บทที่ 5

การอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่อง ความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดกรมสามัญศึกษา จังหวัดชุมพร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. เพื่อเปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายระหว่างนักเรียนหญิงกับนักเรียนชาย
3. เพื่อเปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีระหว่างนักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

สมมุติฐานของการวิจัย

1. นักเรียนหญิงและนักเรียนชายมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีแตกต่างกัน
2. นักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และปีที่ 6 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีแตกต่างกัน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยนักเรียนที่ศึกษาอยู่ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ 6 ปีการศึกษา 2540 แนวการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ของโรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัดกรมสามัญศึกษา จังหวัดชุมพร จำนวน 318 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling)

แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบการวิจัยชนิดแบบกลุ่มเดียว หรือรายกรณี (One Shot Case Study Design)

เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือแบบทดสอบมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีลักษณะเป็นแบบเลือกตอบ โดยมีทั้งส่วนที่เป็นคำตอบและเหตุผลในการเลือกตอบ ซึ่งจำนวนตัวเลือกขึ้นอยู่กับจำนวนมโนมติที่คลาดเคลื่อน ที่คาดว่านักเรียนจะมีในหัวข้อนั้น ๆ แบบทดสอบฉบับนี้มีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง .29 – 1.00 ค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง .21 – .74 และมีค่าความเที่ยง (r_{tt}) เท่ากับ .87

การเก็บข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนทั้งหมดโดยใช้ค่าร้อยละ
2. เปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนระหว่างนักเรียนชายและนักเรียนหญิง โดยการทดสอบที (t-test)
3. เปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนระหว่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และปีที่ 6 โดยการทดสอบที (t-test)

สรุปผลการวิจัย

1. จากคำถามทั้งหมดจำนวน 20 ข้อ พบว่า นักเรียนจำนวนมากกว่าร้อยละ 50 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในทุกข้อ ยกเว้นข้อที่ 10 ซึ่งนักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนร้อยละ 46.9 และพบว่านักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากที่สุดในข้อที่ 13 คิดเป็นร้อยละ 84.8 ของนักเรียนทั้งหมด และเมื่อพิจารณาเป็นรายมโนมติ พบว่า นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 50 ในทุกมโนมติ คือมโนมติที่ 1 – 7 โดยมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากที่สุด คือมโนมติที่ 2 เมื่อทราบปริมาณของตัวถูกละลายเป็นกรัม หรือ โมล และปริมาตรของสารละลาย สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย mol/dm^3 ได้ รองลงมาคือ มโนมติที่ 3 สมการเคมีที่สมดุลแล้วสามารถบอกความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (1) มีสารใดบ้างที่เกี่ยวข้องในสมการเคมี (2) แต่ละสารในสมการเคมี มีจำนวนโมล มวล และอนุภาคเท่าใด (3) สารที่มีสถานะเป็นก๊าซในสมการเคมี มีปริมาตรเท่าใดที่ STP และมโนมติที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ มโนมติที่ 6 ผลที่ได้ตามทฤษฎีเป็นค่าปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้จากสมการเคมี และผลที่ได้จริงเป็นปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้ตามทฤษฎี

2. โดยภาพรวมนักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่อง ความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมี**ไม่แตกต่างกัน** แต่นักเรียนหญิง**มีแนวโน้มที่จะเกิด**มโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนชาย ซึ่งเมื่อแยกตามรายมโนมติแนวโน้มที่จะเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนสรุปได้เป็น 2 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

2.1 นักเรียนชาย**มีแนวโน้มที่จะเกิด**มโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนหญิงใน 3 มโนมติ คือ มโนมติที่ 3 สมการเคมีที่สมดุลแล้วสามารถบอกความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (1) มีสารใดบ้างที่เกี่ยวข้องในสมการเคมี, (2) แต่ละสารในสมการเคมี มีจำนวนโมล มวล และอนุภาคเท่าใด และ (3) สารที่มีสถานะเป็นก๊าซในสมการเคมี มีปริมาตรเท่าใดที่ STP

มโนมติที่ 4 ในปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาพอดีกัน เมื่อทราบปริมาณของสารใดสารหนึ่ง สามารถคำนวณหาปริมาณของสารอื่น ๆ ในปฏิกิริยาเคมีนั้นได้ และมโนมติที่ 5 ในปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันไม่พอดี จะต้องมีสารใดสารหนึ่งที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อน เรียกสารที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนนี้ว่า สารกำหนดปริมาณ และใช้สารกำหนดปริมาณนี้คำนวณหาปริมาณของสารอื่นในปฏิกิริยาเคมีนั้นได้

2.2 นักเรียนหญิง**มีแนวโน้มที่จะเกิด**มโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนชายใน 4 มโนมติ คือ มโนมติที่ 1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร(mol/dm^3) หรือ โมลต่อลิตร หรือ โมลาริตี (Molarity) หรือ โมลาร์ (Molar) เป็นหน่วยที่บอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1 dm^3 หรือ 1 ลิตร หรือ 1,000 cm^3, มโนมติที่ 2 เมื่อทราบปริมาณของตัวถูกละลายเป็นกรัม หรือ โมล และปริมาตรของสารละลาย สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย mol/dm^3 ได้, มโนมติที่ 6 ผลที่ได้ตามทฤษฎีเป็นค่าปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้จากสมการเคมี และผลที่ได้จริงเป็นปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้ตามทฤษฎี และมโนมติที่ 7 ร้อยละของผลที่ได้ หาได้จากผลที่ได้จริงต่อผลที่ได้ตามทฤษฎีคูณด้วย 100

3. มโนมติโดยภาพรวมนักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นที่ต่างกันมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เมื่อพิจารณาในแต่ละรายมโนมติ สามารถสรุปได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

3.1 นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 จำนวน 3 มโนมติ คือ มโนมติที่ 4 ในปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาพอดีกัน เมื่อทราบปริมาณของสารใดสารหนึ่ง สามารถคำนวณหาปริมาณของสารอื่น ๆ ในปฏิกิริยาเคมีนั้นได้, มโนมติที่ 6 ผลที่ได้ตามทฤษฎีเป็นค่าปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้จากสมการเคมี และผลที่ได้จริงเป็นปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้ตามทฤษฎี และมโนมติที่ 7 ร้อยละของผลที่ได้ หาได้จากผลที่ได้จริงต่อผลที่ได้ตามทฤษฎีคูณด้วย 100

3.2 นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จำนวน 1 มโนมติ คือ มโนมติที่ 5 ในปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันไม่พอดี จะต้องมีสารใดสารหนึ่งที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อน เรียกสารที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนนี้ว่า สารกำหนดปริมาณ และ

ใช้สารกำหนดปริมาณนี้คำนวณหาปริมาณของสารอื่นในปฏิกิริยาเคมีนั้นได้

3.3 นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และปีที่ 6 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกัน จำนวน 3 มโนมติ คือ มโนมติที่ 1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร (mol/dm^3) หรือ โมลต่อลิตร หรือ โมลาริตี (Molarity) หรือ โมลาร์ (Molar) เป็นหน่วยที่บอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1 dm^3 หรือ 1 ลิตร หรือ 1,000 cm^3 , มโนมติที่ 2 เมื่อทราบปริมาณของตัวถูกละลายเป็นกรัม หรือ โมล และปริมาตรของสารละลายสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย mol/dm^3 ได้ และมโนมติที่ 3 สมการเคมีที่สมดุลแล้วสามารถบอกความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (1) มีสารใดบ้างที่เกี่ยวข้องในสมการเคมี, (2) แต่ละสารในสมการเคมี มีจำนวนโมล มวล และอนุภาค เท่าใด และ (3) สารที่มีสถานะเป็นก๊าซในสมการเคมี มีปริมาตรเท่าใดที่ STP

4. จากการศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมี พบว่ามีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในประเด็นต่าง ๆ พอสรุปได้ดังนี้

- สารละลายที่มีความเข้มข้นเป็น mol/dm^3 คือการบอกปริมาณของตัวถูกละลายเป็นโมลที่มีอยู่ในตัวทำละลาย 1 dm^3 (ร้อยละ 32.2)
- หาสารกำหนดปริมาณในสมการเคมีไม่ได้ โดยนักเรียนเข้าใจว่าสารที่มีจำนวนโมลน้อยกว่าเป็นสารกำหนดปริมาณ (ร้อยละ 34.1)
- ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับปริมาตรของก๊าซที่ STP โดยนักเรียนเข้าใจว่าสารทุกสถานะ จำนวน 1 โมลมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP (ร้อยละ 38.5)
- คำนวณหาร้อยละของผลที่ได้ไม่ได้ โดยนักเรียนเข้าใจว่า ร้อยละของผลที่ได้คืออัตราส่วนระหว่างผลที่ได้ตามทฤษฎีกับผลที่ได้จริงคูณด้วย 100 และนักเรียนยังมีความเข้าใจสับสนในความหมายของผลที่ได้จริงกับผลที่ได้ตามทฤษฎี (ร้อยละ 25.0)
- สารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน จำนวนโมลรวมของสารตั้งต้นเท่ากับจำนวนโมลรวมของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ 31.4)

<u>อภิปรายผล</u>

1. ผลการวิเคราะห์มโนมติที่คลาดเคลื่อนในรายวิชาเคมีเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมี จำแนกเป็นรายข้อดูจากคำถามและคำตอบในภาคผนวก ง โดยให้นักเรียนเลือกคำตอบในส่วนที่ 1 และเหตุผลในส่วนที่ 2 ดังนี้

มโนมติที่ 1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร(mol/dm^3) หรือ โมลต่อลิตร หรือ โมลาริตี(Molarity) หรือ โมลาร์(Molar) เป็นหน่วยที่บอกจำนวณโมลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1 dm^3 หรือ 1 ลิตร หรือ 1,000 cm^3 ทำการวัดในข้อ 1, 11 เป็นการวัดมโนมติเกี่ยวกับความหมายของความเข้มข้นของสารละลาย

คำถามข้อ1 ถามว่า สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.5 mol/dm^3 มีความหมายตรงกับข้อใด

คำตอบที่ถูกต้องคือ สารละลายที่มีตัวถูกละลาย 0.5 โมล ในสารละลาย 1 dm^3 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ ความเข้มข้นในหน่วย mol/dm^3 เป็นการบอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1 dm^3

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนเลือกคำตอบได้ถูกต้องร้อยละ 58.1 และในจำนวนนี้มีผู้ให้เหตุผลถูกต้องร้อยละ 30.4 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

1.1 นักเรียนร้อยละ 19.7 ตอบว่า มีตัวถูกละลาย 0.5 โมล ในตัวทำละลาย 1 dm^3

1.2 นักเรียนร้อยละ 18.6 ตอบได้ถูกต้อง แต่ให้เหตุผลผิด โดยให้เหตุผลว่าเป็นการบอกให้ทราบว่าสารละลายที่มีตัวทำละลาย 1 dm^3 มีตัวถูกละลายอยู่กี่โมล

สาเหตุที่นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในข้อนี้ น่าจะมาจากความหมายของคำว่า “สารละลาย” ซึ่งหมายถึงสารที่ประกอบด้วยตัวถูกละลายและตัวทำละลาย ดังนั้นการบอกความเข้มข้นของสารละลายจึงควรบอกเป็นปริมาณของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในตัวทำละลายหรือสาเหตุอีกประการหนึ่งนักเรียนกลุ่มนี้มีความสับสนในเรื่อง หน่วยของความเข้มข้นที่เป็นโมลาร์ (mol/dm^3) และโมแลล (mol/kg) โดยที่หน่วยโมลาร์เป็นหน่วยที่บอกปริมาณของตัวถูกละลายเป็นโมลที่มีอยู่ในสารละลาย 1 dm^3 (1000 cm^3) ส่วนหน่วยโมแลลเป็นหน่วยที่บอกปริมาณของตัวถูกละลายเป็นโมลที่มีอยู่ในตัวทำละลาย 1 kg (1000 g) นักเรียนได้เรียนรู้มโนมติทั้งสองในเวลาเดียวกันและทำให้เกิดความสับสนเกี่ยวกับตัวทำละลาย หรือ สารละลาย ที่มีตัวถูกละลายละลายอยู่

คำถามข้อ 11 ถามว่า สารละลายที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์มีความหมายตรงกับข้อใด

คำตอบที่ถูกต้องคือ สารละลายที่มีตัวถูกละลาย 1 โมล ในสารละลาย 1000 cm^3 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ เป็นการบอกปริมาณของตัวถูกละลายเป็นโมลในสารละลาย 1000 cm^3

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 44.4 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 35.8 นักเรียนที่ตอบผิดพบว่าร้อยละ 25.0 ตอบว่า เป็นสารละลายที่มีตัวถูกละลาย 1 โมล ในตัวทำละลาย 1000 cm^3 สาเหตุที่นักเรียนมีความเข้าใจ

คลาดเคลื่อนในข้อนี้น่าจะมาจากเหตุผลเดียวกับข้อ 1.1 และ 1.2 โดยที่นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องว่าความเข้มข้นเป็นโมลาร์ก็คือ mol/dm^3 นั่นเอง

มโนมติที่ 2 เมื่อทราบปริมาณของตัวถูกละลายเป็นกรัม หรือ โมล และปริมาตรของสารละลาย สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย mol/dm^3 ได้ ทำการวัดในข้อ 14, 16 เป็นการวัดมโนมติเกี่ยวกับการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย

คำถามข้อ 14 ถามว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) จำนวน 500 cm^3 มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายอยู่ 0.20 โมล สารละลายนี้มีความเข้มข้นกี่ mol/dm^3

คำตอบที่ถูกต้องคือ 0.40 mol/dm^3 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ จำนวนโมลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1000 cm^3

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 59.4 เลือกคำตอบได้ถูกต้องและในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 28.0 นักเรียนที่ตอบผิด พบว่า ร้อยละ 20.6 สามารถเลือกคำตอบได้ถูกต้อง แต่เลือกเหตุผลผิด โดยนักเรียนให้เหตุผลว่าบอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายในสารละลาย 500 cm^3 สาเหตุที่นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในข้อนี้ น่าจะมาจากความไม่เข้าใจในหน่วยความเข้มข้นเป็น mol/dm^3 เพราะถ้านักเรียนเข้าใจในเรื่องนี้นักเรียนจะต้องเทียบหาปริมาณตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1000 cm^3 ไม่ใช่ 500 cm^3 นั่นคือนักเรียนมีความคลาดเคลื่อนในมโนมติที่ 1 จึงส่งผลถึงมโนมติที่ 2 ส่วนนักเรียนที่เลือกคำตอบได้ถูกต้องแต่เพียงส่วนเดียว อาจจะเป็นเพราะนักเรียนกลุ่มนี้ได้ฝึกทักษะในการคิดคำนวณจนเกิดเป็นความชำนาญในการทำแบบทดสอบ คือถ้าโจทย์ถามในลักษณะนี้จะต้องคิดคำนวณอย่างไร

คำถามข้อ 16 ถามว่า ถ้านำกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) มาจำนวน 49 กรัม ละลายในน้ำจนได้สารละลายมีปริมาตร 250 cm^3 สารละลายนี้มีความเข้มข้นกี่ mol/dm^3

คำตอบที่ถูกต้องคือ 2.00 mol/dm^3 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ จำนวนโมลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1 dm^3 และจำนวนโมล = มวล/มวลโมเลกุล

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 45.2 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 16.2 นักเรียนที่ตอบผิด พบว่ามีลักษณะดังนี้

16.1 นักเรียนร้อยละ 12.8 ตอบว่า 0.200 mol/dm^3 โดยให้เหตุผลว่า ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ (มวล x มวลโมเลกุล)/ ปริมาตรของสารละลาย

16.2 นักเรียนร้อยละ 12.2 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง แต่เลือกเหตุผลผิด โดยนักเรียนให้เหตุผลว่า มวลเป็นกรัมของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 1000 cm^3

สาเหตุของความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนข้อนี้ น่าจะมาจากเหตุผลเดียวกันกับข้อ 14

มโนมติที่ 3 สมการเคมีที่สมดุลแล้วสามารถบอกความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (1) มีสารใดบ้างที่เกี่ยวข้องในสมการเคมี (2) แต่ละสารในสมการเคมี มีจำนวนโมล มวล และอนุภาคเท่าใด (3) สารที่มีสถานะเป็นก๊าซในสมการเคมี มีปริมาตรเท่าใดที่ STP ทำการวัดในข้อ 2, 5, 8, 9, 20 เป็นการวัดมโนมติเกี่ยวกันการหาความสัมพันธ์ของสารในสมการเคมี

คำถามข้อที่ 2 ถามว่า จากปฏิกิริยาต่อไปนี้ $Mg(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$ ความสันพันธ์ของสารในข้อใดถูกต้อง

คำตอบที่ถูกต้องคือ ใช้ HCl 2 โมล เกิดก๊าซ H_2 1 โมล และเหตุผลที่ถูกต้องคือสมการเคมีที่ดุลแล้วบอกถึงจำนวนโมลของสารในสมการเคมีนั้น

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 66.0 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 40.3 นอกจากนี้กลุ่มนักเรียนที่ให้เหตุผลคลาดเคลื่อนนั้นจะกระจัดกระจาย จำนวนร้อยละของนักเรียนที่เลือกเหตุผลคลาดเคลื่อนในข้อนี้มีหลายกลุ่ม แต่เป็นค่าร้อยละที่น้อย แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของสารในสมการเคมีที่ดุลแล้วนักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องจำนวนมาก

คำถามข้อที่ 5 ถามว่า ปฏิกิริยาเคมีดังนี้ $KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow KNO_3(aq) + PbI_2(s)$ เมื่อดุลสมการเคมีนี้แล้ว ข้อใดบอกความสัมพันธ์จากสมการเคมีได้ถูกต้อง

คำตอบที่ถูกต้องคือ ปฏิกิริยานี้ต้องใช้ $Pb(NO_3)_2$ 6.02×10^{23} โมเลกุล และเหตุผลที่ถูกต้องคือ สารใด ๆ จำนวน 1 โมลมีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 6.02×10^{23}

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 23.5 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 17.9 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

5.1 นักเรียนร้อยละ 28.4 ตอบว่า ปฏิกิริยานี้เกิด PbI_2 22.4 dm^3 ที่ STP โดยให้เหตุผลว่า สารใด ๆ จำนวน 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP

5.2 นักเรียนร้อยละ 11.8 ตอบว่า ปฏิกิริยานี้ต้องใช้ KI 2 โมเลกุล โดยให้เหตุผลว่าเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารในสมการเคมีที่ดุลแล้วหมายถึงจำนวนโมลของสารนั้น

5.3 นักเรียนร้อยละ 9.1 ตอบว่า ปฏิกิริยานี้เกิด KNO_3 1 โมล โดยให้เหตุผลเช่นเดียวกับ 5.2

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนในข้อนี้น่าจะมาจากความคลาดเคลื่อนในการเขียนสมการเคมีโดยสมการเคมีที่เขียนขึ้นมานั้นนักเรียนไม่ได้ทำให้สมการเคมีสมดุลจึงทำให้นักเรียน

เลือกคำตอบได้ไม่ถูกต้อง(5.3) ความคลาดเคลื่อนอีกประการหนึ่งน่าจะมาจากความเข้าใจผิดเกี่ยวกับตัวเลขที่อยู่หน้าสารแต่ละตัวในสมการเคมีที่สมดุลแล้ว เป็นตัวเลขที่แสดงจำนวนโมลของสารตัวนั้น ไม่ใช่ตัวเลขที่แสดงจำนวนโมเลกุลของสารนั้น (5.2) แต่จะเป็นตัวเลขที่แสดงจำนวนโมเลกุลของสารนั้นได้ถ้านักเรียนคูณเลขจำนวนโมลด้วยค่าเลขอาโวกาโดรหรือ 6.02×10^{23} และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ นักเรียนมีความเข้าใจว่าสารใดๆ จำนวน 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP (5.1) ซึ่งที่ถูกต้องสารเฉพาะก๊าซเท่านั้นจำนวน 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP ดังนั้นการที่นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนี้น่าจะมาสาเหตุความเข้าใจพื้นฐานของนักเรียนในเรื่อง โมล มวล อนุภาค และปริมาตรของก๊าซที่ STP ยังพกพร่องจึงทำให้การพิจารณาความสัมพันธ์ในเรื่องโมล มวล อนุภาค และปริมาตรของก๊าซที่ STP จากสมการเคมีคลาดเคลื่อน

ปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 8-9

$$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

คำถามข้อที่ 8 ถามว่า ปฏิกิริยาเคมีนี้ถ้าใช้สารละลายกรด HCl 2 โมล จะต้องใช้ $CaCO_3$ เท่าใด

คำตอบที่ถูกต้องคือ 100 กรัม และเหตุผลที่ถูกต้องคือ $CaCO_3$ จำนวน 1 โมลมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุล

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 29.4 เลือกคำตอบได้ถูกต้องและในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 16.3 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

8.1 นักเรียนร้อยละ 30.1 ตอบว่าจะต้องใช้ $CaCO_3$ 22.4 dm^3 ที่ STP โดยให้เหตุผลว่า $CaCO_3$ ถูกใช้ไปจำนวน 1 โมลจึงมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP

8.2 นักเรียนร้อยละ 9.8 ตอบว่าจะต้องใช้ $CaCO_3$ 3.01×10^{23} โมเลกุล โดยให้เหตุผลว่าจำนวนโมเลกุลของ $CaCO_3$ เป็นครึ่งหนึ่งของ HCl

ความคลาดเคลื่อนของนักเรียนในข้อ 8.1 น่าจะมาจากเหตุผลเดียวกันกับ 5.1 เพราะ $CaCO_3$ เป็นของแข็งไม่ใช่ก๊าซ ส่วนความคลาดเคลื่อนของนักเรียนในข้อ 8.2 น่าจะมาจากความบกพร่องในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสารในสมการเคมีเนื่องจากคำถามข้อนี้บอกให้ทราบแล้วว่าจากสมการเคมีถ้าใช้ HCl จำนวน 2 โมลจะต้องใช้ $CaCO_3$ จำนวน 1 โมล ไม่ใช่ครึ่งโมล ดังนั้นจำนวนโมเลกุลของ $CaCO_3$ จึงต้องเท่ากับ 6.02×10^{23} ไม่ใช่ 3.01×10^{23}

คำถามข้อที่ 9 ถามว่า ในปฏิกิริยาเคมีนี้ถ้าใช้ $CaCO_3$ 1 โมล จะได้ผลิตภัณฑ์ตามข้อใด

คำตอบที่ถูกต้องคือ ได้ก๊าซ CO_2 22.4 dm^3 ที่ STP และเหตุผลที่ถูกต้องคือ ก๊าซใดๆ จำนวน 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 29.7 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 21.6 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

9.1 นักเรียนร้อยละ 25.7 เลือกคำตอบและเหตุผลผิด โดยนักเรียนเลือกคำตอบถูกทุกข้อและให้เหตุผลว่าสารใด ๆ จำนวน 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP

9.2 นักเรียนร้อยละ 10.1 เลือกคำตอบผิดแต่ให้เหตุผลได้ถูกต้อง โดยนักเรียนเลือกคำตอบถูกทุกข้อและให้เหตุผลว่าก๊าซใด ๆ จำนวน 1 โมล มีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP

9.3 นักเรียนร้อยละ 9.5 เลือกคำตอบและเหตุผลผิด โดยนักเรียนเลือกคำตอบถูกทุกข้อและให้เหตุผลว่าสารใด ที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน จำนวนปริมาตรย่อมเท่ากันและเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP

ความคลาดเคลื่อนของนักเรียนในข้อ 9.1 น่าจะมาเหตุผลเดียวกันกับ 5.1 ทั้งนี้เพราะ $CaCl_2$ และ H_2O ในสมการเคมีมีสถานะเป็นของแข็งและของเหลวตามลำดับไม่ใช่ก๊าซ ดังนั้นปริมาตรจึงไม่เท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP , ความคลาดเคลื่อนในข้อ 9.2 น่าจะมาจากนักเรียนไม่มีความรู้เกี่ยวกับอักษรย่อ หรือสัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการเคมี เช่น ของแข็ง(s), ของเหลว(l), ก๊าซ(g) และสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย(aq) หรืออาจเกิดจากตัวนักเรียนขาดความรอบคอบในการวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหา ทั้ง ๆที่นักเรียนกลุ่มนี้มีความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาตรของก๊าซ ส่วนความคลาดเคลื่อนในข้อ 9.3 น่าจะมาจากคำว่า “โมเลกุล”ซึ่งนักเรียนเข้าใจว่าจำนวนโมลของสารใดก็คือจำนวนโมเลกุลของสารนั้นดังนั้นสารจำนวน 1 โมลในสมการเคมีก็คือสารจำนวน 1 โมเลกุล นักเรียนจึงให้เหตุผลว่าสารใด ที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากันจำนวปริมาตรย่อมเท่ากันและเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP เพราะปริมาตรสัมพันธ์กับจำนวนโมลดังกล่าวแล้ว

คำถามข้อที่ 20 ถามว่า ปฏิกิริยาเคมีดังนี้ $CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$ ข้อใดบอกความสัมพันธ์จากสมการเคมีได้ถูกต้อง

คำตอบที่ถูกต้องคือ เมื่อเผา $CaCO_3$ 1 โมล จะได้ CO_2 44 กรัม และเหตุผลที่ถูกต้องคือ สมการเคมีบอกให้ทราบถึงจำนวนโมลในปฏิกิริยารวมทั้งมวลของสารนั้นด้วย

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 26.7 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 16.0 นักเรียนที่ตอบผิดพบว่า ร้อยละ 22.7 ตอบว่า เมื่อเผา $CaCO_3$ 22.4 dm^3 ที่ STP จะได้ CaO และ CO_2 อย่างละ 22.4 dm^3 ที่ STP โดยให้เหตุผลว่า

อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นและจำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1:1:1 จึงทำให้อัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากัน ความคลาดเคลื่อนของนักเรียนกลุ่มนี้น่าจะมาจากเหตุผลเดียวกันกับข้อ 8 และ 9

มโนมติที่ 4 ในปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาพอดีกัน เมื่อทราบปริมาณของสารใดสารหนึ่ง สามารถคำนวณหาปริมาณของสารอื่น ๆ ในปฏิกิริยาเคมีนั้นได้ ทำการวัดในข้อ 13, 17, 18, 19 เป็นการวัดมโนมติเกี่ยวกับการคำนวณหาปริมาณสารใดสารหนึ่งในปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาพอดีกัน

คำถามข้อที่ 13 ถามว่า เมื่อก๊าซ A_2 ทำปฏิกิริยาพอดีกับก๊าซ B_2 เกิดก๊าซ AB ดังสมการ $A_2(g) + B_2(g) \longrightarrow 2AB(g)$ ถ้าใช้ A_2 และ B_2 อย่างละ 0.5 โมล จะเกิดก๊าซ AB ขึ้นกี่กรัม

คำตอบที่ถูกต้องคือ เท่ากับมวลโมเลกุลของก๊าซ AB และเหตุผลที่ถูกต้องคือ สารผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นจำนวน 1 โมล และสาร 1 โมลมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลของสารนั้น

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 40.2 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 15.2 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

13.1 นักเรียนร้อยละ 18.3 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง แต่ให้เหตุผลผิด โดยนักเรียนกลุ่มนี้ให้เหตุผลว่า มวลที่เกิดขึ้นเท่ากับจำนวนโมลคูณด้วยมวลโมเลกุล

13.2 นักเรียนร้อยละ 13.2 ตอบว่า เท่ากับสองเท่าของมวลโมเลกุลของ AB โดยให้เหตุผลว่าสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาพอดีกัน จำนวนโมลรวมกันเท่ากับ 2 โมล ดังนั้นจึงเกิดผลิตภัณฑ์ขึ้นเป็นสองเท่า

13.3 นักเรียนร้อยละ 11.5 ตอบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเท่ากับสองเท่าของมวลโมเลกุลของ AB โดยให้เหตุผลว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจำนวน 2 โมล ซึ่งเท่ากับสองเท่าของมวลโมเลกุล

ความคลาดเคลื่อนในข้อ 13.1 น่าจะเกิดจากนักเรียนกลุ่มนี้มีความรู้ในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับมวลสาร โดยนักเรียนได้ผ่านการเรียนรู้มาแล้วว่า สารใด ๆ จำนวน 1 โมลมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลของสารนั้น ในขณะเดียวกันนักเรียนจดจำวิธีการใช้สูตรในการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับมวลทราบ โดยนักเรียนรู้ว่า จำนวนโมล = มวล/มวลโมเลกุล ดังนั้นมวลของก๊าซที่เกิดขึ้นจึงหาได้จาก จำนวนโมล x มวลโมเลกุล ความรู้ที่นักเรียนกลุ่มนี้ได้รับน่าจะมาจากพื้นฐานของการจดจำ ไม่ใช่ความเข้าใจ นักเรียนจึงไม่สามารถหาเหตุผลในการตอบคำถามได้ , ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามข้อ 13.2 น่าจะเกิดจากการที่นักเรียนนำความรู้เดิมที่

มีอยู่เกี่ยวกับกฎทรงมวลของสารที่กล่าวว่า มวลของสารก่อนปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสารหลังปฏิกิริยา มาใช้กับความรู้ใหม่ดังนั้นเมื่อสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันพอดีใช้จำนวนโมลเท่ากันจึงย่อมเกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้นจำนวน 2 โมล และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามข้อ 13.3 น่าจะมาจากนักเรียนขาดทักษะในการคำนวณ นักเรียนกลุ่มนี้มีความเข้าใจเบื้องต้นถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับมวลสาร จึงสามารถบอกได้ว่าสารจำนวน 1 โมลมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุล แต่นักเรียนไม่สามารถเทียบได้ว่าสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยานี้มีเพียง 1 โมลเท่านั้นไม่ใช่ 2 โมล

คำถามข้อที่ 17 - 18 ให้ใช้สมการเคมีต่อไปนี้ตอบคำถาม

$CH_4(g)$ + $O_2(g)$ $\longrightarrow$ $CO_2(g)$ + $H_2O(g$

คำถามข้อที่ 17 ถามว่า เมื่อดุลสมการเคมีนี้แล้วพบว่าความสัมพันธ์ในข้อใดถูกต้อง

คำตอบที่ถูกต้องคือ ก๊าซ O_2 และไอน้ำมีปริมาตรเท่ากันที่ STP และเหตุผลที่ถูกต้องคือ ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำเกิดขึ้นมีจำนวนโมลเท่ากันจึงมีปริมาตรเท่ากันที่ STP

จากคำถามในข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 45.6 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 30.7 นักเรียนที่ตอบผิด พบว่า ร้อยละ 12.8 ตอบว่าก๊าซทุกชนิดมีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล ความคลาดเคลื่อนในข้อนี้น่าจะเกิดจากความบกพร่องในการเขียนสมการเคมีของนักเรียน เนื่องจากเมื่อเขียนสมการเคมีแล้วนักเรียนไม่ได้ดุลสมการจึงทำให้สมการเคมีที่เขียนขึ้นจึงเป็นสมการที่ไม่ถูกต้อง เมื่อพิจารณาจากสมการเคมีจึงเห็นว่าสารทุกชนิดในปฏิกิริยานี้มีจำนวนโมลเท่ากันและเท่ากับ 1 โมล นักเรียนจึงตอบว่าก๊าซทุกชนิดมีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล

คำถามข้อที่ 18 ถามว่า เมื่อดุลสมการเคมีนี้แล้วถ้าใช้ก๊าซ CH_4 3.2 กรัม จะเกิดก๊าซ CO_2 กี่ dm^3 ที่ STP

คำตอบที่ถูกต้องคือ 4.48 dm^3 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ ก๊าซ CH_4 3.2 กรัม มีค่า = 0.2โมล ดังนั้นก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.2 โมลด้วย

จากคำถามข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 47.9 เลือกคำตอบได้ถูกต้องและในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 32.1 นักเรียนที่ตอบผิด พบว่า ร้อยละ 11.5 ตอบว่า 22.4 dm^3 โดยให้เหตุผลว่า มีก๊าซ CO_2 เกิดขึ้น 1 โมล จึงมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP ความคลาดเคลื่อนของนักเรียนกลุ่มนี้น่าจะเกิดจากนักเรียนไม่สามารถนำความรู้ที่มีอยู่หรือที่เกิดขึ้นในขณะนั้นไปใช้ประโยชน์ได้ โดยที่นักเรียนกลุ่มนี้บอกความสัมพันธ์ของสารในสมการเคมีได้ นั่นคือ

นักเรียนเข้าใจเบื้องต้นแล้วว่าในสมการเคมี ถ้าใช้ก๊าซ CH_4 1 โมล จะต้องเกิดก๊าซ CO_2 1 โมล ด้วย แต่นักเรียนไม่สามารถแปลความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของสารกับมวลของสารได้ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ

คำถามข้อที่ 19 ถามว่า ปฏิกิริยาเคมีดังนี้ $CaC_2(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow Ca(OH)_2(aq) + C_2H_2(g)$ ถ้าต้องการให้เกิดก๊าซ C_2H_2 จำนวน 3.01×10^{23} โมเลกุล จะต้องใช้ CaC_2 กี่กรัม

คำตอบที่ถูกต้องคือ 32.0 กรัม และเหตุผลที่ถูกต้องคือ จะต้องใช้ CaC_2 0.5 โมล และ มวล = จำนวนโมล x มวลโมเลกุล

จากคำถามในข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 44.9 เลือกคำตอบได้ถูกต้องและในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 21.7 นักเรียนที่ตอบผิดพบว่าร้อยละ 11.7 มีลักษณะของความคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกับข้อ 18

มโนมติที่ 5 ในปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันไม่พอดี จะต้องมีสารใดสารหนึ่งที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อน เรียกสารที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนนี้ว่า สารกำหนดปริมาณ และใช้สารกำหนดปริมาณนี้คำนวณหาปริมาณของสารอื่นในปฏิกิริยาเคมีนั้นได้ ทำการวัดในข้อ 3, 6, 15 เป็นการวัดมโนมติที่เกี่ยวกับความหมายของสารกำหนดปริมาณ และการใช้สารกำหนดในการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาไม่พอดีกัน

คำถามข้อที่ 3 ถามว่า เมื่อนำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต($AgNO_3$) เข้มข้น 1 mol/dm^3 จำนวน 50 cm^3 ทำปฏิกิริยากับสารละลายแบเรียมคลอไรด์($BaCl_2$) เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 20 cm^3 จะได้ตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์(AgCl) จำนวนหนึ่ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้ $2AgNO_3(aq) + BaCl_2(aq) \longrightarrow 2AgCl(aq) + Ba(NO_3)_2(aq)$ สารใดคือสารกำหนดปริมาณ

คำตอบที่ถูกต้องคือ $AgNO_3$ และเหตุผลที่ถูกต้องคือ สารตั้งต้นที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาหมดก่อน

จากคำถามในข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 45.3 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 21.3 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

3.1 นักเรียนร้อยละ 25.3 ตอบว่า สารกำหนดปริมาณคือ $BaCl_2$ ซึ่งเป็นคำตอบที่ผิด แต่นักเรียนกลุ่มนี้ให้เหตุผลได้ถูกต้อง

3.2 นักเรียนร้อยละ 8.4 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง แต่เลือกเหตุผลผิด โดยนักเรียนกลุ่มนี้ให้เหตุผลว่า สารกำหนดปริมาณต้องมีจำนวนโมลเท่ากับสารผลิตภัณฑ์ที่หาปริมาณ

ความคลาดเคลื่อนในข้อ 3.1 น่าจะเกิดจากนักเรียนไม่เข้าใจการคำนวณจากสมการเคมีตามมโนมติที่ 4 แต่นักเรียนกลุ่มนี้เข้าใจความหมายของคำว่าสารกำหนดปริมาณซึ่งหมายถึงสารที่ถูกใช้หมดก่อนในปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นเมื่อนักเรียนพิจารณาจากสมการเคมี นักเรียนพบว่าจำนวนโมลของ $BaCl_2$ น้อยกว่าจำนวนโมลของ $AgNO_3$ จึงคิดว่า $BaCl_2$ ถูกใช้หมดก่อนเพราะมีจำนวนโมลน้อยกว่า โดยไม่ได้มีการเปรียบเทียบจำนวนโมลของสารที่โจทย์กำหนดมาให้ และความคลาดเคลื่อนในข้อ 3.2 น่าจะเกิดจากการที่นักเรียนกลุ่มนี้ไม่เข้าใจความหมายของคำว่าสารกำหนดปริมาณ สังเกตได้จากเหตุผลที่นักเรียนเลือกตอบ นักเรียนเลือกสารกำหนดปริมาณจากจำนวนโมลของสารตั้งต้น คือสารกำหนดปริมาณจะมีจำนวนโมลเท่ากับจำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ที่โจทย์ถาม ซึ่งเหตุผลในลักษณะอย่างนี้ไม่สามารถนำไปใช้เลือกหาคำตอบได้ในสถานการณ์อย่างอื่น เช่น ให้ $AgNO_3$ ทำปฏิกิริยากับ NaCl แล้วเกิดตะกอนขาวของ AgCl ขึ้นมานักเรียนไม่สามารถใช้เหตุผลดังกล่าวเลือกสารกำหนดปริมาณ เพราะสารตั้งต้นทั้งสองชนิดมีจำนวนโมลในสมการเคมีเท่ากัน คือเท่ากับ 1 โมล

คำถามข้อที่ 6 ถามว่า ปฏิกิริยาเคมีดังนี้ $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$ ถ้าใช้ก๊าซ H_2 และ O_2 อย่างละ 11.2 dm^3 ที่ STP ก๊าซทั้งสองทำปฏิกิริยาพอดีกันจะต้องใช้ปริมาตรอย่างละกี่ dm^3 ที่ STP

คำตอบที่ถูกต้องคือ จะต้องใช้ H_2 11.2 dm^3 และ O_2 5.6 dm^3 และเหตุผลที่ถูกต้องคือปริมาตรของก๊าซที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันขึ้นอยู่กับสารกำหนดปริมาณ

จากคำถามในข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 46.7 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 20.6 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

6.1 นักเรียนร้อยละ 11.5 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง แต่เลือกเหตุผลผิด โดยนักเรียนให้เหตุผลว่าปริมาตรของก๊าซที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาตรที่ใส่ลงไปในปฏิกิริยา

6.2 นักเรียนร้อยละ 9.1 ตอบว่า จะต้องใช้ H_2 และ O_2 อย่างละ11.2 dm^3 โดยให้เหตุผลว่าปริมาตรของก๊าซที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจะเท่ากับปริมาตรของก๊าซที่ใส่ลงไปในปฏิกิริยา

6.3 นักเรียนร้อยละ 8.8 ตอบว่า เลือกคำตอบได้ถูกต้อง แต่ให้เหตุผลผิด โดยนักเรียนให้เหตุผลว่าปริมาตรของก๊าซที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจะเท่ากับปริมาตรของก๊าซที่ใส่ลงไปในปฏิกิริยา

ความคลาดเคลื่อนในข้อ 6.1 น่าจะเกิดจากสาเหตุความไม่เข้าใจความหมายของสารกำหนดปริมาณและความสัมพันธ์ของสารในสมการเคมี เหตุผลในการเลือกคำตอบจึงไม่สัมพันธ์กับคำตอบที่นักเรียนเลือก หรืออาจจะเกิดจากการเดาคำตอบมากกว่าความเข้าใจมโนมติที่ศึกษา,

ความคลาดเคลื่อนในข้อ 6.2 น่าจะเกิดจากเหตุผลเดียวกันกับข้อ 3.1 และความคลาดเคลื่อนในข้อ 6.3 น่าจะเกิดจากเหตุผลเดียวกันกับ 6.1 เนื่องจากถ้านักเรียนใช้เหตุผลดังกล่าว คำตอบของนักเรียนที่ได้ ปริมาตรของก๊าซออกซิเจนควรจะเป็น 11.2 dm^3 ไม่ใช่ 5.6 dm^3

คำถามข้อที่ 15 ถามว่า ปฏิกิริยาเคมีดังนี้ H_2SO_4(aq) + $Ba(OH)_2$(aq) $\longrightarrow$ $BaSO_4$(aq) + H_2O(l) เมื่อนำกรดซัลฟิวริก(H_2SO_4) เข้มข้น 1 mol/dm^3 จำนวน 100 cm^3 ทำปฏิกิริยากับสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์($Ba(OH)_2$) เข้มข้น 0.5 mol/dm^3 จำนวน 100 cm^3 จะเกิดตะกอนสีขาวของ $BaSO_4$ กี่กรัม

คำตอบที่ถูกต้องคือ 11.65 กรัม และเหตุผลที่ถูกต้องคือมวลของ $BaSO_4$ที่เกิดขึ้นคิดจากจำนวนโมลของ H_2SO_4 ซึ่งถูกใช้หมดไป

จากคำถามในข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 39.3 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 30.9 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

15.1 นักเรียนร้อยละ 9.5 ตอบว่า เกิดตะกอนสีขาวของ $BaSO_4$ 233.0 กรัม โดยให้เหตุผลในการตอบว่า $BaSO_4$ เกิดขึ้น 1 โมล จึงมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุล

15.2 นักเรียนร้อยละ 9.1 ตอบว่า เกิดตะกอนสีขาวของ $BaSO_4$ 233.0 กรัม โดยให้เหตุผลในการตอบว่ามวลของ $BaSO_4$ ที่เกิดขึ้นคิดจากจำนวนโมลของ H_2SO_4 ซึ่งถูกใช้หมดไป

ความคลาดเคลื่อนในข้อ 15.1 น่าจะเกิดจากนักเรียนไม่เข้าใจความหมายของสารกำหนดปริมาณจึงไม่สามารถนำสารกำหนดปริมาณไปใช้ในการคำนวณได้ การเลือกคำตอบของนักเรียนในข้อนี้ คาดว่านักเรียนเลือกจากความสัมพันธ์ของสารในสมการเคมีซึ่งคิดว่านักเรียนมีความเข้าใจในเรื่องนี้ จึงสามารถบอกได้ว่าจากสมการเคมีที่กำหนดให้มี $BaSO_4$ เกิดขึ้นจำนวน 1 โมล ซึ่งนักเรียนยังเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับมวลของสารจึงสามารถบอกได้ว่า $BaSO_4$ ที่เกิดขึ้นจำนวน 1 โมลมีมวลเท่ากับ 233.0 กรัมซึ่งเป็นค่ามวลโมเลกุลของสารนี้ และความคลาดเคลื่อนในข้อ 15.2 น่าจะเกิดจากเหตุผลเดียวกันกับ 15.1 แต่การที่นักเรียนกลุ่มนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องอาจจะเป็นเพราะแบบทดสอบเป็นชนิดเลือกตอบนักเรียนจึงมีโอกาสเดาสุ่มได้ซึ่งการเดาสุ่มมีผลอาจจะผิดหรือถูกก็ได้

มโนมติที่ 6 ผลที่ได้ตามทฤษฎีเป็นค่าปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้จากสมการเคมี และผลที่ได้จริงเป็นปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้ตามทฤษฎี ทำการวัดในข้อ 7, 10 เป็นการวัดมโนมติเกี่ยวกับความหมายของคำว่า “ผลที่ได้จริง” และ “ผลที่ได้ตามทฤษฎี”

คำถามข้อที่ 7 ถามว่า ภายหลังจากที่ครูทดลองเตรียมตะกอนสีเหลืองของเลด(II)ไอโอไดด์ ได้แล้วและให้นักเรียนคำนวณหามวลของตะกอนนี้โดยครูกำหนดสมการเคมีมาให้ ปรากฏว่ามีมวลเท่ากับ 1.25 กรัม มวลที่ได้นี้เรียกว่าอะไร

คำตอบที่ถูกต้องคือ ผลที่ได้ตามทฤษฎี และเหตุผลที่ถูกต้องคือ ผลที่ได้จากการคำนวณเรียกว่าผลที่ได้ตามทฤษฎี

จากคำถามในข้อนี้พบว่า นักเรียนร้อยละ 45.6 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 33.8 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

7.1 นักเรียนร้อยละ 11.4 ตอบว่า ผลที่ได้จริง โดยให้เหตุผลว่า เป็นมวลที่ได้จากการทดลอง

7.2 นักเรียนร้อยละ 10.8 ตอบว่า สรุปผลไม่ได้ โดยให้เหตุผลว่าไม่สามารสรุปผลได้เนื่องจากไม่มีมวลเปรียบเทียบ

ความคลาดเคลื่อนข้อ 7.1 น่าจะเกิดจากสาเหตุนักเรียนมีความสับสนระหว่างคำว่าผลที่ได้จริง และผลที่ได้ตามทฤษฎี โดยนักเรียนอาจจะคิดว่า ผลที่ได้ตามทฤษฎีเป็นผลที่ได้จากการทดลอง เพราะเมื่อทำการทดลองเรื่องใดแล้วมีเหตุผลที่ยอมรับได้ว่าเป็นสิ่งที่ถูกต้องจึงเอาที่ได้นั้นมาสรุปเป็นทฤษฎี อีกอย่างหนึ่งมโนมติเกี่ยวกับความหมายของสองคำนี้ เป็นมโนมติใหม่ซึ่งนักเรียนอาจจะเรียนรู้จากการท่องจำ จึงทำให้การรับรู้มโนมตินี้ไม่คงทนถาวร ส่วนความคลาดเคลื่อนข้อ 7.2 น่าจะเกิดจากไม่เข้าใจความหมายของผลที่ได้จริง และผลที่ได้ตามทฤษฎีหรืออาจจะเข้าใจในขณะที่เรียนเพราะเกิดจากการจดจำความหมายในเวลานั้นเช่นเดียวกับ 7.1

คำถามข้อที่ 10 ถามว่า นักเคมีผู้หนึ่งทำการทดลองหาปริมาณของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีโดยการชั่งหามวลได้เท่ากับ 10.50 กรัม แต่เมื่อเขาคำนวณหาปริมาณของสารนี้จากสมการเคมีพบว่ามีมวลเท่ากับ 12.48 กรัม ข้อใดสรุปได้ถูกต้อง

คำตอบที่ถูกต้องคือ ผลที่ได้จริงเท่ากับ 10.50 และผลที่ได้ตามทฤษฎีเท่ากับ 12.48 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ ผลที่ได้จริงเป็นผลที่ได้จากการทดลองส่วนผลที่ได้ตามทฤษฎีเป็นผลจากการคำนวณ

จากคำถามในข้อนี้ พบว่านักเรียนเลือกคำตอบได้ถูกต้องร้อยละ 75.0 และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้อง 53.1 นักเรียนที่ตอบผิดร้อยละ 10.8 สามารถเลือกคำตอบได้ถูกต้องแต่เลือกเหตุผลผิด โดยนักเรียนกลุ่มนี้ให้เหตุผลว่าผลที่ได้จริงมีปริมาณมากกว่าผลที่ได้ตามทฤษฎีเนื่องจากมีสิ่งปลอมปนระหว่างการทดลอง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในข้อนี้น่าจะเกิดจากเหตุผลเดียวกันกับ 7.1

คำถามข้อนี้นักเรียนสามารถตอบได้ถูกต้องร้อยละ 53.1 ซึ่งมากกว่าคำถามในข้ออื่น ๆ ทุกข้อ เมื่อพิจารณาจากคำตอบที่ให้นักเรียนเลือกตอบ พบว่า คำถามข้อนี้มีตัวเลือกที่เป็นคำตอบเพียง 2 ตัวเลือกเท่านั้น ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้นักเรียนเลือกคำตอบได้ถูกต้องมีเปอร์เซนต์ที่สูง แต่เมื่อพิจารณาจากคำถามจะเห็นได้ว่า คำถามข้อนี้เป็นการถามมโนมติเพียงชั้นเดียว นักเรียนที่มีมโนมติถูกต้องในเรื่องนี้สามารถจะหาคำตอบได้ทันที ถึงแม้ว่าจะเพิ่มจำนวนตัวเลือกให้มากกว่า 2 ตัวเลือก ก็ไม่น่าจะมีผลต่อการตอบของนักเรียนถ้านักเรียนมีมโนมติจริง

มโนมติที่ 7 ร้อยละของผลที่ได้ หาได้จากผลที่ได้จริงต่อผลที่ได้ตามทฤษฎีคูณด้วย 100 ทำการวัดในข้อ 4, 12 เป็นการวัดมโนมติเกี่ยวกับการคำนวณหาค่าร้อยละของผลที่ได้

คำถามข้อที่ 4 ถามว่า ในการหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาพบว่า มีผลที่ได้จริง 20.25 กรัม และผลที่ได้ตามทฤษฎี 15.20 กรัม ร้อยละของผลที่ได้มีค่าเท่าใด

คำตอบที่ถูกต้องคือ 133.20 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ ร้อยละของผลที่ได้ เท่ากับ (มวลจากการทดลอง/มวลจากการคำนวณ)x100

จากคำถามในข้อนี้ พบว่า นักเรียนร้อยละ 50.3 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 31.4 นักเรียนที่ตอบผิดมีลักษณะดังนี้

4.1 นักเรียนร้อยละ 12.1 สามารถเลือกคำตอบได้ถูกต้อง แต่ให้เหตุผลผิด โดยนักเรียนกลุ่มนี้ให้เหตุผลว่า ค่าร้อยละของผลที่ได้คืออัตราส่วนระหว่างมวลของสารที่ได้จากการคำนวณต่อมวลของสารที่ได้จากการทดลองคูณด้วย 100

4.2 นักเรียนร้อยละ 10.8 ตอบว่า ร้อยละของผลที่ได้เท่ากับ 75.06 โดยให้เหตุผลเช่นเดียวกับ 4.1

ความคลาดเคลื่อนของนักเรียนในข้อ 4.1 และ 4.2 น่าจะเกิดจากนักเรียนมีมโนมติที่ 6 คลาดเคลื่อนจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในคำถามข้อนี้ เพราะคำตอบในข้อนี้จะต้องใช้ความรู้จากมโนมติที่ 6 ในการตอบคำถาม และร้อยละของนักเรียนที่ตอบถูกในข้อนี้ใกล้เคียงกับร้อยละของนักเรียนที่ตอบถูกในมโนมติที่ 6

คำถามข้อ 12 ถามว่า กำหนดให้ X มวลของสารที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก และ Y มวลของสารที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นร้อยละของผลที่ได้คือความสัมพันธ์ในข้อใด

คำตอบที่ถูกต้องคือ (X/Y) x 100 และเหตุผลที่ถูกต้องคือ (ผลที่ได้จริง/ผลที่ได้ตามทฤษฎี)x100

จากคำถามในข้อนี้พบว่า นักเรียนร้อยละ 49.1 เลือกคำตอบได้ถูกต้อง และในจำนวนนี้เลือกเหตุผลได้ถูกต้องร้อยละ 42.6 นักเรียนที่ตอบผิดพบว่า ร้อยละ 29.8 ตอบผิดทั้งส่วนคำตอบและเหตุผล ความคลาดเคลื่อนของนักเรียนกลุ่มนี้เกิดจากเหตุผลเดียวกันกับ 4.1 และ 4.2 ซึ่งสิ่งที่สอดคล้องกันคือร้อยละของนักเรียนที่ตอบถูกในข้อ 4 และ 12 ใกล้เคียงกันมากซึ่งน่าจะเป็นนักเรียนกลุ่มเดียวกัน

จากการศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีพบว่า นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในลักษณะต่าง ๆ ทุกมโนมติที่ศึกษา ซึ่งผู้วิจัยพอจะสรุปสาเหตุการมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้ดังนี้

1. มโนมติที่คลาดเคลื่อนเกิดจากกระบวนการคิดและการเชื่อมโยงความคิดไม่ถูกต้อง เช่น คำถามเกี่ยวกับหน่วยความเข้มข้นของสารละลายที่เป็น mol/dm^3 นักเรียนมีความเข้าใจว่าหมายถึงหน่วยที่บอกปริมาณตัวถูกละลายเป็นโมลที่มีอยู่ในตัวทำละลาย 1 dm^3 ซึ่งเป็นความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน มโนมติที่ถูกต้องคือ หน่วยที่บอกปริมาณตัวถูกละลายเป็นโมลที่มีอยู่ในสารละลาย 1 dm^3 อาจกล่าวได้ว่าสาเหตุของการเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนในลักษณะนี้ เพราะนักเรียนมีความเข้าใจว่าสารละลายประกอบด้วยตัวถูกละลายและตัวทำละลาย ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายจึงเป็นการบอกปริมาณของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในตัวทำละลายตามความหมายของสารละลาย นั่นคือนักเรียนนำมโนมติใหม่ที่ได้รับไปสัมพันธ์กับความคิดและประสบการณ์เดิมที่มีอยู่ เป็นความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันได้อย่างมีเหตุมีผล ทำให้นักเรียนคิดว่าเป็นมโนมติที่ถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ ไพนส์ และ เวสท์ (Pines and West อ้างถึงใน ฉันทนา เชาว์ปรีชา, 2532 : 25-26) ที่กล่าวว่า มโนมติที่คลาดเคลื่อนอาจเกิดจากสถานการณ์ที่สอดคล้องกัน เช่น การขยายคำไปสู่ความหมายใหม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหมายของคำ ซึ่งมีผลทำให้เกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้

2. มโนมติที่คลาดเคลื่อนเกิดจาก มโนมติที่ประกอบด้วยหลายมโนมติมาประกอบกันและเป็นมโนมติที่เป็นนามธรรม เช่น ให้นักเรียนหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล มวล อนุภาค และปริมาตรของก๊าซที่ STP ในเรื่องนี้นักเรียนมีความเข้าใจว่า สารใด ๆ ก็ตามจำนวน 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP ซึ่งคำว่าสารใด ๆ ในที่นี้ นักเรียนหมายถึง สารที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ แต่มโนมติที่ถูกต้องสารหมายถึงก๊าซเท่านั้น จำนวน 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP และ นักเรียนมีความเข้าใจว่า สารต่าง ๆ ในสมการเคมีจำนวน 1 โมลจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 1 โมเลกุล ซึ่งมโนมติที่ถูกต้องสารจำนวน 1 โมลมีจำนวนเท่ากับ

6.02×10^{23} โมเลกุล การที่นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนดังกล่าว อาจเป็นเพราะเรื่องเหล่านั้นเป็นมโนมติที่เป็นนามธรรมซึ่งผู้เรียนไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัส การเรียนรู้สิ่งเหล่านี้จึงต้องอาศัยการจินตนาการทำให้เป็นการเรียนรู้ที่ยาก ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ ปรีชา วงศ์ชูศิริ (2525 : 247-248) ที่กล่าวว่า มโนมติที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคเล็ก ๆ เช่น โมล, โมเลกุล ......เป็นมโนมติที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นโดยอาศัยจินตนาการไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสจึงอาจยากต่อการทำความเข้าใจ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับความเห็นของคณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ของทบวงมหาวิทยาลัย (2525 : 31) กล่าวว่า...........การเรียนรู้เริ่มต้นจากการสัมผัสรับรู้ประสบการณ์ต่าง ๆ เป็นเรื่องแรก ดังนั้นเมื่อมโนมติที่นักเรียนรับรู้เป็นนามธรรมจึงไม่สามารถเรียนรู้ได้จากการสัมผัสต้องอาศัยจินตนาการ บางครั้งจึงทำให้ผู้เรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับคำกล่าวของ ฟิชเชอร์ (Fisher, 1985 : 54) ซึ่งกล่าวว่า สาเหตุของการเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อน.......อาจเกิดจากนักเรียนไม่สามารถได้รับประสบการณ์ตรงในเนื้อหาวิชานั้น แต่ต้องอาศัยจินตนาการ...จึงนำไปสู่การเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ และสุวิมล เขี้ยวแก้ว (2540 : 55-56) ได้สรุปเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อมโนมติที่คลาดเคลื่อนไว้ประการหนึ่งว่า.....มโนมติที่คลาดเคลื่อนเกิดจากการพัฒนาแนวความคิดและสติปัญญาตามทฤษฎีของ เพียเจต์ ซึ่งถ้าพัฒนาไม่ถึงขั้น Formal Operational stage ก็จะทำให้ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางมโนมติยาก เช่นการคำนวณเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ นักเรียนต้องสนใจตัวแปร 3 ตัว คือ มวล มวลต่อโมล และจำนวนโมล นักเรียนบางคนไม่สามารถจัดการกับตัวแปร 3 ตัวในเวลาเดียวกันได้ จึงไม่สามารที่จะทำโจทย์คำนวณเกี่ยวกับเรื่องนี้ได้ ความสามารถในการสนใจกับตัวแปร 3 ตัวในเวลาเดียวกันเป็นความสามารถของเด็กในระดับความคิดในสิ่งที่เป็นนามธรรม

3. มโนมติที่คลาดเคลื่อนเกิดจากการเชื่อมโยงมโนมติเดิมกับมโนมติใหม่ที่ศึกษาไม่ถูกต้อง เช่น นักเรียนเข้าใจความหมายของสารละลาย แต่นักเรียนไม่สามารถนำมโนมตินั้นมาใช้แก้ปัญหาโจทย์เกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลายได้ หรือ นักเรียนเข้าใจความหมายของสารกำหนดปริมาณในปฏิกิริยาเคมี แต่นักเรียนไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาโจทย์เกี่ยวกับการหาสารกำหนดปริมาณในสมการเคมีได้ นั่นคือนักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงมโนมติเดิมที่ได้รับมาแล้วกับมโนมติใหม่ที่กำลังศึกษาได้ จึงทำให้เกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนดังข้อเสนอแนะของ สมจิต สวธนไพบูลย์ (ม.ป.ป. : 62) กล่าวเสนอแนะในการสอนมโนมติไว้ว่า....การเรียนการสอนเพื่อให้เกิดมโนมตินั้น ผู้เรียนจะต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง จะช่วยเชื่อมโยงความรู้หรือแนว

ความคิดเดิมกับมโนมติใหม่ได้ ถ้ามโนมติเดิมแจ่มชัดถูกต้องจะช่วยให้การเรียนรู้มโนมติใหม่สะดวกและง่ายเข้า แต่ถ้านักเรียนมีมโนมติเดิมคลาดเคลื่อนอยู่แล้วก็จะทำให้การเชื่อมโยงกับมโนมติคลาดเคลื่อน

4. มโนมติที่คลาดเคลื่อนเกิดจากความสับสนในการเรียนรู้ หรือ การรับรู้คำที่มีลักษณะคล้าย ๆ กัน เช่น คำว่า “ผลที่ได้จริง” กับ “ผลที่ได้ตามทฤษฎี” ซึ่งนักเรียนไม่สามารถแยกลักษณะที่แตกต่างของคำ หรือ ภาษาที่ใช้ได้ ทำให้นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ สุวัฒน์ มุทธเมธา (2523 : 57) ที่กล่าวถึงสาเหตุของการเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนไว้ว่า การสร้างมโนมติของบุคคลแต่ละคน เป็นผลจากการที่บุคคลนั้นสรุปลักษณะเฉพาะของสิ่งนั้น......ตลอดจนแยกลักษณะที่แตกต่างของสิ่งนั้นออกจากสิ่งอื่นได้ ดังนั้นการที่บุคคลไม่สามารถแยกลักษณะแตกต่างได้ทำให้เกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อน และยังสอดคล้องกับ สุวิมล เขี้ยวแก้ว (Suwimon Kiokaew, 1989 : 15-18) ซึ่งได้สรุปเกี่ยวกับการเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนไว้ว่า น่าจะมาจากสาเหตุ 4 ประการ คือ ตำราเรียน การพัฒนาการทางด้านสติปัญญาของนักเรียน ภาษาที่ใช้ในการสื่อสาร

5. มโนมติที่คลาดเคลื่อนเกิดจากเนื้อหาวิชาที่นักเรียนศึกษา เช่น เนื้อหาเป็นนามธรรม เนื้อหาค่อนข้างยาก เนื้อหาเป็นการคำนวณ ซึ่งมโนมติที่นำมาศึกษาวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับการคำนวณ ทำให้นักเรียนขาดแรงจูงใจในการทำโจทย์ เพราะนักเรียนมักจะมีความเชื่อว่าเนื้อหาการคำนวณเป็นเรื่องยาก โดยเฉพาะการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรหลายตัว นักเรียนจะต้องฝึกฝนให้ชำนาญจึงจะเกิดมโนมติที่ถูกต้องได้ ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ (2525 : 1) ซึ่งกล่าวว่า นักเรียน นักศึกษาเป็นจำนวนมากมักประสบปัญหาการทำโจทย์เคมี โดยเฉพาะประเภทคำนวณซึ่งเป็นอุปสรรคอย่างยิ่งในการเรียนรู้พื้นฐานวิชาเคมี

6. มโนมติที่คลาดเคลื่อนเกิดจากวิธีการสอนของครู ครูยังคงใช้วิธีการสอนแบบบรรยายเป็นหลัก ไม่เน้นการทดลอง หรือให้นักเรียนฝึกทักษะในการคิดคำนวณโดยการทำตามแบบตามตัวอย่างที่ครูกำหนดให้เป็นการย้ำคิดย้ำทำให้นักเรียนทำบ่อย ๆ จึงเกิดความชำนาญในการทำโจทย์ความรู้ที่นักเรียนได้รับเกิดจากการจำวิธีการคิดมากกว่าการเข้าใจมโนมติที่ศึกษา ซึ่งวิธีการสอนแบบนี้เป็นสาเหตุให้เกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ง่าย ดังคำกล่าวของคณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ของทบวงมหาวิทยาลัย (2525 : 31-32) ที่กล่าวว่า วิธีการสอนบางวิธี เช่น การสอนแบบบรรยายควรนำมาใช้ให้น้อยที่สุด เพราะวิธีสอนแบบนี้จะทำให้

นักเรียนเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ง่าย และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของแบซิลิ และ แซนฟอร์ด (Basili and Sanford, 1991 : 293-304) พบว่าวิธีการสอนโดยใช้กรอบมโนมตินักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนต่ำกว่าวิธีการสอนแบบบรรยาย โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศุภลักษณ์ ทองสนธ์ (2536 : บทคัดย่อ) ซึ่งพบว่านักเรียนที่ได้รับการสอนโดยการจัดกรอบมโนมติ ทำให้มโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีของนักเรียนลดลงได้มากกว่าการใช้วิธีการสอนแบบบรรยาย

2. ผลการเปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนจำแนกตามเพศ

จากผลการวิจัยโดยภาพรวมเปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมี ระหว่างนักเรียนชายและนักเรียนหญิงชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในโรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดกรมสามัญศึกษา จังหวัดชุมพร พบว่า นักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันในทุกมโนมติที่ศึกษา แต่แนวโน้มมโนมติที่คลาดเคลื่อนพบว่านักเรียนหญิงมีมากกว่านักเรียนชาย ($\overline{X}$ ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนหญิง = .2651 และ $\overline{X}$ **ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน**ของนักเรียนชาย = .2846) โดยที่บางมโนมตินักเรียนชายเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนหญิง คือมโนมติที่ 3, 4 และ 5 บางมโนมตินักเรียนหญิงเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนชาย คือมโนมติที่ 1, 2, 6 และ 7 การที่นักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนเช่นนี้น่าจะขึ้นอยู่กับความตั้งใจ ความเอาใจใส่ในการศึกษา ความละเอียดรอบคอบในกระบวนการคิด ซึ่งโดยปกตินักเรียนหญิงจะมีมากกว่านักเรียนชายจึงทำให้นักเรียนหญิงมีโอกาสเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้น้อยกว่านักเรียนชาย อย่างไรก็ตามบางมโนมติค่อนข้างยาก ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชายและนักเรียนหญิงค่อนข้างต่ำ เช่นมโนมติที่ 5 ($\overline{X}$ ของนักเรียนชาย = .1897, $\overline{X}$ ของนักเรียนหญิง = .1988) ซึ่งมโนมตินี้นักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีโอกาสจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้เท่า ๆ กัน ไม่ว่าจะเป็นนักเรียนที่เก่งมาก หรือน้อย จึงทำให้นักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันซึ่งผลวิจัยที่ผ่านมาของบุคคลอื่นก็ยังหาข้อสรุปที่แน่ชัดไม่ได้ เช่น งานวิจัยของ ไกรรักษ์ โชติรัตน์ (2533 : 127) ที่พบว่านักเรียนชายมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์เรื่องไฟฟ้าได้มากกว่านักเรียนหญิง และงานวิจัยของ นภาพร แถวโนนงิ้ว (2537 : บทคัดย่อ) พบว่านักเรียนหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์เรื่องโลกสีเขียวมากกว่านักเรียนชาย การที่นักเรียนหญิงและนักเรียนชายมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์ดังกล่าวไม่แตกต่างกัน น่าจะเป็นเพราะในปัจจุบันนักเรียนหญิงและนักเรียนชายมีความสนใจที่จะศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์

มากพอ ๆ กัน เป็นผลทำให้มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฐิติมา สุขภิมนตรี (2531 : บทคัดย่อ) ศึกษาเกี่ยวกับมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา พบว่านักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยาไม่แตกต่างกัน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวิมล เขี้ยวแก้ว (Kiokaew, 1989 : Abstract) นักศึกษาชายและนักศึกษาหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องพันธะเคมีและโครงสร้างโมเลกุลไม่แตกต่างกัน และงานวิจัยของ วนิดา มณีวรรณ (2533 : บทคัดย่อ) ศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ พบว่านักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกัน

3. ผลการเปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนจำแนกตามระดับชั้น

จากผลการวิจัยโดยภาพรวมเปรียบเทียบมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมี ระหว่างนักเรียนที่ศึกษาอยู่ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และปีที่ 6 ในโรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดกรมสามัญศึกษา จังหวัดชุมพร พบว่า นักเรียนที่ศึกษาอยู่ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (ม.5) และปีที่ 6 (ม.6) มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้น ม. 6 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้น ม.5 ($\bar{X}$ **ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน**ของนักเรียนชั้น ม.5 = .3392 และ $\bar{X}$ **ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน**ของนักเรียนชั้น ม.6 = .2380) อาจเนื่องมาจากนักเรียนชั้น ม.6 ได้เรียนรู้เรื่องต่าง ๆ ก่อนนักเรียนชั้น ม.5 และมโนมติที่นักเรียนได้รับอาจจะเกิดจากการจดจำมโนมติเหล่านั้น จึงไม่มีความคงทนเมื่อเวลาผ่านไปทำให้ลืมลงเป็นสาเหตุให้เกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้มากกว่านักเรียนชั้น ม.5 นั่นคือระยะเวลาในการศึกษามโนมติอาจจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้นักเรียนชั้น ม.6 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนชั้น ม.5 เนื่องจากนักเรียนชั้น ม.6 ได้เรียนรู้มโนมติเหล่านี้มาก่อน แต่ไม่สามารถสร้างให้เป็นมโนมติที่คงทนถาวรได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อาร์นัวดิน และ มินทซ์ (Arnaudin and Mintzes, 1985 : 732) พบว่ามโนมติที่คลาดเคลื่อนบางอย่างอาจจะพบได้ในผู้ที่ได้รับการศึกษาในระดับสูงได้เช่นกัน

เมื่อพิจารณาแต่ละรายมโนมติ พบว่ามโนมติที่นักเรียนระดับชั้น ม.5 และ ม.6 มีความคลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันคือมโนมติที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งเกี่ยวข้องกับความหมายความเข้มข้นของสารละลาย การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย และการหาความสัมพันธ์ของปริมาณสารในสมการเคมี มโนมติเหล่านี้เป็นมโนมติใหม่ บางมโนมติต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเดิมมาสร้างมโนมติใหม่ ดังนั้นการที่นักเรียนทั้งสองระดับมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันน่าจะเกิดจากความรู้พื้นฐานเดิมของนักเรียนทั้งสองระดับใกล้เคียงกัน อีกทั้งนักเรียนทั้งสองระดับ

มีอายุเฉลี่ยแตกต่างกันไม่มากนักการพัฒนาแนวความคิดและสติปัญญาตามทฤษฎีของ เพียเจต์ ความคิดจึงน่าจะมีในระดับใกล้เคียงกัน สุวิมล เขี้ยวแก้ว (2540 : 55-56) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชมิดท์ (Schmidt, 1997 : 123) ศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในประเทศเยอรมัน โดยกลุ่มประชากรเป็นนักเรียนเกรด 11, 12 และ 13 พบว่านักเรียนทั้งสามระดับมีความคลาดเคลื่อนเหมือนกันใน 4 เรื่อง คือไอโซเมอริซึม, ออกซิเจนในปฏิกิริยารีดอกซ์ , ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส และคู่กรดเบส

สำหรับมโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนชั้น ม.5 และ ม.6 ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีจำนวน 1 มโนมติ คือมโนมติที่ 5 และมโนมติที่คลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีจำนวน 3 มโนมติ คือมโนมติที่ 4, 6 และ 7 นั่นคือนักเรียนที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นต่างกันมีผลทำให้เกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนแตกต่างกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากอายุของนักเรียน ระยะเวลาที่นักเรียนได้เรียนรู้มโนมติเดียวกันต่างกัน ผลการวิจัยกรณีนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของพีเทอร์สัน และ ทรีกัสท์ (Peterson and Treagust, 1989 : 301-314) ที่ได้สำรวจมโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีเรื่องพันธะโคเวเลนต์และโครงสร้างโมเลกุลของนักเรียนเกรด 11 และ 12 พบว่านักเรียนเกรด 11 และ 12 มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนแตกต่างกัน

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากผลการวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนมัธยมศึกษาสังกัดกรมสามัญศึกษา จังหวัดชุมพร มีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาการเรียนการสอนวิชาเคมี ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1.1 มโนมติที่ครูผู้สอนควรเน้นให้นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องมากขึ้นคือมโนมติที่ 2 ซึ่งเป็นมโนมติที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย mol/dm^3 และมโนมติที่ 3 เป็นมโนมติที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างสารต่าง ๆ ในสมการเคมี ได้แก่ โมล มวล อนุภาค และปริมาตรของก๊าซที่ STP เนื่องจากผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนใน มโนมติที่ 2 และ 3 จำนวนค่อนข้างสูง คือร้อยละ 77.9 และ 77.6 ตามลำดับ ซึ่งมโนมติทั้งสองเป็นมโนมติพื้นฐานที่นักเรียนจะต้องนำไปใช้ในการคำนวณทางเคมี ในระดับสูงต่อไป ครูผู้สอนควรแนะนำให้

นักเรียนสามารถบอกความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ถูกต้อง อาจจะทำโดยให้นักเรียนฝึกคิดบ่อย ๆ โดยการทำแบบทดสอบชนิดเขียนตอบและเฉลยคำตอบพร้อมทั้งบอกเหตุผลในห้องเรียน เพื่อนักเรียนจะได้ทราบว่าตนเองมีความบกพร่องในเรื่องใดบ้าง อย่างไร หรืออาจจะใช้สื่อการสอนประเภทเกมส์ โดยให้นักเรียนร่วมกันเล่นเกมส์ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องเหล่านี้โดยครูเป็นผู้แนะนำจนเกิดความเข้าใจและมีทักษะในการคิดที่ถูกต้อง

1.2 การสอนนักเรียนหญิงและนักเรียนชาย ครูผู้สอนควรเอาใจใส่ดูแล แนะนำนักเรียนทั้งหญิงและชายให้มีความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องอย่างเสมอภาคเนื่องจากนักเรียนหญิงและนักเรียนชายมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันในทุกมโนมติ โดยนักเรียนหญิงครูผู้สอนควรเน้นเป็นพิเศษในมโนมติที่ 2 ดังข้อเสนอแนะข้อ 1.1 และมโนมติที่ 5 คือมโนมติที่เกี่ยวกับการใช้สารกำหนดปริมาณคำนวณหาปริมาณสารอื่นในสมการเคมี ครูผู้สอนต้องเน้นให้นักเรียนเข้าใจว่าสารกำหนดปริมาณคือสารที่ถูกใช้หมดไปในปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารที่จะต้องนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณสารอื่นในสมการเคมี โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้อเสนอแนะข้อ 1.1 เนื่องจากนักเรียนหญิงมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในมโนมติที่ 2 และ 5 ค่อนข้างต่ำ คือ .1823 และ .1988 ตามลำดับ ส่วนนักเรียนชายการสอนควรเน้นเป็นพิเศษในมโนมติที่ 3 ดังข้อเสนอแนะข้อ 1.1 มโนมติที่ 4 คือมโนมติที่เกี่ยวกับการคำนวณหาปริมาณสารในสมการเคมีเมื่อทราบปริมาณของสารใดสารหนึ่งในสมการเคมีนั้น โดยผู้สอนจะต้องแนะนำให้นักเรียนฝึกหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่โจทย์กำหนดให้กับสิ่งที่โจทย์ถามให้เข้าใจแล้วจึงนำไปใช้ในการคำนวณ และมโนมติที่ 5 ดังข้อเสนอแนะเช่นเดียวกับนักเรียนหญิง เนื่องจากนักเรียนชายมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในมโนมติที่ 3, 4 และ 5 ค่อนข้างต่ำ คือ .1897, .1824 และ .1897 ตามลำดับ

1.3 นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในชั้น ม.5 และ ม.6 ควรได้รับการแก้ไขในทุกมโนมติที่ศึกษาให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงและหมดไปในที่สุด เนื่องจากนักเรียนทั้งสองระดับชั้นมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในทุกมโนมติที่ได้ศึกษามาแล้ว โดยที่นักเรียนชั้น ม.5 ควรเน้นเป็นพิเศษในมโนมติที่ 3 และ 5 เช่นเดียวกับข้อเสนอแนะข้อ 1.1 และ 1.2 เนื่องจากนักเรียนชั้น ม.5 มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในมโนมติที่ 3 และ 5 ค่อนข้างต่ำและเท่ากัน คือ .2397 ส่วนนักเรียนชั้น ม. 6 ผู้สอนควรแนะนำให้แก้ไขและเน้นเป็นพิเศษในมโนมติที่ 3, 4 และ 5 ดังข้อเสนอแนะข้อ 1.1 และ 1.2 เนื่องจากนักเรียนชั้น ม 6 มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในมโนมติที่ 3, 4 และ 5 ค่อนข้างต่ำ คือ .1700, .1496 และ 1428 ตามลำดับ

1.4 ครูผู้สอนควรทบทวนดูว่าตนเองมีความเข้าใจในมโนมติที่ให้นักเรียนศึกษาเพียงใด หากพบว่าตนเองมีความบกพร่อง อาจจะแก้ไขได้โดยการทบทวนเนื้อหาวิชาที่สอนให้เข้าใจชัดเจนในเนื้อหารายวิชานั้น จะต้องเตรียมการสอนโดยการทำแผนการสอนและเป็นแผนการสอนที่ยึดผู้เรียนเป็นสำคัญจะทำให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนการสอน มีการสร้างสื่อการเรียนการสอนที่น่าสนใจ เร้าใจทำให้นักเรียนมีความต้องการอยากเรียนรู้ มากขึ้น เช่น สื่อประเภทเกมส์ สื่อ CAI สื่อประเภทแบบจำลอง เป็นต้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษา วิจัย เรื่องเดียวกันนี้กับนักเรียนทั่วทุกเขตการศึกษา เพื่อตรวจสอบดูว่า นักเรียนที่ศึกษาอยู่ในแต่ละเขตการศึกษามีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องเหล่านี้หรือไม่มากน้อยเพียงใด

2.2 ควรทำการศึกษา วิจัย ในระดับชั้นเรียนให้มาก เพื่อจะได้นำผลการวิจัยไปปรับปรุง พัฒนาการเรียนการสอนในชั้นเรียน จะช่วยให้มโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนลดลงได้

2.3 ในการศึกษา วิจัย เกี่ยวกับมโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในวิชาต่าง ๆ ควรใช้วิธีการสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมนอกเหนือจากการทำแบบทดสอบ

2.4 ควรศึกษา วิจัย มโนมติอื่น ๆ ในวิชาเคมีต่อไปอีกเพื่อนำผลการวิจัยมาเผยแพร่และพัฒนาการเรียนการสอน