บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาผลการใช้กิจกรรมการเรียนการสอนตามทฤษฎีการสร้างความรู้ โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหา เรื่อง สมดุลเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กระบวนการวิจัยกลุ่มเดียวทดสอบหลังเรียน ผู้วิจัยเสนอผลวิจัยต่อไปนี้

1. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามทฤษฎีการสร้างความรู้โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหาที่ส่งผลต่อการพัฒนาผู้เรียน
2. การศึกษามโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุลเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
3. การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง สมดุลเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

1. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหาที่ส่งผลต่อการพัฒนาผู้เรียน

การดำเนินการสอนครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำการสอนตามทฤษฎีการสร้างความรู้โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหามาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (Wheatley, 1991) คือ

1. ขั้นการสร้างงานปัญหา
2. ขั้นการแก้ปัญหาเป็นกลุ่ม
3. ขั้นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น

จากรูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหาดังกล่าว ได้นำมาใช้ในการวางแผน และปรับปรุงแผนการสอนจำนวน 8 แผนการสอน ดังต่อไปนี้

1. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 1 เรื่อง ปฏิกิริยาผันกลับได้
2. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 2 เรื่อง ภาวะสมดุล
3. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 3 เรื่อง ค่าคงที่สมดุล
4. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 4 เรื่อง ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี
5. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 5 เรื่อง การคำนวณค่าคงที่สมดุล
6. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 6 เรื่อง ความเข้มข้นกับภาวะสมดุล
7. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 7 เรื่อง ความดันกับภาวะสมดุล
8. ดำเนินการสอนในแผนการสอนที่ 8 เรื่อง อุณหภูมิกับภาวะสมดุล

จากการจัดการเรียนการสอนตามทฤษฎีการสร้างความรู้โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหาในวิชาเคมี เรื่อง สมดุลเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ทั้ง 8 แผนการสอน พบว่า

1. นักเรียนได้ความรู้กว้างขวางมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากที่ผู้เรียนมีโอกาสได้แสดงความคิดเห็นของตนเองในการทำงานในกลุ่มย่อย และจากการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นต่อเพื่อนทั้งชั้นเรียน เพราะนักเรียนแต่ละคนมีความคิดที่หลากหลาย ทำให้ผู้เรียนมีโอกาสได้ปรับขยายความคิดของตนเองให้กว้างขวางยิ่งขึ้น สังเกตได้จากในการทดลองตอนที่ 3 ของแผนการสอนที่ 1 ในขณะที่ทำการทดลองหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลงไปในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต

วัชกรได้ถามครูว่า

"ทำไมสารละลายจึงมีสีเขียวทั้งที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นก็ไม่ให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเหมือนที่ครูอธิบายให้ฟังในปฏิกิริยา"

ครูจึงให้นักเรียนในกลุ่มช่วยกันหาเหตุผลว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้นผ่านไป 3 นาทีก็ไม่มีใครคิดคำตอบได้นายวัชกร ติดหงิมจึงมาถามครูอีกครั้ง

ครูจึงแนะว่า

"แล้วสีเขียวเกิดจากการผสมระหว่างสีอะไรกับสีอะไร"

นายสรรเพชร ศรีบุญวงศ์จึงตอบว่า

"เกิดจากสีฟ้าผสมกับสีเหลือง"

นายวัชกร จึงอธิบายเพิ่มเติมจากนายสรรเพชรว่า

"สีเหลืองเกิดจากสารเชิงซ้อนของ $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ และ $[CuCl_4]^{2-}$ สามารถเกิดการผันกลับได้จึงทำให้ไม่ว่าจะเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกไปมากแค่ไหนสารละลายที่ได้ก็ไม่เป็นสีเหลือง"

2. นักเรียนรู้จักยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น เพราะการสอนแบบนี้ทำให้นักเรียนได้มีโอกาสแสดงความคิดเห็นของตนเองกับเพื่อน ๆ ซึ่งความคิดเห็นนั้นอาจสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับความคิดเห็นของคนอื่นก็ได้ ซึ่งนักเรียนต้องหาเหตุผลมาอธิบายเพื่อให้เกิดการยอมรับ แต่ถ้าทำไม่ได้ก็ต้องยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่นที่มีเหตุผลน่าเชื่อถือมากกว่า เช่น ในแผนการสอนที่ 6 ในการอภิปรายหน้าชั้น

กลุ่มที่ 1 บอกว่า

"เมื่อเติม NaOH ลงในหลอดทดลองที่ 4 จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อนและมีตะกอนเป็นสีขาวขุ่นเกิดขึ้น"

กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4 บอกว่า

"ได้สารละลายสีเหลืองอ่อนตะกอนสีน้ำตาลแดง"

กลุ่มที่ 3, 5 และ 7 บอกว่า

"ได้สารละลายสีเหลืองอ่อนตกตะกอนสีคล้ายสนิม"

และกลุ่มที่ 6 บอกว่า

"ได้สารละลายสีส้มเหลืองไม่เกิดตะกอน"

จึงเกิดการโต้เถียงกันขึ้น ซึ่งกลุ่มที่ 3 ก็ได้บอกกับกลุ่มที่ 6 ว่า

"อาจเป็นเพราะกลุ่มที่ 6 เติม NaOH น้อยไปหรือไม่จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยและไม่สามารถมองเห็นตะกอนได้"

กลุ่มที่ 6 ก็กล่าวว่า

"กลุ่มของตนเองอาจจะนำ NaOH มาน้อยเกิดไปดังที่กลุ่มที่ 3 กล่าวจริงก็ได้"

ส่วนกลุ่มที่ 1 เมื่อได้ฟังเหตุผลของเพื่อนแล้วก็มีความกล่าวว่า

"การที่ผลการทดลองของตนเองแตกต่างจากกลุ่มอื่นและแตกต่างจากทฤษฎีอาจเป็นเพราะตะกอนที่เกิดขึ้นสังเกตยากจึงเห็นตะกอนสีเหลืองอ่อนเป็นสีขาวขุ่นก็ได้"

จากการพัฒนาการเรียนการสอนตามทฤษฎีการสร้างความรู้โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหา เรื่องสมดุลเคมี จากแผนการสอนแรกจนถึงแผนการสอนสุดท้าย ผู้วิจัยยังพบว่านักเรียนมีการพัฒนาในด้านทักษะการเรียน การพัฒนาทักษะความคิด และการเรียนรู้จากการแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอนการสอน ดังนี้

ขั้นการสร้างงานปัญหา ในขั้นนี้นักเรียนได้เผชิญกับประเด็นปัญหา ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดความสนใจและนำไปสู่การสร้างมโนมติหรือความคิดในเนื้อหาวิชา นักเรียนจะทำความเข้าใจกับปัญหาด้วยตนเองโดยใช้ความคิดของตนเอง ซึ่งนักเรียนแต่ละคนจะมีความคิดเกี่ยวกับปัญหาต่าง ๆ กัน มีการคิดหาเหตุผลต่าง ๆ กันตามระดับสติปัญญา เช่น นักเรียนที่เรียนอ่อนจะคิดเกี่ยวกับปัญหาได้ไม่ซับซ้อน ส่วนนักเรียนปานกลางจะคิดได้ซับซ้อนมากขึ้น และนักเรียนที่เรียนเก่งจะสามารถคิดได้ซับซ้อนและมีเหตุมีผลมากขึ้นซึ่งส่งผลให้นักเรียนมีพัฒนาการคิดได้มากขึ้นตามลำดับของแผนการสอน เช่น จากแผนการสอนที่ 2 เรื่องภาวะสมดุล ครูถามนักเรียนว่าในปฏิกิริยาผันกลับได้เมื่อระบบมีสมบัติคงที่นักเรียนคิดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหรือไม่

นางสาวพณิตา โทราช ตอบว่า

"ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพราะถ้ามีเราก็ต้องสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น"

นางสาวสายใจ ไม้หนองกอย ตอบว่า

"ยังมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เพราะปฏิกิริยาผันกลับได้สารผลิตภัณฑ์ต้องสามารถเกิดย้อนกลับไปเป็นสารตั้งต้นได้"

ขั้นการแก้ปัญหาเป็นกลุ่ม นักเรียนมีโอกาสทำงานเป็นกลุ่ม นักเรียนมีโอกาสได้ร่วมกันทำการทดลอง จะทำให้ได้แนวทางของคำตอบที่เชื่อถือได้และมีเหตุผลมากกว่าเป็นรายบุคคล ทำให้นักเรียนเกิดการจัดระบบความคิดใหม่ เพื่อเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

ขั้นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ในขั้นนี้นักเรียนทั้งชั้นร่วมกันอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวทางหรือคำตอบของปัญหาของแต่ละกลุ่มต่อเพื่อนร่วมชั้น นักเรียนต้องสร้างคำอธิบายที่มีเหตุผลมาอธิบายต่อเพื่อน นักเรียนได้ปรับความคิดให้ถูกต้องยิ่งขึ้น ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจยิ่งขึ้น การเจรจาต่อรองกันจนให้ได้ข้อสรุปที่เหมาะสมแบบประชามติได้นั้น นักเรียนต้องรู้จักยอมรับความคิดเห็นของคนอื่น มีการพัฒนาทักษะในการตั้งคำถาม ทักษะการคิด ทักษะการ

อภิปราย ทักษะการสื่อสาร ซึ่งนักเรียนมีการพัฒนาทักษะเหล่านี้มากขึ้นตามลำดับของแผนการสอน

เนื่องจากเนื้อหาและเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอนวิชาเคมีมีข้อจำกัดบางอย่าง ครูผู้สอนจึงเป็นผู้แนะแนวทางในการทดลองให้แก่ผู้เรียน และให้ผู้เรียนได้ใช้ความรู้มาแก้ปัญหาจากวิธีการทดลองที่ครูกำหนด ผลการทดลองและจากคำถามแนะแนวทางที่ผู้สอนได้ให้ไว้ในใบงานและในขั้นแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ครูให้นักเรียนมาอภิปรายหลังจากโรงเรียนเลิกแล้ว และในแผนการสอนที่ 1 นักเรียนยังไม่กล้าออกมาอภิปรายจึงเสียเวลาในการคัดเลือกตัวแทนทำให้ดำเนินการสอนในแผนการสอนแรกไม่ทันตามกำหนดเวลา ครูจึงให้นักเรียนคัดเลือกตัวแทนที่จะมาอภิปรายไว้แล้วให้มาอภิปรายในเย็นวันต่อมา และครูได้กำหนดให้การทำกิจกรรมในครั้งต่อไป (แผนการสอนที่ 2) ให้กลุ่มที่ 1 ส่งตัวแทนออกมาเป็นตัวแทนชั้น และในแผนการสอนที่ 3 เป็นกลุ่มที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จนกระทั่งครบทุกแผนการสอน ส่วนตัวแทนกลุ่มให้แต่ละกลุ่มส่งประธานกลุ่มมาเป็นผู้อภิปราย ให้เลขาเป็นผู้เขียนผลการทดลองและตอบคำถามที่ต้องส่งครู และให้รองประธานทำหน้าที่เป็นผู้มารับ-ส่งอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมแต่ละครั้ง และต้องมีการเปลี่ยนหน้าที่การทำงานกันทุกครั้งที่ทำกิจกรรม ซึ่งในการออกมาอภิปรายให้นักเรียนมาอภิปรายหลังเลิกเรียนของวันที่ทำกิจกรรม และให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายแผนการทดลองเป็นการบ้านมาส่งก่อนการเรียนในชั่วโมงต่อไป นอกจากนี้นักเรียนบางคนยังไม่เข้าใจบทบาทในการทำงานกลุ่ม และไม่เข้าใจบทบาทในการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ครูผู้สอนจึงต้องชี้แจงบทบาทในการทำงานกลุ่มและแนะนำให้นักเรียนไปศึกษาการอภิปรายจากสื่อ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ (จากตัวอย่างที่กล่าวมาทั้งหมดได้ใช้นามสมมติของนักเรียนในการยกตัวอย่าง)

2. การศึกษามโนมติวิทยาศาสตร์ในวิชาเคมี เรื่อง สมดุลเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2.1 ความเข้าใจมโนมติของนักเรียน

ผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบวัดมโนมติในวิชาเคมี เรื่อง สมดุลเคมี ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจำนวน 30 ข้อ ได้ผ่านกระบวนการหาค่าความเชื่อมั่น ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนก ไปทดสอบกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนหนองนาคำวิทยาคม จำนวน 35 คน ทดสอบหลังเรียน เพื่อศึกษาความเข้าใจมโนมติหลังเรียนของนักเรียนโดยการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปจำนวนและร้อยละ ของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติ ซึ่งวิเคราะห์ผลจากข้อสอบหลังเรียนเป็นรายข้อ (ดูภาคผนวก ค) สรุปผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
1. ปฏิกิริยาผันกลับได้	72	41.14	74	42.29	10	5.71	19	10.86
1.1 ปฏิกิริยาผันกลับได้คือปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาไปเป็นสารผลิตภัณฑ์แล้ว สารผลิตภัณฑ์ก็สามารถทำปฏิกิริยากันกลับไปเป็นสารตั้งต้นได้อีก	2	5.71	33	94.29	0	0.00	0	0.00
1.2 ปฏิกิริยาผันกลับได้จะเกิดในระบบปิดเท่านั้น และปริมาณของสารตั้งต้นไม่จำเป็นต้องเท่ากับปริมาณของสารผลิตภัณฑ์	16	45.71	5	14.29	3	8.57	11	31.43
1.3 ปฏิกิริยาผันกลับได้จะเกิดทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับ ดังนั้นในระบบต้องมีทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์เหลืออยู่	16	45.71	17	48.57	2	5.71	0	0.00
1.4 ปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้สารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยากันจนหมด เหลือเฉพาะสารผลิตภัณฑ์เท่านั้น	20	57.14	9	25.71	2	5.71	4	11.43

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
1.5 ปฏิกิริยาผันกลับได้ ต้องมีทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับ	18	51.43	10	28.57	3	8.57	4	11.43
ภาวะสมดุล	129	52.65	76	31.02	18	7.35	22	8.98
2.1 การเข้าสู่ภาวะสมดุลในช่วงแรกปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเกิดเร็วแต่ปฏิกิริยาย้อนกลับจะเกิดช้า ต่อมาปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเกิดช้าลง แต่ปฏิกิริยาย้อนกลับจะเกิดเร็วขึ้น จนกระทั่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เรียกว่าระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งจะทำให้ปริมาณสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีค่าคงตัว	24	68.57	8	22.86	2	5.71	3	8.57
2.2 กราฟระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลา ความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะมีมากที่ภาวะเริ่มต้นและจะลดลงอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้น จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่	1	2.86	27	77.14	3	8.57	4	11.43

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
ที่ภาวะสมดุล ส่วนความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะมีน้อยในตอนเริ่มต้นและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นและจะค่อย ๆเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมาจนกระทั่งความเข้มข้นคงที่ทีภาวะสมดุล								
2.3 ที่ภาวะสมดุลอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้สมบัติของระบบคงที่	31	88.57	0	0.00	2	5.71	0	0.00
2.4 ภาวะสมดุลจะเกิดได้ระบบนั้นต้องเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และที่ภาวะสมดุลสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ในระบบปิดบางครั้งอาจจะไม่เกิดภาวะสมดุลก็ได้ และเมื่อสมบัติของระบบคงที่อาจจะไม่เกิดภาวะสมดุลก็ได้	20	57.14	10	28.57	2	5.71	3	8.57

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
2.5 การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลจะเริ่มต้นจากปฏิกิริยาไปข้างหน้าหรือย้อนกลับก็ได้ เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดเวลา จึงทำให้สมบัติของระบบคงที่	15	42.86	13	37.14	3	8.57	4	11.43
2.6 ที่ภาวะสมดุล โมเลกุลของ I_2 จะเคลื่อนที่ระหว่าง KI และ Hexane ตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วที่เท่ากันแต่ไม่จำเป็นต้องมีการละลายเท่ากัน	19	54.29	8	22.86	3	8.57	5	14.29
2.7 สมดุลไดนามิก คือ สมดุลที่ในระบบมีทั้งการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับเกิดขึ้นตลอดเวลาและมีอัตราเร็วเท่ากัน ทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและ	19	54.29	10	28.57	3	8.57	3	8.57

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
สารผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่ จึงพบสารทุกชนิดอยู่ในระบบ								
3. ค่าคงที่สมดุล	121	57.62	17	8.10	36	17.14	36	17.14
3.1 ค่าคงที่สมดุล หาได้จากผลคูณของความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยกกำลังสัมประสิทธิ์ของตัวมันเอง หารด้วยผลคูณของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือยกกำลังสัมประสิทธิ์ของตัวมันเอง จะนำมาหาเฉพาะสารละลายและแก๊สเท่านั้น	13	37.14	17	48.57	2	5.71	3	8.57
3.2 ค่าคงที่สมดุลน้อย แสดงว่าผลคูณความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือมีค่ามากกว่าผลคูณของความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ นั่นคือเกิดสารผลิตภัณฑ์ได้น้อย	32	91.43	0	0.00	2	5.71	1	2.86
3.3 ปฏิกิริยาในภาวะสมดุลที่มีค่าคงที่สมดุลน้อยแสดงว่ามีสารผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้น้อย	15	42.86	0	0.00	9	25.71	11	31.43

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
3.4 ค่าคงที่สมดุลน้อยกว่า 1 แสดงว่าปฏิกิริยาไปข้างหน้าเกิดได้ยากกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับแสดงว่าซิลเวอร์ไอโอไดด์แตกตัวได้น้อย	15	42.86	0	0.00	10	28.57	10	28.57
3.5 ค่าคงที่สมดุลของการละลายถ้ามีค่ามากแสดงว่าเกิดการละลายได้ดี ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าเกิดการละลายได้ไม่ดี	14	40.00	0	0.00	11	31.43	10	28.57
3.6 การหาค่า K หาจากความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์ของจำนวนโมลหารด้วยความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือ	32	91.43	0	0.00	2	5.71	1	2.86
4. ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี	37	52.86	7	10.00	19	27.14	7	10
4.1 สมการที่3มีสัมประสิทธิ์เป็น 2 เท่าของสมการที่1 แล้วนำมาบวกกับสมการที่ 2 ค่าคงที่สมดุลของสมการที่ 3 จึงเท่ากับ	22	62.86	7	20.00	4	11.43	2	5.71

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
ค่าคงที่สมดุลของสมการที่ 1 ยกกำลังสองคูณกับค่าคงที่สมดุลของสมการที่ 2 $K = K_1^2 K_2 = K_3$ 4.2 สมการที่ 2 มีสัมประสิทธิ์เป็นครึ่งของสมการที่ 1 ดังนั้นค่าคงที่สมดุลของสมการที่ 2 จึงเท่ากับค่าคงที่สมดุลของสมการที่ 1 ยกกำลัง $\frac{1}{2}$ หรือเท่ากับ $\sqrt{K_1}$ เพราะฉะนั้น $K_2 = \sqrt{K_1}$	15	42.86	0	0.00	15	42.86	5	14.29
5. การคำนวณค่าคงที่สมดุล	42	60.00	8	11.43	8	11.43	12	17.14
5.1 เพราะความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการคำนวณค่าคงที่สมดุลคือความเข้มข้นที่อยู่ในภาวะสมดุล และเป็นไปตามปริมาณสารสัมพันธ์นั่นคือ อัตราส่วนของความเข้มข้นสารA,B และC เท่ากับ 2:1:1	12	34.29	8	22.86	5	14.29	10	28.57
5.2 ค่าคงที่สมดุลของสมการหาได้จาก $(K) = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]} = 100$ และถ้า $[SO_3] = [SO_2]$ จะได้ $K = \frac{1}{[O_2]} = 100 \quad [O_2] = 0.01 mol/dm^3$	30	85.71	0	0.00	3	8.57	2	5.71

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
6. ความเข้มข้นกับภาวะสมดุล	48	45.71	20	19.05	17	16.19	6	5.71
6.1 เพราะถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ (สารC) ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้นของสาร C ลงโดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น และเมื่อระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ความเข้มข้นของ สารC จะมากขึ้น เพราะความเข้มข้นของสาร C ที่ใช้ทำปฏิกิริยาน้อยกว่าความเข้มข้นที่เติมลงไป	16	45.71	16	45.71	3	8.57	0	0.00
6.2 จากสมการเมื่อเติม Zn^{2+} จะไปทำปฏิกิริยากับ H_2S เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเพิ่มขึ้น ทำให้ $ZnS(s)$ มากขึ้น และเมื่อเติม H_2S จะไปทำปฏิกิริยากับ Zn^{2+} ทำให้ระบบเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น จึงทำให้สารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นดังนั้นจึงตอบข้อ ข	23	65.71	7	20.00	5	14.29	0	0.00
6.3 เพราะเมื่อเติม $FeCl_3$ จะทำให้ได้ Fe^{3+} เพิ่มขึ้นเพื่อลด Fe^{3+} ดังนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเพิ่มขึ้น Ag น้อยลง	9	25.71	11	31.43	9	25.71	6	17.14

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
7. ความดันกับภาวะสมดุล	50	47.62	23	21.91	14	13.33	18	17.14
7.1 ความดันมีผลต่อระบบที่มีแก๊สเป็นส่วนประกอบและมีจำนวนโมลของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากันเท่านั้น	15	42.86	8	22.86	5	14.29	7	20.00
7.2 เมื่อเพิ่มความดันของระบบจะทำให้จำนวนโมล ของแก๊สในระบบเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นระบบจะเกิดการปรับตัวเพื่อลดจำนวนโมล ของแก๊สในระบบโดยปรับตัวไปในทิศทางที่มีจำนวนโมล ของแก๊สน้อยจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าลดลงแก๊สไนโตรเจนและไอน้ำจึงลดลง แต่ค่าคงที่สมดุลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	8	22.86	15	42.86	4	11.43	8	22.86
7.3 จากปฏิกิริยามีแก๊สเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ดังนั้นถ้าต้องการให้สาร H_2CO_3 (ผลิตภัณฑ์)เพิ่มขึ้นทำได้โดยการเพิ่มความดันหรือลดปริมาตร	27	77.14	0	0.00	5	14.29	3	8.57

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การตอบแบบทดสอบของนักเรียน (ต่อ)

มโนมติ	CU		PU		AC		NO	
	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)	จำนวน	(%)
8. อุณหภูมิกับภาวะสมดุล	23	32.86	19	27.14	9	12.86	19	27.14
8.1 จากข้อ ก-ง เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นการรบกวนสมดุลโดยการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ จะทำให้ระบบปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิของระบบที่เพิ่มขึ้นมาโดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้ดีที่สุดคือปฏิกิริยาที่คายความร้อนออกมาน้อยที่สุด นั่นคือข้อ ก	9	25.71	11	31.43	4	11.43	11	31.43
8.2 จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน และมีแก๊สที่มีจำนวนโมลของสารตั้งต้นน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์ ดังนั้นถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาที่อยู่ในภาวะสมดุลเลื่อนไปทางขวามือทำได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น ลดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ เพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ หรือลดความดันโดยการเพิ่มปริมาตรให้แก่ระบบ	14	40.00	8	22.86	5	14.29	8	22.86

จากตารางที่ 2 พบว่า

1. มโนมติที่นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์มากที่สุด คือ มโนมติค่าคงที่สมดุล ซึ่งมีนักเรียนร้อยละ 57.62 ที่มีความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องสมบูรณ์ และมโนมติที่นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์น้อยที่สุด คือ มโนมติอุณหภูมิกับภาวะสมดุล ซึ่งมีนักเรียนร้อยละ 32.86 ที่มีความเข้าใจถูกต้องสมบูรณ์

2. มโนมติที่นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์มากที่สุด คือ มโนมติปฏิกิริยาผันกลับได้ ซึ่งมีนักเรียนร้อยละ 42.29 ที่มีความเข้าใจถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ และมโนมติที่นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์น้อยที่สุด คือ มโนมติค่าคงที่สมดุล ซึ่งมีนักเรียนร้อยละ 8.10 ที่มีความเข้าใจถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์

3. มโนมติที่นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้อง (มีความเข้าใจถูกต้องสมบูรณ์และมีความเข้าใจถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์)มากที่สุด คือ มโนมติภาวะสมดุล และมโนมติที่มีความเข้าใจถูกต้องน้อยที่สุดคือ มโนมติอุณหภูมิกับภาวะสมดุล

2.2 ผลการพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียน

การพัฒนามโนมติของนักเรียนจากสมมติฐานการวิจัย ที่กำหนดไว้ว่านักเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของนักเรียนทั้งหมดมีความเข้าใจมโนมติในวิชาเคมี เรื่อง สมดุลเคมีอย่างถูกต้อง (ถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์)ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของความเข้าใจมโนมติทั้งหมด (ดูที่ภาคผนวก ค) สรุปผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีคะแนนมโนมติวิทยาศาสตร์ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม

จำนวนนักเรียนที่มีคะแนนมโนมติตั้งแต่ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม	ร้อยละของนักเรียนที่มีคะแนนตั้งแต่ 70 %
28	80

จากผลการวิจัยในตารางที่ 3 พบว่ามีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มทั้งหมด 28 คน คิดเป็นร้อยละ 80 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

3. การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาวิชาเคมี เรื่องสมดุลเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

3.1 ความสามารถของนักเรียนในแต่ละขั้นตอนของการแก้ปัญหา

ความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียน 7 สถานการณ์ใช้ตามกรอบความคิดของโพลยาพิจารณา 4 ขั้นตอน คือ ขั้นทำความเข้าใจปัญหา ขั้นการวางแผนในการแก้ปัญหา ขั้นการ

ลงมือทำตามแผน และขั้นการตรวจสอบวิธีการแก้ปัญหา (ผลการวิเคราะห์ข้อสอบเป็นรายสถานการณ์ ดูที่ภาคผนวก ค) สรุปผลได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหา

สถานการณ์ที่	ขั้นตอนการแก้ปัญหา							
	การทำความเข้าใจปัญหา		วางแผนการแก้ปัญหา		นำแผนไปใช้แก้ปัญหา		ตรวจสอบวิธีการแก้ปัญหา	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1	25	71.43	25	71.43	26	74.29	17	48.57
2	26	74.29	20	57.54	19	54.29	17	48.57
3	35	100	30	85.71	27	77.14	25	77.43
4	35	100	30	85.71	27	77.14	20	57.14
5	35	100	31	88.57	29	82.86	25	71.43
6	35	100	28	80	32	91.43	24	68.57
7	35	100	28	80	28	80	26	74.29

จากตารางที่ 4 พบว่านักเรียนมีพัฒนาการความสามารถในการแก้ปัญหา เพิ่มขึ้นในขั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 ดังนี้

1. ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหาพบว่าจากสถานการณ์ที่ 3-7 สังเกตได้ว่านักเรียนทุกคนมีความสามารถในการแก้ปัญหาด้านการทำความเข้าใจปัญหา หรือร้อยละ 100 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด

2. ขั้นที่ 2 วางแผนการแก้ปัญหาพบว่าจากสถานการณ์ที่ 3-7 สังเกตได้ว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาด้านการวางแผนการแก้ปัญหาอยู่ระหว่างร้อยละ 80-88.57 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด

3. ขั้นที่ 3 นำแผนไปใช้แก้ปัญหาพบว่าจากสถานการณ์ที่ 3-7 สังเกตได้ว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาด้านการนำแผนไปใช้แก้ปัญหาอยู่ระหว่างร้อยละ 77.14-91.43 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด

4. ขั้นที่ 4 ตรวจสอบวิธีการแก้ปัญหาพบว่าจากสถานการณ์ที่ 3-7 สังเกตได้ว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาด้านการวางแผนการแก้ปัญหาอยู่ระหว่างร้อยละ 57.14-77.43 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด

3.2 ผลการศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียน

ผลการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนจากสมมติฐานการวิจัย นักเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของนักเรียนทั้งหมดมีความสามารถในการแก้ปัญหาวิชาเคมี เรื่อง สมดุลเคมีไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม (วิเคราะห์เป็นรายบุคคล ดูที่ภาคผนวก ค) สรุปผลได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนและร้อยละนักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม

ขั้นตอนการแก้ปัญหา	จำนวนนักเรียนที่มีคะแนนตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป	ร้อยละของนักเรียนที่มีคะแนนตั้งแต่ 70 %
1. ทำความเข้าใจปัญหา	35	100
2. วางแผนการแก้ปัญหา	28	80
3. นำแผนไปใช้แก้ปัญหา	28	80
4. ตรวจสอบวิธีการแก้ปัญหา	17	48.57

จากผลการวิจัยในตารางที่ 5 พบว่าดังนี้

1. ขั้นที่ 1 มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มทั้งหมดในด้านทำความเข้าใจปัญหา 35 คน หรือร้อยละ 100 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

2. ขั้นที่ 2 มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มทั้งหมดในด้านวางแผนการแก้ปัญหา 28 คน หรือร้อยละ 80 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

3. ขั้นที่ 3 มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มทั้งหมดในด้านนำแผนไปใช้แก้ปัญหา 28 คน หรือร้อยละ 80 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

4. ขั้นที่ 4 มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มทั้งหมดในด้านตรวจสอบวิธีการแก้ปัญหา 17 คน หรือร้อยละ 48.57 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย