



การพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน  
ร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง  
กรด-เบส

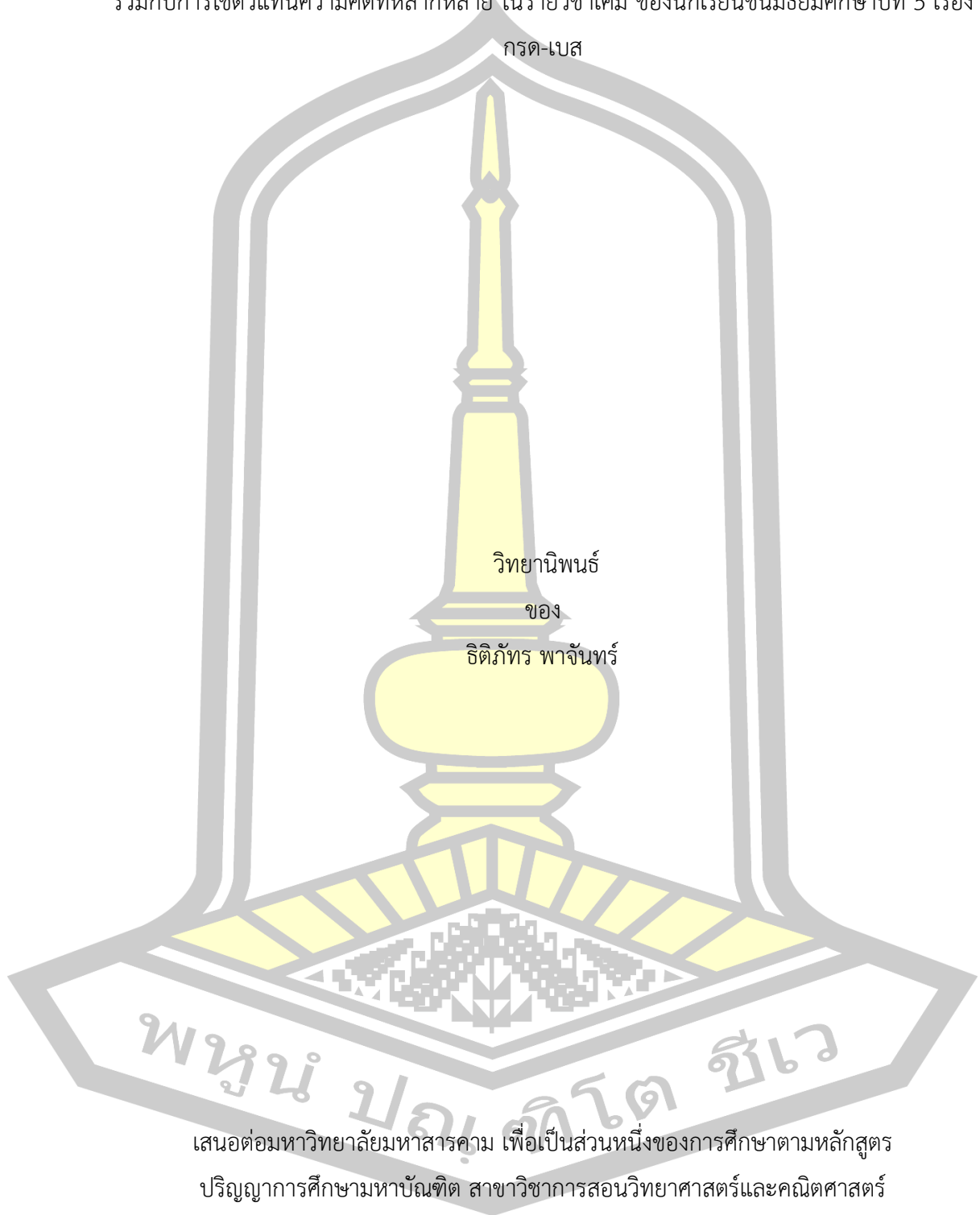
วิทยานิพนธ์  
ของ  
ธิดิภัทร พาจันท์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์  
พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน  
ร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง

กรด-เบส

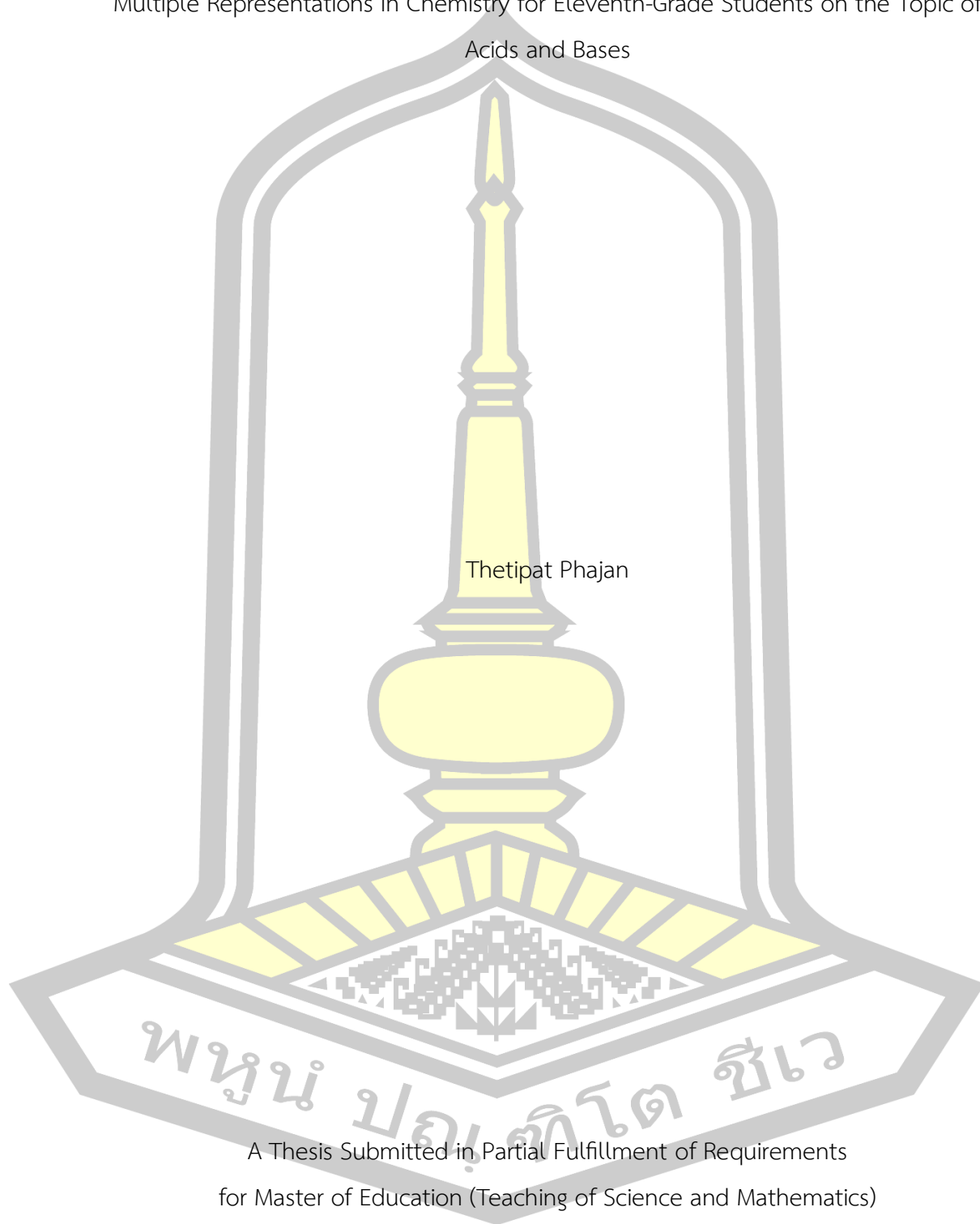


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Developing Representational Competence through Model-Based Learning and  
Multiple Representations in Chemistry for Eleventh-Grade Students on the Topic of  
Acids and Bases



Thetipat Phajan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Education (Teaching of Science and Mathematics)

May 2025

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายธิดิภัทร พาจันท์ แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. กันยารัตน์ สอนสุภาพ )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. กัญญารัตน์ โคจร )

กรรมการ

(ผศ. ดร. วิชญ รัชตเวชกุล )

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผศ. ดร. สมทรง สิทธิ )

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. ขวลิต ชูกำแหง )

(ผศ. ดร. พลเดช เขาวรัตน์ )

คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

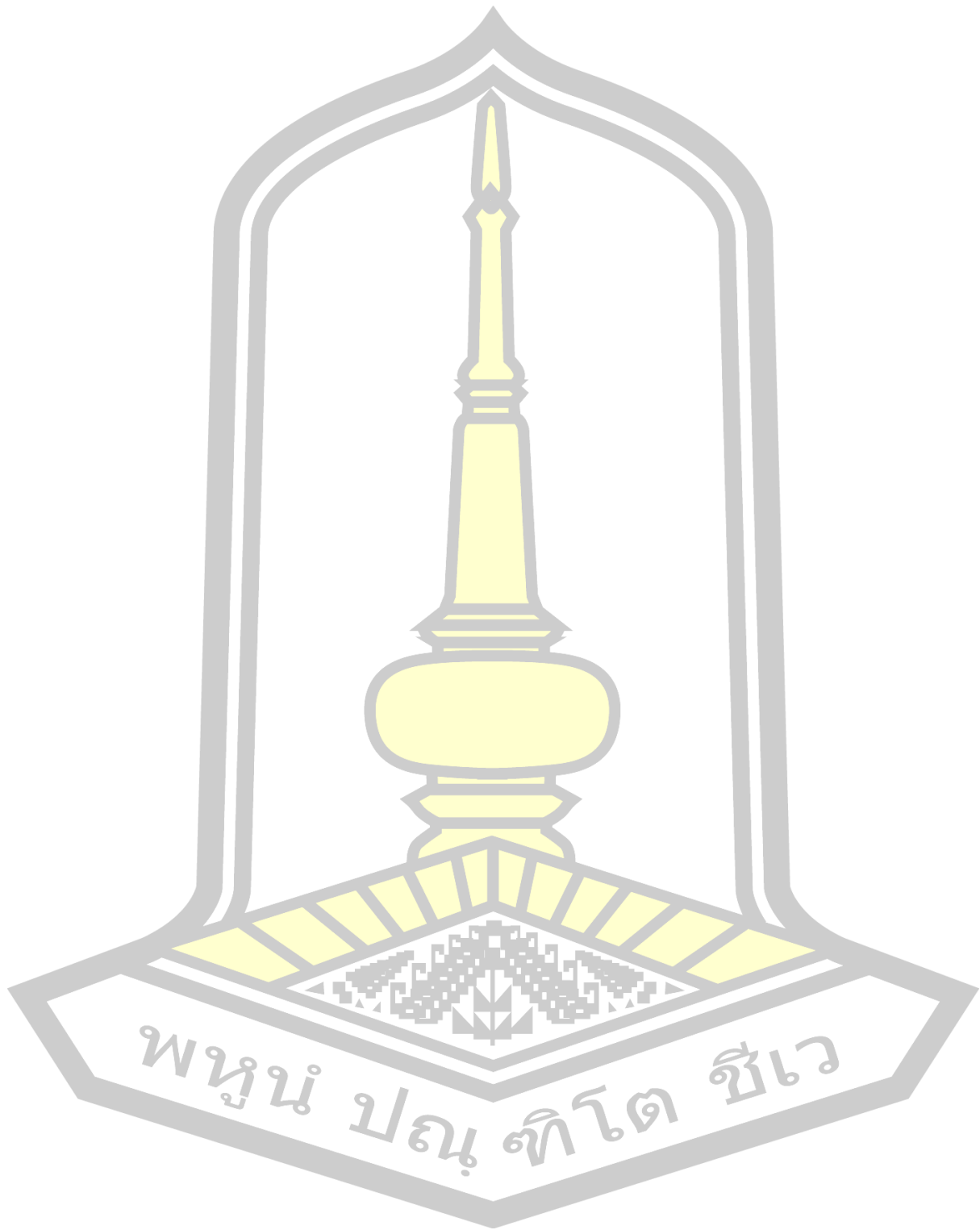
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

<b>ชื่อเรื่อง</b>	การพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส		
<b>ผู้วิจัย</b>	ธิดิภัทร พาจันท์		
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รองศาสตราจารย์ ดร. กัญญารัตน์ โคจร		
<b>ปริญญา</b>	การศึกษามหาบัณฑิต	<b>สาขาวิชา</b>	การสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
<b>มหาวิทยาลัย</b>	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	<b>ปีที่พิมพ์</b>	2568

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสารคามพิทยาคม จำนวน 34 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งเป็นแบบทดสอบสั้น จำนวน 4 ชุด ชุดละ 5 สถานการณ์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Cochran's Q test และ McNemar test ผลการวิเคราะห์พบว่า คะแนนเฉลี่ย ของแบบวัดทั้ง 4 ชุด เท่ากับ 4.29 (42.94%) 5.88 (58.82%) 6.15 (61.47%) และ 7.26 (72.65%) ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับสมรรถนะในแต่ละครั้ง พบว่า จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 2 (5.88%) คน เป็น 8 (23.53%) 9 (26.47%) และ 19 (55.88%) คน ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทางกลับกัน จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำลดลงจาก 8 (23.53%) คน เหลือ 3 (8.82%) 2 (5.88%) และ 1 (2.94%) คน ตามลำดับ ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยเฉพาะระหว่างการประเมินครั้งที่ 1 และครั้งที่ 4 ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย สามารถพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน, การใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย, สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด, กรด-เบส



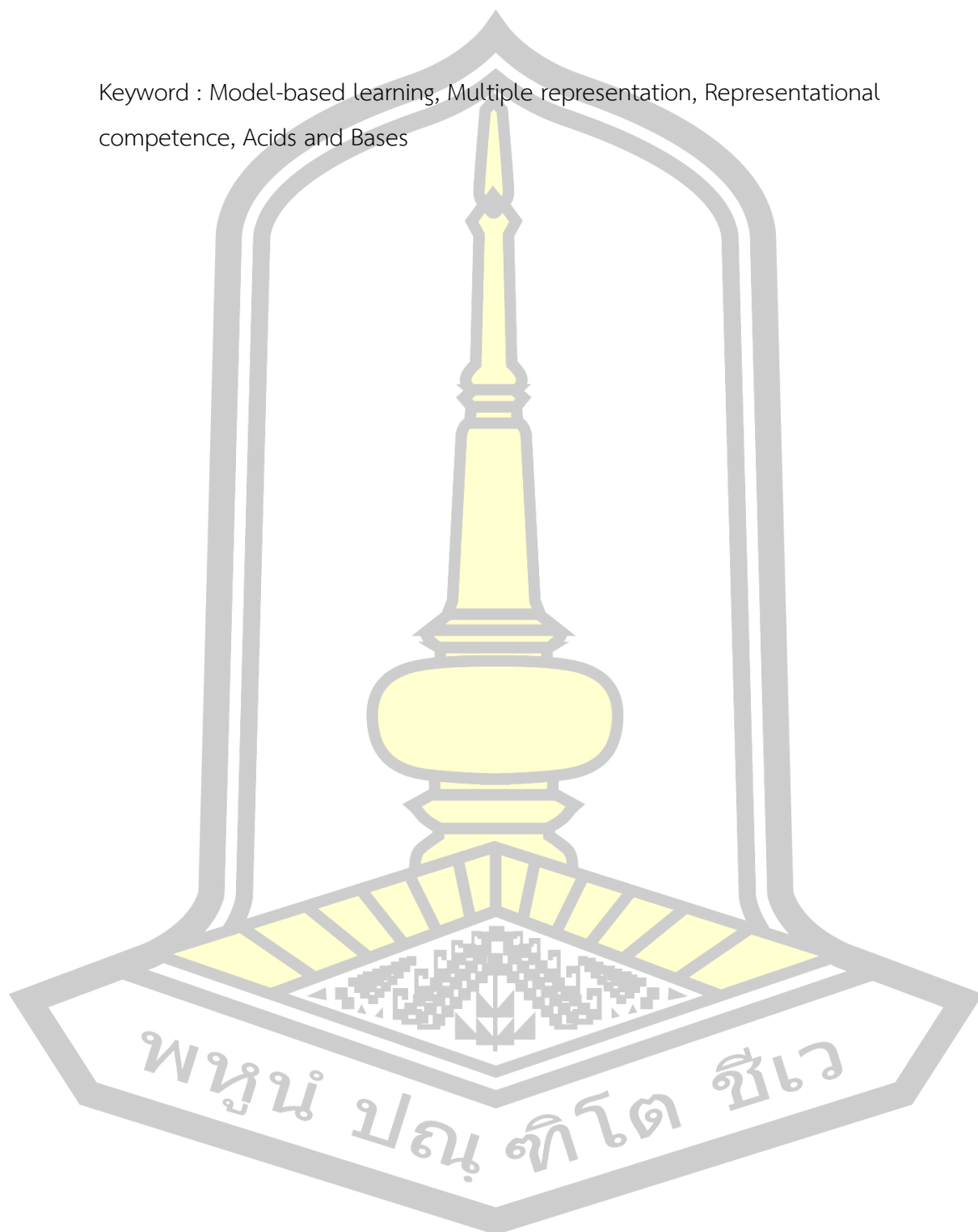
<b>TITLE</b>	Developing Representational Competence through Model-Based Learning and Multiple Representations in Chemistry for Eleventh-Grade Students on the Topic of Acids and Bases		
<b>AUTHOR</b>	Thetipat Phajan		
<b>ADVISORS</b>	Associate Professor Kanyarat Cojorn , Ed.D		
<b>DEGREE</b>	Master of Education	<b>MAJOR</b>	Teaching of Science and Mathematics
<b>UNIVERSITY</b>	Maharakham University	<b>YEAR</b>	2025

### ABSTRACT

This study aims to investigate the changes in the levels of representational competence of Grade 11 students before, during, and after a model-based learning approach combined with multiple representations in the chemistry subject on acid-base concepts. The sample consisted of 34 Grade 11 students from Sarakham Phitayakhom School. The research instrument used was a representational competence assessment consisting of 4 sets of short-answer questions, each with 5 situations. The statistical methods used for data analysis included mean, percentage, standard deviation, Cochran's Q test, and McNemar's test. The analysis revealed that the average scores of the 4 sets were 4.29 (42.94%), 5.88 (58.82%), 6.15 (61.47%), and 7.26 (72.65%), respectively, out of a total of 10 points. When examining the trend in the changes in representational competence across each assessment, it was found that the number of students with high representational competence increased continuously from 2 (5.88%) to 8 (23.53%), 9 (26.47%), and 19 (55.88%) students, respectively, with a statistically significant increase at the .05 level. Conversely, the number of students with low representational competence decreased from 8 (23.53%) to 3 (8.82%), 2 (5.88%), and 1 (2.94%) students, respectively, with a statistically significant decrease at the .05 level, especially between the first and fourth assessments. The results of this study suggest that a model-based learning approach combined with multiple

representations can effectively enhance students' representational competence.

Keyword : Model-based learning, Multiple representation, Representational competence, Acids and Bases



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงจาก รศ.ดร.กัญญารัตน์ โครจร อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการตรวจทาน ให้คำปรึกษา พร้อมทั้งมอบโอกาสและประสบการณ์อันมีคุณค่าเสมอมา อีกทั้งยังได้รับคำแนะนำอันเป็นประโยชน์จาก ผศ.ดร.กันยารัตน์ สอนสุภาพ ประธานกรรมการ ผศ.ดร.วิชญ รัชตเวชกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.สมทรง สิทธิ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงและพัฒนางานวิจัยนี้มาโดยตลอด รวมทั้งทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงาน และตระหนักถึงคุณค่าของงานที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในอนาคตต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดช่วงเวลาในการศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งนี้ ขอกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบและแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) เป็นอย่างสูง ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาระดับปริญญาโท จนก่อให้เกิดงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนสารคามพิทยาคม คณะครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และนักเรียนโรงเรียนสารคามพิทยาคม ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้โรงเรียนเป็นสถานที่เก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย และคอยให้กำลังใจ จนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณตา คุณยาย เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุน คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา ซึ่งเป็นแรงผลักดันสำคัญที่มีส่วนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์จากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นการบูชาพระคุณแต่บิดา มารดา ครู อาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่คอยอบรมสั่งสอน ชี้นำให้เกิดการเรียนรู้ ตลอดจนมีคุณธรรมและจริยธรรม เพื่อนำทางชีวิตไปสู่ความสำเร็จในอนาคต

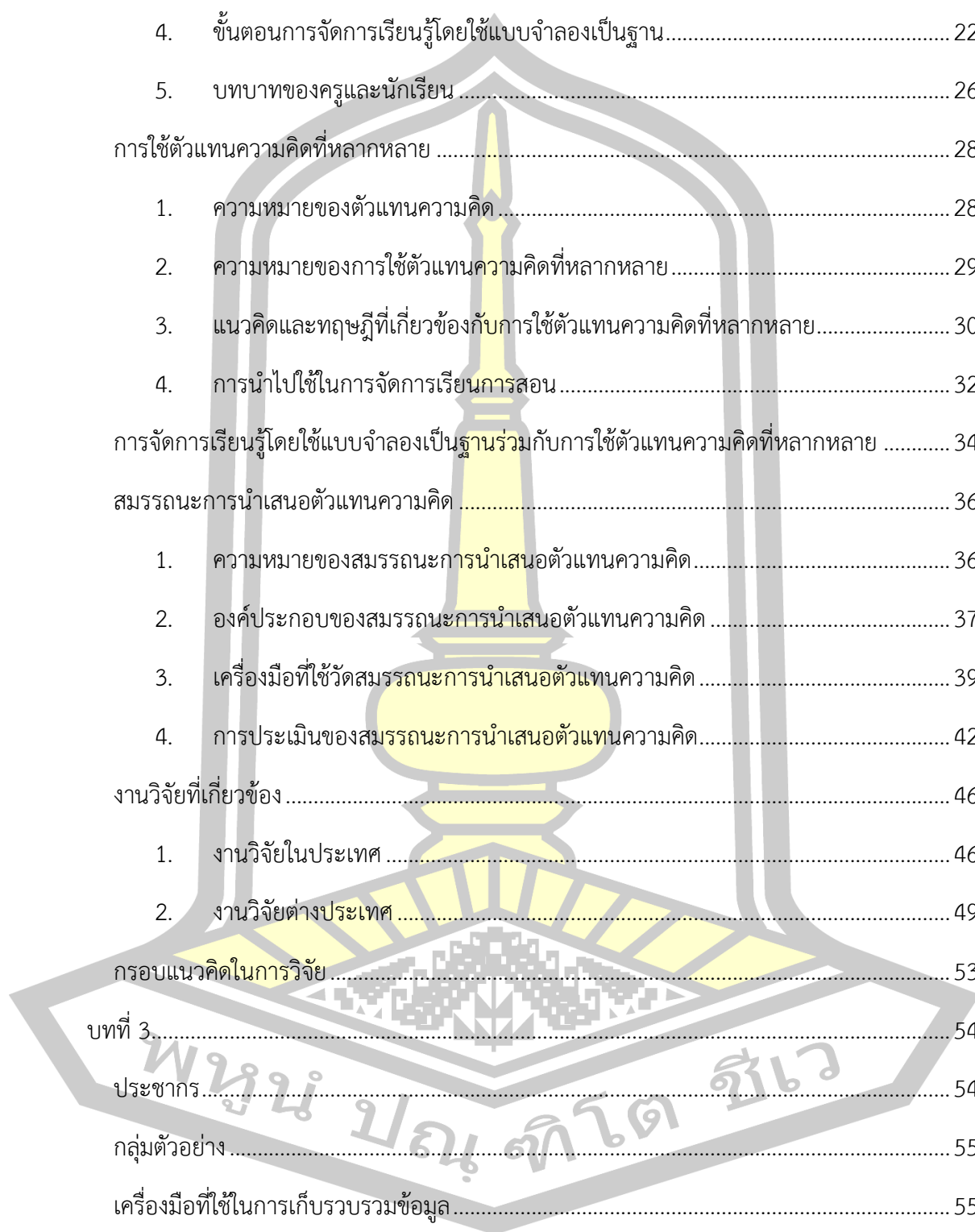
พนุณ ปณุ ทิโต ชีเว

ธิดิภัทร พาจันทร

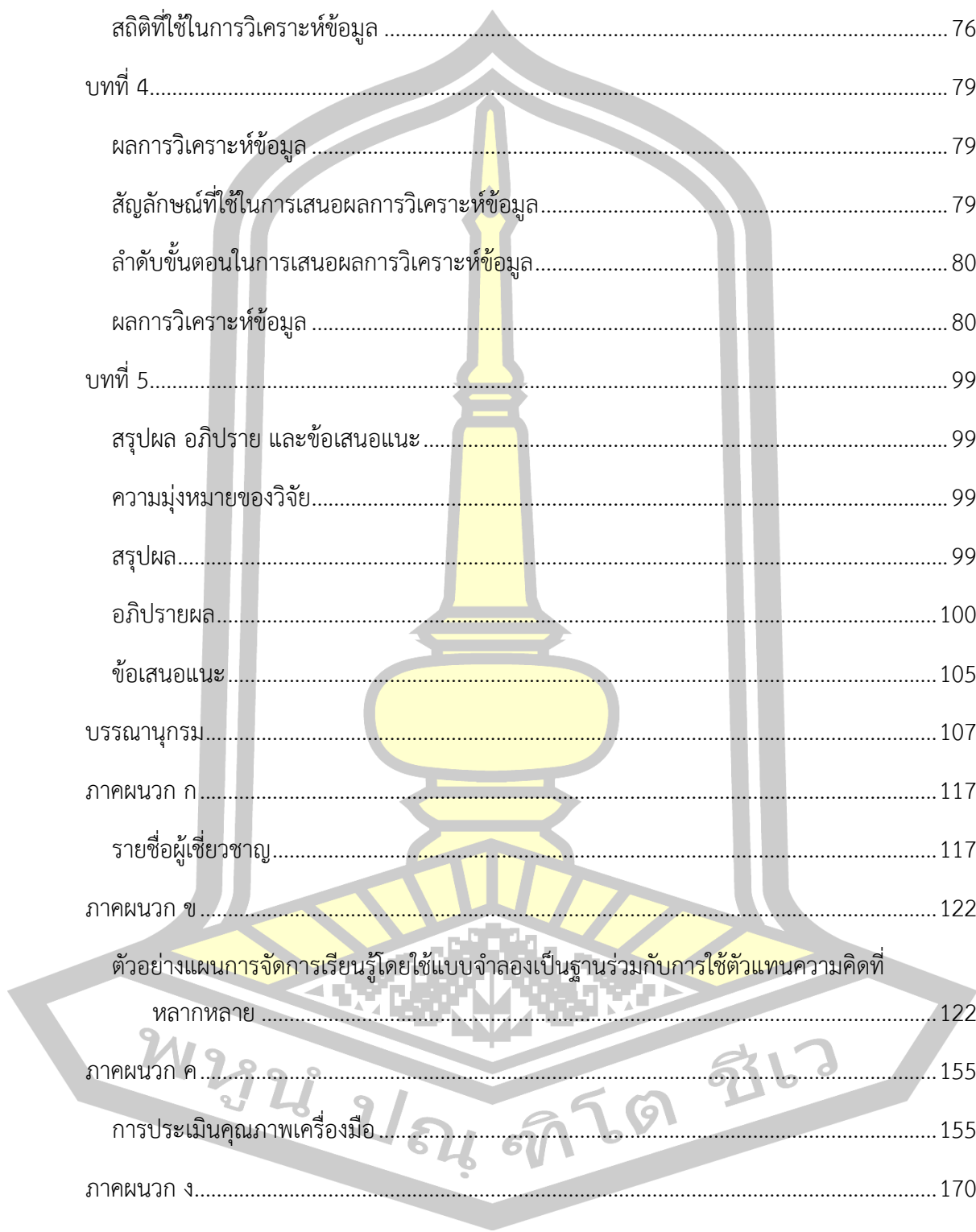
## สารบัญ

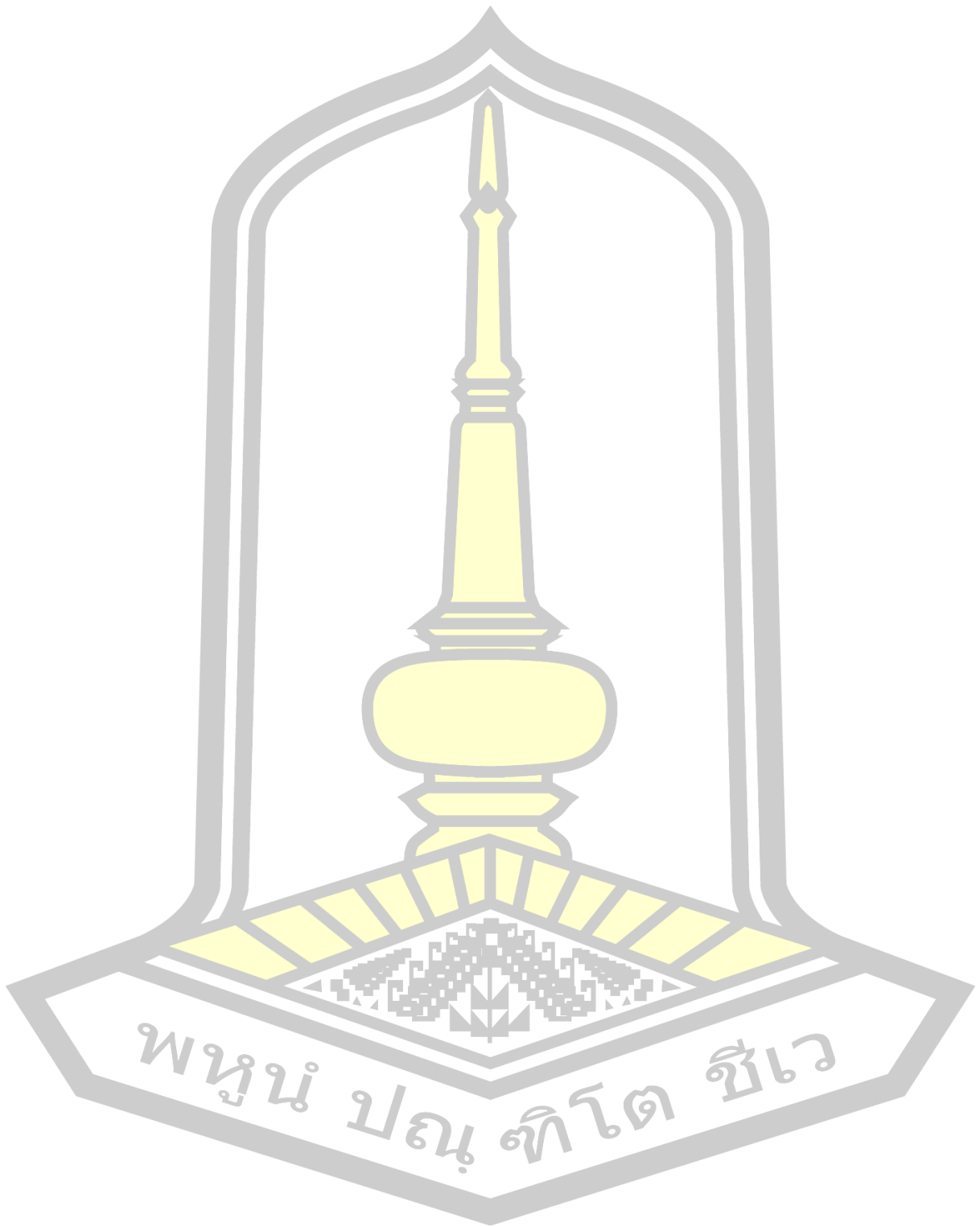
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่ 1.....	1
ภูมิหลัง.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
ความสำคัญของการวิจัย.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
บทที่ 2.....	9
หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560).....	9
1. เป้าหมายของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์.....	9
2. คำอธิบายรายวิชาเคมี.....	11
3. ผลการเรียนรู้.....	11
4. โครงสร้างรายวิชาเคมี.....	12
การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน.....	19
1. ความหมายของแบบจำลอง.....	19
2. ความหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน.....	20

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน .....	21
4. ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน.....	22
5. บทบาทของครูและนักเรียน .....	26
การใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย .....	28
1. ความหมายของตัวแทนความคิด .....	28
2. ความหมายของการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย .....	29
3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย.....	30
4. การนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน .....	32
การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย .....	34
สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด .....	36
1. ความหมายของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด .....	36
2. องค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด .....	37
3. เครื่องมือที่ใช้วัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด .....	39
4. การประเมินของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด .....	42
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	46
1. งานวิจัยในประเทศ .....	46
2. งานวิจัยต่างประเทศ .....	49
กรอบแนวคิดในการวิจัย .....	53
บทที่ 3.....	54
ประชากร .....	54
กลุ่มตัวอย่าง .....	55
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	55
การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ .....	56
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	74



การวิเคราะห์ข้อมูล.....	75
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล .....	76
บทที่ 4.....	79
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	79
สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	79
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	80
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	80
บทที่ 5.....	99
สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ .....	99
ความมุ่งหมายของวิจัย.....	99
สรุปผล.....	99
อภิปรายผล .....	100
ข้อเสนอแนะ .....	105
บรรณานุกรม.....	107
ภาคผนวก ก .....	117
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....	117
ภาคผนวก ข.....	122
ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่ หลากหลาย .....	122
ภาคผนวก ค.....	155
การประเมินคุณภาพเครื่องมือ.....	155
ภาคผนวก ง.....	170
ผลการตรวจคะแนน .....	170
ประวัติผู้เขียน.....	177





## สารบัญตาราง

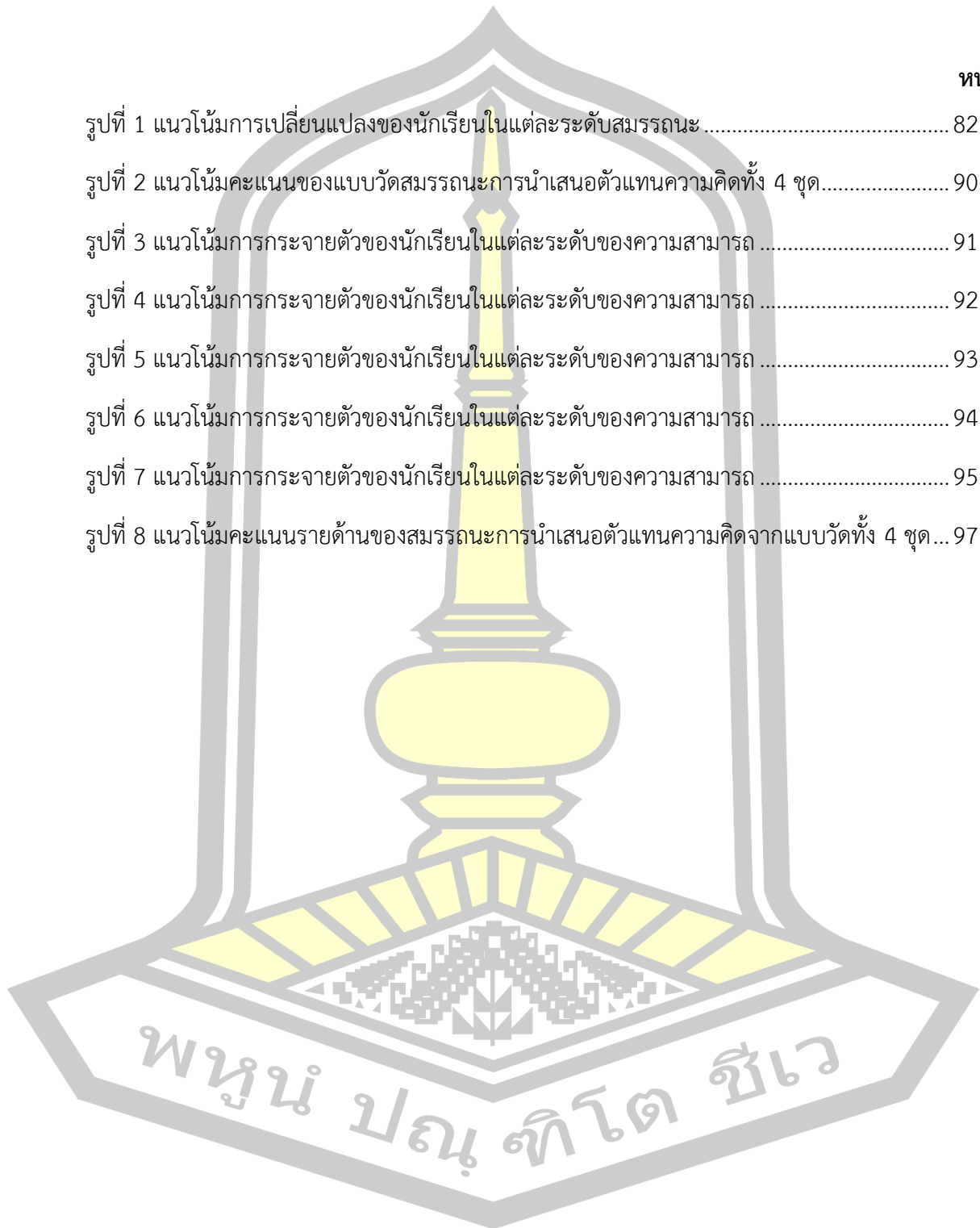
	หน้า
ตารางที่ 1 โครงสร้างรายวิชาเคมี.....	13
ตารางที่ 2 รายละเอียดของขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย .....	34
ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของ Kozma and Russell (2005).....	43
ตารางที่ 4 เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของ Sim and Daniel (2014) .....	44
ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของ Maree and Edwards (2019).....	44
ตารางที่ 6 การวิเคราะห์สาระการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ และเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้.....	56
ตารางที่ 7 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 1. 66	
ตารางที่ 8 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 2. 66	
ตารางที่ 9 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 3. 67	
ตารางที่ 10 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 4. 68	
ตารางที่ 11 เกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด .....	69
ตารางที่ 12 จำนวนนักเรียนในสมรรถนะระดับต่าง ๆ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด.....	81
ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูง ปานกลาง และต่ำ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด ด้วยสถิติ Cochran's Q Test .....	82
ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	83
ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	83

ตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	84
ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	84
ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 ด้วยสถิติ McNemar Test.....	85
ตารางที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 ด้วยสถิติ McNemar Test.....	85
ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test.....	86
ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test.....	86
ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	87
ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	87
ตารางที่ 24 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	88
ตารางที่ 25 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test .....	88
ตารางที่ 26 ค่าทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนในสมรรถนะระดับต่าง ๆ แบบรายคู่จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด ด้วยสถิติ McNemar Test .....	89
ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีองค์ประกอบสมรรถนะในระดับต่าง ๆ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด ด้วยสถิติ Cochran's Q Test.....	96
ตารางที่ 28 ผลการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย .....	156

ตารางที่ 29 สรุปผลการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ ตัวแทนความคิดที่หลากหลายของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน โดยแยกตามรายด้าน .....	159
ตารางที่ 30 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 1 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน .....	160
ตารางที่ 31 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 2 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน .....	161
ตารางที่ 32 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 3 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน .....	162
ตารางที่ 33 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 4 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน .....	163
ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ค่าอำนาจจำแนกและค่าความยากง่ายของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอ ตัวแทนความคิด .....	164
ตารางที่ 35 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 1 .....	165
ตารางที่ 36 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 2 .....	166
ตารางที่ 37 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 3 .....	167
ตารางที่ 38 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน ความคิดชุดที่ 4 .....	168
ตารางที่ 39 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 .....	171
ตารางที่ 40 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 2 .....	172
ตารางที่ 41 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 3 .....	173
ตารางที่ 42 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 4 .....	175

## สารบัญรูปร่าง

	หน้า
รูปที่ 1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนในแต่ละระดับสมรรถนะ .....	82
รูปที่ 2 แนวโน้มคะแนนของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้ง 4 ชุด.....	90
รูปที่ 3 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถ .....	91
รูปที่ 4 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถ .....	92
รูปที่ 5 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถ .....	93
รูปที่ 6 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถ .....	94
รูปที่ 7 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถ .....	95
รูปที่ 8 แนวโน้มคะแนนรายด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด... 97	



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

เคมี (chemistry) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง องค์ประกอบ สมบัติของสาร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงและกลไกการเกิดปฏิกิริยาของสาร (Suradech et al., 2020) อีกทั้งยังประกอบด้วยแนวคิดและทฤษฎีเชิงนามธรรมมากมายที่ได้จากการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Taber, 2019) โดยปรากฏการณ์ทางเคมีถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับตามแนวคิดของ Johnstone (1993) ได้แก่ 1) ระดับมหภาค (macroscopic level) หมายถึง ปรากฏการณ์ทางเคมีที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือจับต้องได้ เช่น การเปลี่ยนสีของสารละลาย 2) ระดับจุลภาค (microscopic level) หมายถึง ปรากฏการณ์ทางเคมีที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น พฤติกรรมของสารในระดับโมเลกุล และ 3) ระดับสัญลักษณ์ (symbolic level) หมายถึง สัญลักษณ์หรือสมการทางเคมี เนื่องจากเคมีเป็นศาสตร์ที่มีความนามธรรมสูงและมีปรากฏการณ์หลายระดับ (Lansangan et al., 2020) โดยทั่วไปนักเคมีจึงใช้ตัวแทนความคิด (representation) เช่น สมการเคมี สูตรโมเลกุล หรือแบบจำลอง เป็นเครื่องมือในการอธิบายปรากฏการณ์และสื่อสารแนวคิดทางเคมีระดับต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน (Daniel et al., 2018) โดยการที่ผู้เรียนจะสามารถเข้าใจและถ่ายทอดแนวคิดหรือปรากฏการณ์ทางเคมีได้อย่างสมบูรณ์ ผู้เรียนจะต้องสามารถเชื่อมโยงตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ทั้ง 3 ระดับได้อย่างคล่องแคล่ว (Gkitzia et al., 2011, 2020; Rosyida et al., 2022) ดังนั้น การส่งเสริมเพื่อให้ผู้เรียนสามารถสร้างและเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับต่าง ๆ ได้อย่างคล่องแคล่ว จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเรียนวิชาเคมี (Sim & Daniel, 2014)

สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด หมายถึง ชุดของทักษะที่ผู้เรียนสามารถสร้าง ตีความ และแปลความตัวแทนความคิดในระดับต่าง ๆ ได้ (Edelsbrunner et al., 2023) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการสะท้อนมุมมองของแต่ละบุคคลว่ามีความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ อย่างไรและสื่อสารความเข้าใจนั้นผ่านตัวแทนความคิดภายนอก (Daniel et al., 2018) โดยสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดจะสัมพันธ์กับความเข้าใจที่มีต่อเนื้อหาและตัวแทนความคิด ดังนั้น นักเรียนที่มีความเข้าใจในเนื้อหาและตัวแทนความคิดที่ดีจะมีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนสูง (Herunata et al.,

2021; Sim & Daniel, 2014) โดยผู้เรียนที่มีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดขั้นสูงจะสามารถเปลี่ยนตัวแทนความคิดภายนอกหรือแบบจำลองที่สามารถมองเห็นได้ (external representation) เป็นตัวแทนความคิดภายใน (internal representation) และนำไปใช้ประกอบการอธิบายได้ (Daniel et al., 2018) ซึ่งการนำเสนอตัวแทนความคิดถือเป็นหัวใจสำคัญในการปฏิบัติงานทางด้านวิทยาศาสตร์ (JONG et al., 2015) อีกทั้งยังได้รับการยอมรับจาก ACS Examinations Institute ว่าเป็นหนึ่งในสิบหลักสำคัญที่ควรยึดถืออีกด้วย (Popova & Jones, 2021)

จากการสังเกตการสอนพบว่า นักเรียนจำนวนมากไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีจากการพิจารณาตัวแทนความคิดที่ครูผู้สอนกำหนดให้ได้ เช่น การอธิบายหรือใช้ข้อมูลจากกราฟ อีกทั้งยังไม่สามารถเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับจุลภาคกับระดับสัญลักษณ์ได้ เช่น การเชื่อมโยงระหว่างแผนภาพการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้นกับสมการทางเคมี นอกจากนี้ จากผลคะแนนการสอบกลางภาคพบว่า คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนเท่ากับ  $10 \pm 3.5$  จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ (โรงเรียนสารคามพิทยาคม, 2567) ดังนั้น จากปัญหาที่กล่าวในข้างต้นอาจส่งผลให้นักเรียนมีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากสมรรถนะนี้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้าใจที่มีต่อตัวแทนความคิดและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยจึงได้ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เพื่อยืนยันปัญหาดังกล่าว จากการสำรวจระดับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 38 คน โดยแบบวัดจะมีลักษณะเป็นแบบข้อคำถามแบบตอบสั้น แบ่งเป็น 15 ข้อย่อยที่ครอบคลุมองค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 5 ด้านตามแนวคิดของ Sim and Daniel (2014) ได้แก่ 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี โดยค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ของเครื่องมือ เท่ากับ 0.9 พบว่าไม่มีนักเรียนที่มีสมรรถนะอยู่ในระดับสูงและนักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณารายด้านพบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยด้านความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมีอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งหากปัญหาดังกล่าวไม่ได้รับการแก้ไขอาจส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระยะยาว เช่น ส่งผลให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่

ซับซ้อนได้ยาก (Daniel et al., 2018; Edelsbrunner et al., 2023; Gkitzia et al., 2020) มีทักษะในการแก้ปัญหาและการสื่อสารตัวแทนความคิดในระดับต่ำ (Volkwyn et al., 2020; Wayan Distrik et al., 2021) รวมถึงการทำให้เกิดความเข้าใจต่อแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน (Saritaş et al., 2021) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การจัดการเรียนรู้แบบต่าง ๆ ร่วมกับการใช้แบบจำลอง เช่น การจัดการเรียนรู้แบบบรรยายร่วมกับการใช้แบบจำลองรูปธรรม (Stieff et al., 2016) การจัดการเรียนรู้แบบบรรยายร่วมกับการวาดภาพ (Stieff & DeSutter, 2021) การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (model-based learning) (Magana et al., 2024; Padalkar & Hegarty, 2012) และการจัดการเรียนรู้โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐาน (computer-based learning) (Stull et al., 2016) การจัดการเรียนรู้ผ่านเว็บ (web-based learning) (Farida et al., 2017) ซึ่งการใช้แบบจำลองถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด การใช้วิธีทัศน์ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ระดับมหภาคและจุลภาค และการใช้คำถามท้าทายจะช่วยพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้ อีกทั้งการใช้แบบจำลองยังช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนความคิดได้ดีขึ้น (โพธิศักดิ์ โปธิเสน และ ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560)

ดังนั้น หนึ่งในวิธีการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดได้ดี คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เนื่องจากการจัดการเรียนรู้จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้าง ทดสอบ แก้ไข และใช้แบบจำลอง เพื่อส่งเสริมและสะท้อนความเข้าใจที่มีต่อปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา (Magana et al., 2024) ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Kozma and Russell (2005) ที่มุ่งเน้นการพัฒนาทักษะในการสร้างและใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย (multiple representations) โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกสร้างตัวแทนความคิดใหม่และปรับปรุงตัวแทนความคิดเดิมที่ไม่ถูกต้องในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ผ่านการนำเสนอตัวแทนความคิด (Buckley et al., 2004; Buckley, 2012) ซึ่งเป็นการส่งเสริมความสามารถในการสร้างแบบจำลองและการอธิบายปรากฏการณ์ผ่านแบบจำลองของนักเรียน (Amador-Rodríguez et al., 2023; Pluta et al., 2011; Schwarz et al., 2009) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการออกแบบการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีข้อควรคำนึง 4

ประเด็น ดังนี้ 1) นักเรียนจะต้องได้สร้าง ทดสอบ แก้ไข และใช้แบบจำลอง เพื่อสะท้อนความเข้าใจที่มีต่อปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา 2) นักเรียนจะต้องได้รับการส่งเสริมสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ได้แก่ ความสามารถในการเข้าใจ สร้าง และใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายได้อย่างยืดหยุ่น 3) นักเรียนจะต้องมีส่วนร่วมในกระบวนการอภิปัญญา (metacognitive processes) และ 4) นักเรียนจะต้องได้รับการส่งเสริมกระบวนการควบคุมและจัดการ (regulatory processes) เพื่อใช้ในการวางแผน ตรวจสอบ และปรับการเรียนรู้ของตนเอง ขณะที่ทำงานร่วมกับผู้อื่น (Magana et al., 2024)

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองและตัวแทนความคิดแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อจำกัดในการอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีที่แตกต่างกัน (van Dulmen et al., 2023) ดังนั้น การใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ครอบคลุมมากกว่าการใช้ตัวแทนความคิดรูปแบบเดียว (Hartini & Martin, 2022; Talanquer, 2022) การส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่หลากหลายจะทำให้ให้นักเรียนเกิดความเข้าใจรายวิชาเคมีได้เป็นอย่างดี (Avargil & Piorko, 2022) และมีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่สูงขึ้น (Lee & Jones, 2018) ดังนั้น ครูผู้สอนควรคำนึงถึงการพัฒนาทักษะในการสร้างและการประยุกต์ใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายเมื่อจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ให้นักเรียนสามารถนำเสนอแนวคิดที่มีต่อปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้อย่างครอบคลุมและเหมาะสม

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเพื่อพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

## ความสำคัญของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางให้ครูผู้ที่มีความสนใจในเรื่องการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอ  
ตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่  
หลากหลาย สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางให้ครูวิทยาศาสตร์ในการพัฒนานักเรียนให้มีความพร้อมต่อ  
การศึกษาต่อและการทำงานด้านวิทยาศาสตร์ได้

## ขอบเขตของการวิจัย

### 1. เนื้อหาที่นำมาใช้ในการวิจัย

เนื้อหาในหลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม กลุ่มสาระการเรียนรู้  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับ  
ปรับปรุง พ.ศ. 2560) รายวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 12 ชั่วโมง

### 2. ประชากร

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ห้องเรียนปกติ  
โรงเรียนสารคามพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567  
จำนวน 318 คน จาก 8 ห้องเรียน โดยแต่ละห้องมีลักษณะของนักเรียน ทั้งจำนวนนักเรียน  
สภาพแวดล้อมในการเรียน คณะสอนบกลางภาคและเกรดในรายวิชาเคมีที่ใกล้เคียงกัน

### 3. กลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 5/10 โรงเรียนสารคามพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัด  
มหาสารคาม ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 34 คน โดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster  
random sampling) โดยใช้ชั้นเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม

### 4. ช่วงเวลาในการวิจัย

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567

### 5. ตัวแปรที่วิจัย

5.1 ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทน  
ความคิดที่หลากหลาย

## 5.2 ตัวแปรตาม คือ สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ฝึกสร้างตัวแทนความคิดใหม่และปรับปรุงตัวแทนความคิดเดิมที่ไม่ถูกต้องในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ผ่านการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของ Buckley et al. (2004) ดังนี้

1.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะได้สร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาตามความรู้และความเข้าใจเดิมของตนเอง

1.2 ขั้นตอนการนำไปใช้และประเมินแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะต้องประเมินความใช้ได้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของแบบจำลองที่ตนสร้างผ่านการดำเนินการทดลองหรือการค้นคว้าข้อมูล

1.3 ขั้นตอนการปฏิเสธแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะต้องแก้ไขหรือปรับปรุงแบบจำลองของตนให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

1.4 ขั้นตอนการขยายแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะต้องนำแบบจำลองไปสร้างเพิ่มเติม เช่น เพิ่มข้อมูลใหม่หรือนำไปรวมกับแบบจำลองอื่น เพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น

2. ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย หมายถึง การใช้ตัวแทนความคิดอธิบายปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาที่มากกว่า 1 ระดับ ได้แก่ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์

3. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ฝึกสร้างตัวแทนความคิดใหม่และปรับปรุงตัวแทนความคิดเดิมที่ไม่ถูกต้องในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ผ่านการนำเสนอตัวแทนความคิดที่มากกว่า 1 ระดับ โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานตามแนวคิดของ Buckley et al. (2004) โดยมีการผนวกแนวคิดเกี่ยวกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายลงไปเป็นขั้นตอนที่ 4 การขยายแบบจำลอง เพื่อพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการสอนดังนี้

3.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ครูผู้สอนจะใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัยและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองจากข้อมูลที่ได้จากการสังเกต โดยในขั้นนี้นักเรียนจะต้องสร้างแบบจำลองจากข้อมูลที่ได้จากการสังเกต

3.2 ขั้นตอนการนำไปใช้และประเมินแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่นักเรียนต้องเขียนอธิบายแบบจำลองของตนเอง จากนั้นนำแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เพื่อประเมินแบบจำลองของตนเอง

3.3 ขั้นตอนการปฏิเสธแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ครูผู้สอนเป็นผู้ให้สะท้อนผลหรือคอยให้คำแนะนำในการแก้ไข และนักเรียนจะต้องทำการพิจารณาว่าแบบจำลองของตนเองสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้หรือไม่ อย่างไร และจะต้องปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเองอย่างไร เพื่อให้แบบจำลองของตนเองถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

3.4 ขั้นตอนการขยายแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ครูผู้สอนจะให้นักเรียนนำแบบจำลองมาเพิ่มเติมข้อมูลอื่น ๆ เพื่อขยายแนวคิดของแบบจำลอง โดยนักเรียนจะต้องใช้แบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วมาเชื่อมโยงแบบจำลองกับตัวแทนความคิดระดับอื่น ๆ

4. สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด หมายถึง ความสามารถหรือทักษะในการสร้างและการประยุกต์ใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย เพื่อสื่อสารหรือนำเสนอความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดที่มีต่อปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้อย่างครอบคลุมและเหมาะสม โดยแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส โดยมีลักษณะเป็นแบบข้อคำถามปลายเปิดที่ครอบคลุมองค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้ 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด หมายถึง ความสามารถในการอธิบายลักษณะทางกายภาพของปรากฏการณ์ระดับมหภาค ลักษณะของโมเลกุลของปรากฏการณ์ระดับจุลภาค และความหมายของตัวแปร/สัญลักษณ์เคมี 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน หมายถึง ความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างภาพการทดลองจริงกับผลการทดลอง/การสังเกต ภาพโมเลกุลกับภาพโมเลกุล และสมการเคมีกับสมการทางคณิตศาสตร์ 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน หมายถึง ความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างภาพการทดลองจริงกับสมการ/สูตรเคมี ภาพการทดลองจริงกับภาพโมเลกุล และสมการ/สูตรเคมีกับภาพโมเลกุล 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย หมายถึง ความสามารถในการอธิบายให้สอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการสื่อสารเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมหภาค ระดับ

จุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี หมายถึง ความสามารถในการอธิบายโดยใช้ตัวแทนทางความคิดมากกว่า 1 ระดับ ทั้งหมดจำนวน 4 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลอง ชุดละ 1 สถานการณ์ ดังนี้ ชุดที่ 1 ใช้วัดก่อนการได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยจะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง การเกิดไฮโดรลิซิสของเกลือ ความเป็นกรด-เบสของเกลือและการคำนวณเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ชุดที่ 2 และ 3 ใช้วัดระหว่างได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยชุดที่ 2 จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง pH ของสารละลายเมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา เมื่อกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกันและเมื่อกรดอ่อนหรือเบสอ่อนเหลือจากการทำปฏิกิริยาและชุดที่ 3 จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง อินดิเคเตอร์ หลักการของบัฟเฟอร์และการเตรียมบัฟเฟอร์และชุดที่ 4 ใช้วัดหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้ จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง หลักการไทเทรตและกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับปริมาณกรด-เบสที่เติม



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
2. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
3. การใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย
4. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย
5. สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

1. เป้าหมายของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด เพื่อให้ได้ทั้งกระบวนการและความรู้จากการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาจัดระบบเป็นหลักการ แนวคิด และองค์ความรู้ โดยการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีเป้าหมายที่สำคัญดังนี้

- 1.1 เพื่อให้เข้าใจหลักการ ทฤษฎีและกฎที่เป็นพื้นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์
- 1.2 เพื่อให้เข้าใจขอบเขตของธรรมชาติ ของวิชาวิทยาศาสตร์และข้อจำกัดในการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์
- 1.3 เพื่อให้มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 1.4 เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์ และสภาพแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน

1.5 เพื่อนำความรู้ ความเข้าใจในวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิต

1.6 เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ

1.7 เพื่อให้เป็นผู้ที่มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ ทั้งด้านความรู้ในเนื้อหาและกระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตลอดจนเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการต่าง ๆ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการลงมือปฏิบัติอย่างหลากหลายเหมาะสมกับวัยและระดับชั้นของผู้เรียน โดยกำหนดสาระสำคัญดังนี้

วิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Biological Science) เรียนรู้เกี่ยวกับชีวิตในสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ การดำรงชีวิตของพืช พันธุกรรม ความหลากหลายทางชีวภาพและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

วิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Science) เรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของสาร การเปลี่ยนแปลงของสาร การเคลื่อนที่ พลังงาน และคลื่น

วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ (Earth and Space Science) เรียนรู้เกี่ยวกับโลกและกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา ข้อมูลทางธรณีวิทยา และการนำไปใช้ประโยชน์ การถ่ายโอนพลังงานความร้อนของโลก การเปลี่ยนแปลงลักษณะลมฟ้าอากาศ และการดำรงชีวิตของมนุษย์โลกในเอกภพ และดาราศาสตร์กับมนุษย์เทคโนโลยี (Technology)

การออกแบบและเทคโนโลยี (Designing and Technology) เรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเพื่อดำรงชีวิตในสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ใช้ความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และศาสตร์อื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสมโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อชีวิตสังคม และสิ่งแวดล้อม

วิทยาการคำนวณ (Computing Science) เรียนรู้เกี่ยวกับการคิดเชิงคำนวณ การคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2. คำอธิบายรายวิชาเคมี

สืบค้น ทดลอง วิเคราะห์ เกี่ยวกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และนอนอิเล็กโทรไลต์ สารละลายกรดและสารละลายเบส ไอออนในสารละลายกรด ไอออนในสารละลายเบส ทฤษฎีกรด-เบส คู่กรด-เบส การแตกตัวของกรด-เบสและน้ำ pH อินดิเคเตอร์ ปฏิกริยาระหว่างกรด-เบส ปฏิกริยาไฮโดรลิซิส การไทเทรตกรด-เบส และสารละลายบัฟเฟอร์

สืบค้น ทดลอง วิเคราะห์ เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ การดุลสมการรีดอกซ์ เซลล์ไฟฟ้าเคมี เซลล์กัลวานิก การเขียนแผนภาพของเซลล์กัลวานิก ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ ประเภทของเซลล์กัลวานิก เซลล์อิเล็กโทรไลต์ การแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า การแยกสารที่หลอมเหลวด้วยกระแสไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ การฟูก่อนของโลหะและการป้องกัน ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ไฟฟ้าเคมี

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ การสืบค้นข้อมูล และการอภิปราย เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ความคิด สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจ เห็นคุณค่าของการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

## 3. ผลการเรียนรู้

3.1 ระบุและอธิบายว่าสารเป็นกรด หรือเบส โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสแตด-ลาวรี และลิวอิส

3.2 ระบุคู่กรด-เบสของสารตามทฤษฎี กรด-เบสของเบรินสแตด-ลาวรี

3.3 คำนวณและเปรียบเทียบความสามารถ ในการแตกตัวหรือความแรงของกรดและเบส

3.4 คำนวณค่า pH ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส

3.5 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทินและระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลาย หลังการสะเทิน

- 3.6 เขียนปฏิกริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ และระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ
- 3.7 ทดลองและอธิบายหลักการการไทเทรต และเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ การไทเทรตกรด-เบส
- 3.8 คำนวณปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต
- 3.9 อธิบายสมบัติ องค์ประกอบ และประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์
- 3.10 สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส
- 3.11 คำนวณเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกริยาที่เป็นปฏิกริยารีดอกซ์
- 3.12 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกริยารีดักชันของปฏิกริยารีดอกซ์
- 3.13 ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถ ในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกริยารีดอกซ์
- 3.15 คุณสมบัติรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกริยา
- 3.15 ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกริยารวม และแผนภาพเซลล์
- 3.16 คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ชั่วไฟฟ้า และปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้น
- 3.17 อธิบายหลักการทำงานและเขียนสมการแสดงปฏิกริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ
- 3.18 ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมี ด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมี ไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ
- 3.19 สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน

รวม 19 ผลการเรียนรู้

#### 4. โครงสร้างรายวิชาเคมี

ตารางที่ 1 โครงสร้างรายวิชาเคมี

ลำดับ ที่	ชื่อหน่วย การเรียนรู้	มาตรฐานการ เรียนรู้/ตัวชี้วัด	สาระสำคัญ	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก คะแนน
1	กรด-เบส	สาระเคมี 2 ม.5/14	สารในชีวิตประจำวันหลายชนิดมีสมบัติเป็นกรดหรือเบส ซึ่งพิจารณาได้โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี หรือลิวอิส	3	2
		สาระเคมี 2 ม.5/15	ตามทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี เมื่อกรดหรือเบสละลายน้ำหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น จะมีการถ่ายโอนโปรตอนระหว่างสารตั้งต้นที่เป็นกรดและเบส เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสของสารตั้งต้นนั้น โดยสารที่เป็นคู่กรด-เบสกันจะมีโปรตอนต่างกัน 1 โปรตอน	3	3
		สาระเคมี 2 ม.5/16	กรดและเบสแต่ละชนิดสามารถแตกตัวในน้ำได้แตกต่างกัน กรดแก่หรือเบสแก่สามารถแตกตัวเป็นไอออนในน้ำได้เกือบสมบูรณ์ ส่วนกรดอ่อนหรือเบสอ่อนแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย โดยความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดหรือเบสอาจพิจารณาได้จากค่าคงที่การแตกตัวของกรดหรือเบสหรือปริมาณการแตกตัวเป็นร้อยละของกรดหรือเบส	3	3
		สาระเคมี 2	บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	3	2

ลำดับ ที่	ชื่อหน่วย การเรียนรู้	มาตรฐานการ เรียนรู้/ตัวชี้วัด	สาระสำคัญ	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก คะแนน
		ม.5/17	แตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากัน คือ $1.0 \times 10^{-7}$ โมลต่อลิตร โดยมีค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ เท่ากับ $1.0 \times 10^{-14}$		
		สาระเคมี 2 ม.5/18	ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่และเบสแก่ ให้สารละลายที่เป็นกลาง ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่และเบสอ่อน ให้สารละลายที่เป็นกรด ส่วนปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดอ่อนและเบสแก่ ให้สารละลายที่เป็นเบส	3	2
		สาระเคมี 2 ม.5/19	เกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดแก่ด้วยเบสอ่อน เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด ส่วนเกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดอ่อนด้วยเบสแก่ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส	3	2
		สาระเคมี 2 ม.5/20	การไทเทรตเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์หาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน จุดที่สารทำปฏิกิริยาพอดีกันเรียกว่า จุดสมมูล ในทางปฏิบัติ จุดสมมูลของปฏิกิริยาอาจไม่สามารถสังเกตเห็นได้ จึงสังเกต	3	3

ลำดับ ที่	ชื่อหน่วย การเรียนรู้	มาตรฐานการ เรียนรู้/ตัวชี้วัด	สาระสำคัญ	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก คะแนน
			จากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ เพื่อบอกจุดยุติของการไทเทรต ดังนั้นอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรตกรด-เบส ควรเป็นอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีในช่วง pH ตรงกับหรือใกล้เคียงกับ pH ของสารละลาย ณ จุดสมมูล		
		สาระเคมี 2 ม.5/21	ปริมาณกรดและเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจาก การไทเทรตกรด-เบส สามารถนำไปคำนวณความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่ต้องการทราบความเข้มข้นได้	3	3
		สาระเคมี 2 ม.5/22	สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนนั้น หรือเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนนั้น เมื่อเติมกรด เบส หรือน้ำ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH น้อยกว่าสารละลายทั่วไป สมบัติเฉพาะของสารละลายบัฟเฟอร์เป็นประโยชน์ต่อการควบคุม pH ของระบบในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม	3	3
		สาระเคมี 2 ม.5/23	ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส สามารถนำมาใช้ประโยชน์และแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการแพทย์	3	2
กลางภาค					20

ลำดับ ที่	ชื่อหน่วย การเรียนรู้	มาตรฐานการ เรียนรู้/ตัวชี้วัด	สาระสำคัญ	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก คะแนน
2	ไฟฟ้าเคมี	สาระเคมี 2 ม.5/24	เคมีไฟฟ้าเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานไฟฟ้าและการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ซึ่งเป็นเลขที่แสดงประจุไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าสมมติของอะตอมธาตุ เรียกปฏิกิริยาชนิดนี้ว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์	3	3
		สาระเคมี 2 ม.5/25	ปฏิกิริยารีดอกซ์มีทั้งครึ่งปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน โดยสารที่ให้อิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เรียกว่า ตัวรีดิวซ์ ส่วนสารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง เรียกว่า ตัวออกซิไดส์	3	3
		สาระเคมี 2 ม.5/26	การเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์สามารถพิจารณาได้จากผลการทดลองของปฏิกิริยารีดอกซ์	3	3
		สาระเคมี 2 ม.5/27	ปฏิกิริยารีดอกซ์เขียนแทนได้ด้วยสมการรีดอกซ์ ซึ่งการดุลสมการรีดอกซ์ทำได้โดยการใช้เลขออกซิเดชันและวิธี	4	3

ลำดับ ที่	ชื่อหน่วย การเรียนรู้	มาตรฐานการ เรียนรู้/ตัวชี้วัด	สาระสำคัญ	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก คะแนน
			ครึ่งปฏิบัติการ		
		สาระเคมี 2 ม.5/28	เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบด้วยแอโนด แคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือ โดยที่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแอโนดไป แคโทด เซลล์เคมีไฟฟ้า สามารถเขียน แสดงโดยใช้แผนภาพเซลล์	4	3
		สาระเคมี 2 ม.5/29	ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ คำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ของครึ่งเซลล์ ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ เป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ เกิดขึ้นได้เอง ซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่า เซลล์กัลวานิก แต่ ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ แสดง ว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ไม่สามารถเกิดได้เอง ต้องมีการให้กระแสไฟฟ้าจึงจะ เกิดปฏิกิริยาได้ เซลล์ชนิดนี้เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติก	3	3
		สาระเคมี 2 ม.5/30	เซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ ประโยชน์ได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แบตเตอรี่ ซึ่งมีทั้งเซลล์ปฐมภูมิและ เซลล์ทุติยภูมิ โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น	4	3

ลำดับ ที่	ชื่อหน่วย การเรียนรู้	มาตรฐานการ เรียนรู้/ตัวชี้วัด	สาระสำคัญ	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก คะแนน
			ภายในเซลล์ปฐมภูมิไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้โดยการประจุไฟ จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ทุติยภูมิสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้โดยการประจุไฟ จึงนำกลับมาใช้ได้ อีก		
		สาระเคมี 2 ม.5/31	เซลล์อเล็กโทรลิติกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในชีวิตประจำวัน และในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ	3	2
		สาระเคมี 2 ม.5/32	ปฏิกิริยาเคมีหลายปฏิกิริยาที่พบในชีวิตประจำวันเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยาในเซลล์เคมีไฟฟ้า ซึ่งความรู้เรื่องเซลล์เคมีไฟฟ้าและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า นำไปสู่นวัตกรรม ด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	3	2
การวัดผลปลายภาคเรียน					30
รวมตลอดภาคเรียน					100

จากการศึกษาคำอธิบายรายวิชา ผลการเรียนรู้ และโครงสร้างรายวิชาเคมี 2 ชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสารคามพิทยาคม สรุปได้ว่า รายวิชาเคมี 2 จำนวนหน่วยกิต 1.5 หน่วยกิต เวลา 60 ชั่วโมง ประกอบด้วยหน่วยการเรียนรู้ 2 หน่วยการเรียนรู้ ได้แก่ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 กรด-เบส และหน่วยการเรียนรู้ที่ 2 ไฟฟ้าเคมี โดยผู้วิจัยจะใช้นโยบายในหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 กรด-เบส เรื่อง ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือและความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ การไทเทรตกรด-เบสและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ คำนวณความเข้มข้นของกรดหรือเบสจากการไทเทรต สมบัติ องค์ประกอบ และสารละลายบัฟเฟอร์ในการทำวิจัย รวมทั้งหมดจำนวน 8 แผน 12 ชั่วโมง

### การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

#### 1. ความหมายของแบบจำลอง

Craik (1944) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่าเป็นสิ่งเปรียบเสมือนเชิงโครงสร้าง พฤติกรรม หรือหน้าที่ต่อปรากฏการณ์ในโลกจริง

Ingham and Gilbert (1991) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่าเป็นการนำเสนอปรากฏการณ์ในรูปแบบที่ง่ายขึ้น ซึ่งมุ่งเน้นไปที่แง่มุมเฉพาะของปรากฏการณ์นั้น ๆ เพื่อช่วยให้เกิดการสอบถามทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Gilbert and Boulter (2000) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่าเป็นการนำเสนอความคิด วัตถุ ปรากฏการณ์ กระบวนการ หรือ ระบบ

Örnek (2008) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่าเป็นตัวแทนของวัตถุ เหตุการณ์ หรือแนวคิดที่เชื่อมโยงระหว่างเป้าหมาย (target) กับแหล่งข้อมูลที่คุ้นเคย (source)

Schwarz et al. (2009) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่าเป็นตัวแทนความคิดที่ใช้สรุปหรือลดความซับซ้อนของระบบที่ศึกษา โดยจะการพิจารณาเพียงลักษณะเด่นของระบบนั้น ๆ เพื่อใช้ในการอธิบายและทำนายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์

Wu et al. (2010) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่าเป็นตัวแทนความคิดที่ใช้ลดความซับซ้อนของระบบที่ศึกษา มีความเฉพาะต่อองค์ประกอบของระบบ และสามารถอธิบายความเข้าใจต่อโครงสร้างหรือกระบวนการที่ปรากฏอยู่ในระบบได้

Amador-Rodríguez et al. (2023) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่าเป็นตัวแทนความคิดที่ใช้อธิบายและทำนายเกี่ยวกับพฤติกรรมของระบบหรือปรากฏการณ์ที่ศึกษา โดยการแทนด้วยตัวแทนความคิดแบบต่าง ๆ เช่น สมการทางคณิตศาสตร์ การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ แผนภาพ หรือแบบจำลองเชิงกายภาพ เป็นต้น

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า แบบจำลอง หมายถึง สิ่งที่ใช้สำหรับอธิบายหรือทำนายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ โดยแบบจำลองจะช่วยลดความซับซ้อนของปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายและทำความเข้าใจ

## 2. ความหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

Johnson-Laird (1986) ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ต้องสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา เพื่อให้เกิดความเข้าใจ

Buckley (2012) ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่จะสร้างและพัฒนาตัวแทนความคิดอย่างต่อเนื่องด้วยตัวของนักเรียนเอง โดยนักเรียนจะได้เรียบเรียงข้อมูลผ่านตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ

ชาตรี ฝ่ายคำตา และ ฤทธิ์พัส สุกัทรชัยวงศ์ (2557) ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ครูผู้สอนมุ่งเน้นให้นักเรียนได้ฝึกสร้างหรือปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกปฏิบัติหรือคิดอย่างนักวิทยาศาสตร์ โดยครูพยายามกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดหาแบบจำลองมาอธิบายสิ่งต่าง ๆ แต่ถ้าแบบจำลองของนักเรียนไม่สามารถอธิบายได้ นักเรียนจะต้องหาหรือสร้างแบบจำลองใหม่เพื่อมาอธิบาย

ฤทธิ์พัส สุกัทรชัยวงศ์ และคณะ (2558) ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่สามารถ พัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน และช่วยทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากการสร้างแบบจำลอง

กนกภรณ์ ทรวดทรง และ สิริรินภา กิจเกื้อกุล (2564) ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่าเป็นกระบวนการที่นักเรียนใช้แบบจำลองเพื่อทำความเข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยผ่านการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองของปรากฏการณ์นั้น ๆ อย่างต่อเนื่อง

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ฝึกสร้างตัวแทนความคิดใหม่และปรับปรุงตัวแทนความคิดเดิมที่ไม่ถูกต้องในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ผ่านการนำเสนอตัวแทนความคิด

### 3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

Johnson-Laird (1980) ได้เสนอทฤษฎีการสร้างตัวแทนความคิด (mental modeling theory) ที่อธิบายว่ามนุษย์สร้างแบบจำลองทางจิตใจหรือภาพตัวแทนในสมองของตนเองเพื่อทำความเข้าใจและจัดการกับโลกที่อยู่รอบตัว แบบจำลองทางความคิดเหล่านี้เป็นการแทนภาพของสถานการณ์จริงหรือจินตนาการ โดยจะช่วยให้บุคคลสามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ของการกระทำต่าง ๆ และช่วยในการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล ในบริบทของการเรียนรู้และการแก้ปัญหา ทฤษฎีนี้เสนอว่าเมื่อเราต้องเผชิญกับสถานการณ์ใหม่ ๆ หรือข้อมูลใหม่ เราจะสร้างแบบจำลองทางความคิดขึ้นมาเพื่อจัดการกับสิ่งเหล่านั้น และเมื่อเราได้รับข้อมูลหรือประสบการณ์เพิ่มเติม เราจะปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนแบบจำลองนั้นให้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น (Clement & Rea-Ramirez, 2008)

Posner et al. (1982) ได้เสนอทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงแนวคิดแบบดั้งเดิม (classical conceptual change theory) ที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงหรือแทนที่แนวคิดเดิมที่มีอยู่ด้วยแนวคิดใหม่ ซึ่งอาจเป็นความคิด ความเชื่อ หรือแนวทางในการคิด โดยทฤษฎีนี้มีรากฐานมาจากทฤษฎีการคิดของนักเรียนแต่ละบุคคลของเพียเจต์ (Piaget-individual learning) และจากประวัติการทำงานด้านวิทยาศาสตร์ของ Kuhn รวมไปถึงการศึกษาเกี่ยวกับความคิดหรือความรู้เดิมของนักเรียน (student preconceptions) (Clement & Rea-Ramirez, 2008)

Novak (1993) ได้เสนอทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตัวเอง (constructivism) ที่เชื่อว่า "ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้และเรียนรู้ได้จากประสบการณ์ของตนเอง" การสอนตามทฤษฎีนี้มุ่งเน้นให้นักเรียนพัฒนาความรู้ด้วยตนเอง โดยมีครูเป็นผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำ ทำให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกันทั้งสองฝ่าย และสร้างความสัมพันธ์ที่ดีกว่าระหว่างนักเรียนกับครูเมื่อเทียบกับการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม

โกเมศ นาแจ้ง และ วัชรภรณ์ แก้วดี (2554) ได้เสนอแนวคิดสำคัญที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่า เมื่อบุคคลรับรู้ปรากฏการณ์ บุคคลจะสร้างความคิดขึ้นมาภายในตนที่เรียกว่าแบบจำลองทางความคิด จากนั้นบุคคลจะแสดงแบบจำลองออกมาเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นตัวแทนความคิด ความเข้าใจของบุคคลที่อยู่บนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์

ออกมาเป็นแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่แสดงลักษณะทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสะท้อนโครงสร้างทางปัญญาของบุคคล โดยสามารถสรุปออกได้เป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1) ความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดจากปรากฏการณ์ที่ได้ศึกษา หลังจากได้แก้ปัญหา ลงข้อสรุป หรือให้เหตุผลด้วยแบบจำลอง

2) บุคคลจะสร้างแบบจำลองจากความรู้เดิมและสารสนเทศใหม่ที่ได้รับระหว่างการสร้างแบบจำลอง เพื่อสร้าง เป็นแบบจำลองทางความคิดของปรากฏการณ์

3) เมื่อบุคคลประเมินแบบจำลองแล้วพบว่ามิชอบพอ อาจปรับปรุงแก้ไข หรือสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ แต่ถ้าแบบจำลองมีความถูกต้องจะคงแบบจำลองไว้

พรเทพ จันทราอุกฤษฏ์ (2556) ได้เสนอแนวคิดสำคัญที่อธิบายเกี่ยวกับหลักการของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีดังนี้

1) แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนได้ง่ายขึ้น

2) การสร้างแบบจำลองช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ค้นพบข้อความรู้และเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

จากการศึกษา ผู้วิจัยได้สรุปแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่าเป็นแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเรียนของผู้เรียนที่จะเกิดขึ้นผ่านการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองทางความคิด กระบวนการเปลี่ยนแปลงหรือแทนที่แนวคิดเดิมที่มีอยู่ด้วยแนวคิดใหม่ และการสร้างความรู้ด้วยตัวเองจากประสบการณ์ของตนเอง

#### 4. ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

Clement (1989) ได้เสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างแบบจำลอง (model generation) ครูผู้สอนให้นักเรียนสร้างแบบจำลองจากข้อมูลที่ได้จากการสังเกต เพื่อใช้สำหรับการอธิบายแนวคิดหรือทฤษฎีใหม่ ซึ่งครูผู้สอนอาจใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัย เช่น นักเรียนมีแนวคิดอย่างไรบ้างเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดังกล่าวอย่างไรบ้าง หรือนักเรียนคิดว่าจะเกิดอะไรขึ้น ถ้าหากเกิดปรากฏการณ์ดังต่อไปนี้ หรือนักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ว่าอย่างไรบ้าง เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินแบบจำลอง (model evaluation) นักเรียนจะได้รับข้อมูลใหม่ซึ่งอาจเกิดจากการอภิปราย สังเกต หรือทดลองที่อาจส่งเสริมหรือขัดแย้งกับแนวคิดหรือ

แบบจำลองที่นักเรียนได้สร้างขึ้นในทีแรก เพื่อให้ให้นักเรียนได้กลับมาประเมินแบบจำลองของตนเอง ถ้าหากข้อมูลที่ได้ไม่สอดคล้องหรือขัดแย้งกับแบบจำลองแรกเริ่ม นักเรียนก็จะต้องนำแบบจำลองนั้นกลับมาแก้ไขปรับปรุงในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงแบบจำลอง (model modification) นักเรียนจะต้องปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเองในถูกต้องสมบูรณ์ โดยมีครูผู้สอนเป็นผู้ให้ feedback หรือคอยให้คำแนะนำในการแก้ไข

Buckley et al. (2004) ได้เสนอขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างแบบจำลอง (model formation) ผู้เรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา โดยการรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง การทำงาน/พฤติกรรม และกลไกของปรากฏการณ์นั้น

ขั้นตอนที่ 2 การนำไปใช้และประเมิน (use and evaluation of model) ผู้เรียนประเมินความมีประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการนำไปใช้อธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา

ขั้นตอนที่ 3 การปฏิเสธแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง (model revision) ผู้เรียนจะต้องทำการปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้าหากผู้เรียนพบว่าแบบจำลองที่สร้างไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม ผู้เรียนจะต้องสร้างแบบจำลองใหม่

ขั้นตอนที่ 4 การขยายแบบจำลอง (model elaboration) ผู้เรียนนำแบบจำลองไปสร้างเพิ่มเติมโดยการเพิ่มข้อมูลใหม่หรือนำไปรวมกับแบบจำลองอื่น ๆ เพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น

Lehrer and Schauble (2006) และ Metcalf et al. (2000) ได้เสนอขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ผู้เรียนทำการสังเกตและ/หรือรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 ให้ผู้เรียนสร้างแบบจำลองของปรากฏการณ์ตามข้อมูลหรือประสบการณ์ที่รวบรวมได้

ขั้นตอนที่ 3 ให้ผู้เรียนตรวจสอบแบบจำลองที่สร้างผ่านการทดสอบการใช้งานและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของแต่ละการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 4 ให้ผู้เรียนทำการปรับปรุงแบบจำลองและทบทวนใหม่อีกครั้ง

Windschitl et al. (2008) ได้เสนอขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน โดยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกระตุ้นความสนใจด้วยคำถามหรือปัญหา (engaging with a question or problem) ครูผู้สอนกระตุ้นความสนใจนักเรียนโดยการใช้คำถามหรือการเสนอปัญหา เช่น ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาแนวคิด (developing hypotheses) ให้นักเรียนเสนอและพัฒนาแนวคิด/สมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือความสัมพันธ์อื่น ๆ ของปรากฏการณ์

ขั้นตอนที่ 3 การสังเกตปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ (making systematic observations) ให้นักเรียนทำการสังเกตปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบสมมติฐาน

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างแบบจำลอง (creating models) ให้นักเรียนสร้างแบบจำลองของปรากฏการณ์ที่สามารถอธิบายการสังเกตได้

ขั้นตอนที่ 5 การประเมินแบบจำลอง (evaluating model) ให้นักเรียนประเมินแบบจำลองนี้ตามความสามารถในการอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา

ขั้นตอนที่ 6 การปรับปรุงแบบจำลอง (revising model) ให้นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองและการนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ ๆ

ชาตรี ฝ่ายคำตา และ ภารทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์ (2557) ได้เสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างแบบจำลอง (generating model) ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงแบบจำลองความคิดของตนเองออกมาให้มากที่สุด โดยใช้คำถามหรือกิจกรรมที่เร้าความสนใจผู้เรียน เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสังเกตและสร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่ออธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติ สำหรับครูแล้วขั้นตอนนี้จะเป็นโอกาสที่ดีที่จะเข้าใจว่านักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดอย่างไร เหมือนหรือแตกต่างกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ อย่างไรก็ตามเมื่อครูได้เห็นแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนแล้ว ครูจะสามารถเพิ่มและส่งเสริมแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนให้เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ตามเป้าหมายที่วางไว้ได้

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินแบบจำลอง (evaluating model) ครูผู้สอนกระตุ้นให้นักเรียนได้ประเมินความสอดคล้องของแบบจำลองที่ผู้เรียนสร้างขึ้นกับหลักฐานที่เป็นข้อเท็จจริง ประจักษ์ ในขั้นนี้ควรฝึกให้นักเรียนได้ออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง หรือทำการศึกษา ค้นคว้าหาข้อมูล เพื่อรวบรวมข้อเท็จจริง ซึ่งผู้เรียนอาจจะศึกษาข้อมูลปรากฏการณ์ผ่านแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อประเมินแบบจำลองของตนในขั้นที่ 1 (การสร้างแบบจำลอง) ตัวบ่งชี้ที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองของนักเรียนเป็นแบบจำลองที่ผ่านการประเมินแล้วก็คือ มีการเพิ่มตัวแปรใหม่ในแบบจำลอง หรือการเพิ่มตัวปรับปรุงในความสัมพันธ์ในแบบจำลอง รวมถึงมีการใช้ความสัมพันธ์ในแบบจำลองเพื่ออธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นใหม่ และอาจมีการเปลี่ยนแปลงภาพวาดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง (modifying model) ผู้เรียนจะมีการดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองเพิ่มเติมจนกระทั่งแบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วสามารถอธิบายข้อมูลที่ได้อย่างถูกต้อง โดยเมื่อผู้เรียนได้ทำกิจกรรมแล้วค้นพบปรากฏการณ์ ข้อเท็จจริง หลักการ หรือกฎใหม่ ๆ ที่ไม่อาจอธิบายได้ด้วยแบบจำลองที่ตั้งไว้ ก็จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองนั้น

ขั้นตอนที่ 4 การขยายแบบจำลอง (elaborating model) ผู้เรียนจะใช้แบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วมาอธิบายและทำนายปรากฏการณ์อื่น ๆ หรือสถานการณ์อื่น

ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์ และคณะ (2558) ได้เสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนเพื่อสร้างแบบจำลองทางความคิด ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่นักเรียนสนใจศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 ให้นักเรียนแสดงออกแบบจำลองในลักษณะของคำพูด รูปภาพ และสัญลักษณ์

ขั้นตอนที่ 3 ให้นักเรียนทดสอบและประเมินแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการนำไปทดลองใช้ และประเมินดูว่าแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นมานั้นสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้หรือไม่

ขั้นตอนที่ 4 ถ้าแบบจำลองถูกปฏิเสธนักเรียนจะต้องกลับไปปรับปรุงหรือแก้ไขแบบจำลอง พร้อมทั้งนำแบบจำลองไปสร้างเพิ่มเติมหรือไปรวมกับแบบจำลองอื่น เพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น

จากการศึกษา ผู้วิจัยเลือกใช้ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานตามแนวคิดของ Buckley et al. (2004) เนื่องจากขั้นตอนไม่ซับซ้อนและมีขั้นที่ให้ผู้เรียนได้ขยายแบบจำลองเพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะได้สร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาตามความรู้และความเข้าใจเดิมของตนเอง 2) ขั้นตอนการนำไปใช้และประเมินแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะต้องประเมินความใช้ได้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของแบบจำลองที่ตนสร้างผ่านการดำเนินการทดลองหรือการค้นคว้าข้อมูล 3) ขั้นตอนการปฏิเสธแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะต้องแก้ไขหรือปรับปรุงแบบจำลองของตนให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และ 4) ขั้นตอนการขยายแบบจำลอง หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนจะต้องนำแบบจำลองไปสร้างเพิ่มเติม เช่น เพิ่มข้อมูลใหม่หรือนำไปรวมกับแบบจำลองอื่น เพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น

#### 5. บทบาทของครูและนักเรียน

Lehrer and Schauble (2006a) และ Windschitl et al. (2008) ได้ระบุว่า บทบาทของนักเรียนในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งบทบาทเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนพัฒนาทักษะในการคิดอย่างเป็นระบบ การแก้ปัญหา และการใช้แบบจำลองเพื่อทำความเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยบทบาทของนักเรียนมีรายละเอียดดังนี้

1. การสังเกตและรวบรวมข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องสังเกตปรากฏการณ์หรือปัญหาที่ได้รับ และรวบรวมข้อมูลหรือประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นั้น ๆ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างแบบจำลอง
2. การพัฒนาสมมติฐาน โดยนักเรียนจะต้องตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงสาเหตุหรือความสัมพันธ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา
3. การสร้างแบบจำลอง โดยนักเรียนจะต้องใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้เพื่อสร้างแบบจำลองที่อธิบายปรากฏการณ์นั้น ๆ แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเป็นทั้งแบบจำลองทางกายภาพหรือแบบจำลองทางความคิด
4. การทดสอบและประเมินแบบจำลอง โดยนักเรียนจะต้องทำการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาหรือทำการสังเกตเพิ่มเติม เพื่อดูว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำนายหรืออธิบายปรากฏการณ์ได้ดีเพียงใด

5. การปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลอง โดยนักเรียนจะต้องพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบและปรับปรุงแบบจำลองของตนเองให้ดีขึ้น โดยจะต้องเพิ่มข้อมูลหรือแก้ไขส่วนที่ไม่สมบูรณ์ของแบบจำลอง

6. การนำแบบจำลองไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ โดยหลังจากที่นักเรียนได้ปรับปรุงแบบจำลอง นักเรียนจะต้องนำแบบจำลองไปใช้ในการแก้ปัญหาหรือทำนายปรากฏการณ์ในสถานการณ์อื่น ๆ เพื่อทดสอบความถูกต้องและความสามารถในการปรับใช้ของแบบจำลอง

7. การอภิปรายและการแบ่งปันความรู้ โดยนักเรียนจะต้องแบ่งปันแบบจำลองและผลการศึกษาให้กับเพื่อนร่วมชั้น รวมถึงอภิปรายเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและปรับปรุงความเข้าใจร่วมกัน

ชาตรี ฝ่ายคำตา และ ฤทธิ์ สุกัทรชัยวงศ์ (2557) ได้ระบุว่า บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานนั้น ครูต้องทำหน้าที่เป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองออกมา โดยสร้างสถานการณ์หรือการใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนคิดและอธิบายเหตุผล รวมถึงการแดงออกแบบจำลองที่หลากหลาย ทั้งภาพวาด คำพูด ลักษณะท่าทาง เป็นต้น เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของตนเองให้สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ครูเป็นผู้เริ่มต้นบทเรียนด้วยแนวคิดที่ง่ายและสร้างประเด็นปัญหาที่กระตุ้นความสงสัยให้นักเรียนเกิดความสนใจ เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดและสะท้อนความคิดของตนเองออกมาและให้นักเรียนสื่อสารความเข้าใจของตนเองออกมาด้วยการวาดภาพหรือการพูด

2. ครูทำความเข้าใจแบบจำลองทางความคิดเดิมของนักเรียนโดยใช้การสัมภาษณ์สั้น ๆ ใช้คำถาม หรือการสาธิตเหตุการณ์ที่นักเรียนคุ้นเคย แล้วอภิปรายเกี่ยวกับเหตุการณ์ดังกล่าว

3. ครูส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนพัฒนาแบบจำลองแนวคิดโดยการถามนักเรียนเพื่อหาความสัมพันธ์ของแนวคิด หรือการวาดภาพเพื่อแสดงการเปรียบเทียบหรืออุปมาอุปมัย

4. ครูส่งเสริมให้นักเรียนปรับแบบจำลองแนวคิดให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น

5. ในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครูควรแสดงความคิดเห็นและสาธิตการเรียนรู้ การแก้ไขปัญหาให้นักเรียนได้เห็นและสนับสนุนให้นักเรียนแสดงปัญหาในหลาย ๆ รูปแบบ เช่น การเขียน การวาดภาพ การอธิบายหรือแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

6. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ถ่ายทอดแนวคิดให้เพื่อนร่วมชั้นได้เข้าใจและมีการเรียนรู้แบบร่วมมือ รวมถึงใช้วิธีการอ่าน เขียน อภิปราย และโต้เถียงเพื่อส่งเสริมความสนใจ เจตคติ และความเชื่อของนักเรียน

7. ครูจะต้องถามนักเรียนด้วยคำถามที่ว่า ใคร ทำอะไร เมื่อไหร่ ที่ไหน ทำไม และอย่างไร เพื่อให้ให้นักเรียนอธิบายคำตอบทั้งที่ถูกและผิด พร้อมทั้งถามต่อไปว่าทำไมนักเรียนจึงคิดเช่นนั้น ให้นักเรียนอภิปรายแบบจำลองแนวคิดรวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและคำตอบด้วยภาษาของตนเอง

8. ครูกระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ด้วยตัวของนักเรียนเอง สร้างสมมติฐาน ค้นหาคำตอบ และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตจริง ให้นักเรียนเชื่อมโยงบทเรียนกับชีวิตประจำวัน

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานว่า ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ครูจะทำหน้าที่เป็นผู้แนะนำ สนับสนุน และให้ข้อเสนอแนะในการสร้างและปรับปรุงแบบจำลอง ส่วนนักเรียนจะเป็นผู้สร้างแบบจำลอง ประเมินและปรับปรุงแบบจำลองของตนเอง เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ โดยครูและนักเรียนจะต้องร่วมมือกันในการพัฒนาความเข้าใจต่อแนวคิดต่าง ๆ ผ่านการใช้แบบจำลอง

#### การใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

##### 1. ความหมายของตัวแทนความคิด

Johnson-Laird (1983) ได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิดว่าเป็นสิ่งที่ถูกสร้างขึ้นภายในจิตใจเพื่อแทนการให้เหตุผลของแต่ละบุคคล

Coll et al. (2005) ได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิดว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของแบบจำลองที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการบรรยายและอธิบายปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถสัมผัสได้โดยตรง

Jones et al. (2011) ได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิดว่าเป็นการแทนภาพภายในความคิดที่สะท้อนถึงความเป็นจริงภายนอกที่แต่ละบุคคลใช้ในการปฏิสัมพันธ์หรือตอบสนองสิ่งที่อยู่รอบตัว

Al-Diban (2012) ได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิดว่าเป็นการแทนภาพในความคิดของมนุษย์ซึ่งสะท้อนถึงแง่มุมต่าง ๆ ของประสบการณ์ชีวิตของแต่ละบุคคล

Nersessian (2013) ได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิดว่าเป็นการนำเสนอที่เป็นภาพลักษณ์ ซึ่งเป็นการเปรียบเสมือนเชิงโครงสร้าง พฤติกรรม หรือหน้าที่ของสถานการณ์ เหตุการณ์ วัตถุ หรือกระบวนการในโลกแห่งความเป็นจริงหรือจินตนาการ

Tolba and Al-Osaimi (2023) ได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิดว่าเป็นตัวแทนของการเข้าใจของแต่ละบุคคลที่มีต่อปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ โดยแต่ละบุคคลจะทำการสร้าง แบ่งปัน ปรับเปลี่ยน พัฒนา และใช้แบบจำลองเหล่านี้ในการทำความเข้าใจตนเองและสิ่งรอบตัว

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า ตัวแทนความคิด หมายถึง รูปแบบหรือแบบจำลองที่สะท้อนความเข้าใจ คำอธิบาย การให้เหตุผลต่อสิ่งต่าง ๆ รอบตัวที่เกิดขึ้นภายในความคิดของแต่ละบุคคล

## 2. ความหมายของการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

Gkitzia et al. (2011) ได้ให้ความหมายของการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายว่าเป็นการใช้ตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไปพร้อมกัน เช่น ภาพที่แสดงปรากฏการณ์ทางเคมีทั้งในระดับจุลภาค (โดยการใช้ภาพโมเลกุล) และระดับมหภาค (โดยการใช้ภาพน้ำแข็ง น้ำ และไอน้ำ) ในการอธิบายพร้อมกัน เป็นต้น

Wiyarsi et al. (2018) ได้ให้ความหมายของการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายว่าเป็นการใช้ตัวแทนความคิดเพื่อแทนความเข้าใจของปรากฏการณ์ทางเคมี 3 ระดับ (three levels of representation) ตามแนวคิดของ Johnstone (1993) ซึ่งจะประกอบด้วย 1) ระดับมหภาค (macroscopic level) 2) ระดับจุลภาค (microscopic level) และ 3) ระดับสัญลักษณ์ (symbolic level)

Indriyanti et al. (2020) ได้ให้ความหมายของการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายว่าเป็นการใช้ตัวแทนความคิดเพื่อแทนความเข้าใจของปรากฏการณ์ทางเคมี 4 ระดับ (tetrahedral representation) ตามแนวคิดของ Mahaffy (2006) ซึ่งจะประกอบด้วย 1) ระดับมหภาค 2) ระดับจุลภาค 3) ระดับสัญลักษณ์ และ 4) ระดับองค์ประกอบของมนุษย์ (human element level) เช่น กรณีตัวอย่าง การจัดการเรียนรู้แบบ active learning และการทำโครงการ เพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาในรายวิชาเคมีเข้ากับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

Priyasmika (2021) ได้ให้ความหมายของการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายว่าเป็นเป็นการใช้สื่อหรือตัวแทนความคิดภายนอกที่หลากหลายที่ผนวกเข้ากับตัวแทนความคิดทางเคมีของปรากฏการณ์ทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับมหภาค 2) ระดับจุลภาค และ 3) ระดับสัญลักษณ์

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย หมายถึง การอธิบายปรากฏการณ์หรือแนวคิดทางเคมีด้วยตัวแทนความคิดที่มากกว่า 1 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับมหภาค หมายถึง ปรากฏการณ์ทางเคมีที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือจับต้องได้ 2) ระดับจุลภาค หมายถึง ปรากฏการณ์ทางเคมีที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า และ 3) ระดับสัญลักษณ์ (symbolic level) หมายถึง สัญลักษณ์หรือสมการทางเคมี

### 3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

Paivio (1986) ได้เสนอทฤษฎีรหัสคู่ (Paivio's Dual Coding Theory) ที่อธิบายเกี่ยวกับการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลภาพและคำพูดไว้ในระบบความจำของคน โดยทฤษฎีนี้ได้อธิบายว่า ข้อมูลในรูปของวจนภาษา (verbal form) และอวจนภาษา (non-verbal form) มีช่องทางการรับข้อมูลที่แตกต่างกันและถูกกลั่นกรองด้วยระบบประมวลผลคนละส่วน โดยวจนภาษา หมายถึง การสื่อสารโดยใช้ถ้อยคำ เช่น การพูดหรือการเขียน เป็นต้น ส่วนอวจนภาษา หมายถึง การสื่อสารโดยไม่ใช้ถ้อยคำ เช่น การสัมผัส การมองเห็น การได้ยินหรือการได้กลิ่น เป็นต้น โดยข้อมูลที่อยู่ในรูปของวจนภาษาจะถูกแยกไปเก็บที่โลโกเจน (logogens) ส่วนข้อมูลที่อยู่ในรูปของอวจนภาษาจะถูกแยกไปเก็บอิมเมจ (imagens) โดยทั้งคู่สามารถที่จะเชื่อมโยงหากันได้ เพื่อส่งเสริมให้บุคคลนั้นเกิดความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น

Johnstone (1993) ได้เสนอแนวคิดที่อธิบายเกี่ยวกับระดับของความคิดในวิชาเคมีของ Johnstone (Johnstone's levels of thinking) ว่า ปรากฏการณ์ทางเคมีมีอยู่ 3 ระดับ ประกอบด้วย 1) ระดับมหภาค (macroscopic level) คือ ปรากฏการณ์ในระดับที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเปลี่ยนสีของสารละลาย เป็นต้น 2) ระดับจุลภาค (sub-microscopic level) คือ ปรากฏการณ์ในระดับที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หรือพฤติกรรมของสารในระดับโมเลกุล เป็นต้น และ 3) ระดับสัญลักษณ์ (symbolic level) คือ การแทนปรากฏการณ์ในรูปของสัญลักษณ์ต่าง ๆ เช่น สัญลักษณ์ทางเคมี สมการเคมี ตัวเลข กราฟ หรือแผนภาพ เป็นต้น

Gilbert (2004) ได้เสนอแนวคิดที่อธิบายเกี่ยวกับลักษณะของตัวแทนความคิดภายนอกของ Gilbert (Gilbert's modes of external representations) ว่า การแสดงออกทางความคิดสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท โดยจำแนกตามลักษณะของการแสดงออก ได้ดังนี้ 1) รูปธรรม (concrete mode) หมายถึง วัตถุหรืออุปกรณ์ที่เป็นกายภาพ เช่น แบบจำลองโมเลกุลที่สามารถจับต้องได้ 2) คำพูด (verbal mode) หมายถึง การอธิบาย/บรรยายสิ่งต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเหล่านั้นผ่านตัวแทนความคิด เช่น การอธิบายความหมายของลูกบอลและแท่งของแบบจำลองโมเลกุลแบบลูกบอลและแท่ง (ball and stick) 3) สัญลักษณ์ (symbolic mode) เช่น สัญลักษณ์และสูตรทางเคมี สมการเคมี และเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ 4) ภาพ (visual mode) เช่น กราฟ แผนภาพ ภาพเคลื่อนไหว ตัวแทนความคิดในรูปแบบสองมิติ (เช่น แผนภาพ) และแบบจำลองเสมือนจริงที่สร้างโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) และ 5) ท่าทาง (gestural mode) หมายถึง การใช้ร่างกายหรือส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น การแสดงการเคลื่อนที่ของไอออนในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสโดยการใช้ผู้เรียนเคลื่อนไหวในทิศทางตรงกันข้ามกัน

Ainsworth (2006) ได้เสนอแนวคิดที่อธิบายเกี่ยวกับหน้าที่ของตัวแทนความคิดที่หลากหลายของ Ainsworth (Ainsworth's functional taxonomy of multiple representations) ว่า การใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายสามารถส่งเสริมกระบวนการทางปัญญา (cognitive processes) ในการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้มีความเข้าใจที่ลึกซึ้งในรายวิชานั้น ๆ มากยิ่งขึ้น โดยบทบาทของตัวแทนความคิดที่หลากหลายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท โดยจำแนกตามบทบาทการทำงาน ได้ดังนี้ 1) การส่งเสริม (complementary roles) เนื่องจากการใช้ตัวแทนความคิดที่มีความแตกต่างกันจะช่วยทำให้นักเรียนได้รับข้อมูลที่ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น 2) บังคับให้เกิดการตีความ (constrain interpretation) เนื่องจากนักเรียนจะสามารถตีความตัวแทนความคิดที่มีความคุ้นเคยน้อยกว่าได้จากตัวแทนความคิดที่มีความคุ้นเคยมากกว่า และ 3) การสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้ง (construct deeper understanding) เนื่องจากการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดจะช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นแนวคิดที่ซับซ้อนรูปแบบใหม่หรือสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปเกี่ยวกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายว่าเป็นแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรับรู้ การเชื่อมโยงความคิดและการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ในมิติต่าง ๆ ผ่านตัวแทนความคิดหรือข้อมูลที่หลากหลาย โดยตัวแทนความทางเคมีจะมีอยู่หลายแนวคิด เช่น ตัวแทนความคิดที่แบ่งตามระดับของปรากฏการณ์

ทางเคมีของ Johnstone (1993) หรือตัวแทนความคิดที่แบ่งตามลักษณะของตัวแทนความคิดภายนอกของ Gilbert (2004) หรือ ตัวแทนความคิดที่แบ่งตามหน้าที่/การใช้งานของ Ainsworth (2006)

#### 4. การนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การจัดการเรียนการสอนในรายวิชาเคมีมีการใช้รูปแบบหรือกลยุทธ์การสอนต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความกระตือรือร้น ความสนใจในการเรียนรู้ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน นอกจากการใช้รูปแบบหรือกลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ต่าง ๆ แล้ว การนำตัวแทนที่หลากหลายมาใช้ในการเรียนการสอนวิชาเคมีเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงปรากฏการณ์ทางเคมีในระดับต่าง ๆ ได้ ซึ่งช่วยส่งเสริมความเข้าใจในเรื่องของแนวคิดและทฤษฎีทางเคมี

Supasorn (2015) ได้จัดการเรียนการสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย โดยมีขั้นตอนการสอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 ตั้งคำถามที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อที่สอน (เคมีไฟฟ้า) ขั้นที่ 2 ให้นักเรียนสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินการทดลอง ขั้นที่ 3 ให้ผู้เรียนสร้างคำอธิบายโดยอิงจากข้อมูลและความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม ขั้นที่ 4 ให้ผู้เรียนขยายคำอธิบายผ่านการเชื่อมโยงผลการทดลองในระดับมหภาคและระดับสัญลักษณ์เข้ากับตัวแทนความคิดในระดับจุลภาค ขั้นที่ 5 ให้นักเรียนประเมินความเข้าใจผ่านการอภิปรายกลุ่มและในชั้นเรียน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5E ผ่านการทดลองอย่างง่ายสามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจเชิงแนวคิดและแบบจำลองทางจิตของผู้เรียนได้

Tensiana Tima and Sutrisno (2018) ได้ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบการแก้ปัญหาพร้อมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การทำความเข้าใจกับปัญหา (understanding the problem) ในขั้นตอนนี้ นักเรียนจะได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับสมดุลเคมีที่มีองค์ประกอบของตัวแทนความคิดทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ ขั้นตอนที่ 2 การวางแผน (devising a plan) ในขั้นตอนนี้ นักเรียนจะได้ระบุสมดุลเคมีโดยใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายและค้นหาวิธีแก้ปัญหาจากแหล่งข้อมูลในหนังสือ ขั้นตอนที่ 3 การดำเนินการตามแผน (carrying out the plan) ในขั้นตอนนี้ นักเรียนจะตอบคำถามเกี่ยวกับสมดุลเคมีทั้งหมดในใบงานที่มีองค์ประกอบของตัวแทนความคิดทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ และขั้นตอนที่ 4 การทบทวน (looking back) ในขั้นตอนนี้ นักเรียนจะได้ทบทวนคำตอบและ

เปรียบเทียบกับแหล่งข้อมูลในหนังสือ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเรียนรู้วิชาเคมีโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบการแก้ปัญหาพร้อมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดได้มากขึ้น ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ความเข้าใจและความเชื่อมั่นในตนเองสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Domin & Bodner (2012) ที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวแทนที่หลากหลายในการแก้ปัญหาสามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจของผู้เรียน

Baptista et al. (2019) และ Derman and Ebenezer (2020) ได้จัดการเรียนการสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย โดยเริ่มจากการให้นักเรียนแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ จากนั้นให้นักเรียนสังเกตปรากฏการณ์หรือให้ทำการทดลอง จากนั้นให้นักเรียนเชื่อมโยงสิ่งที่ได้จากการสังเกตกับตัวแทนความคิดระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ จากนั้นให้นักเรียนนำเสนอ/อธิบายปรากฏการณ์หรือการทดลองที่ได้จากการสังเกตในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจเชิงแนวคิดของนักเรียนได้และสามารถพัฒนาโครงสร้างความรู้ความเข้าใจของนักเรียนให้ดียิ่งขึ้นได้อีกด้วย

Priyasmika (2021) ได้จัดการเรียนการสอนโดยใช้การสืบเสาะหาความรู้แบบมีการนำทาง (Guided Inquiry) ร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายในขั้นตอนการสำรวจและการสร้างแนวคิด ในขั้นตอนนี้ นักเรียนจะได้สืบเสาะและทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแทนที่ถูกนำเสนอ ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในแนวคิดนั้น ๆ มากขึ้น ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายในการเรียนรู้วิชาเคมี โดยการสืบเสาะหาความรู้แบบมีการนำทางสามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจในแนวคิดและผลการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Pikoli (2020) ที่พบว่า การสืบเสาะหาความรู้แบบมีการนำทางร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายจะสามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจในแนวคิดของผู้เรียนได้ ทำให้ความเข้าใจผิด (misconceptions) ที่เกิดขึ้นในผู้เรียนลดลงได้

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปเกี่ยวกับการนำแนวคิดเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่หลากหลายไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนว่า เป็นแนวคิดที่มักถูกนำไปผนวกเข้ากับการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะในขั้นตอนการขยายความรู้ของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นตอน เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาในมิติหรือมุมมองที่หลากหลาย อีกทั้งยังช่วยให้ผู้เรียนได้เห็นถึงความเชื่อมโยงของตัวแทนความคิดรูปแบบต่าง ๆ โดยการให้ผู้เรียนฝึกการให้ความหมาย

ตัวแทนความคิดรูปแบบต่าง ๆ หรือฝึกการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดรูปแบบหนึ่งเป็นอีก รูปแบบหนึ่งที่แตกต่างกัน เป็นต้น

### การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ในการออกแบบการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีข้อควรคำนึง 4 ประเด็น ดังนี้ 1) นักเรียนจะต้องได้สร้าง ทดสอบ แก้ไข และใช้แบบจำลอง เพื่อสะท้อนความเข้าใจที่มีต่อปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา 2) นักเรียนจะต้องได้รับการส่งเสริมสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ได้แก่ ความสามารถในการเข้าใจ สร้าง และใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายได้อย่างยืดหยุ่น 3) นักเรียนจะต้องมีส่วนร่วมในกระบวนการอภิปราย (metacognitive processes) และ 4) นักเรียนจะต้องได้รับการส่งเสริมกระบวนการควบคุมและจัดการ (regulatory processes) เพื่อใช้ในการวางแผน ตรวจสอบ และปรับการเรียนรู้ของตนเอง ขณะที่ทำงานร่วมกับผู้อื่น (Magana et al., 2024) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานตามแนวคิดของ Buckley et al. (2004) โดยผนวกแนวคิดเกี่ยวกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย เพื่อพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการสอนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

ขั้นที่	กิจกรรม	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
1	การสร้างแบบจำลอง	ครูผู้สอนใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัย และนำเสนอสถานการณ์หรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียน เช่น จากวิดีโอทัศน์รูปภาพหรือการสาธิตการทดลอง จากนั้นเปิดโอกาสให้	นักเรียนสร้างแบบจำลองจากข้อมูลที่ได้จากการสังเกต โดยจะต้องสร้างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างจากตัวแทนความคิดที่สังเกต เช่น การวาดภาพพฤติกรรมของสารในระดับโมเลกุล (จุลภาค) จากการสังเกตปรากฏการณ์ในระดับมหภาค เพื่อใช้สำหรับการอธิบายแนวคิดใหม่

ขั้นที่	กิจกรรม	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
		นักเรียนได้สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายหรือนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการสังเกต	
2	การนำไปใช้และประเมินแบบจำลอง	ครูผู้สอนใช้สื่อประกอบการสอน เช่น คลิป วิดีโอ แอนิเมชันระดับโมเลกุล หรือ คลิปการทดลอง เพื่อให้ นักเรียนได้ทำการประเมิน	นักเรียนเขียนอธิบายแบบจำลองของตนเองเกี่ยวกับเหตุผลของการนำเสนอตัวแทนความคิดในลักษณะหรือรูปแบบนั้น ๆ จากนั้นนำแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น จากการชมคลิปแอนิเมชัน หรือจากการทำการทดลอง เป็นต้น เพื่อประเมินแบบจำลองของตนเอง โดยนักเรียนจะต้องพิจารณาและเขียนอธิบายเกี่ยวกับจุดเด่นและข้อจำกัดของแบบจำลองของตนเอง
3	การปฏิเสธแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง	ครูผู้สอนเป็นผู้สะท้อนผลหรือคอยให้คำแนะนำในการแก้ไข	นักเรียน จะ ต้อง ทำ การ พิจารณา ว่า แบบจำลองของตนเองสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้หรือไม่ อย่างไร และจะต้องปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนอย่างไร เพื่อให้แบบจำลองของตนเองในถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
4	การขยายแบบจำลอง	ครูผู้สอนเสนอสถานการณ์เทียบเคียงอื่นที่ใช้แนวคิดเดียวกันหรือให้นักเรียนนำแบบจำลองมาเพิ่มเติมข้อมูลอื่น ๆ เช่น การเขียนสมการเคมี โดย ครูผู้สอน จะ อภิปรายร่วมกับนักเรียน	นักเรียนจะต้องใช้แบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วมาอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ หรือเชื่อมโยงแบบจำลองกับตัวแทนความคิดระดับอื่น เช่น การเขียนสมการเคมี (ระดับสัญลักษณ์) เป็นต้น

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ฝึกสร้างตัวแทน

ความคิดใหม่และปรับปรุงตัวแทนความคิดเดิมที่ไม่ถูกต้องในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ผ่านการนำเสนอตัวแทนความคิดหลากหลายระดับ โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานตามแนวคิดของ Buckley et al. (2004) โดยมีการผนวกแนวคิดเกี่ยวกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายลงไปเป็นขั้นตอนที่ 4 การขยายแบบจำลอง เพื่อพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

### สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

#### 1. ความหมายของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

Kozma and Russell (2005) ได้ให้ความหมายของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดว่าเป็นความสามารถในการตีความ สร้าง และเปลี่ยนรูปแบบของตัวแทนความคิดแบบต่าง ๆ ได้

Sim and Daniel (2014) ได้ให้ความหมายของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดว่าเป็นความสามารถในการตีความและใช้ตัวแทนความคิด

Daniel et al. (2018) ได้ให้ความหมายของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดว่าเป็นวิธีการอธิบายโดยใช้การรับรู้ที่หลากหลาย เพื่อให้สามารถอธิบายหรือสื่อสารได้อย่างมีเหตุผลผ่านการสร้างมโนภาพภายนอก

Volkwyn et al. (2020) ได้ให้ความหมายของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดว่าเป็นความสามารถในการตีความและสร้างชุดของตัวแทนความคิดที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์จริง และสามารถเชื่อมโยงตัวแทนความคิดเหล่านี้เข้ากับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

Herunata et al. (2021) ได้ให้ความหมายของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดว่าเป็นทักษะในการประยุกต์ใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย เพื่อใช้ในการแสดงออก สื่อสาร หรือคิดเกี่ยวกับกระบวนการของปรากฏการณ์ทางเคมี

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด หมายถึงความสามารถหรือทักษะในการสร้างและการประยุกต์ใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย เพื่อสื่อสารหรือนำเสนอความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดที่มีต่อปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้อย่างครอบคลุมและเหมาะสม

## 2. องค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

Nitz and Tippett (2012) ได้เสนอว่าสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมีองค์ประกอบทั้งหมด 7 ด้าน ดังนี้

1. ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
2. ความสามารถในการสร้างและ/หรือเลือกตัวแทนความคิด และอธิบายความเหมาะสมของตัวแทนความคิดนั้น ๆ
3. ความสามารถในการใช้คำในการระบุ อธิบาย และวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวแทนความคิด
4. ความสามารถในการเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของตัวแทนความคิด และข้อมูลของเนื้อหาเหล่านั้น
5. ความสามารถในการเชื่อมโยงความคิดต่าง ๆ เข้าด้วยกันและอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแทนความคิดเหล่านั้น
6. ความสามารถในการตระหนักว่าตัวแทนความคิดสอดคล้องกับปรากฏการณ์จริง แต่มีความแตกต่างจากปรากฏการณ์นั้น
7. ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในบทสนทนา เพื่อสนับสนุนข้ออ้าง ลงข้อสรุป และทำการคาดการณ์

K. Halverson and P. Friedrichsen (2013) ได้เสนอว่าสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมีองค์ประกอบทั้งหมด 6 ด้าน ดังนี้

1. การรับรู้และการตีความหมายของตัวแทนความคิดเชิงสัญลักษณ์ได้อย่างถูกต้อง
2. การเปรียบเทียบตัวแทนความคิดหลายรูปแบบที่มีลักษณะคล้ายกันเพื่อหาตัวแทนที่เหมาะสมที่สุด
3. การสื่อสารความหมายของตัวแทนความคิดได้อย่างแม่นยำ
4. การคาดการณ์จากตัวแทนความคิด
5. การทดสอบและเปลี่ยนแปลงตัวแทนความคิดตามข้อมูลใหม่
6. การสร้างตัวแทนความคิดที่เหมาะสมและถูกต้อง

Sim and Daniel (2014) ได้เสนอว่าสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมีองค์ประกอบทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้

1. ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด
2. ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน
3. ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน
4. ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย
5. ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี

Gkitzia et al. (2020) ได้เสนอว่าสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมีองค์ประกอบ

ทั้งหมด 4 ด้าน ดังนี้

1. ความสามารถในการแปลความปรากฏการณ์ระดับจุลภาคด้วยปรากฏการณ์ระดับมหภาค
2. ความสามารถในการแปลความปรากฏการณ์ระดับมหภาคด้วยปรากฏการณ์ระดับจุลภาค
3. ความสามารถในการแปลความปรากฏการณ์ระดับจุลภาคด้วยสัญลักษณ์
4. ความสามารถในการแปลความสัญลักษณ์ด้วยปรากฏการณ์ระดับจุลภาค

Stieff and DeSutter (2021) ได้เสนอว่าสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมี

องค์ประกอบทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้

1. ความสามารถในการบอกความหมายและลักษณะสำคัญของตัวแทนความคิด เช่น จุดสูงสุดของกราฟ รูปแบบของเส้นกราฟ และใช้ข้อมูลเหล่านี้มาสนับสนุนการอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์/แนวคิดต่าง ๆ ทางเคมี
2. ความสามารถในการแปลความตัวแทนความคิดหนึ่งไปสู่อีกตัวแทนความคิดหนึ่ง เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนความคิด เช่น การระบุจุดยุติของปฏิกิริยาบนกราฟจากการขมิ้วตีโอพฤติกรรมของสารละลายในระดับโมเลกุล
3. ความสามารถในการสร้างหรือเลือกใช้ตัวแทนความคิดหรือชุดของตัวแทนความคิดที่เหมาะสมในการอธิบายปรากฏการณ์/แนวคิดต่าง ๆ ทางเคมี
4. ความสามารถในการอธิบายถึงเหตุผล/ความเหมาะสมในการเลือกใช้ตัวแทนความคิดหรือชุดของตัวแทนความคิดในการอธิบายปรากฏการณ์/แนวคิดต่าง ๆ ทางเคมี

5. ความสามารถในการเลือกใช้ตัวแทนความคิดที่แตกต่างกันในการอธิบายสิ่งเดียวกัน โดยตัวแทนความคิดหนึ่งไม่สามารถอธิบายในแง่มุม/มิติเดียวกับอีกตัวแทนความคิดหนึ่งได้

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมีองค์ประกอบทั้งหมด 5 ด้าน ตามแนวคิดของ Sim and Daniel (2014) ประกอบด้วย 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด หมายถึง ความสามารถในการอธิบายลักษณะทางกายภาพของปรากฏการณ์ระดับมหภาค ลักษณะของโมเลกุลของปรากฏการณ์ระดับจุลภาค และความหมายของตัวแปร/สัญลักษณ์เคมี 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน หมายถึง ความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างปรากฏการณ์จริง/ภาพการทดลองกับผลการทดลอง/การสังเกตทางกายภาพ ภาพโมเลกุลกับข้อความอธิบายพฤติกรรมโมเลกุล และข้อความกับสมการเคมี/คณิตศาสตร์ 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน หมายถึง ความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างปรากฏการณ์จริง/ภาพการทดลองจริงกับข้อความ ภาพการทดลองจริงกับภาพโมเลกุล และข้อความกับภาพโมเลกุล 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย หมายถึง ความสามารถในการอธิบาย/สื่อสารให้สอดคล้องกับสิ่งที่คิด/ต้องการสื่อสารเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี หมายถึง ความสามารถในการอธิบายโดยใช้ตัวแทนความคิดมากกว่า 1 ระดับ

3. เครื่องมือที่ใช้วัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

รัชณี เจนการ (2558) ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พอลิเมอร์ จำนวน 2 ชุดที่เหมือนกันในการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดจะมีลักษณะเป็นข้อคำถามปลายเปิดที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เขียนอธิบายและส่วนที่วาดภาพประกอบคำอธิบาย มีทั้งหมดจำนวน 8 ข้อ ครอบคลุมทั้งหมด 8 แนวคิดหลัก ได้แก่ 1) ความหมายของพอลิเมอร์ 2) ประเภทของพอลิเมอร์ 3) ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (แบบควบแน่นและแบบเติม) 4) โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ 5) พลาสติก 6) เส้นใย 7) ยาง และ 8) ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของพอลิเมอร์สังเคราะห์ จากนั้นทำการสัมภาษณ์ด้วยแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ซึ่งใช้ถามในประเด็นที่นักเรียนอาจยังอธิบายในแบบวัดได้ไม่ชัดเจน

Padalkar and Hegarty (2014) ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง เคมีอินทรีย์ เกี่ยวกับการเขียนโครงสร้างสารประกอบอินทรีย์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ โครงสร้างแบบ 1) Dash-wedge 2) Newman projection และ 3) Fischer projection จากแบบจำลองเชิงรูปธรรม (concrete model) โดยนักเรียนจะต้องแปลงตัวแทนความคิดจากรูปแบบหนึ่งเป็นตัวแทนความคิดที่เหลือได้ โดยแต่ละตัวแทนความคิดจะเป็นการอธิบายรูปร่างของโมเลกุลเดียวกันแต่ในรูปแบบที่ต่างกัน ดังนั้น เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลสามารถเขียนได้ 3 ลักษณะ ข้อคำถามจะมีทั้งหมด 6 ลักษณะ เนื่องจากนักเรียนจะต้องสามารถเขียนเปลี่ยนไปและกลับได้ จึงประกอบด้วย การเปลี่ยนเปลี่ยนจาก 1) Fischer เป็น Newman 2) Fischer เป็น Dash-wedge 3) Dash-wedge เป็น Fischer 4) Dash-wedge เป็น Newman 5) Newman เป็น Fischer และ 6) Newman เป็น Dash-wedge โดยแบบวัดก่อนเรียนจะเป็นแบบเติมคำตอบจำนวน 6 ข้อ ในส่วนของแบบวัดหลังเรียนจะเป็นแบบเติมคำตอบจำนวน 6 ข้อเช่นเดียวกันกับแบบวัดก่อนเรียน แต่โครงสร้างของโมเลกุลจะเป็นโมเลกุลที่เป็นภาพสะท้อนของโมเลกุลที่ใช้ในแบบวัดก่อนเรียน

Sim and Daniel (2014) ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง สถานะของสาร จำนวน 32 ข้อ รวม 40 คะแนน ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) แบบข้อคำถามหลายตัวเลือก (multiple choice questions) จำนวน 25 ข้อ รวม 25 คะแนน และ 2) แบบข้อคำถามตอบสั้น (short questions) จำนวน 7 ข้อ โดยจะถูกแบ่งเป็น 15 ข้อย่อย รวม 15 คะแนน ที่ครอบคลุมองค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี

Klein et al. (2017) ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง จลนศาสตร์ เป็นข้อคำถามแบบหลายตัวเลือก จำนวน 11 ข้อ และแบบเลือกถูกผิด จำนวน 7 ข้อ รวมทั้งหมด 18 ข้อ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้และแปลความตัวแทนความคิดรูปแบบต่าง ๆ เช่น กราฟ รูปภาพ สมการทางคณิตศาสตร์

Gkitzia et al. (2020) ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง ธาตุสารประกอบ สารละลายและของแข็ง เป็นแบบข้อคำถามหลายตัวเลือก จำนวน 11 ข้อที่ครอบคลุม

องค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ 1) ความสามารถในการแปลความปรากฏการณ์ระดับจุลภาคด้วยปรากฏการณ์ระดับมหภาค 2) ความสามารถในการแปลความปรากฏการณ์ระดับมหภาคด้วยปรากฏการณ์ระดับจุลภาค 3) ความสามารถในการแปลความปรากฏการณ์ระดับจุลภาคด้วยสัญลักษณ์ และ 4) ความสามารถในการแปลความสัญลักษณ์ด้วยปรากฏการณ์ระดับจุลภาค โดยข้อคำถามจะประกอบด้วยภาพจริง (ปรากฏการณ์ระดับมหภาค) สูตรโมเลกุล (สัญลักษณ์) และแผนภาพต่าง ๆ ในปรากฏการณ์ระดับจุลภาค และข้อคำถามแต่ละข้อจะวัดสมรรถนะเพียง 1 ด้านเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การใช้แบบวัดที่มีคำตอบตายตัวไม่สามารถทำให้ผู้วิจัยเข้าใจความคิดของนักเรียนว่าเพราะเหตุใดจึงเลือกตอบข้อนั้น ๆ ผู้วิจัยจึงได้ทำการสัมภาษณ์นักเรียนด้วยแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interviews) โดยการสัมภาษณ์จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 นักเรียนจะได้รับภาพของวัตถุจำนวน 6 ชนิดที่แตกต่างกัน และถูกขอให้สร้างตัวแทนความคิด 2 ประเภทสำหรับแต่ละวัสดุ ได้แก่ ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ จากนั้นให้นักเรียนอธิบายกระบวนการคิดและอธิบายคุณลักษณะของตัวแทนความคิดที่ตนสร้าง ขั้นตอนที่ 2 นักเรียนจะได้รับภาพที่แสดงปรากฏการณ์ในระดับโมเลกุลจำนวน 5 แบบและให้ระบุว่ารูปใดเป็นธาตุ สารประกอบ หรือสารผสม พร้อมอธิบายเหตุผล เพื่อประเมินความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการแสดงตัวแทนความคิดและความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่ต่างกัน และขั้นตอนที่ 3 นักเรียนจะได้รับภาพที่แสดงปรากฏการณ์ในระดับโมเลกุลของสารละลายในน้ำ และให้เลือกตัวแทนความคิดในระดับมหภาคที่ตรงกับภาพ พร้อมอธิบายกระบวนการคิดและอธิบายคุณลักษณะของตัวแทนความคิดที่ตนเลือก

Stieff and DeSutter (2021) ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดแบบข้อคำถามปลายเปิดอิงสถานการณ์ โดยการให้วาดภาพปรากฏการณ์ในระดับโมเลกุลจากการทำงานต่าง ๆ ทั้งหมด 6 กิจกรรม โดยในการวิเคราะห์สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดนี้จะต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ใหม่ เนื่องจากไม่มีมาตรวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่อิสระ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงจำกัดการวิเคราะห์โดยจะประเมินสมรรถนะเพียง 1 จาก 5 องค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Kozma and Russell (1997) คือ ความสามารถในการเลือกและสร้างตัวแทนความคิด

Herunata et al. (2021) ใช้แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง สมดุลเคมี จำนวน 33 ข้อ เป็นแบบข้อคำถามหลายตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ และแบบข้อคำถามตอบสั้น จำนวน

13 ข้อ ที่ครอบคลุมองค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี

จากการศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส โดยมีลักษณะเป็นแบบข้อคำถามปลายเปิดที่ครอบคลุมองค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้ 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี ทั้งหมดจำนวน 4 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลองชุดละ 1 สถานการณ์ ดังนี้ ชุดที่ 1 ใช้วัดก่อนการได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยจะครอบคลุมแนวคิดเรื่อง การเกิดไฮโดรลิซิสของเกลือ ความเป็นกรด-เบสของเกลือและการคำนวณเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ชุดที่ 2 และ 3 ใช้วัดระหว่างได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยชุดที่ 2 จะครอบคลุมแนวคิดเรื่อง pH ของสารละลายเมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา เมื่อกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกันและเมื่อกรดอ่อนหรือเบสอ่อนเหลือจากการทำปฏิกิริยาและชุดที่ 3 จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง อินดิเคเตอร์ หลักการของบัฟเฟอร์และการเตรียมบัฟเฟอร์และชุดที่ 4 ใช้วัดหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้ จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง หลักการไทเทรตและกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับปริมาณกรด-เบสที่เติม

#### 4. การประเมินของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

Kozma and Russell (2005) ได้เสนอเกณฑ์การประเมินของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 การนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้การบรรยายให้เห็นภาพ ระดับที่ 2 การนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้ทักษะทางสัญลักษณ์เบื้องต้น ระดับที่ 3 การสร้างประโยคโดยใช้รูปแบบของตัวแทนความคิด ระดับที่ 4 การให้ความหมายของรูปแบบตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 การสะท้อนถึงการใช้ตัวแทนความคิด โดยแต่ละระดับจะมีรายละเอียดในการพิจารณาดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของ Kozma and Russell (2005)

สมรรถนะในการนำเสนอ ตัวแทนความคิด	คำอธิบาย
ระดับที่ 1 การนำเสนอ ตัวแทนความคิดโดยใช้การ บรรยายให้เห็นภาพ	ผู้เรียนสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ตาม ลักษณะที่ปรากฏทางกายภาพเท่านั้น โดยการใช้สัญลักษณ์หรือ รูปร่างสีฐานที่เหมือนกันแสดงถึงปรากฏการณ์ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง
ระดับที่ 2 การนำเสนอ ตัวแทนความคิดโดยใช้ทักษะ ทางสัญลักษณ์เบื้องต้น	ผู้เรียนสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ตาม ลักษณะที่ปรากฏทางกายภาพ และใช้องค์ประกอบเชิงสัญลักษณ์ใน การอธิบาย เช่น ลูกศร เพื่อแสดงถึงการเคลื่อนไหว หรือเวลา โดยไม่ มีการคำนึงถึงไวยากรณ์และความหมายที่ถูกต้อง
ระดับที่ 3 การสร้างประโยค โดยใช้รูปแบบของตัวแทน ความคิด	ผู้เรียนสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ตาม ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็นได้ และกระบวนการที่สามารถ/ไม่ สามารถสังเกตเห็นได้
ระดับที่ 4 การให้ความหมาย ของรูปแบบตัวแทนความคิด	ผู้เรียนสามารถใช้สัญลักษณ์ที่เป็นทางการเป็นตัวแทนความคิดของ ปรากฏการณ์ตามลักษณะทางกายภาพและกระบวนการที่สามารถ/ ไม่สามารถสังเกตเห็นได้
ระดับที่ 5 การสะท้อนถึงการ ใช้ตัวแทนความคิด	ผู้เรียนจะใช้ตัวแทนความคิดหนึ่งรูปแบบขึ้นไป เพื่ออธิบาย ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและกระบวนการ พื้นฐานทั้งในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ โดยสามารถเลือก หรือสร้างตัวแทนความคิดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานการณ์นั้น ๆ และอธิบายได้ว่าทำไมตัวแทนความคิดที่เลือกมาใช้จึงเหมาะสมกว่า ตัวแทนความคิดอื่น

Sim and Daniel (2014) ได้เสนอเกณฑ์การประเมินของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง โดยพิจารณาจากคะแนนจากแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของ Sim and Daniel (2014)

ระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด	คะแนน (%)
ต่ำ	<25
กลาง	25-75
สูง	>75

Maree and Edwards (2019) ได้เสนอเกณฑ์การประเมินของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง โดยพิจารณาจากความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดที่มากกว่า 1 ระดับและความสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของ Maree and Edwards (2019)

ตัวแทนความคิด	ระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด		
	ต่ำ (1)	ปานกลาง (2)	สูง (3)
รูปภาพ (กราฟ/แผนภาพ/ภาพจำลอง)	นักเรียนอธิบายรูปภาพไม่สอดคล้องกับการทดลอง	นักเรียนอธิบายรูปภาพสอดคล้องกับการทดลอง	นักเรียนอธิบายรูปภาพสอดคล้องกับการทดลอง
	สัญลักษณ์หรือข้อความและอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ไม่ถูกต้อง	สัญลักษณ์หรือข้อความได้บางส่วน และอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้	สัญลักษณ์หรือข้อความได้และอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้อง

ตัวแทน ความคิด	ระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด		
	ต่ำ (1)	ปานกลาง (2)	สูง (3)
		ถูกต้องบางส่วน	
การทดลอง (การทำกร ทดลอง/ การสร้าง แบบจำลอง)	นักเรียนอธิบาย ภาพประกอบการทดลอง ไม่สอดคล้องกับรูปภาพ สัญลักษณ์หรือข้อความ และอธิบายแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์ได้ไม่ถูกต้อง	นักเรียนอธิบาย ภาพประกอบการทดลอง สอดคล้องกับรูปภาพ สัญลักษณ์หรือข้อความได้ บางส่วน และอธิบาย แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ ถูกต้องบางส่วน	นักเรียนอธิบาย ภาพประกอบการทดลอง สอดคล้องกับรูปภาพ สัญลักษณ์หรือข้อความได้ และอธิบายแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์ได้ถูกต้อง
สัญลักษณ์ (สมการ/ สูตรทาง คณิตศาสตร์)	นักเรียนอธิบายสัญลักษณ์ ไม่สอดคล้องกับรูปภาพ การทดลอง หรือข้อความ และอธิบายแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์ได้ไม่ถูกต้อง	นักเรียนอธิบายสัญลักษณ์ สอดคล้องกับรูปภาพ การ ทดลองหรือข้อความได้ บางส่วนและอธิบายแนวคิด ทางวิทยาศาสตร์ได้ได้ บางส่วน	นักเรียนอธิบายสัญลักษณ์ สอดคล้องกับรูปภาพ การ ทดลองหรือข้อความได้ และอธิบายแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์ได้ได้
ข้อความ (คำพูด/ ตัวอักษร)	นักเรียนอธิบายข้อความ ไม่สอดคล้องกับรูปภาพ การทดลอง หรือ สัญลักษณ์ และอธิบาย แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ได้ไม่ถูกต้อง	นักเรียนอธิบายข้อความ สอดคล้องกับรูปภาพ การ ทดลอง หรือสัญลักษณ์ได้ บางส่วน และอธิบาย แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ บางส่วน	นักเรียนอธิบายข้อความ สอดคล้องกับรูปภาพ การ ทดลอง หรือสัญลักษณ์ได้ และอธิบายแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์ได้

จากการศึกษา ผู้วิจัยจึงเลือกอ้างอิงเกณฑ์ระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Sim and Daniel (2014) ซึ่งแบ่งสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง โดยพิจารณาจากคะแนนจากแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด หากได้คะแนนต่ำกว่าร้อยละ 25 จะจัดอยู่ระดับต่ำ หากได้

คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 25-75 จะจัดอยู่ระดับปานกลาง และหากได้คะแนนสูงกว่าร้อยละ 75 จะจัดอยู่ระดับสูง

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. งานวิจัยในประเทศ

วิทยัตร์ พูนพิพัฒน์ และ อลิศรา ชูชาติ (2557) ได้ทำการศึกษาผลของการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายที่มีต่อมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสารและความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาโมทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสารของนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย (2) เปรียบเทียบมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสารของนักเรียนระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายกับนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แบบทั่วไป (3) เปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย และ (4) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายกับนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แบบทั่วไป กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ประเภทสหศึกษา จังหวัด ฉะเชิงเทรา จำนวน 2 ห้องเรียน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองจำนวน 46 คน และกลุ่มควบคุมจำนวน 44 คน มีการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบวัดมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสาร และแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ที่มีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.72 และ 0.83 ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ (1) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ย มโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสาร ร้อยละ 75.08 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (2) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสารสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (3) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ย

ความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (4) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการวิเคราะห์สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิด เรื่อง โครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่สามารถส่งเสริมแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 26 คน ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดกลางแห่งหนึ่งทางภาคใต้ ดำเนินการจัดการเรียนรู้ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 เก็บข้อมูลเชิงลึกโดยใช้แบบวัดแบบจำลองทางความคิด เรื่อง โครงสร้างอะตอม แบบวัดความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลอง อนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียน และบันทึกหลังสอนของผู้วิจัยซึ่งทำหน้าที่เป็นครูผู้สอน วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตีความและสร้างข้อสรุปแบบอุปนัย ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองอยู่ในกลุ่มที่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับเพิ่มขึ้นในทุกประเด็นที่ศึกษา โดยลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานในเรื่องโครงสร้างอะตอมมีการสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดร่วมกับการใช้คำถาม เพื่อตรวจสอบความรู้เดิม รวมไปถึงมีการใช้สื่อการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงเนื้อหาเคมีทั้ง 3 ระดับ (ระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์) สำหรับในแนวคิดที่เป็นนามธรรมมีการใช้กิจกรรมอุปมาในการจัดการเรียนรู้และมีการสอดแทรกกิจกรรมที่สะท้อนธรรมชาติของแบบจำลองร่วมกับการอภิปรายจุดเด่นและข้อจำกัดของแบบจำลอง เพื่อให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองและนำไปสู่ความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

ณภัทร สุชนฤเศรษฐกุล และคณะ (2564) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาร้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาร้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนเมื่อเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานใน

หัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า กลุ่มที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวนทั้งสิ้น 23 คน เก็บรวบรวมข้อมูลคุณภาพและข้อมูลปริมาณก่อนและหลัง การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจากแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพและข้อมูลปริมาณโดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและการวิเคราะห์เชิงอุปนัยเพื่อจัดระดับสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับกึ่งจุลภาค (ระดับที่ 2) รวมถึงเชื่อมโยงปรากฏการณ์ในระดับมหภาคและกึ่งจุลภาค (ระดับที่ 3) แต่อย่างไรก็ตามนักเรียนยังไม่สามารถสะท้อนและวิพากษ์คุณสมบัติของตัวแทนความคิดที่นำเสนอ นอกจากนี้งานวิจัยพบว่านักเรียนบางคนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไม่เกิดพัฒนาการในการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด 2) หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนสามารถเลือกใช้รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดภายนอกที่มีความหลากหลายที่สอดคล้องกับความเป็นนามธรรมต่อ แนวคิดทางเคมีมากขึ้น 3) ตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอมีความสัมพันธ์กับโมโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า

ชฎาวรรณ สุขัมศรี และคณะ (2566) ได้ทำการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์กับนักเรียนที่ได้รับการสอนแบบปกติ ประกอบด้วยเนื้อหา 5 เรื่อง ได้แก่ กฎทรงมวล กฎสัดส่วนคงที่ ปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในสมการเคมี และสารกำหนดปริมาณ กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 60 คน ผ่านการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ใบกิจกรรม แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ จากผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย มีคะแนนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยมี คะแนน  $73.53 \pm 3.91$  และ

55.00  $\pm$  12.44 ตามลำดับ บ่งบอกได้ว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย ช่วยส่งเสริมความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ สำหรับนักเรียนได้

## 2. งานวิจัยต่างประเทศ

Derman and Ebenezer (2020) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายต่อการพัฒนาของโครงสร้างทางปัญญาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี เรื่อง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี โดยจัดการเรียนการสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย โดยเริ่มจากการให้นักเรียนแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ จากนั้นให้นักเรียนสังเกตปรากฏการณ์หรือให้ทำการทดลอง จากนั้นให้นักเรียนเชื่อมโยงสิ่งที่ได้จากการสังเกตกับตัวแทนความคิดระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ จากนั้นให้นักเรียนนำเสนอ/อธิบายปรากฏการณ์หรือการทดลองที่ได้จากการสังเกตในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ผ่านการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดได้และสามารถพัฒนาโครงสร้างความรู้ความเข้าใจของนักศึกษาครูให้ดียิ่งขึ้นได้อีกด้วย

Gkitzia et al. (2020) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดทางเคมีในระดับที่แตกต่างกันของนักเรียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาเคมี ในการแปลความหมายตัวแทนความคิดทางเคมีจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง เช่น แปลความตัวแทนความคิดจากระดับจุลภาคไปยังระดับสัญลักษณ์ ในหัวข้อที่เป็นแนวคิดพื้นฐานของรายวิชาเคมี เช่น ธาตุ สารประกอบ สารละลายน้ำ และสถานะของแข็งของสาร ซึ่งได้ถูกสอนในชั้นเรียนก่อนหน้านี้แล้ว ผู้วิจัยใช้รูปแบบวิจัยแบบผสมผสาน (mixed method) โดยใช้เครื่องมือวิจัยทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยเครื่องมือเหล่านี้จะประกอบด้วยข้อคำถามแบบหลายตัวเลือกและข้อคำถามปลายเปิด ซึ่งรวมถึงการใช้ภาพจริงในระดับมหภาค การใช้แผนภูมิในระดับจุลภาค และการใช้สัญลักษณ์ โดยนักเรียนจะต้องเลือกหรือสร้างตัวแทนความคิดที่เทียบเท่ากับตัวแทนความคิดที่ผู้วิจัยกำหนด จากผลการวิจัยพบว่าความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดทางเคมีที่แตกต่างกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 อยู่ในระดับต่ำมาก ในขณะที่ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทน

ความคิดทางเคมีที่แตกต่างกันของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาเคมี อยู่ในระดับที่สูงกว่าแต่ยังเป็นที่น่าพอใจ โดยนักเรียนสามารถแปลความตัวแทนความคิดทางเคมีที่แตกต่างกัน เรื่อง สารประกอบและการละลายน้ำได้มากกว่า เรื่อง ธาตุและสถานะของแข็งของสาร นอกจากนี้ นักเรียนมีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนระดับจุลภาคไปเป็นระดับสัญลักษณ์อยู่ในระดับต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดระดับอื่น ๆ โดยผู้วิจัยระบุว่าการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดทางเคมีที่แตกต่างกันเป็นงานที่ท้าทายมาก เนื่องจากขึ้นอยู่กับความเข้าใจในแนวคิดทางเคมีของนักเรียนด้วย

Herunata et al. (2021) ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้าใจในโมเดล ตัวแทนความคิดทางเคมี และสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนในเรื่องสมดุลเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้าใจในโมเดล ตัวแทนความคิดทางเคมี และสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยใช้รูปแบบวิจัยเชิงสหสัมพันธ์ (correlational method) และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 132 คน ในโรงเรียนแห่งหนึ่งในเมืองมาลัง ประเทศอินโดนีเซีย เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือแบบทดสอบความเข้าใจในโมเดล เรื่อง สมดุลเคมี (ECUTI) แบบทดสอบตัวแทนความคิดทางเคมี เรื่อง สมดุลเคมี (ERTI) และแบบทดสอบสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง สมดุลเคมี (ERCTI) ผ่านแอปพลิเคชัน Google Form จากผลการวิจัยพบว่า คะแนนของ ECUTI อยู่ที่ 55.14% ERTI อยู่ที่ 63.46% และ ERCTI อยู่ที่ 68.08% โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.774 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างความเข้าใจในโมเดล ตัวแทนความคิดทางเคมี และสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า นักเรียนมีความเข้าใจในโมเดลต่ำกว่าความเข้าใจในตัวแทนความคิดทางเคมีและสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด และการทำความเข้าใจแนวคิดทางเคมีไม่สามารถทำได้จากการเข้าใจเนื้อหาเพียงอย่างเดียว แต่ยังต้องเข้าใจในตัวแทนความคิดทางเคมีด้วย โดยการเลือกใช้ตัวแทนความคิดที่ดีในการทำความเข้าใจแนวคิดทางเคมีจะสามารถพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทางเคมีได้

Stieff and DeSutter (2021) ได้ศึกษาเกี่ยวกับบทบาทของการใช้ภาพร่าง (sketching) ที่มีต่อความสำเร็จในการเรียนวิทยาศาสตร์ แม้มีสมมติฐานที่กล่าวว่า การพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดจะช่วยทำให้การเรียนรู้อัตโนมัติมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามสมมติฐานดังกล่าวยังคงมีหลักฐานน้อยมากที่แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาสมรรถนะนี้มีความสัมพันธ์เชิง

บวกกับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด นักเรียนเผยว่าทักษะบางอย่างในสมรรถนะนี้ เช่น การสร้างและการเลือกใช้ตัวแทนความคิดไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อความเข้าใจในแนวคิดของรายวิชานั้น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้วิจัยได้ทำการอภิปรายถึงผลการวิจัยนี้เพื่อใช้สำหรับการออกแบบการจัดการเรียนรู้ในอนาคตที่มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ผ่านการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

Popova and Jones (2021) ได้ศึกษาเกี่ยวกับทัศนคติของครูเคมีในการพัฒนา สอน และประเมินสมรรถนะการนำเสนอความคิดของนักเรียน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความเข้าใจในการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน ในรายวิชาเคมี โดยการสำรวจมุมมองของครูในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งสอนวิชาเคมีหลายหลักสูตร เพื่อให้ได้มุมมองที่ครอบคลุมและหลากหลาย ซึ่งการศึกษานี้จะตอบคำถามวิจัยดังต่อไปนี้ 1) ทัศนคติของครูเคมีที่มีต่อการพัฒนา สอน และประเมินสมรรถนะการนำเสนอความคิดของนักเรียนเป็นอย่างไร 2) เป้าหมายของครูในการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอความคิดของนักเรียนมีความสอดคล้องกับแนวทางการสอนและการประเมินที่ครูได้อธิบายไว้หรือไม่ และ 3) แหล่งความรู้หรือการสนับสนุนใดที่ครูเคมีต้องการเพื่อให้การสอนโดยการใช้ตัวแทนความคิดต่าง ๆ มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ครูเคมีจำนวน 13 คนเกี่ยวกับทัศนคติในการพัฒนา สอน และประเมินสมรรถนะการนำเสนอความคิดของนักเรียน จากผลการสัมภาษณ์พบว่าครูส่วนใหญ่ไม่ได้ตั้งใจที่จะพัฒนาสมรรถนะนี้ให้กับนักเรียน อย่างไรก็ตาม ครูหลายคนสอนและประเมินบางด้านของสมรรถนะในระดับพื้นฐานโดยไม่รู้ตัว เช่น ความสามารถในการตีความและสร้างตัวแทนความคิด แต่ยังขาดการเน้นในเรื่องของการนำเสนอตัวแทนความคิดขั้นสูง เช่น การอธิบายข้อดีและข้อจำกัดของตัวแทนความคิด นอกจากนี้ ครูบางคนยังขาดความเข้าใจเกี่ยวกับการสอนเกี่ยวกับตัวแทนความคิดให้มีประสิทธิภาพ และมีความต้องการที่จะพัฒนาทักษะทางวิชาชีพที่เกี่ยวกับการใช้ตัวแทนความคิด รวมถึงวิธีการสอนและการประเมินสมรรถนะการนำเสนอความคิดของนักเรียน ดังนั้น ในการฝึกอบรมต่าง ๆ ควรช่วยให้ครูได้เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น ทฤษฎีการสร้างความรู้ (constructivism) ทฤษฎีการประมวลผลข้อมูล (information processing model) สามเหลี่ยมของ Johnstone (Johnstone's triangle) และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะการนำเสนอความคิดของนักเรียน รวมถึงการส่งเสริมให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ด้วยการใช้การตัวแทนความคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Edelsbrunner et al. (2023) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการนำเสนอ ตัวแทนความคิดและความรู้ในเชิงมโนทัศน์ในนักศึกษาปริญญาตรีเพศหญิงและเพศชาย โดยสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมักถูกมองว่าเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมความรู้ในเชิงมโนทัศน์ แต่ยังมีการศึกษาจำนวนน้อยที่สำรวจความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรนี้ เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่เกี่ยวกับสนามเวกเตอร์ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดกับความรู้ในเชิงมโนทัศน์ เรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีจำนวน 515 คน จากผลการวิจัยพบว่า สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดกับความรู้ในเชิงมโนทัศน์มีความสัมพันธ์กัน (ค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรที่วัดได้ เท่ากับ .54 และค่าสหสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบ เท่ากับ .71) โดยนักศึกษาหญิงจะมีความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ลดลงเมื่อเทียบกับนักศึกษาชาย ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้จากความแตกต่างในการวัดระหว่างกลุ่มทั้งสอง มีนักศึกษบางคนที่มีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดสูง แต่ความรู้ในเชิงมโนทัศน์ต่ำ แต่มีนักเรียนเพียงไม่กี่คนที่มีความสัมพันธ์การนำเสนอตัวแทนความคิดต่ำแต่มีความรู้ในเชิงมโนทัศน์สูง ดังนั้น สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดเป็นหนึ่งในเงื่อนไขเบื้องต้น แต่ในการส่งเสริมความรู้ในเชิงมโนทัศน์ อาจต้องมีเงื่อนไขอื่น ๆ ร่วมด้วย โดยผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ควรให้ส่งเสริมให้นักเรียนมีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยเฉพาะนักศึกษาหญิง เพื่อใช้ตัวแทนความคิดสร้างความรู้ในเชิงมโนทัศน์

จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งจากงานวิจัยในประเทศและต่างประเทศ ผู้วิจัยสรุปได้ว่าสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดเป็นสมรรถนะที่สำคัญในการเรียนเคมีให้เกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ในช่วง 5 ปีย้อนหลังจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาระดับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนหรือศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดกับความเข้าใจแนวคิดทางเคมีและอื่น ๆ แต่มีงานวิจัยที่พัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้ไม่มากนัก หนึ่งในนั้นคือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน โดยการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนจะขึ้นอยู่กับความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดและตัวแทนความคิดทางเคมีของนักเรียนด้วย และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าแนวคิดการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายจะช่วยให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจและสามารถเชื่อมโยงตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ทางเคมีได้หลากหลายระดับ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน

ความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย  
ในรายวิชาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อไป

### กรอบแนวคิดในการวิจัย

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน  
ร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

มีขั้นตอน ดังนี้

- 1) การสร้างแบบจำลอง  
นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงจาก  
ทดลอง แล้ววาดภาพปรากฏการณ์ใน  
ระดับโมเลกุล เพื่ออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นจาก  
การทดลองนั้น
- 2) การนำไปใช้และประเมินแบบจำลอง  
นักเรียนนำภาพวาดที่เสนอไปใช้  
อธิบายปรากฏการณ์ในโมเลกุลผ่านการ  
อภิปรายร่วมกัน แล้วประเมินความใช้ได้  
ของแบบจำลองตนเอง
- 3) การปฏิเสธและปรับปรุงแบบจำลอง  
นักเรียนแก้ไขแบบจำลองของตนเอง  
โดยการวาดแบบจำลองในระดับโมเลกุล  
ใหม่ จากนั้นอภิปรายและสรุปบทเรียน
- 4) การขยายแบบจำลอง  
นักเรียนนำความรู้ที่ได้ไปเชื่อมโยงกับ  
ตัวแทนความคิดในระดับสัญลักษณ์

ทิโต ชีเว

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาแบบทดลองขั้นต้น (pre-experimental research) แบบอนุกรมเวลาแบบกลุ่มเดียว (one group time series design) โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังรายละเอียดในหัวข้อดังนี้

1. ประชากร
2. กลุ่มตัวอย่าง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล
6. การวิเคราะห์ข้อมูล
7. สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

#### ประชากร

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ห้องเรียนปกติ โรงเรียนสารคามพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ในภาคการเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 318 คน จาก 8 ห้องเรียน โดยแต่ละห้องมีความคล้ายคลึงกัน ทั้งจำนวนนักเรียนที่ใกล้เคียงกัน สภาพแวดล้อมในการเรียน คณะครูสอนกลางภาคและเกรดในรายวิชาเคมีใกล้เคียงกัน

## กลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 5/10 โรงเรียนสารคามพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ในภาคการเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 34 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (cluster random sampling) โดยใช้ชั้นเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม

## เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

### 1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 8 แผน เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้จำนวน 12 ชั่วโมง

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส โดยมีลักษณะเป็นแบบข้อคำถามปลายเปิดที่ครอบคลุมองค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้ 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี ทั้งหมดจำนวน 4 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลอง ชุดละ 1 สถานการณ์ ดังนี้ ชุดที่ 1 จะใช้วัดก่อนการได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยจะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง การเกิดไฮโดรลิซิสของเกลือ ความเป็นกรด-เบสของเกลือและการคำนวณเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ชุดที่ 2 และ 3 ใช้วัดระหว่างได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยชุดที่ 2 จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง pH ของสารละลายเมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา เมื่อกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกันและเมื่อกรดอ่อนหรือเบสอ่อนเหลือจากการทำปฏิกิริยาและชุดที่ 3 จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง อินดิเคเตอร์ หลักการของบัฟเฟอร์และการเตรียมบัฟเฟอร์และชุดที่ 4 ใช้วัดหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้ จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง หลักการไทเทรตและกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับปริมาณกรด-เบสที่เติม

## การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ

ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนในการดำเนินการสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ ดังนี้

1. การสร้างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในรายวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส โดยสร้างและหาคุณภาพ ดังนี้

1.1 ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) และหลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม

1.2 ศึกษาเนื้อหาบทเรียน รายวิชาเคมี 3 ของสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหา สาระการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ และเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

ศึกษาเนื้อหาสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการคัดเลือกเนื้อหาที่นำมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง กรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 8 แผน เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้จำนวน 12 ชั่วโมง ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์สาระการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ และเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

แผน ที่	ผลการเรียนรู้	สาระการ เรียนรู้	สาระสำคัญ	จุดประสงค์ การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
1	คำนวณค่า pH หลังจากการทำ ปฏิกิริยากรด- เบส และ คำนวณหาความ เข้มข้นของกรด หรือเบสที่เหลือ จากการทำ	pH ของ สารละลาย เมื่อกรดแก่ หรือเบสแก่ เหลือจากการ ทำปฏิกิริยา	เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่ เหลือจากการทำ ปฏิกิริยา ค่า pH ของ สารละลายจะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของ ไฮโดรเนียมไอออน ของกรดแก่หรือไฮดร ออกไซด์ไอออนของเบส	K 1) นักเรียน สามารถอธิบายได้ ว่าค่า pH ของ สารละลายขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้น ของ $H^+$ ที่เหลือ จากกรดแก่ และ	2

แผน ที่	ผลการเรียนรู้	สาระการ เรียนรู้	สาระสำคัญ	จุดประสงค์ การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
	ปฏิกิริยากรด-เบส		แก้มือเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของเกลือที่เกิดขึ้น	<p>ความเข้มข้นของ <math>\text{OH}^-</math> ที่เหลือจากเบสแก่</p> <p>P</p> <p>1) นักเรียนสามารถคำนวณค่า pH ของกรดแก่ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากรด-เบสได้</p> <p>A</p> <p>1) นักเรียนเข้าเรียนตรงเวลา</p> <p>2) นักเรียนส่งงานตรงเวลา</p>	
2		การคำนวณ pH ของสารละลายเมื่อกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน	เมื่อกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดี ค่า pH ของสารละลายนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นกลางเสมอไป ( $\text{pH} = 7$ ) เพราะค่า pH ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนของเกลือกรดหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของเกลือเบสที่เกิดขึ้น	<p>K</p> <p>1) นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่าค่า pH ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือกรดและเกลือเบสที่เกิดขึ้นได้</p> <p>P</p> <p>1) นักเรียนสามารถคำนวณค่า pH ของเกลือ</p>	1

แผน ที่	ผลการเรียนรู้	สาระการ เรียนรู้	สาระสำคัญ	จุดประสงค์ การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
				ที่เกิดจากการทำ ปฏิกิริยากรด-เบส ได้ A 1) นักเรียนเข้าใจ เรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงาน ตรงเวลา	
3		pH ของ สารละลาย เมื่อกรดอ่อน หรือเบสอ่อน เหลือจากการ ทำปฏิกิริยา	เมื่อกรดอ่อนหรือเบส อ่อนเหลือจากการทำ ปฏิกิริยา ค่า pH ของ สารละลายจะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของ ไฮโดรเนียมไอออน หรือไฮดรอกไซด์ ไอออนของคู่กรด-เบส ที่เกิดขึ้น	K 1) นักเรียน สามารถอธิบายได้ ว่าค่า pH ของ สารละลาย ขึ้นอยู่ กับความเข้มข้น ของคู่กรด-เบสที่ เกิดขึ้น P 1) นักเรียน สามารถคำนวณ ค่า pH ของกรด อ่อนที่เหลือจาก การทำปฏิกิริยา กรด-เบสได้ A 1) นักเรียนเข้าใจ เรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงาน ตรงเวลา	2

แผน ที่	ผลการเรียนรู้	สาระการ เรียนรู้	สาระสำคัญ	จุดประสงค์ การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
4	อธิบายหลักการ ทำงานของอินดิ เคเตอร์	อินดิเคเตอร์	อินดิเคเตอร์ คือ สิ่งที่สามารถบอกความเป็นกรดหรือเบสของสารละลายได้ โดยใช้สารประกอบที่เปลี่ยนสีได้ที่ pH เฉพาะตัว จะถูกนำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้ เช่น ฟีนอล์ฟทาลีน จะไม่มีสีเมื่ออยู่ในสารละลายกรดและจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู เมื่ออยู่ในสารละลายเบสที่มี pH 8.3	K 1) นักเรียนสามารถบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ที่กำหนดได้ P 1) นักเรียนสามารถจัดกระทำและสื่อความหมายเกี่ยวกับการทำงานของอินดิเคเตอร์ในระดับมหภาคได้ A 1) นักเรียนเข้าเรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงานตรงเวลา	1
5	อธิบายสมบัติ องค์ประกอบ และประโยชน์ ของสารละลาย บัฟเฟอร์	หลักการของ บัฟเฟอร์	บัฟเฟอร์เป็นสารละลายที่สามารถรักษาระดับ pH ของสารละลายให้คงที่หรือเปลี่ยนไปเล็กน้อย เมื่อ	K 1) นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติของบัฟเฟอร์ได้	2

แผน ที่	ผลการเรียนรู้	สาระการ เรียนรู้	สาระสำคัญ	จุดประสงค์ การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
			เติมกรดหรือเบสลงไป	P 1) นักเรียน สามารถจัดกระทำ และสื่อ ความหมาย เกี่ยวกับการ ทำงานของ บัฟเฟอร์ในระดับ โมเลกุลได้ A 1) นักเรียนเข้าใจ เรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงาน ตรงเวลา	
6		การเตรียม บัฟเฟอร์	การเตรียมบัฟเฟอร์ สามารถทำได้โดยการ ใช้ผสมสารที่เป็นคู่ กรด-เบสเข้าด้วยกัน เช่น นำกรดอ่อนผสม กับเกลือของกรดอ่อน จะได้บัฟเฟอร์กรด หากนำเบสอ่อนผสม กับเกลือของเบสอ่อน จะได้บัฟเฟอร์เบส	K 1) นักเรียน สามารถบอก องค์ประกอบของ บัฟเฟอร์ได้ P 1) นักเรียน สามารถ คำนวณหาค่า pH ของบัฟเฟอร์ที่ เตรียมได้ A 1) นักเรียนเข้าใจ เรียนตรงเวลา	1

แผน ที่	ผลการเรียนรู้	สาระการ เรียนรู้	สาระสำคัญ	จุดประสงค์ การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
				2) นักเรียนส่งงาน ตรงเวลา	
7	ทดลองและ อธิบายหลักการ การไทเทรต และ เลือกใช้อินดิเค เตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการ ไทเทรตกรด-เบส	หลักการ ไทเทรต	การไทเทรตกรด-เบส คือ กระบวนการ วิเคราะห์ทางเคมี เพื่อ หาปริมาณกรดหรือ เบสที่ทำปฏิกิริยาพอดี กัน แล้วนำไป คำนวณหาความ เข้มข้นของกรดหรือ เบสที่ต้องการ	K 1) นักเรียน สามารถอธิบาย หลักการการ ไทเทรตได้ P 1) นักเรียน สามารถทำการ ไทเทรตกรด-เบส ได้ A 1) นักเรียนเข้า เรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงาน ตรงเวลา	2
8		กราฟ ความสัมพันธ์ ระหว่าง pH กับปริมาณ กรด-เบสที่เติม	การเลือกใช้อินดิเค เตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการไทเทรต กรด-เบสสามารถ พิจารณาได้จากกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับปริมาณกรด หรือเบสที่ไทเทรต	K 1) นักเรียน สามารถบอก ความหมายของ กราฟ ความสัมพันธ์ ระหว่าง pH กับ ปริมาณเบสที่เติม ได้ P 1) นักเรียน	1

แผน ที่	ผลการเรียนรู้	สาระการ เรียนรู้	สาระสำคัญ	จุดประสงค์ การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
				สามารถเลือกใช้ อินดิเคเตอร์ที่ เหมาะสมสำหรับ การไทเทรตกรด- เบสได้ A 1) นักเรียนเข้า เรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงาน ตรงเวลา	
รวม					12

1.3 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้  
ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

1.4 ดำเนินการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทน  
ความคิดที่หลากหลาย ให้มีความสอดคล้องกับสาระการเรียนรู้ หน่วยการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ และ  
ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมที่กำหนด

1.5 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อ  
พิจารณาตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ เวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรม  
และการวัดประเมินผล จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่  
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ โดยมีรายละเอียดในการปรับปรุงแก้ไขดังนี้

1.5.1 เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการสอนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสมรรถนะ  
การนำเสนอตัวแทนความคิดในบทที่ 1

1.5.2 แก้คำที่ใช้อธิบายวัตถุประสงค์ จากเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลง เป็น  
เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงในบทที่ 1

1.5.3 เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาที่นำมาใช้ในการทำวิจัย

1.5.4 แก้ไขและเพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการสุ่มตัวอย่าง จากวิธีการเลือกตัวอย่างตามสะดวก (convenience sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (cluster random sampling) ในบทที่ 1

1.5.5 เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับการสรุปจากโครงสร้างรายวิชาในบทที่ 2

1.5.6 แก้ไขและเพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการสุ่มตัวอย่าง จากวิธีการเลือกตัวอย่างตามสะดวก (convenience sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (cluster random sampling) ในบทที่ 3

1.5.7 เพิ่มเติมรายละเอียดเกี่ยวกับสถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพของเครื่องมือ

1.5.8 แก้คำที่สะกดผิดและการใช้คำให้คงที่และเพิ่มอ้างอิงภาษาไทยในบรรณานุกรม

1.6 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขและการพิจารณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แล้วพร้อมแบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาประเมินคุณภาพความเหมาะสมของการนำไปใช้และความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 ท่าน โดยแบ่งระดับการประเมินได้ 5 ระดับ ดังนี้

5 หมายถึง เหมาะสมมากที่สุด

4 หมายถึง เหมาะสมมาก

3 หมายถึง เหมาะสมปานกลาง

2 หมายถึง เหมาะสมน้อย

1 หมายถึง เหมาะสมน้อยที่สุด

จากนั้นพิจารณาคุณภาพของการจัดการเรียนรู้ โดยการหาค่าเฉลี่ย และนำมาเทียบกับเกณฑ์

ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมน้อย

คะแนนเฉลี่ย 0.00-1.50 หมายถึง แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

โดยจะนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีค่าความเหมาะสมที่มีค่าเฉลี่ย 3.51-5.00 จัดเป็นแผนการเรียนรู้ที่มีความเหมาะสมในการจัดการเรียนรู้ได้ จากผลการประเมินพบว่าแผนการจัดการเรียนโดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดทางเคมี เรื่อง กรดเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 อยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.00-0.39 ซึ่งหมายถึงแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเหมาะสมมากที่สุด จากนั้นทำการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน โดยมีข้อเสนอแนะ คือ 1) ควรใช้เทคโนโลยีเป็นสื่อการสอนและนำเสนอตัวแทนความคิด เช่น PowerPoint หรือ Canva ประกอบการสอนและการอภิปราย 2) ควรแนบใบกิจกรรมและแบบทดสอบที่ไม่มีเฉลย พร้อมกับใบเก็บคะแนนที่ระบุเกณฑ์การผ่าน

1.7 ทำการแก้ไขปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีความเหมาะสมตามคำแนะนำของคณะผู้เชี่ยวชาญ

1.8 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดลองใช้ (try out) กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาข้อบกพร่องเกี่ยวกับการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ แล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมอีกครั้ง เมื่อนำแผนการสอนที่สร้างไปทดลองใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างแล้ว มีการแก้ไขดังนี้

1.8.1 แก้ไขรายละเอียดเกี่ยวกับการทำปฏิบัติการทางเคมีในขั้นตอนที่ 1 ของแผนการสอนทั้ง 8 แผน โดยทำการลดปริมาณของเครื่องแก้วที่ใช้ เปลี่ยนสารเคมีบางชนิด เพื่อให้ปฏิบัติการมีความกระชับมากยิ่งขึ้น

1.8.2 แก้ไขคำถามในใบกิจกรรมให้มีความชัดเจนและถูกต้องมากขึ้น

1.9 ดำเนินการพิมพ์แผนการจัดการเรียนรู้ฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/10 ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างต่อไป

## 2. การสร้างแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือ ดังนี้

2.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษาการสร้างแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามกรอบแนวคิดของ Sim and Daniel (2014)

2.2 ศึกษาเนื้อหาและหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่อง กรด-เบส เพื่อที่จะได้มีความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องและสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่เหมาะสมกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2.3 ดำเนินการสร้างแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส โดยมีลักษณะเป็นแบบข้อคำถามปลายเปิดที่ครอบคลุมองค์ประกอบของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้ 1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด 2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน 3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน 4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย และ 5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี ทั้งหมดจำนวน 4 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลองชุดละ 1 สถานการณ์ ดังนี้ ชุดที่ 1 ใช้วัดก่อนการได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยจะครอบคลุมแนวคิดเรื่อง การเกิดไฮโดรลิซิสของเกลือ ความเป็นกรด-เบสของเกลือและการคำนวณเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ชุดที่ 2 และ 3 ใช้วัดระหว่างได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยชุดที่ 2 จะครอบคลุมแนวคิดเรื่อง pH ของสารละลายเมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา เมื่อกรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกันและเมื่อกรดอ่อนหรือเบสอ่อนเหลือจากการทำปฏิกิริยาและชุดที่ 3 จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง อินดิเคเตอร์ หลักการของบัฟเฟอร์และการเตรียมบัฟเฟอร์และชุดที่ 4 ใช้วัดหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้ จะครอบคลุมแนวคิด เรื่อง หลักการไทเทรตและกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับปริมาณกรด-เบสที่เติม โดยผู้วิจัยจะใช้เกณฑ์การประเมินระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Sim and Daniel (2014) โดยแบ่งสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง โดยพิจารณาจากคะแนนจากแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด หากได้คะแนนต่ำกว่าร้อยละ 25 จะจัดอยู่ระดับต่ำ หากได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 25-75 จะจัดอยู่ระดับปานกลาง และหากได้คะแนนสูงกว่าร้อยละ 75 จะจัดอยู่ระดับสูง โดยจำนวนข้อคำถามและรายละเอียดของข้อคำถามของแบบวัดสมรรถนะแต่ละชุดจะถูกแสดงในตารางที่ 7-10

ตารางที่ 7 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 1

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	ด้านของสมรรถนะ	จำนวนข้อ คำถามที่ ออก	จำนวนข้อ คำถามที่ใช้ จริง	
เขียนปฏิกิริยาไฮดรอลิซิสของเกลือ และระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ	ไฮดรอลิซิสของเกลือ	1) การเกิด	1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนทางความคิด	2	1
		2) ความเป็นกรด-เบสของเกลือ	2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน	2	1
		3) การคำนวณเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮดรอลิซิส	3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน	1	1
			4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย	1	1
			5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี	1	1
รวม	3	5	7	5	

ตารางที่ 8 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 2

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	ด้านของสมรรถนะ	จำนวนข้อ คำถามที่ ออก	จำนวนข้อ คำถามที่ใช้ จริง
คำนวณค่า pH หลังจากการทำปฏิกิริยากรด-เบส และ	1) pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจาก	1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนทางความคิด	2	1
		2) ความสามารถในการแปลความ	2	1

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	ด้านของสมรรถนะ	จำนวนข้อ คำถามที่ ออก	จำนวนข้อ คำถามที่ใช้ จริง
คำนวณหา ความเข้มข้น ของกรดหรือ เบสที่เหลือจาก การทำปฏิกิริยา กรด-เบส	การทำปฏิกิริยา 2) pH ของ สารละลาย เมื่อ กรดและเบสทำ ปฏิกิริยาพอดี กัน 3) pH ของ สารละลาย เมื่อ กรดอ่อนหรือ เบสอ่อนเหลือ จากการทำ ปฏิกิริยา	ระหว่างตัวแทนความคิดในระดับ เดียวกัน		
		3) ความสามารถในการแปลความ ระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่ แตกต่างกัน	1	1
		4) ความสามารถในการใช้ตัวแทน ความคิดในการอธิบาย	1	1
		5) ความสามารถในการเชื่อมโยง ระหว่างตัวแทนความคิดกับ แนวคิดทางเคมี	1	1
รวม	3	5	7	5

ตารางที่ 9 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 3

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	ด้านของสมรรถนะ	จำนวนข้อ คำถามที่ ออก	จำนวนข้อ คำถามที่ใช้ จริง
1) อธิบาย หลักการทำงาน ของอินดิเค เตอร์ 2) อธิบาย สมบัติ องค์ประกอบ และประโยชน์	1) อินดิเคเตอร์ 2) หลักการของ บัฟเฟอร์ 3) การเตรียม บัฟเฟอร์	1) ความสามารถในการบอก ความหมายของตัวแทนทาง ความคิด	2	1
		2) ความสามารถในการแปลความ ระหว่างตัวแทนความคิดในระดับ เดียวกัน	2	1
		3) ความสามารถในการแปลความ ระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่	1	1

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	ด้านของสมรรถนะ	จำนวนข้อ คำถามที่ ออก	จำนวนข้อ คำถามที่ใช้ จริง
ของ สารละลาย บัฟเฟอร์		แตกต่างกัน		
		4) ความสามารถในการใช้ตัวแทน ความคิดในการอธิบาย	1	1
		5) ความสามารถในการเชื่อมโยง ระหว่างตัวแทนความคิดกับ แนวคิดทางเคมี	1	1
รวม	3	5	7	5

ตารางที่ 10 รายละเอียดของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ชุดที่ 4

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	ด้านของสมรรถนะ	จำนวนข้อ คำถามที่ ออก	จำนวนข้อ คำถามที่ใช้ จริง
ทดลองและ อธิบายหลักการ การไทเทรต และเลือกใช้ อินดิเคเตอร์ที่ เหมาะสม สำหรับการ ไทเทรตกรด- เบส	1) หลักการ ไทเทรต 2) กราฟ ความสัมพันธ์ ระหว่าง pH กับปริมาณ กรด-เบสที่เติม	1) ความสามารถในการบอก ความหมายของตัวแทนทาง ความคิด	2	1
		2) ความสามารถในการแปลความ ระหว่างตัวแทนความคิดในระดับ เดียวกัน	2	1
		3) ความสามารถในการแปลความ ระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่ แตกต่างกัน	1	1
		4) ความสามารถในการใช้ตัวแทน ความคิดในการอธิบาย	1	1
		5) ความสามารถในการเชื่อมโยง ระหว่างตัวแทนความคิดกับ แนวคิดทางเคมี	1	1

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	ด้านของสมรรถนะ	จำนวนข้อ คำถามที่ ออก	จำนวนข้อ คำถามที่ใช้ จริง
รวม	2	5	7	5

2.4 ดำเนินการสร้างเกณฑ์การให้คะแนนโดยอ้างอิงองค์ประกอบแต่ละด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Sim and Daniel (2014) ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

ด้าน ที่	ด้านของ สมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	คะแนน		
			0	1	2
1	ความสามารถ ในการบอก ความหมาย ของตัวแทน ความคิด	ความ สอดคล้องของ คำอธิบายที่มี ต่อตัวแทน ความคิดที่ กำหนด	นักเรียนไม่เขียน คำตอบ หรือ สร้างคำอธิบายที่ ไม่สอดคล้องกับ ตัวแทนความคิดที่ กำหนด	นักเรียนสามารถ สร้างคำอธิบายที่ สอดคล้องกับ ตัวแทนความคิดที่ กำหนดได้บางส่วน	นักเรียนสามารถ สร้างคำอธิบายที่ สอดคล้องกับ ตัวแทนความคิดที่ กำหนดได้ครบถ้วน ทั้งหมด
2	ความสามารถ ในการแปล ความระหว่าง ตัวแทน ความคิดใน ระดับเดียวกัน	ความ สอดคล้องใน การใช้ตัวแทน ความคิดใน การอธิบาย ตัวแทน ความคิดใน ระดับเดียวกัน	นักเรียนไม่เขียน คำตอบ หรือ นักเรียนไม่ สามารถเชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่าง 1) ภาพ การทดลองจริง กับผลการ ทดลอง/การ สังเกต หรือ 2) ภาพโมเลกุลกับ ภาพโมเลกุล	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่าง 1) ภาพ การทดลองจริงกับ ผลการทดลอง/ การสังเกต หรือ 2) ภาพโมเลกุล กับภาพโมเลกุล หรือ 3) สมการ เคมีกับสมการทาง คณิตศาสตร์ได้	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่าง 1) ภาพ การทดลองจริงกับ ผลการทดลอง/ การสังเกต หรือ 2) ภาพโมเลกุลกับ ภาพโมเลกุล หรือ 3) สมการเคมีกับ สมการทาง คณิตศาสตร์ได้

ด้าน ที่	ด้านของ สมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	คะแนน		
			0	1	2
			หรือ 3) สมการ เคมีกับสมการ ทางคณิตศาสตร์ ได้	บางประเด็น	ครบถ้วนทุก ประเด็น
3	ความสามารถ ในการแปล ความระหว่าง ตัวแทน ความคิดใน ระดับที่ แตกต่างกัน	ความ สอดคล้องใน การใช้ตัวแทน ความคิดใน การอธิบาย ตัวแทน ความคิดต่าง ระดับ	นักเรียนไม่เขียน คำตอบ หรือ นักเรียนไม่ สามารถเชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่าง 1) ภาพ การทดลองจริง กับสมการ/สูตร เคมี 2) ภาพการ ทดลองจริงกับ ภาพโมเลกุล หรือ 3) สมการ/ สูตรเคมีกับภาพ โมเลกุลได้	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่าง 1) ภาพ การทดลองจริงกับ สมการ/สูตรเคมี 2) ภาพการ ทดลองจริงกับ ภาพโมเลกุล หรือ 3) สมการ/สูตร เคมีกับภาพ โมเลกุลได้บาง ประเด็น	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่าง 1) ภาพ การทดลองจริงกับ สมการ/สูตรเคมี 2) ภาพการ ทดลองจริงกับ ภาพโมเลกุล หรือ 3) สมการ/สูตร เคมีกับภาพ โมเลกุลได้ ครบถ้วนทุก ประเด็น
4	ความสามารถ ในการใช้ ตัวแทน ความคิดใน การอธิบาย	ความ สอดคล้องของ คำอธิบายกับ ตัวแทน ความคิดที่ นักเรียน นำเสนอ	นักเรียนไม่เขียน คำตอบ หรือ ไม่ สามารถสร้าง อธิบายที่ สอดคล้องกับ ตัวแทนความคิดที่ นักเรียนเลือกใช้/ นำเสนอเกี่ยวกับ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมห ภาค ระดับ หรือระดับ	นักเรียนสามารถ สร้างอธิบายที่ สอดคล้องกับ ตัวแทนความคิดที่ นักเรียนเลือกใช้/ นำเสนอเกี่ยวกับ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมห ภาค ระดับจุลภาค หรือระดับ สัญลักษณ์ ได้	นักเรียนสามารถ สร้างอธิบายที่ สอดคล้องกับ ตัวแทนความคิดที่ นักเรียนเลือกใช้/ นำเสนอเกี่ยวกับ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมห ภาค ระดับจุลภาค หรือระดับ สัญลักษณ์ ได้

ด้าน ที่	ด้านของ สมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	คะแนน		
			0	1	2
			จุลภาค หรือ ระดับสัญลักษณ์ ได้	บางส่วน	ครบถ้วนทุก ประเด็น
5	ความสามารถ ในการ เชื่อมโยง ระหว่าง ตัวแทน ความคิดกับ แนวคิดทาง เคมี	จำนวนของ ระดับตัวแทน ความคิดที่ใช้	นักเรียนไม่เขียน คำตอบ หรือ ไม่ สามารถใช้ตัวแทน ความคิดที่ แตกต่างกัน มากกว่า 1 ระดับ ในการอธิบาย แนวคิดทั้งใน ระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับ สัญลักษณ์ ได้	นักเรียนสามารถใช้ ตัวแทนความคิดที่ แตกต่างกัน มากกว่า 1 ระดับ ในการอธิบาย แนวคิดทั้งใน ระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือ ระดับสัญลักษณ์ ได้บางส่วน	นักเรียนสามารถใช้ ตัวแทนความคิดที่ แตกต่างกัน มากกว่า 1 ระดับ ในการอธิบาย แนวคิดทั้งใน ระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือ ระดับสัญลักษณ์ ได้ครบถ้วนทุก ประเด็น

2.5 นำแบบวัดและเกณฑ์การให้คะแนนระดับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบวัดและเกณฑ์การให้คะแนนระดับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยมีการแก้ไขจากอาจารย์ที่ปรึกษาดังนี้

2.5.1 แก้ไขรายละเอียดของเกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดทั้ง 4 ชุด ให้มีความชัดเจนมากขึ้น

2.5.2 ปรับการใช้ภาษาให้คำถามอ่านเข้าใจง่ายมากยิ่งขึ้น

2.6 นำแบบวัดและเกณฑ์การให้คะแนนระดับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขและการพิจารณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แล้ว จากนั้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญชุดเดียวกับที่ประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อ

คำถามกับกรอบการประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยการตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาให้คะแนน ดังนี้

คะแนน +1 คือ เมื่อแน่ใจว่ามีความสอดคล้องของข้อคำถามกับด้านของสมรรถนะ

คะแนน 0 คือ เมื่อไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องของข้อคำถามกับด้านของสมรรถนะ

คะแนน -1 คือ เมื่อแน่ใจว่าไม่มีความสอดคล้องของข้อคำถามกับด้านของสมรรถนะ

โดยดัชนีความสอดคล้องจะต้องอยู่ระหว่าง 0.50-1.00 จึงถือว่าข้อคำถามมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ แสดงว่าแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดมีความสอดคล้องตามกรอบการประเมินสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด แล้วเลือกแบบวัดที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไปมาสร้างแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ถ้าข้อคำถามมีค่า IOC ต่ำกว่า 0.50 ควรพิจารณาปรับปรุงหรือตัดทิ้ง จากการประเมินความสอดคล้องของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 2 3 และ 4 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.67-1.00 ซึ่งหมายถึงข้อคำถามมีความสอดคล้องกับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้ง 4 ชุด

จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประเมินค่า (rating scale) โดยแบ่งระดับการประเมินได้ 5 ระดับ ดังนี้

5 หมายถึง เหมาะสมมากที่สุด

4 หมายถึง เหมาะสมมาก

3 หมายถึง เหมาะสมปานกลาง

2 หมายถึง เหมาะสมน้อย

1 หมายถึง เหมาะสมน้อยที่สุด

จากนั้นพิจารณาคุณภาพเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยหาค่าเฉลี่ยและนำมาเทียบกับเกณฑ์ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง เกณฑ์การให้คะแนนมีความเหมาะสมมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง เกณฑ์การให้คะแนนมีความเหมาะสมมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง เกณฑ์การให้คะแนนมีความเหมาะสมปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง เกณฑ์การให้คะแนนมีความเหมาะสมน้อย

คะแนนเฉลี่ย 0.00-1.50 หมายถึง เกณฑ์การให้คะแนนมีความเหมาะสมน้อยที่สุด

โดยจะนำเกณฑ์การให้คะแนนที่มีค่าความเหมาะสมที่มีค่าเฉลี่ย 3.51-5.00 จัดเป็นเกณฑ์การให้คะแนนที่มีความเหมาะสมได้ จากผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนน สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 2 3 และ 4 ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.62 4.71 4.71 และ 4.71 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง เกณฑ์การประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเหมาะสมมากที่สุด จากนั้นทำการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน โดยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

2.6.1 อาจมีการเพิ่มจำนวนข้อย่อยให้มากขึ้น เนื่องจากมีคำถามหลายข้อและเกณฑ์หลายเกณฑ์

2.6.2 อาจปรับแก้ข้อคำถามให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นว่าต้องการให้นักเรียนเขียนสิ่งใดบ้าง

2.7 ทำการปรับปรุงแก้ไขแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดให้มีความเหมาะสมตามคำแนะนำของคณะผู้เชี่ยวชาญ

2.8 นำแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความเหมาะสม ความยากง่าย (p) ค่าการจำแนก (r) ของแบบวัดและแนวทางการทำแบบวัดของนักเรียน เมื่อนำแผนแบบวัดที่สร้างไปทดลองใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างแล้ว มีการแก้ไขดังนี้

2.8.1 แก้ไขรายละเอียดเกี่ยวกับสถานการณ์ให้มีความซับซ้อนน้อยลง

2.8.2 แก้ไขคำถามในใบกิจกรรมให้มีความชัดเจนและถูกต้องมากขึ้น

2.9 นำผลการทดสอบหาความยากและอำนาจจำแนกโดยใช้สูตรของวิทนีและซาเบอร์ส (Whitney and Sabers) โดยมีเกณฑ์ค่าความยาก (p) อยู่ระหว่าง 0.20-0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) มีค่า 0.20 ขึ้นไป และหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟา ( $\alpha$ -coefficient) เมื่อเลือกข้อสอบชุดละ 5 ข้อไปใช้จริง พบว่าแบบวัดมีความยาก (p) อยู่ในช่วง 0.24 – 0.78 และอำนาจจำแนก (r) อยู่ในช่วง 0.21 – 1.00 ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 0.71 0.74 0.71 และ 0.75 ตามลำดับ

3.10 ดำเนินการพิมพ์นำแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/10 ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างต่อไป

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบการทดลองเบื้องต้น (pre-experimental research) โดยจะศึกษาแบบอนุกรมเวลาแบบกลุ่มเดียว (one group time series design) เพื่อเปรียบเทียบระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. ชั้นเลือกตัวอย่าง 1 กลุ่ม เพื่อรับสิ่งที่จะทำการทดลอง

ผู้วิจัยทำการสังเกตชั้นเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสารคามพิทยาคมในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 ซึ่งสังเกตการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูและนักเรียน เพื่อสำรวจปัญหาของนักเรียนจากนั้นทำการเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (cluster random sampling) โดยใช้ชั้นเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม

2. ชั้นวัดค่าของข้อมูลในตัวแปรตามจากกลุ่มตัวอย่าง ก่อนที่ทำการทดลองจะเริ่มต้นขึ้น

ผู้วิจัยทำการวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดทางหลากหลาย ด้วยแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 จำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลอง จำนวน 1 สถานการณ์

3. ชั้นให้สิ่งที่จะทดลองหรือดำเนินการจัดการเรียนรู้ทางการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย จำนวน 8 แผน เพื่อพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส โดยเมื่อจบแผนที่ 3 ผู้วิจัยทำการวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ด้วยแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 2 จำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลอง จำนวน 1 สถานการณ์ และเมื่อจบแผนที่ 6 ผู้วิจัยทำการวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ด้วยแบบ

วัดสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 3 จำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลอง จำนวน 1 สถานการณ์

4. ชั้นวัดค่าของข้อมูลในตัวแปรตามจากกลุ่มตัวอย่าง ภายหลังจากทดลองสิ้นสุดลง

ผู้วิจัยทำการวัดสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ด้วยแบบวัดสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิด ชุดที่ 4 จำนวน 5 ข้อที่อิงสถานการณ์การทดลอง/จำลอง จำนวน 1 สถานการณ์

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการแบบวัดสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิดก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

1. ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแบบวัดสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กรด-เบส ทั้ง 4 ชุด ไปทำการวิเคราะห์ โดยนำคำตอบจากแบบวัดของนักเรียนมาให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนที่ตั้งไว้

2. ผู้วิจัยนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติพื้นฐาน โดยการหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนก่อนการจัดการเรียนรู้ ระหว่างการจัดการเรียนรู้ และหลังการจัดการเรียนรู้ที่ได้ จากนั้นคำนวณคะแนนเป็นร้อยละ เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปเทียบกับระดับของสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Sim and Daniel (2014) ทั้งแบบรายด้านและภาพรวม ซึ่งแบ่งสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง โดยพิจารณาจากคะแนนจากแบบวัดสมรณะการนำเสนอตัวแทนความคิด หากได้คะแนนต่ำกว่าร้อยละ 25 จะจัดอยู่ระดับต่ำ หากได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 25-75 จะจัดอยู่ระดับปานกลาง และหากได้คะแนนสูงกว่าร้อยละ 75 จะจัดอยู่ระดับสูง

3. ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากทั้ง 4 ช่วงเวลา เพื่อดูแนวโน้มของจำนวนนักเรียนที่มีระดับสมรณะสูง ปานกลาง และต่ำ และเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบวัดชุดที่ 1 ไปชุดที่ 2 และจากแบบวัดชุดที่ 2 ไปชุดที่ 3 และจากแบบวัดชุดที่ 3 กับชุดที่ 4 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา

## สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

### 1. สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพเครื่องมือ ได้แก่

1.1 ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (IOC) สามารถหาได้จากสูตร  
ดังนี้

$$IOC = \frac{\Sigma R}{n}$$

เมื่อ IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์  
 $\Sigma R$  คือ ผลรวมของคะแนนพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ  
 n คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

1.2 ค่าความยากของแบบวัดสมรรถนะ (Difficulty Index) ตามสูตรของ Whitney & Sabers ดังนี้

$$P = \frac{R}{T}$$

เมื่อ R คือ จำนวนผู้ตอบที่ตอบถูกในข้อคำถามนั้น  
 T คือ จำนวนผู้ตอบทั้งหมด

1.3 ค่าอำนาจการจำแนก (r) ตามสูตรของ Whitney & Sabers ดังนี้

$$r = \frac{U - L}{\frac{N}{2}}$$

เมื่อ U คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มที่มีคะแนนสูงที่ตอบถูกในข้อคำถามนั้น  
 L คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มที่มีคะแนนต่ำที่ตอบถูกในข้อคำถามนั้น  
 N คือ จำนวนผู้ตอบทั้งหมด

1.4 ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้  $\alpha$ -coefficient (Cronbach's Alpha) ซึ่งมีสูตร  
ดังนี้

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left( 1 - \frac{\Sigma S_i^2}{S_t^2} \right)$$

เมื่อ K คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มที่มีคะแนนสูงที่ตอบถูกในข้อคำถามนั้น  
 $S_i^2$  คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มที่มีคะแนนต่ำที่ตอบถูกในข้อคำถามนั้น  
 $S_t^2$  คือ จำนวนผู้ตอบทั้งหมด

## 2. สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

### 2.1 ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) สามารถหาได้จากสูตร

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}$$

เมื่อ	$\bar{x}$	คือ ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์
	$\Sigma x$	คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
	$n$	คือ จำนวนข้อมูล

### 2.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) สามารถหาได้จากสูตร

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

เมื่อ	S.D.	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	$x$	คือ ค่าของข้อมูล
	$n$	คือ จำนวนข้อมูล

### 2.3 ร้อยละ (%) สามารถหาได้จากสูตร

$$\% = \frac{n}{N} \times 100$$

เมื่อ	$\frac{n}{N}$	คือ สัดส่วนที่ต้องการหาร้อยละ
-------	---------------	-------------------------------

## 3. สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

3.1 การเปรียบเทียบแนวโน้มของจำนวนนักเรียนมีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดเห็นในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ในหลายช่วงเวลาหลังจากการได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย โดยใช้สถิติ Cochran's Q Test สามารถหาได้จากสูตร

$$Q = \frac{(k - 1) \sum_{i=1}^N \left( T_i - \frac{GT}{N} \right)^2}{\sum_{j=1}^k C_j - \frac{GT^2}{N}}$$

เมื่อ	Q	คือ ค่าทางสถิติของ Cochran's Q Test
	K	คือ จำนวนเงื่อนไขหรือการวัด (เช่น จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ)
	N	คือ จำนวนผู้เข้าร่วมทดลอง (จำนวนกลุ่มตัวอย่าง)

$T_i$  คือ ผลรวมของค่าที่ได้จากผู้เข้าร่วมคนที่  $i$  ในทุกเงื่อนไข

$GT$  คือ ผลรวมของค่าทั้งหมดในตารางข้อมูล

$C_j$  คือ ผลรวมของค่าที่ได้จากเงื่อนไขที่  $j$

3.2 การเปรียบเทียบแนวโน้มของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดอยู่ในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ใน 2 ช่วงเวลาหลังจากการได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย โดยใช้สถิติ McNemar Test สามารถหาได้จากสูตร

$$x^2 = \frac{(B - C)^2}{B + C}$$

เมื่อ

$X^2$  คือ ค่าทางสถิติของ McNemar Test

$B$  คือ จำนวนตัวอย่างที่เปลี่ยนจากไม่สนใจ (0) เป็นที่สนใจ (1)

$C$  คือ จำนวนตัวอย่างที่เปลี่ยนจากที่สนใจ (1) เป็นไม่สนใจ (0)

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานและการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยขอเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายตามลำดับสาระสำคัญดังนี้

1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล
2. ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล
3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้เข้าใจตรงกันดังนี้

n	แทน จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง
$\bar{X}$	แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตศาสตร์
S.D.	แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ด้านที่ 1	แทน ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด
ด้านที่ 2	แทน ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน
ด้านที่ 3	แทน ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่ต่างกัน
ด้านที่ 4	แทน ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย
ด้านที่ 5	แทน ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี

## ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานและการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์รายด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานและการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานและการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส ที่ได้รับการจัดเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบวัดจำนวนทั้งหมด 4 ชุด ใช้เกณฑ์ของ Sim and Daniel (2014) และนำคะแนนของนักเรียนแต่ละคนไปเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ได้ผลการวิจัยดังนี้

พูนุ ปณ ทิโต ชีเว

ตารางที่ 12 จำนวนนักเรียนในสมรรถนะระดับต่าง ๆ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

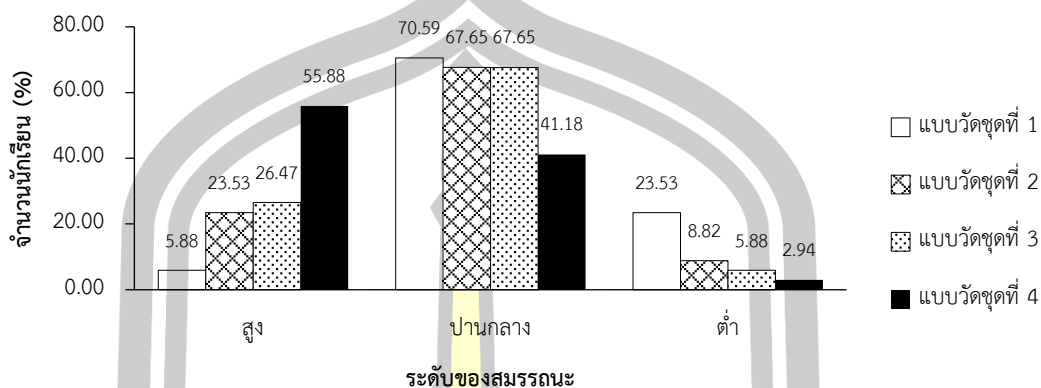
แบบวัดชุดที่	ระดับของ สมรรถนะ	คะแนน (%)	จำนวนนักเรียน (คน)	จำนวนนักเรียน (%)
1	สูง	>75	2	5.88
	กลาง	25-75	24	70.59
	ต่ำ	<25	8	23.53
2	สูง	>75	8	23.53
	กลาง	25-75	23	67.65
	ต่ำ	<25	3	8.82
3	สูง	>75	9	26.47
	กลาง	25-75	23	67.65
	ต่ำ	<25	2	5.88
4	สูง	>75	19	55.88
	กลาง	25-75	14	41.18
	ต่ำ	<25	1	2.49

จากตารางที่ 12 เมื่อทำการสำรวจระดับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดด้วยแบบวัดชุดที่ 1 2 และ 3 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดระดับปานกลาง ในขณะที่แบบวัดชุดที่ 4 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดระดับสูง

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการนำจำนวนของนักเรียนที่ถูกจัดอยู่ในสมรรถนะระดับต่าง ๆ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด มาวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับสมรรถนะของนักเรียน ได้ผลการวิจัยดังนี้

พหุ ประถมศึกษา

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนในแต่ละระดับสมรรถนะ  
การนำเสนอตัวแทนความคิดจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด



รูปที่ 1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนในแต่ละระดับสมรรถนะ  
การนำเสนอตัวแทนความคิดจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

จากรูปที่ 1 พบว่าจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางและต่ำมีแนวโน้มที่เพิ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง

จากนั้นทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูง ปานกลาง และต่ำ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด ด้วยสถิติ Cochran's Q Test

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูง ปานกลาง และต่ำ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด ด้วยสถิติ Cochran's Q Test

ระดับของสมรรถนะ	N	Cochran's Q	df	p-value
สูง	34	21.805	3	<0.001*
ปานกลาง	34	9.659	3	0.022*
ต่ำ	34	8.700	3	0.035*

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 13 พบว่าค่า p-value จากการเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงจากแบบวัดทั้ง 4 ชุดมีค่าน้อยกว่า 0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงจากแบบวัดทั้ง 4 ชุดมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05 ค่า p-value จากการ

เปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางจากแบบวัดชุดทั้ง 4 ชุดมีค่าน้อยกว่า 0.022 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางจากแบบวัดทั้ง 4 ชุดมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05 และค่า p-value จากการเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำจากแบบวัดชุดทั้ง 4 ชุดมีค่าน้อยกว่า 0.035 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำจากแบบวัดทั้ง 4 ชุดมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05

จากนั้นผู้วิจัยนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์แบบวัดเป็นรายคู่ เพื่อหาว่าคูใดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ได้ผลการวิจัยดังนี้

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 1 ไป 2	0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	1 (สูง)	รวม
0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	25	7	32
1 (สูง)	1	1	2
รวม	26	8	34

จากตารางที่ 14 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 พบว่ามี 25 คนอยู่ในระดับปานกลางหรือต่ำและยังคงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ มี 7 คนที่เป็นระดับปานกลางหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง มี 1 คนที่เป็นระดับสูงเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ และมี 1 คนที่เป็นระดับสูงและยังคงเป็นระดับสูง

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 2 ไป 3	0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	1 (สูง)	รวม
0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	19	7	26
1 (สูง)	6	2	8
รวม	25	9	34

จากตารางที่ 15 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 พบว่ามี 19 คนอยู่ในระดับปานกลางหรือต่ำและยังคงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ มี 7 คนที่เป็นระดับปานกลางหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง มี 6 คนที่เป็นระดับสูงเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ และมี 2 คนที่เป็นระดับสูงและยังคงเป็นระดับสูง

ตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 3 ไป 4	0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	1 (สูง)	รวม
0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	12	13	25
1 (สูง)	3	6	9
รวม	25	9	34

จากตารางที่ 16 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 พบว่ามี 12 คนอยู่ในระดับปานกลางหรือต่ำและยังคงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ มี 13 คนที่เป็นระดับปานกลางหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง มี 3 คนที่เป็นระดับสูงเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ มี 6 คนที่เป็นระดับสูงและยังคงเป็นระดับสูง

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 1 ไป 4	0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	1 (สูง)	รวม
0 (ปานกลาง หรือ ต่ำ)	14	18	32
1 (สูง)	1	1	2
รวม	15	19	34

จากตารางที่ 17 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 พบว่ามี 14 คนอยู่ในระดับปานกลางหรือต่ำและยังคงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ มี 18 คนที่เป็นระดับปานกลางหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูง มี 1 คนที่เป็นระดับสูงเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลางหรือต่ำ และมี 1 คนที่เป็นระดับสูงและยังคงเป็นระดับสูง

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 1 ไป 2	0 (สูง หรือ ต่ำ)	1 (ปานกลาง)	รวม
0 (สูง หรือ ต่ำ)	3	7	10
1 (ปานกลาง)	8	16	24
รวม	11	23	34

จากตารางที่ 18 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 พบว่ามี 3 คนอยู่ในระดับสูงหรือต่ำและยังคงเป็นระดับสูงหรือต่ำ มี 7 คนที่เป็นระดับสูงหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลาง มี 8 คนที่เป็นระดับปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือต่ำ และมี 16 คน ที่เป็นระดับปานกลางและยังคงเป็นระดับปานกลาง

ตารางที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 2 ไป 3	0 (สูง หรือ ต่ำ)	1 (ปานกลาง)	รวม
0 (สูง หรือ ต่ำ)	6	5	11
1 (ปานกลาง)	5	18	23
รวม	11	23	34

จากตารางที่ 19 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 พบว่ามี 6 คนอยู่ในระดับสูงหรือต่ำและยังคงเป็นระดับสูงหรือต่ำ มี 5 คนที่เป็นระดับสูงหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลาง มี 5 คนที่เป็นระดับปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือต่ำ และมี 18 คน ที่เป็นระดับปานกลางและยังคงเป็นระดับปานกลาง

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 3 ไป 4	0 (สูง หรือ ต่ำ)	1 (ปานกลาง)	รวม
0 (สูง หรือ ต่ำ)	8	3	11
1 (ปานกลาง)	12	11	23
รวม	20	14	34

จากตารางที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 พบว่ามี 8 คนอยู่ในระดับสูงหรือต่ำและยังคงเป็นระดับสูงหรือต่ำ มี 3 คนที่เป็นระดับสูงหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลาง มี 12 คนที่เป็นระดับปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือต่ำ และมี 11 คนที่เป็นระดับปานกลางและยังคงเป็นระดับปานกลาง

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 1 ไป 4	0 (สูง หรือ ต่ำ)	1 (ปานกลาง)	รวม
0 (สูง หรือ ต่ำ)	7	3	10
1 (ปานกลาง)	13	11	24
รวม	20	14	34

จากตารางที่ 21 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับปานกลางระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 พบว่ามี 7 คนอยู่ในระดับสูงหรือต่ำและยังคงเป็นระดับสูงหรือต่ำ มี 3 คนที่เป็นระดับสูงหรือต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับปานกลาง มี 13 คนที่เป็นระดับปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือต่ำ และมี 11 คนที่เป็นระดับปานกลางและยังคงเป็นระดับปานกลาง

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 1 ไป 2	0 (สูง หรือ ปานกลาง)	1 (ต่ำ)	รวม
0 (สูง หรือ ปานกลาง)	23	3	26
1 (ต่ำ)	8	0	8
รวม	31	3	34

จากตารางที่ 22 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 2 พบว่ามี 23 คนอยู่ในระดับสูงหรือปานกลางและยังคงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง มี 3 คนที่เป็นระดับสูงหรือปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับต่ำ มี 8 คนที่เป็นระดับต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง และไม่มีคนที่เป็นระดับต่ำและยังคงเป็นระดับต่ำ

ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 2 ไป 3	0 (สูง หรือ ปานกลาง)	1 (ต่ำ)	รวม
0 (สูง หรือ ปานกลาง)	30	1	31
1 (ต่ำ)	2	1	3
รวม	31	3	34

จากตารางที่ 23 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 2 และ 3 พบว่ามี 30 คนอยู่ในระดับสูงหรือปานกลางและยังคงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง มี 1 คนที่เป็นระดับสูงหรือปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับต่ำ มี 2 คนที่เป็นระดับต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง และมี 1 คนที่เป็นระดับต่ำและยังคงเป็นระดับต่ำ

ตารางที่ 24 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 3 ไป 4	0 (สูง หรือ ปานกลาง)	1 (ต่ำ)	รวม
0 (สูง หรือ ปานกลาง)	31	1	32
1 (ต่ำ)	2	0	2
รวม	33	1	34

จากตารางที่ 24 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 และ 4 พบว่า มี 31 คนอยู่ในระดับสูงหรือปานกลางและยังคงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง มี 1 คนที่เป็นระดับสูงหรือปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับต่ำ มี 2 คนที่เป็นระดับต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง และไม่มีคนที่เป็นระดับต่ำและยังคงเป็นระดับต่ำ

ตารางที่ 25 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 ด้วยสถิติ McNemar Test

ชุดที่ 1 ไป 4	0 (สูง หรือ ปานกลาง)	1 (ต่ำ)	รวม
0 (สูง หรือ ปานกลาง)	25	1	26
1 (ต่ำ)	8	0	8
รวม	33	1	34

จากตารางที่ 25 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 และ 4 พบว่ามี 25 คนอยู่ในระดับสูงหรือปานกลางและยังคงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง มี 1 คนที่เป็นระดับสูงหรือปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นระดับต่ำ มี 8 คนที่เป็นระดับต่ำเปลี่ยนแปลงเป็นระดับสูงหรือปานกลาง และไม่มีคนที่เป็นระดับต่ำและยังคงเป็นระดับต่ำ

จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลจากการเปรียบเทียบรายคู่ข้างต้นมาวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 26 ค่าทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนในสมรรถนะระดับต่าง ๆ แบบรายคู่จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด ด้วยสถิติ McNemar Test

ระดับ ของสมรรถนะ	คู่ที่เปรียบเทียบ	$\chi^2$ (Chi-square value)	df	p-value
สูง	ชุดที่ 1 เทียบกับ 2	0.828	1	0.070
สูง	ชุดที่ 2 เทียบกับ 3	0.012	1	1.000
สูง	ชุดที่ 3 เทียบกับ 4	0.577	1	0.021*
สูง	ชุดที่ 1 เทียบกับ 4	0.030	1	<0.001*
กลาง	ชุดที่ 1 เทียบกับ 2	0.036	1	1.000
กลาง	ชุดที่ 2 เทียบกับ 3	3.659	1	1.000
กลาง	ชุดที่ 3 เทียบกับ 4	1.298	1	0.035*
กลาง	ชุดที่ 1 เทียบกับ 4	0.731	1	0.021*
ต่ำ	ชุดที่ 1 เทียบกับ 2	1.012	1	0.227
ต่ำ	ชุดที่ 2 เทียบกับ 3	4.478	1	1.000
ต่ำ	ชุดที่ 3 เทียบกับ 4	0.064	1	1.000
ต่ำ	ชุดที่ 1 เทียบกับ 4	0.317	1	0.039*

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

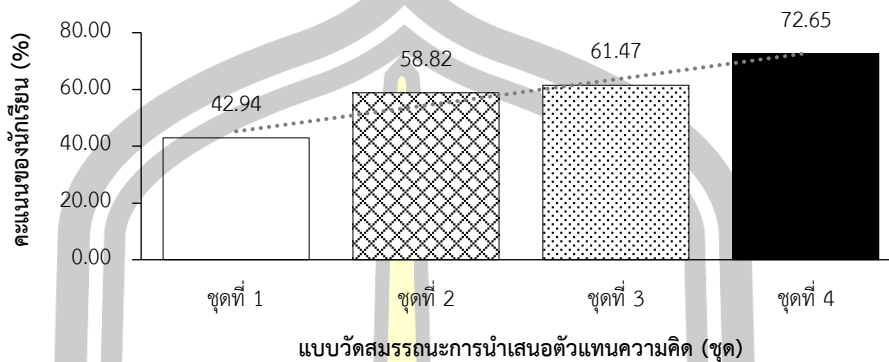
จากตารางที่ 26 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบจำนวนของนักเรียนที่มีสมรรถนะสูงจากแบบวัดทั้ง 4 ชุดโดยการเทียบเป็นรายคู่พบว่าข้อมูลชุดที่ 1 กับ 2 และชุดที่ 2 กับ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05 ข้อมูลชุดที่ 3 กับ 4 และ ชุดที่ 1 กับ 4 มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนของนักเรียนที่มีสมรรถนะปานกลางจากแบบวัดทั้ง 4 ชุดโดยการเทียบเป็นรายคู่พบว่าข้อมูลชุดที่ 1 กับ 2 และชุดที่ 2 กับ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ข้อมูลชุดที่ 3 กับ 4 และ ชุดที่ 1 กับ 4 มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนของนักเรียนที่มีสมรรถนะต่ำจากแบบวัดทั้ง 4 ชุดโดยการเทียบเป็นรายคู่พบว่าข้อมูลชุดที่ 1 กับ 2 ชุดที่ 2 กับ 3 และชุดที่ 3 กับ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ข้อมูลชุดที่ 1 กับ 4 มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยทำการพิจารณาคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด เพื่อพิจารณาแนวโน้มของคะแนนสอบ ได้ผลการวิจัยดังนี้

แนวโน้มคะแนนของแบบวัดสมรรถนะ  
การนำเสนอตัวแทนความคิดทั้ง 4 ชุด



รูปที่ 2 แนวโน้มคะแนนของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้ง 4 ชุด

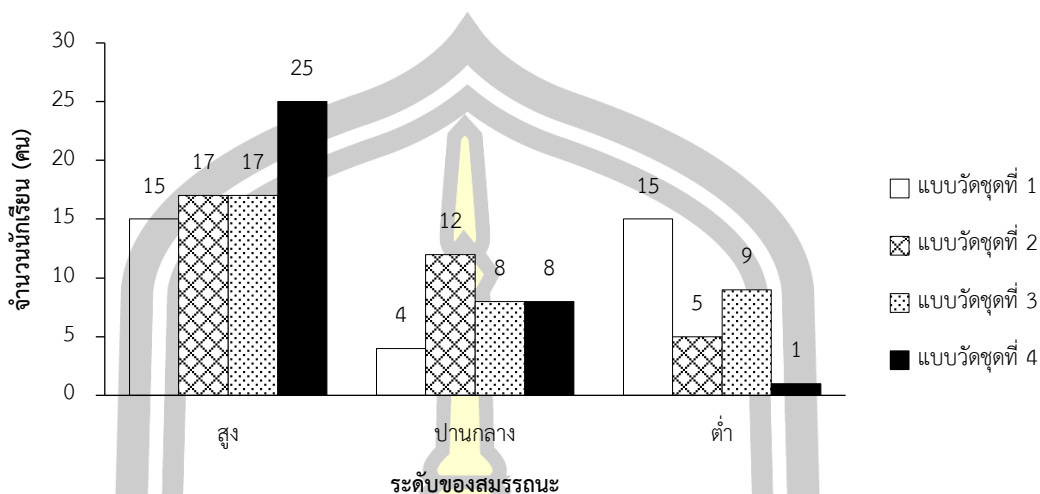
จากรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคะแนนของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนจากแบบวัดชุดที่ 1 2 3 และ 4 พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนเท่ากับ 42.99 (42.94%) 5.88 (58.82%) 6.15 (61.47%) และ 7.26 (72.65%) คะแนน ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

**ตอนที่ 2** ผลการวิเคราะห์รายด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานและการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส

ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาระดับสมรรถนะของนักเรียนแบบรายด้านจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด โดยจะพิจารณาคะแนนเฉพาะข้อคำถามที่ใช้ประเมินองค์ประกอบในด้านนั้น ๆ เท่านั้น จากนั้นพิจารณาจำนวนของนักเรียนที่จัดอยู่ในระดับต่าง ๆ เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง มีผลการวิจัยดังนี้

พหุ ประถมศึกษา

### ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด

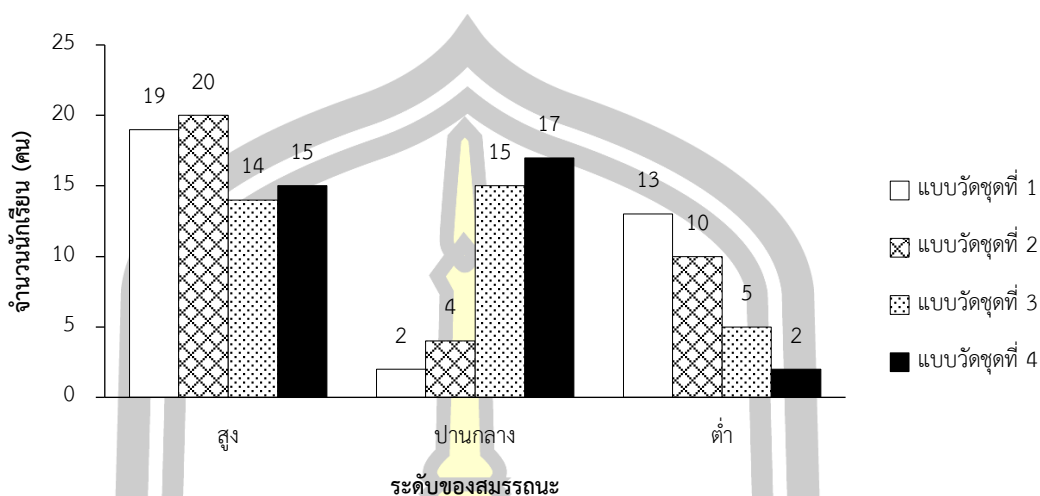


รูปที่ 3 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิดจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

จากรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับของความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิดของนักเรียนจากแบบวัดชุดที่ 1 2 3 และ 4 พบว่าจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิดในระดับสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถสร้างคำอธิบายที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่กำหนดได้ครบถ้วนทั้งหมด จำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิดในระดับปานกลางไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถสร้างคำอธิบายที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่กำหนดได้บางส่วน และจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิดในระดับต่ำมีแนวโน้มที่ลดลง โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะไม่เขียนคำตอบหรือไม่สามารถสร้างคำอธิบายที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่กำหนด

พูน ปณ ทิโต ชีเว

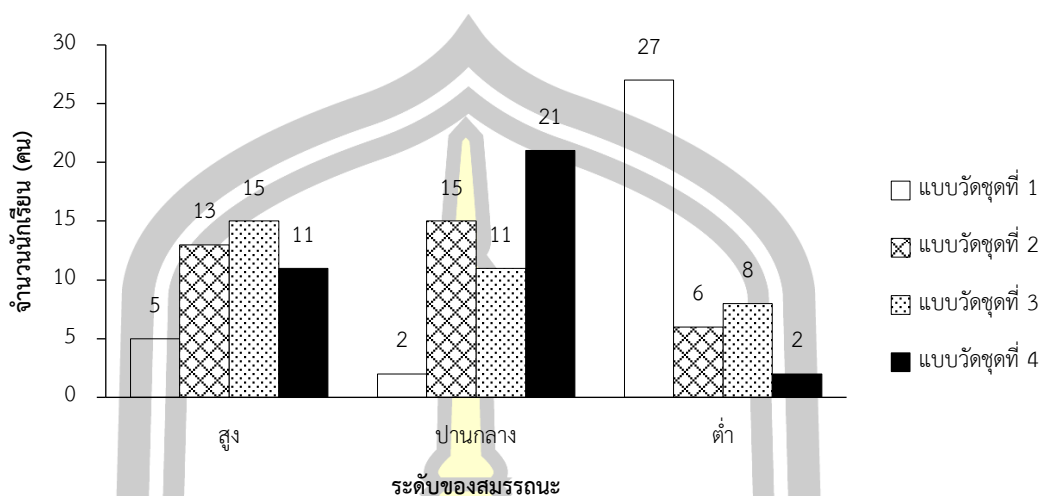
### ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน



รูปที่ 4 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกันจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

จากรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับของความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกันของนักเรียนจากแบบวัดชุดที่ 1 2 3 และ 4 พบว่าจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกันในระดับสูงมีแนวโน้มลดลง โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสมการเคมีกับสมการทางคณิตศาสตร์ได้ครบถ้วนทุกประเด็น จำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกันในระดับปานกลางมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสมการเคมีกับสมการทางคณิตศาสตร์ได้บางประเด็น และนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกันระดับต่ำมีแนวโน้มที่ลดลง โดยนักเรียนจะไม่เขียนคำตอบหรือไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสมการเคมีกับสมการทางคณิตศาสตร์ได้

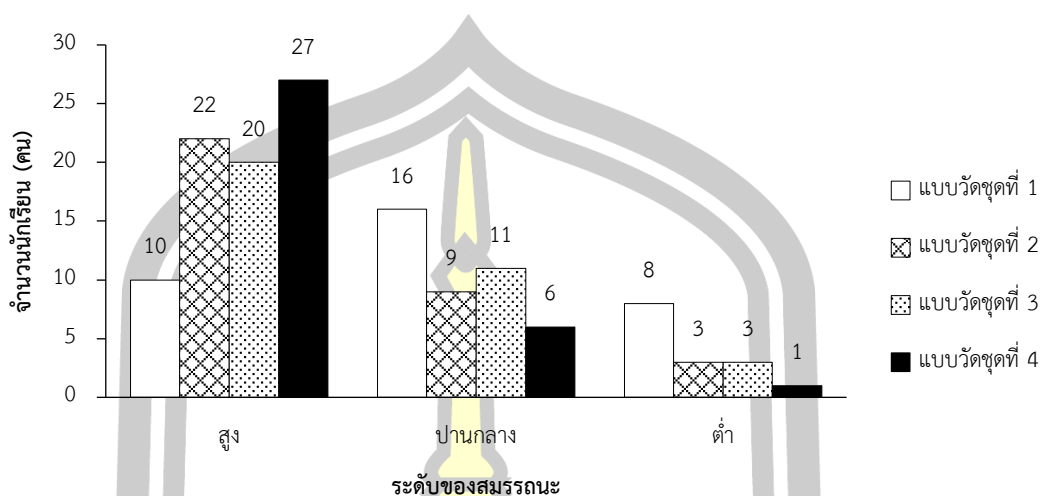
### ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่ต่างกัน



รูปที่ 5 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่ต่างกันจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

จากรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับของความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกันของนักเรียนจากแบบวัดชุดที่ 1 2 3 และ 4 พบว่าจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกันในระดับสูงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยนักเรียนกลุ่มนี้สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสมการ/สูตรเคมีกับภาพโมเลกุลได้ครบถ้วนทุกประเด็น จำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกันในระดับปานกลางมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสมการ/สูตรเคมีกับภาพโมเลกุลได้บางประเด็น และจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกันในระดับต่ำมีแนวโน้มที่ลดลง โดยนักเรียนจะไม่เขียนคำตอบหรือไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสมการ/สูตรเคมีกับภาพโมเลกุลได้

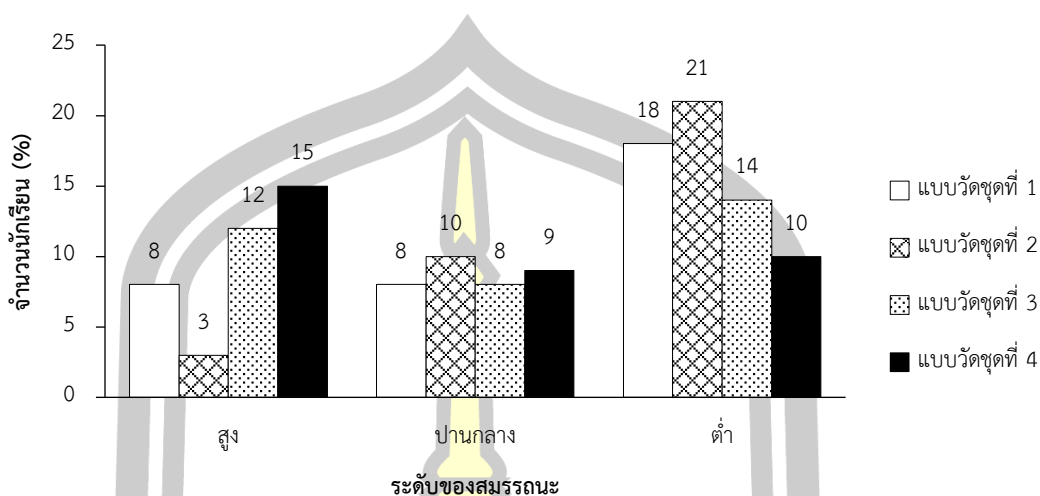
### ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย



รูปที่ 6 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับของความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายของนักเรียนจากแบบวัดชุดที่ 1 2 3 และ 4 พบว่าจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายในระดับสูงมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถสร้างอธิบายที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่นักเรียนเลือกใช้/นำเสนอเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ได้ครบถ้วนทุกประเด็น จำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายในระดับปานกลางมีแนวโน้มลดลง โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถสร้างอธิบายที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่นักเรียนเลือกใช้/นำเสนอเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ได้บางส่วน และจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายในระดับที่แตกต่างกันในระดับต่ำมีแนวโน้ม โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะไม่เขียนคำตอบหรือไม่สามารถสร้างอธิบายที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่นักเรียนเลือกใช้/นำเสนอเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ได้

### ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิด



รูปที่ 7 แนวโน้มการกระจายตัวของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับของความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดของนักเรียนจากแบบวัดชุดที่ 1 2 3 และ 4 พบว่าจำนวนนักเรียนที่ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดในระดับสูงมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถใช้ตัวแทนความคิดที่แตกต่างกันมากกว่า 1 ระดับในการอธิบายแนวคิดทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ได้ครบถ้วนทุกประเด็น จำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดในระดับปานกลางมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะสามารถใช้ตัวแทนความคิดที่แตกต่างกันมากกว่า 1 ระดับในการอธิบายแนวคิดทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ได้บางส่วน และจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดในระดับต่ำมีแนวโน้มลดลง โดยนักเรียนกลุ่มนี้จะไม่เขียนคำตอบหรือไม่สามารถใช้ตัวแทนความคิดที่แตกต่างกันมากกว่า 1 ระดับในการอธิบายแนวคิดทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาค หรือระดับสัญลักษณ์ได้

จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีระดับของสมรรถนะในแต่ละด้านต่าง ๆ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุดมาวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยสถิติ Cochran's Q Test ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนนักเรียนที่มีองค์ประกอบสมรรถนะในระดับต่าง ๆ จากแบบวัดทั้ง 4 ชุด ด้วยสถิติ Cochran's Q Test

องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)	ระดับของสมรรถนะย่อย		Cochran's Q	df	p-value
		N			
1) ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด	สูง	34	7.080	3	0.069
	ปานกลาง	34	4.800	3	0.187
	ต่ำ	34	17.833	3	<0.001*
2) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน	สูง	34	2.737	3	0.434
	ปานกลาง	34	24.714	3	<0.001*
	ต่ำ	34	11.838	3	0.008*
3) ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน	สูง	34	8.000	3	0.046*
	ปานกลาง	34	24.095	3	<0.001*
	ต่ำ	34	43.194	3	<0.001*
4) ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย	สูง	34	18.897	3	<0.001*
	ปานกลาง	34	6.913	3	0.075
	ต่ำ	34	7.465	3	0.058
5) ความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิด	สูง	34	10.800	3	0.013*
	ปานกลาง	34	0.418	3	0.937
	ต่ำ	34	7.432	3	0.059

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 27 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนที่มีความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิดในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ พบว่ามีเพียงนักเรียนที่มีความสามารถอยู่ในระดับต่ำเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่นักเรียนในสมรรถนะระดับสูงและปานกลางไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกันในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ พบว่านักเรียนที่มีความสามารถอยู่ในระดับ

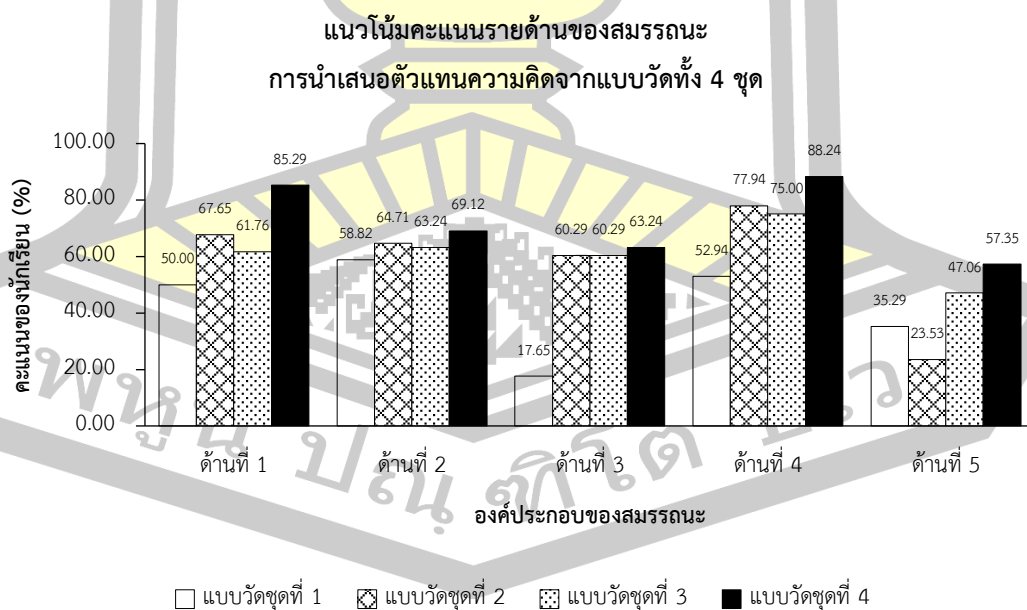
ปานกลางและต่ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญในกลุ่มนักเรียนสมรรถนะระดับสูง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนที่มีความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกันในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ พบว่านักเรียนที่มีความสามารถในทุกๆ ระดับ ทั้งระดับสูง ปานกลาง และต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนที่มีความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ พบว่ามีเพียงนักเรียนที่มีความสามารถอยู่ในระดับสูงเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่นักเรียนสมรรถนะระดับปานกลางและระดับต่ำไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนที่มีความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ พบว่ามีเพียงนักเรียนที่มีความสามารถอยู่ในระดับสูงเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่นักเรียนสมรรถนะระดับปานกลางและระดับต่ำไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยรายด้านของแต่ละองค์ประกอบของสมรรถนะของนักเรียนจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด เพื่อพิจารณาแนวโน้มของคะแนนสอบ ได้ผลการวิจัยดังนี้



รูปที่ 8 แนวโน้มคะแนนรายด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดจากแบบวัดทั้ง 4 ชุด

จากรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคะแนนรายด้านของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนจากแบบวัดชุดที่ 1 2 3 และ 4 พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบายและความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดในมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น



## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานและการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส สามารถสรุปผลได้ตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

1. ความมุ่งหมายของวิจัย
2. สรุปผล
3. อภิปรายผล
4. ข้อเสนอแนะ

#### ความมุ่งหมายของวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

#### สรุปผล

ผู้วิจัยได้สรุปผลตามความมุ่งหมาย ดังนี้

การศึกษการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ด้วยแบบวัดสมรรถนะจำนวน 4 ชุด จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 2 (5.88%) คน เป็น 8 (23.53%) 9 (26.47%) และ 19 (55.88%) คน ตามลำดับ จากนักเรียนทั้งหมด 34 คน ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทางกลับกัน จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 8 (23.53%) คน เหลือ 3 (8.82%) 2 (5.88%) และ 1 (2.49%) คน ตามลำดับ

จากนักเรียนทั้งหมด 34 คน ซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตารางที่ 12 และ 13 เมื่อพิจารณารายด้านของสมรรถนะพบว่าจำนวนของนักเรียนที่มีความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย และความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดกับแนวคิดในระดับสูงมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นและนักเรียนที่อยู่ในระดับต่ำมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนของนักเรียนที่มีสมรรถนะในระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 กับ 2 และชุดที่ 2 กับ 3 พบว่าจำนวนนักเรียนในระดับสูงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเทียบระหว่างแบบวัดชุดที่ 3 กับ 4 และชุดที่ 1 กับ 4 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนของนักเรียนที่มีสมรรถนะในระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 กับ 2 และชุดที่ 2 กับ 3 และชุดที่ 3 กับ 4 พบว่าจำนวนนักเรียนในระดับต่ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเทียบระหว่างชุดที่ 1 กับ 4

### อภิปรายผล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน ระหว่าง และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ด้วยแบบวัดสมรรถนะจำนวน 4 ชุดที่แตกต่างกัน พบว่าจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มจาก 2 (5.88%) เป็น 8 (23.53%) 9 (26.47%) และ 19 (55.88%) คน ตามลำดับ จากนักเรียนทั้งหมด 34 คน ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทางตรงกันข้าม จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยลดลงจาก 8 (23.53%) เหลือ 3 (8.82%) 2 (5.88%) และ 1 (2.49%) คน ตามลำดับ จากนักเรียนทั้งหมด 34 คน ซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนมีพัฒนาการที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาของการจัดการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลอง

เป็นฐานเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกการสร้าง การทดสอบ การปรับปรุง และการนำแบบจำลองไปใช้ด้วยตนเองอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นกระบวนการที่จะช่วยให้นักเรียนได้สะท้อนแนวคิดของตนเองและเชื่อมโยงแนวคิดใหม่กับแนวคิดเดิม ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ได้อย่างลึกซึ้ง (Magana et al., 2024) โดยการใช้แบบจำลองจะทำให้นักเรียนเห็นภาพและเข้าใจพฤติกรรมของโมเลกุลที่ซับซ้อนที่ยากต่อการอธิบายด้วยข้อความเพียงอย่างเดียว (Stull & Hegarty, 2016) และการจัดกิจกรรมอย่างต่อเนื่องช่วยให้นักเรียนเกิดความคุ้นเคยและมีความมั่นใจในการนำเสนอตัวแทนความคิดมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อนักเรียนได้มีโอกาสอภิปรายและแก้ไขแบบจำลองในแผนวิจัยช่วงแรก พบว่าพวกนักเรียนแสดงความมั่นใจที่สูงขึ้นในการนำเสนอและอภิปรายตัวแทนความคิดในแผนวิจัยถัดมา อีกทั้งการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาสมรรถนะด้านการนำเสนอตัวแทนทางเคมี ตลอดจนการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดและการเชื่อมโยงตัวแทนทางเคมีในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ในวิชาเคมี (Farida et al., 2009) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการสอนรูปแบบและหน้าที่ของตัวแทนความคิดอย่างชัดเจนสามารถช่วยเสริมสร้างความเข้าใจเชิงโนทัศน์และพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนได้ (Baptista et al., 2019; Derman & Ebenezer, 2020; Hilton & Nichols, 2011) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายจึงเป็นวิธีที่ส่งผลดีต่อการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

ในขั้นตอนแรกของกิจกรรม นักเรียนจะได้ลงมือทำปฏิบัติการทางเคมีและได้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนสีของสารละลาย ซึ่งเป็นการส่งเสริมหนึ่งในองค์ประกอบหลักของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด คือ ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด (ด้านที่ 1) เนื่องจากเราได้สัมผัสและสังเกตการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนมีประสบการณ์ตรงผ่านการเฝ้ามองและสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลง อัตราการเร็วในการเปลี่ยนแปลง และอื่น ๆ ซึ่งความละเอียดในการสังเกตนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการอธิบายปรากฏการณ์ระดับมหภาคได้อย่างแม่นยำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kozma and Russell (2005) ที่พบว่า การสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยตรงจะช่วยพัฒนาความสามารถในการแปลความหมายของตัวแทนความคิดทางเคมีในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chittleborough and Treagust (2007) ที่แสดง

ให้เห็นว่าการที่นักเรียนได้ทำการทดลองและสังเกตผลด้วยตนเองจะช่วยเสริมสร้างความสามารถในการตีความและให้ความหมายของตัวแทนความคิดทางเคมีในระดับต่าง ๆ ได้ดีขึ้น จากนั้นนักเรียนจะได้เชื่อมโยงปรากฏการณ์ในระดับมหภาคที่สังเกตเห็นเข้ากับปรากฏการณ์ระดับโมเลกุล ผ่านการวาดภาพโมเลกุลตามความเข้าใจเดิมของนักเรียนที่มีต่อปรากฏการณ์นั้น ๆ ซึ่งเป็นการส่งเสริมความสามารถในการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน (ด้านที่ 3) เนื่องจากการได้สังเกตการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาค เช่น การเปลี่ยนสีของสารละลาย กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัยและตั้งคำถามว่าเพราะเหตุใดจึงเกิดปรากฏการณ์เช่นนั้น คำถามเหล่านี้นำไปสู่การแสวงหาคำอธิบายในระดับจุลภาค ทำให้นักเรียนพยายามสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลหรือการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลที่อาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงและอธิบายความหมายของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Davidowitz et al. (2010) ที่พบว่า การให้นักเรียนวาดภาพระดับโมเลกุลเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่สังเกตเห็น ช่วยพัฒนาความสามารถในการเชื่อมโยงความเข้าใจระหว่างระดับมหภาคและจุลภาค

ในขั้นตอนที่ 2 ของกิจกรรม นักเรียนจะได้นำภาพโมเลกุลที่วาดไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ในระดับมหภาคที่สังเกตเห็นในครั้งแรก ผ่านการนำเสนอและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน ซึ่งเป็นการส่งเสริมความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย (ด้านที่ 4) เนื่องจากการอภิปรายในชั้นเรียนเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เห็นวิธีการนำเสนอและอธิบายแบบจำลองในรูปแบบที่หลากหลายจากเพื่อนร่วมชั้น การเห็นมุมมองที่หลากหลายช่วยขยายความเข้าใจและความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดของนักเรียน อีกทั้งเมื่อนักเรียนต้องอธิบายแบบจำลองของตนเองให้ผู้อื่นเข้าใจ นักเรียนจำเป็นต้องจัดระเบียบความคิดและใช้ภาษาที่ชัดเจน กระบวนการนี้ช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดอย่างลึกซึ้งมากขึ้น และสามารถใช้ตัวแทนความคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Stieff et al. (2016) ที่แสดงให้เห็นว่าการอภิปรายแลกเปลี่ยนเกี่ยวกับแบบจำลองระดับโมเลกุลในชั้นเรียนช่วยพัฒนาความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปสู่การประเมินแบบจำลองของตนเองต่อไป

ในขั้นตอนที่ 3 นักเรียนจะได้ประเมินและแก้ไขภาพวาดในระดับโมเลกุลให้มีความสอดคล้องกับปรากฏการณ์และมีความถูกต้องมากขึ้น พร้อมทั้งเขียนอธิบายภาพโมเลกุลนั้นโดยละเอียด ซึ่งเป็นการส่งเสริมความสามารถในการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน (ด้านที่ 3) เนื่องจาก

เมื่อนักเรียนประเมินและแก้ไขภาพวาดระดับโมเลกุล นักเรียนต้องพิจารณาว่าแบบจำลองนั้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้ (ระดับมหภาค) หรือไม่ กระบวนการนี้บังคับให้นักเรียนเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่สังเกตเห็นกับการอธิบายในระดับโมเลกุล ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังส่งเสริมความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย (ด้านที่ 4) เนื่องจากการเขียนอธิบายภาพโมเลกุลโดยละเอียดฝึกให้นักเรียนใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางเคมี นักเรียนต้องระบುವ่าองค์ประกอบต่าง ๆ ในแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในการเชื่อมโยงตัวแทนความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดในการอธิบาย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schwarz et al. (2009) ที่ระบุว่าธรรมชาติของการสร้างแบบจำลองนั้นต้องอาศัยการถ่ายทอดความเข้าใจผ่านตัวแทนรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละครั้งของการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้สร้างตัวแทนความคิดและนำประสบการณ์และความรู้เดิมมาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาตัวแทนความคิดใหม่ ความผิดพลาดหรือข้อบกพร่องจากครั้งก่อนจะถูกนำมาปรับปรุง ทำให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากนั้นนักเรียนจะได้นำเสนอแบบจำลองของตนและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนอีกครั้ง เพื่อสรุปเป็นแนวคิดทางเคมี เช่น ในการไทเทรตกรด-เบส นักเรียนสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ (ระดับมหภาค) และได้สร้างแบบจำลองระดับโมเลกุลเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงนี้ การอภิปรายร่วมกันช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงสิ่งที่สังเกตเห็นและแบบจำลองของตนเข้ากับทฤษฎีและหลักการของจุดยุติในการไทเทรต ซึ่งเป็นการส่งเสริมความสามารถในการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดกับแนวคิดทางเคมี (ด้านที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gilbert and Justi (2016) ที่ระบุว่าเมื่อนักเรียนได้เห็นวิธีการนำเสนอที่แตกต่างจากของตนเอง จะช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้มุมมองใหม่ ๆ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองของตนเองในครั้งถัดไปได้ และยังช่วยให้นักเรียนได้รับการสะท้อนผลจากครูและเพื่อนร่วมชั้นเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้นผ่านการอภิปราย ซึ่งยังช่วยให้นักเรียนทราบจุดที่ต้องปรับปรุงและพัฒนา

ในขั้นที่ 4 การขยายแบบจำลอง นักเรียนจะได้นำแนวคิดทางเคมีที่ได้ไปเชื่อมโยงเข้ากับสมการเคมีและสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการส่งเสริมความสามารถในการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน (ด้านที่ 2) ผ่านการเชื่อมโยงสมการเคมีและสมการทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากสมการเคมีมักแสดงลักษณะและการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลของปฏิกิริยา ในขณะที่สมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์เชิงปริมาณ การเชื่อมโยงทั้งสองจะช่วยให้นักเรียนสามารถบูรณาการการคิดในระดับสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน ทำให้เกิดความเข้าใจที่ครอบคลุมทั้งลักษณะการ

เปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์เชิงปริมาณของปฏิกริยาเคมี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taber (2009) ที่พบว่า การให้นักเรียนเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสมการเคมีและสมการทางคณิตศาสตร์ ช่วยพัฒนาความเข้าใจในการใช้ตัวแทนความคิดเชิงสัญลักษณ์ที่อยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้น องค์ประกอบของสมรรถนะในแต่ละด้านถูกพัฒนาให้สูงขึ้น จึงส่งผลให้มีจำนวนนักเรียนที่แสดงสมรรถนะระดับสูงในแต่ละองค์ประกอบเพิ่มมากขึ้นและมีจำนวนนักเรียนที่แสดงสมรรถนะระดับต่ำในแต่ละองค์ประกอบลดลงในทุก ๆ ครั้งที่ทำการวัดผล อีกทั้งการพัฒนาที่เกิดขึ้นยังสอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้แบบสะสมที่เริ่มจากการใช้ตัวแทนความคิดอย่างง่ายไปสู่การใช้ตัวแทนความคิดที่ซับซ้อนมากขึ้น ความเข้าใจในการใช้ตัวแทนความคิดแบบพื้นฐานจะช่วยสนับสนุนการเรียนรู้การใช้ตัวแทนความคิดที่ซับซ้อนขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ausubel (2012) และ Lehrer and Schauble (2006b) แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาการให้เหตุผลโดยใช้แบบจำลองเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลาและเกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับขั้นและซึ่งอธิบายว่าผู้เรียนต้องเชื่อมโยงความรู้ใหม่เข้ากับโครงสร้างความรู้เดิมและการเรียนรู้ตัวแทนความคิดที่ซับซ้อนจำเป็นต้องมีพื้นฐานความเข้าใจในตัวแทนความคิดขั้นพื้นฐานก่อน

จากผลการวิจัยพบว่า จำนวนของนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับสูงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยแม้ว่าการเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะอยู่ในระดับสูงระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 กับชุดที่ 2 และชุดที่ 2 กับชุดที่ 3 จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่จำนวนผู้ที่มีสมรรถนะสูงกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งในการวัดชุดที่ 4 พบว่ามีนักเรียนที่มีสมรรถนะสูงเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทางกลับกัน จำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำมีแนวโน้มลดลง โดยการเปรียบเทียบระหว่างการวัดแต่ละครั้ง โดยแม้ว่าการเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่มีสมรรถนะอยู่ในระดับต่ำระหว่างแบบวัดชุดที่ 1 กับชุดที่ 2 ชุดที่ 2 กับชุดที่ 3 และชุดที่ 3 กับ 4 จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างไรก็ตาม เมื่อนำผลการวัดครั้งที่ 1 มาเปรียบเทียบกับครั้งที่ 4 พบว่าจำนวนของนักเรียนที่มีสมรรถนะระดับต่ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สะท้อนให้เห็นถึงการพัฒนาสมรรถนะเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลาและเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป เนื่องจากการนำเสนอตัวแทนความคิดทางเคมีเกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะการคิดในปรากฏการณ์หลายระดับ ทั้งการคิดในระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ (Gilbert & Justi, 2016) นักเรียนจึงต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจและเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างระดับต่าง ๆ เหล่านี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Johnstone (1993) ที่ระบุว่า

การพัฒนาความเข้าใจในแต่ละระดับและการสร้างความเชื่อมโยงระหว่างระดับต้องอาศัยการสั่งสมประสบการณ์และการฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ การพัฒนาตัวแทนความคิดทางเคมียังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโมโนทัศน์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องใช้เวลา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Duit and Treagust (2003) และ Posner et al. (1982) ที่ระบุว่า การปรับความเข้าใจเดิมที่อาจคลาดเคลื่อนและสร้างความเข้าใจใหม่ที่ถูกต้องตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในทันที แนวคิดทางเคมีมักมีความเป็นนามธรรมสูงและมีความเชื่อมโยงกันหลายมิติ การที่นักเรียนจะสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดที่สะท้อนความเข้าใจอย่างลึกซึ้งจึงต้องผ่านการพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดพื้นฐานก่อน (John Gilbert & Treagust, 2009; Ausubel, 2012) นอกจากนี้ การนำเสนอตัวแทนความคิดทางเคมีต้องอาศัยความสามารถในการมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ และการเชื่อมโยงความรู้หลายส่วนเข้าด้วยกัน (Kozma & Russell, 2005; Hung, 2008) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้โดยใช้ระยะเวลา 12 ชั่วโมงจะเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

## ข้อเสนอแนะ

### 4.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

4.1.1 การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายอาจเป็นรูปแบบการสอนที่นักเรียนไม่คุ้นชิน ครูผู้สอนจึงควรอธิบายความหมายแบบจำลองและตัวแทนความคิดระดับต่าง ๆ อีกทั้งควรชี้แจงกระบวนการและบทบาทของนักเรียน และครูผู้สอนให้ชัดเจนก่อนเริ่มทำกิจกรรม

4.1.2 ครูผู้สอนควรส่งเสริมให้มีการอภิปรายและการสะท้อนคิดระหว่างนักเรียนอย่างสม่ำเสมอ การให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น อธิบายเหตุผลในการสร้างตัวแทนความคิดของตนเอง และวิพากษ์ตัวแทนความคิดของเพื่อน จะช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาความเข้าใจที่ลึกซึ้งและได้เห็นมุมมองที่หลากหลาย

4.1.3 ครูผู้สอนควรจัดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องและให้เวลาในการพัฒนา เนื่องจากการพัฒนาสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลาและเกิดขึ้นอย่างค่อย ๆ

เป็นค่อยไป การจัดกิจกรรมจึงควรมีความต่อเนื่อง เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกฝนการสร้างและใช้ตัวแทนความคิดอย่างสม่ำเสมอ

#### 4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

4.2.1 ผู้วิจัยควรพัฒนาแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดให้ครอบคลุมองค์ประกอบหลักของสมรรถนะทั้ง 5 ด้าน โดยแต่ละด้านควรประกอบด้วยตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ เนื่องจากในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยได้เลือกประเมินเพียงบางตัวแทนความคิดเท่านั้น เช่น ด้านความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนความคิด ผู้วิจัยประเมินเพียงปรากฏการณ์ในระดับมหภาค เป็นต้น



## บรรณานุกรม

- กนกภรณ์ ทรวทตรง และ สิริินภา กิจเกื้อกูล. (2564). การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงที่ส่งเสริมทักษะการสร้างแบบจำลองและมโนทัศน์ เรื่องสารละลาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, 23.
- โกเมศ นาแจ้ และ วัชรภรณ์ แก้วดี. (2554). ผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. *OJED*, 7, 1830-1844.
- ชาตรี ฝ่ายคำตา และ ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์. (2557). การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (*Model-Based Learning*) (29 ed., Vol. 3). [https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/304579357\\_Model-based\\_learning](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/304579357_Model-based_learning)
- โพธิศักดิ์ โพธิเสน และ ชาตรี ฝ่ายคำตา. (2560). ฉันทครพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไร?: การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน. ฉันทครพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไร?: การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน, 8, 101-122. [https://doi.org/https://doi.nrct.go.th//ListDoi/listDetail?Resolve\\_Doi=10.14456/jstl.2017.8](https://doi.org/https://doi.nrct.go.th//ListDoi/listDetail?Resolve_Doi=10.14456/jstl.2017.8)
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ (พิมพ์ครั้งที่ 1). โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. <https://www.ipst.ac.th/gdrive/1-O893O5us-80cBA3lrb2RLyaJhIhHWLJ>
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Al-Diban, S. (2012). Mental Models. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2200-2204). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6\\_586](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_586)
- Amador-Rodríguez, R., Insuasty, D., Méndez-López, M., Márquez, E., & Ospina-Quintero, N. (2023). Explanatory Models Derived from Context-Based Teaching: An

- Investigation in Undergraduate Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 100(5), 1777-1787. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01212>
- Avargil, S., & Piorko, R. (2022). High school students' understanding of molecular representations in a context-based multi-model chemistry learning approach. *International Journal of Science Education*, 44(11), 1738-1766. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2095679>
- Baptista, M., Martins, I., Conceição, T., & Reis, P. (2019). Multiple representations in the development of students' cognitive structures about the saponification reaction [10.1039/C9RP00018F]. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4), 760-771. <https://doi.org/10.1039/C9RP00018F>
- Buckley, B., Gobert, J., Kindfield, A., Horwitz, P., Tinker, R., Gerlits, B., Wilensky, U., Dede, C., & Willett, J. (2004). Model-Based Teaching and Learning with BioLogica™: What Do They Learn? How Do They Learn? How Do We Know? *Journal of Science Education and Technology*, 13, 23-41. <https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000019636.06814.e3>
- Buckley, B. C. (2012). Model-Based Learning. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2300-2303). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6\\_589](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_589)
- Clement, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5356-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5356-1_20)
- Clement, J. J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). Model based learning and instruction in science. *Model based learning and instruction in science*, 1-9.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198. <https://doi.org/10.1080/0950069042000276712>
- Craik, K. (1944). The nature of explanation.
- Daniel, K. L., Bucklin, C. J., Austin Leone, E., & Idema, J. (2018). Towards a Definition of Representational Competence. In K. L. Daniel (Ed.), *Towards a Framework for Representational Competence in Science Education* (pp. 3-11). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-89945-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-89945-9_1)
- Derman, A., & Ebenezer, J. (2020). The Effect of Multiple Representations of Physical

and Chemical Changes on the Development of Primary Pre-service Teachers Cognitive Structures. *Research in Science Education*, 50(4), 1575-1601.

<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9744-5>

Edelsbrunner, P. A., Malone, S., Hofer, S. I., Küchemann, S., Kuhn, J., Schmid, R., Altmeyer, K., Brünken, R., & Lichtenberger, A. (2023). The relation of representational competence and conceptual knowledge in female and male undergraduates. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 44.

<https://doi.org/10.1186/s40594-023-00435-6>

Farida, I., Liliasari, L., Sopandi, W., & Widyantoro, D. (2017). A web-based model to enhance competency in the interconnection of multiple levels of representation for pre-service teachers. <https://doi.org/10.1201/9781315166575-84>

Gilbert, J., & Boulter, C. (2000). *Developing Models in Science Education*.

<https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1>

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2),

115-130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>

Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks [10.1039/C1RP90003J]. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 5-14.

<https://doi.org/10.1039/C1RP90003J>

Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2020). Students' competence in translating between different types of chemical representations [10.1039/C8RP00301G]. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 307-330.

<https://doi.org/10.1039/C8RP00301G>

Halverson, K., & Friedrichsen, P. (2013). Learning Tree Thinking: Developing a New Framework of Representational Competence. In (Vol. 7, pp. 185-201).

[https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_11)

Halverson, K. L., & Friedrichsen, P. (2013). Learning Tree Thinking: Developing a New Framework of Representational Competence. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 185-201). Springer Netherlands.

[https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_11)

- Hartini, T. I., & Martin, M. (2022). Implementation of Multiple Representation Tests in The Evaluation of Electronics Courses. *Physics Education Research Journal*, 4(1), 13-16.
- Herunata, H., Rosyida, I., Sulistina, O., & Wijaya, H. W. (2021). Correlational analysis of conceptual understanding, chemical representation, and representational competence on chemistry equilibrium. *AIP Conference Proceedings*, 2330(1), 020016. <https://doi.org/10.1063/5.0043116>
- Indriyanti, N., Saputro, S., & Sungkar, R. (2020). PROBLEM-SOLVING AND PROBLEM-POSING LEARNING MODEL ENRICHED WITH THE MULTIPLE REPRESENTATION IN TETRAHEDRAL CHEMISTRY TO ENHANCE STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING. *EDUSAINS*, 12, 123-134. <https://doi.org/10.15408/es.v12i1.13282>
- Ingham, A. M., & Gilbert, J. K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13(2), 193-202. <https://doi.org/10.1080/0950069910130206>
- John Gilbert, K., & Treagust, D. (2009). *Multiple Representations in Chemical Education* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4(1), 71-115. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(81\)80005-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0364-0213(81)80005-5)
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press. <https://books.google.co.th/books?id=FS3zSKAfLGMC>
- Johnson-Laird, P. N. (1986). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., & Leitch, A. (2011). Mental Models An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods. *Ecology and Society*, 16(1). <http://www.jstor.org/stable/26268859>
- JONG, J.-P., CHIU, M.-H., & CHUNG, S.-L. (2015). The Use of Modeling-Based Text to

- Improve Students' Modeling Competencies. *Science Education*, 99(5), 986-1018.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21164>
- Klein, P., Müller, A., & Kuhn, J. (2017). Assessment of representational competence in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010132.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010132>
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. *Visualization in science education*, 1, 121-146.
- Lansangan, R., Orleans, A., Marie, V., & Camacho, I. (2020). Representational competence of secondary chemistry students in understanding selected chemical principles. 1.
- Lee, T., & Jones, G. (2018). Instructional Representations as Tools to Teach Systems Thinking. In K. L. Daniel (Ed.), *Towards a Framework for Representational Competence in Science Education* (pp. 133-153). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-89945-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-89945-9_7)
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006a). Scientific thinking and science literacy. *Handbook of child psychology*, 4, 153-196.
- Magana, A. J., Arigye, J., Udosen, A., Lyon, J. A., Joshi, P., & Pienaar, E. (2024). Scaffolded team-based computational modeling and simulation projects for promoting representational competence and regulatory skills. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00494-3>
- Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. Union Carbide Award for Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49. <https://doi.org/10.1021/ed083p49>
- Maree, L., & Edwards, N. (2019). *Developing pre-service science teachers' pedagogy in an inquiry-based classroom: examining their representational competence and fluency*.
- Nersessian, N. (2013). Mental Modeling in Conceptual Change. *International Handbook of Research on Conceptual Change*.
- Nitz, S., & Tippett, C. D. (2012). Measuring representational competence in science. *Staging knowledge and experience: how to take advantage of representational technologies in education and training?*, 163.

- Novak, J. D. (1993). Human constructivism: A unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. *International Journal of Personal Construct Psychology*, 6(2), 167-193. <https://doi.org/10.1080/08936039308404338>
- Örnek, F. (2008). Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. *International Journal of Environmental & Science Education*, 3.
- Padalkar, S., & Hegarty, M. (2012). Improving representational competence with model-based feedback. *Proceedings of the Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 2162-2167.
- Padalkar, S., & Hegarty, M. (2014). Models as Feedback: Developing Representational Competence in Chemistry. *Journal of Educational Psychology*, 107. <https://doi.org/10.1037/a0037516>
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. University Press; C l a r e n d o n P r e s s . <https://www.degruyter.com/database/COGBIB/entry/cogbib.9363/html>
- Pikoli, M. (2020). Using guided inquiry learning with multiple representations to reduce misconceptions of chemistry teacher candidates on acid-base concept. *International Journal of Active Learning*, 5(1), 1-10.
- Pluta, W. J., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 486-511. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.20415>
- Popova, M., & Jones, T. (2021). Chemistry instructors' intentions toward developing, teaching, and assessing student representational competence skills [10.1039/D0RP00329H]. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(3), 733-748. <https://doi.org/10.1039/D0RP00329H>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Priyasmika, R. (2021). The Effect of Multiple Representation-Based Guided Inquiry on Learning Outcomes Reviewed from Scientific Thinking Skills. *EduChemia (Jurnal*

*Kimia dan Pendidikan*), 6(1), 55-66.

- Rosyida, I., Rahayu, S., & Dasna, W. (2022). Instruments in Identifying Representational Competence in Chemistry: A Systematic Literature Review. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 23, 1109-1111. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v23i3.pp1099-1111>
- Sarıtaş, D., Özcan, H., & Adúriz-Bravo, A. (2021). Observation and Inference in Chemistry Teaching: a Model-Based Approach to the Integration of the Macro and Submicro Levels. *Science & Education*, 30(5), 1289-1314. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00216-z>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Sim, J. H., & Daniel, E. G. S. (2014). Representational competence in chemistry: A comparison between students with different levels of understanding of basic chemical concepts and chemical representations. *Cogent Education*, 1(1), 991180. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2014.991180>
- Stieff, M., & DeSutter, D. (2021). Sketching, not representational competence, predicts improved science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(1), 128-156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21650>
- Stieff, M., Scopelitis, S., Lira, M. E., & Desutter, D. (2016). Improving representational competence with concrete models. *Science Education*, 100(2), 344-363.
- Stull, A. T., Gainer, M., Padalkar, S., & Hegarty, M. (2016). Promoting Representational Competence with Molecular Models in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 994-1001. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00194>
- Supasorn, S. (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit [10.1039/C4RP00247D]. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 393-407. <https://doi.org/10.1039/C4RP00247D>
- Suradech, A., Kamonwan, T., & Shotiga, P. (2020). Development of Three-tiered Diagnostic Tests about Chemical Bonds for Tenth-grade [16]. *Journal of*

- Education Studies*, 48(2 April - June 2020), 280-300.  
<https://doi.org/https://digital.car.chula.ac.th/educujournal/vol48/iss2/16>
- Taber, K. S. (2019). *The Nature of the Chemical Concept: Re-constructing Chemical Knowledge in Teaching and Learning*. The Royal Society of Chemistry.
- Talanquer, V. (2022). The Complexity of Reasoning about and with Chemical Representations. *JACS Au*, 2(12), 2658-2669.  
<https://doi.org/10.1021/jacsau.2c00498>
- Tensiana Tima, M., & Sutrisno, H. (2018). Influence of Problem Solving Based on Multiple Representations Model on Teaching and Learning of Chemistry on Student's Academic Self-efficacy and Student's Cognitive Achievement. *American Journal of Educational Research*, 6(7), 887-892.  
<http://pubs.sciepub.com/>
- Tolba, E., & Al-Osaimi, A. (2023). The effectiveness of using the model-based thinking strategy in developing first-grade high school students' physical concepts and inquiry thinking skills. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19, em2254. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13111>
- van Dulmen, T. H. H., Visser, T. C., Coenders, F. G. M., Pepin, B., & McKenney, S. (2023). Learning to teach chemical bonding: a framework for preservice teacher educators [10.1039/D2RP00049K]. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(3), 896-913. <https://doi.org/10.1039/D2RP00049K>
- Volkwyn, T. S., Airey, J., Gregorcic, B., & Linder, C. (2020). Developing representational competence: linking real-world motion to physics concepts through graphs. *Learning: Research and Practice*, 6(1), 88-107.  
<https://doi.org/10.1080/23735082.2020.1750670>
- Wayan Distrik, I., Imam Supardi, Z. A., Jatmiko, B., & Yuberti. (2021). The effects of multiple representations-based learning in improving concept understanding and problem-solving ability. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012044>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.20259>

- Wiyarsi, A., Sutrisno, H., & Rohaeti, E. (2018). The effect of multiple representation approach on students' creative thinking skills: A case of 'Rate of Reaction' topic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1097(1), 012054. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/012054>
- Wu, H.-K., Hsu, Y.-S., & Hwang, F.-K. (2010). Designing a technology-enhanced learning environment to support scientific modeling. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9, 58-65.
- Ausubel, D. P. (2012). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Springer Science & Business Media.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level [10.1039/B6RP90035F]. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274-292. <https://doi.org/10.1039/B6RP90035F>
- Davidowitz, B., Chittleborough, G., & Murray, E. (2010). Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry [10.1039/C005464J]. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 154-164. <https://doi.org/10.1039/C005464J>
- Duit, R., & Treagust, D. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education - INT J SCI EDUC*, 25, 671-688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Farida, I., Liliasari, L., Widyantoro, D. H., & Sopandi, W. (2009). The Importance of Development of Representational Competence in Chemical Problem Solving Using Interactive Multimedia.
- Gilbert, J., & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education* (Vol. 9). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>
- Hilton, A., & Nichols, K. (2011). Representational Classroom Practices that Contribute to Students' Conceptual and Representational Understanding of Chemical Bonding. *International Journal of Science Education*, 33, 2215 - 2246.
- Hung, W. (2008). Enhancing systems-thinking skills with modelling. *British Journal of Educational Technology*, 39(6), 1099-1120.

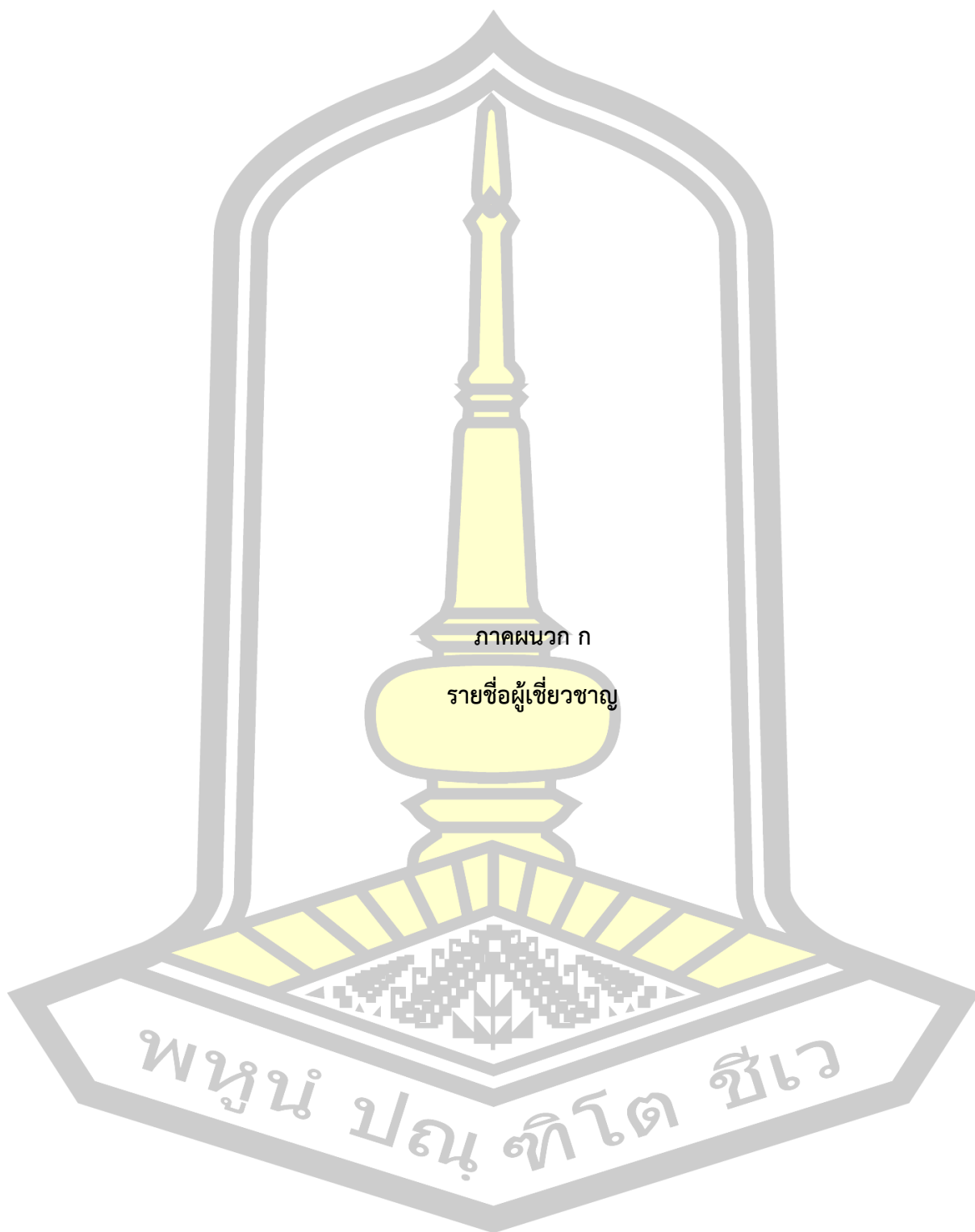
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00791.x>

Lehrer, R., & Schauble, L. (2006b). *Cultivating model-based reasoning in science education*. na.

Stull, A. T., & Hegarty, M. (2016). Model manipulation and learning: Fostering representational competence with virtual and concrete models. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 509-527. <https://doi.org/10.1037/edu0000077>

Taber, K. (2009). Learning at the Symbolic Level. In (pp. 75-105). [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_5)





ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

พหุบัณฑิตวิทยาลัย

## รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. อาจารย์ ดร.สาวิตรี ราณมีชัย ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต อาจารย์ประจำภาควิชาวิจัยและ  
พัฒนาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัย  
และพัฒนาการศึกษา
2. นางสาวจรรุญลักษณ์ วรโคตร การศึกษามหาบัณฑิต (เคมี) ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ โรงเรียนสารคามพิทยาคม  
จังหวัดมหาสารคาม ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาเคมี
3. นางสาวพิริยาภรณ์ พิลาชัย การศึกษามหาบัณฑิต (เคมี) ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยฐานะชำนาญการ โรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัด  
มหาสารคาม ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาเคมี





## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โทรสาร. 0-4372-1764 ภายใน 6216

ที่ อว 0605.5(2)/ ว4635

วันที่ 28 พฤศจิกายน 2567

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือ

เรียน อาจารย์ ดร.สาวิตรี ราญมีชัย

ด้วย นายนิติภัทร พาจันทร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำลังศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาสมรรถนะ การนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิด ที่หลากหลายในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส" ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร กศ.ม. สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.กัญญารัตน์ โคจร เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักในครั้งนี

เพื่อให้การจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นไปด้วยความเรียบร้อย และบรรลุตามวัตถุประสงค์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรอบรู้ ความสามารถ และมีประสบการณ์ ในเรื่องนี้เป็นอย่างดี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เพื่อนิสิตจะนำข้อมูลที่ได้ไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ รุสีอ่อน)

รองคณบดี ปฏิบัติราชการแทน

คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

บุญ ภิเษ



ที่ อว 0605.5(2)/ว 4635

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

28 พฤศจิกายน 2567

**เรื่อง** ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือ

**เรียน** นางสาวจรรยาภรณ์ วรโคตร

ด้วย นายธิดิภัทร พาจันทร์ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำลังศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาสมรรถนะ การนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิด ที่หลากหลายในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส" ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร กศ.ม. สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.กัญญารัตน์ โคจร เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักในครั้งนี้

เพื่อให้การจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นไปด้วยความเรียบร้อย และบรรลุตามวัตถุประสงค์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรอบรู้ ความสามารถ และมีประสบการณ์ ในเรื่องนี้เป็นอย่างดี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เพื่อนิสิตจะนำข้อมูลที่ได้ไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงได้รับความกรุณาจากท่านด้วย และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ กุสีอ่อน)  
รองคณบดี ปฏิบัติราชการแทน  
คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

สำนักงานเลขานุการคณะศึกษาศาสตร์  
โทรศัพท์ 0-4375-4322-40 ต่อ 6216  
โทรสาร 0-4371-3147

บ.ช. บ.ณ. ที.ไ.เ.



ที่ อว 0605.5(2)/ว 4635

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

28 พฤศจิกายน 2567

**เรื่อง** ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือ

**เรียน** นางสาวปริยาภรณ์ พิลาชัย

ด้วย นายธิดิภัทร พาจันทร์ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำลังศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาสมรรถนะ การนำเสนอตัวแทนความคิดโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิด ที่หลากหลายในรายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส" ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร กศ.ม. สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.กัญญารัตน์ โคจร เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักในครั้งนี้

เพื่อให้การจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นไปด้วยความเรียบร้อย และบรรลุตามวัตถุประสงค์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรอบรู้ ความสามารถ และมีประสบการณ์ ในเรื่องนี้เป็นอย่างดี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เพื่อนิสิตจะนำข้อมูลที่ได้ไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

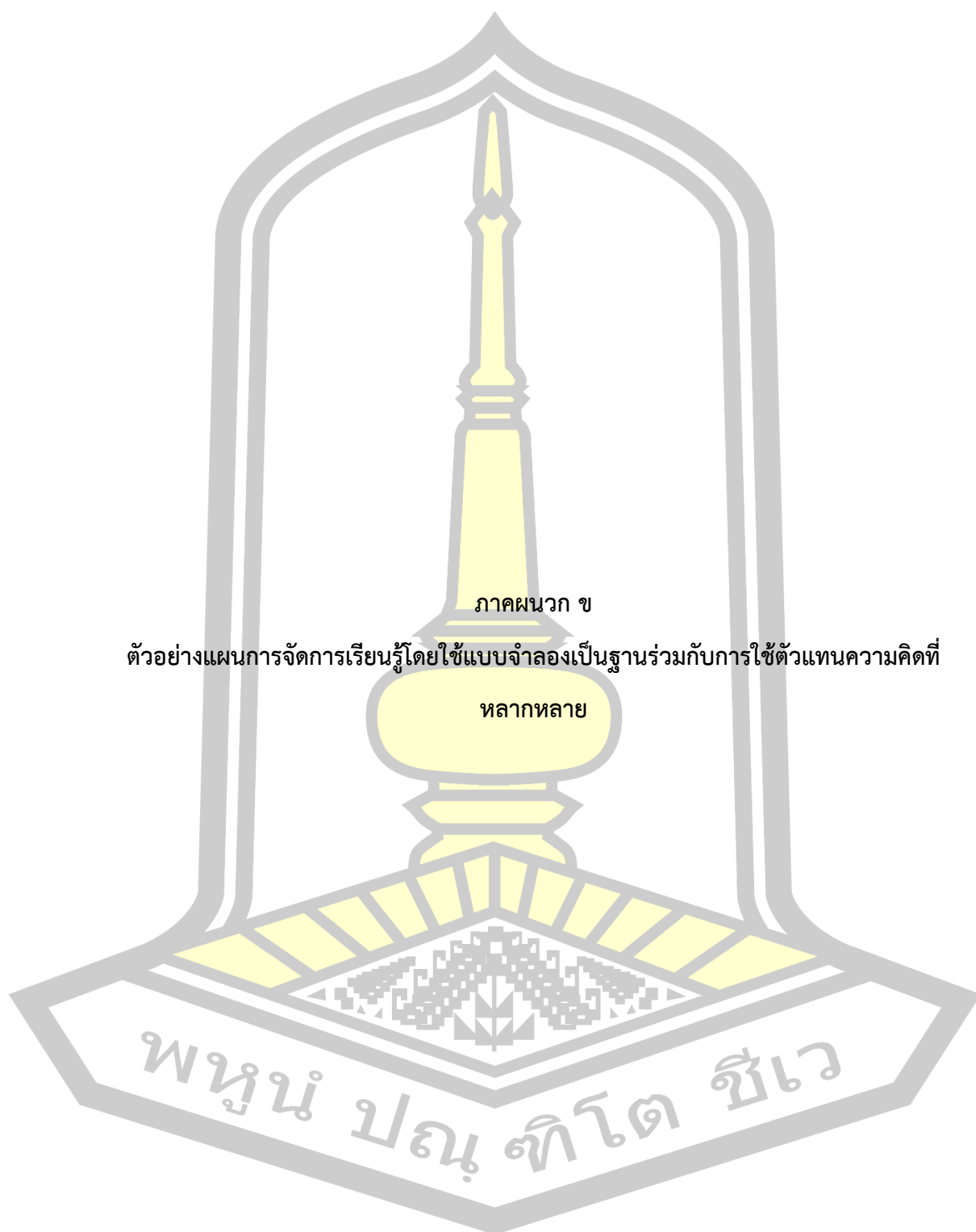
จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงได้รับความกรุณาจากท่านด้วย และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ กุสีอ่อน)  
รองคณบดี ปฏิบัติราชการแทน  
คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

สำนักงานเลขานุการคณะศึกษาศาสตร์  
โทรศัพท์ 0-4375-4322-40 ต่อ 6216  
โทรสาร 0-4371-3147

บุญ ภิเษก



## แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	รายวิชาเพิ่มเติม	รหัสวิชา ว32233
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5	ภาคเรียนที่ 2	ปีการศึกษา 2567
หน่วยการเรียนรู้ที่ 10 กรด-เบส		เวลา 27 ชั่วโมง
เรื่อง pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา		เวลาเรียน 2 ชั่วโมง
ผู้สอน นายอิทธิภัทร พาจันท์		

### 1. ผลการเรียนรู้

คำนวณค่า pH หลังจากการทำปฏิกิริยากรด-เบส และคำนวณหาความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากรด-เบส

### 2. สาระสำคัญ/ความคิดรวบยอด

เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ค่า pH ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนของกรดแก่หรือไฮดรอกไซด์ไอออนของเบสแก่เหลือเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของเกลือที่เกิดขึ้น

### 3. จุดประสงค์การเรียนรู้

#### 3.1 ด้านความรู้ (K)

- 1) นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่าค่า pH ของสารละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ  $H^+$  ที่เหลือจากกรดแก่และความเข้มข้นของ  $OH^-$  ที่เหลือจากเบสแก่

#### 3.2 ด้านทักษะกระบวนการ (P)

- 1) นักเรียนสามารถคำนวณค่า pH ของกรดแก่ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากรด-เบสได้

#### 3.3 ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

- 1) นักเรียนเข้าเรียนตรงเวลา
- 2) นักเรียนส่งงานตรงเวลา

### 4. สาระการเรียนรู้

pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

## 5. ชิ้นงาน/ภาระงาน

ใบกิจกรรมที่ 7 เรื่อง pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

## 6. กิจกรรมการเรียนรู้

ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย

### ขั้นที่ 1 การสร้างแบบจำลอง (60 นาที)

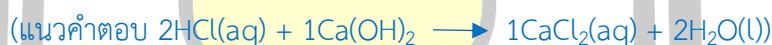
1.1. ครูผู้สอนทบทวนเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ 1) การคำนวณค่า pH 2) ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส และ 3) ปริมาณสารสัมพันธ์ โดยการใช้คำถาม เช่น

1.1.1. กรด HCl จำนวน 1 mol ในน้ำ 1 L สามารถแตกตัวให้  $H^+$  เข้มข้นเท่าใด อย่างไร (แนวคำตอบ 1 M เนื่องจาก HCl 1 mol สามารถแตกตัวให้  $H^+$  1 mol)

1.1.2. pH ของสารละลายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอะไร (แนวคำตอบ ความเข้มข้นของ  $H^+$ )

1.1.3. ถ้าสารละลายกรด HCl มีความเข้มข้น  $10^{-3}$  M จะมีค่า pH เท่ากับเท่าใด อย่างไร (แนวคำตอบ 3 เนื่องจาก pH สามารถหาได้จาก  $pH = -\log[H^+]$ )

1.1.4. หากนำสารละลายกรด HCl มาผสมกับสารละลายเบส  $Ca(OH)_2$  จะสามารถเขียนสมการเคมีได้อย่างไร



1.1.5. ให้นักเรียนอธิบายความหมายของปฏิกิริยาข้างต้น (แนวคำตอบ จะต้องใช้ HCl จำนวน 2 mol ต่อ  $Ca(OH)_2$  จำนวน 1 mol เพื่อให้เกิด  $CaCl_2$  จำนวน 1 mol และน้ำจำนวน 2 mol)

1.1.6. หากมีจำนวน HCl และ  $Ca(OH)_2$  อย่างละ 10 mol เมื่อเกิดปฏิกิริยาสารใดจะหมดก่อนกัน เพราะอะไร (แนวคำตอบ HCl หมดก่อน เนื่องจาก HCl ดุลด้วยเลข 2 แต่



ได้ว่า  $\frac{10 \text{ mol}_{HCl}}{2} < \frac{10 \text{ mol}_{Ca(OH)_2}}{1}$ ) โดยครูผู้สอนเปรียบเปรยกับการขายของ เช่น ร้าน A

กับร้าน B มีของในร้านจำนวน 10 ชิ้นเท่ากัน โดยร้าน A จะขายของ 2 ชิ้นต่อลูกค้า 1 คน ในขณะที่ร้าน B จะขายของ 1 ชิ้นต่อลูกค้า 1 คน นักเรียนคิดว่าร้านใดของใน

ร้านจะหมดก่อน (แนวคำตอบ ร้าน A) มีวิธีการคำนวณอย่างไร (แนวคำตอบ นำ

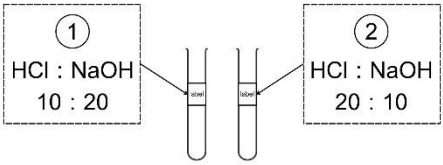
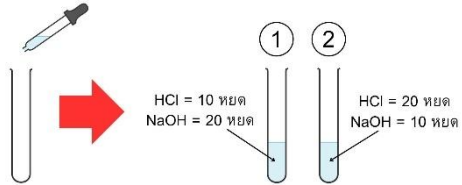
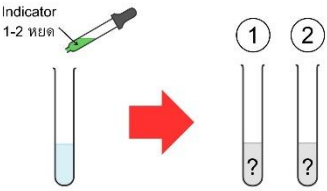
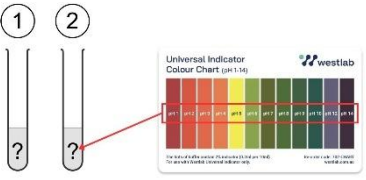
จำนวนของที่มีเทียบกับจำนวนที่ขายต่อ 1 ครั้ง) จากนั้นชี้ให้นักเรียนเห็นว่า จำนวน

ของที่มี คือ mol ของสาร ส่วนจำนวนที่ขายหรือใช้ไปต่อ 1 ครั้ง คือ เลขดุลสมการ

จึงทำให้สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า  $\frac{\text{mol}_{\text{HCl}}}{2} = \frac{\text{mol}_{\text{Ca(OH)}_2}}{1}$  โดยใครมีจำนวนน้อยกว่าก็จะหมดก่อน เพราะชายได้น้อยครั้งมากกว่า

- 1.2. ครูผู้สอนให้นักเรียนแบ่งกลุ่มละ 4 คน รวมทั้งหมด 10 กลุ่ม โดยให้จับกลุ่มตามอัธยาศัย
- 1.3. ครูผู้สอนชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการทดลอง ดังนี้
  - 1.3.1. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมารับใบกิจกรรมที่ 7 เครื่องแก้วและสารเคมี ได้แก่ 1) ปีกเกอร์ 1 ใบ 2) หลอดทดลอง 2 อัน 3) dropper 2 อัน 4) HCl 0.1 M 5) NaOH 0.1 M 6) กระดาษ label และ 7) สารละลาย universal indicator
  - 1.3.2. ให้นักเรียนติดกระดาษ label บนหลอดทดลอง โดยหลอดที่ 1 และ 2 ให้เขียนบนกระดาษ label ด้วยหมายเลข 1 (10 HCl : 20 NaOH) และ 2 (20 HCl : 10 NaOH) ตามลำดับ
  - 1.3.3. ให้นักเรียนหยด HCl ด้วย dropper จำนวน 10 และ 20 หยด ลงในหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
  - 1.3.4. ให้นักเรียนหยด NaOH ด้วย dropper จำนวน 20 และ 10 หยด (โดยใช้ dropper อันใหม่) ลงในหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
  - 1.3.5. ให้นักเรียนทำการทดสอบค่า pH ของสารละลายทั้ง 2 หลอด โดยการหยดสารละลาย universal indicator จำนวน 1-2 หยด จากนั้นบันทึกผลการสังเกตลงในใบกิจกรรมที่ 1 (ตอนที่ 1 ข้อที่ 1.1)
- 1.4. ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่ 1 (ตอนที่ 1 ข้อที่ 1.2)
- 1.5. ครูผู้สอนสุ่มนักเรียนจำนวน 2 กลุ่มออกมานำเสนอผลและการสรุปการสังเกตที่ได้
- 1.6. ครูผู้สอนและนักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยใช้คำถาม เช่น
  - 1.6.1. สารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองที่ 1 (แนวคำตอบ NaOH) และค่า pH ที่อ่านได้อยู่ในช่วงกรดหรือเบส (แนวคำตอบ เบส)
  - 1.6.2. สารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองที่ 2 (แนวคำตอบ HCl) และค่า pH ที่อ่านได้อยู่ในช่วงกรดหรือเบส (แนวคำตอบ กรด)
  - 1.6.3. จากนั้นชี้ให้นักเรียนเห็นว่า pH ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดแก่หรือเบสแก่ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา
  - 1.6.4. จากนั้นถามนักเรียนต่อว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่าง HCl และ NaOH คืออะไร (แนวคำตอบ NaCl)
  - 1.6.5. เกลือที่เกิดขึ้นส่งผลต่อค่า pH หรือไม่ (แนวคำตอบ ไม่ เนื่องจากมีสมบัติเป็นกลาง)

- 1.6.6. หากเกลือที่เกิดเป็นเกลือกรดหรือเกลือเบสจะส่งผลต่อค่า pH หรือไม่ (แนวคำตอบ อาจส่งผลเล็กน้อยมาก ๆ เนื่องจากเกลือสามารถแตกตัวเป็น  $H^+$  หรือ  $OH^-$  ได้เล็กน้อย)
- 1.6.7. จากนั้นครูผู้สอนชี้ให้เห็นว่า ในการคำนวณหาค่า pH ของสารละลายจะคำนวณจากความเข้มข้นของกรดแก่หรือเบสแก่ที่เกลือเท่านั้น โดยไม่นำความเข้มข้นของเกลือมาคิดด้วย เนื่องจากการแตกตัวเล็กน้อยของเกลือแทบไม่ส่งผลต่อค่า pH เลยเมื่อเทียบกับการแตกตัวของกรดแก่ โดยอาจมีการเปรียบเทียบเพิ่มเติม เช่น เหมือนมีเงินในบัญชี 10 ล้าน แล้วได้เงินเพิ่มมาอีก 2 บาท จะเห็นได้ว่า 2 บาทที่เพิ่มเข้ามาแทบไม่ทำให้ภาพรวมของเงินในบัญชีเปลี่ยนแปลง
- 1.7. ครูผู้สอนให้นักเรียนแต่ละคนวาดภาพแบบจำลองปรากฏการณ์ระดับโมเลกุลของปรากฏการณ์ข้างต้นลงในใบกิจกรรมที่ 7 (ตอนที่ 1 ข้อที่ 1.3)

<p>Step 1 : ตัดกระดาษ label บนหลอดทดลอง 7</p> 	<p>Step 2 : หยดกรด-เบสตามที่ระบุในกระดาษ label 8</p> 
<p>Step 3 : หยด indicator ลงในหลอดทดลอง 9</p> 	<p>Step 4 : หาค่า pH จากสีของสารละลาย 10</p> 

รูปที่ 1 ตัวอย่างสื่อการสอนที่ใช้ในการชี้แจงปฏิบัติการในขั้นตอนที่ 1

## ขั้นที่ 2 การนำไปใช้และประเมินแบบจำลอง (10 นาที)

- 2.1. ครูผู้สอนให้นักเรียนนำแบบจำลองไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ในโมเลกุลโดยการให้ตอบคำถามและอภิปรายร่วมกัน ดังต่อไปนี้
- 2.1.1. ในหลอดหยดควรประกอบด้วยสารใดบ้าง (แนวคำตอบ NaOH)
- 2.1.2. ในหลอดทดลองที่ 2 ก่อนการผสมควรประกอบด้วยสารใดบ้าง (แนวคำตอบ HCl)

- 2.1.3. ปฏิกิริยาระหว่าง HCl และ NaOH เป็นแบบ 1:1 หาก HCl ลดลง 1 mol จำนวนของ NaOH จะลดลงกี่ mol และเกิด NaCl ขึ้นกี่ mol (แนวคำตอบ NaOH ลดลง 1 mol และ NaCl เกิดขึ้น 1 mol)
- 2.1.4. สารใดที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (แนวคำตอบ HCl)
- 2.1.5. ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาระหว่าง HCl กับ NaOH คืออะไร (แนวคำตอบ NaCl และน้ำ)
- 2.1.6. ในหลอดทดลองที่ 2 หลังการผสมควรประกอบด้วยสารใดบ้าง (แนวคำตอบ HCl และ NaCl)
- 2.1.7. จำนวน mol ของ NaCl ที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับสารที่หมดหรือสารที่เหลือ (แนวคำตอบ สารที่หมด เนื่องจากหากสารตั้งต้นหมด ปฏิกิริยาจะสิ้นสุด และหยุดสร้างผลิตภัณฑ์)
- 2.2. ครูผู้สอนให้นักเรียนประเมินความเข้าใจของแบบจำลองตนเอง โดยครูผู้สอนให้นักเรียน
- 2.2.1. เขียนอธิบายว่าวิธีการคำนวณของนักเรียนสอดคล้องกับที่อภิปรายข้างต้นหรือไม่อย่างไร
- 2.2.2. บอกจุดที่ต้องการแก้ไข/ปรับปรุงในแบบจำลองของตนเอง ลงในใบกิจกรรมที่ 7 (ตอนที่ 2 ข้อที่ 2.1-2.2)

### ขั้นที่ 3 การปฏิเสชแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง (20 นาที)

- 3.1. ครูผู้สอนให้นักเรียนลงมือแก้ไขแบบจำลองของตนเอง โดยการวาดแบบจำลองในระดับโมเลกุลใหม่อีกครั้ง หลังการปรับปรุง ลงในใบกิจกรรมที่ 7 (ตอนที่ 3 ข้อที่ 3.1-3.2)
- 3.2. ครูผู้สอนสุ่มนักเรียนจำนวน 2 คนออกมานำเสนอแบบจำลองที่วาดใหม่ โดยครูผู้สอนอาจใช้คำถามช่วยนักเรียนที่ออกมานำเสนอ เพื่อเป็นการอภิปรายและสรุปบทเรียนร่วมกับนักเรียน เช่น
- 3.2.1. นักเรียนกำหนดให้ NaOH ในหลอดหยดมีกี่โมเลกุล (แนวคำตอบ 4 โมเลกุล)
- 3.2.2. นักเรียนกำหนดให้ HCl ในหลอดทดลองที่ 2 มีกี่โมเลกุล (แนวคำตอบ 5 โมเลกุล)
- 3.2.3. ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาแบบ 1:1 เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดจะเหลือ HCl จำนวนกี่ mol (แนวคำตอบ 1 mol) และเกิด NaCl ขึ้นจำนวนกี่ mol (แนวคำตอบ 4 mol)
- 3.3. ครูผู้สอนลงข้อสรุปว่า หากปฏิกิริยาเป็นแบบ 1:1 เมื่อใช้กรดในการทำปฏิกิริยาเท่าใด ก็จะใช้เบสในการทำปฏิกิริยาเท่านั้น ดังนั้นสารที่มีจำนวน mol มากกว่าจะเหลือจากการทำปฏิกิริยา ในที่นี้คือกรด HCl ดังนั้น pH ของสารละลายจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ HCl

ขั้นที่ 4 การขยายแบบจำลอง (30 นาที)

- 4.1. ครูผู้สอนให้นักเรียนทำใบกิจกรรมที่ 7 (ข้อที่ 4.1-4.2) เพื่อฝึกการคำนวณหาค่า pH จากกรดแก่หรือเบสแก่ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โดยครูผู้สอนจะสาธิตการคำนวณให้นักเรียนดูก่อน 1 ข้อ
- 4.2. ครูผู้สอนชี้ให้เห็นกระบวนการคิดแบบตรงไหนตรงมาก่อนข้างมีความซับซ้อนและหลายขั้นตอน จึงได้มีการสรุปเป็นสูตรการคำนวณ เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน อย่างไรก็ตาม สูตรการคำนวณดังกล่าวก็มีที่มาจากให้นำจำนวน mol ที่เหลือมาคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่เหลือ ( $C_{\text{เหลือ}}$ ) โดยการนำจำนวน mol ของสารที่มากกว่าลบสารที่น้อยกว่า ตามที่ได้เรียนไปในต้นคาบ

$$C_{\text{เหลือ}} = \frac{aC_1V_1 - bC_2V_2}{aV_{\text{รวม}}}$$

- 4.3. ครูผู้สอนให้นักเรียนทำแบบทดสอบที่ 1 เพื่อตรวจสอบความเข้าใจ เรื่อง การคำนวณกรด-เบส 1 จำนวน 3 ข้อแบบข้อคำถาม 4 ตัวเลือก ผ่าน google form



### แบบทดสอบหลังเรียน

- เมื่อนำกรดแก่ HCl และเบสแก่ NaOH มาผสมกันในจำนวน mol ที่ไม่เท่ากัน ปรากฏว่าเหลือกรดแก่ HCl ในสารละลาย นักเรียนคิดว่าค่า pH ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับปัจจัยใดมากที่สุด
  - ความเข้มข้นของเกลือที่เกิดขึ้น
  - ความเข้มข้นของ  $H^+$  ที่เหลือในสารละลาย
  - ความเข้มข้นของ  $OH^-$  ที่เหลือในสารละลาย
  - ความเข้มข้นของน้ำที่เกิดขึ้น
- หากนำเบสแก่ NaOH เติมลงในสารละลายกรดแก่ HCl มากเกินไปจนทำให้เหลือเบสในสารละลาย นักเรียนคิดว่าค่า pH ของสารละลายจะเปลี่ยนไปอย่างไร
  - ค่า pH จะต่ำลง
  - ค่า pH จะเพิ่มขึ้น
  - ค่า pH จะไม่เปลี่ยนแปลง
  - ค่า pH ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือที่เกิดขึ้น
- เหตุใดความเข้มข้นของเกลือที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่และเบสแก่จึงไม่มีผลต่อค่า pH ของสารละลายที่เหลือ
  - เกลือไม่ทำให้เกิด  $H^+$  หรือ  $OH^-$  ในสารละลาย
  - เกลือทำหน้าที่เพิ่มค่า pH ของสารละลาย
  - เกลือทำให้ปริมาณน้ำในสารละลายเพิ่มขึ้น
  - เกลือทำให้ค่า pH คงที่ในสารละลาย

พูน ปณ ทิโต ชีเว

## 7. การวัดและการประเมินผล

ผลการเรียนรู้	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน
ด้านความรู้ (K) 1) นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่าค่า pH ของสารละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ $H^+$ ที่เหลือจากกรดแก่ และความเข้มข้นของ $OH^-$ ที่เหลือจากเบสแก่	ตรวจการทำ แบบทดสอบที่ 1	แบบประเมินผล การทำ แบบทดสอบที่ 1	นักเรียนได้ระดับ คุณภาพดี (2 คะแนน) ขึ้นไป ถือว่าผ่านเกณฑ์ การประเมิน
ด้านทักษะกระบวนการ (P) 1) นักเรียนสามารถคำนวณค่า pH ของกรดแก่ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากรด-เบสได้	ตรวจการทำ กิจกรรมที่ 1	แบบประเมินผล การทำกิจกรรมที่ 1	นักเรียนได้ระดับ คุณภาพดี (2 คะแนน) ขึ้นไป ถือว่าผ่านเกณฑ์ การประเมิน
ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A) 1) นักเรียนเข้าเรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงานตรงเวลา	การสังเกต พฤติกรรมนักเรียน	แบบประเมินการ สังเกตพฤติกรรม นักเรียน	นักเรียนได้ระดับ คุณภาพดี (2 คะแนน) ขึ้นไป ถือว่าผ่านเกณฑ์ การประเมิน



## 7.1) เกณฑ์การประเมินนักเรียน

ด้าน	ประเด็นการประเมิน	ค่าน้ำหนัก คะแนน/ คุณภาพ	แนวทางการให้คะแนน
K	1) นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่าค่า pH ของสารละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ $H^+$ ที่เหลือจากกรดแก่และความเข้มข้นของ $OH^-$ ที่เหลือจากเบสแก่	3 (ดีมาก)	ได้คะแนนจาก rubric score คะแนน 5-6 คะแนน
		2 (ดี)	ได้คะแนนจาก rubric score คะแนน 3-4 คะแนน
		1 (พอใช้)	ได้คะแนนจาก rubric score คะแนน 1-2 คะแนน
P	1) นักเรียนสามารถคำนวณค่า pH ของกรดแก่ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากรด-เบสได้	3 (ดีมาก)	ได้คะแนนจาก rubric score 5-6 คะแนน
		2 (ดี)	ได้คะแนนจาก rubric score 3-4 คะแนน
		1 (พอใช้)	ได้คะแนนจาก rubric score 1-2 คะแนน
A	1) นักเรียนเข้าเรียนตรงเวลา 2) นักเรียนส่งงานตรงเวลา	3 (ดีมาก)	ได้คะแนนจาก rubric score 7-9 คะแนน
		2 (ดี)	ได้คะแนนจาก rubric score 4-6 คะแนน
		1 (พอใช้)	ได้คะแนนจาก rubric score 1-3 คะแนน



## 7.2) เกณฑ์การให้คะแนน (rubric score) ด้านความรู้ (K)

ข้อ	องค์ประกอบ ประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน			
		0	1	2	3
1	ขั้นตอนการคำนวณ ค่า pH ของ สารละลายขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของ $H^+$ ที่เหลือจากกรดแก่	นักเรียนไม่ตอบ แบบทดสอบ หรือ ตอบแบบทดสอบ หลังเรียนถูก 0 ข้อ	นักเรียนตอบ แบบทดสอบ หลังเรียนถูก 1 ข้อ	นักเรียนตอบ แบบทดสอบ หลังเรียนถูก 2 ข้อ	นักเรียนตอบ แบบทดสอบ หลังเรียนถูก 3 ข้อ

## 7.3) เกณฑ์การให้คะแนน (rubric score) ชิ้นงาน

ข้อ	ด้านของ สมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
			0	1	2
1	ความสามารถ ในการบอก ความหมาย ของตัวแทน ทางความคิด	ความ สอดคล้องของ คำอธิบายที่มี ต่อตัวแทน ความคิดที่ กำหนด	นักเรียนไม่ สามารถอธิบาย สิ่งที่สังเกตเห็น จากการ ทดสอบค่า pH ด้วยกระดาษ universal indicator ได้	นักเรียนสามารถ อธิบายสิ่งที่ สังเกตเห็นได้ สอดคล้องกับการ เปลี่ยนแปลงที่ เกิดขึ้นบางส่วน คือ อธิบายเพียงปริมาณ ของสารที่ใช้หรือสี ของกระดาษ universal indicator อย่างไม่ อย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถ อธิบายสิ่งที่ สังเกตเห็นได้ สอดคล้องกับ เปลี่ยนแปลงที่ เกิดขึ้นได้ครบทุก ประเด็น คือ อธิบายทั้งปริมาณ ของสารที่ใช้และสี ของกระดาษ universal indicator
2	ความสามารถ ในการแปล ความระหว่าง ตัวแทน ความคิดใน ระดับเดียวกัน	ความ สอดคล้องใน การใช้ตัวแทน ทางความคิด ในการอธิบาย ตัวแทน ความคิดใน	นักเรียนไม่ สามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่างสมการ คำนวณทาง คณิตศาสตร์	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่างสมการ คำนวณทาง คณิตศาสตร์หนึ่งไป ยังกับสมการทาง	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่างสมการ คำนวณทาง คณิตศาสตร์หนึ่งไป ยังกับสมการทาง

ข้อ	ด้านของ สมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
			0	1	2
		ระดับเดียวกัน	หนึ่งไปยังกับ สมการทาง คณิตศาสตร์ หนึ่งได้	คณิตศาสตร์หนึ่งได้ บางส่วน โดย คำนึงถึงเพียงตัว แปรร่วมของทั้ง 2 สมการหรือตัวแปร ที่โจทย์ถามอย่างใด อย่างหนึ่ง	คณิตศาสตร์หนึ่งได้ ครบทุกประเด็น โดยคำนึงถึงตัวแปร ร่วมของทั้ง 2 สมการและตัวแปร ที่โจทย์ถาม
3	ความสามารถ ในการแปล ความระหว่าง ตัวแทน ความคิดใน ระดับที่ แตกต่างกัน	ความ สอดคล้องใน การใช้ตัวแทน ทางความคิด ในการอธิบาย ตัวแทน ความคิดต่าง ระดับ	นักเรียนไม่ สามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่าง ปฏิกริยาเคมี กับ ปรากฏการณ์ ในระดับ โมเลกุลได้	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่างปฏิกริยา เคมีกับ ปรากฏการณ์ใน ระดับโมเลกุลได้ บางส่วน โดย พิจารณาเพียงชนิด ของสารหรือจำนวน ของสารใน สารละลายอย่างใด อย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยง ความสัมพันธ์ ระหว่างปฏิกริยา เคมีกับ ปรากฏการณ์ใน ระดับโมเลกุลได้ ครบทุกประเด็น โดยคำนึงถึงชนิด ของสารและจำนวน ของสารใน สารละลาย
4	ความสามารถ ในการใช้ ตัวแทน ความคิดใน การอธิบาย	ความ สอดคล้องของ คำอธิบายกับ ตัวแทนทาง ความคิดที่ นักเรียน นำเสนอ	นักเรียนไม่ สามารถเขียน อธิบายภาพ แบบจำลองใน ระดับโมเลกุลที่ ตนวาดได้	นักเรียนสามารถ เขียนอธิบายภาพ แบบจำลองในระดับ โมเลกุลที่ตนวาดได้ บางส่วน คือ อธิบายถึงการแทน สารด้วยสัญลักษณ์ ต่าง ๆ หรือ	นักเรียนสามารถ เขียนอธิบายภาพ แบบจำลองใน ระดับโมเลกุลที่ตน วาดได้ครบทุก ประเด็น คือ อธิบายถึงการแทน สารด้วยสัญลักษณ์

ข้อ	ด้านของ สมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
			0	1	2
				เหตุการณ์ที่เกิดตอน แรกและตอนหลัง อย่างใดอย่างหนึ่ง	ต่าง ๆ และ เหตุการณ์ที่เกิด ตอนแรกและตอน หลัง
5	ความสามารถ ในการ เชื่อมโยง ระหว่าง ตัวแทน ความคิดกับ แนวคิดทาง เคมี	จำนวนของ ระดับตัวแทน ทางความคิดที่ ใช้อธิบาย	นักเรียนไม่ สามารถ เชื่อมโยง แนวคิดทางเคมี กับสิ่งที่ได้จาก การสังเกต ภาพในระดับ โมเลกุลและ สมการทาง คณิตศาสตร์ได้	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยงแนวคิด ทางเคมีกับสิ่งที่ได้ จากการสังเกต ภาพ ในระดับโมเลกุล และสมการทาง คณิตศาสตร์ได้อย่าง ใดอย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยงแนวคิด ทางเคมีกับสิ่งที่ได้ จากการสังเกต ภาพในระดับ โมเลกุล และ สมการทาง คณิตศาสตร์ได้ อย่างน้อย 2 อย่าง

## 7.4) เกณฑ์การให้คะแนน (rubric score) ด้านทักษะกระบวนการ (P)

ข้อ	องค์ประกอบ การประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
		0	1	2
1	การคำนวณหา สารที่เหลือจาก การทำปฏิกิริยา	นักเรียนไม่แสดงวิธีทำ หรือแสดงวิธีทำที่ไม่ เกี่ยวข้อง	นักเรียนกล่าวถึงการ นำเอาสารตั้งต้นมา เปรียบเทียบกัน เพื่อ พิจารณาว่าสารใดเหลือ จากการนำความเข้มข้น ของสาร (mol/L) มาลบ กันโดยตรง	นักเรียนกล่าวถึงการ นำเอาสารตั้งต้นมา เปรียบเทียบกัน เพื่อ พิจารณาว่าสารใดเหลือ จากการนำจำนวนของ สาร (mol) มาลบกัน
2	การหาค่า pH จากสารที่เหลือ จากการทำ ปฏิกิริยา	นักเรียนไม่แสดงวิธีทำ หรือแสดงวิธีทำที่ไม่ เกี่ยวข้อง	นักเรียนนำความเข้มข้น ของสารที่เหลือมา คำนวณหาค่า pH โดยตรง	นักเรียนนำความเข้มข้น ของ $H^+$ ที่ได้จากสารที่ เหลือมาคำนวณหาค่า pH

## 7.5 เกณฑ์การให้คะแนน (rubric score) ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

ข้อ	องค์ประกอบ การประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน			
		0	1	2	3
1	ความตรงต่อ เวลาในการเข้า เรียน	เข้าเรียนสาย เกิน 30 นาที/คาบ	เข้าเรียนสายเกิน 20 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที/คาบ	เข้าเรียนสายเกิน 10 นาที แต่ไม่ เกิน 20 นาที/ คาบ	เข้าเรียนตรงเวลา หรือสายไม่เกิน 10 นาที/คาบ
2	ความตรงต่อ เวลาในการส่ง งาน	ส่งงานช้ากว่า กำหนดเกิน 2 วัน	ส่งงานช้ากว่า กำหนดไม่เกิน 2 วัน	ส่งงานช้ากว่า กำหนดไม่เกิน 1 วัน	ส่งงานภายใน ระยะเวลาที่ กำหนด

## 8. สื่อ/แหล่งการเรียนรู้

## 8.1) สื่อการเรียนรู้

- 1) ใบกิจกรรมที่ 7 เรื่อง pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา
- 2) อุปกรณ์การทำการทดลอง เรื่อง pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

## 8.2) แหล่งการเรียนรู้

- 1) ห้องสมุด
- 2) แหล่งข้อมูลสารสนเทศ



## 9. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

## บันทึกผลหลังการสอน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7

รายวิชา เคมี 4 รหัส ว32233

เรื่อง pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือ

บันทึกผลหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหา/อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

.....

.....

.....

.....

.....

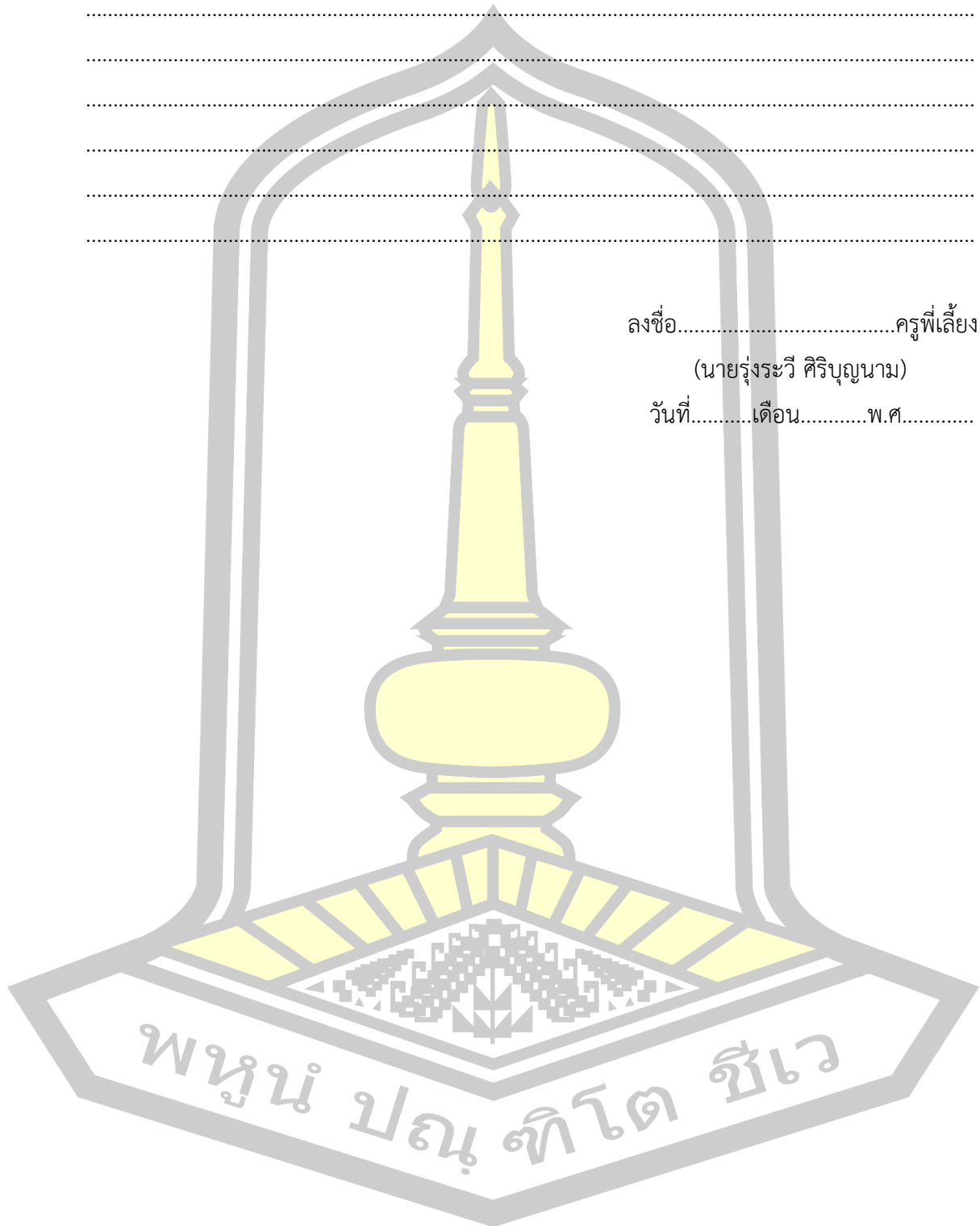


ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นายธิตินันท์ พงษ์จันทร์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ความคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของครูพี่เลี้ยง



## ใบกิจกรรมที่ 7 pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

### ขั้นตอนการทดลอง

1. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมารับใบกิจกรรมที่ 7 เครื่องแก้วและสารเคมี
2. ให้นักเรียนติดกระดาษ label บนหลอดทดลอง โดยหลอดที่ 1 และ 2 ให้เขียนบนกระดาษ label ด้วยหมายเลข 1 (10 HCl : 20 NaOH) และ 2 (20 HCl : 10 NaOH) ตามลำดับ
3. ให้นักเรียนหยด HCl ด้วย dropper จำนวน 10 และ 20 หยด ลงในหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
4. ให้นักเรียนหยด NaOH ด้วย dropper จำนวน 20 และ 10 หยด (โดยใช้ dropper อันใหม่) ลงในหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
5. ให้นักเรียนทำการทดสอบค่า pH ของสารละลายทั้ง 2 หลอด โดยการหยดสารละลาย universal indicator จำนวน 1-2 หยด จากนั้นบันทึกผลการสังเกตลงในใบกิจกรรมที่ 1 (ตอนที่ 1 ข้อที่ 1.1)
6. ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่ 1 (ตอนที่ 1 ข้อที่ 1.2)

### ตอนที่ 1 สร้างแบบจำลอง

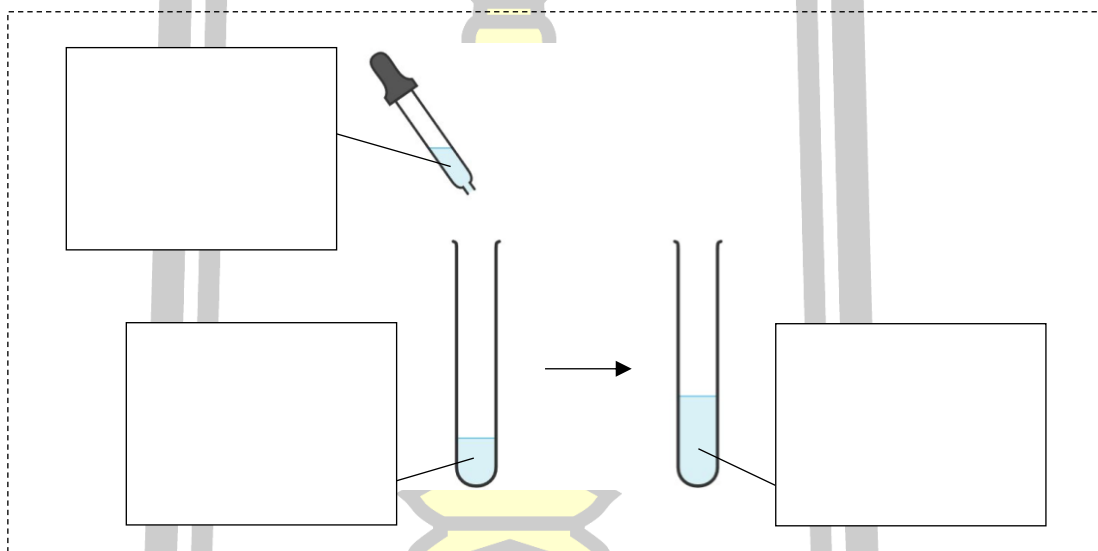
1.1 ให้นักเรียนสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง แล้วบันทึกสีของสารละลายและค่า pH ที่อ่านได้ลงในตาราง

	หลอดทดลองที่ 1	หลอดทดลองที่ 2
จำนวน HCl ที่ใช้ (mol)		
จำนวน NaOH ที่ใช้ (mol)		
สารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา		
สีของสารละลาย (ก่อนหยด indicator)		
สีของสารละลาย (หลังหยด indicator)		
ค่า pH ที่อ่านได้		
ความเป็นกรด-เบส		

1.2 ให้นักเรียนเขียนสรุปผลการสังเกตที่ได้จากตารางข้างต้น

1.3 ให้นักเรียนวาดภาพโมเลกุลของสารละลายภายใน 1) dropper 2) หลอดทดลองที่ 2 ก่อนหยด NaOH และ 3) หลอดทดลองที่ 2 หลังหยด NaOH เพื่อใช้ประกอบการอภิปรายผลการทดลอง โดยไม่ต้องวาดโมเลกุลของน้ำ

กำหนดให้ ● แทน HCl      △ แทน NaCl  
○ แทน NaOH



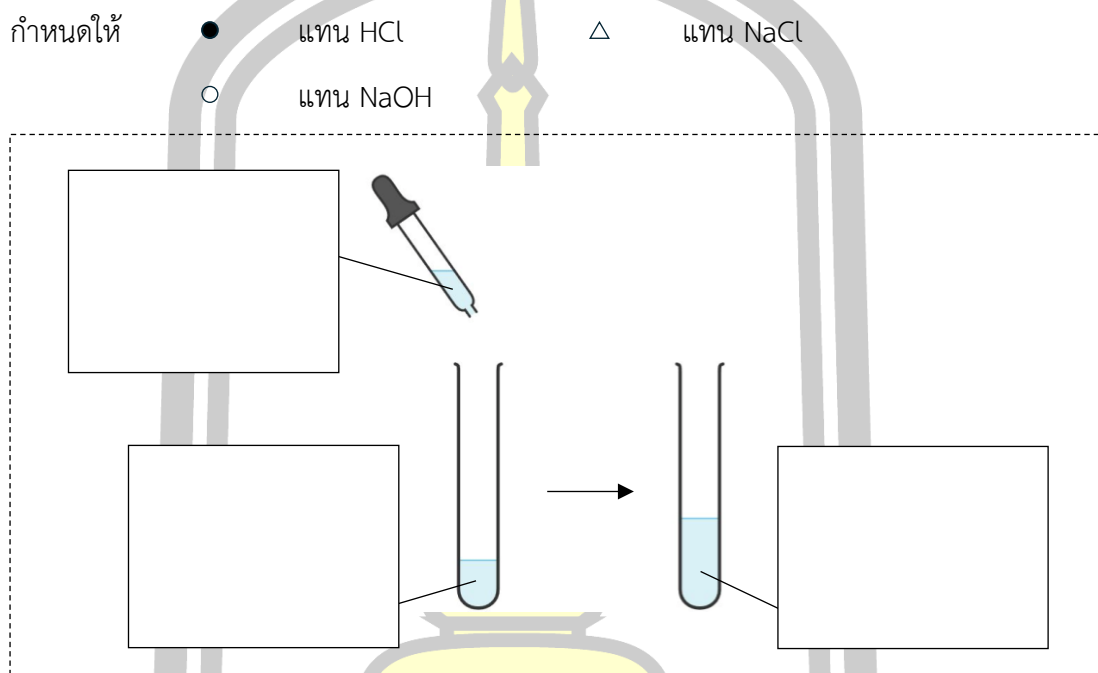
ตอนที่ 2 ประเมินแบบจำลอง

2.1 ให้นักเรียนบอกจุดเด่นและจุดด้อยของแบบจำลองของตนเอง

2.2 ให้นักเรียนบอกแนวทางในการแก้ไข/ปรับปรุงในแบบจำลองของตนเอง

### ตอนที่ 3 ปรับปรุงแบบจำลอง

3.1 ให้นักเรียนวาดภาพโมเลกุลของสารละลายภายใน 1) dropper 2) หลอดทดลองที่ 2 ก่อนหยด NaOH และ 3) หลอดทดลองที่ 2 หลังหยด NaOH เพื่อใช้ประกอบการอภิปรายผลการทดลอง หลังจากทำการปรับปรุงแบบจำลอง โดยไม่ต้องวาดโมเลกุลของน้ำ กำหนดให้



3.2 ให้นักเรียนเขียนอธิบายแผนภาพระดับโมเลกุลที่นักเรียนวาดในข้อที่ 3.1 โดยละเอียด เช่น นักเรียนแทนสารต่าง ๆ ได้ด้วยสัญลักษณ์ใด จำนวนเท่าใด ตอนแรกและตอนหลังเป็นอย่างไร มีความแตกต่างกันอย่างไร เป็นต้น



**ตอนที่ 4 แบบฝึกหัดเพิ่มเติม**

4.1 หากนักเรียนนำกรด  $\text{HClO}_4$  เข้มข้น  $0.01 \text{ mol/L}$  ปริมาตร  $75 \text{ ml}$  ผสมกับเบส  $\text{KOH}$  เข้มข้น  $0.01 \text{ mol/L}$  ปริมาตร  $25 \text{ ml}$  เมื่อจุ่มกระดาษลิตมัสในสารละลายเพื่อทดสอบความเป็นกรดเบสของสารละลาย กระดาษลิตมัสควรจะเปลี่ยนเป็นสีใด และมีค่า pH เท่าใด (กำหนดให้  $\log 5 = 0.7$ )

4.2 เมื่อนำ  $\text{Ba(OH)}_2$  เข้มข้น  $0.01 \text{ M}$  ปริมาตร  $30 \text{ ml}$  มาผสมกับ  $\text{HCl}$  เข้มข้น  $0.004 \text{ M}$  ปริมาตร  $30 \text{ ml}$  จงคำนวณหาว่าสารละลายหลังผสมจะมีค่า pH เป็นเท่าใด (กำหนดให้  $\log 3 = 0.5$ )



สรุปสูตรการคำนวณหาค่า pH กรณีกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยากรด-เบส

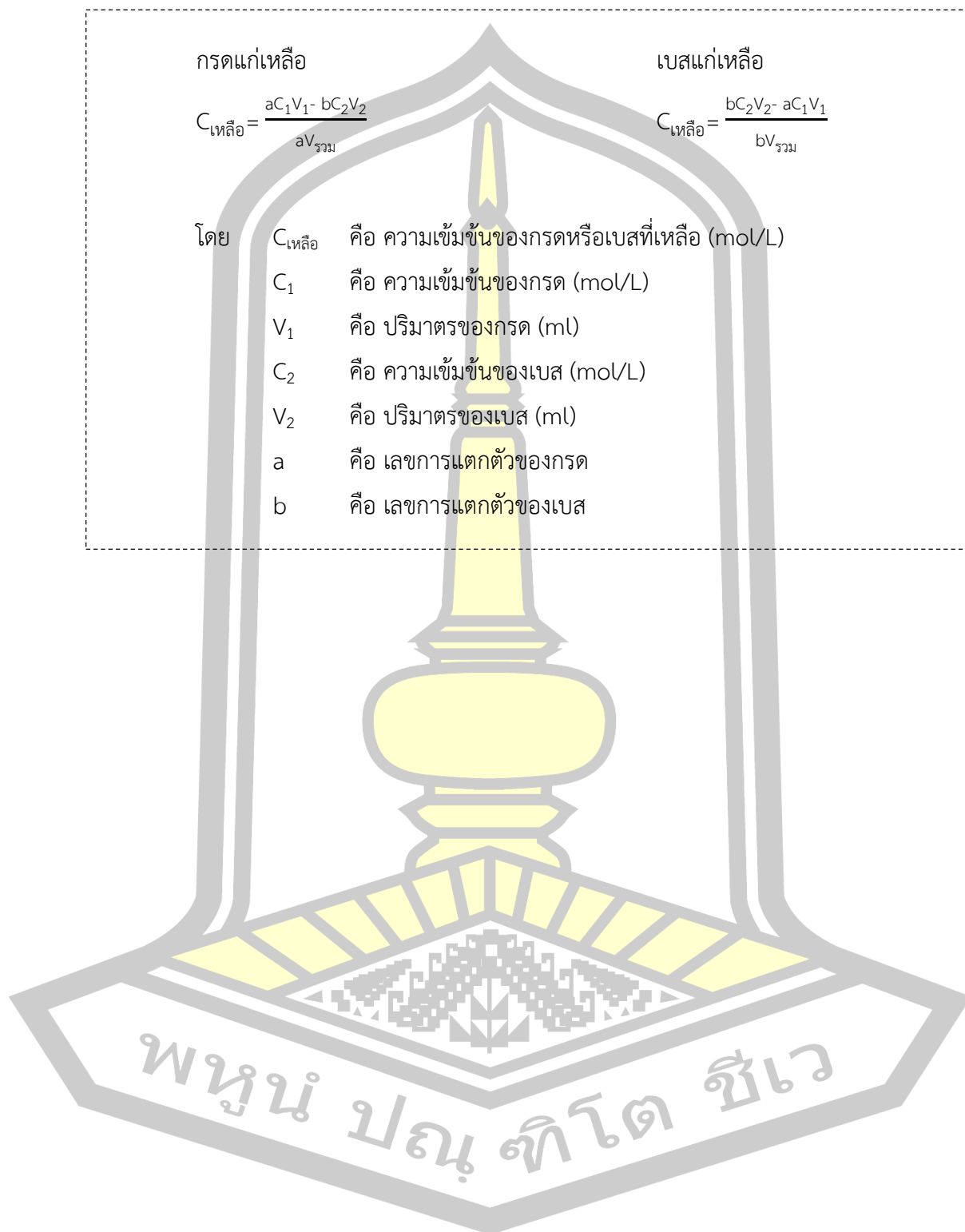
กรดแก่เหลือ

$$C_{\text{เหลือ}} = \frac{aC_1V_1 - bC_2V_2}{aV_{\text{รวม}}}$$

เบสแก่เหลือ

$$C_{\text{เหลือ}} = \frac{bC_2V_2 - aC_1V_1}{bV_{\text{รวม}}}$$

โดย  $C_{\text{เหลือ}}$  คือ ความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่เหลือ (mol/L)  
 $C_1$  คือ ความเข้มข้นของกรด (mol/L)  
 $V_1$  คือ ปริมาตรของกรด (ml)  
 $C_2$  คือ ความเข้มข้นของเบส (mol/L)  
 $V_2$  คือ ปริมาตรของเบส (ml)  
 $a$  คือ เลขการแตกตัวของกรด  
 $b$  คือ เลขการแตกตัวของเบส



## ใบกิจกรรมที่ 7 pH ของสารละลาย เมื่อกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

### ขั้นตอนการทดลอง

- ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมาจับใบกิจกรรมที่ 7 เครื่องแก้วและสารเคมี
- ให้นักเรียนติดกระดาษ label บนหลอดทดลอง โดยหลอดที่ 1 และ 2 ให้เขียนบนกระดาษ label ด้วยหมายเลข 1 (10 HCl : 20 NaOH) และ 2 (20 HCl : 10 NaOH) ตามลำดับ
- ให้นักเรียนหยด HCl ด้วย dropper จำนวน 10 และ 20 หยด ลงในหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
- ให้นักเรียนหยด NaOH ด้วย dropper จำนวน 20 และ 10 หยด (โดยใช้ dropper อันใหม่) ลงในหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
- ให้นักเรียนทำการทดสอบค่า pH ของสารละลายทั้ง 2 หลอด โดยการหยดสารละลาย universal indicator จำนวน 1-2 หยด จากนั้นบันทึกผลการสังเกตลงในใบกิจกรรมที่ 1 (ตอนที่ 1 ข้อที่ 1.1)
- ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่ 1 (ตอนที่ 1 ข้อที่ 1.2)

### ตอนที่ 1 สร้างแบบจำลอง

1.1 ให้นักเรียนสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง แล้วบันทึกสีของสารละลายและค่า pH ที่อ่านได้ในตาราง

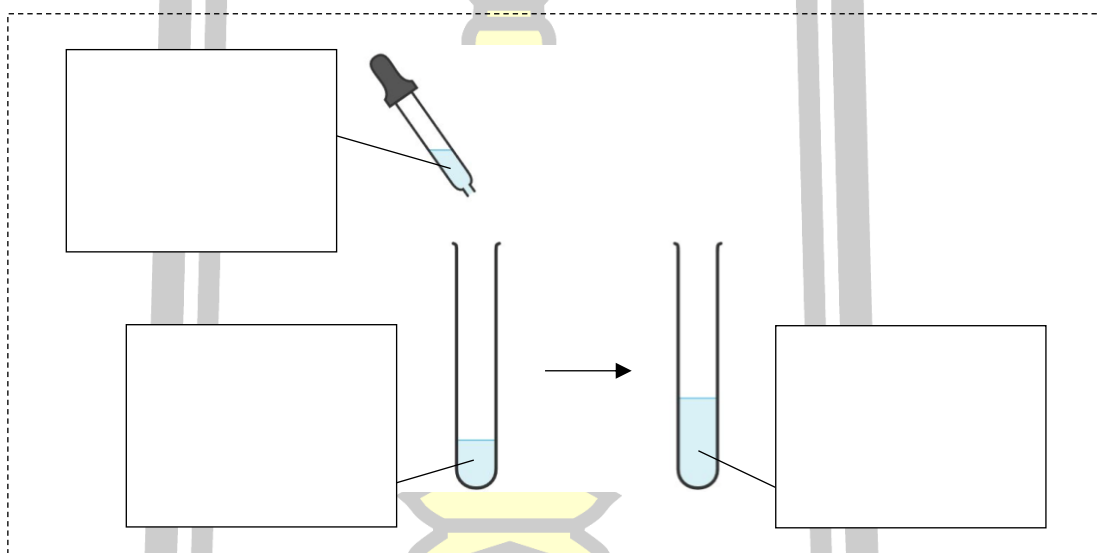
	หลอดทดลองที่ 1	หลอดทดลองที่ 2
จำนวน HCl ที่ใช้ (mol)	$\text{mol}_{\text{HCl}} = (0.1 \text{ mol/L})(0.0005 \text{ L})$ $= 5 \times 10^{-5} \text{ mol}$	$\text{mol}_{\text{HCl}} = (0.1 \text{ mol/L})(0.001 \text{ L})$ $= 10 \times 10^{-5} \text{ mol}$
จำนวน NaOH ที่ใช้ (mol)	$\text{mol}_{\text{NaOH}} = (0.1 \text{ mol/L})(0.001 \text{ L})$ $= 10 \times 10^{-5} \text{ mol}$	$\text{mol}_{\text{NaOH}} = (0.1 \text{ mol/L})(0.0005 \text{ L})$ $= 5 \times 10^{-5} \text{ mol}$
สารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา	NaOH	HCl
สีของสารละลาย (ก่อนหยด indicator)	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี
สีของสารละลาย (หลังหยด indicator)	เขียวอมฟ้า	ส้มอ่อน
ค่า pH ที่อ่านได้	8-9	4-5
ความเป็นกรด-เบส	เบส	กรด

1.2 ให้นักเรียนเขียนสรุปผลการสังเกตที่ได้จากตารางข้างต้น

ค่า pH ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดแก่หรือเบสแก่ที่หลีกเลี่ยงการทำปฏิกิริยา โดยไม่นำความเข้มข้นของเกลือมาคิดด้วย

1.3 ให้นักเรียนวาดภาพโมเลกุลของสารละลายภายใน 1) dropper 2) หลอดทดลองที่ 2 ก่อนหยด NaOH และ 3) หลอดทดลองที่ 2 หลังหยด NaOH เพื่อใช้ประกอบการอภิปรายผลการทดลอง โดยไม่ต้องวาดโมเลกุลของน้ำ

กำหนดให้ ● แทน HCl      △ แทน NaCl  
○ แทน NaOH



ตอนที่ 2 ประเมินแบบจำลอง

2.1 ให้นักเรียนบอกจุดเด่นและจุดด้อยของแบบจำลองของตนเอง

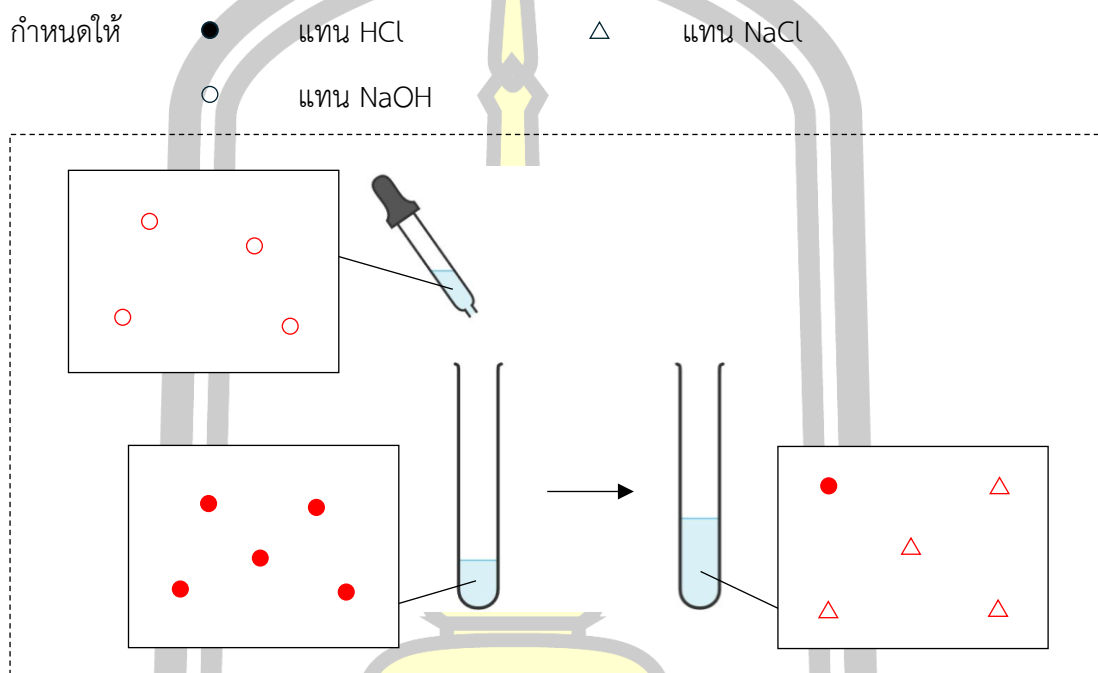
จุดเด่น เช่น ระบุชนิดของสารใน 1) หลอดหยด 2) หลอดทดลองที่ 2 ก่อนและหลังผสมถูกต้อง  
จุดด้อย เช่น ระบุจำนวนของ NaCl ในหลอดทดลองที่ 2 หลังผสมไม่ถูกต้อง

2.2 ให้นักเรียนบอกแนวทางในการแก้ไข/ปรับปรุงในแบบจำลองของตนเอง

เช่น วาดจำนวนของ NaCl ที่เกิดขึ้นจะต้องให้เท่ากับจำนวน NaOH เริ่มต้น เนื่องจากปฏิกิริยาจะสิ้นสุดเมื่อสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งหมด ซึ่งก็คือ NaOH

### ตอนที่ 3 ปรับปรุงแบบจำลอง

3.1 ให้นักเรียนวาดภาพโมเลกุลของสารละลายภายใน 1) dropper 2) หลอดทดลองที่ 2 ก่อนหยด NaOH และ 3) หลอดทดลองที่ 2 หลังหยด NaOH เพื่อใช้ประกอบการอภิปรายผลการทดลอง หลังจากทำการปรับปรุงแบบจำลอง โดยไม่ต้องวาดโมเลกุลของน้ำ กำหนดให้



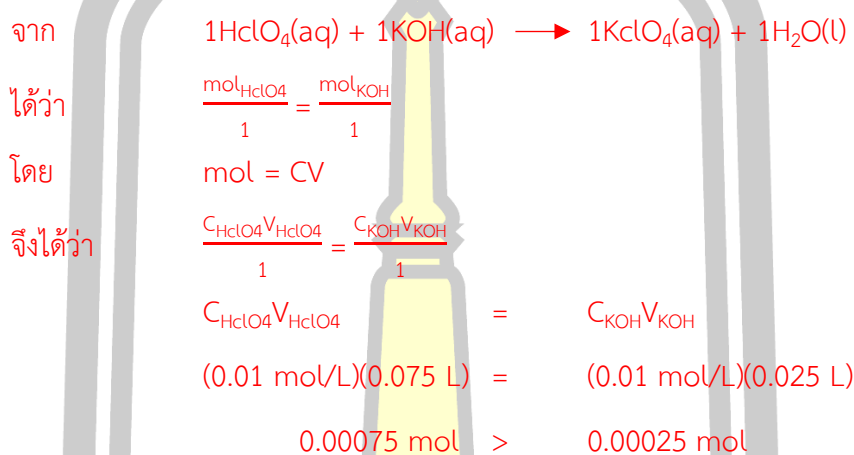
3.2 ให้นักเรียนเขียนอธิบายแผนภาพระดับโมเลกุลที่นักเรียนวาดในข้อที่ 3.1 โดยละเอียด เช่น นักเรียนแทนสารต่าง ๆ ได้ด้วยสัญลักษณ์ใด จำนวนเท่าใด ตอนแรกและตอนหลังเป็นอย่างไร มีความแตกต่างกันอย่างไร เป็นต้น

สารละลายภายใน dropper จะมีแค่โมเลกุลของ NaOH แทนด้วย ○ และสารละลายภายใน หลอดทดลองที่ 2 ก่อนหยด NaOH จะมีแค่ HCl แทนด้วย ● แต่เมื่อนำ NaOH และ HCl มาผสมกัน พบว่าจะเหลือ HCl จากการทำปฏิกิริยา 1 โมเลกุลและมี NaCl เกิดขึ้น แทนด้วย △ จำนวน 4 โมเลกุล (เท่ากับ NaOH ตอนเริ่มต้น)

#### ตอนที่ 4 แบบฝึกหัดเพิ่มเติม

4.1 หากนักเรียนนำกรด  $\text{HClO}_4$  เข้มข้น  $0.01 \text{ mol/L}$  ปริมาตร  $75 \text{ ml}$  ผสมกับเบส  $\text{KOH}$  เข้มข้น  $0.01 \text{ mol/L}$  ปริมาตร  $25 \text{ ml}$  เมื่อจุ่มกระดาษลิตมัสในสารละลายเพื่อทดสอบความเป็นกรดเบสของสารละลาย กระดาษลิตมัสควรจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีค่า pH เท่าใด (กำหนดให้  $\log 5 = 0.7$ )

วิธีทำ ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบว่าสารใดเหลือจากการทำปฏิกิริยา



ขั้นตอนที่ 2 หาจำนวนกรดแก่หรือเบสแก่ที่เหลือ

เนื่องจาก 
$$\text{mol ของ } \text{HClO}_4 = 0.00075 \text{ mol}$$

$$\text{mol ของ } \text{KOH} = 0.00025 \text{ mol}$$

และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบ 1:1

หากใช้  $\text{HClO}_4$  จำนวน  $0.00075 \text{ mol}$  จะเท่ากับใช้  $\text{KOH}$  จำนวน  $0.00025 \text{ mol}$  ดังนั้น จะเหลือ  $\text{HClO}_4$  จากการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ  $0.0005 \text{ mol}$

ขั้นตอนที่ 3 หาความเข้มข้นของ  $\text{HClO}_4$  ที่เหลือ

จาก 
$$\text{mol} = CV_{\text{รวม}}$$

$$0.0005 = C(0.075 \text{ L} + 0.025 \text{ L})$$

$$C = 0.005 \text{ mol/L หรือ } 5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาค่า pH

เนื่องจาก  $\text{HClO}_4$  จำนวน 1 mol จะสามารถแตกตัวให้  $\text{H}^+$  จำนวน 1 mol

ดังนั้น  $[\text{HClO}_4] = [\text{H}^+] = 5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

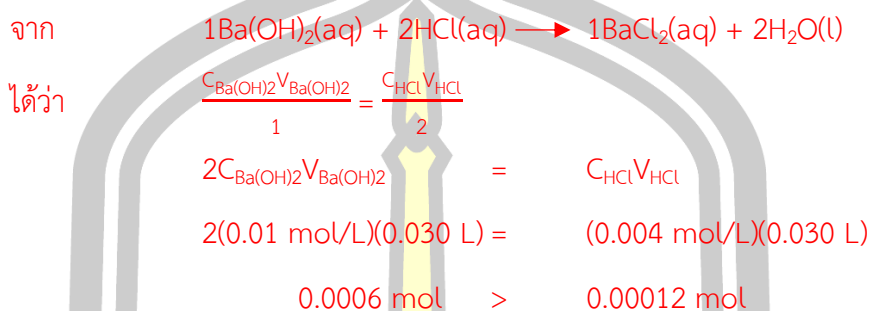
$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{pH} &= -\log[\text{H}^+] \\ &= -\log(5 \times 10^{-3}) \\ &= 3 - \log 5 \\ &= 3 - 0.7 \\ &= 2.3 \end{aligned}$$

ดังนั้น pH ของสารละลายหลังเกิดปฏิกิริยากรด-เบสจะมีค่าเท่ากับ 2.3 และกระดาษลิตมัส  
เปลี่ยนเป็นสีแดง



4.2 เมื่อนำ  $\text{Ba(OH)}_2$  เข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 30 ml มาผสมกับ HCl เข้มข้น 0.004 M ปริมาตร 30 ml จงคำนวณหาว่าสารละลายหลังผสมจะมีค่า pH เป็นเท่าใด (กำหนดให้  $\log 3 = 0.5$ )

วิธีทำ ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบว่าสารใดเหลือจากการทำปฏิกิริยา



ขั้นตอนที่ 2 หาคความเข้มข้นของ  $\text{Ba(OH)}_2$  ที่เหลือ

จาก  $C_{\text{เหลือ}} = \frac{bC_2V_2 - aC_1V_1}{bV_{\text{รวม}}}$

$$C_{\text{เหลือ}} = \frac{0.00060 - 0.00012}{2(30+30)}$$

$$C_{\text{เหลือ}} = 0.004 \text{ mol/L}$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่า pH

เนื่องจาก  $\text{Ba(OH)}_2$  จำนวน 1 mol จะสามารถแตกตัวให้  $\text{OH}^-$  จำนวน 2 mol

ดังนั้น  $[\text{OH}^-] = 2 \times 0.004 = 0.008 = 8 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

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

$$= -\log(8 \times 10^{-3})$$

$$= 3 - 2\log 3$$

$$= 3 - 2(0.5) = 2$$

ดังนั้น  $\text{pH} = 14 - 2 = 12$

ดังนั้น pH ของสารละลายหลังเกิดปฏิกิริยากรด-เบสจะมีค่าเท่ากับ 12

สรุปสูตรการคำนวณหาค่า pH กรณีกรดแก่หรือเบสแก่เหลือจากการทำปฏิกิริยากรด-เบส

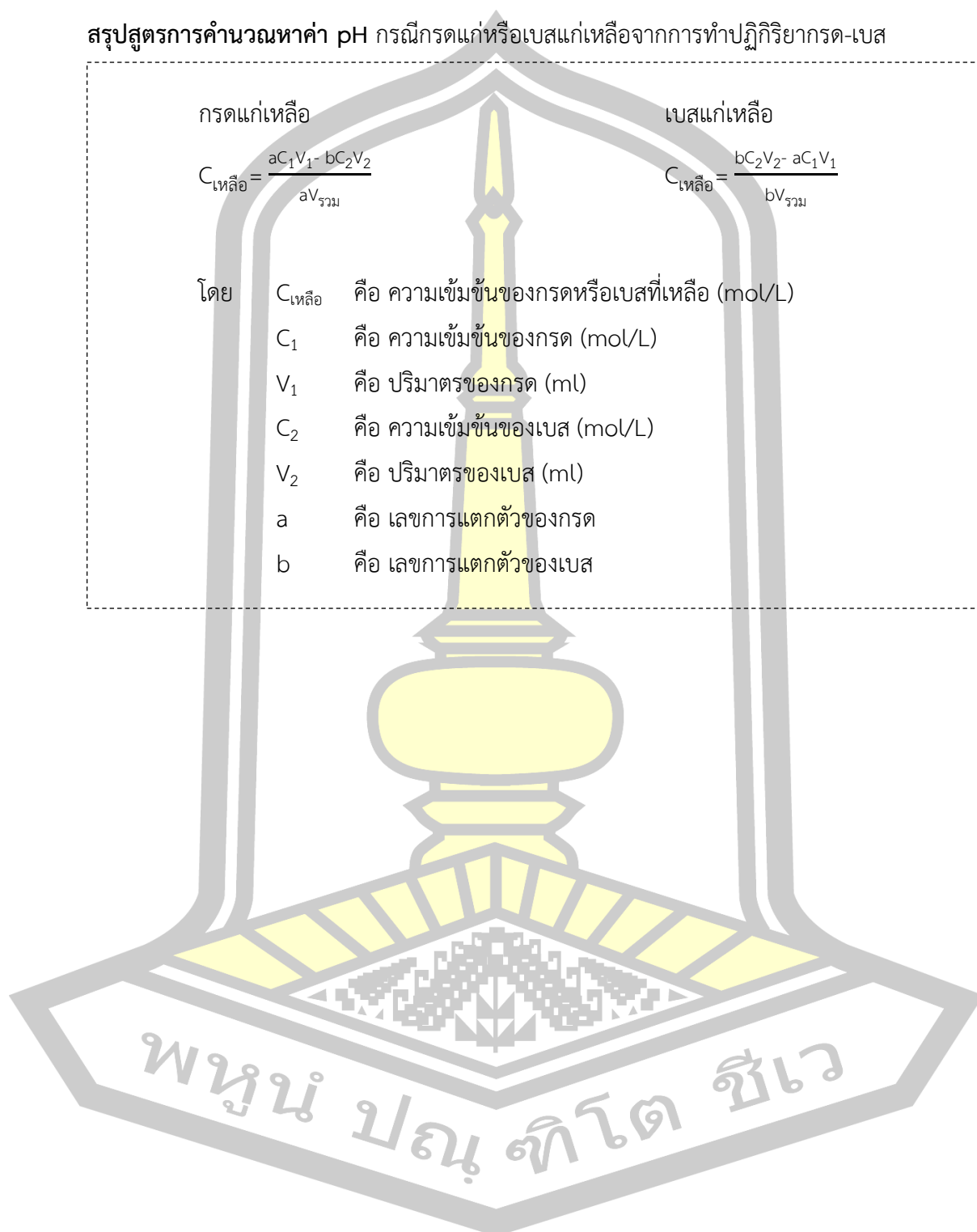
กรดแก่เหลือ

$$C_{\text{เหลือ}} = \frac{aC_1V_1 - bC_2V_2}{aV_{\text{รวม}}}$$

เบสแก่เหลือ

$$C_{\text{เหลือ}} = \frac{bC_2V_2 - aC_1V_1}{bV_{\text{รวม}}}$$

- โดย
- $C_{\text{เหลือ}}$  คือ ความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่เหลือ (mol/L)
  - $C_1$  คือ ความเข้มข้นของกรด (mol/L)
  - $V_1$  คือ ปริมาตรของกรด (ml)
  - $C_2$  คือ ความเข้มข้นของเบส (mol/L)
  - $V_2$  คือ ปริมาตรของเบส (ml)
  - $a$  คือ เลขการแตกตัวของกรด
  - $b$  คือ เลขการแตกตัวของเบส

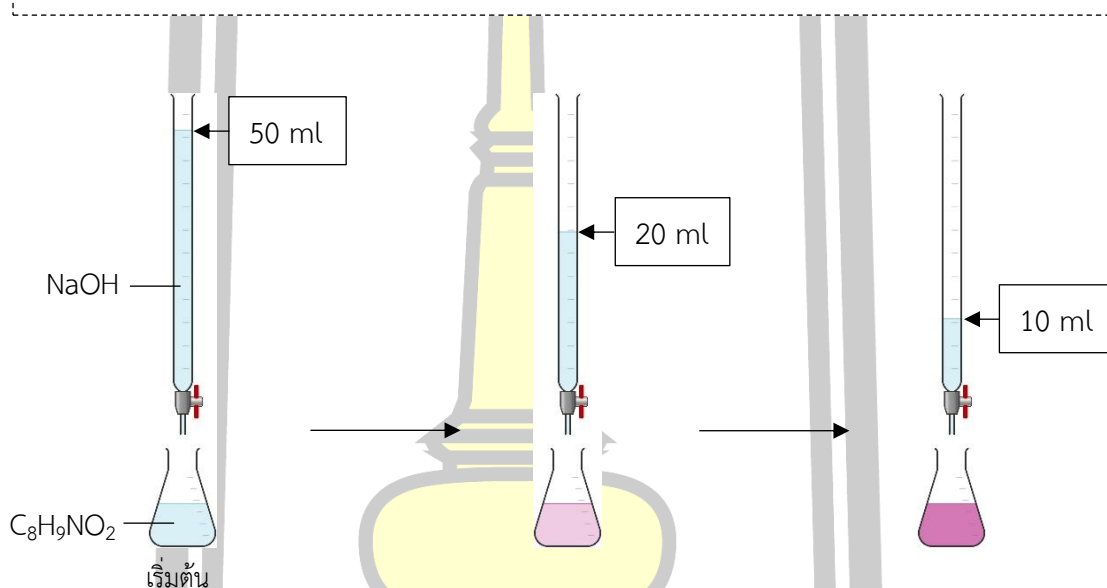


พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

### แบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด ชุดที่ 4

จงพิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามข้อที่ 1-5 ให้ถูกต้อง

**สถานการณ์:** นักเรียนกลุ่มหนึ่งได้ทำการทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณยาพาราเซตามอล ( $C_8H_9NO_2$ ) ในยาเม็ด โดยนำ ยาพาราเซตามอลมาบดละเอียดแล้วนำไปละลายในน้ำ จากนั้นนำ สารละลายที่ได้มาไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็น อินดิเคเตอร์ ดังภาพที่แสดง



1. จงอธิบายลักษณะทางกายภาพที่นักเรียนสังเกตได้จากการทดลอง เช่น ปริมาตรของสารที่ใช้และสีของสารละลาย เป็นต้น

2. จงทำนายนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของสารละลายกับปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการทดลอง

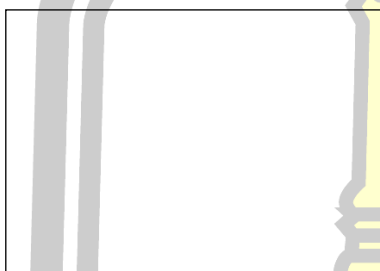
3. จงวาดภาพโมเลกุลของสารละลายในขวดรูปชมพู่ก่อนและ ณ จุดสมมูล ของการไทเทรต ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ ดังนี้  $C_8H_9NO_2(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow C_8H_8NO_2^-(aq) + H_2O(l)$

กำหนดให้  $\bigcirc$  แทน  $C_8H_8NO_2^-$   $\triangle$  แทน  $H_2O$

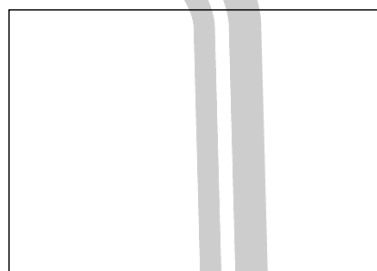


แทน  $C_8H_9NO_2$

ก่อนการไทเทรต



ณ จุดสมมูล



4. ให้นักเรียนเขียนอธิบายแผนภาพระดับโมเลกุลที่นักเรียนวาดในข้อที่ 3 โดยละเอียด เช่น นักเรียนแทนสารต่าง ๆ ได้ด้วยสัญลักษณ์ใด จำนวนเท่าใด ตอนแรกและตอนหลังเป็นอย่างไรมีความแตกต่างกันอย่างไร เป็นต้น



5. หากนักเรียนทำการวิเคราะห์กรดซาลิไซลิก ( $C_6H_5COOH$ ) ในยาฆ่าเชื้อ มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 M ปริมาตร 20 ml หากนำมาไทเทรตด้วย NaOH 0.1 M นักเรียนคาดว่าจะต้องใช้ NaOH ปริมาตรเท่าใดจึงจะทำให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสี



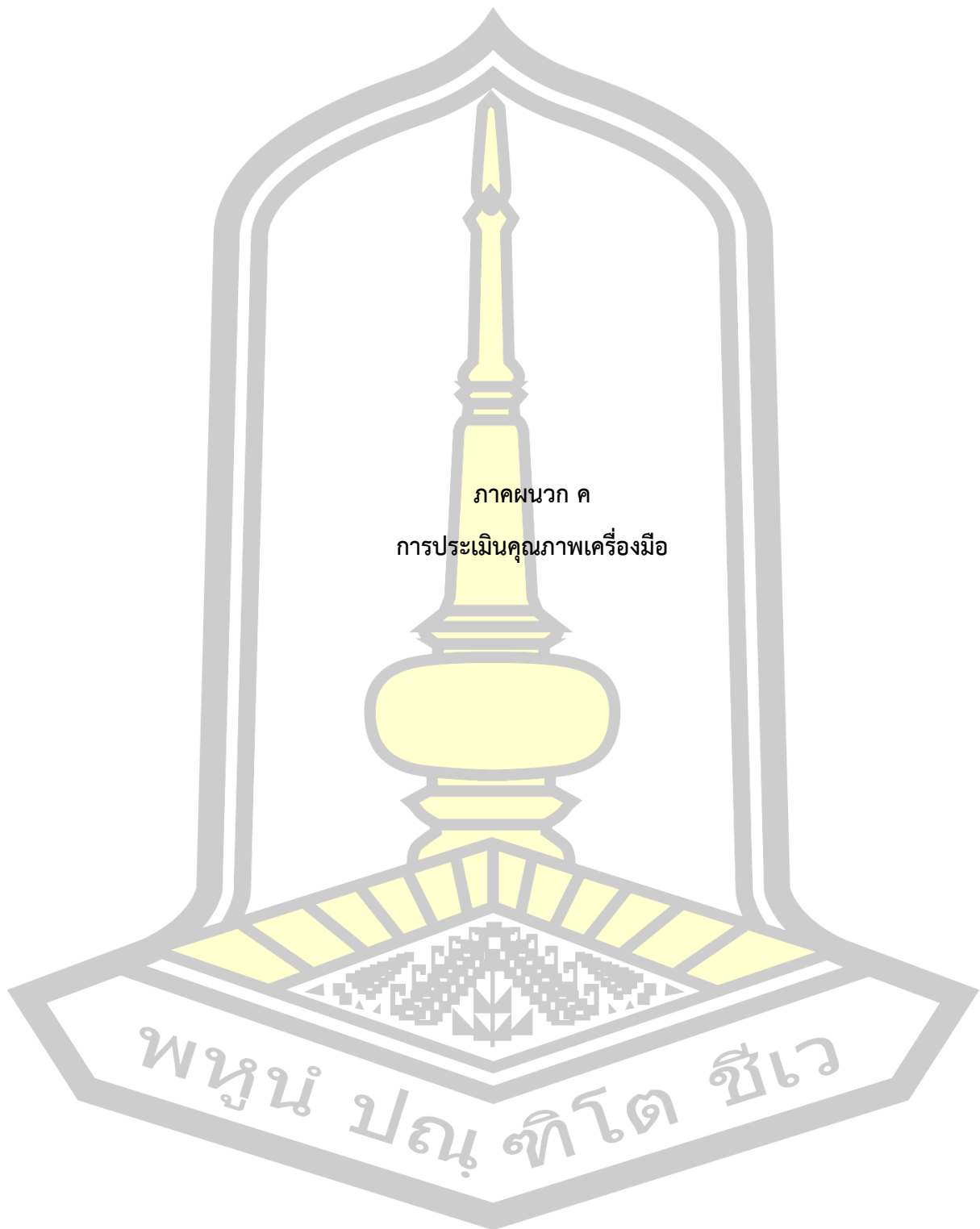
โดยนักเรียนจะต้องเชื่อมโยงคำอธิบายเข้ากับ 1) ปรากฏการณ์ในระดับที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเปลี่ยนสี ค่าที่อ่านได้จากการทดลอง หรือ 2) รูปภาพในระดับโมเลกุล หรือ 3) สัญลักษณ์ เช่น สมการเคมี สมการทางคณิตศาสตร์ ร่วมกันอย่างน้อย 2 รูปแบบ



## เกณฑ์การให้คะแนน

ข้อ	ด้านของสมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
			0	1	2
1	ความสามารถในการบอกความหมายของตัวแทนทางความคิด	ความสอดคล้องของคำอธิบายที่มีต่อตัวแทนความคิดที่กำหนด	นักเรียนไม่สามารถอธิบายสิ่งที่สังเกตเห็นจากการทดสอบค่า pH ด้วย indicator ได้	นักเรียนสามารถอธิบายสิ่งที่สังเกตเห็นได้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบางส่วน คือ อธิบายเพียงปริมาณของสารที่ใช้หรือสีของสารละลายอย่างใดอย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถอธิบายสิ่งที่สังเกตเห็นได้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ครบทุกประเด็น คือ อธิบายทั้งปริมาณของสารที่ใช้และสีของสารละลาย
2	ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน	ความสอดคล้องในการใช้ตัวแทนทางความคิดในการอธิบายตัวแทนความคิดในระดับเดียวกัน	นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดลองหนึ่งไปยังผลกาทดลองหนึ่งได้	นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดลองหนึ่งไปยังผลกาทดลองหนึ่งได้บางส่วน โดยคำนึงถึงเพียงปริมาตรที่จุดสมมูลหรือรูปร่างของกราฟ (จุดเริ่มต้นและสุดท้าย) อย่างใดอย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดลองหนึ่งไปยังผลกาทดลองหนึ่งได้ครบทุกประเด็น โดยคำนึงถึงปริมาตรที่จุดสมมูลและรูปร่างของกราฟ (จุดเริ่มต้นและสุดท้าย)
3	ความสามารถในการแปลความระหว่างตัวแทนความคิดในระดับที่	ความสอดคล้องในการใช้ตัวแทนทางความคิดในการอธิบายตัวแทน	นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีกับ	นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีกับปรากฏการณ์ในระดับโมเลกุลได้	นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีกับปรากฏการณ์ในระดับโมเลกุลได้

ข้อ	ด้านของ สมรรถนะ	องค์ประกอบ การประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
			0	1	2
	แตกต่างกัน	ความคิดต่าง ระดับ	ปรากฏการณ์ใน ระดับโมเลกุลได้	บางส่วน โดย พิจารณาเพียงชนิด ของสารหรือจำนวน ของสารใน สารละลายอย่างใด อย่างหนึ่ง	ครบทุกประเด็น โดยคำนึงถึงชนิด ของสารและ จำนวน ของสารใน สารละลาย
4	ความสามารถ ในการใช้ ตัวแทน ความคิดใน การอธิบาย	ความ สอดคล้องของ คำอธิบายกับ ตัวแทนทาง ความคิดที่ นักเรียน นำเสนอ	นักเรียนไม่ สามารถเขียน อธิบายภาพ แบบจำลองใน ระดับโมเลกุลที่ ตนวาดได้	นักเรียนสามารถ เขียนอธิบายภาพ แบบจำลองในระดับ โมเลกุลที่ตนวาดได้ บางส่วน คือ อธิบาย ถึงความหมายของ สัญลักษณ์หรือ เหตุการณ์ที่เกิดตอน แรกและตอนหลัง อย่างใดอย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถ เขียนอธิบายภาพ แบบจำลองในระดับ โมเลกุลที่ตนวาดได้ ครบทุกประเด็น คือ อธิบายถึง ความหมายของ สัญลักษณ์และ เหตุการณ์ที่เกิดตอน แรกและตอนหลัง
5	ความสามารถ ในการ เชื่อมโยง ระหว่าง ตัวแทน ความคิดกับ แนวคิดทาง เคมี	จำนวนของ ระดับตัวแทน ทางความคิดที่ ใช้อธิบาย	นักเรียนไม่ สามารถ เชื่อมโยง แนวคิดทางเคมี กับสิ่งที่ได้จาก การสังเกต ภาพ ในระดับ โมเลกุลและ สมการทาง คณิตศาสตร์ได้	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยงแนวคิดทาง เคมีกับสิ่งที่ได้จาก การสังเกต ภาพใน ระดับโมเลกุล และ สมการทาง คณิตศาสตร์ได้อย่าง ใดอย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถ เชื่อมโยงแนวคิดทาง เคมีกับสิ่งที่ได้จาก การสังเกต ภาพใน ระดับโมเลกุล และ สมการทาง คณิตศาสตร์ได้อย่าง น้อย 2 อย่าง



ภาคผนวก ค  
การประเมินคุณภาพเครื่องมือ

พหุ ประ โท ชี เว







รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้								รวม	สรุป	
	1	2	3	4	5	6	7	8			
<b>6. สื่อ อุปกรณ์และแหล่งการเรียนรู้</b>											
6.1 กระตุ้นให้ผู้เรียน สร้างความรู้เองได้	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	มาก
6.2 สื่อมีความหมาย ชัดเจน เข้าใจง่าย	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	มาก
6.3 สื่อประสมเร้าความ สนใจต่อผู้เรียน	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	มาก
<b>7. การวัดและประเมินผล</b>											
7.1 วัดได้ครอบคลุม สาระการเรียนรู้	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	มากที่สุด
7.2 ใช้เครื่องมือที่ เหมาะสม	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	มากที่สุด
7.3 เกณฑ์การประเมิน มีความครอบคลุม	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	มากที่สุด
7.4 สามารถวัดและ ประเมินผลสิ่งที่ระบุไว้ ได้	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	มากที่สุด
รวม	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	มากที่สุด

ตารางที่ 29 สรุปผลการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้  
ตัวแทนความคิดที่หลากหลายของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน โดยแยกตามรายด้าน

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับคุณภาพ
จุดประสงค์การเรียนรู้	5.00	0.00	มากที่สุด
สาระสำคัญ	4.67	0.39	มากที่สุด
สาระการเรียนรู้	4.44	0.19	มากที่สุด

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับคุณภาพ
เนื้อหา	4.75	0.32	มากที่สุด
กิจกรรมการเรียนรู้	4.75	0.15	มากที่สุด
สื่อ อุปกรณ์และแหล่งการเรียนรู้	4.33	0.00	มาก
การวัดและประเมินผล	4.67	0.00	มากที่สุด

ประเมินแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายพบว่ามีความเหมาะสมอยู่ในช่วง 4.33-5.00 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.00-0.39 ซึ่งจัดเป็นเกณฑ์การให้คะแนนที่มีความเหมาะสมในการจัดการเรียนรู้ได้

ตารางที่ 30 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนีความสอดคล้อง	สรุปผลการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
<b>1. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 1</b>						
1.1 ข้อคำถาม 1.1 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 1	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
1.2 ข้อคำถาม 1.2 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 1	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
<b>2. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 2</b>						
2.1 ข้อคำถาม 2.1 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 2	1	1	0	2	0.67	สอดคล้อง
2.2 ข้อคำถาม 2.2 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 2	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
<b>3. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 3</b>						
3.1 ข้อคำถาม 3 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 3	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนี ความ สอดคล้อง	สรุปผล การ ประเมิน
	คนที่					
	1	2	3			
<b>4. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 4</b>						
4.1 ข้อคำถามข้อ 4 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 4	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
<b>5. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 5</b>						
5.1 ข้อคำถามข้อ 5 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 5	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง

ตารางที่ 31 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 2 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนี ความ สอดคล้อง	สรุปผล การ ประเมิน
	คนที่					
	1	2	3			
<b>1. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 1</b>						
1.1 ข้อคำถามข้อ 1.1 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 1	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
1.2 ข้อคำถามข้อ 1.2 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 1	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
<b>2. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 2</b>						
2.1 ข้อคำถามข้อ 2.1 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 2	1	1	0	2	0.67	สอดคล้อง
2.2 ข้อคำถามข้อ 2.2 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 2	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
<b>3. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 3</b>						
3.1 ข้อคำถามข้อ 3 มีความสอดคล้องต่อสมรรถนะด้านที่ 3	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
<b>4. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 4</b>						

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนี ความ สอดคล้อง	สรุปผล การ ประเมิน
	คนที่ 1	2	3			
4.1 คำถามข้อ 4 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 4	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
<b>5. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 5</b>						
5.1 คำถามข้อ 5 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 5	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง

ตารางที่ 32 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน  
ความคิดชุดที่ 3 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนี ความ สอดคล้อง	สรุปผล การ ประเมิน
	คนที่ 1	2	3			
<b>1. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 1</b>						
1.1 คำถามข้อ 1.1 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 1	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
1.2 คำถามข้อ 1.2 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 1	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
<b>2. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 2</b>						
2.1 คำถามข้อ 2.1 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 2	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
2.2 คำถามข้อ 2.2 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 2	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
<b>3. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 3</b>						
3.1 คำถามข้อ 3 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 3	1	1	0	2	0.67	สอดคล้อง
<b>4. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 4</b>						
4.1 คำถามข้อ 4 มีความสอดคล้องต่อ	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนี ความ สอดคล้อง	สรุปผล การ ประเมิน
	คนที่ 1	2	3			
สมรรถนะด้านที่ 4						
<b>5. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 5</b>						
5.1 ข้อคำถามข้อ 5 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 5	1	1	0	2	0.67	สอดคล้อง

ตารางที่ 33 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน  
ความคิดชุดที่ 4 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนี ความ สอดคล้อง	สรุปผล การ ประเมิน
	คนที่ 1	2	3			
<b>1. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 1</b>						
1.1 ข้อคำถามข้อ 1.1 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 1	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
1.2 ข้อคำถามข้อ 1.2 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 1	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
<b>2. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 2</b>						
2.1 ข้อคำถามข้อ 2.1 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 2	0	1	1	2	0.67	สอดคล้อง
2.2 ข้อคำถามข้อ 2.2 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 2	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
<b>3. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 3</b>						
3.1 ข้อคำถามข้อ 3 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 3	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
<b>4. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 4</b>						
4.1 ข้อคำถามข้อ 4 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 4	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าดัชนี ความ สอดคล้อง	สรุปผล การ ประเมิน
	คนที่					
	1	2	3			
<b>5. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับสมรรถนะด้านที่ 5</b>						
5.1 ข้อคำถามข้อ 5 มีความสอดคล้องต่อ สมรรถนะด้านที่ 5	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง

จากการประเมินความสอดคล้องของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 2 3 และ 4 โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.67-1.00 ซึ่งหมายถึงข้อคำถามมีความสอดคล้องกับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้ง 4 ชุด

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ค่าอำนาจจำแนกและค่าความยากง่ายของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

ชุดที่	ข้อที่	ค่าอำนาจจำแนก (p)	แปรผล	ค่าความยากง่าย (r)	แปรผล	สรุปผล
1	1.1	0.94	ใช้ได้	0.50	ใช้ได้	ใช้ได้
	1.2	0.78	ใช้ได้	0.85	ใช้ไม่ได้	ตัดทิ้ง
	2.1	0.94	ใช้ได้	0.59	ใช้ได้	ใช้ได้
	2.2	0.11	ใช้ไม่ได้	0.63	ใช้ได้	ตัดทิ้ง
	3	0.50	ใช้ได้	0.24	ใช้ได้	ใช้ได้
	4	0.69	ใช้ได้	0.53	ใช้ได้	ใช้ได้
	5	0.44	ใช้ได้	0.35	ใช้ได้	ใช้ได้
2	1.1	0.60	ใช้ได้	0.68	ใช้ได้	ใช้ได้
	1.2	0.51	ใช้ได้	0.11	ใช้ไม่ได้	ตัดทิ้ง
	2.1	0.94	ใช้ได้	0.65	ใช้ได้	ใช้ได้
	2.2	0.42	ใช้ได้	0.19	ใช้ไม่ได้	ตัดทิ้ง
	3	0.88	ใช้ได้	0.60	ใช้ได้	ใช้ได้
	4	0.88	ใช้ได้	0.78	ใช้ได้	ใช้ได้
	5	0.63	ใช้ได้	0.24	ใช้ได้	ใช้ได้

ชุดที่	ข้อที่	ค่าอำนาจจำแนก (p)	แปรผล	ค่าความยากง่าย (r)	แปรผล	สรุปผล
3	1.1	0.69	ใช้ได้	0.62	ใช้ได้	ใช้ได้
	1.2	0.31	ใช้ได้	0.18	ใช้ไม่ได้	ตัดทิ้ง
	2.1	0.89	ใช้ได้	0.63	ใช้ได้	ใช้ได้
	2.2	0.16	ใช้ไม่ได้	0.19	ใช้ได้	ตัดทิ้ง
	3	0.78	ใช้ได้	0.60	ใช้ได้	ใช้ได้
	4	0.89	ใช้ได้	0.75	ใช้ได้	ใช้ได้
	5	0.78	ใช้ได้	0.47	ใช้ได้	ใช้ได้
4	1.1	1.00	ใช้ได้	0.76	ใช้ได้	ใช้ได้
	1.2	0.16	ใช้ไม่ได้	0.59	ใช้ได้	ตัดทิ้ง
	2.1	0.18	ใช้ไม่ได้	0.74	ใช้ได้	ตัดทิ้ง
	2.2	0.32	ใช้ได้	0.69	ใช้ได้	ใช้ได้
	3	0.32	ใช้ได้	0.63	ใช้ได้	ใช้ได้
	4	0.97	ใช้ได้	0.74	ใช้ได้	ใช้ได้
	5	0.84	ใช้ได้	0.57	ใช้ได้	ใช้ได้

เลือกข้อสอบชุดละ 5 ข้อไปใช้จริง ซึ่งมีค่าความยาก (p) อยู่ในช่วง 0.24 – 0.78 และอำนาจจำแนก (r) อยู่ในช่วง 0.21 – 1.00 ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับของแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 0.71 0.74 0.71 และ 0.75 ตามลำดับ

ตารางที่ 35 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
<b>1. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 1</b>					
1.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	4	5	5	14	4.67
1.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	5	4	4	13	4.33
1.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	4	5	13	4.33

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
<b>2. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 2</b>					
2.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	4	5	5	14	4.67
2.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	5	5	5	15	5.00
2.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>3. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 3</b>					
3.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	4	5	5	14	4.67
3.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	5	5	5	15	5.00
3.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	4	13	4.33
<b>4. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 4</b>					
4.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	4	5	5	14	4.67
4.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	5	5	5	15	5.00
4.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>5. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 5</b>					
5.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	4	5	5	14	4.67
5.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	5	4	4	13	4.33
5.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	4	5	13	4.33

ตารางที่ 36 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 2

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
<b>1. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 1</b>					
1.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
1.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	4	4	5	13	4.33
1.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	4	5	13	4.33
<b>2. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 2</b>					
2.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
2.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	5	14	4.67
2.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>3. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 3</b>					
3.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
3.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	4	13	4.33
3.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>4. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 4</b>					
4.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
4.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	5	14	4.67
4.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>5. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 5</b>					
5.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
5.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	4	14	4.67
5.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67

ตารางที่ 37 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน  
ความคิดชุดที่ 3

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
<b>1. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 1</b>					
1.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
1.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	4	5	13	4.33
1.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	4	5	13	4.33
<b>2. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 2</b>					
2.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
2.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	4	13	4.33
2.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
<b>3. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 3</b>					
3.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
3.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	4	5	4	14	4.67
3.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>4. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 4</b>					
4.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
4.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	4	5	5	14	4.67
4.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>5. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 5</b>					
5.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
5.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	4	5	4	14	4.67
5.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67

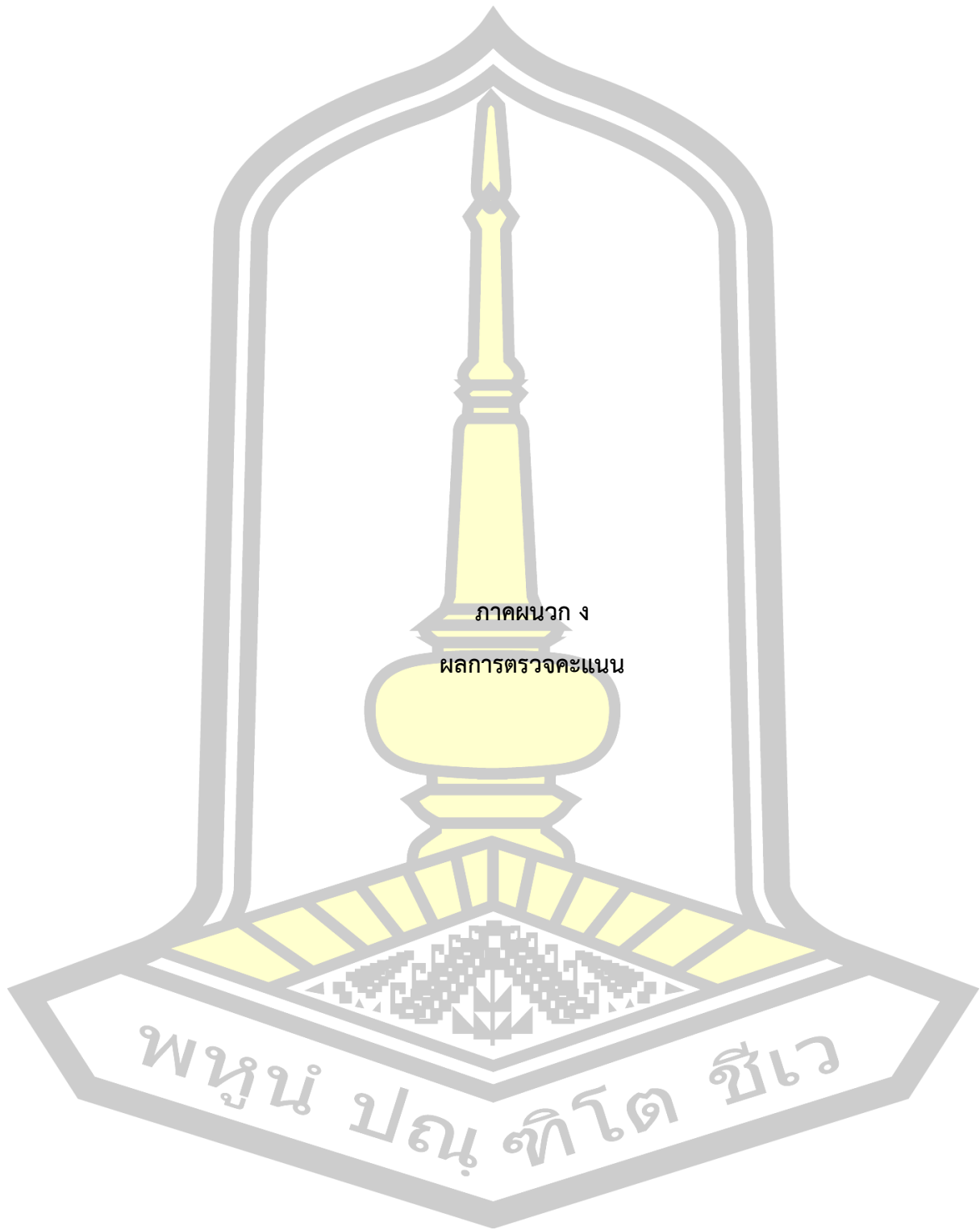
ตารางที่ 38 ผลการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทน  
ความคิดชุดที่ 4

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
<b>1. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 1</b>					
1.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
1.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	4	4	5	13	4.33
1.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	4	5	13	4.33
<b>2. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 2</b>					
2.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
2.2 ความเหมาะสมของข้อคำถามในแบบวัด	4	5	5	14	4.67
2.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>3. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 3</b>					
3.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
3.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	4	13	4.33
3.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>4. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 4</b>					
4.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
4.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	5	14	4.67
4.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67
<b>5. ความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนของสมรรถนะด้านที่ 5</b>					
5.1 ความเหมาะสมของสถานการณ์	5	5	5	15	5.00
5.2 ความเหมาะสมของข้อความในแบบวัด	4	5	5	14	4.67
5.3 ความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินแบบวัด	4	5	5	14	4.67

การประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด  
ชุดที่ 1 2 3 และ 4 ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 4.71 4.71 และ 4.71  
ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง เกณฑ์การประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเหมาะสมมาก





ภาควิชาการศึกษาศาสตร์  
ผลการตรวจคะแนน

พหุบัน ปณฺ ทิโต ชีเว

ผลจากแบบวัดสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิด

ตารางที่ 39 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 1

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
1	1	0	0	1	0	2	20	ต่ำ
2	1	0	0	2	2	5	50	ปานกลาง
3	0	2	0	0	1	3	30	ปานกลาง
4	2	0	0	1	2	5	50	ปานกลาง
5	2	2	0	1	2	7	70	ปานกลาง
6	2	0	0	0	2	4	40	ปานกลาง
7	0	0	0	1	0	1	10	ต่ำ
8	0	1	0	1	0	2	20	ต่ำ
9	2	2	2	2	0	8	80	สูง
10	2	1	0	2	2	7	70	ปานกลาง
11	2	2	0	2	0	6	60	ปานกลาง
12	0	0	0	2	0	2	20	ต่ำ
13	0	2	0	1	1	4	40	ปานกลาง
14	0	2	0	0	1	3	30	ปานกลาง
15	1	2	0	2	1	6	60	ปานกลาง
16	1	2	1	2	1	7	70	ปานกลาง
17	2	0	0	1	0	3	30	ปานกลาง
18	0	0	0	0	0	0	0	ต่ำ
19	2	2	1	1	1	7	70	ปานกลาง
20	0	2	2	2	0	6	60	ปานกลาง
21	0	0	0	0	0	0	0	ต่ำ
22	2	2	2	0	0	6	60	ปานกลาง
23	2	0	0	1	0	3	30	ปานกลาง
24	0	2	2	1	0	5	50	ปานกลาง

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
25	2	2	0	2	0	6	60	ปานกลาง
26	2	2	0	2	2	8	80	ปานกลาง
27	2	2	0	1	0	5	50	ปานกลาง
28	0	2	0	1	0	3	30	ปานกลาง
29	0	0	0	0	0	0	0	ต่ำ
30	0	2	2	1	1	6	60	ปานกลาง
31	2	2	0	1	2	7	70	ปานกลาง
32	0	2	0	1	2	5	50	ปานกลาง
33	2	0	0	1	0	3	30	ปานกลาง
34	0	0	0	0	1	1	10	ต่ำ

ตารางที่ 40 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 2

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
1	2	1	2	1	1	7	70	ปานกลาง
2	2	2	0	2	1	7	70	ปานกลาง
3	0	1	1	1	0	3	30	ปานกลาง
4	2	2	2	2	1	9	90	สูง
5	2	2	1	2	0	7	70	ปานกลาง
6	2	2	2	1	1	8	80	สูง
7	1	0	2	2	0	5	50	ปานกลาง
8	2	2	2	2	2	10	100	สูง
9	2	1	2	2	1	8	80	สูง
10	1	2	1	2	0	6	60	ปานกลาง
11	1	0	2	2	1	6	60	ปานกลาง
12	2	1	1	1	0	5	50	ปานกลาง
13	2	2	1	2	0	7	70	ปานกลาง

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
14	1	2	1	1	0	5	50	ปานกลาง
15	1	2	1	2	0	6	60	ปานกลาง
16	2	2	1	2	0	7	70	ปานกลาง
17	1	0	2	2	0	5	50	ปานกลาง
18	0	0	1	2	0	3	30	ปานกลาง
19	1	0	0	0	0	1	10	ต่ำ
20	1	0	2	1	0	4	40	ปานกลาง
21	2	0	2	2	0	6	60	ปานกลาง
22	2	2	1	2	1	8	80	สูง
23	2	2	2	1	1	8	80	สูง
24	0	2	1	1	0	4	40	ปานกลาง
25	1	2	1	1	1	6	60	ปานกลาง
26	2	2	1	2	0	7	70	ปานกลาง
27	1	2	0	2	2	7	70	ปานกลาง
28	0	0	0	0	0	0	0	ปานกลาง
29	2	2	0	2	0	6	60	ปานกลาง
30	1	0	0	0	0	1	10	ต่ำ
31	2	2	1	2	0	7	70	ปานกลาง
32	0	0	2	2	0	4	40	ปานกลาง
33	1	2	2	2	1	8	80	สูง
34	2	2	1	2	2	9	90	สูง

ตารางที่ 41 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 3

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
1	2	2	1	1	0	6	60	ปานกลาง
2	1	1	2	2	0	6	60	ปานกลาง

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
3	0	1	1	2	0	4	40	ปานกลาง
4	2	2	2	2	2	10	100	สูง
5	0	1	2	2	0	5	50	ปานกลาง
6	1	1	2	1	0	5	50	ปานกลาง
7	2	2	1	2	1	8	80	สูง
8	2	2	1	2	1	8	80	สูง
9	2	0	2	2	2	8	80	สูง
10	0	1	1	2	2	6	60	ปานกลาง
11	1	0	0	0	0	1	10	ต่ำ
12	2	0	1	2	2	7	70	ปานกลาง
13	0	1	2	2	2	7	70	ปานกลาง
14	1	2	1	2	2	8	80	สูง
15	0	1	2	2	2	7	70	ปานกลาง
16	2	2	1	2	2	9	90	สูง
17	2	1	1	2	1	7	70	ปานกลาง
18	2	2	0	1	1	6	60	ปานกลาง
19	2	2	0	1	0	5	50	ปานกลาง
20	2	2	0	1	0	5	50	ปานกลาง
21	2	2	0	1	1	6	60	ปานกลาง
22	0	1	2	2	2	7	70	ปานกลาง
23	2	2	2	1	0	7	70	ปานกลาง
24	1	1	0	1	0	3	30	ปานกลาง
25	0	1	2	2	1	6	60	ปานกลาง
26	0	1	2	2	2	7	70	ปานกลาง
27	2	0	1	0	0	3	30	ปานกลาง
28	2	0	0	0	0	2	20	ต่ำ
29	1	2	2	1	2	8	80	สูง
30	2	2	2	2	1	9	90	สูง

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
31	0	1	2	2	2	7	70	ปานกลาง
32	1	1	1	2	0	5	50	ปานกลาง
33	1	1	0	1	0	3	30	ปานกลาง
34	2	2	2	1	1	8	80	สูง

ตารางที่ 42 ผลคะแนนสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดชุดที่ 4

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
1	2	2	1	2	2	9	90	สูง
2	2	2	1	2	2	9	90	สูง
3	1	1	1	2	1	6	60	ปานกลาง
4	1	2	2	1	0	6	60	ปานกลาง
5	2	1	1	2	1	7	70	ปานกลาง
6	2	2	2	2	0	8	80	สูง
7	2	1	1	2	0	6	60	ปานกลาง
8	2	2	2	2	2	10	100	สูง
9	2	2	1	2	2	9	90	สูง
10	1	1	0	1	0	3	30	ปานกลาง
11	2	1	1	2	2	8	80	สูง
12	2	1	1	2	2	8	80	สูง
13	1	1	0	1	0	3	30	ปานกลาง
14	2	2	1	2	2	9	90	สูง
15	2	1	1	2	1	7	70	ปานกลาง
16	2	1	1	2	2	8	80	สูง
17	2	2	1	2	2	9	90	สูง
18	2	2	1	1	0	6	60	ปานกลาง
19	2	1	1	2	2	8	80	สูง

นักเรียน คนที่	องค์ประกอบของสมรรถนะ (ด้านที่)					คะแนนรวม	ร้อยละ ของคะแนน	ระดับ สมรรถนะ
	1	2	3	4	5			
20	0	1	1	0	0	2	20	ต่ำ
21	2	1	1	2	2	8	80	สูง
22	1	1	2	1	1	6	60	ปานกลาง
23	2	2	2	2	0	8	80	สูง
24	2	1	1	2	2	8	80	สูง
25	2	1	1	2	1	7	70	ปานกลาง
26	1	0	1	2	1	5	50	ปานกลาง
27	2	2	2	1	2	9	90	สูง
28	2	2	1	2	2	9	90	สูง
29	2	2	1	2	2	9	90	สูง
30	1	0	2	2	1	6	60	ปานกลาง
31	2	1	2	2	0	7	70	ปานกลาง
32	1	2	2	2	0	7	70	ปานกลาง
33	2	1	2	2	1	8	80	สูง
34	2	2	2	2	1	9	90	สูง



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ธิดิภัทร พาจันท์
วันเกิด	29 สิงหาคม 2543
สถานที่เกิด	ขอนแก่น ประเทศไทย
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 822/10 หมู่ที่ 2 หมู่บ้าน PS home มิตรภาพ 3 ตำบลศิลา อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2562 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัด ขอนแก่น พ.ศ. 2565 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พูนุ์ ปณุ์ ทิโต ชีเว