน

คะแนน	6-8	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน	4-5	หมายถึง ระดับดี
คะแนน	0-3	หมายถึง ระดับพอใช้

11. กิจกรรมเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

12. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

ชั้น...../.....

จำนวนนักเรียน ..... คน

จำนวนนักเรียนที่ไม่มาเรียน.....คน

12.1 ผลการสอน

12.1.1 ผลการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน

.....  
.....  
.....

12.1.2 ผลการประเมินตามแบบประเมิน

- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน K ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน P ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน A ในระดับ .....

12.2 ปัญหาที่พบจากการสอนในคาบเรียน

.....  
.....  
.....

12.3 การแก้ไขปัญหาและอุปสรรค

.....  
.....  
.....

12.4 ผลการแก้ไข

.....  
.....  
.....

12.5 ข้อเสนอแนะในการสอนครั้งถัดไป

.....  
.....  
.....

สรุปผลการประเมิน

จากนักเรียนที่มาเรียนทั้งหมด.....คน

1. ด้านความรู้ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
2. ด้านกระบวนการ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน

3. ด้านคุณลักษณะ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน

ลงชื่อ.....

(นาย/นางสาว.....)

ผู้สอน

### ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. นักเรียนมีทักษะการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและแคโทด
2. นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าได้
3. นักเรียนสามารถเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด และปฏิกิริยารวมได้
4. นักเรียนสามารถเขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์ได้

#### สารเคมี

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L | จำนวน 8 หยด  |
| 2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.10 mol/L   | จำนวน 8 หยด  |
| 3. สารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ )      | จำนวน 10 หยด |
| 4. แผ่นโลหะทองแดง (Cu) ขนาด 0.5 cm x 1 cm                    | จำนวน 1 ชิ้น |
| 5. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg) ขนาด 0.5 cm x 1 cm                | จำนวน 1 ชิ้น |

#### วัสดุและอุปกรณ์

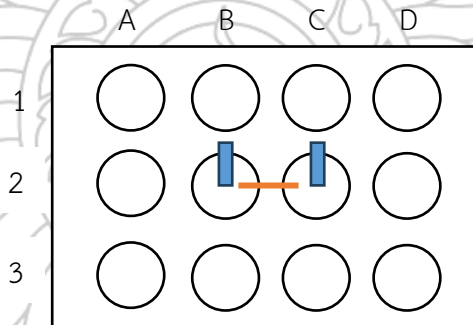
- |  |              |
|--|--------------|
| 1. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีแดง) | จำนวน 1 เส้น |
| 2. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีดำ)  | จำนวน 1 เส้น |
| 3. จานหลุมพลาสติก 12 หลุม              | จำนวน 1 อัน  |
| 4. เชือกป่าน ความยาว 2.5 cm            | จำนวน 1 เส้น |
| 5. กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm         | จำนวน 1 แผ่น |

6. หลอดไฟ ขนาด 2.5 V

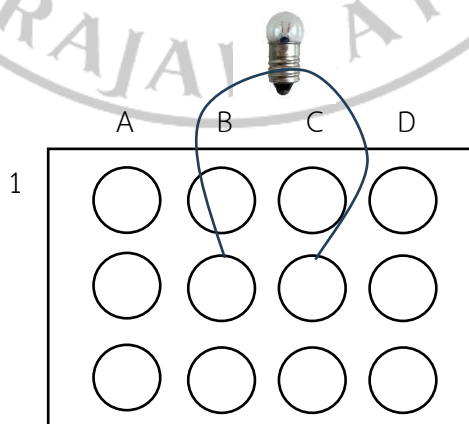
จำนวน 1 หลอด

## วิธีทดลอง

1. ขัดแผ่นโลหะ Cu และ Mg ด้วยกระดาษทราย
2. หยดสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  0.1 mol/L และสารละลาย  $\text{MgSO}_4$  0.1 mol/L อย่างละ 8 หยด ลงในจานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง B2 และ C2 ตามลำดับ สังเกตสีของสารละลาย
3. จุ่มแผ่นโลหะ Cu และ Mg ลงในสารละลายในจานหลุมพลาสติกตำแหน่งที่ B2 และ C2 ตามลำดับ
4. นำเชือกป่านมาชุบด้วยสารละลายอิมมิตัวของโพแทสเซียมไนเตรต เพื่อทำสะพานเกลือ เชื่อมแต่ละครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันดังภาพ



5. นำสายดำที่มีคลิปปากจระเข้หนีบไปที่โลหะ Cu และ Mg อย่างละ 1 เส้น แล้วต่อสายไปทั้งสองไปที่หลอดไฟขนาด 2.5 V ดังภาพ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่หลอดไฟ ขั้วโลหะ และสารละลาย บันทึกผลการทดลอง



2



3

## ผลการทดลอง

องค์ประกอบที่สังเกต	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
หลอดไฟ	
ขั้วโลหะ	
สารละลายอิเล็กโทรไลต์	

## คำถามท้ายการทดลอง

- ด้านความรู้

- เขียนปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด และปฏิกิริยารวม
  - Anode :  $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$
  - Cathode :  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$
  - Redox :  $\text{Mg} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{Cu}$
- เขียนแผนภาพเซลล์ของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น
  - $\text{Mg}/\text{MgSO}_4//\text{CuSO}_4/\text{Cu}$
- องค์ประกอบของเซลล์กัลวานิก มีอะไรบ้าง
  - ขั้วไฟฟ้า, สารละลายอิเล็กโทรไลต์, สะพานเกลือ
- ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์กัลวานิก

- ชนิดของขั้วไฟฟ้า, ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์, ชนิดและความเข้มข้นของสะพานเกลือ

5. ถ่านไฟฉาย มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นดังนี้  $\text{Zn(s)} + \text{MnO}_2\text{(s)} + 2\text{NH}_4^+\text{(aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}\text{(aq)} + \text{Mn}_2\text{O}_3\text{(s)} + 2\text{NH}_3\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$  ถ้าปล่อยให้ถ่านไฟฉายอยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าตลอดเวลาเป็นระยะเวลานานจะเกิดอะไรขึ้น

- จากปฏิกิริยาจะเห็นว่าน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นถ่านไฟฉายที่ถูกใช้เป็นระยะเวลานาน จะเกิดการเปียกแฉะหรือบวมได้ และน้ำอาจรั่วออกมาสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้

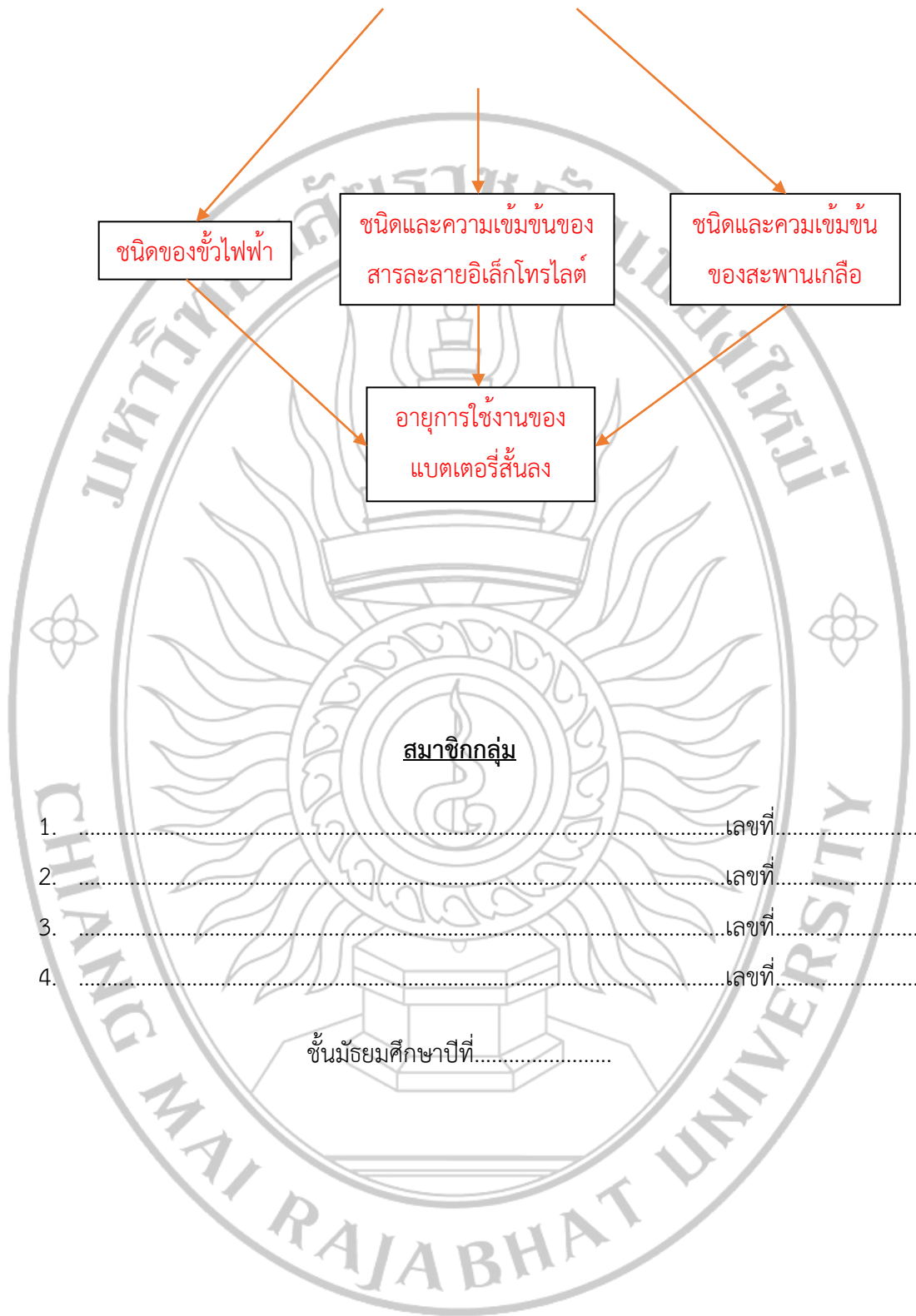
- ด้านทักษะการคิดเชิงระบบ

### สถานการณ์ที่ 3 รถยนต์ไฟฟ้า

ทิม เป็นนักวิจัยด้านแบตเตอรี่ให้กับบริษัทผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแห่งหนึ่ง โดยเขาได้ทดลองใช้ขั้วโลหะและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดใหม่ ผลการทดลองพบว่า แบตเตอรี่ที่เขาพัฒนาขึ้นมีแรงดันไฟฟ้าเสถียรขึ้น แต่พบว่าอายุการใช้งานของแบตเตอรี่กลับสั้นลง เขาจึงอยากพัฒนาให้แบตเตอรี่ของเขามีอายุการใช้งานมากขึ้น โดยพิจารณาจากองค์ประกอบของแบตเตอรี่ทุกส่วนว่าสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกหรือไม่ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านแหล่งวัตถุดิบและราคาวัตถุดิบด้วย เพื่อไม่ให้ต้นทุนการผลิตสูงเกินไป จากสถานการณ์ดังกล่าว จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร
  - อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง
- จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด
  - ชนิดของขั้วไฟฟ้าไม่เหมาะสม
  - ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่เหมาะสม
  - ชนิดและความเข้มข้นของสะพานเกลือไม่เหมาะสม
- มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
  - แหล่งวัตถุดิบอยู่ไกลจากโรงงาน ทำให้ค่าขนส่งแพง
  - ราคาวัตถุดิบบางอย่างอาจสูงเกินไป ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง
- จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่ทำให้เกิดปัญหา

ต้นทุนการผลิต/  
ค่าขนส่ง



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4

รายวิชา.....เคมี.....รหัสวิชา.....ว30224.....กลุ่มสาระการเรียนรู้.....วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โรงเรียน สารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566  
 หน่วยการเรียนรู้ที่ 10 ชื่อหน่วย เคมีไฟฟ้า  
 แผนการสอนเรื่อง กาวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า เวลา 2 คาบ/ 90 นาที  
 ห้องที่สอน วันที่สอน : วัน ที่ เดือน พ.ศ.  
 ผู้สอน นายธนรัตน์ ทองวิชาติ

### 1. มาตรฐานการเรียนรู้และสาระเคมี

**มาตรฐาน ว 2.1** เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสารความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

**สาระเคมี 2.** เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

### 2. ผลการเรียนรู้

1) คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

### 3. จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1) นักเรียนสามารถระบุขั้วแอโนด ขั้วแคโทด จากทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนได้ (K)
- 2) นักเรียนสามารถคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้าได้ (K)
- 3) นักเรียนมีทักษะการทดลองเกี่ยวกับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า (P)
- 4) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ (P)
- 5) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น (A)

### 4. สาระสำคัญ

ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นได้เองซึ่งพบในเซลล์กัลวานิก แต่ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ไม่สามารถเกิดได้เอง ต้องมีการให้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอกจึงจะเกิดปฏิกิริยาซึ่งพบในเซลล์อิเล็กโทรลิติก

### 5. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- 1) ความสามารถในการสื่อสาร
- 2) ความสามารถในการคิด
- 3) ความสามารถในการแก้ปัญหา

#### 6. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 1) ใฝ่เรียนรู้

#### 7. สารการเรียนรู้

##### ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ คือ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ซึ่งนิยมใช้หน่วยวัดเป็นโวลต์ (V) จากการวัดด้วยโวลต์มิเตอร์

นักวิทยาศาสตร์กำหนดครึ่งเซลล์อ้างอิงที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 โวลต์ โดยใช้ครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) เรียกว่า ครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน (standard hydrogen half-cell) หรืออีกชื่อคือ ขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน (SHE, standard hydrogen electrode) เมื่อนำครึ่งเซลล์ที่ต้องการทราบค่าศักย์ไฟฟ้าต่อเข้ากับ SHE ที่สภาวะมาตรฐาน ( $25^{\circ}C$ , 1M, 1 atm) จะทำให้ทราบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน (standard reduction potential;  $E^{\circ}$ ) ในเซลล์นั้น

การนำ 2 เซลล์ใดๆ มาต่อกัน สามารถคำนวณศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ได้จากผลต่างของศักย์ไฟฟ้ารีดักชันที่แคโทด ( $E_{\text{cathode}}$ ) และแอโนด ( $E_{\text{anode}}$ )

ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ = ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันแคโทด - ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันแอโนด

$$E^{\circ}_{\text{Cell}} = E^{\circ}_{\text{cathode}} - E^{\circ}_{\text{anode}}$$

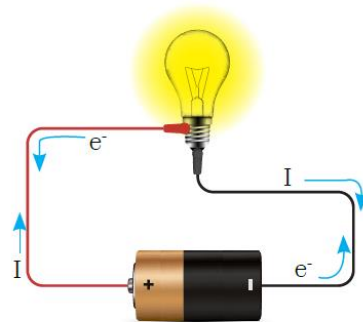
ตารางที่ 1 ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน ที่สภาวะมาตรฐาน (25°C, 1M, 1 atm)

ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์รีดักชัน	E° (V)
$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$	+2.87
$O_3(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow O_2(g) + H_2O(l)$	+2.07
$S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}(aq)$	+2.01
$Co^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Co^{2+}(aq)$	+1.82
$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+1.77
$PbO_2(s) + 4H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$	+1.70
$Ce^{4+}(aq) + e^- \rightarrow Ce^{3+}(aq)$	+1.61
$MnO_4^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$	+1.51
$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Au(s)$	+1.50
$PbO_2(s) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow Pb^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$	+1.46
$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$	+1.36
$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H^+(aq) + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 7H_2O(l)$	+1.33
$MnO_2(s) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$	+1.23
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+1.23
$Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$	+1.07
$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O(l)$	+0.96
$2Hg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}(aq)$	+0.92
$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+0.80
$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+0.77
$O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O_2(aq)$	+0.68
$MnO_4^-(aq) + 2H_2O(l) + 3e^- \rightarrow MnO_2(s) + 4OH^-(aq)$	+0.59
$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)$	+0.53
$Cu^+(aq) + e^- \rightarrow Cu(s)$	+0.52
$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$	+0.40
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+0.34
$Hg_2Cl_2(s) + 2e^- \rightarrow 2Hg(s) + 2Cl^-(aq)$	+0.27
$AgCl(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Cl^-(aq)$	+0.22
$SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow SO_2(g) + 2H_2O(l)$	+0.20
$Cu^{2+}(aq) + e^- \rightarrow Cu^+(aq)$	+0.15
$Sn^{4+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}(aq)$	+0.13
$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0.00
$Fe^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.04
$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$	-0.13
$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	-0.14
$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$	-0.25
$Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Co(s)$	-0.28
$PbSO_4(s) + 2e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$	-0.31
$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cd(s)$	-0.40
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.44
$Cr^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Cr(s)$	-0.74

### 8. กิจกรรมการเรียนรู้

ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 4, สสวท., 2564.  
**ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา**

1) ครุณาเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยครูอาจวาดรูปวงจรไฟฟ้าประกอบการอธิบายว่า กระแสอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบยังขั้วบวก แต่กระแสไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ออกจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ (3 นาที)



2) ครูอธิบายความหมายของศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ว่าหมายถึง ความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด ซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลจากจุดที่มีระดับพลังงานไฟฟ้าสูง (ศักย์ไฟฟ้าสูง) ไปยังจุดที่มีระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า (ศักย์ไฟฟ้าต่ำ) และจะหยุดไหลเมื่อ

ศักย์ไฟฟ้าทั้งสองจุดเท่ากัน จากนั้นใช้คำถามว่า ค่าความต่างศักย์หรือศักย์ไฟฟ้าของเซลล์วัดได้อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรมปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน (2 นาที)

### ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา

3) ครูเกริ่นนำว่า วันนี้จะมีปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า พร้อมทั้งแนะนำให้นักเรียนรู้จักชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน วิธีการใช้อุปกรณ์แต่ละอย่าง รวมถึงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยก่อนการทดลอง นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับประเด็นคำถาม ดังนี้

- ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก เป็นอย่างไร (อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด)
- ในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ด้วยโวลต์มิเตอร์ นักเรียนจะมีวิธีต่อขั้วโวลต์มิเตอร์อย่างไร (ต่อขั้วลบที่ขั้วแอโนด และต่อขั้วบวกที่ขั้วแคโทด)
- เซลล์อิเล็กโทรลิซิส ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเคมี มีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ต่างจากเซลล์กัลวานิกอย่างไร (เซลล์อิเล็กโทรลิซิส มีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ หมายความว่าต้องใช้ความต่างศักย์มากกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์นั้น จึงจะเกิดปฏิกิริยาได้)

จากนั้นแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 3-4 คน แล้วให้นักเรียนทำการทดลองตามบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยให้นักเรียนอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลต์มิเตอร์แล้วบันทึกผลการทดลองให้เรียบร้อย (40 นาที)

### ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์

4) ครูอธิบายวิธีการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานจากสูตร  $E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{แคโทด}} - E^\circ_{\text{แอโนด}}$  ให้แก่นักเรียน พร้อมทั้งอธิบายว่าสถานะมาตรฐานหมายถึง ณ อุณหภูมิ 25 °C ความเข้มข้นของสารละลาย 1 mol/L นั้นหมายความว่าถ้าทำการทดลองที่อุณหภูมิอื่น หรือความเข้มข้นอื่น ก็อาจจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการคำนวณศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่นอกเหนือจากสถานะมาตรฐาน จะใช้สมการของ Nernst ดังนี้

$$E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log \frac{[\text{product}]}{[\text{reactant}]}$$

ซึ่งเป็นเนื้อหาในระดับอุดมศึกษา ไม่มีในหลักสูตรของ ม.ปลาย (10 นาที)

5) นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่เป็นบวก กับค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่เป็นลบ ควรได้ข้อสรุปว่า เซลล์เคมีไฟฟ้าที่มีค่า  $E^\circ_{\text{cell}}$  เป็นบวก หมายความว่าปฏิกิริยา

ที่สามารถเกิดขึ้นได้ แต่เซลล์เคมีไฟฟ้าที่มีค่า  $E^\circ$  เป็นลบ หมายความว่า เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ จำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอกเข้าไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา (5 นาที)

#### ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างของระบบ

6) นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลอง เพื่อสังเคราะห์โครงสร้างของระบบการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยมีครูคอยให้คำแนะนำอย่างเหมาะสม (25 นาที)

#### ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้

7) นักเรียนและครูช่วยกันสรุปและอภิปรายหลังการทดลองเกี่ยวกับองค์ประกอบของการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า และความแตกต่างของค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นบวกและค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบ (5 นาที)

#### 9. สื่อและแหล่งเรียนรู้

- 1) หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 4 (สสวท.)
- 2) สื่อ PowerPoint เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า
- 3) ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า
- 4) อินเทอร์เน็ต

#### 10. การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์การเรียนรู้	ภาระงาน/ ชิ้นงาน	วิธีการวัด	เครื่องมือ ประเมิน	เกณฑ์ การ ประเมิน
ด้านความรู้ (K)				

<p>1) นักเรียนสามารถระบุ ข้อแฉขาด ข้อแฉขาด จากทิศทาง การไหลของอิเล็กตรอนได้</p> <p>2) นักเรียนสามารถคำนวณค่า ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์ เคมีไฟฟ้า</p>	<p>คำถามท่าย การทดลอง</p>	<p>ประเมินจากการ ตอบคำถามท่าย การทดลอง</p>	<p>เกณฑ์การ ประเมินแบบ Rubrics แผนการจัดการ เรียนรู้ที่ 2 เรื่อง การวัดค่า ศักย์ไฟฟ้าของ เซลล์เคมีไฟฟ้า</p>	<p>ระดับ คุณภาพ ดีขึ้นไป ผ่าน เกณฑ์</p>
<b>ด้านทักษะ (P)</b>				
<p>3) นักเรียนมีทักษะการทดลอง เกี่ยวกับการวัดศักย์ค่าไฟฟ้าของ เซลล์เคมีไฟฟ้า</p> <p>4) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิง ระบบเกี่ยวกับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า มาตรฐานของเซลล์</p>	<p>คำถามท่าย การทดลอง</p>	<p>ประเมินจากการ ตอบคำถามท่าย การทดลอง</p>	<p>-เกณฑ์การให้ คะแนนทักษะ การทดลอง -เกณฑ์การให้ คะแนนทักษะ การคิดเชิง ระบบ</p>	<p>ระดับ คุณภาพ ดีขึ้นไป ผ่าน เกณฑ์</p>
<b>ด้านคุณลักษณะ (A)</b>				
<p>5) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจ กว้าง รวมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น</p>	<p>-</p>	<p>ประเมินจากการ สังเกตพฤติกรรม การอภิปรายใน ชั้นเรียน</p>	<p>เกณฑ์การ ประเมินแบบ Rubrics แผนการจัดการ เรียนรู้ที่ 2 เรื่อง การวัดค่า ศักย์ไฟฟ้าของ เซลล์เคมีไฟฟ้า</p>	<p>ระดับ คุณภาพ ดีขึ้นไป ผ่าน เกณฑ์</p>

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า

ประเด็น การประเมิน	ค่าน้ำหนัก คะแนน	แนวทางการให้คะแนน
ด้านความรู้ (K)	3	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 6-8 คะแนน
	2	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 4-6 คะแนน
	1	ตอบคำถามได้ถูกต้องน้อยกว่า 4 คะแนน
ด้านทักษะการ ทดลอง (P)	3	ปฏิบัติการทดลองได้ทั้งหมดอย่างคล่องแคล่ว ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและ เหมาะสม
	2	ปฏิบัติการทดลองได้ส่วนใหญ่ แต่ไม่คล่องแคล่ว ต้องการความช่วยเหลือแนะ นาในการใช้อุปกรณ์ให้ถูกต้องและปลอดภัย
	1	สามารถปฏิบัติการทดลองเองได้บางส่วน
ด้านทักษะ การคิดเชิงระบบ (P)		ดูแบบประเมินทักษะการคิดเชิงระบบ
ด้านคุณลักษณะ (A)	3	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น มาก
	2	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น ปาน กลาง
	1	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น น้อย

เกณฑ์การให้คะแนนด้านความรู้

ตอบคำถามได้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์	ให้ 2 คะแนน
ตอบคำถามได้ถูกต้อง บางส่วน	ให้ 1 คะแนน
ตอบคำถามได้ ไม่ถูกต้อง	ให้ 0 คะแนน

ระดับคะแนน

คะแนน 3	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน 2	หมายถึง ระดับดี
คะแนน 1	หมายถึง ระดับพอใช้

เกณฑ์การให้คะแนนด้านทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking)

ข้อ	ระดับการคิด	เกณฑ์การให้คะแนน
1	ระดับ สถานการณ์	2 หมายถึง สามารถระบุปัญหาได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัญหาได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัญหาไม่ถูกต้อง
2	ระดับ แบบแผน	2 หมายถึง สามารถระบุสาเหตุสำคัญได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุสาเหตุได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุสาเหตุไม่ถูกต้อง
3	ระดับ โครงสร้าง	2 หมายถึง สามารถระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ได้
4	ระดับ ภาพจำลอง ความคิด	2 หมายถึง สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง เขียนวงจรความสัมพันธ์ได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ไม่สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้

**ระดับคะแนน**

คะแนน	6-8	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน	4-5	หมายถึง ระดับดี
คะแนน	0-3	หมายถึง ระดับพอใช้

**11. กิจกรรมเสนอแนะ**

.....

.....

.....

.....

**12. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้**

ชั้น...../.....

จำนวนนักเรียน ..... คน

จำนวนนักเรียนที่ไม่มาเรียน.....คน

## 12.1 ผลการสอน

### 12.1.1 ผลการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน

.....

.....

.....

### 12.1.2 ผลการประเมินตามแบบประเมิน

- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน K ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน P ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน A ในระดับ .....

## 12.2 ปัญหาที่พบจากการสอนในคาบเรียน

.....

.....

.....

## 12.3 การแก้ไขปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

.....

## 12.4 ผลการแก้ไข

.....

.....

.....

## 12.5 ข้อเสนอแนะในการสอนครั้งถัดไป

.....

.....

.....

สรุปผลการประเมิน

จากนักเรียนที่มาเรียนทั้งหมด.....คน

1. ด้านความรู้ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
2. ด้านกระบวนการ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
3. ด้านคุณลักษณะ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน

ลงชื่อ.....

(นาย/นางสาว.....)

ผู้สอน

### ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก

#### จุดประสงค์ของการทดลอง

1. นักเรียนสามารถทดลองเพื่อวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกได้
2. นักเรียนสามารถระบุขั้วแอโนด ขั้วแคโทด จากทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนได้
3. นักเรียนสามารถคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า

#### สารเคมี

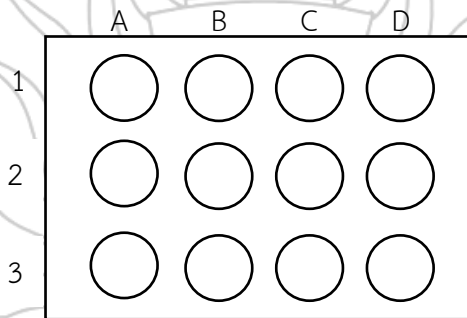
- |  |               |
|--|---------------|
| 1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.1 mol/L    | จำนวน 8 หยอด  |
| 2. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.1 mol/L           | จำนวน 8 หยอด  |
| 3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.1 mol/L      | จำนวน 8 หยอด  |
| 4. สารละลายไอร์ออน(II)ไนเตรต ( $\text{Fe(NO}_3)_2$ ) 0.1 mol/L | จำนวน 8 หยอด  |
| 5. สารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ )       | จำนวน 10 หยอด |
| 6. แผ่นโลหะทองแดง (Cu) ขนาด 0.5 cm x 1.0 cm                    | จำนวน 1 ชิ้น  |
| 7. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn) ขนาด 0.5 cm x 1.0 cm                   | จำนวน 1 ชิ้น  |
| 8. แผ่นโลหะแมกนีเซียม (Mg) ขนาด 0.5 cm x 1.0 cm                | จำนวน 1 ชิ้น  |
| 9. ตะปูเหล็กขนาดเล็ก   | จำนวน 1 ชิ้น  |

#### วัสดุและอุปกรณ์

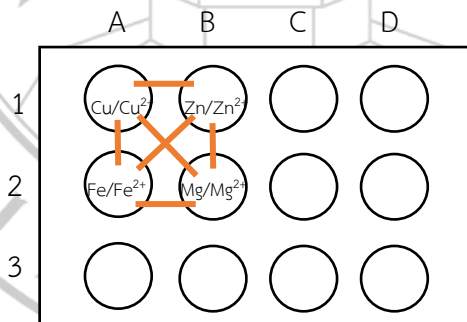
- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. โวลต์มิเตอร์แบบดิจิทัล              | จำนวน 1 เครื่อง |
| 2. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีแดง) | จำนวน 1 เส้น    |
| 3. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีดำ)  | จำนวน 1 เส้น    |
| 4. งานหลุมพลาสติก 12 หลุม              | จำนวน 1 อัน     |
| 5. เชือกป่าน ความยาว 2.5 cm            | จำนวน 5 เส้น    |
| 6. กระดาษทราย ขนาด 3 cm x 3 cm         | จำนวน 1 แผ่น    |

### วิธีทดลอง

1. ขัดแผ่นโลหะ Cu Zn Mg และตะปู Fe ด้วยกระดาษทราย
2. หยดสารละลาย  $\text{CuSO}_4$   $\text{ZnSO}_4$   $\text{MgSO}_4$  และ  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  อย่างละ 8 หยด ลงในงานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A1 B1 A2 และ B2 ตามลำดับ



3. จุ่มแผ่นโลหะ Cu Zn Mg และตะปู Fe ลงในสารละลายในงานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง A1 B1 A2 และ B2 ตามลำดับ
4. นำเชือกป่านมาชุบด้วยสารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมไนเตรต เพื่อทำสะพานเกลือ เชื่อมแต่ละครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันดังภาพ



5. ต่อแผ่นโลหะ Cu เข้ากับขั้วลบ (แอโนด) ของโวลต์มิเตอร์ และต่อแผ่นโลหะ Zn Mg และ Fe เข้ากับขั้วบวก (แคโทด) ของโวลต์มิเตอร์ ตามลำดับ อ่านค่าความต่างศักย์ที่ได้ บันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	ขั้วลบ (แอโนด)	ขั้วบวก (แคโทด)
1	Cu	Zn
2	Cu	Mg
3	Cu	Fe

6. ต่อแผ่นโลหะ Zn เข้ากับขั้วลบ (แอโนด) ของโวลต์มิเตอร์ และต่อแผ่นโลหะ Cu Mg และ Fe เข้ากับขั้วบวก (แคโทด) ของโวลต์มิเตอร์ ตามลำดับ อ่านค่าความต่างศักย์ที่ได้ บันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	ขั้วลบ (แอโนด)	ขั้วบวก (แคโทด)
1	Zn	Cu
2	Zn	Mg
3	Zn	Fe

7. ต่อแผ่นโลหะ Mg เข้ากับขั้วลบ (แอโนด) ของโวลต์มิเตอร์ และต่อแผ่นโลหะ Cu Zn และ Fe เข้ากับขั้วบวก (แคโทด) ของโวลต์มิเตอร์ ตามลำดับ อ่านค่าความต่างศักย์ที่ได้ บันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	ขั้วลบ (แอโนด)	ขั้วบวก (แคโทด)
1	Mg	Cu
2	Mg	Zn
3	Mg	Fe

8. ต่อตะขู Fe เข้ากับขั้วลบ (แอโนด) ของโวลต์มิเตอร์ และต่อแผ่นโลหะ Cu Zn และ Mg เข้ากับขั้วบวก (แคโทด) ของโวลต์มิเตอร์ ตามลำดับ อ่านค่าความต่างศักย์ที่ได้ บันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	ขั้วลบ (แอโนด)	ขั้วบวก (แคโทด)
1	Fe	Cu
2	Fe	Zn
3	Fe	Mg

#### ผลการทดลอง

ขั้วแคโทด / ขั้วแอโนด	Cu/Cu <sup>2+</sup>	Zn/Zn <sup>2+</sup>	Mg/Mg <sup>2+</sup>	Fe/Fe <sup>2+</sup>
Cu/Cu <sup>2+</sup>				
Zn/Zn <sup>2+</sup>				
Mg/Mg <sup>2+</sup>				
Fe/Fe <sup>2+</sup>				

#### คำถามท้ายการทดลอง

##### • ด้านความรู้

- เขียนแผนภาพเซลล์เคมีไฟฟ้าที่ให้ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด



- จากข้อ 1 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเป็นเท่าใด

$$\begin{aligned} E^\circ_{\text{cell}} &= E^\circ_{\text{cathode}} - E^\circ_{\text{anode}} \\ &= 0.34 - (-2.37) \\ &= 2.71 \text{ V} \end{aligned}$$

- เพราะเหตุใดค่าศักย์ไฟฟ้าของบางเซลล์จึงเป็นบวก ในขณะที่บางเซลล์เป็นลบ พร้อมระบุชนิดของเซลล์เคมีไฟฟ้าให้ถูกต้อง

- เซลล์ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก มีปฏิกิริยาเคมีที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง จัดเป็นเซลล์กัลวานิก  
แต่เซลล์ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ มีปฏิกิริยาเคมีที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง จัดเป็นเซลล์อิเล็ก  
โทรลิติก

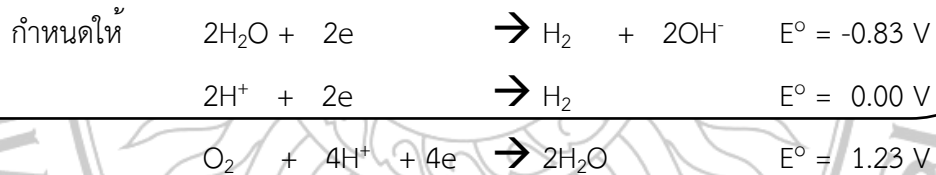
4. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์อิเล็กโทรลิติกที่เป็นลบมากๆ หมายความว่าอย่างไร

- ยิ่งค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ติดลบมาก ปฏิกิริยายิ่งเกิดได้ยาก จำเป็นต้องใช้ความต่าง  
ศักย์ไฟฟ้าสูงจ่ายเข้าไปในเซลล์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา

• ด้านทักษะการคิดเชิงระบบ

#### สถานการณ์ที่ 4 การแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้า

กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส คือ กระบวนการแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า เช่น เราสามารถใช้  
ไฟฟ้าแยกสลายองค์ประกอบของธาตุในน้ำ ( $H_2O$ ) โดยธาตุออกซิเจนในน้ำจะไปให้อิเล็กตรอนที่  
ขั้วแอโนด จึงเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนด และธาตุไฮโดรเจนในน้ำจะไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทด  
จึงเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทด แต่กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสน้ำบริสุทธิ์นั้นเกิดขึ้นได้ยาก การเติม  
สารละลายกรดลงไปเล็กน้อยจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น ทำให้ต้นทุนค่าพลังงานในการผลิต  
แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนจากกระบวนการนี้ลดลง แต่ก็จะมีต้นทุนของกรดเพิ่มขึ้นแทน จาก  
สถานการณ์ดังกล่าว จงตอบคำถามต่อไปนี้



1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร

- กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสน้ำบริสุทธิ์เกิดขึ้นได้ยาก

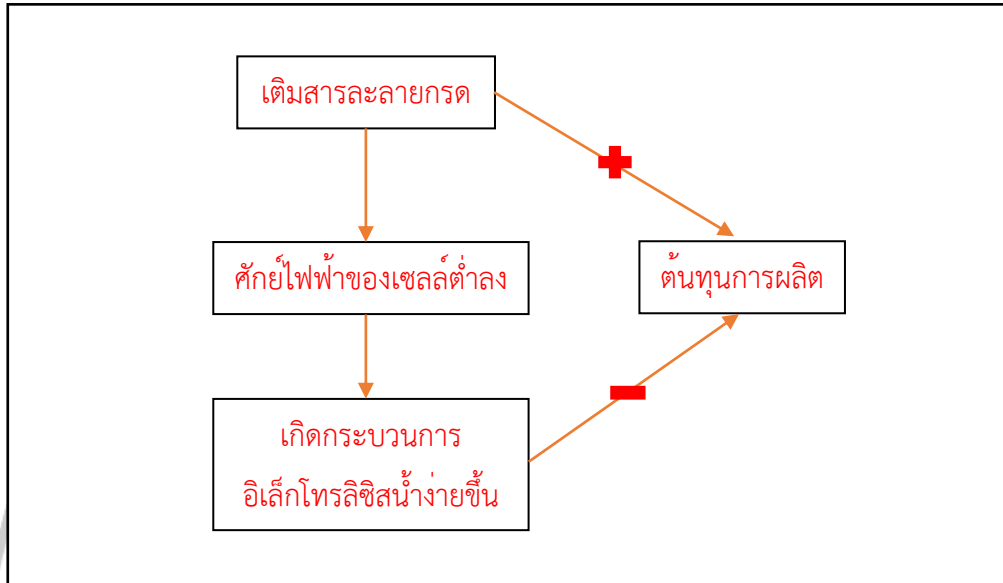
2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด

- กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสน้ำบริสุทธิ์ต้องใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้ามาก ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ยาก

3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

- การเติมสารละลายกรดลงไปเล็กน้อย จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดง่ายขึ้น เพราะกระบวนการอิ  
เล็กโทรลิซิสน้ำในสารละลายกรดใช้ความต่างศักย์ต่ำกว่าในน้ำบริสุทธิ์ จึงเกิดปฏิกิริยา  
ง่ายกว่า

4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น



สมาชิกกลุ่ม

- 1. .... เลขที่
- 2. .... เลขที่
- 3. .... เลขที่
- 4. .... เลขที่

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่.....



## แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5

รายวิชา.....เคมี.....รหัสวิชา.....ว30224.....กลุ่มสาระการเรียนรู้.....วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 โรงเรียน.....สารสาสน์วิเทศเชียงใหม่.....ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.....ภาคเรียนที่ 1.....ปีการศึกษา.....2566  
 หน่วยการเรียนรู้ที่.....10.....ชื่อหน่วย.....เคมีไฟฟ้า.....  
 แผนการสอนเรื่อง.....การแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า.....เวลา.....2.....คาบ/.....90.....นาที  
 ห้องที่สอน.....วันที่สอน : วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ.....  
 ผู้สอน.....นายธนรัตน์ ทองวิชิต.....

## 1. มาตรฐานการเรียนรู้และสาระเคมี

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสารความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

สาระเคมี ข้อ 2. เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์ และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

## 2. ผลการเรียนรู้

1) อธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า

## 3. จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1) นักเรียนสามารถอธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าได้ (K)
- 2) นักเรียนมีทักษะการทดลองเกี่ยวกับการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า (P)
- 3) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฮโดรเจน (P)
- 4) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น (A)

## 4. สาระสำคัญ

การแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) คือ กระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเข้าไปในสารประกอบไอออนิกหลอมเหลวหรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี

#### 5. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- 1) ความสามารถในการสื่อสาร
- 2) ความสามารถในการคิด
- 3) ความสามารถในการแก้ปัญหา

#### 6. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 1) ใฝ่เรียนรู้

#### 7. สาระการเรียนรู้

การแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) คือ กระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเข้าไปในสารประกอบไอออนิกหลอมเหลวหรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี โดยเซลล์อิเล็กโทรลิติกจะให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ติดลบ นั่นหมายความว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติกไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นเองได้ แต่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าภายนอก เพื่อให้เซลล์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้

#### ส่วนประกอบของเซลล์อิเล็กโทรลิติก

1. ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือ แผ่นตัวนำที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อกับเซลล์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ แบ่งเป็น ขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode)
2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนบวกและไอออนลบ โดยไอออนบวก จะวิ่งไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงเรียกขั้วลบว่า แคโทด และเรียกไอออนบวกว่า แคตไอออน (cation) ส่วนไอออนลบ จะวิ่งไปให้อิเล็กตรอนที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า แอโนด และเรียก ไอออนลบว่า แอนไอออน (Anion)
3. เครื่องกำเนิดกระแสตรง (D.C.) เช่น เซลล์ไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่

#### ประโยชน์ของกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส

1. การแยกสารประกอบไอออนิกหลอมเหลวด้วยไฟฟ้า เช่น เกลือ NaCl เมื่อถูกทำให้หลอมเหลว จะเกิดเป็นไอออนบวก และไอออนลบ ซึ่งเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป จะทำให้ ไอออนบวกเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ เพื่อเข้าไปรับอิเล็กตรอนหรือเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ส่วนไอออนลบ จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก เพื่อจ่ายอิเล็กตรอน หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2. การแยกสารละลายอิเล็กโทรไลต์ด้วยไฟฟ้า สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะประกอบด้วย ตัวถูกละลายชนิดต่างๆ ที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ และน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย เช่น สารละลายของ  $\text{NaCl (aq)}$  จะมีไอออนบวก คือ  $\text{Na}^+(\text{aq})$  และไอออนลบ คือ  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  ซึ่งไอออนทั้งสองถูกน้ำล้อมรอบอยู่ ( $\text{aq} = \text{aqueous}$  มีน้ำล้อมรอบ) ดังนั้น ในสารละลายนี้จึงมีองค์ประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ (ตัวทำละลาย),  $\text{Na}^+(\text{aq})$  และ  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  (ตัวถูกละลาย)

การแยกสารละลายอิเล็กโทรไลต์ด้วยไฟฟ้าที่เกิดขึ้นคือ น้ำและไอออนลบของตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก เพื่อไปให้อิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสารใดจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พิจารณาจากค่า  $E^0$  ถ้ามีค่า  $E^0$  ต่ำ สารนั้นจะเป็นตัวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ เกิดการให้อิเล็กตรอนที่ขั้วบวกนั้นได้ดีกว่าที่เหลือก็ไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆ ส่วนน้ำและไอออนบวกของตัวถูกละลาย จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก ไปรับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ในทำนองเดียวกัน สารใดจะสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีก็ให้พิจารณาจากค่า  $E^0$  โดยถ้ามีค่า  $E^0$  สูงกว่าสารนั้นก็จะสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า สารที่เหลือก็จะไม่เกิดปฏิกิริยา

## 8. กิจกรรมการเรียนรู้

### ขั้นที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหา

- 1) ครูยกตัวอย่างการสารแยก  $\text{NaCl}$  หลอมเหลวด้วยเซลล์อิเล็กโทรลิติก (ใช้ขั้วเฉื่อย) แล้วอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด นำไปสู่ข้อสรุปว่าจะเกิดแก๊สคลอรีน ( $\text{Cl}_2$ ) ที่ขั้วแอโนด และจะเกิดโลหะโซเดียม ( $\text{Na}$ ) ที่ขั้วแคโทด (4 นาที)
- 2) ครูคำถามว่า นักเรียนคิดว่าการแยกสารหลอมเหลวและสารละลายด้วยเซลล์อิเล็กโทรลิติก จะให้ผลิตภัณฑ์เหมือนกันหรือไม่ เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรมปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน (1 นาที)

### ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุตัวแปรที่ต้องการศึกษา

- 3) ครูเกริ่นนำว่า วันนี้จะมีปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย  $\text{KI}$  พร้อมทั้งแนะนำให้นักเรียนรู้จักชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน วิธีการใช้อุปกรณ์แต่ละอย่าง รวมถึงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยก่อนการทดลอง นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับประเด็นคำถาม ดังนี้

- ในสารละลาย  $\text{KI}$  สารใดบ้างที่สามารถไปให้อิเล็กตรอนที่ขั้วแอโนด ( $\text{I}^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}$ )
- ในสารละลาย  $\text{KI}$  สารใดบ้างที่สามารถไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทด ( $\text{K}^+$  และ  $\text{H}_2\text{O}$ )

- จะทราบได้อย่างไรว่าสารใดเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ในปฏิกิริยา (พิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน ( $E^\circ_{\text{red}}$ ) ตัวรีดิวซ์จะต้องมี  $E^\circ_{\text{red}}$  ต่ำ และตัวออกซิไดส์จะต้องมีค่า  $E^\circ_{\text{red}}$  สูง)

จากนั้นแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 3-4 คน แล้วให้นักเรียนทำการทดลองตามบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI โดยให้นักเรียนสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด พร้อมบันทึกผลการทดลองให้เรียบร้อย (40 นาที)

### ขั้นที่ 3 ศึกษาและอธิบายพฤติกรรมในแต่ละสถานการณ์

4) ครูอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยชี้ให้เห็นว่าในการแยกสลายสารละลาย KI จะต้องพิจารณาว่า  $\text{H}_2\text{O}$  มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาหรือไม่ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน ควรได้ข้อสรุปว่า ในการทดลองนี้ที่ขั้วแอโนด  $\text{I}^-$  ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ เพราะถ้า  $\text{H}_2\text{O}$  เป็นตัวรีดิวซ์จะต้องเกิดแก๊ส  $\text{H}_2$  ดังสมการ  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^- + 2\text{e}^-$  และที่ขั้วแคโทด  $\text{H}_2\text{O}$  ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์ (สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู แสดงว่ามี  $\text{OH}^-$  เกิดขึ้นตามสมการ  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$  โดยครูเปิดตารางแสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันประกอบการอธิบายด้วย (15 นาที)

### ขั้นที่ 4 สังเคราะห์โครงสร้างของระบบ

5) นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลอง เพื่อสังเคราะห์โครงสร้างของระบบการใช้พลังงานไฮโดรเจน โดยมีครูคอยให้คำแนะนำอย่างเหมาะสม (20 นาที)

### ขั้นที่ 5 สรุปผลข้อมูลที่ได้

6) นักเรียนและครูร่วมกับสรุปและอภิปรายหลังการทดลองเกี่ยวกับข้อดี-ข้อเสียของการใช้พลังงานไฮโดรเจน และแนวโน้มการใช้พลังงานไฮโดรเจนในอนาคต (10 นาที)

## 9. สื่อและแหล่งเรียนรู้

- 1) หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 4 (สสวท.)
- 2) สื่อ PowerPoint เรื่อง การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า
- 3) ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า
- 4) อินเทอร์เน็ต

## 10. การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์การเรียนรู้	ภาระงาน/ ชิ้นงาน	วิธีการวัด	เครื่องมือประเมิน	เกณฑ์การประเมิน
-----------------------	---------------------	------------	-------------------	-----------------

## ด้านความรู้ (K)

ประเด็น การประเมิน	ค่าน้ำหนัก คะแนน	แนวทางการให้คะแนน		
-----------------------	---------------------	-------------------	--	--

1) นักเรียนสามารถอธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าได้	ตอบคำถาม ท้ายการ ทดลอง	ประเมินจาก การตอบ คำถามท้าย การทดลอง	เกณฑ์การประเมิน แบบ Rubrics แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ 5 เรื่อง การ แยกสลายสารเคมีด้วย ไฟฟ้า	ระดับ คุณภาพดีขึ้นไปผ่าน เกณฑ์
<b>ด้านทักษะ (P)</b>				
2) นักเรียนมีทักษะการทดลองเกี่ยวกับการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า	ตอบคำถาม ท้ายการ ทดลอง	ประเมินจาก การตอบ คำถามท้าย การทดลอง	เกณฑ์การให้คะแนน แบบประเมินทักษะ การคิดเชิงระบบ	ระดับ คุณภาพดีขึ้นไปผ่าน เกณฑ์
3) นักเรียนมีทักษะการคิดเชิงระบบเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฮโดรเจน				
<b>ด้านคุณลักษณะ (A)</b>				
4) นักเรียนมีพฤติกรรมเป็นคนใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น (A)	-	ประเมินจาก การสังเกต พฤติกรรม การอภิปราย ในชั้นเรียน	เกณฑ์การประเมิน แบบ Rubrics แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ 5 เรื่อง การแยก สลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า	ระดับ คุณภาพดีขึ้นไปผ่าน เกณฑ์

เกณฑ์การประเมินแบบ Rubrics

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า

ด้านความรู้ (K)	3	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 6-8 คะแนน
	2	ตอบคำถามได้ถูกต้อง 4-6 คะแนน
	1	ตอบคำถามได้ถูกต้องน้อยกว่า 4 คะแนน
ด้านทักษะการ ทดลอง (P)	3	ปฏิบัติการทดลองได้ทั้งหมดอย่างคล่องแคล่ว ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
	2	ปฏิบัติการทดลองได้ส่วนใหญ่ แต่ไม่คล่องแคล่ว ต้องการความช่วยเหลือแนะนำในการใช้อุปกรณ์ให้ถูกต้องและปลอดภัย
	1	สามารถปฏิบัติการทดลองเองได้บางส่วน
ด้านทักษะ การคิดเชิงระบบ (P)		ดูแบบประเมินทักษะการคิดเชิงระบบ
ด้านคุณลักษณะ (A)	3	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น มาก
	2	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น ปานกลาง
	1	รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น น้อย

**เกณฑ์การให้คะแนนด้านความรู้**

ตอบคำถามได้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ ให้ 2 คะแนน

ตอบคำถามได้ถูกต้อง บางส่วน ให้ 1 คะแนน

ตอบคำถามได้ ไม่ถูกต้อง ให้ 0 คะแนน

**ระดับคะแนน**

คะแนน 3 หมายถึง ระดับดีมาก

คะแนน 2 หมายถึง ระดับดี

คะแนน 1 หมายถึง ระดับพอใช้

เกณฑ์การให้คะแนนด้านทักษะการคิดเชิงระบบ (System Thinking)

ข้อ	ระดับการคิด	เกณฑ์การให้คะแนน
1	ระดับ สถานการณ์	2 หมายถึง สามารถระบุปัญหาได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัญหาได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัญหาไม่ถูกต้อง
2	ระดับ แบบแผน	2 หมายถึง สามารถระบุสาเหตุสำคัญได้ครบถ้วนชัดเจน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุสาเหตุได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุสาเหตุไม่ถูกต้อง
3	ระดับ โครงสร้าง	2 หมายถึง สามารถระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ถูกต้อง
4	ระดับ ภาพจำลอง ความคิด	2 หมายถึง สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		1 หมายถึง เขียนวงจรความสัมพันธ์ได้แต่ไม่ครบถ้วน ตามแนวคำตอบ
		0 หมายถึง ไม่สามารถเขียนวงจรความสัมพันธ์ได้

ระดับคะแนน

คะแนน	6-8	หมายถึง ระดับดีมาก
คะแนน	4-5	หมายถึง ระดับดี
คะแนน	0-3	หมายถึง ระดับพอใช้

11. กิจกรรมเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

12. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

ชั้น...../.....

จำนวนนักเรียน ..... คน

จำนวนนักเรียนที่ไม่มาเรียน.....คน

12.1 ผลการสอน

12.1.1 ผลการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน

.....  
.....  
.....

12.1.2 ผลการประเมินตามแบบประเมิน

- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน K ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน P ในระดับ .....
- นักเรียนจำนวน.....คน คิดเป็นร้อยละ..... มีผลการประเมินด้าน A ในระดับ .....

12.2 ปัญหาที่พบจากการสอนในคาบเรียน

.....  
.....  
.....

12.3 การแก้ไขปัญหาและอุปสรรค

.....  
.....  
.....

12.4 ผลการแก้ไข

.....  
.....  
.....

12.5 ข้อเสนอแนะในการสอนครั้งถัดไป

.....  
.....  
.....

สรุปผลการประเมิน

จากนักเรียนที่มาเรียนทั้งหมด.....คน

1. ด้านความรู้ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน

2. ด้านกระบวนการ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน
3. ด้านคุณลักษณะ ผ่าน.....คน ไม่ผ่าน.....คน

ลงชื่อ.....

(นาย/นางสาว.....)

ผู้สอน

### ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า

#### จุดประสงค์การทดลอง

1. นักเรียนมีทักษะการทดลองเกี่ยวกับแยกสลายสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติก
2. นักเรียนสามารถระบุปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดได้
3. นักเรียนเขียนสมการรีดอกซ์แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้
4. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าได้

#### สารเคมี

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 0.1 mol/L     | จำนวน 16 หยด |
| 2. สารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมไนเตรต ( $KNO_3$ ) | จำนวน 10 หยด |
| 3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน                          | จำนวน 2 หยด  |

#### วัสดุและอุปกรณ์

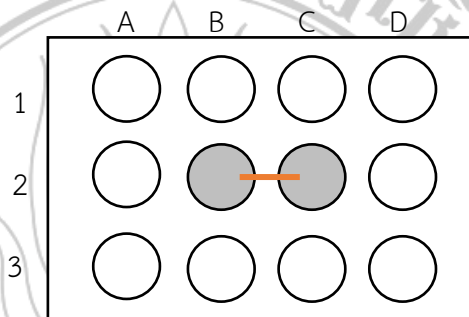
- |  |              |
|--|--------------|
| 1. แบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลต์              | จำนวน 1 ก้อน |
| 2. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีแดง) | จำนวน 1 เส้น |
| 3. สายไฟที่ต่อกับคลิปปากจระเข้ (สีดำ)  | จำนวน 1 เส้น |
| 4. ไม้ดินสอด ความยาว 1 cm              | จำนวน 2 อัน  |
| 5. งานหลุมพลาสติก 12 หลุม              | จำนวน 1 อัน  |

6. เชือกป่าน ความยาว 2.5 cm

จำนวน 1 เส้น

### วิธีทดลอง

1. หยด KI จำนวน 8 หยด ลงในงานหลุมพลาสติก ตำแหน่ง B2 และ C2 ตามลำดับ จากนั้นนำเชือกป่านมาชุบด้วยสารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมไนเตรต เพื่อทำสะพานเกลือเชื่อมแต่ละครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันดังภาพ



2. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด ลงใน KI ตำแหน่ง C2 แล้วปล่อยให้สารผสมกันโดยไม่ต้องคน
3. ต่อสายไฟกับไส้ดินสอดำและต่อเข้ากับแบตเตอรี่ จากนั้นจุ่มไส้ดินสอดำขั้วบวก (แอโนด) ลงใน KI ตำแหน่ง B2 และจุ่มไส้ดินสอดำขั้วลบ (แคโทด) ลงใน KI ตำแหน่ง C2 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลการทดลอง

### ผลการทดลอง

ขั้วไฟฟ้า	ผลการสังเกต
ขั้วบวก (แอโนด)	
ขั้วลบ (แคโทด)	

### คำถามท้ายการทดลอง

- ด้านความรู้
1. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น  

$$- 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^- + \text{I}_2$$
  2. เขียนปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด  

$$- \text{แอโนด} : 2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$$



3. อธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า

- กระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ และแยกองค์ประกอบของสารออกมาที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด

4. จากการทดลอง ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างไร

- สามารถนำ  $\text{I}_2$  ที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือยา และสามารถนำแก๊ส  $\text{H}_2$  ที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

- ด้านทักษะการคิดเชิงระบบ

### สถานการณ์ที่ 5 พลังงานไฮโดรเจน

ท่ามกลางยุคเปลี่ยนผ่านพลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมาเป็นพลังงานทางเลือกมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ทำให้ประชาชนหันมาใช้รถยนต์ไฟฟ้ากันมากขึ้น บวกกับการสนับสนุนต่างๆ จากภาครัฐ เช่น การลดภาษีและโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ทำให้ปัจจุบันเทรนด์การใช้รถยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นที่นิยมอย่างมาก แต่ความเป็นจริงแล้วการผลิตไฟฟ้าก็ได้สร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับโลกไม่น้อยเช่นกัน พลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะเราสามารถผลิตได้จากกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส น้ำ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนก็ได้น้ำออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ จึงถือว่าพลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาดอย่างแท้จริง แต่ถึงกระนั้นการใช้พลังงานไฮโดรเจนก็ยังไม่อยู่ในขั้นของการวิจัย และใช้จริงในยานอวกาศเท่านั้น ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายสำหรับการใช้เป็นพลังงานรถยนต์ โดยมีสาเหตุสำคัญมาจากการที่แก๊สไฮโดรเจนติดไฟง่ายมาก ทำให้การขนส่งและการนำมาใช้ยังไม่ปลอดภัยเท่าที่ควร อีกทั้งต้นทุนการผลิตยังสูงอยู่มาก จากสถานการณ์ดังกล่าว จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร

- พลังงานไฮโดรเจนไม่เป็นที่นิยม

2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใดบ้าง

- แก๊สไฮโดรเจนติดไฟง่าย

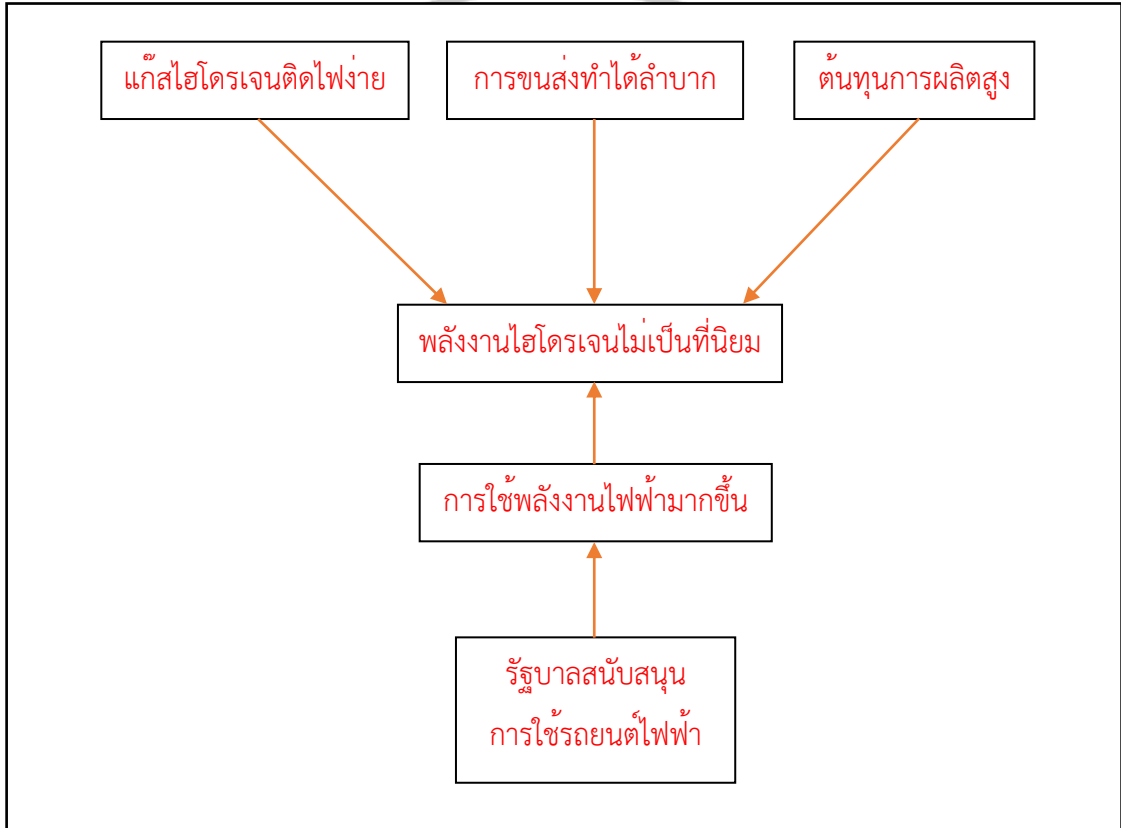
- การขนส่งทำได้ลำบาก

- ต้นทุนการผลิตสูง

3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

- รัฐบาลสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ทำให้การลงทุนและพัฒนาพลังงานไฮโดรเจนลดลง

4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา



สมาชิกกลุ่ม

- 1. .... เลขที่.....
- 2. .... เลขที่.....
- 3. .... เลขที่.....
- 4. .... เลขที่.....

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่.....

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบก่อนเรียน-หลังเรียน

เรื่อง เคมี่ไฟฟ้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตอนที่ 1 ปรนัย 30 ข้อๆ ละ 4 ตัวเลือก

### ผลการเรียนรู้

- วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

จากปฏิกิริยา  $\text{Mg(s)} + 2\text{HCl(g)} \rightarrow \text{MgCl}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$  จงตอบตามข้อ 1-4

1. สารใดทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์

- ก. Mg
- ข. HCl
- ค. MgCl<sub>2</sub>
- ง. H<sub>2</sub>

2. สารใดทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์

- ก. Mg
- ข. HCl
- ค. MgCl<sub>2</sub>
- ง. H<sub>2</sub>

3. ข้อใดคือสมการที่แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ถูกต้อง

- ก.  $\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightarrow \text{Mg}(\text{s})$
- ข.  $2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$
- ค.  $\text{Mg}(\text{s}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}$
- ง.  $\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}$

4. ข้อใดคือสมการที่แสดงปฏิกิริยารีดักชันได้ถูกต้อง

- ก.  $\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e} \rightarrow \text{Mg}(\text{s})$
- ข.  $2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$
- ค.  $\text{Mg}(\text{s}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}$
- ง.  $\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}$

5. ข้อต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ยกเว้น

- ก.  $\text{Cu}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{CuSO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$
- ข.  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- ค.  $4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$



6. ธาตุแตรนซันในข้อใด มีเลขออกซิเดชันสูงสุด

- ก. Fe
- ข.  $\text{AgNO}_3$
- ค.  $\text{CuSO}_4$
- ง.  $\text{CoCl}_3$

ผลการเรียนรู้

- ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์
- อธิบายหลักการป้องกันการฟุกร่อนของโลหะ

7. พิจารณาข้อมูลจากตาราง

สารละลาย โลหะ	$\text{CuSO}_4$	$\text{MgSO}_4$	$\text{ZnSO}_4$
Cu	-	-	-
Mg	+	-	+
Zn	+	-	-

+ หมายถึง มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น

- หมายถึง ไม่เกิดปฏิกิริยา

ข้อใดเรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ได้ถูกต้อง

- ก.  $\text{Cu}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$
- ข.  $\text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$
- ค.  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$
- ง.  $\text{Mg}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$

8. เมื่อนำสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  บรรจุในภาชนะที่ทำด้วยดีบุก (Sn) ปรากฏว่าภาชนะเกิดการฟุกร่อนจนสารละลายรั่วออกมา ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. Cu เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงกว่า Sn

ข.  $\text{Cu}^{2+}$  เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงกว่า  $\text{Sn}^{2+}$

ค. Sn เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงกว่า Cu

ง. ถูกทั้งข้อ ข และ ค

9. โลหะ Na สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้รุนแรงกว่า Mg ข้อใดสรุปถูกต้อง

ก. Na มีความสามารถในการรีดิวซ์มากกว่า Mg

ข. Na มีความสามารถในการรีดิวซ์น้อยกว่า Mg

ค.  $\text{Na}^+$  สามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า  $\text{Mg}^{2+}$

ง. ไม่สามารถสรุปได้

10. ข้อใดคือเหตุผลหลักของการเคลือบผิวของโลหะด้วยการทาสีหรือน้ำมัน

ก. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะถูกรีดิวซ์

ข. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

ค. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะถูกออกซิไดส์

ง. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะ โดนความร้อน

11. ข้อใดคือการป้องกันการผุกร่อนของโลหะด้วยวิธีแคโทดิก

ก. ผสมโลหะต่างชนิดเข้าด้วยกัน

ข. ต่อโลหะที่ไม่ต้องการให้ผุกร่อนเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่

ค. นำโลหะไปต้มกับสารละลาย NaOH

ง. ต่อโลหะที่ไม่ต้องการให้ผุกร่อนเข้ากับโลหะที่มีความสามารถในการรีดิวซ์มากกว่า

12. ข้อความต่อไปนี้ เป็นวิธีป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ ยกเว้น

ก. การรมดำ

ข. การทำให้เป็นโลหะผสม

ค. การนำเหล็กไปทำอะโนไดส์

ง. การทำแคโทดิก

- ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์

13. สะพานเกลือ มีหน้าที่ดังข้อใด

- ก. เป็นตัวต้านทานของเซลล์
- ข. ทำให้ครบวงจรและรักษาสมดุลไอออน
- ค. เป็นแหล่งพลังงานของเซลล์
- ง. ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

14. ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบไปด้วยขั้วแอโนด ขั้วแคโทด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และสะพานเกลือ
- ข. ขั้วแอโนดจะเกิดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ค. ขั้วเฉื่อย คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยา
- ง. ถูกทุกข้อ

15. จากแผนภาพเซลล์  $\text{Zn(s)} / \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) // \text{H}^{+}(\text{aq}) / \text{H}_2(\text{g}) / \text{Pt(s)}$  ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด คือ  $\text{Zn} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$
- ข. ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด คือ  $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2$
- ค. ปฏิกิริยารวมคือ  $\text{Zn}^{2+} + 2\text{H}^{+} \rightarrow \text{Zn} + \text{H}_2$
- ง. ถูกทุกข้อ

16. ข้อใดคือแผนภาพเซลล์ของปฏิกิริยา  $\text{Mg(s)} + 2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$

- ก.  $\text{Mg(s)} / \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) // \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
- ข.  $\text{Mg(s)} / \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) // \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) / \text{Pt(s)}$
- ค.  $\text{Mg(s)} / \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) // \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) / \text{Pt(s)}$
- ง.  $\text{Pt(s)} / \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) // \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) / \text{Mg(s)}$

17. ข้อใดกล่าวถึงเซลล์กัลวานิก ไม่ถูกต้อง

- ก. มีแอโนดเป็นขั้วลบ
- ข. มีแคโทดเป็นขั้วบวก
- ค. ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นเองได้
- ง. ไม่จำเป็นต้องใช้สะพานเกลือ

18. ข้อใดกล่าวถึงเซลล์อิเล็กโทรลิติก ไม่ถูกต้อง

ก. แหล่งพลังงานของเซลล์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

ข. มีแอโนดเป็นขั้วบวก

ค. มีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ

ง. ปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้

### ผลการเรียนรู้

- คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

19. กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน ดังนี้

ปฏิกิริยา	$E^\circ$ (V)
$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0.76
$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	-0.44
$Sn^{4+} + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}$	+0.15

ข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. Zn เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงที่สุด

ข. ถ้านำ Fe มาทำภาชนะบรรจุสารละลาย  $Sn^{4+}$  จะทำให้ภาชนะผุกร่อนได้

ค.  $Sn^{4+}$  เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงที่สุด

ง. ถูกทั้งข้อ ข และ ค

20. เมื่อต่อครึ่งเซลล์  $Zn(s) | Zn^{2+}(aq)$  กับ ครึ่งเซลล์  $Fe(s) | Fe^{2+}(aq)$  ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เป็นเท่าใด

ก. -1.10 โวลต์

ข. +1.10 โวลต์

ค. -0.32 โวลต์

ง. +0.32 โวลต์

21. จากแผนภาพเซลล์  $Fe/Fe^{2+} // Zn^{2+}/Zn$  ปฏิกิริยานี้มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เท่าใด และสามารถเกิดขึ้นได้เองหรือไม่

ก. -1.10 โวลต์ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง

ข. +1.10 โวลต์ สามารถเกิดขึ้นได้เอง

ค. -0.32 โวลต์ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง

ง. +0.32 โวลต์ สามารถเกิดขึ้นได้เอง

22. ข้อต่อไปนี้เป็นข้อแตกต่างระหว่างเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก ยกเว้น

เซลล์กัลวานิก	เซลล์อิเล็กโทรลิติก
---------------	---------------------

ก. ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยรีดักชัน
ข. ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นบวก	ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ
ค. ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้เอง	ปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง
ง. ไม่อาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์	ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์

ใช้ข้อมูลค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน ต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 23-24

ปฏิกิริยา	$E^\circ$ (V)
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	+1.23
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt}$	+1.20
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0.34
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0.00
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0.14
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0.23
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	-0.77

23. ปฏิกิริยาการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าโดยไม่เติมสารละลายกรด จะเกิดได้ยากหรือง่ายกว่ากรณีที่เติมสารละลายกรด เพราะเหตุใด

- ก. เกิดได้ง่ายกว่า เพราะใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า
- ข. เกิดได้ยากกว่า เพราะใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า
- ค. เกิดปฏิกิริยาได้เร็วเท่ากัน
- ง. เกิดได้ยากกว่า เพราะโมเลกุลของน้ำเสถียรกว่า

24. ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด

- ก. ภาชนะที่ทำจากโลหะดีบุกหรือนิกเกิลควรใช้บรรจุสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ได้
- ข. ลำดับความสามารถในการรีดิวซ์ของโลหะต่างๆ คือ  $\text{Pt} > \text{Cu} > \text{Sn} > \text{Ni}$
- ค. ถ้าต่อเซลล์  $\text{Sn(s)} | \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  เข้ากับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน  $\text{Sn(s)} | \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  จะเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน
- ง. ถ้าต่อครึ่งเซลล์  $\text{Sn(s)} | \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  กับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน จะเกิดก๊าซ  $\text{H}_2$  ขึ้นที่ครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน

ผลการเรียนรู้

- อธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า

ใช้ข้อมูลค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน ต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 25-27

ปฏิกิริยา	$E^\circ$ (V)
$X^+ + e \rightleftharpoons X$	-2.71
$Y_2 + 2e \rightleftharpoons 2Y$	+2.14
$1/2S_2O_8^{2-} + e \rightleftharpoons SO_4^{2-}$	+2.01
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$	+1.23
$2H_2O + 2e \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	-0.83

25. ในการแยกสารละลาย XY ด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้แท่งคาร์บอนเป็นอิเล็กโทรด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด คือข้อใด

- ก.  $2H_2O \rightleftharpoons O_2 + 4H^+ + 4e$       ค.  $2Y \rightleftharpoons Y_2 + 2e$   
 ข.  $X \rightleftharpoons X^+ + e$                               ง.  $X^+ + e \rightleftharpoons X$

26. เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลาย  $K_2SO_4$  ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นคือข้อใด

- ก.  $K(s) \rightleftharpoons K^+ + e$                               ค.  $H_2O(l) \rightleftharpoons O_2(g) + 2H^+ + 2e$   
 ข.  $SO_4^{2-} \rightleftharpoons 1/2S_2O_8^{2-} + e$                               ง.  $O_2(g) + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O(l)$

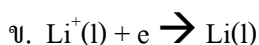
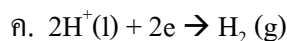
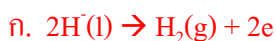
27. จากปฏิกิริยาในข้อ 26 สารใดเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด

- ก.  $O_2$                               ข.  $SO_4^{2-}$                               ค.  $H_2O$                               ง.  $H_2$

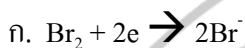
28. ในการทำอิเล็กโทรลิซิสโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลว ข้อใดบอกผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้อง

ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด
ก. $Na^+$	$Cl^-$
ข. $Cl_2$	$Na$
ค. $Cl^-$	$Na^+$
ง. $O_2$	$H_2$

29. ในการทำอิเล็กโทรลิซิสสลิเทียมไฮโดรด์โดยใช้ Pt เป็นขั้วไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดคือข้อใด



30. ในการแยกสลายโพแทสเซียมโบรไมด์ที่หลอมเหลวด้วยกระแสไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรลิติก สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด คือ



ตอนที่ 2 อัดนัย 3 สถานการณ์ๆ ละ 4 ข้อย่อย

สถานการณ์ที่ 1

## ตอบปัญหาทวนใจ กำไ่น้ำมันถึงเห็บหิน

Posted By Atiphath | 28 ก.ค. 60

### การเหม็นหืนของน้ำมัน หรือ Rancidification

หัวใจสำคัญของการเกิดการเหม็นหืน คือ การมีอะไรก็ตามมาทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดไขมันนั่นเองครับ ยิ่งไขมันชนิดไหนมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดไขมันมากกว่า ก็จะมีโอกาสเกิดการเหม็นหืนมากกว่า ซึ่งการเหม็นหืนของน้ำมันที่เกิดขึ้นนั้น จริง ๆ แล้วเกิดจากหลายสาเหตุ แต่ละปฏิกิริยาล้วนทำให้เกิดกลิ่นเหม็นแปลก ๆ ขึ้นมาได้ โดยส่วนใหญ่แล้วแบ่งได้ 3 สาเหตุครับ

สาเหตุแรก: ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Rancidity)

ในอากาศปกติสามารถทำให้น้ำมันเหม็นหืนได้ เพราะในอากาศมีออกซิเจนอยู่ เมื่อไขมันเจอกับออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดไขมัน โดยมีแสงหรืออุณหภูมิอุ่น ๆ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากคีโตนกรุปนั่นเอง

สาเหตุที่สอง: ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Rancidity)

ปฏิกิริยานี้ไม่ได้เกิดตรงพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนแต่เกิดจากกรดไขมันที่ไม่อิมิตัวทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยมีจุลินทรีย์ในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้กรดไขมันยาว ๆ ขาดออกจากส่วนของกลีเซอรอล เกิดไขมันอิสระมากขึ้น จึงมีกลิ่นเหม็นหืนจากไขมันอิสระเหล่านี้มากขึ้น

สาเหตุสุดท้าย: จุลินทรีย์ (Microbial Rancidity)

จุลินทรีย์ในอากาศก็มีส่วนทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยไขมันให้เล็กลงได้เรื่อยๆ โดยไตรกลีเซอไรด์จะถูกย่อยเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนจากกรดไขมันอิสระ

### ขอเสริมความเข้าใจอีกนิด

ยังมีความจริงอีกอย่างที่ว่า ไขมันเองก็มีการป้องกันการเหม็นหืนตามธรรมชาติของมันอยู่แล้ว เช่น ในน้ำมันพืชมีวิตามิน E ช่วยป้องกันอยู่ รวมทั้งน้ำมันที่วางขายตามห้างสรรพสินค้าทั่วไป ก็มีการเติมสารที่เรียกว่า BHA หรือ BHT ช่วยป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันได้อีกด้วย

ที่มา: <https://www.trueplookpanya.com/dhamma/content/61088>

1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร

- น้ำมันเหม็นหืน

2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด

- น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และเกิดจากจุลินทรีย์

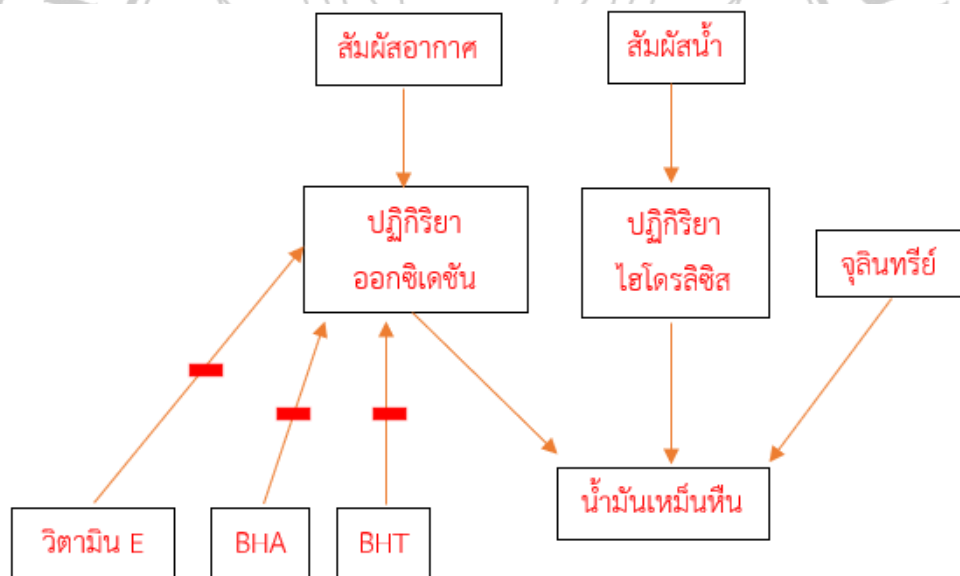
3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

- วิตามิน E BHA BHT เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันได้

- การปล่อยให้ไขมันสัมผัสกับอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

- การปล่อยให้ไขมันสัมผัสกับน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส

4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่ทำให้เกิดปัญหา และแนวทางการป้องกัน



## สถานการณ์ที่ 2

การผุกร่อนของโลหะ เป็นกระบวนการที่โลหะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเสียอิเล็กตรอนให้กับตัวออกซิไดส์ ซึ่งตัวออกซิไดส์ที่มักทำให้โลหะเกิดการผุกร่อนหรือสนิมก็คือออกซิเจนและความชื้นนั่นเอง ภาวะโลกร้อนได้ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นทุกปี นอกจากนั้นยังทำให้น้ำเกิดการระเหยมากขึ้น ส่งผลให้ความชื้นยิ่งสูงขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นบวกกับความชื้นที่เพิ่มขึ้น สามารถเร่งให้โลหะเกิดการผุกร่อนได้เร็วยิ่งขึ้น ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างต่างๆ เช่น บ้าน อาคาร สะพาน เป็นต้น

1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร

- โลหะเกิดการผุกร่อน

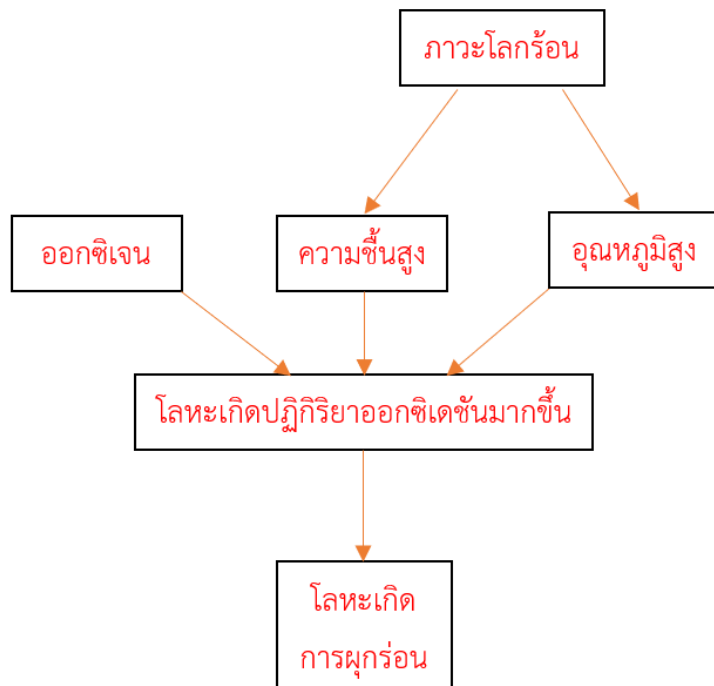
2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด

- โลหะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและความชื้น

3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

- ภาวะโลกร้อน ทำให้อุณหภูมิและความชื้นของโลกสูงขึ้น จึงเร่งโลหะให้เกิดการผุกร่อนได้เร็วยิ่งขึ้น

4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่ทำให้เกิดปัญหา



### สถานการณ์ที่ 3

น้ำทะเล มีเกลือ NaCl ละลายอยู่จำนวนมาก ดังนั้นหากเรานำน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นของ NaCl สูง มาผ่านกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส จะสามารถผลิตแก๊สคลอรีนขึ้นที่ขั้วแอโนดได้ แต่ถึงอย่างนั้นแก๊สคลอรีนที่เกิดขึ้น สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและด่างที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยากลายเป็นไฮโปคลอไรท์ไอออนต่อ ทำให้เกิดปัญหาเก็บแก๊สคลอรีนได้น้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบอุปกรณ์ให้ดี เพื่อเก็บแก๊สคลอรีนที่ได้อย่างรวดเร็ว ไม่ปล่อยให้แก๊สคลอรีนทำปฏิกิริยาต่อ หรืออาจจะแยกน้ำออกให้หมด แล้วนำ NaCl หลอมเหลวมาผ่านกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส

1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร

- เก็บแก๊สคลอรีนได้น้อย

2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด

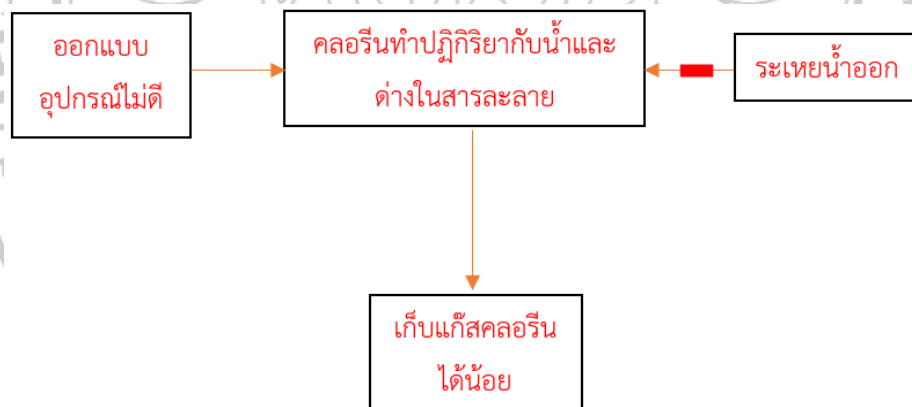
- คลอรีนทำปฏิกิริยากับน้ำและด่างที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยากลายเป็นไฮโปคลอไรท์ไอออน

3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

- การออกแบบอุปกรณ์ไม่ดี ทำให้คลอรีนเกิดปฏิกิริยากับน้ำและด่างต่อ

- การระเหยน้ำออก ทำให้คลอรีนไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำและด่างต่อ

4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่ทำให้เกิดปัญหา และแนวทางแก้ปัญหา



## ภาคผนวก ข

แบบประเมินที่ใช้ในการหาคุณภาพเครื่องมือวิจัยและค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

- แบบประเมินคุณภาพเครื่องมือวิจัยเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้และบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน
- แบบประเมินคุณภาพเครื่องมือวิจัยเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ
- ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญ
- ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนโดยผู้เชี่ยวชาญ
- ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ



แบบประเมินคุณภาพเครื่องมือวิจัยเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแผนการจัดการ  
เรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเป็นฐาน แผนที่.....เรื่อง.....

### กับจุดประสงค์การเรียนรู้

**คำชี้แจง** ให้ท่านพิจารณาว่าข้อสอบที่สร้างขึ้น สอดคล้องกับผลการเรียนรู้และทักษะการคิดเชิง  
ระบบที่กำหนดหรือไม่ โดยการทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องน้ำหนักระแนน โดย  
พิจารณาตามเกณฑ์ดังนี้

- 1 คือ แน่ใจ ว่ารายการข้อความคิดเห็นนั้น ไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนด
- 0 คือ ไม่แน่ใจ ว่ารายการข้อความคิดเห็นนั้น สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดหรือไม่
- +1 คือ แน่ใจ ว่ารายการข้อความคิดเห็นนั้น สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนด

รายการข้อความคิดเห็น	น้ำหนักระแนน			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
แผนการจัดการเรียนรู้				
1. แผนการจัดการเรียนรู้มีองค์ประกอบครบถ้วน เหมาะสม และมีรายละเอียดที่สอดคล้องสัมพันธ์กัน				
2. มีความสอดคล้องเหมาะสมกับมาตรฐานการเรียนรู้/ ผลการเรียนรู้/จุดประสงค์การเรียนรู้				
3. จุดประสงค์การเรียนรู้มีความชัดเจนและครอบคลุม ด้านความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะ/เจตคติ				
4. สารการเรียนรู้/เนื้อหา ถูกต้องตามหลักวิชาการ				
5. สารการเรียนรู้/เนื้อหา เหมาะสมกับเวลาที่ใช้จัดการ เรียนรู้				
6. กิจกรรมการเรียนรู้เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ				
7. สื่อ/แหล่งเรียนรู้เหมาะสมกับกิจกรรมและผู้เรียน				
8. มีความสอดคล้องเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน				
9. วัดและประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้				

รายการข้อความคิดเห็น	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
10. มีความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนด้านความรู้ ทักษะทางวิทยาศาสตร์ และคุณลักษณะ				
11. มีความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนทักษะการ คิดเชิงระบบ				
12. มีความเหมาะสมของบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้				
<b>บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน</b>				
1. มีความสอดคล้องเหมาะสมกับมาตรฐานการเรียนรู้/ผล การเรียนรู้/จุดประสงค์การทดลอง				
2. มีความเหมาะสมต่อการใช้พัฒนาทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์				
3. มีความสอดคล้องเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน				
4. มีความเหมาะสมของวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี				
5. มีความเหมาะสมของวิธีการทดลอง สามารถทำได้จริง สะดวก				
6. มีความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง				
7. มีความเหมาะสมของรูปแบบรายงานผลการทดลอง				
8. มีความสอดคล้องเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง กับผลการเรียนรู้/จุดประสงค์การทดลอง				
9. มีความเหมาะสมของการใช้ภาษากับระดับชั้นของ ผู้เรียน				
10. มีความเหมาะสมกับบริบทของสถานศึกษา				

ลงชื่อ.....

ผู้ประเมิน

(.....)

### แบบประเมินคุณภาพเครื่องมือวิจัยเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

ระหว่างแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน กับผลการเรียนรู้และระดับทักษะการคิดเชิงระบบ

- คำชี้แจง** ให้ท่านพิจารณาว่าข้อสอบที่สร้างขึ้น สอดคล้องกับผลการเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบที่กำหนดหรือไม่ โดยการทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องน้ำหนักคะแนน โดยพิจารณาตามเกณฑ์ดังนี้
- 1 คือ แน่ใจ ว่าข้อสอบนั้น ไม่สอดคล้องกับผลการเรียนรู้/ระดับทักษะการคิดเชิงระบบ
  - 0 คือ ไม่แน่ใจ ว่าข้อสอบนั้นสอดคล้องกับผลการเรียนรู้/ระดับทักษะการคิดเชิงระบบหรือไม่
  - +1 คือ แน่ใจ ว่าข้อสอบนั้นสอดคล้องกับผลการเรียนรู้/ระดับทักษะการคิดเชิงระบบ

ตอนที่ 1 รูปแบบปรนัย 4 ตัวเลือก 30 ข้อ คะแนนเต็ม 30 คะแนน					
ผลลัพธ์การเรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอนะ
		-1	0	+1	
- วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์	จากปฏิกิริยา $Mg(s) + 2HCl(g) \rightarrow MgCl_2(g) + H_2(g)$ จงตอบตามข้อ 1-4 1. สารใดทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ ก. Mg ข. HCl ค. MgCl <sub>2</sub> ง. H <sub>2</sub> 2. สารใดทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์ ก. Mg ข. HCl ค. MgCl <sub>2</sub> ง. H <sub>2</sub> 3. ข้อใดคือสมการที่แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ถูกต้อง ก. $Mg^{2+}(aq) + 2e \rightarrow Mg(s)$ ข. $2H^+(aq) + 2e \rightarrow H_2(g)$ ค. $Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e$ ง. $H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e$				

ผลลัพธ์การเรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอนะ
		-1	0	+1	
		4. ข้อใดคือสมการที่แสดงปฏิกิริยารีดักชันได้ถูกต้อง			
ก. $Mg^{2+}(aq) + 2e \rightarrow Mg(s)$ ข. $2H^+(aq) + 2e \rightarrow H_2(g)$ ค. $Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e$ ง. $H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e$					
5. ข้อต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ยกเว้น					
ก. $Cu(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow CuSO_4(aq) + H_2(g)$ ข. $CH_4(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$ ค. $4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s)$ ง. $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$					
6. ธาตุแทรนซิชันในข้อใด มีเลขออกซิเดชันสูงสุด					
ก. Fe ข. $AgNO_3$ ค. $CuSO_4$ ง. $CoCl_3$					

ผลลัพธ์การเรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอแนะ																
		-1	0	+1																	
<p>- ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์</p> <p>- อธิบายหลักการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ</p>	<p>7. พิจารณาข้อมูลจากตาราง</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>สารละลาย โลหะ</th> <th>CuSO<sub>4</sub></th> <th>MgSO<sub>4</sub></th> <th>ZnSO<sub>4</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cu</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>+ หมายถึง มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น - หมายถึง ไม่เกิดปฏิกิริยา</p> <p>ข้อใดเรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ได้ถูกต้อง</p> <p>ก. Cu<sup>2+</sup> &gt; Mg<sup>2+</sup> &gt; Zn<sup>2+</sup> ข. Zn<sup>2+</sup> &gt; Mg<sup>2+</sup> &gt; Cu<sup>2+</sup> ค. Cu<sup>2+</sup> &gt; Zn<sup>2+</sup> &gt; Mg<sup>2+</sup> ง. Mg<sup>2+</sup> &gt; Zn<sup>2+</sup> &gt; Cu<sup>2+</sup></p>	สารละลาย โลหะ	CuSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	Cu	-	-	-	Mg	+	-	+	Zn	+	-	-				
	สารละลาย โลหะ	CuSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>																	
Cu	-	-	-																		
Mg	+	-	+																		
Zn	+	-	-																		
<p>8. เมื่อนำสารละลาย CuSO<sub>4</sub> บรรจุในภาชนะที่ทำด้วยดีบุก (Sn) ปรากฏว่าภาชนะเกิดการผุกร่อนจนสารละลายรั่วออกมา ข้อใดกล่าวถูกต้อง</p> <p>ก. Cu เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงกว่า Sn ข. Cu<sup>2+</sup> เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงกว่า Sn<sup>2+</sup> ค. Sn เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงกว่า Cu ง. ถูกทั้งข้อ ข และ ค</p>																					

ผลลัพธ์การเรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอแนะ
		-1	0	+1	
	<p>9. โลหะ Na สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้รุนแรงกว่า Mg ข้อใดสรุปถูกต้อง</p> <p>ก. Na มีความสามารถในการรีดิวซ์มากกว่า Mg</p> <p>ข. Na มีความสามารถในการรีดิวซ์น้อยกว่า Mg</p> <p>ค. <math>\text{Na}^+</math> สามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า <math>\text{Mg}^{2+}</math></p> <p>ง. ไม่สามารถสรุปได้</p>				
	<p>10. ข้อใดคือเหตุผลหลักของการเคลือบผิวของโลหะด้วยการทาสีหรือน้ำมัน</p> <p>ก. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะถูกรีดิวซ์</p> <p>ข. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน</p> <p>ค. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะถูกออกซิไดส์</p> <p>ง. เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะโดนความร้อน</p>				
	<p>11. ข้อใดคือการป้องกันการผุกร่อนของโลหะด้วยวิธีแคโทดิก</p> <p>ก. ผสมโลหะต่างชนิดเข้าด้วยกัน</p> <p>ข. ต่อโลหะที่ไม่ต้องการให้ผุกร่อนเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่</p> <p>ค. นำโลหะไปต้มกับสารละลาย NaOH</p> <p>ง. ต่อโลหะที่ไม่ต้องการให้ผุกร่อนเข้ากับโลหะที่มีความสามารถในการรีดิวซ์มากกว่า</p>				

ผลลัพธ์การเรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอแนะ
		-1	0	+1	
	<p>12. ข้อความต่อไปนี้เป็นวิธีป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ <u>ยกเว้น</u></p> <p>ก. การรมดำ</p> <p>ข. การทำให้เป็นโลหะผสม</p> <p>ค. การนำเหล็กไปทำอะโนดส์</p> <p>ง. การทำแคโทดิก</p>				
<p>- ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทดปฏิกิริยารวมและแผนภาพเซลล์</p>	<p>13. สะพานเกลือ มีหน้าที่ดังข้อใด</p> <p>ก. เป็นตัวต้านทานของเซลล์</p> <p>ข. ทำให้ครบวงจรและรักษาสมดุลไอออน</p> <p>ค. เป็นแหล่งพลังงานของเซลล์</p> <p>ง. ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น</p>				
	<p>14. ข้อใดกล่าวถูกต้อง</p> <p>ก. เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบไปด้วยขั้วแอโนด ขั้วแคโทด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และสะพานเกลือ</p> <p>ข. ขั้วแอโนดจะเกิดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน</p> <p>ค. ขั้วเฉื่อย คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยา</p> <p>ง. ถูกทุกข้อ</p>				

ผลลัพธ์การ เรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนัก			ข้อสอบ คะแนน
		คะแนน			
		-1	0	+1	
	<p>15. จากแผนภาพเซลล์ <math>Zn(s) / Zn^{2+}(aq) // H^+(aq) / H_2(g) / Pt(s)</math> ข้อใดกล่าวถูกต้อง</p> <p>ก. ปฏิกริยาที่ขั้วแอโนด คือ <math>Zn + 2e^- \rightarrow Zn^{2+}</math></p> <p>ข. ปฏิกริยาที่ขั้วแคโทด คือ <math>2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2</math></p> <p>ค. ปฏิกริยารวมคือ <math>Zn^{2+} + 2H^+ \rightarrow Zn + H_2</math></p> <p>ง. ถูกทุกข้อ</p>				
	<p>16. ข้อใดคือแผนภาพเซลล์ของปฏิกิริยา <math>Mg(s) + 2Fe^{3+}(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2Fe^{2+}(aq)</math></p> <p>ก. <math>Mg(s) / Fe^{3+}(aq) // Mg^{2+}(aq) / Fe^{2+}(aq)</math></p> <p>ข. <math>Mg(s) / Fe^{3+}(aq) // Mg^{2+}(aq) / Fe^{2+}(aq) / Pt(s)</math></p> <p>ค. <math>Mg(s) / Mg^{2+}(aq) // Fe^{3+}(aq) / Fe^{2+}(aq) / Pt(s)</math></p> <p>ง. <math>Pt(s) / Fe^{3+}(aq) / Fe^{2+}(aq) // Mg^{2+}(aq) / Mg(s)</math></p>				
	<p>17. ข้อใดกล่าวถึงเซลล์กัลวานิก <u>ไม่</u>ถูกต้อง</p> <p>ก. มีแอโนดเป็นขั้วลบ</p> <p>ข. มีแคโทดเป็นขั้วบวก</p> <p>ค. ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นเองได้</p> <p>ง. ไม่จำเป็นต้องใช้สะพานเกลือ</p>				

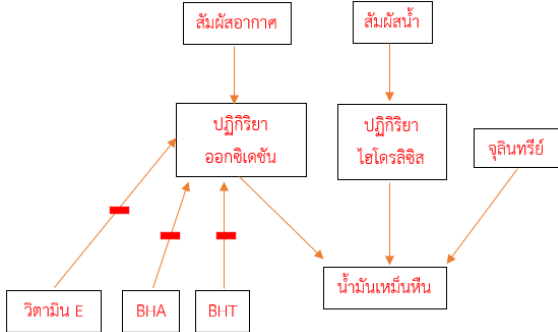


ผลลัพธ์การเรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอแนะ																		
		-1	0	+1																			
	<p>21. จากแผนภาพเซลล์ <math>\text{Fe}/\text{Fe}^{2+} // \text{Zn}^{2+}/\text{Zn}</math> ปฏิกิริยานี้มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เท่าใด และสามารถเกิดขึ้นได้เองหรือไม่</p> <p>ก. -1.10 โวลต์ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง</p> <p>ข. +1.10 โวลต์ สามารถเกิดขึ้นได้เอง</p> <p><b>ค. -0.32 โวลต์ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง</b></p> <p>ง. +0.32 โวลต์ สามารถเกิดขึ้นได้เอง</p>																						
	<p>22. ข้อต่อไปนี้เป็นข้อแตกต่างระหว่างเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก <b>ยกเว้น</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">เซลล์กัลวานิก</th> <th style="width: 50%;">เซลล์อิเล็กโทรลิติก</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ก. ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน</td> <td>ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยรีดักชัน</td> </tr> <tr> <td>ข. ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นบวก</td> <td>ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ</td> </tr> <tr> <td>ค. ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้เอง</td> <td>ปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง</td> </tr> <tr> <td>ง. ไม่อาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์</td> <td>ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์</td> </tr> </tbody> </table>	เซลล์กัลวานิก	เซลล์อิเล็กโทรลิติก	ก. ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยรีดักชัน	ข. ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นบวก	ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ	ค. ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้เอง	ปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง	ง. ไม่อาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์	ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์												
เซลล์กัลวานิก	เซลล์อิเล็กโทรลิติก																						
ก. ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยรีดักชัน																						
ข. ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นบวก	ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ																						
ค. ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้เอง	ปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง																						
ง. ไม่อาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์	ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเซลล์																						
	<p>ใช้ข้อมูลค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน ต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 23-24</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">ปฏิกิริยา</th> <th style="width: 40%;">E° (V)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-</math></td> <td>-0.83</td> </tr> <tr> <td><math>\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}</math></td> <td>+1.23</td> </tr> <tr> <td><math>\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}</math></td> <td>+1.20</td> </tr> <tr> <td><math>\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}</math></td> <td>+0.34</td> </tr> <tr> <td><math>2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2</math></td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td><math>\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}</math></td> <td>-0.14</td> </tr> <tr> <td><math>\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}</math></td> <td>-0.23</td> </tr> <tr> <td><math>\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}</math></td> <td>-0.77</td> </tr> </tbody> </table> <p>23. ปฏิกิริยาการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าโดยไม่เติมสารละลายกรด จะเกิดได้ยากหรือง่ายกว่ากรณีที่เติมสารละลายกรด เพราะเหตุใด</p> <p>ก. เกิดได้ง่ายกว่า เพราะใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า</p> <p><b>ข. เกิดได้ยากกว่า เพราะใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า</b></p> <p>ค. เกิดปฏิกิริยาได้เร็วเท่ากัน</p> <p>ง. เกิดได้ยากกว่า เพราะโมเลกุลของน้ำเสถียรกว่า</p>	ปฏิกิริยา	E° (V)	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83	$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	+1.23	$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	+1.20	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0.34	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0.00	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.14	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.23	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	-0.77				
ปฏิกิริยา	E° (V)																						
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83																						
$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	+1.23																						
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	+1.20																						
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0.34																						
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0.00																						
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.14																						
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.23																						
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	-0.77																						

ผลลัพธ์การ เรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนัก คะแนน			ข้อเสนอ แนะ												
		-1	0	+1													
	<p>24. ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด</p> <p>ก. ภาชนะที่ทำจากโลหะดีบุกหรือนิกเกิลควรใช้บรรจุสารละลาย <math>\text{CuSO}_4</math> ได้</p> <p>ข. ลำดับความสามารถในการรีดิวซ์ของโลหะต่างๆ คือ <math>\text{Pt} &gt; \text{Cu} &gt; \text{Sn} &gt; \text{Ni}</math></p> <p>ค. ถ้าต่อเซลล์ <math>\text{Sn(s)}   \text{Sn}^{2+}(\text{aq})</math> เข้ากับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน <math>\text{Sn(s)}   \text{Sn}^{2+}(\text{aq})</math> จะเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน</p> <p>ง. ถ้าต่อครึ่งเซลล์ <math>\text{Sn(s)}   \text{Sn}^{2+}(\text{aq})</math> กับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานจะเกิดก๊าซ <math>\text{H}_2</math> ขึ้นที่ครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน</p>																
<p>- อธิบาย หลักการ แยกสลาย สารเคมีด้วย กระแสไฟฟ้า</p>	<p>ใช้ข้อมูลค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน ต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 25-27</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">ปฏิกิริยา</td> <td style="text-align: center;"><math>E^\circ(\text{V})</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\text{X}^+ + \text{e} \rightarrow \text{X}</math></td> <td style="text-align: center;">-2.71</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\text{Y}_2 + 2\text{e} \rightarrow 2\text{Y}^-</math></td> <td style="text-align: center;">+2.14</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>1/2\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{e} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}</math></td> <td style="text-align: center;">+2.01</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}</math></td> <td style="text-align: center;">+1.23</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-</math></td> <td style="text-align: center;">-0.83</td> </tr> </table> <p>25. ในการแยกสลาย <math>\text{XY}</math> ด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้แท่งคาร์บอนเป็นอิเล็กโทรด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด คือข้อใด</p> <p>ก. <math>2\text{H}_2\text{O} \square \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}</math></p> <p>ค. <math>2\text{Y}^- \square \text{Y}_2 + 2\text{e}</math></p> <p>ข. <math>\text{X} \square \text{X}^+ + \text{e}</math></p> <p>ง. <math>\text{X}^+ + \text{e} \square \text{X}</math></p>	ปฏิกิริยา	$E^\circ(\text{V})$	$\text{X}^+ + \text{e} \rightarrow \text{X}$	-2.71	$\text{Y}_2 + 2\text{e} \rightarrow 2\text{Y}^-$	+2.14	$1/2\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{e} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	+2.01	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.23	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83				
ปฏิกิริยา	$E^\circ(\text{V})$																
$\text{X}^+ + \text{e} \rightarrow \text{X}$	-2.71																
$\text{Y}_2 + 2\text{e} \rightarrow 2\text{Y}^-$	+2.14																
$1/2\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{e} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	+2.01																
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.23																
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83																

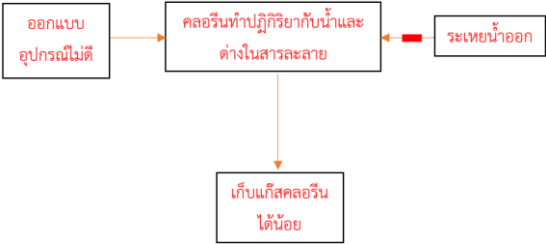
ผลลัพธ์การ เรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนัก คะแนน			ข้อเสนอ แนะ										
		-1	0	+1											
	<p>26. เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลาย <math>K_2SO_4</math> ครั้งปฏิบัติการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นคือข้อใด</p> <p>ก. <math>K(s) \square K^+ + e</math></p> <p>ค. <math>H_2O(l) \square O_2(g) + 2H^+ + 2e</math></p> <p>ข. <math>SO_4^{2-} \square 1/2S_2O_8^{2-} + e</math></p> <p>ง. <math>O_2(g) + 4H^+ + 4e \square 2H_2O(l)</math></p>														
	<p>27. จากปฏิกิริยาในข้อ 26 สารใดเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด</p> <p>ก. <math>O_2</math>                      ข. <math>SO_4^{2-}</math></p> <p>ค. <math>H_2O</math>                      ง. <math>H_2</math></p>														
	<p>28. ในการทำอิเล็กโทรลิซิสโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลว ข้อใดบอกผลิตภัณฑ์ที่ได้ถูกต้อง</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>ขั้วแอโนด</th> <th>ขั้วแคโทด</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ก. <math>Na^+</math></td> <td><math>Cl^-</math></td> </tr> <tr> <td>ข. <math>Cl_2</math></td> <td><b>Na</b></td> </tr> <tr> <td>ค. <math>Cl^-</math></td> <td><math>Na^+</math></td> </tr> <tr> <td>ง. <math>O_2</math></td> <td><math>H_2</math></td> </tr> </tbody> </table>	ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด	ก. $Na^+$	$Cl^-$	ข. $Cl_2$	<b>Na</b>	ค. $Cl^-$	$Na^+$	ง. $O_2$	$H_2$				
ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด														
ก. $Na^+$	$Cl^-$														
ข. $Cl_2$	<b>Na</b>														
ค. $Cl^-$	$Na^+$														
ง. $O_2$	$H_2$														
	<p>29. ในการทำอิเล็กโทรลิซิสลิเทียมไฮไดรด์โดยใช้ Pt เป็นขั้วไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดคือข้อใด</p> <p>ก. <math>2H(l) \rightarrow H_2(g) + 2e</math></p> <p>ข. <math>2H^+(l) + 2e \rightarrow H_2(g)</math></p> <p>ค. <math>Li^+(l) + e \rightarrow Li(l)</math></p> <p>ง. <math>Li(l) \rightarrow Li^+(l) + e</math></p>														

ผลลัพธ์การ เรียนรู้	ข้อสอบ	น้ำหนัก คะแนน			ข้อเสนอ แนะ
		-1	0	+1	
	<p>30. ในการแยกสลายโพแทสเซียมโบรไมด์ที่ หลอมเหลวด้วยกระแสไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรลิ ติก สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด คือ</p> <p>ก. <math>\text{Br}_2 + 2\text{e} \rightarrow 2\text{Br}^-</math>  ข. <math>2\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{e}</math>  ค. <math>\text{K} \rightarrow \text{K}^+ + \text{e}</math>  ง. <math>\text{K}^+ + \text{e} \rightarrow \text{K}</math></p>				
<p><b>ตอนที่ 2 รูปแบบอัตนัย 3 สถานการณ์ๆ ละ 4 ข้อ รวม 12 ข้อ คะแนนเต็ม 24 คะแนน</b>  <b>สถานการณ์ที่ 1</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ตอบปัญหาทวนใจ กำไบน้ำมันถึงเคเป็นสิน</b></p> <p><b>การเหม็นหืนของน้ำมัน หรือ Rancidification</b></p> <p>หัวใจสำคัญของการเกิดการเหม็นหืน คือ การมีอะไรก็ตามทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดไขมันนั่นเองครับ ยิ่งไขมันชนิดไหนมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดไขมันมากกว่า ก็จะมีโอกาสเกิดการเหม็นหืนมากกว่า ซึ่งการเหม็นหืนของน้ำมันที่เกิดขึ้นนั้น จริง ๆ แล้วเกิดจากหลายสาเหตุ แต่ละปฏิกิริยาล้วนทำให้เกิดกลิ่นเหม็นแปลก ๆ ขึ้นมาได้ โดยส่วนใหญ่แล้วแบ่งได้ 3 สาเหตุครับ</p> <p>สาเหตุแรก: ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Rancidity)</p> <p>ในอากาศปกติสามารถทำให้น้ำมันเหม็นหืนได้ เพราะในอากาศมีออกซิเจนอยู่ เมื่อไขมันเจอกับออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดไขมัน โดยมีแสงหรืออุณหภูมิอุ่น ๆ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากดีโตนกรูปนั่นเอง</p> <p>สาเหตุที่สอง: ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Rancidity)</p> <p>ปฏิกิริยานี้ไม่ได้เกิดตรงพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนแต่เกิดจากการดัดไขมันที่ไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยมีจุลินทรีย์ในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้กรดไขมันยาว ๆ ขาดออกจากส่วนของกลีเซอรอล เกิดไขมันอิสระมากขึ้น จึงมีกลิ่นเหม็นหืนจากไขมันอิสระเหล่านี้มากขึ้น</p> <p>สาเหตุสุดท้าย: จุลินทรีย์ (Microbial Rancidity)</p> <p>จุลินทรีย์ในอากาศก็มีส่วนทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยไขมันให้เล็กลงได้เรื่อยๆ โดยไตรกลีเซอไรด์จะถูกย่อยเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนจากกรดไขมันอิสระ</p> <p style="text-align: center;"><b>ขอเสริมความเข้าใจอีกนิด</b></p> <p>ยังมีความจริงอีกอย่างที่ว่า ไขมันเองก็มีการป้องกันการเหม็นหืนตามธรรมชาติของมันอยู่แล้ว เช่น ในน้ำมันพืชมีวิตามิน E ช่วยป้องกันอยู่ รวมทั้งน้ำมันที่วางขายตามห้างสรรพสินค้าทั่วไป ก็มีการเติมสารที่เรียกว่า BHA หรือ BHT ช่วยป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันได้อีกด้วย</p>					

ระดับทักษะ การคิดเชิง ระบบ	ข้อสอบ	น้ำหนัก คะแนน			ข้อเสนอ แนะ
		-1	0	+1	
ระดับ สถานการณ์	1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร - น้ำมันเหม็นหืน				
ระดับแบบ แผน	2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญ มาจากข้อใด - น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรลิ ซิส และเกิดจากจุลินทรีย์				
ระดับ โครงสร้าง	3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร - วิตามิน E BHA BHT เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันได้ - การปล่อยให้ไขมันสัมผัสกับอากาศ ทำให้ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน - การปล่อยให้ไขมันสัมผัสกับน้ำ ทำให้ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส				
ระดับภาพ จำลอง ความคิด	4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุ และผลที่ทำให้เกิดปัญหา 				

สถานการณ์ที่ 2					
<p>การผูกเรือนของโลหะ เป็นกระบวนการที่โลหะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเสียอิเล็กตรอนให้กับตัวออกซิไดส์ ซึ่งตัวออกซิไดส์ที่มักทำให้โลหะเกิดการเกิดผูกเรือนหรือสนิมก็คือออกซิเจนและความชื้นนั่นเอง ภาวะโลกร้อนได้ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นทุกปี นอกจากนั้นยังทำให้น้ำเกิดการระเหยมากขึ้น ส่งผลให้ความชื้นยิ่งสูงขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นบวกกับความชื้นที่เพิ่มขึ้น สามารถเร่งให้โลหะเกิดการผูกเรือนได้เร็วยิ่งขึ้น ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างต่างๆ เช่น บ้าน อาคาร สะพาน เป็นต้น</p>					
ระดับทักษะการคิดเชิงระบบ	ข้อสอบ	น้ำหนักคะแนน			ข้อเสนอแนะ
		-1	0	+1	
ระดับสถานการณ์	1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร - โลหะเกิดการผูกเรือน				
ระดับแผน	2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญมาจากข้อใด - โลหะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศ				
ระดับโครงสร้าง	3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของปัญหาและมีความสัมพันธ์กันอย่างไร - ภาวะโลกร้อน ทำให้อุณหภูมิและความชื้นของโลกสูงขึ้น จึงเร่งให้โลหะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเร็วขึ้น โลหะจึงเกิดการผูกเรือนเร็วขึ้น				

ระดับภาพ จำลอง ความคิด	4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุ และผลที่ทำให้เกิดปัญหา  				
<b>สถานการณ์ที่ 3</b> น้ำทะเล มีเกลือ NaCl ละลายอยู่จำนวนมาก ดังนั้นหากเรานำน้ำทะเลที่มีความเข้มข้น ของ NaCl สูง มาผ่านกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส จะสามารถผลิตแก๊สคลอรีนขึ้นที่ขั้วแอโนด ได้ แต่ถึงอย่างนั้นแก๊สคลอรีนที่เกิดขึ้น สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและด่างที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา กลายเป็นไฮโปคลอไรท์ไอออนต่อ ทำให้เกิดปัญหาเก็บแก๊สคลอรีนได้น้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้อง ออกแบบอุปกรณ์ให้ดี เพื่อเก็บแก๊สคลอรีนได้อย่างรวดเร็ว ไม่ปล่อยให้แก๊สคลอรีนทำ ปฏิกิริยาต่อ หรืออาจจะเขย่น้ำออกให้หมด แล้วนำ NaCl หลอมเหลวมาผ่านกระบวนการอิเล็ก โทลิซิส					
ระดับทักษะ การคิดเชิง ระบบ	ข้อสอบ	ใช้น้ำหนัก คะแนน			ข้อเสนอ แนะ
ระดับ สถานการณ์	1. ปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร <b>- เก็บแก๊สคลอรีนได้น้อย</b>	-1	0	+1	
ระดับแบบ แผน	2. จากปัญหาดังกล่าว นักเรียนคิดว่ามีสาเหตุสำคัญ มาจากข้อใด <b>- คลอรีนทำปฏิกิริยากับน้ำและด่างที่เกิดขึ้นใน ปฏิกิริยากลายเป็นไฮโปคลอไรท์ไอออน</b>				

ระดับ โครงสร้าง	<p>3. มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของปัญหา และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร</p> <p>- การออกแบบอุปกรณ์ไม่ดี ทำให้คลอรีน เกิดปฏิกิริยากับน้ำและค้างท่อ</p> <p>- การระเหยน้ำออก ทำให้คลอรีน ไม่เกิดปฏิกิริยา กับน้ำและค้างท่อ</p>				
ระดับภาพ จำลอง ความคิด	<p>4. จงเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเหตุ และผลที่ทำให้เกิดปัญหา</p>  <pre> graph TD     A[ออกแบบอุปกรณ์ไม่ดี] --&gt; B[คลอรีนทำปฏิกิริยากับน้ำและค้างในสารละลาย]     C[ระเหยน้ำออก] --&gt; B     B --&gt; D[เก็บแก๊สคลอรีนได้น้อย]   </pre>				

ลงชื่อ.....

ผู้ประเมิน

(.....)

ตารางผนวกที่ 1 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ			ผลรวม $\sum R$	IOC	ผลการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
12	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง การป้องกันการผุกร่อนของโลหะ						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	0	+1	2	0.67	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
12	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

## แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า

1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	0	+1	2	0.67	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
12	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

## แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า

1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	0	+1	3	0.67	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
12	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

## แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า

1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
12	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

**ตารางผนวกที่ 2** ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนโดยผู้เชี่ยวชาญ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ			ผลรวม $\sum R$	IOC	ผลการ ประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับสารละลาย						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	0	+1	+1	2	0.67	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เซลล์กัลวานิก						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	0	+1	+1	2	0.67	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	0	+1	2	0.67	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	0	+1	+1	2	0.67	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาคำดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้และบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เคมีไฟฟ้า ในตารางผนวกที่ 1 และตารางผนวกที่ 2 พบว่า มีคำดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 แสดงว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้นนั้น มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ สามารถนำไปใช้ดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนได้

ตารางผนวกที่ 3 คำดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ			ผลรวม $\sum R$	IOC	ผลการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
ตอนที่ 1 รูปแบบปรนัย 4 ตัวเลือก 30 ข้อ						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	0	+1	3	0.67	สอดคล้อง

7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
12	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
13	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
14	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
15	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
16	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
17	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
18	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
19	0	+1	+1	2	0.67	สอดคล้อง
20	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
21	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
22	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
23	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
24	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
25	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
26	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
27	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
28	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
29	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
30	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
ตอนที่ 2 รูปแบบอิตนัย 3 สถานการณ์ๆ ละ 4 ข้อ รวม 12 ข้อ						
1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	0	2	0.67	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

5	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
8	+1	0	+1	2	0.67	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
12	+1	0	+1	2	0.67	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ในตารางผนวกที่ 3 พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 แสดงว่าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนั้น มีความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ สามารถนำไปใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนได้

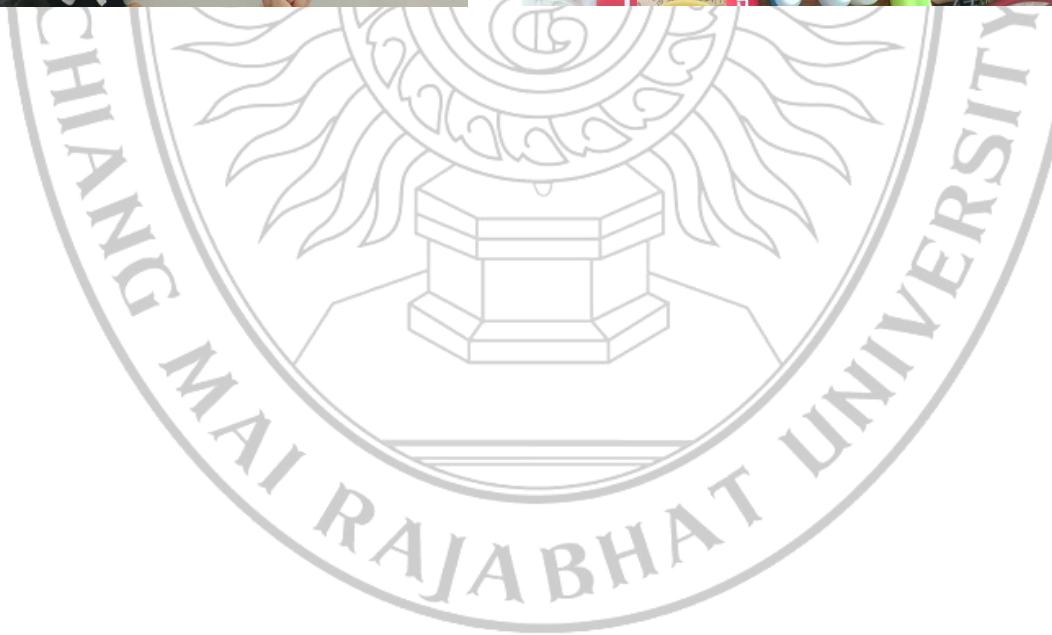
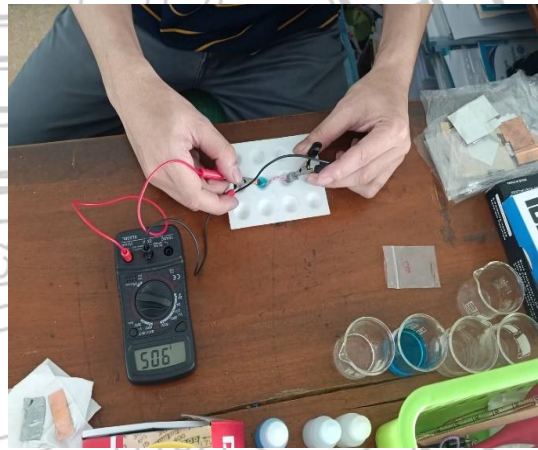
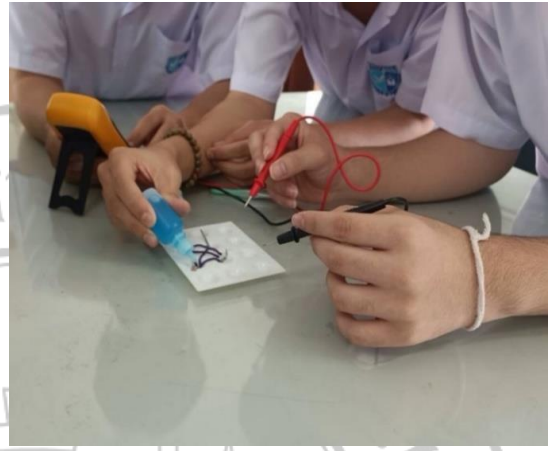
ภาคผนวก ค

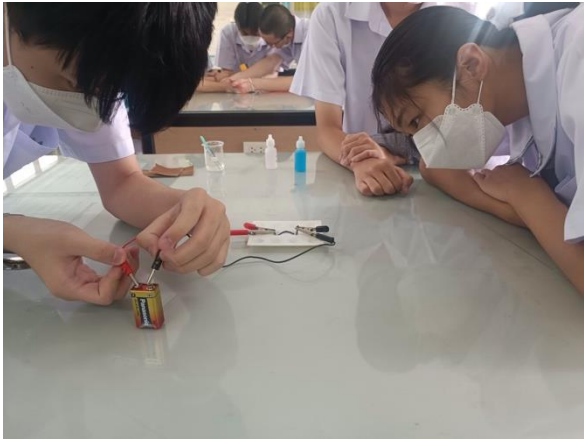
ภาพการดำเนินการวิจัย

- ภาพกิจกรรมการเรียนการสอน
- หนังสือราชการที่เกี่ยวข้อง











หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยของอาสาสมัครวิจัย

Informed Consent Form

ที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

เลขที่ อาสาสมัครวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย  
ชื่อโครงการวิจัย การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อยส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อ  
พัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ชื่อผู้วิจัย นายธนรัตน์ ทองวิชิต

ที่อยู่ติดต่อ 106/5 ซ.ไปตี่มาตี ต.ช้างเผือก อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50300

โทรศัพท์ 0622542375

ข้าพเจ้า ได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียด  
ขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจาก  
การวิจัยเรื่องนี้โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารที่แจ้งอาสาสมัครวิจัยโดยตลอด และได้รับคำอธิบาย  
จากผู้วิจัยจนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุไว้ในเอกสารที่แจ้งอาสาสมัครวิจัย โดย  
ข้าพเจ้ายินยอมสละเวลา เข้าร่วมกิจกรรมจำนวน 5 ครั้งๆ ละ 50 นาที รวม 250 นาที เมื่อเสร็จสิ้นการ  
วิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอาสาสมัครวิจัย เช่น แบบทดสอบ ภาพถ่าย จะถูกทำลาย

ข้าพเจ้ามีสิทธิถอนตัวออกจากกรวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลซึ่ง  
การถอนตัวออกจากกรวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบต่อผลการเรียนหรือในทางใดๆ ต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารที่แจ้ง  
อาสาสมัครวิจัยและข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอ  
ข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารข้อมูล  
สำหรับอาสาสมัครวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยของอาสาสมัครวิจัยไว้แล้ว



ลงชื่อ.....  
(.....)

ผู้วิจัยหลัก

วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....  
(.....)

อาสาสมัครวิจัย

วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....  
(.....)

พยาน

วันที่...../...../.....

#### หมายเหตุ

การศึกษาในกลุ่มผู้ติดเชื้อเสพติด, ผู้ติดเชื้อ HIV, หรือโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์, หญิงบริการ แรงงานผิดกฎหมาย หรือการลงนามนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหาย/ เป็นการเปิดเผยความลับของ อาสาสมัครวิจัยเป็นต้น ผู้วิจัยสามารถขอยกเว้นการลงนามได้

ในกรณีที่งานวิจัยที่มีความเสี่ยงน้อย เป็นต้นว่า การวิจัยที่ใช้แบบสอบถามที่ไม่ระบุชื่อผู้ตอบ, แบบสอบถามผู้ทรงคุณวุฒิ, งานวิจัยที่วิเคราะห์จากข้อมูลทุติยภูมิ หรือการศึกษาส่งตรวจที่ไม่สามารถสืบค้นกลับได้ว่าเป็นบุคคลใด การเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์ ผู้วิจัยสามารถขอยกเว้นการใช้หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยได้

*อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยต้องระบุว่ามีการให้ข้อมูลแก่อาสาสมัครวิจัย แม้ว่าจะมีการขอยกเว้นการใช้หนังสือแสดงความยินยอม หรือไม่ต้องลงนามในหนังสือแสดงความยินยอม*





หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยของอาสาสมัครวิจัย  
สำหรับผู้ปกครอง และผู้อยู่ในปกครอง

ที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

เลขที่ อาสาสมัครวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้เกี่ยวข้องเป็น (โปรดระบุเป็น พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแลของ)

..... (ชื่ออาสาสมัครวิจัย) ขอแสดงความยินยอมให้ผู้ที่อยู่

ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมโครงการวิจัย

**ชื่อโครงการวิจัย** การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

**ชื่อผู้วิจัย** นายธนรัตน์ ทองวิชิต

**ที่อยู่ติดต่อ** 106/5 ซ.ไปตีมาศี ต.ช้างเผือก อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50300

**โทรศัพท์** 0622542375

ข้าพเจ้าและผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดในเอกสารข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัยโดยตลอด และได้รับคำอธิบายจากผู้วิจัย จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า เข้าร่วมในการวิจัย และผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าสมัครใจ เข้าร่วมการวิจัยนี้ ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัย เข้าร่วมกิจกรรมจำนวน 5 ครั้งๆ ละ 50 นาที รวม 250 นาที เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอาสาสมัครวิจัย เช่น แบบทดสอบ ภาพถ่าย จะถูกทำลาย

ข้าพเจ้ามีสิทธิให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าหรือเป็นความประสงค์ของผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบต่อผลการเรียนหรือในทางใดๆ ต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆที่เกี่ยวข้องกับผู้ที่อยู่ในปกครอง/ใน

ความดูแลของข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอข้อมูลจากการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า และตัวข้าพเจ้า

หากผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงอาสาสมัครวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่: คณะอนุกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ข้าพเจ้าและผู้ที่อยู่ในปกครองเข้าใจข้อความในข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัย และหนังสือยินยอมโดยตลอดแล้ว ได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ.....  
(.....)

ผู้วิจัยหลัก

วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....  
(.....)

อาสาสมัครวิจัย

วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....  
(.....)

พยาน

วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....  
(.....)

พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแล

วันที่...../...../.....

#### หมายเหตุ

ในกรณีที่มีอาสาสมัครวิจัย อายุระหว่าง 8-17 ปี ต้องลงนามให้ความยินยอมร่วมกับบิดา/มารดาหรือผู้ปกครอง (Consent)



ข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัย  
(Participant Information Sheet)

โครงการวิจัยที่ 1

ชื่อเรื่อง (ไทย) การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ชื่อเรื่อง (อังกฤษ) Using the Small-Scale Chemistry Laboratory Directions with Thinking Tools of Electrochemistry Lessons to Develop the Learning Outcomes and System Thinking Skills for Grade 11 Students

ชื่อผู้วิจัย นายธนรัตน์ ทองวิชิต ตำแหน่ง นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย

(ที่ทำงาน) โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ เลขที่ 2 ถ.เจริญเมือง ต.ท่าศาลา อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50000

(ที่บ้าน) 106/5 ซ.ไปติมาติ ต.ช้างเผือก อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50300

โทรศัพท์ (ที่ทำงาน) 053-245868 โทรศัพท์ที่บ้าน -

โทรศัพท์มือถือ 062-2542375 E-mail: 64853101@cmru.ac.th

1. ขอเรียนเชิญเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่จะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัย และหนังสือแสดงความยินยอมอย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. เหตุผลและความจำเป็นที่ต้องทำการวิจัย

ปฏิบัติการเคมี ถือเป็นกิจกรรมที่สำคัญในการเรียนการสอนเคมี เนื่องจากวิชาเคมี มีเนื้อหาที่ค่อนข้างเป็นนามธรรม จึงทำให้ยากต่อการทำความเข้าใจ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในเนื้อหาวิชาเคมีมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังได้สอดแทรกสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ นักเรียนสามารถนำองค์ความรู้ทางเคมีไปอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ อย่างเป็นระบบ ซึ่งการคิดเชิงระบบถือเป็นการคิดขั้นสูงที่มีจำเป็นต่อการแก้ปัญหาในชีวิตจริง

### 3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 70/70

3.2 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนเรียน และหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

3.3 เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อน และหลังเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

### 4. รายละเอียดของอาสาสมัครวิจัย

#### 4.1 ลักษณะของอาสาสมัครวิจัย เกณฑ์การคัดเลือก และเกณฑ์การคัดออก

##### เกณฑ์คัดเลือก

1. เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่
2. มีอายุระหว่าง 16 – 18 ปี
3. เต็มใจเข้าร่วมการวิจัย

##### เกณฑ์คัดออก

1. ไม่สามารถเข้าร่วมวิจัยในช่วงเวลาที่กำหนด
- การยุติการเข้าร่วมวิจัย

1. ขาดการเข้าร่วมกิจกรรมตั้งแต่ 3 ครั้งขึ้นไป

#### 4.2 ระบุ เพศ อายุ จำนวน รวมทั้งหมดก็คน

- เพศชาย อายุ 16 ปี จำนวน 2 คน
- เพศชาย อายุ 17 ปี จำนวน 12 คน
- เพศหญิง อายุ 16 ปี จำนวน 1 คน
- เพศหญิง อายุ 17 ปี จำนวน 8 คน
- รวมทั้งหมด 23 คน

#### 4.3 วิธีการได้มาซึ่งอาสาสมัครวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน มีนักเรียนรวม 23 คน ได้มาจากวิธีสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม

#### 4.4 การแบ่งกลุ่มอาสาสมัครวิจัยมีกี่กลุ่ม กลุ่มละกี่คน (ถ้ามี)

แบ่งกลุ่มอาสาสมัครวิจัยเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 4 คน จำนวน 4 กลุ่ม และกลุ่มละ 3 คน จำนวน 1 กลุ่ม

#### 4.5 เหตุผลที่ได้รับเชิญเข้าร่วมโครงการวิจัย

เป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ซึ่งเนื้อหาสาระ เรื่อง เคมีไฟฟ้า อยู่ในมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดในตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551

#### 5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่ออาสาสมัครวิจัย

5.1 ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลจากอาสาสมัครวิจัย ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อยส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 5 แผนๆ ละ 50 นาที ใช้เวลารวมทั้งหมด 250 นาที เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ การตอบคำถาม ท้ายการทดลอง บันทึกหลังสอน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยดำเนินการเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 1 – 29 ก.พ. 2567 ณ โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ ต.ท่าศาลา อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

5.2 ในการวิจัยอาสาสมัครวิจัยจะต้องถูกบันทึกภาพขณะทำกิจกรรมทั้ง 5 ครั้งที่มีการดำเนินการเก็บข้อมูล

5.3 เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอาสาสมัครวิจัยจะไม่ถูกนำไปศึกษาต่อ

#### 6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่อาสาสมัครวิจัย

ก่อนเริ่มเก็บข้อมูล ผู้วิจัยจะทำการชี้แจงเหตุผลและความจำเป็นของการวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนการเก็บข้อมูล ในคาบเรียนวิชาเคมีที่ผู้วิจัยเป็นครูประจำวิชาอยู่แล้ว และมอบ “ข้อมูลสำหรับอาสาสมัครวิจัย” และ “หนังสือแสดงความยินยอม” อย่างละ 1 ชุด ประกอบคำอธิบาย

7. ในการคัดกรองอาสาสมัครวิจัยด้วยวิธีใดๆก็ตาม หากพบว่าผู้วิจัยไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า และอยู่ในสถานะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ผู้วิจัยจะให้อาสาสมัครวิจัยหยุดร่วมกิจกรรมทันที โดยชี้แจงเหตุผลและให้ความช่วยเหลือ/แนะนำแก่อาสาสมัครอย่างเหมาะสม

8. ผู้วิจัยอธิบายข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นขณะดำเนินกิจกรรม เนื่องจากอาสาสมัครวิจัยต้องมีการใช้สารเคมีที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ รวมทั้งบอกวิธีการป้องกัน/ปกป้องอันตรายและความเสี่ยงนั้น และวิธีการจัดการอันตรายที่เกิดจากการใช้สารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ หากเกิดเหตุการณ์ผิดปกติขณะดำเนินกิจกรรม ให้อาสาสมัครวิจัยแจ้งผู้วิจัยทันที เพื่อให้ผู้วิจัยจะได้ให้การช่วยเหลืออย่างทันท่วงที

9. อาสาสมัครวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ในด้านเนื้อหาสาระวิชาเคมีและทักษะการคิดเชิงระบบ ซึ่งถือเป็นทักษะที่สำคัญสำหรับโลกในศตวรรษที่ 21 อีกทั้งยังทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลที่สามารถนำไปต่อยอด ได้แก่

9.1 บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อบรรยายร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้พัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

9.2 ได้แนวทางการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

9.3 ได้แนวทางการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

9.4 เสริมสร้างแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนให้แก่นักเรียน ผ่านกิจกรรมการทดลองที่เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่า และลดการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

10. การเข้าร่วมในการวิจัยเป็นไปโดยความสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่มีผลกระทบต่อผลการเรียน หรือในทางอื่นใดๆ ทั้งสิ้น

11. หากมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ทราบอย่างรวดเร็ว เพื่อให้อาสาสมัครวิจัย ทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวมข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

13. หากไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่: คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ศูนย์แมริม 180 หมู่ 7 ถ.โชตนา ต.ชี้เหล็ก อ.แมริม จ.เชียงใหม่ 50180 โทร. 053-885950





ที่ ขว ๐๖๑๒.๑๔.๐๑/๕๐๖

บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่  
๒๐๒ ถนนช้างเผือก อ.เมือง  
จ. เชียงใหม่ ๕๐๓๐๐

๓ สิงหาคม ๒๕๖๖

เรื่อง ขออนุญาตเก็บข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่

ด้วยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้อนุมัติให้ นายธนรัตน์ ทองวิจิต นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ การทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง ไฟฟ้าเคมี เพื่อพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนดาญ์ รัชเวทย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จึงขออนุญาตให้นักศึกษาเก็บข้อมูล เพื่อทำวิทยานิพนธ์ ในวันที่ ๑๔ สิงหาคม - ๑ กันยายน ๒๕๖๖ ส่วนรายละเอียดอื่น ๆ นักศึกษาจะประสาน กับท่านโดยตรงต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลนัฏฐ์ พลวัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๐๙๙๗-๒๖๓-๙๑๘๑

ภาคผนวก ง

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ และหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย



### รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. อาจารย์ธำนิษฐ์ อินทวิเศษ อาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา
2. อาจารย์ยุทธนา ชัยเจริญ อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี
3. นางเกศินี ทองอ่ำ ครูวิทยฐานะ ชำนาญการพิเศษ โรงเรียนสะเมิงพิทยาคม ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี





ที่ อว. ๐๖๑๒.๑๔.๐๑/ว.๓๙๘

บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่  
๒๐๒ ถนนช้างเผือก อ.เมือง  
จ.เชียงใหม่ ๕๐๓๐๐

๒๙ กรกฎาคม ๒๕๖๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน อาจารย์ธานีรินทร์ อินทวิเศษ  
คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย เครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ จำนวน ๑ ชุด

ด้วยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้อนุมัติให้ นายธนวัฒน์ ทองวิชิต นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ การทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การใช้แบบปฏิบัติการเคมีแบบย่นย่อร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง โฟฟ้านเคมีเพื่อพัฒนา ผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนดาช รัชเวทย์ เป็นอาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย เห็นว่าท่านเป็นผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี โดยนักศึกษาได้ประสานกับท่านแล้ว บัณฑิตวิทยาลัย จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจ และให้ความเห็นเกี่ยวกับเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ดังกล่าวที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลณีฐ์ พลวัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

บัณฑิตวิทยาลัย  
โทรศัพท์. ๐๙๗-๒๖๓-๙๑๘๑



ที่ อว. ๐๖๑๒.๑๔.๐๑/ว. ศ ๕๕๘

บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่  
๒๐๒ ถนนช้างเมือก อ.เมือง  
จ.เชียงใหม่ ๕๐๓๐๐

๒๙ กรกฎาคม ๒๕๖๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน อาจารย์ยุทธนา ชัยเจริญ  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย เครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ จำนวน ๑ ชุด

ด้วยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้อนุมัติให้ นายอนรัตน์ ทองวิชิต นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ การทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบยอส์ร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง ไฟฟ้าเคมีเพื่อพัฒนา ผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิชา รัชเวทย์ เป็นอาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย เห็นว่าท่านเป็นผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี โดยนักศึกษาได้ประสานกับท่านแล้ว บัณฑิตวิทยาลัย จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจ และให้ความเห็นเกี่ยวกับเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ดังกล่าวที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลนัฐ พลวัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

บัณฑิตวิทยาลัย  
โทรศัพท์. ๐๕๓-๒๖๓-๕๑๔๑



ที่ อว. ๐๖๑๒.๑๔.๐๑/ว.ทส๙

บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่  
๒๐๒ ถนนช้างเผือก อ.เมือง  
จ.เชียงใหม่ ๕๐๓๐๐

๒๙ กรกฎาคม ๒๕๖๖

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน นางเกศินี ทองอ่ำ

ครูวิทยฐานะชำนาญการพิเศษ โรงเรียนสะเมิงพิทยาคม

สิ่งที่ส่งมาด้วย เครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์

จำนวน ๑ ชุด

ด้วยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้อนุมัติให้ นายธนรัตน์ ทองวิชิต นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ การทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อยส่วนร่วมกับเครื่องมือช่วยคิด เรื่อง ไฟฟ้าเคมีเพื่อพัฒนา ผลลัพธ์การเรียนรู้และทักษะการคิดเชิงระบบ” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อินดาชัย รัชเวทย์ เป็นอาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย เห็นว่าท่านเป็นผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี โดยนักศึกษาได้ประสานกับท่านแล้ว บัณฑิตวิทยาลัย จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจ และให้ความเห็นเกี่ยวกับเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ดังเอกสารที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลนัฏฐ์ พลวัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

บัณฑิตวิทยาลัย

โทรศัพท์. ๐๕๓๗-๒๖๓-๔๑๔๑

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	นายธนรัตน์ ทองวิจิต
วัน เดือน ปีเกิด	25 มกราคม 2534
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 106/5 ซอย ไปดีมาดี ถนน เลียบคลองส่งน้ำ ตำบล ช้างเผือก อำเภอ เมืองเชียงใหม่ จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50300
อีเมลแอดเดรส	tanarat.bme.cmu@gmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2565 หลักสูตร บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชา การจัดการ สถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ. 2558 หลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การแพทย์ สถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2566 – ปัจจุบัน ตำแหน่ง ครู โรงเรียนสารสาสน์วิเทศเชียงใหม่ สังกัด / หน่วยงาน สำนักงานการศึกษาเอกชน จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2561 – 2565 ตำแหน่ง คิวเตอร์อิสระ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2559 – 2560 ตำแหน่ง พลทหารเสนารักษ์ สังกัด / หน่วยงาน มณฑลทหารบกที่ 38 จังหวัดน่าน