สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบเพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องสมดุลเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวมรวมข้อมูลกับนักเรียนจำนวน 11 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552 โรงเรียนขนาดเล็กแห่งหนึ่ง ในจังหวัดขอนแก่น รายละเอียดผลการศึกษาจะนำเสนอในหัวข้อเกี่ยวกับ (1) มโนมติก่อนเรียน (2) มโนมติระหว่างเรียน (3) มโนมติหลังเรียน (4) ความเหมาะสมของมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ในทุกมโนมติย่อยตามลำดับต่อไปนี้

1. มโนมติเรื่องภาวะสมดุล
2. มโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล
3. มโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุล
4. มโนมติเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและหลักการของเลอชาเตอลิเอ
5. มโนมติเรื่องสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม
6. อภิปรายผลการวิจัย

1. มโนมติเรื่องภาวะสมดุล

มโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องภาวะสมดุล คือ ภาวะที่ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและย้อนกลับเกิดขึ้นต่อเนื่องกันตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วเท่ากันและสมบัติของระบบคงที่

1.1 มโนมติก่อนเรียน

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ *"แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจน (H_2) เขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้*

$$CO(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(g)$$

ถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 800 K และเริ่มต้นใช้ CO ความเข้มข้น 0.02 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับ H_2 ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเมื่อเทียบกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น?" คำตอบของคำถามคือ *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะเป็นสมดุล*

ไดนามิก คือ ภาวะที่ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและย้อนกลับเกิดขึ้นต่อเนื่องกันตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วเท่ากันและสมบัติของระบบคงที่" จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่ามีนักเรียน2 คน ตอบคำถามโดยอธิบายเหตุผลที่ไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า*"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะ H_2 มีความเข้มข้นกว่า CO (S4)" "อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะเมื่อระบบการสมดุลจะมีการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเทียบกับอัตราจึงคิดว่าปฏิกิริยาจะมากกว่า (S3)"* ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม

1.2 มโนมติระหว่างเรียน

มโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี เริ่มต้นการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการทดลองเรื่องภาวะสมดุลระหว่างสถานะ และภาวะสมดุลของสารละลายอิ่มตัว หลังจากบันทึกการทดลองเสร็จแล้ว ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังบทสนทนาต่อไปนี้

ครู:	ระดับแอมโมเนียคงที่ ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่หรือไม่อย่างไร
นักเรียน:	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
ครู:	เมื่อผลึกเกลือในบิกเกอร์ไม่เพิ่มขึ้นอีก นักเรียนคิดว่ายังคงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่หรือไม่ อย่างไร
นักเรียน:	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

จะเห็นได้ว่านักเรียนตอบคำถามโดยมีมโนมติคลาดเคลื่อน เนื่องจากนักเรียนเพียงแค่บรรยายจากสิ่งที่สังเกตได้จากประสาทสัมผัสโดยไม่ได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงภายในที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อให้นักเรียนได้ตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงที่มองไม่เห็นดังกล่าว ครูจึงนำมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุมาใช้ในการเปรียบเทียบกับมโนมติเรื่องภาวะสมดุล ดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุกับภาวะสมดุลระหว่างสถานะ

ภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุ	ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ
น้ำในบ่อน้ำพุจะถูกดันขึ้นไปในอากาศและตกลงมายังบ่อ ในช่วงเริ่มต้นปริมาณน้ำในบ่อจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับหนึ่งระดับน้ำในบ่อน้ำพุจะคงที่ แต่น้ำก็ยังถูกดันขึ้นไปและตกลงในปริมาณที่เท่ากันทำให้ปริมาณน้ำในบ่อน้ำพุไม่เปลี่ยนแปลง	ในการทดลองการระเหยของแอมโมเนียในหลอดทดลองที่ปิดฝาสนิทเริ่มแรกปริมาณแอมโมเนียในหลอดทดลองจะลดลงเรื่อย ๆ แล้วคงที่ แต่ยังคงมีการระเหยและควบแน่นของแอมโมเนียเกิดขึ้นในอัตราเร็วที่เท่ากันทำให้ปริมาณแอมโมเนียในหลอดทดลองไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุและภาวะสมดุลระหว่างสถานะ

ภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุ	การเปรียบเทียบ	ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ
การพุ่งขึ้นไปของน้ำ	ความคล้ายคลึง	การระเหยกลายเป็นไอ
การตกลงมาของน้ำที่พุ่งขึ้นไป	ความคล้ายคลึง	การควบแน่นเป็นของเหลว
ระดับน้ำในบ่อน้ำพุคงที่	ความคล้ายคลึง	ปริมาณแอมโมเนียคงที่
เป็นระบบเปิด	ความแตกต่าง	เป็นระบบปิด

โดยระหว่างที่ครูนำเสนอมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุ ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในบ่อน้ำพุ โดยครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังบทสนทนาต่อไปนี้

ครู: เมื่อระดับน้ำในบ่อน้ำพุคงที่ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่หรือไม่ อย่างไร
นักเรียน: มี ครับ /ค่ะ
ครู: แล้วทำไมระดับน้ำในบ่อน้ำพุไม่เปลี่ยนแปลง
นักเรียน: ก็มันพุ่งขึ้นกับตกลงมาเท่ากัน

จากการอภิปรายดังกล่าว แสดงให้เห็นว่านักเรียนเกิดความเข้าใจและตระหนักได้ว่าระดับน้ำพุที่มองดูคงที่ก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ จากนั้นครูจึงได้เชื่อมโยงความเข้าใจในเรื่องภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุเข้ากับภาวะสมดุลระหว่างสถานะ ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ครู: เมื่อระดับแอมโมเนียในหลอดทดลอง ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหรือไม่

นักเรียน: มี

ครู: อย่างไร แล้วทำไมระดับแอมโมเนียไม่เปลี่ยนแปลง

นักเรียน: มันระเหยขึ้น กับตกลงมาเท่ากัน

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับภาวะสมดุลที่ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเรียกว่าสมดุล ไดนามิก หลังจากนั้นครูและนักเรียนอภิปรายเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุกับภาวะสมดุลระหว่างสถานะ ครูได้เชื่อมโยงความเข้าใจเรื่องภาวะสมดุลระหว่างสถานะกับภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี โดยครูอธิบายเพิ่มเติมว่า ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีจัดเป็นสมดุลไดนามิก เมื่อสารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์เรียนว่าปฏิกิริยาไปข้างหน้า และเมื่อสารผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสารตั้งต้นเรียกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับ จากนั้นครูอภิปรายเกี่ยวกับภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมี โดยครูตั้งคำถามดังนี้

ครู: เมื่อปฏิกิริยาเคมีเข้าสู่ภาวะสมดุล จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

นักเรียน: อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ากับย้อนกลับเท่ากัน

สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง S4 ซึ่งเป็นตัวอย่างของนักเรียนที่เข้าใจภาวะสมดุลหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบในมโนมติเรื่องภาวะสมดุล ดังนี้

ครู: เมื่อระดับน้ำในบ่อน้ำพุไม่เปลี่ยนแปลง ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่ไหม

S4: มีค่ะ

ครู: แล้วทำไมระดับน้ำในบ่อน้ำพุไม่เปลี่ยนแปลงละ

S4: ก็มันเกิดเท่า ๆ กัน

ครู: นักเรียนลองอธิบายภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีหน่อยซิครับ

S4: ปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับย้อนกลับค่ะ

จะเห็นได้ว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับภาวะสมดุลระหว่างสถานะ ภาวะสมดุลสารละลายอิ่มตัว และภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี นักเรียนตระหนักถึงภาวะสมดุลที่มองไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงว่ายังคงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในทิศทางที่ตรงกันข้ามกันแต่เกิดขึ้นในอัตราเร็วเท่า ๆ กัน ทำให้สมบัติต่าง ๆ ของระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลไม่เปลี่ยนแปลง

1.3 มโนมติหลังเรียน

หลังจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจมโนมติหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียน พบว่า มีนักเรียน 2 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยตอบว่า *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เกิดความสมดุลไดนามิก (S8)"* *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเกิดการสมดุลแล้วปฏิกิริยาสามารถที่จะเปลี่ยนได้แต่เปลี่ยนไปแบบเท่ากัน (S5)"* นักเรียนกลุ่มนี้เข้าใจว่า ที่ภาวะสมดุลอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เนื่องจากเป็นภาวะสมดุลไดนามิก หรือภาวะที่ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและย้อนกลับเกิดขึ้นต่อเนื่องกันตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วเท่ากัน มีนักเรียน 3 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับน สสารจะปรับเปลี่ยนสภาพตัวเองให้สมดุล (S1)"* *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะเข้าสู่สมดุลแล้ว (S4)"* *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ระบบจะเข้าสู่การสมดุล (S7)"* แสดงให้เห็นว่านักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่า ที่ภาวะสมดุลอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลว่าเป็นลักษณะของสมดุลไดนามิก มีนักเรียน 3 คน ตอบคำถามไม่ตรงประเด็น โดยตอบว่า *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าน้อยกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้แล้วจะลดลง (S9)""อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ถ้ามากกว่าต้องหาที่ระบายออกต้องย้อนกลับ (S6)"* *"อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าน้อยกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะข้างซ้ายน้อยกว่า (S11)"* การอธิบายเหตุผลเช่นนี้เป็นการนำมโนมติเรื่องหลักการของเลอชาเตอลิเอมาใช้ในการอธิบายซึ่งเป็นการอธิบายเหตุผลที่ไม่ตรงประเด็น เพราะคำถามข้อนี้ไม่ได้มีการรบกวนภาวะสมดุลของระบบแต่อย่างใด มีนักเรียน 2 คน อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"อัตราการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา*

ย้อนกลับ CO มีปริมาณมากกว่า H_2 ทำให้เกิดปฏิกิริยามากกว่า (S3)" "อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะมันจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าหรือมากกว่า (S10)" และมีนักเรียนหนึ่งคนตอบว่า *"ไม่สามารถทำนายได้เราไม่สามารถกำหนดการเกิดปฏิกิริยาได้ (S2)"*

1.4 ความเหมาะสมของมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบ่อน้ำพุเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็น และทำความเข้าใจได้ไม่ยาก แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในภาวะสมดุลระหว่างสถานะ ภาวะสมดุลสารละลายอิ่มตัว และภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลสมบัติต่าง ๆ ของระบบจะคงที่ ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ จากการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำพุกับภาวะสมดุลระหว่างสถานะ ช่วยให้นักเรียนเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในภาวะสมดุลระหว่างสถานะ และเชื่อมโยงทำความเข้าใจภาวะสมดุลสารละลายอิ่มตัว และภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีได้ แต่เนื่องจากนักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับบ่อน้ำพุที่แตกต่างกัน เช่น นักเรียนบางคนเข้าใจว่าการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำพุเป็นระบบปิด แต่นักเรียนบางคนเข้าใจว่าเป็นระบบเปิด เพราะน้ำจะระเหยไปจนหมดทำให้ระดับน้ำในบ่อน้ำพุไม่คงที่ เพราะฉะนั้นก่อนที่จะใช้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบ่อน้ำพุมาใช้ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ ครูจะต้องตรวจสอบความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบ่อน้ำพุของนักเรียนก่อน และควรจะปรับความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบ่อน้ำพุให้สอดคล้องกัน

2. มโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล

มโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล คือ เริ่มต้นปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเร็วกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะตอนเริ่มต้นปฏิกิริยาสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมากกว่าสารผลิตภัณฑ์ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเกิดได้เร็วกว่า แต่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะเริ่มลดลงแต่ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าลดลงแต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพิ่มขึ้น ระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น โดยการวิเคราะห์มโนมติได้ผลดังนี้

2.1 มโนมติก่อนเรียน

2.1.1 ความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุล

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุลได้แก่ *"แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์*

(SO_3) ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ณ ภาวะสมดุล เขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

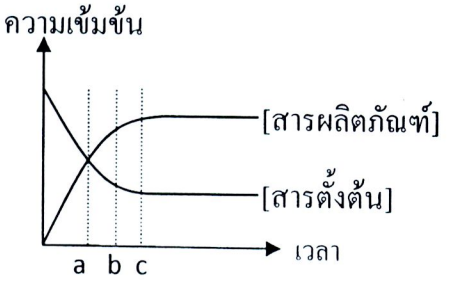
$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

เริ่มต้นปฏิกิริยาใช้ SO_2 ที่มีความเข้มข้น 0.02 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับ O_2 ที่มีความเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 ถ้าอุณหภูมิของระบบคงที่ เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนจะเป็นอย่างไร ถ้าเทียบกับตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา?" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"SO_2 และ O_2 ซึ่งเป็นสารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยากันเปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์ เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นจึงลดลง"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า นักเรียนหนึ่งคน ตอบว่า *"ก่อนทำปฏิกิริยาความเข้มข้นมากกว่าหลังทำปฏิกิริยา (S4)"* ลักษณะการอธิบายเหตุผลของนักเรียนแสดงว่านักเรียนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เนื่องจากนักเรียนไม่ได้อธิบายเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง ขณะที่นักเรียนอีกหนึ่งคนตอบว่า *"เพราะอุณหภูมิของระบบจะคงที่ เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลจะมีความเปลี่ยนความลดลงจะมีค่าเริ่มต้นกับปฏิกิริยา (S3)"* เห็นได้ว่าลักษณะการอธิบายดังกล่าวไม่สื่อความหมาย แสดงว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม แสดงว่านักเรียนกลุ่มนี้ไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เช่นกัน

2.2.2 ความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้แก่

"จากข้อคำถามกราฟแสดงความเข้มข้นของสารต่าง ๆ กับเวลาเป็นดังนี้



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์กับเวลา

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากกราฟจุดใดที่แสดงว่าปฏิกิริยาเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น ?" คำตอบของคำถามนี้คือ *"จุด c เพราะความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เริ่มคงที่"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า นักเรียน 2 คน ตอบว่า *"จุด b เพราะว่าจุด b นั้นอยู่ตรงกลางและจะเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล (S3)" "จุด a เพราะเป็นจุดที่สารตัดกัน (S4)"* ลักษณะการอธิบายเหตุผลของนักเรียนทั้ง 2 คน ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงการใช้มโนมติวิทยาศาสตร์ในการอธิบาย แต่เป็นการบรรยายลักษณะของกราฟ แสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ตอบคำถามแต่ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบ แสดงว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เช่นกัน

2.1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล

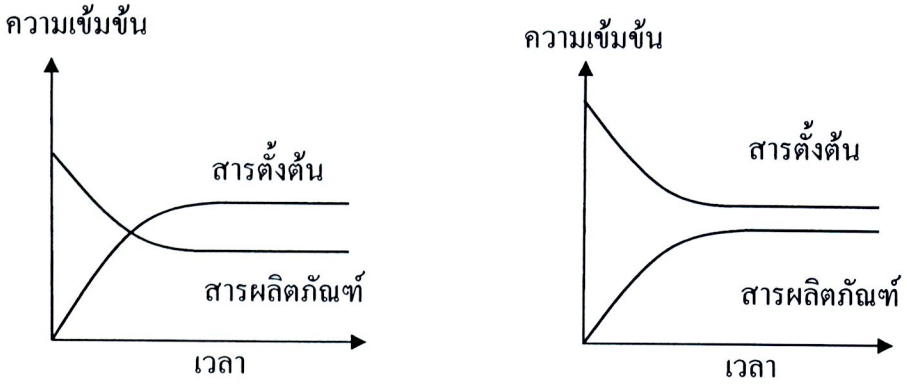
จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับตังเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลได้แก่ *"แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนเกิดแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้*

$$2SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2SO_3\,(g) \qquad \Delta H = -197.78\ kJ/mol$$

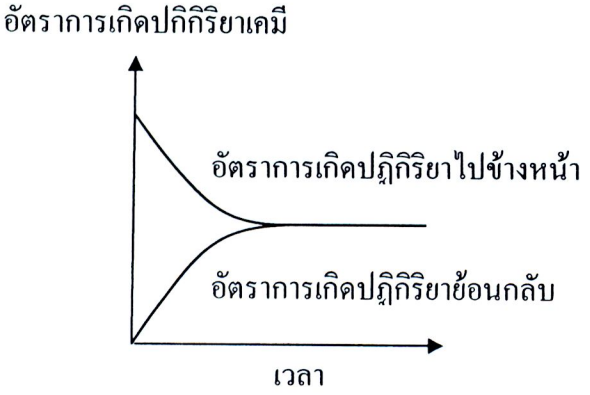
ถ้าเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปในระบบจะมีผลต่อการเข้าสู่ภาวะสมดุลของระบบอย่างไร ?" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วขึ้น เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้พลังงาน ก่อกัมมันต์ (Ea) ลดลง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า มีนักเรียนหนึ่งคน ตอบว่า *"ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นเพราะไม่ใช่ตัวหน่วง (S4)"* การอธิบายเหตุผลของนักเรียนไม่ได้อธิบายว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วได้อย่างไร แสดงว่านักเรียนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ขณะที่นักเรียนอีกหนึ่งคนตอบว่า *"ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปในระบบจะทำให้ระบบจะทำให้เข้าสู่สมดุลช้าลง (S3)"* แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะเข้าใจว่าตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้ระบบเข้าสู่สมดุลช้าลง ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม แสดงว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์

2.2 มโนมติระหว่างเรียน

มโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลมีการจัดการเรียนรู้เริ่มต้นด้วยการให้นักเรียนเขียนกราฟแสดงความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์กับเวลาดังดังภาพที่ 7 ครูนำเสนอกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับกับเวลาดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์กับเวลา



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า
และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับกับเวลา

หลังจากนั้นครูอภิปรายร่วมกับนักเรียน โดยครูใช้คำถามดังนี้

ครู: ช่วงเริ่มต้นปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นอย่างไร

นักเรียน: ไปข้างหน้าสูงกว่าย้อนกลับ

ครู: แล้วเมื่อเวลาผ่านไปเรื่อย ๆ จะเกิดอะไรขึ้น

นักเรียน: อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเท่ากัน และเข้าสู่สมดุล

ครู: เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว ความเข้มข้นของสารเป็นอย่างไร

นักเรียน: คงที่ ไม่เพิ่มไม่ลด

ครู: ณ ภาวะสมดุลยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่หรือไม่อย่างไร

นักเรียน: เกิดขึ้น แต่เกิดขึ้นเท่า ๆ กัน

ครู: ตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อภาวะสมดุลอย่างไร
นักเรียน: ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น

จะเห็นได้ว่าคำตอบของนักเรียนสอดคล้องกลับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะเมื่อถามเกี่ยวกับระบบที่เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว แต่จากคำถามเกี่ยวกับอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยานักเรียนตอบได้ว่าช่วงเริ่มต้นปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเกิดได้เร็วกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผล โดยนักเรียนเพียงแต่นำข้อมูลจากกราฟมาตอบคำถาม ไม่ได้อธิบายว่าเพราะเหตุใดในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจึงสูงกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จากประเด็นดังกล่าว เห็นได้ว่าครูไม่สามารถทำการทดลองให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นครูจึงนำเสนอสถานการณ์สมมติมาใช้ในการเปรียบเทียบกับมโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดของสถานการณ์สมมุติและการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมี

สถานการณ์สมมุติ **การโยนลูกมะพร้าวระหว่างเพื่อนบ้าน**	**การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล** **ของปฏิกิริยาเคมี**
ต้นมะพร้าวของนายขาวที่ปลูกไว้ริมรั้วเอนเข้ามาในบ้านนายแดงและมีผลมะพร้าวตกลงในบ้านของนายแดง นายแดงโกรธมากจึงโยนลูกมะพร้าวกลับไปยังบ้านของนายขาว นายขาวเองก็โยนลูกมะพร้าวที่นายแดงโยนมากลับไป ช่วงเริ่มต้นนายแดงจะโยนมะพร้าวได้เร็วกว่านายขาว เพราะลูกมะพร้าวทางบ้านนายแดงมากกว่า เมื่อเวลาผ่านไปลูกมะพร้าวบ้านนายแดงจะลดลงทำให้นายแดงโยนมะพร้าวได้ช้าลง แต่ลูกมะพร้าวฝั่งบ้านนายขาวเพิ่มขึ้นทำให้นายขาวโยนมะพร้าวได้เร็วขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปนายแดงกับนายขาวจะโยนมะพร้าวได้เร็วเท่ากัน ทำให้จำนวนมะพร้าวฝั่งบ้านนายแดงและนายขาวไม่เปลี่ยนแปลง	เริ่มต้นปฏิกิริยาสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมากกว่าสารผลิตภัณฑ์ช่วงเริ่มต้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเกิดได้เร็วกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าลดลง งแต่ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพิ่มขึ้น เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จะคงที่

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างสถานการณ์สมมติกับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมี

สถานการณ์สมมติ	เปรียบเทียบ	การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล
จำนวนลูกมะพร้าว	ความคล้ายคลึง	ความเข้มข้นของสาร
นายแดงขว้างลูกมะพร้าวไปยังบ้านนายขาว	ความคล้ายคลึง	เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า
นายขาวขว้างลูกมะพร้าวมายังบ้านของนายแดง	ความคล้ายคลึง	เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ
เมื่อทั้งสองขว้างได้อัตราเร็วเท่ากัน	ความคล้ายคลึง	อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ
จำนวนมะพร้าวในแต่ละข้างไม่เปลี่ยนแปลง	ความคล้ายคลึง	ความเข้มข้นของสารต่าง ๆ คงที่
ลูก ๆ ของทั้งสองคน	ความคล้ายคลึง	ตัวเร่งปฏิกิริยา
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ความแตกต่าง	การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โดยระหว่างที่ครูนำเสนอสถานการณ์สมมติเพื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมี ครูเริ่มต้นด้วยการให้นักเรียนคาดเดาสถานการณ์ที่เกิดขึ้น จากนั้นอภิปรายร่วมกับนักเรียน ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ครู: เริ่มแรกนายแดงกับนายขาวใครโยนลูกมะพร้าวได้เร็วกว่ากันกันเพราะอะไร

นักเรียน: นายแดง เพราะมีลูกมะพร้าวเยอะกว่า

ครู: เมื่อเวลาผ่านไปเรื่อย ๆ ล่ะ จะเกิดอะไรขึ้น

นักเรียน: นายแดงจะโยนได้น้อยลง เพราะลูกมะพร้าวเริ่มหมด ส่วนนายขาวจะโยนได้เร็วขึ้น เพราะมะพร้าวไปอยู่ทางบ้านนายขาวมากขึ้น

ครู: สุดท้ายล่ะจะเกิดอะไรขึ้น

นักเรียน: เมื่อลูกมะพร้าวทั้งสองข้างเท่ากันก็จะโยนได้เท่ากัน

ครู: จำเป็นหรือไม่ที่ลูกมะพร้าวทั้งสองข้างเท่ากันจะโยนได้เท่ากัน

นักเรียน: มันก็น่าจะเท่ากันจึงจะโยนได้เท่ากัน

จะเห็นได้ว่านักเรียนสามารถคาดเดาสถานการณ์สมมติได้อย่างถูกต้อง และเข้าใจว่าจำนวนลูกมะพร้าวมีผลต่ออัตราการโยน แต่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนที่ว่าจะโยนมะพร้าวได้เท่ากันก็ต่อเมื่อมีลูกมะพร้าวเท่ากันทั้งสองข้าง ครูจึงได้อธิบายเพิ่มเติมว่าไม่จำเป็นต้องมีลูกมะพร้าวทั้งสองข้างเท่ากันก็สามารถโยนมะพร้าวได้เท่ากันได้ เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจตรงกันก่อนที่จะอภิปรายต่อไปว่า

ครู: ถ้าเกิดทั้งนายขาวและนายแดงนำลูกชายมาช่วยโยนมะพร้าวล่ะจะเกิดอะไรขึ้น

นักเรียน: จะโยนมะพร้าวได้เร็วขึ้น

ครู: นักเรียนคิดว่าจะเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นหรือไม่ อย่างไร

นักเรียน: น่าจะเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เพราะมีคนมาช่วยกันโยน

จะเห็นได้ว่านักเรียนสามารถคาดเดาสถานการณ์ได้อย่างถูกต้อง ครูจึงได้เชื่อมโยงสถานการณ์สมมติกับมโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมี รวมทั้งเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างสถานการณ์สมมติกับมโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล จากนั้นกลับไปอภิปรายเกี่ยวกับกราฟอีกครั้ง ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ครู: เพราะเหตุใด ช่วงเริ่มต้นปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจึงเกิดได้เร็วกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

นักเรียน: เพราะสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมากกว่า

ครู: เพราะเหตุใด อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจึงลดลง แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพิ่มขึ้น

นักเรียน: เพราะความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง แต่สารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ครู: ตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลอย่างไร

นักเรียน: เข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วขึ้น

บทสนทนาดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบในมโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังนี้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ครู: นักเรียนยังจำสถานการณ์สมมติที่ครูยกตัวอย่างได้ไหม

S4: จำได้ค่ะ

ครู: นายแดงโยนมะพร้าวได้มากกว่านายขาวเพราะอะไร

S4: เพราะบ้านนายแดงมีลูกมะพร้าวมากกว่าบ้านนายขาว

ครู: นักเรียนอธิบายการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาได้ไหม

S4: ได้ค่ะ แรก ๆ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะมากกว่าย้อนกลับ เพราะมีสารตั้งต้นมากกว่า แต่นาน ๆ ไปจะเท่ากัน เพราะสารตั้งต้นลดลง สารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ครู: เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องเท่ากันไหม

S4: ไม่จำเป็นค่ะ เท่าก็ได้ไม่เท่าก็ได้

ครู: ตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลอย่างไร

S4: เข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้นค่ะ

จะเห็นได้ว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนสามารถอธิบายเหตุผลได้อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร และตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยให้ปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น

2.3 มโนมติหลังเรียน

2.3.1 ความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุล

หลังจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจมโนมติหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกัน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่านักเรียน 5 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"ความเข้มข้นคงที่ เพราะสสารปรับตัวสมดุลกัน (S1)" "ความเข้มข้นคงที่ เพราะเข้าสู่ระบบสมดุลแล้ว (S4)" "ความเข้มข้นคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ (S6)" "ความเข้มข้นคงที่ เพราะระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล (S7)" "ความเข้มข้นคงที่ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับแก๊สออกซิเจนเข้าสู่สมดุล (S8)"* จะเห็นได้ว่านักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะคงที่ การที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะเป็นสมดุลไดนามิก นักเรียนอาจเข้าใจว่าเมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น นอกจากนั้นยังมีนักเรียน 3 คน ที่ตอบคำถามไม่ตรงประเด็น โดยตอบว่า*"ความเข้มข้นลดลง เพราะสารจะทำปฏิกิริยาทำให้สารที่มีความเข้มข้นมากกว่าไหลไปหาสารที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า (S5)"*

"ความเข้มข้นลดลง ถ้าเพิ่มขึ้นจะลดลง ถ้าลดลงจะเพิ่มขึ้น (S9)" "ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เพราะปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เพราะข้างซ้ายมากกว่าข้างขวา (S11)" นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าระบบจะปรับตัวเพื่อเข้าสู่สมดุลโดยนำหลักของเลอชาเตอลิเอมาใช้ในการตอบคำถาม แต่คำถามข้อนี้ไม่ได้มีการรบกวนภาวะสมดุลแต่อย่างใด ขณะที่มีนักเรียน 2 คน อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"ความเข้มข้นลดลง แล้วแต่การเกิดของปฏิกิริยา (S2)" "ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายมากกว่า (S10)"*และมีนักเรียนหนึ่งคน (S3) ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการเลือกตอบ

2.3.2 ความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

หลังจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจมโนมติหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกัน จากการวิเคราะห์คำตอบและการอธิบายเหตุผลของนักเรียนพบว่า นักเรียน 5 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยตอบว่า *"จุด c เพราะสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นจะมีปริมาตรคงที่ (S4)" "จุด c เพราะเริ่มมีการคงที่ทั้งสองสาร (S5)" "จุด c จากจุด c ไปไม่มีการเปลี่ยนแปลง (S6)" "จุด c สารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นคงที่ (S7)" "จุด c เพราะสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นสมดุลคงที่ (S9)"* จากคำตอบดังกล่าว แสดงให้เห็นว่านักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ และมีนักเรียน 3 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า*"จุด c สารผลิตภัณฑ์กับสารตั้งต้นเริ่มปรับตัวสมดุลกัน (S1)" "จุด c มีความสมดุลของสารตั้งต้นสารผลิตภัณฑ์ (S3)" "จุด c สารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์เริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล (S8)"* นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าจุด c เป็นจุดที่ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ ส่วนนักเรียนอีก 3 คน ไม่มีโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยคนแรกตอบว่า *"จุด a เพราะ สารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นเข้าสู่ภาวะสมดุลอยู่ที่ a (S11)"* แสดงถึงการอธิบายเหตุผลอยู่ในลักษณะทวนคำถาม นักเรียนคนที่สองตอบว่า *"จุด a จุดมันอยู่ด้วยกัน (S2)"* ซึ่งเห็นได้ชัดว่าไม่ได้ใช้มโนมติวิทยาศาสตร์ในการอธิบายเหตุผล และนักเรียนคนสุดท้ายตอบว่า *"ไม่สามารถบอกได้ ดูไม่ออก (S10)"*

2.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล

หลังจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจมโนมติหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่า มีนักเรียน 6 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า *"ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น สสารจะมีการปรับตัวเร็ว (S1)" "ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นระบบจะเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น ถ้าเราเพิ่มตัวเร่งของสารสมดุล (S3)" "ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เพราะมีตัวเร่งปฏิกิริยา (S6)" "ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เพราะมันจะปรับตัวเข้าสู่*

ระบบ (S7)" "ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น ถ้าใส่ตัวเร่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น (S10)" "ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เพราะปฏิกิริยาเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (S11)" นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วขึ้น แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลเกี่ยวกับการลดพลังงานก่อกัมมันต์ของตัวเร่งปฏิกิริยา และมีนักเรียน 1 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"ไม่เปลี่ยนแปลง เพราะเข้าสู่ระบบสมดุลแล้ว (S4)"* ที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนนำมโนมติเรื่องภาวะสมดุลมาใช้ในการอธิบายเหตุผล โดยนักเรียนเข้าใจว่า เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาไม่มีผลต่อระบบที่เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว ส่วนนักเรียนหนึ่งคนตอบว่า *"ทำนายไม่ได้ แล้วแต่สารแต่ละชนิด (S2)"* และมีนักเรียนอีก 3 คน (S5, S8, S9) ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการเลือกตอบ

2.4 ความเหมาะสมของมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

สถานการณ์สมมติที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ พบว่านักเรียนอาจคาดเดาสถานการณ์แตกต่างกัน เช่นนักเรียนบางคนมีข้อโต้แย้งว่านายแดงอาจจะหมดแรงก่อนก็ได้ หรือบางคนโต้แย้งว่านายขาวอาจจะเก่งกว่านายแดงทำให้โยนมะพร้าวได้เร็วกว่า แต่ประเด็นสำคัญอยู่ที่จะโยนมะพร้าวได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับจำนวนลูกมะพร้าวที่มีอยู่ ซึ่งช่วยให้นักเรียนตอบได้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเร็วกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเนื่องจากสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมากกว่าสารผลิตภัณฑ์ และยังตอบได้เวลาเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพิ่มขึ้นเนื่องความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น การใช้สถานการณ์สมมตินี้จึงต้องระวังในประเด็นที่นักเรียนอาจเข้าใจว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์

3. มโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุล

เมื่อปฏิกิริยาดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ ค่าที่ได้จากผลคูณความเข้มข้นภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ในสมการที่ดุลแล้ว หารด้วยผลคูณความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาทุกชนิดยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลของตัวทำปฏิกิริยานั้น ๆ ในสมการที่ดุลแล้ว ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าคงที่สมดุล (K) ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาหนึ่งที่อุณหภูมิคงที่จะมีค่าคงที่เสมอ ค่าคงที่สมดุลบอกให้ทราบถึงปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในปฏิกิริยา ณ ภาวะสมดุล นั่นคือปฏิกิริยาใดมีค่าคงที่สมดุลมากกว่า 1 แสดงว่ามีผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น ในทางตรงกันข้ามถ้ามีค่าคงที่สมดุลน้อยกว่า 1 แสดงว่ามีผลิตภัณฑ์น้อยกว่าสารตั้งต้น ดังนั้นค่าคงที่สมดุลจึงบอกให้

ทราบแต่เพียงว่า ณ ภาวะสมดุลมีผลิตภัณฑ์หรือมีสารตั้งต้นอยู่ในระบบมากน้อยเพียงใดแต่ไม่ได้บอกว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วหรือช้า

3.1 มโนมติก่อนเรียน

3.1.1 ความหมายของค่าคงที่สมดุล

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับความหมายของค่าคงที่สมดุลที่ถามว่า *"ปฏิกิริยาสมมติหนึ่ง สามารถเขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้*

$$A(aq) + B(aq) \rightleftharpoons C(aq) + D(aq)$$

ถ้าค่าคงที่สมดุล (K) ของระบบมีค่าเท่ากับ 2.56 ณ ภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารผลิตภัณฑ์จะเป็นอย่างไร?" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"ณ ภาวะสมดุล จะพบสารผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น เนื่องจากค่าคงที่สมดุลมีค่ามากกว่า 1"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า นักเรียนหนึ่งคน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"สารผลิตภัณฑ์เท่ากับสารตั้งต้นเพราะความเข้มข้นอยู่ในภาวะสมดุล (S4)"* นักเรียนอาจจะแปลความหมายของคำว่าภาวะสมดุลหมายถึง เท่ากัน จึงตอบว่า ณ ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ ขณะที่นักเรียนอีกหนึ่งคน ตอบทวนคำถาม โดยตอบว่า *"สารตั้งต้นมากกว่าสารผลิตภัณฑ์ เกิดจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากกว่า (S3)"*ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม

3.1.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุล

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุลที่ถามว่า *"ปฏิกิริยาสมมติหนึ่ง เข้าสู่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิ 25 °C เขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนี้*

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$$

ณ ภาวะสมดุล อุณหภูมิของระบบคงที่ ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสาร C ค่าคงที่สมดุล (K) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแต่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง จะไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า มีนักเรียนหนึ่งคน โดยตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าคงที่ เพราะสาร c สามารถปรับเปลี่ยนได้ (S4)"* นักเรียนเชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล แต่การอธิบายเหตุผลของนักเรียนไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ แสดงว่านักเรียนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน ขณะที่นักเรียนหนึ่งคนตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง อุณหภูมิของสารเคมีมีการเกิดปฏิกิริยาจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและอุณหภูมิมีการลดลง (S3)"* การอธิบาย

เหตุผลดังกล่าวไม่ได้ใจความ ผู้วิจัยไม่สามารถแปลความหมายคำตอบได้ เช่นเดียวกับนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผล

3.1.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุล

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุลที่ถามว่า *"ปฏิกิริยาระหว่างแก๊สแอมโมเนียกับแก๊สออกซิเจน สามารถเขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้*

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g) \qquad \Delta H = -905.6\ kJ$$

ค่าคงที่สมดุล (K) จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"ค่าคงที่สมดุลลดลง เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางซ้ายเพื่อลดอุณหภูมิทำให้สารผลิตภัณฑ์ลดลง แต่สารตั้งต้นเพิ่มขึ้น"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า นักเรียนหนึ่งคน ตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น แก๊สแอมโมเนียกับแก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สที่ระเหยได้จึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้น (S3)"* คำตอบดังกล่าวแสดงให้เห็นถึง การอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย ส่วนนักเรียนหนึ่งคนตอบว่า *"ไม่สามารถทำนายได้ เพราะในการเพิ่มอุณหภูมิอาจเพิ่มน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับระบบ (S4)"* ซึ่งเป็นการอธิบายเหตุผลอยู่ในลักษณะไม่ตรงประเด็น เช่นเดียวกับนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผล

3.2 มโนมติระหว่างเรียน

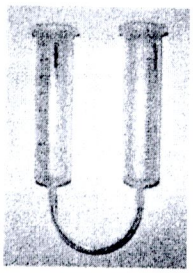
มโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุล การจัดการเรียนรู้เริ่มต้นจากครูนำเสนอข้อมูลความเข้มข้นของแก๊ส NO_2 และแก๊ส N_2O_4 เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังนี้

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

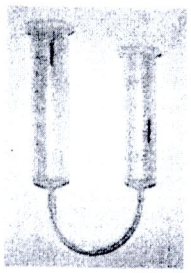
ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของ N_2O_4 และ NO_2 ที่อุณหภูมิ 100 °C

การทดลองครั้งที่	ความเข้มข้นที่ภาวะสมดุล (M)	
	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$
1	0.040	0.120
2	0.070	0.160
3	0.14	.....
4	.....	0.60

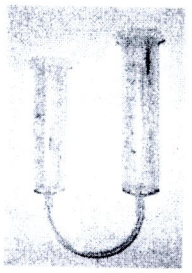
ครูอภิปรายร่วมกับนักเรียนเกี่ยวกับการหาความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล และให้นักเรียนคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุลในการทดลองครั้งที่ 3 และ 4 พบว่านักเรียนไม่สามารถคำนวณได้ ครูจึงนำเสนอกิจกรรมการทดลองหาปริมาณน้ำในหลอดฉีดยาเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยแต่ละกลุ่มจะได้อุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 8 และให้นักเรียนทำการทดลองตามใบกิจกรรมการทดลอง



แบบที่ 1
กระบอกฉีดยา 2 ด้าน
มีขนาดเท่ากัน



แบบที่ 2
กระบอกฉีดยาด้านขวา
มีขนาดเล็กกว่าด้านซ้าย



แบบที่ 3
กระบอกฉีดยาด้านซ้าย
มีขนาดเล็กกว่าด้านขวา

ภาพที่ 9 แสดงลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์การทดลองหาปริมาณน้ำเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

ตารางที่ 11 แสดงการทดลองหาปริมาณน้ำในหลอดฉีดยาเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

การทดลองครั้งที่	ปริมาตรน้ำในหลอดฉีดยาตอนเริ่มต้น (cm^3)		ปริมาตรน้ำในหลอดฉีดยาเมื่อเข้าสู่สมดุล (cm^3)		$\frac{(B)}{(A)}$
	หลอด A	หลอด B	หลอด A	หลอด B	
1	20.00	0.00	.....	.....	.....
2	0.00	50.00	.....	.....	.....
3			10	.....	.....
4			.....	15	.....

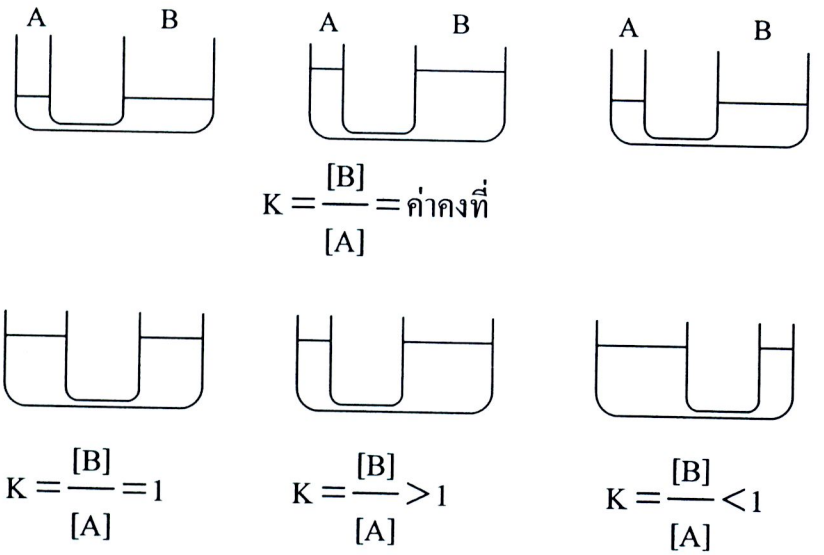
ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับการทดลองหาปริมาณน้ำในหลอดฉีดยา A และ B เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล และการนำค่า B/A มาใช้การคำนวณหาปริมาณน้ำในหลอดฉีดยา ในการทดลองครั้งที่ 3 และ 4 แล้วเชื่อมโยงค่า B/A ไปยังค่าคงที่สมดุลในสมดุลเคมี จากนั้นครูได้นำเสนอมโนมติค่าคงที่สมดุลเคมี ดังนี้ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ ค่าที่ได้จากผลคูณความเข้มข้นภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ในสมการที่ดุลแล้ว หารด้วยผลคูณความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาทุกชนิดยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลของตัวทำปฏิกิริยานั้น ๆ ในสมการที่ดุลแล้ว ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าคงที่สมดุล (K) ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาหนึ่งที่อุณหภูมิคงที่จะมีค่าคงที่เสมอ ในปฏิกิริยาผันกลับได้ทั่วไป เมื่อ A และ B เป็นตัวทำปฏิกิริยา C และ D เป็นผลิตภัณฑ์ และ a, b, c และ d เป็นสัมประสิทธิ์แสดงปริมาณสัมพันธ์ในสมการเคมีที่ดุลแล้ว

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

ความเข้มข้นที่ภาวะสมดุลของสารต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$K=\frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

ครูร่วมกับนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับความหมายของค่าคงที่สมดุลเคมี (K) โดยครูตั้งคำถามเกี่ยวกับความหมายของค่าคงที่สมดุลที่มีค่ามากกว่า 1 และค่าคงที่สมดุลที่มีค่าน้อยกว่า 1 พบว่านักเรียนไม่สามารถแปลความหมายของค่าคงที่สมดุลได้ จากนั้นครูจึงนำเสนอนำเสนอผลการทดลองที่นักเรียนได้ทำการทดลองไปเกี่ยวกับค่าคงที่ของสมดุลระดับน้ำ (B/A) อีกครั้ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 10 แสดงค่าคงที่สมดุลระดับน้ำ

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างค่าคงที่สมดุลระดับน้ำและค่าคงที่สมดุลเคมี

ค่าคงที่สมดุลระดับน้ำ	เปรียบเทียบ	ค่าคงที่สมดุลเคมี
หลอด A	ความคล้ายคลึง	สารตั้งต้น
หลอด B	ความคล้ายคลึง	สารผลิตภัณฑ์
ปริมาตรน้ำในหลอด A	ความคล้ายคลึง	ความเข้มข้นของสารตั้งต้น
ปริมาตรน้ำในหลอด B	ความคล้ายคลึง	ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์
ค่าคงที่สมดุลระดับน้ำ (B/A)	ความคล้ายคลึง	ค่าคงที่สมดุล = K
(B/A) > 1 ปริมาณน้ำในหลอด B มากกว่าหลอด A	ความคล้ายคลึง	K>1 ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น
(B/A) < 1 ปริมาณน้ำในหลอด B น้อยกว่าหลอด A	ความคล้ายคลึง	K<1 ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์น้อยกว่าสารตั้งต้น
ไม่เป็นสมดุลไดนามิก	ความแตกต่าง	เป็นสมดุลไดนามิก

โดยระหว่างที่ครูนำเสนอค่าคงที่ B/A ของน้ำในหลอดฉีดยาเพื่อเชื่อมโยงกับค่าคงที่สมดุลเคมี ครูใช้คำถามดังต่อไปนี้

ครู:	ค่า B/A ของแต่ละกลุ่มมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าหนึ่ง
นักเรียน:	(กลุ่มที่ 1) เท่ากับหนึ่ง
	(กลุ่มที่ 2) มากกว่าหนึ่ง
	(กลุ่มที่ 3) ด้าน A น้อยกว่าหนึ่ง
ครู:	กลุ่มที่ 1 ด้านใดมีปริมาณน้ำในหลอดฉีดยามากกว่ากัน
นักเรียน:	(กลุ่มที่ 1) ปริมาณน้ำด้าน A เท่ากับด้าน B ค่ะ
ครู:	กลุ่มที่ 2 ละ ปริมาณน้ำในหลอดฉีดยาเป็นอย่างไร
นักเรียน:	(กลุ่มที่ 2) ปริมาณน้ำด้าน A น้อยกว่าด้าน B ค่ะ
ครู:	กลุ่มที่ 3 ละปริมาณน้ำเป็นอย่างไร
นักเรียน:	(กลุ่มที่ 3) ด้าน A มากกว่าด้าน B ครับ
ครู:	ค่าคงที่สมดุลเคมีมากกว่าหนึ่งหมายความว่าอย่างไร
นักเรียน:	สารผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น
ครู:	ค่าคงที่สมดุลเคมีน้อยกว่าหนึ่งหมายความว่าอย่างไร
นักเรียน:	สารผลิตภัณฑ์น้อยกว่าสารตั้งต้น

สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบในมโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุล ดังนี้

ครู:	ในการคิดค่าคงที่สมดุล จะไม่นำสารที่อยู่ในสถานะใดมาคิด
S7:	ของแข็ง กับของเหลว
ครู:	ค่าคงที่สมดุลมากกว่า 1 หมายความว่าอย่างไร
S7:	สารผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น
ครู:	ค่าคงที่สมดุลน้อยกว่า 1 หมายความว่าอย่างไร
S7:	สารผลิตภัณฑ์น้อยกว่าสารตั้งต้น

จากข้อมูลที่ได้จากการจัดการเรียนรู้ จากการสัมภาษณ์ และจากการสรุปใบกิจกรรม แสดงว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องค่าคงที่สมดุล

3.3 มโนมติหลังเรียน

3.3.1 ความหมายของค่าคงที่สมดุล

หลังจากจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจ มโนมติหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน พบว่า มีนักเรียน 1 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยตอบว่า *"สารตั้งต้นน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์ เพราะค่าคงที่สมดุลมากจะทำให้ลดลง (S9)"* แสดงให้เห็นถึงการที่นักเรียนพยายามอธิบายเหตุผลถึงค่าคงที่สมดุลที่มีค่ามากกว่า 1 ณ ภาวะสมดุลสารผลิตภัณฑ์จะมากกว่าสารตั้งต้น และมีนักเรียน 2 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า*"สารตั้งต้นน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์ เพราะสารผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นมากกว่าสารตั้งต้น (S5)" "สารตั้งต้นน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์ สารผลิตภัณฑ์จะมากกว่าสารตั้งต้น (S10)"*นักเรียนกลุ่มนี้ไม่ได้อธิบายเหตุผลเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุลส่วนมีนักเรียน 6 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"เท่ากัน เพราะสสารมีการสมดุลกัน (S1)" "เท่ากัน เพราะเข้าสู่ภาวะสมดุล (S4)" "เท่ากัน เพราะมันสมดุลกันแล้ว (S6)" "เท่ากัน สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่ภาวะสมดุล (S7)" "เท่ากัน สารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์อยู่ในภาวะสมดุล (S8)" "เท่ากัน เพราะความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะ ค เท่านั้น (S11)"*คำตอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี แต่เข้าใจว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ แต่ไม่จำเป็นที่สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะต้องมีความเข้มข้นเท่ากัน และมีนักเรียน 2 คน อธิบายเหตุผลที่ไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"สารตั้งต้นน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นของสารอาจน้อยลงก็ได้ (S2)" "เท่ากัน ระบบภาวะสมดุลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นเมื่อเปลี่ยนเพื่อการเปลี่ยนแปลงของสารผลิตภัณฑ์มีความเท่ากันของสารตั้งต้น (S3)"*

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุล

หลังจากจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจมโนมติหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่า มีนักเรียน 1 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลคงที่เพราะอุณหภูมิไม่ได้เปลี่ยนแปลง (S4)"* และนักเรียน 2 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า*"ค่าคงที่สมดุลมีค่าคงที่ เพราะเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลค่าคงที่สมดุลน่าจะคงที่ (S5)" "ค่าคงที่สมดุลมีค่าคงที่ เพราะความเข้มข้นของสาร c และ ค่าคงที่สมดุลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคงที่ (S11)"* แสดงให้เห็นว่านักเรียนเหล่านี้เชื่อว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลค่าคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแต่อุณหภูมิไม่

เปลี่ยนแปลงจะไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล ส่วนนักเรียน 6 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"เพิ่มขึ้น ค่า K จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสสาร (S1) "* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าคงที่ อุณหภูมิคงที่แล้วเพิ่มสาร c มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ (S2)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะมีความเข้มข้นมากกว่าเดิม (S6)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น เข้าสู่ภาวะสมดุล (S7)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคงที่สมดุลจะเกิดการเพิ่มขึ้นเพราะว่าเพิ่มสาร c ค่าคงที่สมดุลจะเพิ่มขึ้น (S9)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง สาร c จะเพิ่มขึ้นมากกว่า (S10)"* นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าความเข้มข้นของสารเปลี่ยนค่าคงที่สมดุลเปลี่ยนตามไปด้วยซึ่งไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่ว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจะไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล และมีนักเรียน 2 คน อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของระบบจะมีค่าความเข้มข้นของสารที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารเพิ่มขึ้น (S3)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะเปลี่ยนไปตามดูดทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (S8)"*

3.3.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุล

หลังจากจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจมโนมติหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน พบว่า มีนักเรียน 1 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า*"ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง เพราะเป็นระบบคาย (S4)"* นักเรียนอธิบายเหตุผลเพียงว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน แต่ไม่ได้อธิบายถึงทิศทางการปรับตัวของระบบเมื่อถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีนักเรียนหนึ่งคน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน โดยตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลระบบจะลดลงอุณหภูมิทำให้ค่าคงที่สมดุลเพิ่มขึ้น (S9)"* นักเรียนคนนี้เข้าใจว่าเมื่อรบกวนภาวะสมดุลโดยการเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิ แต่นักเรียนแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับทิศทางการปรับตัวของระบบเพื่อลดอุณหภูมิ มีนักเรียน 2 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าคงที่ ค่าคงที่สมดุลจะคงที่ (S1)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าคงที่ เพราะเมื่อสมดุลแล้วค่า K ควรจะคงที่ (S5)"* นักเรียนคนนี้เข้าใจว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล จะไม่ทำให้ค่าคงที่เปลี่ยนแปลง ส่วนนักเรียน 6 คน อธิบายเหตุไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง อุณหภูมิอาจลดลงได้ (S2)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิจะอยู่ในภาวะสมดุลก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิก็จะเกิดความเปลี่ยนแปลงลดลง (S3)"* *"ค่าคงที่สมดุลลดลง ระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุล (S7)"* *"ค่าคงที่สมดุลเพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้นและปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้ง (S8)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง เพราะอุณหภูมิลดลง (S10)"* *"ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง เพราะอุณหภูมิเพิ่มระบบภาวะสมดุลลดลง (S11)"* และมีนักเรียนหนึ่งคน ตอบคำถามไม่ตรงประเด็น โดยตอบว่า *"ค่าคงที่สมดุลมีค่า*

ลดลง เพราะความดันลดลงค่า K จึงลดลง (S6)" ทั้งที่คำถามข้อนี้ไม่ได้มีการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดันแต่อย่างใด

3.4 ความเหมาะสมของมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ในการหาค่าคงที่สมดุลระดับน้ำนักเรียนสามารถทำการทดลองเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงและหาค่าคงที่สมดุลระดับน้ำด้วยตัวของนักเรียนเอง และสามารถสรุปผลว่าค่าคงที่สมดุลระดับน้ำมากกว่า 1 หรือน้อยกว่า 1 หมายความว่าอย่างไร แต่ในเรื่องค่าคงที่สมดุลเคมีนักเรียนไม่สามารถทำการทดลองเพื่อศึกษาได้ ค่าคงที่สมดุลระดับน้ำ ถ้าทดลองจากอุปกรณ์ชุดเดียวกันไม่ว่าจะเติมน้ำปริมาณเท่าใดอัตราส่วนปริมาณน้ำในหลอด B ต่อหลอด A ก็ยังคงมีค่าเท่ากันเสมอ เช่นเดียวกับค่าคงที่สมดุลถึงแม้จะเริ่มจากความเข้มข้นแตกต่างกันแต่เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลค่าคงที่สมดุลก็ยังคงเท่าเดิม และค่าคงที่สมดุลระดับน้ำมากกว่า 1 นักเรียนสามารถทำนายได้ว่าปริมาณน้ำด้านหลอด B มีปริมาณมากกว่าด้านหลอด A และค่าคงที่สมดุลระดับน้ำน้อยกกว่า 1 นักเรียนสามารถทำนายได้ว่าปริมาณน้ำด้านหลอด B มีปริมาณน้อยกว่าด้านหลอด A เช่นเดียวกับค่าคงที่สมดุลเคมีที่มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าที่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์มากกว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นและเมื่อค่าคงที่สมดุลเคมีน้อยกว่า 1 หมายความว่าที่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์น้อยกว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้น แต่ค่าคงที่สมดุลระดับน้ำ (B/A) กับค่าคงที่สมดุล (K) ในปฏิกิริยาเคมีมีวิธีการได้มาที่แตกต่างกัน ค่าคงที่สมดุลเคมีได้จากผลคูณความเข้มข้นภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ในสมการที่ดุลแล้วหารด้วยผลคูณความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาทุกชนิดยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลของตัวทำปฏิกิริยานั้น ๆ ในสมการที่ดุลแล้ว และในการคำนวณค่าคงที่สมดุลจะไม่คิดสารที่อยู่ในสถานะของเหลวและของแข็ง ส่วนค่าคงที่สมดุลระดับน้ำได้มาจากอัตราส่วนปริมาณน้ำในหลอด B ต่อปริมาณน้ำในหลอด A เพราะฉะนั้นในการใช้ค่าคงที่สมดุลระดับน้ำในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบจะต้องระมัดระวังในเรื่องวิธีการได้มาซึ่งค่าคงที่สมดุลที่แตกต่างกัน

4. มโนมติเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและหลักการของเลอชาเตอลิเอ

การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารมีผลต่อภาวะสมดุล กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารชนิดใดชนิดหนึ่งในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่จะลดความเข้มข้นของสารนั้น เมื่อลดความเข้มข้นของสารชนิดใดชนิดหนึ่งในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่จะเพิ่มความเข้มข้นของสารนั้นแล้วเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง โดยมีจำนวนโมลของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ แตกต่างไปจากภาวะสมดุลเดิม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.1 การรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

4.1.1 มโนมติก่อนเรียน

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่ถามว่า *"จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้ ที่ภาวะสมดุล ถ้าเติม $Pb(NO_3)_2$ เข้าไปในระบบจะทำให้ความเข้มข้น H^+ เปลี่ยนแปลงอย่างไร ?"*

$$PbSO_4(s) + H^+(aq) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + HSO_4^-(aq)$$

คำตอบของคำถามนี้ คือ *"$Pb(NO_3)_2$ ที่เติมลงไปจะแตกตัวให้ Pb^{2+} ทำให้ Pb^{2+} มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ระบบจะปรับตัวไปทางขวาเพื่อลดความเข้มข้นของ Pb^{2+} ทำให้ H^+ มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า มีนักเรียนหนึ่งคนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์โดยตอบว่า *"เพิ่มขึ้น สารเข้าไปในระบบจะทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (S3)"* จากคำตอบแสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ $Pb(NO_3)_3$ จะส่งผลให้ความเข้มข้นของ H^+ เพิ่มขึ้น แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายว่าเพิ่มขึ้นได้อย่างไร ส่วนนักเรียนอีกหนึ่งคนอธิบายเหตุผลไม่ตรงประเด็นโดยตอบว่า *"ลดลง เพราะ $Pb(NO_3)_3$ มีปริมาตรมากกว่า H^+ (S4)"* นักเรียนเข้าใจว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ $Pb(NO_3)_3$ ทำให้มีความเข้มข้นมากกว่า H^+ แต่คำถามข้อนี้ไม่ได้ถามว่าความเข้มข้นของ H^+ มากกว่าหรือน้อยกว่า $Pb(NO_3)_3$ แต่อย่างใด ส่วนนักเรียน 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม

4.1.2 มโนมติระหว่างเรียน

การจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น เริ่มต้นด้วยกิจกรรมการทดลอง เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับภาวะสมดุล หลังกิจกรรมการทดลอง ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยครูนำเสนอสมการเคมี และใช้คำถามนำการอภิปรายดังนี้

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons [FeSCN]^{2+}(aq)$$

สีเหลือง ไม่มีสี สีแดง

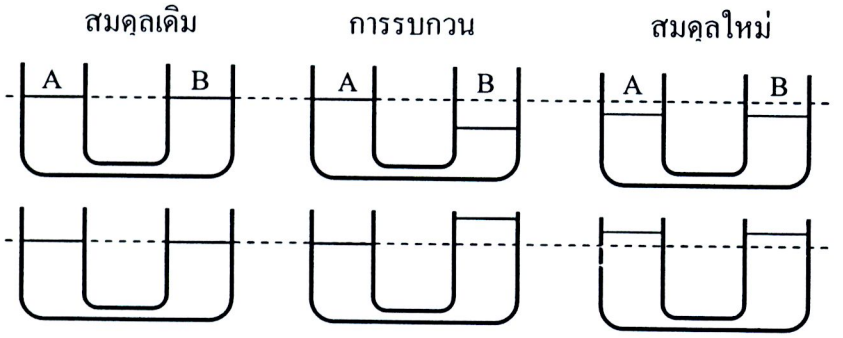
ครู: จากผลการทดลอง เมื่อเติม $Fe(NO_3)_3$ ลงในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะอะไร

นักเรียน: สีเหลืองเข้มกว่าเดิม

ครู: เมื่อระบบปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้ง นักเรียนคิดว่าจะมีสารใดเพิ่มบาง และมีสารใดลงไปบ้างเมื่อเทียบกับสมดุลเดิม

นักเรียน: Fe^{3+} และ SCN^- ลดลง $[FeSCN]^{2+}$ เพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่านักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับปริมาณของ Fe^{3+}ว่า เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่จะมีความเข้มข้นมากกว่าสมดุลเดิม ดังนั้นครูจึงได้นำเสนอมโนมติที่นำมาเปรียบเทียบคือ การปรับตัวของภาวะสมดุลระดับน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 11 แสดงการปรับตัวของภาวะสมดุลระดับน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำ

ตารางที่ 13 แสดงรายละเอียดการปรับตัวของภาวะสมดุลระดับน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำ และการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

การปรับตัวของภาวะสมดุลระดับน้ำ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำ	**การปรับตัวของภาวะสมดุล เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น**
เมื่อรบกวนสมดุลระดับน้ำ โดยการดูดน้ำด้าน B ออก น้ำด้าน A จะถ่ายเทไปยังด้าน B จนระดับน้ำทั้งสองด้านเท่ากัน ที่สมดุลใหม่จะมีระดับน้ำต่ำกว่าที่สมดุลเดิม แต่ถ้ารบกวนสมดุลระดับน้ำโดยการเติมน้ำด้าน B น้ำจะถ่ายเทไปด้าน A จนระดับน้ำทั้งสองด้านเท่ากัน ที่สมดุลใหม่จะมีระดับน้ำสูงกว่าสมดุลเดิม	การรบกวนภาวะสมดุลโดยการลดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ ระบบจะปรับตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเพื่อลดผลของการรบกวนนั้น เมื่อเข้าสู่สมดุลใหม่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่อเทียบกับสมดุลเดิม แต่ถ้ารบกวนระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลโดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ระบบจะปรับตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพื่อลดผลของการรบกวนนั้น ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่สมดุลใหม่จะมากกว่าที่สมดุลเดิม

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างการรบกวนสมดุลระดับน้ำ และการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

การรบกวนภาวะสมดุลระดับน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ	**เปรียบเทียบ**	**การรบกวนภาวะสมดุลโดย การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น**
หลอด A	ความคล้ายคลึง	สารตั้งต้น
หลอด B	ความคล้ายคลึง	สารผลิตภัณฑ์
ปริมาตรน้ำในหลอด A	ความคล้ายคลึง	ความเข้มข้นของสารตั้งต้น
ปริมาตรน้ำในหลอด B	ความคล้ายคลึง	ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์
เติมน้ำที่หลอด A	ความคล้ายคลึง	เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น
ดูดน้ำออกจากหลอด A	ความคล้ายคลึง	ลดความเข้มข้นของสารตั้งต้น
เติมน้ำที่หลอด B	ความคล้ายคลึง	เพิ่มความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์
ดูดน้ำออกจากหลอด B	ความคล้ายคลึง	ลดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์
น้ำถ่ายเทจากหลอด A ไป B	ความคล้ายคลึง	เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า
น้ำถ่ายเทจากหลอด B ไป A	ความคล้ายคลึง	เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ
ไม่เป็นสมดุลไดนามิก	ความแตกต่าง	เป็นสมดุลไดนามิก

โดยระหว่างที่ครูนำเสนอการปรับตัวของภาวะสมดุลระดับน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำ ครูใช้คำถามดังนี้

ครู: ถ้ารบกวนระบบโดยการลดปริมาณน้ำด้าน B ระบบจะปรับตัวอย่างไร

นักเรียน: น้ำจะไหลจากด้าน A ไปด้าน B

ครู: เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง ปริมาณน้ำด้าน A และ B เป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับสมดุลเดิม

นักเรียน: ปริมาณน้ำด้าน A และ B น้อยกว่าเดิม

ครู: ถ้ารบกวนระบบโดยการเพิ่มปริมาณน้ำด้าน B ระบบจะปรับตัวอย่างไร

นักเรียน: น้ำจะไหลจากด้าน B ไปด้าน A

ครู: เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง ปริมาณน้ำด้าน A และ B เป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับสมดุลเดิม

นักเรียน: ปริมาณน้ำด้าน A และ B มากกว่าเดิม

จากนั้นครูได้เชื่อมโยงการปรับตัวของของสมดุลระดับน้ำเปลี่ยนแปลงระดับน้ำกับการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น แล้วกลับไปถามนักเรียนเกี่ยวกับผลการทดลองอีกครั้ง โดยครูใช้คำถามดังต่อไปนี้

ครู: จากผลการทดลอง เมื่อเติม $Fe(NO_3)_3$ ลงในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

นักเรียน: ระบบจะปรับตัวไปทางขวาเพื่อลด Fe^{3+}

ครู: เมื่อระบบปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้ง นักเรียนคิดว่าจะมีสารใดเพิ่มบาง และมีสารใดลงไปบ้างเมื่อเทียบกับสมดุลเดิม

นักเรียน: SCN^- ลดลง Fe^{3+} และ $[FeSCN]^{2+}$ เพิ่มขึ้น

ครู: ถ้าเติม SCN^- ลงในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

นักเรียน: ระบบจะปรับตัวไปทางขวาเพื่อลด SCN^-

ครู: เมื่อระบบปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้ง นักเรียนคิดว่าจะมีสารใดเพิ่มบาง และมีสารใดลดลงไปบ้างเมื่อเทียบกับสมดุลเดิม

นักเรียน: Fe^{3+} ลดลง SCN^- และ $[FeSCN]^{2+}$ เพิ่มขึ้น

สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างกับนักเรียนที่มีคำตอบที่น่าสนใจบางคนหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบในมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ดังนี้

ครู: จากสมการต่อไปนี้ ถ้าครูเพิ่มความเข้มข้นของสาร D ระบบจะปรับตัวอย่างไร

$$A(aq) + B(aq) \rightleftharpoons C(aq) + D(aq)$$

S6: ระบบปรับไปทางซ้าย

ครู: ที่สมดุลใหม่สารใดบ้างที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นสารใดมีความเข้มข้นลดลง

S6: สาร A B D เพิ่ม สาร C ลด

จะเห็นได้ว่าผลจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างหลังเรียนยืนยันว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกลับมโนมติทางวิทยาศาสตร์

4.1.3 มโนมติหลังเรียน

หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่า มีนักเรียน 1 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยตอบว่า *"เพิ่มขึ้น เพราะ Pb^{2+} เพิ่มขึ้นทำให้เลื่อนไปทางซ้ายทำให้ H^+ สูงขึ้น (S4)"* นักเรียนเข้าใจว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Pb^{2+} เข้าไปในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลระบบจะปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้นของ Pb^{2+} โดยการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้ความเข้มข้นของ H^+ เพิ่มขึ้น มีนักเรียน 2 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน นักเรียนคนแรกตอบว่า*"เพิ่มขึ้น เพราะระบบจะปรับตัวไปทางทิศทางที่น้อยกว่าเพื่อทำให้เกิดความสมดุล (S1)"* นักเรียนเข้าใจว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลระบบจะปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้น ซึ่งสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ แต่การที่นักเรียนอธิบายว่าระบบจะปรับตัวไปทางทิศที่น้อยกว่าเพื่อทำให้เกิดความสมดุลไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่ว่าเมื่อรบกวนภาวะสมดุลโดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารระบบจะปรับตัวไปในทิศทางลดความเข้มข้นของสารที่เพิ่มลงไป แต่ไม่ได้หมายความว่าระบบจะต้องปรับตัวจากด้านที่มีความเข้มข้นมากไปยังด้านที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ส่วนนักเรียนคนที่สองตอบว่า *"ลดลง เพื่อปรับสู่ภาวะสมดุล (S8)"* นักเรียนเข้าใจว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ระบบจะปรับตัวเพื่อเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ แต่การที่นักเรียนตอบว่าความเข้มข้นของ H^+ ลดลงไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้น $Pb(NO_3)_3$ ระบบจะปรับตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพื่อลดความเข้มข้นของ Pb^{2+} ทำให้ความเข้มข้นของ H^+ เพิ่มขึ้น มีนักเรียน 4 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"คงที่ เพราะความเข้มข้นไม่มีผลอะไรต่อการเปลี่ยนแปลง (S5)" "คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (S7)" "คงที่ สารละลายเท่ากัน (S10)" "คงที่ เพราะปฏิกิริยาเคมีไม่เปลี่ยนแปลง (S11)"* นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าเมื่อระบบอยู่ในภาวะสมดุลจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจไม่เข้าใจมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะเป็นสมดุลไดนามิก นักเรียนอาจเข้าใจว่าเมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น และการรบกวนความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ในระบบที่เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจะไม่มีผลต่อภาวะสมดุล มีนักเรียน 4 คน อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"เพิ่มขึ้น เพราะแต่สารแต่ละชนิด (S2)" "เพิ่มขึ้น ถ้าปริมาณภาวะสมดุลเพิ่มขึ้นคลายความร้อนเกิดความเข้มข้น (S3)" "ลดลง ความเข้มมากกว่าเดิม (S6)" "ลดลง ถ้าเพิ่ม $Pb(NO_3)_3$ จะทำให้ลดลง (S9)"*

4.1.4 ความเหมาะสมของมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

การรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้นของสารนั้น และถ้าลดความเข้มข้นของสารในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร ซึ่งเป็นไปตามหลักการของเลอชาเตอลิเอ การปรับตัวของระบบสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารละลาย แต่เมื่อระบบปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้ง แต่ไม่สามารถสังเกตได้ว่า ณ ภาวะสมดุลใหม่ สารที่ถูกเพิ่มความเข้มข้นหรือลดความเข้มมีความเข้มข้นมากหรือขึ้นหรือน้อยลงเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสมดุลเดิม มโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคือการรบกวนภาวะสมดุลระดับน้ำในหอลด A และหลอด B นักเรียนจะสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนว่าระบบเกิดการปรับตัวไปในทิศทางใด และเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่มีปริมาตรมากกว่าหรือน้อยกว่าสมดุลเดิม แต่จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบก็พบว่านักเรียนเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนในกรณีที่มีสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชนิดอยู่ในระบบ นักเรียนจะไม่สามารถคาดคะเนได้ว่าสารที่ไม่ได้ถูกลดหรือเพิ่มความเข้มข้น เมื่อเข้าสู่สมดุลใหม่จะมีความเข้มข้นมากกว่าหรือน้อยกว่าสมดุลเดิม เพราะฉะนั้นจะต้องระมัดระวังในการใช้การปรับตัวของภาวะสมดุลระดับน้ำมาใช้ในการเปรียบเทียบ

4.2 การรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน

การเปลี่ยนความดันมีผลต่อภาวะสมดุลของระบบที่เป็นแก๊ส ซึ่งมีจำนวนโมลรวมของแก๊สที่เป็นสารตั้งต้นไม่เท่ากับจำนวนโมลรวมของสารผลิตภัณฑ์ กล่าวคือเมื่อเพิ่มความดันให้แก่แก๊สในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่จะลดความดันคือมีจำนวนโมลลดลงแล้วเข้าสู่ภาวะสมดุล แต่ถ้าลดความดันของแก๊สในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่จะเพิ่มความดันคือมีจำนวนโมลเพิ่มขึ้น แล้วเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง

4.2.1 มโนมติก่อนเรียน

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดันที่ถามว่า *"แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนเกิดแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สามารถเขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้*

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + 11.16.kJ$$

ณ ภาวะสมดุล อุณหภูมิของระบบคงที่ ถ้าลดความดันของระบบ ความเข้มข้นของแก๊ส SO_3 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"แก๊ส SO_3 มีความเข้มข้นลดลง เพราะระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มความดัน โดยการปรับตัวไปทางซ้ายหรือไปทางโมลรวมแก๊สมากกว่า"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า มีนักเรียน 2 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า *"แก๊ส SO_3*

ลดลง ความดันทำให้ความเข้มข้นของแก๊สเกิดการเปลี่ยนแปลงลดลง (S3)" "แก๊ส SO_3 ลดลง ความดันลดความเข้มข้นน่าจะลดด้วย (S4)" นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าเมื่อความดันลดลงแล้วความเข้มข้นของสารจะลดลงตามไปด้วย ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม

4.2.2 มโนมติระหว่างเรียน

จากการสำรวจมโนมติก่อนเรียนผู้วิจัยพบว่านักเรียนยังขาดความเข้าใจในเรื่องการเปลี่ยนแปลงความดัน ดังนั้นเพื่อให้ได้สัมผัสกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรม จึงได้จัดการจัดการเรียนรู้มโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน เริ่มต้นจากครูสาธิตการทดลองการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน หลังการสาธิตการทดลองครูได้นำเสนอสมการเคมีและอภิปรายร่วมกันกับนักเรียนดังนี้

$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$$

สีน้ำตาลแดง ไม่มีสี

จากนั้นครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังนี้

ครู: การกดก้านหลอดฉีดยาเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะอะไร

นักเรียน: สีของสารจะจางลง

ครู: เมื่อดึงก้านหลอดฉีดยาขึ้นอย่างรวดเร็วจนปริมาตรของแก๊สในระบบใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้น สีของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะอะไร

นักเรียน: สีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น

จะเห็นได้ว่านักเรียนตอบคำถามในลักษณะบรรยายจากสิ่งที่สังเกตได้จากประสาทสัมผัสโดยไม่ได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงภายในที่อาจเกิดขึ้น และไม่ได้นำหลักการของเลอชาเตอลิเอมาใช้ในการอธิบายเหตุผลในการปรับตัวของระบบ ครูจึงนำมโนมติเรื่องภาวะสมดุลของลูกโป่งมาใช้ในการเปรียบเทียบกับมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน ดังนี้

ตารางที่ 15 แสดงรายละเอียดการรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่งและการรบกวนภาวะสมดุล โดยการเปลี่ยนแปลงความดัน

การรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่ง โดยการเปลี่ยนแปลงความดัน	**การรบกวนภาวะสมดุลเคมี โดยการเปลี่ยนแปลงความดัน**
เมื่อรบกวนสมดุลในลูกโป่งโดยการกดลูกโป่งอากาศในลูกโป่งจะถ่ายเทจากด้าน A ที่มีปริมาตรมากกว่าไปทางด้าน B ที่มีปริมาตรน้อยกว่า แต่เมื่อรบกวนโดยการดึงลูกโป่งให้ขยายออกอากาศจะถ่ายเทจากด้าน B ที่มีปริมาตรน้อยกว่าไปด้าน A ที่มีปริมาตรมากกว่า แต่ถ้าปริมาตรลูกโป่งด้าน A และด้าน B เท่ากันการกดและดึงลูกโป่งจะไม่มีผลเช่นเดียวกันกับการนำโลหะหรือพลาสติกมาทำให้มีรูปร่างคล้ายลูกโป่งการดึงและกดจะไม่มีผลต่อรูปทรงนี้	เมื่อรบกวนระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลโดยการเพิ่มความดัน ระบบจะปรับตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาไปทางด้านที่มีโมลรวมแก๊สน้อยเพื่อลดความดันของระบบ แต่ถ้ารบกวนระบบโดยการลดความดัน ระบบจะปรับตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาไปทางด้านที่มีมวลรวมแก๊สมากกว่าเพื่อเพิ่มความดันให้กับระบบ แต่ระบบที่มีมวลรวมแก๊สทางด้านตั้งต้นเท่ากับสารผลิตภัณฑ์ และระบบที่ไม่มีสารที่อยู่ในสถานะแก๊สการรบกวนระบบโดยการเพิ่มและลดความดันจะไม่มีผลต่อระบบ

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างการรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่งและการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน

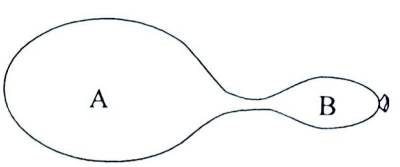
การรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่ง	**เปรียบเทียบ**	**การรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน**
ลูกโป่งด้าน A	ความคล้ายคลึง	ด้านที่มีจำนวนโมลรวมของแก๊สมากกว่า
ลูกโป่งด้าน B	ความคล้ายคลึง	ด้านที่มีจำนวนโมลรวมของแก๊สน้อยกว่า
กดลูกโป่ง หรือดึงลูกโป่ง	ความคล้ายคลึง	เพิ่มหรือลดความดันให้กับระบบ
ลูกโป่งด้าน A และด้าน B มีขนาดไม่เท่ากัน	ความคล้ายคลึง	โมลรวมแก๊สของสารตั้งต้นไม่เท่ากับสารผลิตภัณฑ์
ลูกโป่งด้าน A และด้าน B มีขนาดเท่ากัน	ความคล้ายคลึง	โมลรวมแก๊สของสารตั้งต้นเท่ากับสารผลิตภัณฑ์
รูปทรงที่ทำจากพลาสติกแข็งไม่ยืดหยุ่น	ความคล้ายคลึง	สารที่อยู่ในสถานะของเหลวหรือของแข็งจะมีปริมาตรคงที่
เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ความแตกต่าง	เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โดยระหว่างที่ครูนำเสนอการรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่งโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน โดยครูใช้คำถามดังนี้

ครู: ถ้านำถังแก๊สปริมาตรเท่ากันมา 2 ถัง แต่บรรจุแก๊สลงไปในถังปริมาณไม่เท่ากันถังแก๊สใบใดมีความดันมากกว่ากัน

นักเรียน: ถังใบที่บรรจุแก๊สปริมาณมากกว่าจะมีความดันมากกว่า

ครู: จากรูป ด้าน A และด้าน B ด้านใดมีจำนวนโมเลกุลของอากาศมากกว่ากัน



ภาพที่ 12 แสดงภาวะสมดุลของลูกโป่ง

นักเรียน: ด้าน A มีจำนวนโมเลกุลมากกว่าด้าน B

ครู: ถ้ากดลงที่ด้าน A ดังรูปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะอะไร

นักเรียน: อากาศจะไหลจากด้าน A ไปด้าน B

ครู: ถ้าดึงลูกโป่งด้าน A ให้ขยายขนาดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะอะไร

นักเรียน: อากาศจะไหลจากด้าน B ไปด้าน A

ครู: ถ้าเกิดปริมาตรของลูกโป่งด้าน A และด้าน B มีปริมาตรเท่ากัน เมื่อกดลูกโป่ง และดึงลูกโป่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

นักเรียน: ไม่มีผล เพราะมันเท่ากัน

ครู: ถ้านำพลาสติกแข็งที่ไม่ยืดหยุ่นมาขึ้นรูปให้เหมือนลูกโป่ง แล้วลองใช้มือกดหรือดึงออกดูจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

นักเรียน: ไม่มีผล เพราะมันแข็งกดไม่ลง

หลังจากกิจกรรมดังกล่าวครูเชื่อมโยงการรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่งกับมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดันดัน พร้อมทั้งเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างมโนมติ หลังจากนั้นครูและนักเรียนกลับไปอภิปรายผลการทดลองอีกของ NO_2 อีกครั้ง โดยครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังนี้

ครู: การกดก้านหลอดฉีดยาเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะอะไร

นักเรียน: ระบบจะปรับตัวไปทางด้านขวา

ครู: เพราะอะไร ทำไมต้องปรับตัวไปทางด้านขวา

นักเรียน: เพื่อลดความดันของระบบ

ครู: เมื่อดึงก้านหลอดฉีดยาขึ้นอย่างรวดเร็วจนปริมาตรของแก๊สในระบบใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้น สีของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะอะไร

นักเรียน: ระบบจะปรับตัวไปทางด้านซ้าย เพื่อเพิ่มความดันของระบบ

ครู: จากสมการเคมีสมมติต่อไปนี้ ถ้าเพิ่มความดันระบบจะปรับตัวอย่างไร

$$5A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$$

ไม่มีสี สีชมพู

นักเรียน: ปรับไปทางขวา เพราะมีจำนวนโมลน้อยกว่า

ครู: จากสมการเคมีสมมติต่อไปนี้ ถ้าเพิ่มความดันระบบจะปรับตัวอย่างไร

$$A(g) \rightleftharpoons B(g)$$

นักเรียน: ไม่ปรับ เพราะมันเท่ากัน

ครู: จากสมการเคมีสมมติต่อไปนี้ ถ้าเพิ่มความดันระบบจะปรับตัวอย่างไร

$$5A(s) \rightleftharpoons 2B(s)$$

นักเรียน: ไม่ปรับ เพราะไม่มีแก๊ส

จะเห็นได้ว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน โดยนักเรียนตระหนักถึงการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงความดันทิศทางการปรับตัวขึ้นอยู่กับโมลรวมแก๊สของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ และสถานะของสารที่อยู่ในระบบ

4.2.3 มโนมติหลังเรียน

หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจหลังเรียนโดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่า มีนักเรียนจำนวน 6 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยพบว่าลักษณะความคลาดเคลื่อนมีหลากหลาย ลักษณะความคลาดเคลื่อนแรก ได้แก่นักเรียนเข้าใจว่าการเปลี่ยนแปลงความดันไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ โดยตอบว่า *"คงที่ เพราะเราไม่ได้เพิ่มความเข้มข้นของ SO_3 (S1)"* ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจว่าการรบกวนภาวะสมดุลจะมีผลก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในระบบเท่านั้น ลักษณะความคลาดเคลื่อนกลุ่มที่สอง คือ นักเรียนเข้าใจว่า การลดความดันทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าได้ดี โดยตอบว่า *"เพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะเพิ่มไปทาง SO_3 ทำให้เพิ่มขึ้น (S8)"* ลักษณะความคลาดเคลื่อนกลุ่มที่สามนักเรียนเข้าใจว่า การลดความดันจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับ โดยตอบว่า*"ลดลง เพราะถ้าลดความดันของสารการเกิดปฏิกิริยาก็จะไม่เต็มที่ (S10)"* ส่วน ลักษณะความคลาดเคลื่อนกลุ่มที่สี่นั้นนักเรียนเข้าใจว่าการลดความดันทำให้สารมีความเข้มข้นลดลง โดยตอบว่า *"ลดลง เพราะเมื่อลดความดันของระบบความเข้มข้นของแก๊ส SO_3 จะลดลง (S5)" "ลดลง เพราะความดันของระบบลดลง (S6)"* ลักษณะความคลาดเคลื่อนสุดท้ายนักเรียนเข้าใจว่า การลดความดันจะทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยตอบว่า *"เพิ่มขึ้น เพราะลดความดันของระบบ ความเข้มข้นของแก๊สจะเพิ่มขึ้น (S11)"* มีนักเรียน 3 คน อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"ลดลง ระบบคงที่แล้ว ถ้าลดความดันจะเกิดการเปลี่ยนแปลง (S2)" "เพิ่มขึ้น สารจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นเกิดจากอุณหภูมิความดันเพิ่มขึ้นของสารที่จะมีความเข้มข้น (S3)" "ลดลง เคลื่อนไปทางขวา (S7)"* และมีนักเรียน 2 คน ตอบคำถามไม่ตรงประเด็น โดยตอบว่า

"ลดลง เพราะเป็นระบบคาย (S4)" "ลดลง ถ้าอุณหภูมิลดลงและทำให้ SO_3 เพิ่มขึ้น (S9)" ซึ่งเป็นการตอบคำถามที่ไม่ตรงประเด็นเนื่องจากคำถามข้อนี้ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่อย่างใด

4.2.4 ความเหมาะสมของมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ภาวะสมดุลเมื่อถูกรบกวนโดยการเพิ่มความดันระบบจะปรับตัวเพื่อลดความดัน แต่ถ้าภาวะสมดุลถูกรบกวนโดยการเพิ่มความดันระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มความดัน ซึ่งเป็นไปตามหลักการของเลอชาเตอลิเอ ในการปรับตัวของระบบสังเกตได้จากสีของสารที่อยู่ในระบบอาจจะเข้มขึ้นหรือจางลง แต่ทิศทางการปรับตัวของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับสีของสารที่อยู่ในระบบ แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนโมลรวมของแก๊สที่เป็นสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจำนวนโมลรวมแก๊สน้อยจะมีความดันน้อย แต่ถ้าจำนวนโมลรวมแก๊สมากจะมีความดันมากตามไปด้วย เพราะฉะนั้นมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะต้องแสดงให้เห็นว่าเพิ่มความดันหรือลดความดันระบบจะปรับตัวไปในทิศทางใด ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน มโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ การปรับตัวของภาวะสมดุลของลูกโป่งเมื่อถูกกดหรือดึงให้ยืดออก ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่นักเรียนสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ ถ้าลูกโป่งมีปริมาตรไม่เท่ากันโดยด้าน A มีปริมาตรมากกว่าด้าน B เมื่อกดลูกโป่งโมเลกุลของแก๊สที่อยู่ภายในลูกโป่งจะถ่ายเทจากด้าน A ซึ่งมีนำนวนโมเลกุลมากกว่าไปยังด้าน B ที่จำนวนโมเลกุลน้อยกว่า แต่ถ้าดึงลูกโป่งให้ยืดออกในแนวตั้งโมเลกุลของแก๊สที่อยู่ภายในลูกโป่งจะถ่ายเทจากด้าน B ซึ่งมีจำนวนโมเลกุลน้อยกว่าไปด้าน A ซึ่งมีจำนวนโมเลกุลมากกว่า แต่ถ้าปริมาตรของโลกโป่งทั้งสองด้านเท่ากันการรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่งโดยการกดหรือดึงในแนวตั้งก็จะไม่มีผล เช่นเดียวกับการนำโลหะมาทำให้มีรูปร่างเหมือนลูกโป่ง การกดหรือดึงลูกโป่งในแนวดิ่งก็จะไม่มีผลเช่นกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการปรับตัวของระบบเมื่อถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงความดันจะมีลักษณะการปรับตัวที่คล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความดันให้กับระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางโมลรวมของแก๊สน้อยกว่า แต่ถ้าลดอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปในทิศทางโมลรวมของแก๊สมากกว่า ถ้าจำนวนโมลรวมของแก๊สเท่ากันการรบกวนระบบโดยการเปลี่ยนแปลงความดันก็จะไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบเช่นเดียวกับระบบที่ไม่มีสารที่อยู่ในสถานะแก๊สการรบกวนระบบโดยการเปลี่ยนแปลงความดันก็จะไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบที่มีโมลรวมแก๊สทั้งสองด้านเท่ากันและระบบที่ไม่มีสารที่อยู่ในสถานะแก๊สการรบกวนระบบโดยการเปลี่ยนแปลงความดันจะไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ แต่สาเหตุในการเปลี่ยนแปลงของลูกโป่งแตกต่างจากสาเหตุการปรับตัวของภาวะสมดุล การปรับตัวของภาวะสมดุลของลูกโป่งเกิดจากโมเลกุลของแก๊สภายในลูกโป่งหาที่อยู่ใหม่ แต่การปรับตัวของภาวะสมดุลเป็นการปรับตัวเพื่อเพิ่มหรือลดความดัน

4.3 การรบกวนสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลเปลี่ยนแปลง กล่าวคือถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่จะลดอุณหภูมิโดยการดูดความร้อนไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแล้วเข้าสู่ภาวะสมดุล ในทางตรงกันข้ามถ้าลดอุณหภูมิของระบบ ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่จะเพิ่มอุณหภูมิโดยการคายความร้อนออกจากระบบ แล้วระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง

4.3.1 มโนมติก่อนเรียน

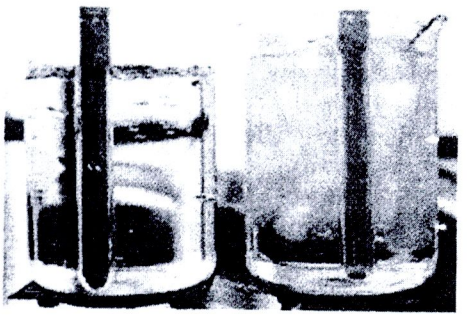
จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องการรบกวนสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ถามว่า *"ในปฏิกิริยาผันกลับได้ เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลสามารถเขียนสมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้*

$$N_2(g) + 3H_2(aq) \rightleftharpoons 2NH_3(aq) \quad \Delta H = -92.4\ kJ/mol$$

ถ้าอุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น ระบบจะปรับตัวเพื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ได้อย่างไร ?" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"ระบบจะปรับตัวไปทางซ้าย หรือปรับไปตามปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า มีนักเรียน2 คน อธิบายเหตุผลในแบบไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"ระบบปรับตัวเลื่อนไปทางขวา เพราะ N_2 มากกว่าด้านซ้าย (S4)" "เลื่อนไปทางขวา อุณหภูมิและระบบจะปรับตัวเพิ่มสู่ภาวะสมดุลจะเลื่อนไปทางขวา (S3)"* ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถเข้าใจคำตอบดังกล่าว ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม

4.3.2 มโนมติระหว่างเรียน

การจัดการเรียนรู้โดยการเปรียบเทียบเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเริ่มต้นจากการสาธิตการทดลองรบกวนระบบโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปฏิกิริยาของการสังเคราะห์แก๊สไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์ (N_2O_4) หลังจากการสาธิตการทดลองครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังนี้



(ก) (ข)

(ก) = เมื่อนำหลอดบรรจุแก๊สผสมที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิห้อง มาจุ่มในน้ำร้อน

(ข) = เมื่อนำหลอดบรรจุแก๊สผสมที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิห้อง มาจุ่มในน้ำเย็น

ภาพที่ 13 ผลการทดลองจุ่มหลอดทดลองการสังเคราะห์แก๊สไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์ในน้ำร้อนและในน้ำเย็น

ที่มา : พินิติ รตะนานุกูล (2549)

$$2NO_2(g) \underset{\text{ดูด}}{\overset{\text{คาย}}{\rightleftharpoons}} N_2O_4(g)$$

สีน้ำตาลแดง ไม่มีสี

ครู: เมื่อนำหลอดทดลองไปจุ่มลงในน้ำร้อน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

นักเรียน: สีของสารละลายเข้มขึ้น

ครู: เพราะอะไร ทำไมสีของสารละลายต้องเข้มขึ้น

นักเรียน: ระบบปรับลดอุณหภูมิทำให้สีจางลง

ครู: เมื่อนำหลอดทดลองไปจุ่มลงในน้ำเย็น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

นักเรียน: สีของสารละลายจางลง เพราะระบบปรับเพิ่มอุณหภูมิ

ครู: สมการเคมีสมมติต่อไปนี้ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

$$A(g)\ (\text{ไม่มีสี}) \rightleftharpoons B(g)\ (\text{สีชมพู}) + \text{พลังงาน}$$

นักเรียน: สีชมพูเข้มขึ้น

จากสมการเคมีสมมติจะเห็นได้ว่าคำตอบของนักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยนักเรียนตอบว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางขวา โดยที่นักเรียนไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงแบบดูดหรือคายความร้อน ครูจึงนำเสนอการรบกวนภาวะสมดุลระหว่างสถานะโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 17 แสดงรายละเอียดการรบกวนภาวะสมดุลระหว่างสถานะและการรบกวนภาวะสมดุลเคมีโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ	ภาวะสมดุลเคมี
สมดุลระหว่างสถานะของเหลวและไอ เมื่อรบกวนระบบโดยการเพิ่มอุณหภูมิ ระบบจะปรับตัวโดยการระเหย (การเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน) กลายเป็นไอเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ ถ้ารบกวนระบบโดยการลดอุณหภูมิ ระบบจะปรับตัวโดยการควบแน่น (การเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน) เป็นน้ำเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบ	เมื่อระบบกวนระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลโดยการเพิ่มอุณหภูมิ ระบบจะปรับตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ ถ้ารบกวนระบบโดยการลดความดันระบบจะปรับตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาแบบคายความร้อนเพื่อลดเพิ่มอุณหภูมิของระบบ

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างการรบกวนสมดุลระหว่างสถานะโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการรบกวนสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การรบกวนสมดุลระหว่างสถานะโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	การเปรียบเทียบ	การรบกวนสมดุลเคมีโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
น้ำ	ความคล้ายคลึง	สารตั้งต้น
ไอน้ำ	ความคล้ายคลึง	สารผลิตภัณฑ์
การระเหย	ความคล้ายคลึง	ปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน
การควบแน่น	ความคล้ายคลึง	ปฏิกิริยาแบบคายความร้อน
การเพิ่มอุณหภูมิทำให้น้ำระเหยมากขึ้น	ความคล้ายคลึง	การเพิ่มอุณหภูมิ ระบบจะปรับตัวไปทางปฏิกิริยาดูดความร้อน
การลดอุณหภูมิทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นน้ำมากขึ้น	ความคล้ายคลึง	การลดอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางปฏิกิริยาคายความร้อน
เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ความแตกต่าง	เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โดยระหว่างที่ครูนำเสนอการรบกวนสมดุลระหว่างสถานะโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ครูใช้คำถามดังนี้

ครู: เมื่ออากาศเย็น คนเราจะปรับตัวอย่างไร
นักเรียน: ห่มผ้า ใส่เสื้อกันหนาว
ครู: ฤดูร้อนละ คนเราจะปรับตัวอย่างไร
นักเรียน: เปิดพัดลม อาบน้ำ
ครู: อ้าว แล้วทำไมอากาศเย็นเราไม่เปิดพัดลม
นักเรียน: มันก็ยิ่งหนาวซิ

จากนั้นครูเชื่อมโยงการปรับตัวของมนุษย์เปรียบเทียบกับการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับภาวะสมดุล ระบบจะปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิ แต่ถ้าลดอุณหภูมิระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังนี้

ครู: การระเหยเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดหรือคายความร้อน
นักเรียน: ดูดความร้อน
ครู: การควบแนน เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบใด
นักเรียน: คายความร้อน
ครู: ถ้านักเรียนต้องการให้น้ำในหลอดทดลองลดลงนักเรียนจะทำอย่างไร
นักเรียน: เพิ่มอุณหภูมิ น้ำจะระเหยได้มากขึ้น
ครู: แต่ถ้านักเรียนต้องการให้น้ำในหลอดทดลองเพิ่มขึ้นนักเรียนจะทำอย่างไร
นักเรียน: ลดอุณหภูมิ เพราะการระเหยจะลดลง
ครู: เมื่อเพิ่มอุณหภูมิระบบปรับตัวโดยการระเหย แสดงว่าการระเหยแล้วทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงใช่หรือไม่
นักเรียน: ใช่ครับ/ค่ะ
ครู: แต่ถ้าเราลดอุณหภูมิระบบปรัวตัวโดยการควบแน่น แสดงว่าการควบแน่นแล้วทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นใช่หรือไม่
นักเรียน: ใช่ครับ/ค่ะ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

หลังจากนั้นครูได้อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนจะทำให้อุณหภูมิลดลง การเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และเชื่อมโยงการปรับตัวของภาวะสมดุลระหว่างสถานะกับการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแบ่งอุณหภูมิ พร้อมทั้งเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างการรบกวนภาวะสมดุลระหว่างสถานะกับการรบกวนภาวะสมดุลเคมีโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ครูยกตัวอย่างการรบกวนภาวะสมดุลเคมี ของปฏิกิริยาสมมติและร่วมอภิปรายกับนักเรียน โดยครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังนี้

$$A(g) \rightleftharpoons B(g) + \text{พลังงาน}$$

ไม่มีสี สีชมพู

ครู: จากปฏิกิริยาเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดหรือคายความร้อน

นักเรียน: คายความร้อน

ครู: ถ้าเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวอย่างไร

นักเรียน: ปรับไปทางขวา เพื่อลดอุณหภูมิ

ครู: ถ้าลดอุณหภูมิ ระบบจะปรับตัวอย่างไร

นักเรียน: ปรับไปทางซ้าย เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ

ครู: ถ้าครูต้องการให้สาร A เพิ่มขึ้น ครูจะเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ

นักเรียน: เพิ่มอุณหภูมิ

แต่ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบในมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จากนักเรียนบางคนพบว่านักเรียนไม่มีมโนมติเกี่ยวกับหลักการปรับตัวของเลอชาเตอลิเอเลยรวมทั้งมีมโนมติคลาดเคลื่อนในเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและแบบคายความร้อน

ครู: ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลถ้ารบกวนระบบโดยการเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวอย่างไร

S11: (นักเรียนไม่ตอบคำถาม)

ครู: นักเรียนจำหลักการของเลอชาเตอลิเอได้ไหม

S11: ไม่ได้ครับ

(ครูอธิบายหลักการของเลอชาเตอลิเอ พร้อมทั้งยกตัวอย่างสมการเคมีดังนี้)

$$A(g) \rightleftharpoons B(g) + \text{พลังงาน}$$

ครู: การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดหรือคายพลัง

S11: ดูดครับ

(ครูอธิบายเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและคายพลังงาน)

ครู: ถ้าเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปตามดูดหรือคาย

S11: คายครับ

จะเห็นได้ว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องการรบกวนระบบโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ นักเรียนตระหนักถึงทิศทางการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดหรือคายความร้อน ถ้ารบกวนภาวะสมดุลโดยการเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ แต่ถ้ารบกวนภาวะสมดุลโดยการลดอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปตามการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ แต่จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างพบว่านักเรียนบางคนมีมโนมติคลาดเคลื่อนเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนและการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน กล่าวคือ นักเรียนไม่สามารถจำแนกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงใดเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนหรือคายความร้อน และไม่สามารถอธิบายได้ว่าหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนหรือคายความร้อนอุณหภูมิของระบบจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

4.3.3 มโนมติหลังเรียน

หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วให้นักเรียนตอบแบบสำรวจ มโนมติหลังเรียน โดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่า มีนักเรียน 2 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยตอบว่า *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางซ้าย เพราะเป็นระบบคาย (S4)"* *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางซ้าย ปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิ (S8)"* นักเรียนหล่านี้เข้าใจว่า ณ ภาวะสมดุลการรบกวนระบบโดยการเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ มีนักเรียน 1 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางซ้าย ระบบจะปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุล (S7)"* จะเห็นได้ว่านักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลว่าเพราะเหตุใดระบบจึงต้องปรับตัวไปทางซ้าย นอกจากนั้นยังมีนักเรียนหนึ่งคนที่มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน โดยตอบว่า *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางขวา เมื่ออุณหภูมิระบบเพิ่มขึ้น ระบบจะเลื่อนไปทางขวาทำให้อุณหภูมิลดลง (S9)"* จากคำตอบแสดงให้เห็นว่านักเรียน

เข้าใจว่าการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อถูกรบกวนโดยการเพิ่มอุณหภูมิว่าระบบจะปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ แต่นักเรียนระบุทิศทางการปรับตัวของระบบได้ไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนั้นมีนักเรียน 5 คน มีมโนมติคลาดเคลื่อน โดยนักเรียน 2 คน เข้าใจว่าระบบจะปรับจากมากไปน้อย ซึ่งอาจเนื่องจากนักเรียนนำการปรับตัวของสมดุลระดับน้ำมาใช้ในการอธิบายที่ว่าถ้ารบกวนภาวะสมดุลระดับน้ำ ระบบจะปรับจากด้านที่มีระดับน้ำมากกว่าไปทางด้านที่มีระดับน้ำน้อยกว่า โดยตอบว่า *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางขวา เพราะระบบจะปรับตัวไปทางที่น้อยกว่าเพื่อให้เกิดการสมดุล (S1)"* *"เลื่อนไปทางขวา เพราะปรับจากมากไปหาน้อย (S6)"* นักเรียนหนึ่งคนที่แสดงถึงมโนมติคลาดเคลื่อน โดยตอบว่า*"ภาวะสมดุลไม่เปลี่ยนแปลง เพราะมันอยู่ในภาวะสมดุล (S10)"* ที่ตอบเช่นนี้สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจว่าเมื่อระบบอยู่ในภาวะสมดุลจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจไม่เข้าใจมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะเป็นสมดุลไดนามิก นักเรียนอาจเข้าใจว่าเมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ สำหรับนักเรียนอีกกลุ่มหนึ่งที่มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนตอบว่า *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางขวา เพราะระบบจะปรับตัวเพื่อให้มีความสมดุลกัน (S5)"* *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางขวา เพราะระบบจะเกิดปฏิกิริยากัน (S11)"* โดยนักเรียนเหล่านี้เชื่อว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ระบบปรับตัวไปข้างหน้าได้ดีขึ้น นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้เนื่องมาจากนักเรียนนำมโนมติเรื่องอัตาการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาใช้ในการอธิบายทิศทางการปรับตัวของภาวะสมดุล นอกจากนั้นยังมีนักเรียนอีกหนึ่งคนที่อธิบายเหตุผลได้ไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"สมดุลปรับตัวเลื่อนไปทางซ้าย การผันกลับไปได้นั้นขึ้นอยู่สู่ภาวะสมดุลการเพิ่มจะเลื่อนไปทางซ้ายระบบคาย (S3)"*และมีนักเรียนหนึ่งคนตอบว่า *"ไม่สามารถทำนายได้ เราไม่สามารถระบุได้ว่าจะไปทางไหน (S2)"*

4.3.4 ความเหมาะสมของมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

เมื่อภาวะสมดุลถูกรบกวนโดยการเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ แต่ถ้าภาวะสมดุลถูกรบกวนโดยการลดอุณหภูมิระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของเลอชาเตอลิเอ ในการปรับตัวของระบบสังเกตได้จากสีของสารที่อยู่ในระบบอาจจะเข้มขึ้นหรือจางลง แต่ทิศทางการปรับตัวของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับสีของสารที่อยู่ในระบบ แต่ขึ้นอยู่กับว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดหรือแบบความความร้อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนจะทำให้ระบบมีอุณหภูมิลดลง และการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อนจะทำให้อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปในทิศทางใด ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มโนมติที่

ใช้ในการเปรียบเทียบคือ การปรับตัวของภาวะสมดุลระหว่างสถานะของเหลวและไอเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เพราะเป็นมโนมติที่นักเรียนสามารถทำความเข้าใจได้ และพบเห็นในชีวิตประจำวัน กล่าวคือ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิน้ำก็จะระเหยเป็นไอได้มากขึ้น ถ้าลดอุณหภูมิไอจะควบแน่นเป็นน้ำได้มากขึ้น เพื่อให้นักเรียนสังเกตว่าเมื่อลดอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ แต่ในการจัดการเรียนการสอนโดยใช้การเปรียบเทียบพบว่านักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อน หรือไม่สมบูรณ์ เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนและคายความร้อน นักเรียนบางคนไม่ทราบว่าการระเหยเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน การควบแน่นเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน และหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วอุณหภูมิของระบบจะเป็นอย่างไร ทำให้นักเรียนไม่สามารถทำนายการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อถูกรบกวนด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพราะฉะนั้น การที่จะเลือกใช้การปรับตัวของสมดุลระหว่างสถานะเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาใช้ในการเปรียบเทียบกับการรบกวนภาวะสมดุลของระบบโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะต้องแน่ใจว่านักเรียนมีมโนมติเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและแบบคายความร้อนสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์

5. มโนมติเรื่องสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

5.1 มโนมติก่อนเรียน

จากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนมติก่อนเรียนเรื่องสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่ถามว่า *"จากปฏิกิริยาที่อยู่ในภาวะสมดุลต่อไปนี้*

$$N_2(g) + O_2(g) + \text{พลังงาน} \rightleftharpoons 2NO(g)$$

ถ้าต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์มากจะต้องเลือกภาวะของระบบอย่างไร?" คำตอบของคำถามนี้ คือ *"เพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้น เพราะระบบจะปรับตัวไปทางขวาเพื่อลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้นทำให้สารผลิตภัณฑ์มากขึ้น"* จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนพบว่า มีนักเรียนหนึ่งคนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยตอบว่า *"เพิ่มอุณหภูมิเพราะการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเพราะเพิ่มสารตั้งต้น (S4)"* จากคำอธิบายแสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจว่าการเพิ่มอุณหภูมิและการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลว่าสารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นได้อย่างไร ขณะที่นักเรียนหนึ่งคน อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"เพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้น ผลิตภัณฑ์มากภาวะของระบบเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น (S3)"* ส่วนนักเรียนอีก 9 คน ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการเลือกตอบ

5.2 มโนมติระหว่างเรียน

การจัดการเรียนรู้มโนมติเรื่องสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม เริ่มต้นจากการนำเสนอสมการการผลิตแก๊สแอมโมเนียในโรงงานอุตสาหกรรม พร้อมด้วยกราฟแสดงร้อยละของจำนวนโมลของ NH_3 ในแก๊สผสม ที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ

$$N_2(g) + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3(g) + 92kJ$$

ครูและนักเรียนร่วมกันอธิบายเกี่ยวกับการผลิตแก๊สแอมโมเนีย โดยครูใช้คำถามนำการอภิปรายดังนี้

ครู: ที่อุณหภูมิต่ำปริมาณสารผลิตภัณฑ์เป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิสูง

นักเรียน: อุณหภูมิต่ำผลิตภัณฑ์มากกว่าอุณหภูมิสูง

ครู: ปฏิกิริยาการเตรียมแอมโมเนียเป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อน นักเรียน ทราบได้อย่างไร

นักเรียน: คายความร้อน เพราะอุณหภูมิต่ำเกิดได้ดี

ครู: ถ้าต้องการเตรียมแก๊สแอมโมเนียให้ได้ปริมาณมาก ควรเตรียมในสภาวะแบบใด เพราะอะไร

นักเรียน: ความดัน 400 อุณหภูมิ 200 °C

จากนั้นนักเรียนแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 3-4 คน แต่ละกลุ่มจะได้รับสมการเคมีที่แตกต่างกันและให้นักเรียนแต่ละกลุ่มวางแผนการผลิตให้ได้ปริมาณสารผลิตภัณฑ์มากที่สุดโดยใช้หลักการของเลอชาเตอลิเอมาประยุกต์ใช้ ตัวอย่าง เช่น

นักเรียนกลุ่มที่ 1 ได้รับสมการการเตรียมแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมกรดซัลฟิวริก โดยให้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน ดังสมการ

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + \text{พลังงาน}$$

นักเรียนกลุ่มที่ 1 ตอบว่า ลดอุณหภูมิ และเพิ่มความดัน

นักเรียนกลุ่มที่ 2 ได้รับสมการการเตรียมแก๊สฟอสจีนเริ่มต้นจากปฏิกิริยาระหว่างแก๊ส Cl_2 กับแก๊ส CO เขียนสมการปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$CO(g) + Cl_2(g) + \text{พลังงาน} \rightleftharpoons COCl_2(g)$$

นักเรียนกลุ่มที่ 2 ตอบว่า เพิ่มอุณหภูมิ และเพิ่มความดัน

นักเรียนกลุ่มที่ 3 ได้รับสมการการผลิตปูนดิบ แคลเซียมออกไซด์หรือปูนดิบ เป็นของแข็งสีขาวที่มีจุดหลอมเหลว 2572 °C กรรมวิธีผลิตปูนดิบที่มีมาแต่โบราณทำโดยการเผาหินปูนเปลือกหอย ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น $CaCO_3$ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$$

นักเรียนกลุ่มที่ 3 ตอบว่า ลดอุณหภูมิ และลดความดัน

จากการตอบคำถามของนักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม พบว่านักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถามแต่อย่างใด นักเรียนไม่ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและแบบคายความร้อนกับการปรับตัวของระบบ เช่นดียวกับการเปลี่นแปลงความดันนักเรียนไม่ได้นำโมลรวมแก๊สมาใช้ในการพิจารณาเช่นกัน จากการสอบถามนักเรียนกลุ่มที่ 1 เพิ่มเติม พบว่า นักเรียนช่วยกันอธิบายว่าเมื่อลดอุณหภูมิระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ เพิ่มความดันระบบจะปรับตัวเพื่อลดความดันทำให้สารผลิตภัณฑ์มากขึ้น แสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจมโนมติเรื่องหลักการของเลอชาเตอลิเอ แต่นักเรียนไม่ได้นำมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลมาใช้ในการอธิบายแต่อย่างใด

5.3 มโนมติหลังเรียน

หลังการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนตอบแบบสำรวจมโนมติหลังเรียน โดยใช้ข้อคำถามเดียวกันกับการสำรวจมโนมติก่อนเรียน จากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่า มีนักเรียน 5 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยนักเรียนหนึ่งคนเข้าใจว่า หากเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับไปทางปฏิกิริยาดูดความร้อน โดยตอบว่า *"เพิ่มอุณหภูมิ เพราะเป็นระบบดูด (S4)"* แสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจว่าการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเพิ่มความร้อนระบบจะปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผลว่าเพราะเหตุใดระบบจึงปรับตัวทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน นอกจากนั้นยังพบว่านักเรียนอีก 3 คน ก็มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เช่นกันโดยนักเรียนเข้าใจว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยตอบว่า *"เพิ่มอุณหภูมิ มีพลังงานเข้ามา (S10)"* *"เพิ่มอุณหภูมิ ต้องเพิ่มอุณหภูมิเพื่อใช้ทำปฏิกิริยากัน (S11)"* *"เพิ่มอุณหภูมิ ให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงและทำให้เกิดปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุล (S7)"* จะเห็นได้ว่านักเรียนไม่ได้อธิบายเกี่ยวกับการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และนักเรียนอีก 2 คน ก็มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์โดยเข้าใจว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะเกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยตอบว่า *"เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น เพราะถ้าเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารตั้งต้นจะทำให้สาผลิตภัณฑ์มาก (S6)"* *"เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น เพื่อให้สารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (S8)"* นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่นักเรียนไม่ได้อธิบายเกี่ยวกับการปรับตัวของภาวะสมดุลเมื่อเพิ่มความเข้มข้น

นอกจากนั้นพบว่ามีนักเรียน 3 คน ที่มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน โดยนักเรียน 2 คน เข้าใจว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นและการเพิ่มอุณหภูมิทำให้สารผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยตอบว่า *"เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นและเพิ่มอุณหภูมิของระบบ เพิ่มปฏิกิริยาไปหาคาย (S1)"* *"เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นและเพิ่มอุณหภูมิของระบบ เพราะว่าถ้าเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของสารตั้งต้นและเพิ่มอุณหภูมิของระบบจะมีความคงที่ (S9)"* นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าการเพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่การอธิบายเหตุผลของนักเรียนคนแรกไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่ว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิภาวะสมดุลจะปรับตัวไปตามการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน ส่วนนักเรียนคนที่ 2 ตอบว่า ระบบจะมีความคงที่ ซึ่งไม่สอดคล้องกับ มโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่ว่า ณ ภาวะสมดุลเมื่อรบกวนระบบโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น หรืออุณหภูมิระบบจะปรับตัวเพื่อลดผลของการรบกวนนั้น และพบว่ามีนักเรียนอีกหนึ่งคนก็มีคำอธิบายที่แสดงถึงการมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน โดยตอบว่า *"เพิ่มอุณหภูมิเพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิแล้วจะทำให้ระบบคายพลังงานมากขึ้น (S5)"* แสดงให้เห็นว่านักเรียนเชื่อว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่การอธิบายเหตุผลของนักเรียนไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่ว่า ณ ภาวะสมดุลเมื่อเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ ส่วนนักเรียนอีกหนึ่งคน มีมโนมติคลาดเคลื่อนอย่างชัดเจน โดยตอบว่า *"เพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาให้นานขึ้น เราต้องเพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (S2)"* คำอธิบายดังกล่าวแสดงถึงความเข้าใจที่ว่าการเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาให้นานขึ้นจะเกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ การเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะไม่ทำให้สารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และมีนักเรียนหนึ่งคนอธิบายเหตุผลที่ไม่สื่อความหมาย โดยตอบว่า *"เพิ่มอุณหภูมิ ระบบคายเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิจะคายออกมาเป็นระบบคายของสารผลิตภัณฑ์เป็นการเพิ่มอุณหภูมิ (S3)"*

6. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่านักเรียนทุกคนมีมโนมติก่อนเรียนอยู่ในประเภทไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์โดยพบว่านักเรียนส่วนมากไม่ได้อธิบายเหตุผลในการเลือกคำตอบ โดยมีนักเรียนบางคนที่อธิบายเหตุผลในลักษณะทวนคำถามหรือไม่สื่อความหมาย ซึ่งอาจเนื่องมาจากผู้เรียนไม่คุ้นเคยกับการเขียนตอบหรือการอธิบายความเข้าใจของตนเอง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการสำรวจมโนมติที่หลากหลายเพื่อล้วงลึกถึงความเข้าใจที่แท้จริงของผู้เรียน (Gunstone, 1993) โดยใน

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการสำรวจมโนมติที่หลากหลาย ได้แก่ การทดสอบ การสัมภาษณ์ การวิเคราะห์ชิ้นงานและการสังเกตกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อมุ่งทำความเข้าใจถึงความเข้าใจที่แท้จริงของผู้เรียนเกี่ยวกับมโนมติเรื่องสมดุลเคมี

เนื่องจากมโนมติเรื่องสมดุลเคมีเป็นมโนมติที่ค่อนข้างยากและเป็นนามธรรม (Johnstone et al., 1977 อ้างถึงใน Raviolo & Garritz, 2008) การที่จะทำความเข้าใจมโนมติเหล่านี้นักเรียนจำเป็นต้องใช้จินตนาการเพื่อให้เข้าใจปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้นักเรียนส่วนหนึ่งเลือกที่จะเรียนโดยการท่องจำแทนการทำความเข้าใจ (เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ, 2550) เพื่อแก้ไขปัญหาในจุดนี้ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้วิธีการเปรียบเทียบ (analogy) ตามแนวทาง Focus Action Reflection Guide (FAR Guide) ในการจัดการเรียนรู้เรื่องสมดุลเคมี โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยทำให้นักเรียนเข้าใจมโนมติที่ซับซ้อน หรือที่เป็นนามธรรม ช่วยให้ผู้เรียนสร้างสรรค์ความรู้ใหม่โดยอยู่บนพื้นฐานของความรู้เดิม สร้างสรรค์ความคิด และใช้เป็นเครื่องมือสื่อสารมโนมติกับบุคคลอื่น (Duit, 1991) จากการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าวิธีการเปรียบเทียบ (analogy) ตามแนวทาง Focus Action Reflection (FAR Guide) มีประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้เรื่องสมดุลเคมี โดยในส่วนของ Focus มีส่วนช่วยในการวิเคราะห์และคัดเลือกเนื้อหา ที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ ช่วยวิเคราะห์ความรู้เดิมของนักเรียน และช่วยในการวิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและประสบการณ์ของนักเรียนเพื่อเลือกมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (analog) ให้มีความเหมาะสมกับนักเรียนและเหมาะสมกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (target) ส่วน Action ช่วยให้มองเห็นว่ามโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ (analog) กับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (target) มีส่วนที่คล้ายคลึงกัน (likes) และแตกต่างกัน (unlikes) อย่างไร เพื่อลดความผิดพลาดในการเปรียบเทียบที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ข้อมูลที่ได้จากส่วน Focus และส่วน Action จะนำมาวางแผนและเขียนแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ ในส่วนของ Reflection ช่วยสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบว่ามีข้อดีและข้อเสียอย่างไร ถ้าจะนำวิธีการเปรียบเทียบมาใช้อีกครั้งจะต้องมีการปรับปรุงและแก้ไขอย่างไร เพื่อให้การจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ซึ่งจากการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนพบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นในบางมโนมติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Treagust et al. (1996) ที่ศึกษาเรื่องการใช้วิธีการเปรียบเทียบเพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องการหักเหของแสง จากการศึกษาพบว่าวิธีการเปรียบเทียบที่นำมาใช้ประสบผลสำเร็จในการช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องการหักเหของแสงได้

แต่จากผลการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนยังพบอีกว่านักเรียนยังมีมโนมติคลาดเคลื่อนในทุกมโนมติย่อยเกี่ยวกับสมดุลเคมี สอดคล้องกับผลการสำรวจมโนมติเรื่องสมดุลเคมีของเยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่พบว่า นักเรียนมีมโนมติเรื่องสมดุลเคมีที่หลากหลายและพบมโนมติคลาดเคลื่อนในทุกมโนมติย่อย ผู้วิจัยจะอภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติแยกตามมโนมติย่อยดังต่อไปนี้

6.1 อภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องภาวะสมดุล

มโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมโนมตินี้ คือ สภาวะสมดุลในบ่อน้ำพุ จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียน ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องภาวะสมดุล

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ มีลักษณะเป็นสมดุลไดนามิก	-	S5, S8
PU	อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เพราะระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล	-	S1, S4, S7
PU&MU	-	-	-
MU	-	-	-
NU	อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	S3, S4	S3, S10
	ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการเลือกคำตอบ	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-
	การอธิบายเหตุผลไม่ตรงประเด็น	-	S6, S9, S11
	ไม่สามารถทำนายได้	-	S2

จากข้อมูลในตารางที่ 19 พบว่า อัตราการตอบคำถามหลังเรียนโดยการอธิบายเหตุผลเพิ่มมากขึ้นจากก่อนเรียนซึ่งอาจเนื่องจากผู้เรียนได้ถูกฝึกให้ทำกิจกรรมและอธิบายความเข้าใจของตนเอง ด้วยวิธีการที่หลากหลายทั้งการอภิปรายร่วมกันภายในห้องเรียน การตอบคำถามในใบกิจกรรม รวมทั้งการตอบคำถามจากการสัมภาษณ์ จนทำให้ผู้เรียนสามารถสื่อสารความเข้าใจตนเองได้ดีมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังคงมีนักเรียนอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย (2 คน) อธิบายเหตุผลไม่ตรงประเด็น (3 คน) และตอบว่าไม่สามารถทำนายได้ (1 คน) เมื่อพิจารณาประเภทของมโนมติพบว่า นักเรียนบางส่วน (3 คน จาก 11 คน) อภิปรายได้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่ไม่ได้ระบุว่าภาวะสมดุลดังกล่าวเป็นลักษณะของสมดุลไดนามิก ปัญหาดังกล่าวเนื่องมาจากผู้เรียนไม่ได้ใส่ใจหรือตระหนักว่า คำจำกัดความของสมดุลประเภทดังกล่าวเรียกว่าอะไร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lemke (1990 อ้างถึงใน ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง, 2551) ที่กล่าวว่า ภาษาวิทยาศาสตร์เป็นเหมือนภาษาต่างประเทศสำหรับนักเรียน ดังนั้นหากนักเรียนไม่ตระหนักในภาษาวิทยาศาสตร์ที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ แล้ว จะเป็นการยากที่นักเรียนจะอ้างอิงภาษาดังกล่าวไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้มีนักเรียนตอบคำถามไม่ตรงประเด็น (3 คน) โดยนักเรียนนำมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลและหลักการของเลอชาเตอลิเอมาใช้ในการตอบคำถาม ปัญหาดังกล่าวเกิดเนื่องจากนักเรียนอาจไม่เข้าใจคำถาม หรือคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในคำถาม นักเรียนจึงไม่สามารถเลือกมโนมติมาตอบให้เหมาะสมกับคำถาม สอดคล้องกับ Eilkes (2003) ที่พบว่า นักเรียนนั้นมีพื้นฐานแตกต่างจากนักวิทยาศาสตร์หรือผู้เชี่ยวชาญ ในบางครั้งจึงอาจไม่เข้าใจหรือเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์หรือผู้เชี่ยวชาญนำเสนอ จึงอาจกล่าวได้ว่าภาษาทางวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์หรือผู้เชี่ยวชาญนำเสนอเพื่ออธิบายมโนมติทางวิทยาศาสตร์ อาจจะยิ่งทำให้ผู้อ่านเกิดความสับสนมากกว่าช่วยให้เข้าใจมากขึ้นก็เป็นได้ นอกจากนั้นผู้วิจัยพบว่า ผู้เรียนบางคนเข้าใจว่า ระดับน้ำในบ่อน้ำพุจะไม่คงที่เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบเปิด น้ำจะระเหยออกไปตลอดเวลา ทำให้ระดับน้ำในบ่อน้ำพุลดลงเรื่อย ๆ สอดคล้องกับ Harrison and Treagust (2006) ที่พบว่า เมื่อนักเรียนตีความมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบด้วยตัวเอง โดยที่ไม่มีครูคอยให้คำแนะนำอาจจะทำให้พวกเขาเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ง่าย เพราะฉะนั้นครูจะต้องคอยให้คำแนะนำในการใช้วิธีการเปรียบเทียบในการจัดการเรียนรู้ ดังนั้นก่อนที่จะนำมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบมาใช้ในการจัดการเรียนรู้จะต้องแน่ใจว่านักเรียนเข้าใจมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบอย่างแท้จริง

6.2 อภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล

มโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ สถานการณ์สมมติการโยนลูกมะพร้าวระหว่างเพื่อนบ้าน ผู้วิจัยพบว่าผู้เรียนบางคนจะมีมโนมติคลาดเคลื่อนที่ว่าเพื่อนบ้านทั้งสองคนจะโยน

มะพร้าวได้เท่ากันก็ต่อเมื่อจำนวนลูกมะพร้าวทั้งสองข้างเท่ากัน เมื่อนักเรียนเชื่อมโยงไปสู่มโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลนักเรียนจึงเกิดมโนมติคลาดเคลื่อนที่ว่าปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเท่ากับปฏิกิริยาย้อนกลับเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์เท่ากัน สอดคล้องกับ Harrison and Treagust (2006) ที่พบว่า เมื่อนักเรียนตีความมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบด้วยตัวเอง โดยที่ไม่มีครูคอยให้คำแนะนำอาจจะทำให้พวกเขาเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ง่าย เพราะฉะนั้นครูจะต้องคอยให้คำแนะนำในการใช้วิธีการเปรียบเทียบในการจัดการเรียนรู้

ในมโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลมีมโนมติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุล การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล และการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยขอนำเสนออภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติตามลำดับ ดังนี้

6.2.1 มโนมติเรื่องความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุล

จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุล ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 20

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 20 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุล

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	-	-	-
PU	เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะลดลง	S4	-
PU&MU	-	-	-
MU	ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะคงที่	-	S1, S4, S6, S7, S8,
NU	อธิบายเหตุผลไม่ตรงประเด็น นำมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลและหลักการของเลอชาเตอลิเอมาใช้ในการตอบคำถาม	-	S5, S9, S11
	อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	S3	S2, S10
	ไม่ได้อธิบายเหตุผล	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	S3

จากข้อมูลในตารางที่ 20 เมื่อพิจารณาประเภทของมโนมติก่อนเรียนพบว่า มีนักเรียน 1 คน มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ โดยนักเรียนตอบว่า เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะลดลง การที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนนำมโนมติเรื่องปฏิกิริยาเคมีมาใช้ในการอธิบาย โดยนักเรียนเข้าใจว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาสารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยากันเปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์ทำให้สารตั้งต้นลดลง หลังจากกิจกรรมการจัดการเรียนรู้เมื่อพิจารณาประเภทของมโนมติหลังเรียนพบว่า มีนักเรียนบางส่วน (5 คน จาก 11 คน) จัดอยู่ในกลุ่มมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากเลือกใช้มโนมติไม่เหมาะสมกับบริบท นอกจากนี้ยังมีนักเรียนตอบคำถามไม่ตรงประเด็น (2 คน) โดยนักเรียนนำมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลและหลักการของเลอชาเตอลิเอมาใช้ในการตอบคำถาม ปัญหาดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเนื่องจากนักเรียนไม่เข้าใจคำศัพท์วิทยาศาสตร์หรือเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในสิ่งที่ผู้เขียนนำเสนอ จึงทำให้ผู้เรียนมี

มโนมติคลาดเคลื่อน (Eilkes, 2003) และยังมีนักเรียนอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย (2 คน) และไม่อธิบายเหตุผล (1 คน)

6.2.2 มโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 แสดงประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	จุด c เพราะความเข้มข้นของสารเริ่มคงที่	-	S4, S5, S6, S7, S9
PU	จุด c เพราะเป็นจุดที่ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล	-	S1, S3, S8,
PU&MU	-	-	-
MU	-	-	-
NU	ไม่ได้นำมโนมติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการอธิบายเหตุผล	S3, S4	S2, S11
	ไม่ได้อธิบายเหตุผล	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-
	ไม่สามารถทำนายได้	-	S10

จากข้อมูลในตารางที่ 21 เมื่อพิจารณาประเภทของมโนมติก่อนเรียนพบว่านักเรียนทุกคนตอบคำถามโดยที่ไม่ได้นำมโนมติวิทยาศาสตร์มาอธิบาย เมื่อพิจารณาประเภทของมโนมติหลังเรียนพบว่า นักเรียนบางส่วน (5 คน จาก 11 คน) มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนสามารถบอกได้ว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารจะคงที่ และมีนักเรียนบางส่วน (3 คน จาก 11คน) ระบุจุดที่ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ แต่ไม่ได้อธิบายว่าเป็นจุดที่ความ

เข้มข้นของสารคงที่ ปัญหาดังกล่าวเกิดเนื่องจากนักเรียนมีปัญหาในการเลือกใช้คำที่เหมาะสมเพื่อเสนอมโนมติของตน (Welington & Welington, 2002) นอกจากนี้ยังมีนักเรียนที่ไม่ได้นำมโนมติวิทยาศาสตร์มาอธิบาย (2 คน) ปัญหาดังกล่าวเกิดเนื่องมาจากนักเรียนไม่มีความรู้เกี่ยวกับมโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล นักเรียนจึงตอบคำถามจากสิ่งที่นักเรียนสังเกตเห็นจากกราฟ และยังมีนักเรียนตอบว่าไม่สามารถทำนายได้ (1คน)

6.2.3 มโนมติเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล

จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	-	-	-
PU	เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เพราะมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา	S4	S1, S3, S6, S7, S10, S11
PU&MU	-	-	-
MU	ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เข้าสู่สมดุลช้าลง	S3	-
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่มีผลต่อภาวะสมดุล	-	S4
NU	ไม่ได้อธิบายเหตุผล	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	S5, S8, S9
	ทำนายไม่ได้	-	S2

จากข้อมูลในตารางที่ 22 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติก่อนเรียนพบว่ามีนักเรียนอธิบายว่าเร่งปฏิกิริยาทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วขึ้น (1 คน) โดยนักเรียนอาจนำมโนมติเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาใช้ในการตอบคำถาม นักเรียนเข้าใจว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะ

ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อพิจารณาประเภทของมโนมติหลังเรียนพบว่า นักเรียนส่วนมาก (7 คน จาก 11 คน) อธิบายว่าระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วขึ้น แต่ไม่ได้อธิบายว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้นได้อย่างไร แสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แต่ยังไม่สมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญอย่างแท้จริง สอดคล้องกับงานของ เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่พบว่าสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้มโนมติเรื่องสมดุลเคมี คือ นักเรียนไม่เข้าใจมโนมติพื้นฐานบางมโนมติ เช่น มโนมติเรื่องความเข้มข้นของสารละลาย มโนมติเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้นักเรียนเกิดมโนมติคลาดเคลื่อนเรื่องสมดุลเคมีอีกด้วย และมีนักเรียนตอบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่มีผลต่อระบบที่เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว (1 คน) จากการสอบถามนักเรียนเพิ่มเติมพบว่า นักเรียนเข้าใจคำถามไม่ถูกต้อง โดยเข้าใจว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจึงค่อยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป ทำให้นักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนเนื่องจากเข้าใจคำถามคลาดเคลื่อน (Eilkes, 2003) นอกจากนั้นยังพบว่ามีนักเรียนไม่ได้อธิบายเหตุผล (3 คน) และตอบว่าทำนายไม่ได้ (1 คน)

6.3 อภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุล

มโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคือสภาวะสมดุลระดับน้ำ โดยนักเรียนได้มีโอกาสทำการทดลองและคำนวณหาค่าคงที่สมดุลระดับน้ำได้ด้วยตัวของนักเรียนเอง ทำให้นักเรียนสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนปริมาตรน้ำที่เติมลงไปในหลอดฉีดยาไม่ได้ทำให้ค่าคงที่สมดุลระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามวิธีการได้มาของค่าคงที่สมดุลระดับน้ำกับค่าคงที่สมดุลปฏิกิริยาเคมีมีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับ Harrison and Treagust (2006) ที่กล่าวว่าไม่มีมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่คล้ายคลึงกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ได้ทั้งหมด เพราะฉะนั้นการนำสภาวะสมดุลระดับน้ำมาใช้ในการเปรียบเทียบจะต้องคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างวิธีการคำนวณหาค่าคงที่สมดุลระดับน้ำกับค่าคงที่สมดุลปฏิกิริยาเคมี

ในมโนมติเรื่องภาวะสมดุลมีมโนมติย่อยที่เกี่ยวข้อง 3 มโนมติ ได้แก่ ความหมายของค่าคงที่สมดุล การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุล และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุลโดยขอนำเสนออภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติตามลำดับ ดังนี้

6.3.1 มโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับความหมายของค่าคงที่สมดุล

จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องมโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับความหมายของค่าคงที่สมดุล ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุล เกี่ยวกับความหมายของค่าคงที่สมดุล

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	ค่าคงที่สมดุลมาก สารตั้งต้นน้อย สารผลิตภัณฑ์มาก	-	S9
PU	สารผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น (ไม่ได้อธิบายถึงค่าคงที่สมดุล)	-	S5, S10
PU&MU	-	-	-
MU	ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์	S4	S1, S4, S6, S7, S8, S11
NU	อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	-	S2, S3
	อธิบายเหตุผลทวนคำถาม	S3	-
	ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-

จากข้อมูลในตารางที่ 23 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติก่อนเรียน พบว่า มีนักเรียนอธิบายว่า ณ ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับสารผลิตภัณฑ์ (1 คน) และเมื่อพิจารณาประเภทของมโนมติหลังเรียนก็พบว่านักเรียนบางส่วน (6 คน จาก 11 คน) อธิบายว่า ณ ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับสารผลิตภัณฑ์เช่นกัน โดยที่นักเรียนไม่ได้พิจารณาค่าคงที่สมดุลที่โจทย์กำหนดให้ แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน เช่นเดียวกับที่พบในงานวิจัยของ Ozmen (2008) ที่ได้อภิปรายไว้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เกิดเนื่องมาจากคำบางคำอาจจะเหมือนคำที่ใช้ในชีวิตประจำวัน แต่กลับใช้ในความหมายที่แตกต่างกัน ในบริบทที่ต่างกัน เช่น คำว่า ภาวะสมดุลในชีวิตประจำวันอาจหมายถึงเท่ากัน หยุดนิ่ง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น แต่ในมโนมติเรื่องสมดุลเคมี คำว่าภาวะสมดุลหมายถึง ภาวะที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ สอดคล้องกับ ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง (2551) ที่พบว่าภาษาวิทยาศาสตร์มีความแตกต่างจากภาษาที่ใช้ในชีวิตประจำวัน คำบางคำอาจจะเหมือนกับคำที่ใช้ในชีวิตประจำวัน แต่กลับใช้ในความหมายที่แตกต่างกัน ในบริบทที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังมีนักเรียน

มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (2 คน) เนื่องจากนักเรียนไม่ได้อธิบายเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุลที่โจทย์กำหนดให้นักเรียนตอบเพียงว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์ การที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจากนักเรียนมีปัญหาในการเลือกคำที่เหมาะสมเพื่อเสนอมโนมติของตน (Welington & Welington, 2002) และยังพบว่ามีนักเรียนที่อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมายอีก 2 คน

6.3.2 มโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุล

จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุล ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุล

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	ค่าคงที่สมดุลคงที่ เพราะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	-	S4
PU	ณ ภาวะสมดุลค่าคงที่สมดุลคงที่	-	S5, S11
PU&MU	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุลเพราะความเข้มข้มเปลี่ยนแปลงได้	S4	-
MU	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทำให้ค่าคงที่สมดุลเปลี่ยนแปลง	-	S1, S2, S6, S7, S9, S10
NU	อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	S3	S3, S8
	ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-

จากข้อมูลในตารางที่ 24 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติหลังเรียน พบว่า นักเรียนบางส่วน (6 คน จาก 11 คน) มีมโนมติคลาดเคลื่อนที่ว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทำให้ค่าคงที่สมดุลเปลี่ยนแปลง ทั้งที่ในการจัดการเรียนรู้มโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบแสดงให้นักเรียนเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไม่ได้ทำให้อัตราส่วนปริมาณน้ำด้านหลอดฉีดยา B ต่อหลอดฉีดยา A เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด แสดงว่านักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับมโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุล สอดคล้องกับ Harrison and Coll (2008) ที่พบว่านักเรียนแต่ละคนจะมีความสามารถในการเชื่อมโยงมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (analog) กับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (target) ได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบนักเรียนที่มีมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (2 คน) โดยนักเรียนกลุ่มนี้ตอบเพียงว่าค่าคงที่สมดุลคงที่ เนื่องจากระบบอยู่ในภาวะสมดุล โดยไม่ได้ระบุว่าค่าคงที่สมดุลจะเปลี่ยนแปลงเมื่อใด การที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจากนักเรียนมีปัญหาในการเลือกคำที่เหมาะสมเพื่อเสนอมโนมติของตน (Welington & Welington, 2002) และยังพบมีนักเรียนที่อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย (2 คน) และตอบไม่ตรงประเด็น (1 คน)

6.3.3 มโนมติเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุล

จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุลผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องค่าคงที่สมดุล เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุล

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	-	-	-
PU	ลดลง เพราะเป็นระบบคาย	-	S4
PU&MU	เพิ่มขึ้น ระบบปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิ	-	S9
MU	ณ ภาวะสมดุล ค่าคงที่สมดุลจะคงที่	-	S1, S5
NU	ไม่ได้อธิบายเหตุผล	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-
	การอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	S3	S2, S3, S7, S8, S10, S11
	ตอบไม่ตรงประเด็น	S4	S6

จากข้อมูลในตารางที่ 25 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติหลังเรียน พบว่า นักเรียนส่วนมาก (6 คน จาก 11 คน) อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมายทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถตีความคำตอบของนักเรียนได้ โดยนักเรียนพยายามนำมโนมติเรื่องหลักการของเลอชาเตอลิเอมาใช้ในการตอบคำถาม โดยพยายามจะตอบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลระบบจะปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิและเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้ง แต่นักเรียนไม่ได้ระบุว่าระบบปรับตัวไปในทิศทางใด และมีผลต่อค่าคงที่สมดุลอย่างไร การที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้แสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้นักเรียนไม่สามารถอธิบายทิศทางการปรับตัวของระบบเพื่อลดอุณหภูมิได้ และมีนักเรียนบางส่วน (2 คน) เข้าใจว่า ณ ภาวะสมดุลค่าคงที่สมดุลย่อมคงที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kousathana and Tsaparlis (2002 อ้างถึงใน ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2551) ที่พบว่านักเรียนเข้าใจว่าค่าคงที่สมดุลไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เพราะเป็นค่าคงที่

นอกจากนั้นจากตารางที่ 25 ยังแสดงให้เห็นว่ามีนักเรียนบางส่วนอธิบายว่าเป็นระบบคายความร้อนแต่ไม่ได้บอกทิศทางการปรับตัวของระบบ การที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจากนักเรียนมีปัญหาในการเลือกคำที่เหมาะสมเพื่อเสนอมโนมติของตน (Welington &

Welington, 2002) และมีนักเรียนบางส่วนอธิบายว่าระบบจะปรับตัวเพื่อลดอุณหภูมิ แต่อธิบายทิศทางการปรับตัวของระบบคลาดเคลื่อน แสดงถึงการที่มีมโนมติคลาดเคลื่อนในเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และยังนักเรียน ตอบไม่ตรงประเด็น (1 คน)

6.4. อภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลและหลักการของเลอชาเตอลิเอ

6.4.1 มโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

มโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมโนมตินี้ คือ การรบกวนสภาวะสมดุลระดับน้ำ ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนเกิดมโนมติคลาดเคลื่อนที่ว่า น้ำจะถ่ายเทจากด้านที่มีปริมาณน้ำมากกว่าไปยังด้านที่มีปริมาณน้ำน้อยกว่า และระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อปริมาณน้ำทั้งสองด้านเท่ากัน โดยนักเรียนไม่ได้ตระหนักถึงขนาดของหลอดฉีดยาที่มีขนาดไม่เท่ากัน น้ำจะถ่ายเทจากด้านที่มีระดับน้ำสูงกว่าไปยังด้านที่มีระดับน้ำต่ำกว่า และระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อระดับน้ำทั้งสองด้านมีระดับเท่ากัน แต่ไม่ได้หมายความปริมาณน้ำทั้งสองด้านต้องเท่ากัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Venvill and Treagust (2006) ที่พบว่า นักเรียนอาจจะใช้วิธีการเปรียบเทียบโดยขาดการพิจารณาวิเคราะห์ทำให้นักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อน เพราะฉะนั้นในการนำการรบกวนภาวะสมดุลระดับน้ำมาใช้ในการเปรียบเทียบ จะต้องตระหนักถึงเรื่องของปริมาณน้ำในหลอดฉีดยาทั้งสองด้าน จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียน ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 26

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 26 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	ระบบปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้นของ Pb^{2+} ทำให้ความเข้มข้นของ H^+ เพิ่มขึ้น	-	S4
PU	-	-	-
PU&MU	การเพิ่มความเข้มข้นของสาร ทำให้สารต่าง ๆ มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	S3	S1, S8
MU	ภาวะสมดุลจะไม่เปลี่ยนแปลง	-	S5, S7, S10, S11
	อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	-	S2, S3, S6, S9
	ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-
	ไม่ตรงประเด็น	S4	-

จากข้อมูลในตารางที่ 26 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติหลังเรียน พบว่า นักเรียนบางส่วน (4 คน จาก 11 คน) อธิบายว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะมโนมติของนักเรียนยังพบในงานวิจัยของ เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่พบว่า นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจไม่เข้าใจมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะเป็นสมดุลไดนามิก นักเรียนอาจเข้าใจว่าเมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น และการรบกวนความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ในระบบที่เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจะไม่มีผลต่อภาวะสมดุล นอกจากนั้นยังมีนักเรียนอธิบายว่าระบบจะปรับจากมากไปหาน้อย (1 คน) โดยนักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนนำความเข้าใจเกี่ยวกับการรบกวนภาวะสมดุลระดับน้ำที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมาอธิบายเหตุผล โดยนักเรียนเข้าใจว่าน้ำจะถ่ายเทจากด้านที่มีปริมาณมากกว่าไปยังด้านที่มีปริมาณน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่ได้คำนึงถึงขนาดของหลอดฉีดยาแต่ละด้าน สอดคล้องกับ Venville and Treagust (2006) ที่พบว่า นักเรียนอาจจะใช้

วิธีการเปรียบเทียบโดยขาดการพิจารณาวิเคราะห์ทำให้นักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อน นอกจากนั้นยังมีนักเรียนบางส่วนอธิบายว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารทำให้สารอื่นมีความเข้มข้นตามไปด้วย นักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนยังไม่เข้าใจมโนมติเรื่องหลักของเลอชาเตอลิเอ จึงไม่สามารถทำนายทิศทางการปรับตัวของระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลเมื่อถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Furio et al. (2000 อ้างถึงใน เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ, 2550) ที่ค้นพบว่านักเรียนบางส่วนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องหลักของเลอชาเตอลิเอ ทำให้นักเรียนอธิบายเหตุผลและทิศทางการปรับตัวของระบบที่ถูกรบกวนภาวะสมดุลได้ไม่ถูกต้อง และยังมีนักเรียนอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย (4 คน)

6.4.2 มโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน

มโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมโนมตินี้ คือ การรบกวนภาวะสมดุลของลูกโป่ง โดยเริ่มต้นจากการให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับความดันของแก๊สที่อยู่ในภาชนะขนาดเท่ากันแต่มีปริมาณแก๊สที่บรรจุภายในภาชนะแตกต่างกัน ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนสามารถตอบได้ว่าภาชนะใบที่มีปริมาณแก๊สมากกว่ามีความดันมากกว่า แต่เนื่องจากสาเหตุในการปรับตัวสมดุลของลูกโป่งเป็นการหาที่อยู่ของแก๊ส แต่การปรับตัวของภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีเป็นการปรับตัวเพื่อเพิ่มหรือลดความดัน สอดคล้องกับ Harrison and Treagust (2006) ที่กล่าวว่า ไม่มีมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่คล้ายคลึงกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ได้ทั้งหมด เพราะฉะนั้นจะต้องเปรียบเทียบทั้งความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความดัน ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องการรบกวนภาวะสมดุล โดยการเปลี่ยนแปลงความดัน

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	-	-	-
PU	-	-	-
PU&MU	-	-	-
MU	ความดันลดลงความเข้มข้นลดลงด้วย	S3, S4	S5, S6
	ความดันลดความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	-	S11
	การเปลี่ยนแปลงความดันไม่มีผลต่อภาวะสมดุล	-	S1
	การลดความดันปฏิกิริยาจะเกิดไปข้างหน้า	-	S8
	การลดความดันปฏิกิริยาจะเกิดย้อนกลับ	-	S10
NU	อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	-	S2, S3, S7
	ตอบไม่ตรงประเด็น	-	S4, S9
	ไม่ได้อธิบายเหตุผล	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-

จากข้อมูลในตารางที่ 27 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติหลังเรียน พบว่า นักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนในหลายลักษณะ นักเรียนกลุ่มแรกอธิบายว่าการลดความดันทำให้ความเข้มข้นลดลง (2 คน) นักเรียนกลุ่มที่สองอธิบายว่าการลดความดันทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (1 คน) นักเรียนกลุ่มที่สามอธิบายว่าการลดความดันทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้า (1 คน) และนักเรียนกลุ่มที่สี่อธิบายว่าการลดความดันทำให้ปฏิกิริยาย้อนกลับ (1 คน) นักเรียนเหล่านี้ไม่ได้อธิบายเกี่ยวกับการปรับตัวเพื่อลดหรือเพิ่มความดันให้แก่ระบบแต่อย่างใด นักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนยังไม่เข้าใจมโนมติเรื่องหลักของเลอชาเตอลิเอ จึงไม่สามารถทำนายทิศทางการปรับตัวของระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลเมื่อถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงความดันได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Furio et al. (2000 อ้างถึงใน เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ, 2550) ที่ค้นพบว่านักเรียนบางส่วนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องหลักของเลอชาเตอลิเอ ทำให้นักเรียนอธิบายเหตุผลและทิศ

ทางการปรับตัวของระบบที่ถูกรบกวนภาวะสมดุลได้ไม่ถูกต้อง มีนักเรียนหนึ่งคนอธิบายการเปลี่ยนแปลงความดันไม่มีผลต่อภาวะสมดุล ลักษณะความคลาดเคลื่อนนี้พบในงานวิจัยของ ชาตรี ฝ่ายคำตา (2551) ที่ว่านักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้เนื่องจากนักเรียนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องหลักของเลอชาเตอลิเอ และยังมีนักเรียนอธิบายเหตุไม่สื่อความหมาย (3 คน) ตอบคำถามไม่ตรงประเด็น (2 คน)

6.4.3 มโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

มโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมโนมตินี้ คือ การรบกวนภาวะสมดุลระหว่างสถานะโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเริ่มต้นจากการอภิปรายการปรับตัวของมนุษย์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนบางคนมีมโนมติคลาดเคลื่อนในเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและคายความร้อนส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจการรบกวนภาวะสมดุลระหว่างสถานะโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงไปยังมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Orgill and Bodner (2004) ที่ว่ามโนมติที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบจะต้องเป็นมโนมติที่นักเรียนคุ้นเคย พบเห็นในชีวิตประจำวัน ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ดั้นนั้นก่อนที่จะใช้การรบกวนภาวะสมดุลระหว่างสถานะมาใช้ในการเปรียบเทียบกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ จะต้องแน่ใจว่านักเรียนมีมโนมติเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและคายความร้อนสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องการรบกวนภาวะสมดุล โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	ปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ	-	S4, S8
PU	ปรับตัวเพื่อเข้าสู่ภาวะสมดุล	-	S7
PU&MU	ปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ	-	S9
MU	ระบบปรับจากมากไปหาน้อย	-	S1, S6
	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	-	S10
	เพิ่มอุณหภูมิปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้า	-	S5, S11
NU	อธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	S3, S4	S3

จากข้อมูลในตารางที่ 28 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติหลังเรียน พบว่า นักเรียนบางส่วนมีมโนมติคลาดเคลื่อนโดยอธิบายว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้า (2 คน) โดยที่นักเรียนไม่ได้คำนึงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อน ลักษณะความคลาดเคลื่อนนี้ยังพบในงานวิจัยของ Ozmen (2008) และ เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่พบว่านักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนนำมโนมติเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาใช้ในการอธิบายทิศทางการปรับตัวของภาวะสมดุล โดยที่นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี นอกจากนี้มีนักเรียนบางส่วนอธิบายว่า เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (1 คน) นักเรียนที่มโนมติเช่นนี้แสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี สอดคล้องกับงานวิจัยของ เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่พบว่านักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเป็นเพราะไม่เข้าใจมโนมติเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะเป็นสมดุลไดนามิก โดยนักเรียนอาจเข้าใจว่าเมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น มีบางส่วนอธิบายว่าระบบปรับจากมากไปหาน้อย (2 คน) นักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนนำความเข้าใจเกี่ยวกับการรบกวนภาวะสมดุลระดับน้ำที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมาอธิบายเหตุผล นักเรียนเข้าใจว่าน้ำจะถ่ายเทจากด้านที่มีปริมาณมากกว่าไปยังด้านที่มีปริมาณน้อยกว่า โดยที่นักเรียนไม่ได้คำนึงถึงขนาดของหลอดฉีดยาแต่ละด้าน

สอดคล้องกับ Venville and Treagust (2006) ที่พบว่า นักเรียนอาจจะใช้วิธีการเปรียบเทียบโดยขาดการพิจารณาวิเคราะห์ทำให้นักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อน

นอกจากนั้นพบว่ามีนักเรียนบางคนอธิบายว่าระบบจะปรับตัวไปตามปฏิกิริยาคายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ (1 คน) แสดงให้เห็นว่านักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนเข้าใจมโนมติเรื่องหลักการของเลอชาเตอลิเอ แต่มีมโนมติคลาดเคลื่อนเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและคายความร้อน โดยนักเรียนไม่เข้าใจว่าจะต้องปรับตัวไปในทิศทางใดเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิหรือเพิ่มอุณหภูมิ สอดคล้องกับงานวิจัยของ เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่พบว่า สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้มโนมติเรื่องสมดุลเคมี คือ นักเรียนไม่เข้าใจมโนมติพื้นฐานบางมโนมติ นอกจากนี้มีนักเรียนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (1คน) และยังมีนักเรียนอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย (1 คน) และไม่ตอบคำถาม (1 คน)

6.5 อภิปรายสรุปผลการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

จากการวิเคราะห์มโนมติก่อนเรียนและมโนมติหลังเรียนเรื่องสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผู้วิจัยได้นำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มตามประเภทของมโนมติได้ดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ประเภทของมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิต และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ประเภทของมโนมติ	คำอธิบาย (Descriptions)	จำนวนนักเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
SU	-	-	-
PU	เพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับไปทางปฏิกิริยาดูดความร้อน	-	S4
	เพิ่มอุณหภูมิจะเกิดสารผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น	-	S7, S10, S11
	เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะเกิดสารผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น	-	S6, S8
	เพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น	S4	-
PU&MU	เพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น	-	S1, S9
	เพิ่มอุณหภูมิทำให้ระบบคายความร้อน	-	S5
MU	เพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	-	S2
	การอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย	S3	S3
NU	ไม่ได้อธิบายเหตุผลในการตอบคำถาม	S1, S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11	-

จากข้อมูลในตารางที่ 29 เมื่อพิจารณาประเภทของโมนมติหลังเรียน พบว่า นักเรียนบางส่วนอธิบายว่าการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดไปข้างหน้ามากขึ้น (3 คน) สอดคล้องกับ เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่คนพบว่านักเรียนนำมโนมติเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาใช้ในการอธิบายทิศทางการปรับตัวของภาวะสมดุล โดยที่นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี และมีนักเรียนบางส่วนอธิบายว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น (2 คน) นักเรียนที่มีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนนำมโนมติเรื่องปฏิกิริยาเคมีมาใช้ในการอธิบาย โดยนักเรียนเข้าใจว่าเมื่อใช้สารตั้งต้นมากจะเกิดสารผลิตภัณฑ์มากตามไปด้วย นอกจากนั้นยังมีนักเรียนที่

อธิบายว่าการเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับตัวไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนทำให้สารผลิตภัณฑ์มากขึ้น (1 คน) แสดงว่านักเรียนมีมโนมติเรื่องการรบกวนภาวะสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และยังมีนักเรียนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน โดยนักเรียนเข้าใจว่าการเพิ่มอุณหภูมิระบบจะปรับไปทางการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน (2 คน) การที่นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนเข้าใจมโนมติเรื่องหลักการของเลอชาเตอลิเอแต่นักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนเรื่องการเปลี่ยนแปลงแบบดูดและคายความร้อน เพราะนักเรียนไม่เข้าใจว่าระบบจะต้องปรับตัวไปในทิศทางใดเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิหรือเพิ่มอุณหภูมิ สอดคล้องกับงานวิจัยของ เยาวเรศ ใจเย็น และคณะ (2550) ที่พบว่า สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้มโนมติเรื่องสมดุลเคมี คือ นักเรียนไม่เข้าใจมโนมติพื้นฐานบางมโนมติ มีนักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น (1 คน) แสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่เข้าใจมโนมติเรื่องสมดุลเคมี เพราะเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ และมีนักเรียนที่อธิบายเหตุไม่สื่อความหมาย (1 คน)

จากการสำรวจมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนผู้วิจัยพบว่า มีนักเรียนที่ถูกจัดอยู่ในประเภทไม่เข้าใจมโนมติในทุกมโนมติย่อย เนื่องจากนักเรียนอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมาย ตอบคำถามไม่ตรงประเด็น ตอบทวนคำถาม ไม่ได้อธิบายเหตุในการเลือกตอบ รวมทั้งตอบว่าไม่สามารถทำนายได้ และนักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนในทุกมโนมติย่อยเช่นกัน ลักษณะความคลาดเคลื่อนมีทั้งการเลือกใช้มโนมติไม่เหมาะสม เข้าใจคลาดเคลื่อน และไม่เข้าใจคำถาม ผลการวิเคราะห์มโนมติก่อนและหลังเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคลที่จัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบในมโนมติเรื่องสมดุลเคมี นำเสนอในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 แสดงมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล

นักเรียน	มโนมติก่อนเรียน (%)					มโนมติหลังเรียน (%)				
	SU	PU	PU&MU	MU	NU	SU	PU	PU&MU	MU	NU
S1	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	27.27	9.09	54.55	9.09
S2	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	18.18	81.82
S3	0.00	0.00	9.09	18.18	72.73	0.00	18.18	0.00	0.00	81.82
S4	0.00	27.27	9.09	18.18	45.45	36.36	27.27	0.00	27.27	9.09
S5	0.00	0.00	0.00	0.00	100	18.18	27.27	9.09	45.45	0.00
S6	0.00	0.00	0.00	0.00	100	9.09	18.18	0.00	45.45	27.27
S7	0.00	0.00	0.00	0.00	100	9.09	36.36	0.00	36.36	18.18
S8	0.00	0.00	0.00	0.00	100	18.18	18.18	0.00	45.45	18.18
S9	0.00	0.00	0.00	0.00	100	18.18	0.00	18.18	27.27	36.36
S10	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	27.27	0.00	45.45	27.27
S11	0.00	0.00	0.00	0.00	100*	0.00	27.27	0.00	45.45*	27.27

ตารางที่ 31 แสดงมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนในแต่ละมโนมติย่อย

มโนมติ		มโนมติก่อนเรียน (%)					มโนมติหลังเรียน (%)				
		SU	PU	PU& MU	MU	NU	SU	PU	PU& MU	MU	NU
ภาวะสมดุล		0.00	0.00	0.00	0.00	100	18.18	27.27	0.00	0.00	54.54
การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล	ความเข้มข้นของสารก่อนและหลังเข้าสู่ภาวะสมดุล	0.00	9.09	0.00	0.00	90.91	0.00	0.00	0.00	72.73	27.27
	ความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล	0.00	0.00	0.00	0.00	100	45.45	27.27	0.00	0.00	27.27
	ตัวเร่งปฏิกิริยากับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล	0.00	9.09	0.00	9.09	81.82	0.00	63.64	0.00	9.09	27.27
ค่าคงที่สมดุล	ความหมายของค่าคงที่สมดุล	0.00	0.00	0.00	9.09	90.91	9.09	18.18	0.00	54.55	18.18
	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับค่าคงที่สมดุล	0.00	0.00	9.09	0.00	81.82	9.09	18.18	0.00	45.45	27.27
	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับค่าคงที่สมดุล	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	9.09	0.00	54.55	36.36
การรบกวนภาวะสมดุล	โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น	0.00	0.00	9.09	0.00	90.91	9.09	0.00	0.00	54.55	36.36
	โดยการเปลี่ยนแปลงความดัน	0.00	0.00	0.00	18.18	81.82	0.00	0.00	0.00	54.55	45.45
	โดยการเปลี่ยนแปลงความอุณหภูมิ	0.00	0.00	0.00	0.00	100	18.18	9.09	9.09	45.45	18.18
สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม		0.00	9.09	0.00	0.00	90.91	0.00	54.55	27.27	9.09	9.09

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่ามโนมติหลังเรียนของนักเรียนส่วนมากไม่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจว่ามีปัจจัยใดที่ส่งผลให้นักเรียนมีมโนมติเช่นนี้ นอกเหนือจากลักษณะที่เป็นนามธรรมของมโนมติเคมีที่ยากต่อการทำความเข้าใจ และผู้วิจัยได้พยายามส่งเสริมการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วนั้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากลักษณะเฉพาะของกลุ่มเป้าหมายในงานวิจัยนี้ เป็นนักเรียนที่เรียนอยู่ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดเล็ก ในรัศมี 10 กิโลเมตร มีโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ 2 โรงเรียน ผู้ปกครองนักเรียนส่วนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรมและรับจ้างทั่วไป มีฐานะทางบ้านยากจน สาเหตุที่นักเรียนเลือกเรียนที่นี้ เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อย และเดินทางสะดวก นักเรียนกลุ่มนี้ส่วนมากเป็นนักเรียนที่มีผลการเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับต่ำ และมีเจตคติในทางลบในการเรียนวิทยาศาสตร์ จึงทำให้ผู้วิจัยพบหลักฐานหลายประการที่ยืนยันได้ว่ามีปัจจัยหลายประการนอกเหนือจากปัจจัยทางด้าน พุทธิพิสัย (cognitive factor) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมโนมติของผู้เรียน ได้แก่ ความเชื่อในแรงจูงใจ ในประเด็นของ goal orientation, interest and value belief และ control belief และบริบททางสังคม ปัจจัยเรื่องด้านภาษา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ปัจจัยด้านความเชื่อในแรงจูงใจ (Motivation belief)

จากการสอบถามนักเรียนเพิ่มเติมเกี่ยวกับเป้าหมายหลังจบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีนักเรียน 5 คน (S1, S4, S5, S7, S8) ตั้งเป้าหมายที่จะเรียนต่อในระดับที่สูงขึ้น ในจำนวนนี้มีนักเรียนหนึ่งคน (S1) ตั้งใจจะเรียนในด้านดนตรี ส่วนนักเรียนอีก 4 คน (S2, S3, S6, S9) ยังไม่มีเป้าหมายที่แน่นอน และมีนักเรียน 2 คน (S10, S11) ตั้งใจจะประกอบอาชีพหาเลี้ยงตนเองและครอบครัว จากตารางที่ 30 พบว่านักเรียน S2 และ S3 เป็นตัวอย่างของนักเรียนที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของนักเรียนที่ไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนใหญ่ หากพิจารณาถึงรายละเอียดในการตอบแล้วจะพบว่า นักเรียน S3 จะอธิบายเหตุผลไม่สื่อความหมายเป็นส่วนใหญ่ นักเรียนจะนำข้อความในคำถามมาเรียบเรียงเป็นคำอธิบายแต่อ่านแล้วไม่สื่อความหมาย ส่วนนักเรียน S2 มักจะไม่อธิบายเหตุผลในการตอบ หรือบางครั้งจะตอบคำถามที่ไม่สื่อความหมาย ไม่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่เรียน พฤติกรรมตอบคำถามที่แสดงถึงความไม่ใส่ใจในการเรียนเช่นนี้อาจเนื่องจากนักเรียนไม่มีจุดมุ่งหมาย ไม่รู้จะเรียนไปทำไม ทำให้นักเรียนไม่เอาใจใส่ในการเรียน หลักฐานหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนความเชื่อนี้ คือ พฤติกรรมการไม่ให้ความร่วมมือในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน ส่งงานไม่ครบ ตอบคำถามในใบกิจกรรมไม่สมบูรณ์ และจากการสอบถามครูท่านอื่นก็ได้คำตอบในลักษณะเดียวกัน ในบางชั่วโมงนักเรียนไม่ทำกิจกรรมร่วมกับเพื่อนในกลุ่ม จากการ

สอบถามนักเรียนตอบว่า *"หนูขอนั่งฟังเฉย ได้ไหมค่ะ"* เช่นเดียวกับนักเรียน S1, S9, S10, S11 ที่ถึงแม้ว่าจะมีอัตราการตอบคำถามก่อนและหลังเรียนที่สูงขึ้นแต่ผลการร่วมกิจกรรม หรือส่งงานในระหว่างเรียน ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความสนใจหรือเห็นคุณค่าของสิ่งที่เรียนแต่อย่างไร เนื่องจากนักเรียนไม่มีเป้าหมายในการเรียน และไม่เห็นคุณค่าในมโนมติเคมี ทำให้นักเรียนไม่เอาใจใส่ในการเรียนรู้ สอดคล้องกับ Pintrich et al. (1999) กล่าวถึงความเชื่อในแรงจูงใจประเภทเป้าหมายการเรียนรู้ (goal orientation) ว่าการที่นักเรียนมีแรงจูงใจโดยเฉพาะแรงจูงใจที่เกิดจากภายใน จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมติได้ง่าย การที่นักเรียนมองเห็นคุณค่าในสิ่งที่เรียนรู้ (interest and value belief) จะมีผลอย่างมากในการเรียนรู้ และความเชื่อเกี่ยวกับความสามารถในการควบคุมตนเอง (control belief) จะช่วยสนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้อย่างตั้งใจ และช่วยส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมติ

2) ปัจจัยด้านบริบททางสังคม

จากผลการศึกษาบริบททางสังคมในชุมชนพบว่า ผู้ปกครองส่วนมากไม่ได้ส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนอย่างเต็มที่ และไม่ส่งเสริมให้ได้ศึกษาในระดับที่สูงขึ้น เนื่องจากผู้ปกครองส่วนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรม และรับจ้างทั่วไป มีฐานะยากจน ผู้ปกครองบางครอบครัวต้องการให้นักเรียนออกมาประกอบอาชีพหาเลี้ยงครอบครัว มีน้อยคนที่เข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษา หลักฐานหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนแนวคิดนี้ คือ มีผู้ปกครองของนักเรียนหนึ่งคน (S11) พานักเรียนมาลาออกไปเรียนการศึกษานอกโรงเรียนโดยผู้ปกครองให้เหตุผลว่า ครอบครัวจะไปรับจ้างกรีดยางอยู่ที่ภาคใต้ ผู้ปกครองต้องการให้นักเรียนไปช่วยทำงานหาเลี้ยงครอบครัว แต่ทางโรงเรียนได้ขอให้นักเรียนได้เรียนจบภาคเรียนที่ 2 ก่อนจึงให้ย้ายไปเรียนการศึกษานอกโรงเรียน เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมที่ผ่านมาของนักเรียน S11 จะพบว่านักเรียนคนนี้ขาดเรียนบ่อยครั้ง และไม่ค่อยส่งงาน เช่นเดียวกับการวิเคราะห์มโนมติหลังเรียนของนักเรียนพบว่านักเรียนคนนี้ส่วนมากอยู่ในประเภทมโนมติคลาดเคลื่อน และไม่เข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ จึงอาจกล่าวได้ว่าการขาดการส่งเสริมและคาดหวังจากครอบครัว และต้องอยู่ในบริบททางสังคมที่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับการศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้นักเรียน S11 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมติไปสู่มโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Tyson et al.,1997)

3) ปัจจัยด้านภาษา

ปัญหาหนึ่งที่ทำให้นักเรียนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมติอาจเนื่องจากคำบางคำอาจจะเหมือนคำที่ใช้ในชีวิตประจำวัน แต่กลับใช้ในความหมายที่แตกต่างกัน ในบริบทที่ต่างกัน เช่น คำว่า ภาวะสมดุลในชีวิตประจำวัน หมายถึง น้ำหนักทั้งสองด้านเท่ากัน ปริมาณทั้งสองด้านเท่ากัน ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น แต่ในมโนมติเรื่องสมดุลเคมี คำว่าภาวะสมดุลหมายถึง

ภาวะที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ หลักฐานฐานหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนความเชื่อนี้ คือ *"คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (S7)" "คงที่ สารละลายเท่ากัน (S10)" "คงที่ เพราะปฏิกิริยาเคมีไม่เปลี่ยนแปลง (S11)"* นักเรียนเหล่านี้เข้าใจว่าเมื่อระบบอยู่ในภาวะสมดุลจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และที่ภาวะสมดุลปริมาณสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะเท่ากัน ผู้เรียนบางคนมีปัญหาในด้านหลักภาษา เช่น ปัญหาด้านการเขียน หรืออ่าน (Clerk & Rutherford, 2000) หลักฐานหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนความเชื่อนี้ คือ *"เพิ่มขึ้น เพราะแต่สารแต่ละชนิด (S2)" "เพิ่มขึ้น ถ้าปริมาณภาวะสมดุลเพิ่มขึ้นคลายความร้อนเกิดความเข้มข้น (S3)"* นักเรียนบางคนเขียนสื่อความหมายได้ไม่ชัดเจน หรือไม่สื่อความหมาย ผู้เรียนบางคนมีปัญหาในการเลือกใช้คำที่เหมาะสมเพื่อเสนอความคิดของตนเอง บางคนอาจมีปัญหาในการเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดต่าง ๆ รวมทั้งขาดทักษะที่พอเพียงในการจัดลำดับ เชื่อมโยงแนวคิดต่าง ๆ ตลอดจนความเป็นเหตุเป็นผลของความสัมพันธ์ในแต่ละแนวคิด (Wellington & Wellington, 2002) หลักฐานหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนความเชื่อนี้ คือ *"เท่ากัน สสารจะปรับเปลี่ยนสภาพตัวเองให้สมดุล (S1)" "เท่ากัน เพราะเข้าสู่สมดุลแล้ว (S4)" "เท่ากัน ระบบจะเข้าสู่การสมดุล (S7)"* นักเรียนใช้คำว่าเข้าสู่ภาวะสมดุลในการอธิบายเหตุผล ในหลาย ๆ คำถาม นอกจากนี้นักเรียนไม่ได้เกี่ยวข้องแต่เฉพาะกับคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์แต่นักเรียนควรจะมีความสามารถในการแปลความหมาย แผนภาพ กราฟ ตาราง สมการเคมี และสัญลักษณ์อื่น ๆ ในบางครั้งจึงอาจจะไม่เข้าใจหรือเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน(Lemke, 1990) หลักฐานหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนความเชื่อนี้ คือ ในระหว่างจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบครูจะต้องคอยอธิบายสมการเคมี รวมทั้งสัญลักษณ์อื่น ๆ ที่ปรากฏในใบกิจกรรม แบบฝึกหัด เพื่อให้นักเรียนแปลความหมายได้ถูกต้อง ทำให้นักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ แต่สมการเคมี สัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ปรากฏในคำถามของแบบสำรวจมโนมติ นักเรียนอาจจะแปลความหมายไม่ถูกต้อง ทำให้หลายครั้งนักเรียนเลือกมโนมติมาใช้ในการตอบไม่เหมาะสมกับคำถาม