แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเพื่อสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการตกตะกอน ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย สารกำหนดปริมาณ การสร้างชุดทดลองหรืออุปกรณ์การทดลอง การสอนแบบทดลอง การตกตะกอน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแสดงรายละเอียดแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

1. สารกำหนดปริมาณ
2. สภาพการละลายได้ของสาร
3. การตกตะกอน
4. แรงเชื่อมแน่นและแรงยึดติด
5. การสร้างชุดทดลองหรืออุปกรณ์การทดลอง
6. การสอนแบบทดลอง
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารกำหนดปริมาณ

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมีจะมีมากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ซึ่งถ้าสารตั้งต้นมีปริมาณที่ไม่พอดีกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสิ้นสุดเมื่อสารใดสารหนึ่งหมด และสารที่หมดก่อนจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ สารตั้งต้นที่เป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้มีชื่อเรียกว่า สารกำหนดปริมาณ (Limiting Reagent) (กระทรวงศึกษาธิการ. 2557 : 87) ซึ่งวิธีการสอนที่ได้แนะนำไว้ในคู่มือครูเคมี 2 คือ ทบทวนความสัมพันธ์ระหว่างโมลของสารในปฏิกิริยาเคมี ต่อจากนั้นอภิปรายเกี่ยวกับการผลิตสารต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการหรือในอุตสาหกรรมที่มักจะไม่ใช้สารตั้งต้นในปริมาณที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันตามสมการที่ดุลแล้ว หลังจากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับสารกำหนดปริมาณพร้อมทั้งยกตัวอย่างการคำนวณตามรายละเอียดในบทเรียน (กระทรวงศึกษาธิการ. 2556 : 59) การสอนเรื่องสารกำหนดปริมาณ ส่วนใหญ่นั้นสอนโดยให้คำนวณสารจากสมการของปฏิกิริยาที่โจทย์บอกข้อมูลเกี่ยวกับสารตั้งต้นมาให้มากกว่าหนึ่งชนิดโดยแบ่งลักษณะโจทย์เป็น 2 แบบ คือ การบอกข้อมูลของสารตั้งต้นมาให้มากกว่าหนึ่งชนิด แต่ไม่บอกข้อมูลเกี่ยวกับสารผลิตภัณฑ์ ในการคำนวณต้องพิจารณาว่าสารใดถูกใช้ทำปฏิกิริยาหมด แล้วจึงใช้สารนั้นเป็นหลักในการคำนวณสิ่งที่ต้องการจากสมการและการบอกข้อมูลของสารตั้งต้นมาให้มากกว่าหนึ่งชนิด และบอกข้อมูลของสารผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่ง มาให้ด้วย ในการคำนวณให้ใช้ข้อมูลจากสารผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ในการเทียบหา

สิ่งที่ต้องการจากสมการเคมี จากวิธีการสอนดังกล่าว เป็นเพียงการอธิบายและยกตัวอย่างจากครูผู้สอน โดยมีผู้เรียนเป็นผู้ซักถามแล้วทำแบบฝึกหัด โดยที่ผู้เรียนบางคนยังไม่เข้าใจเนื้อหาทฤษฎีว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณสารใดเป็นสารเหลือ จึงทำให้การคำนวณในการแก้โจทย์ปัญหายังไม่ถูกต้อง จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยสนใจสร้างสื่อประเภทการทดลองเพราะจะทำให้เกิดการปฏิบัติและเห็นจริง นอกจากนี้สื่อประเภทการทดลองยังไม่พบในเอกสารประกอบการเรียนการสอนเคมี 2 เรื่องสารกำหนดปริมาณ

สภาพการละลายได้ของสาร

สภาพการละลายได้ (Solubility) หมายถึง ความสามารถในการละลายได้ของตัวถูกละลายจนอิ่มตัว ซึ่งนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกละลายและตัวทำละลายแล้วยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมอื่น ๆ อีก ได้แก่ อุณหภูมิ และความดัน เช่น สภาพการละลายของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ 100 กรัม ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 36.0 กรัม แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส สภาพการละลายจะเปลี่ยนไปคือ ละลายได้เพิ่มขึ้นเป็น 37.3 กรัม ส่วนการละลายของแก๊สจะละลายได้มากขึ้นถ้าอุณหภูมิลดลงและความดันเพิ่มมากขึ้น เช่น การละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำอัดลม ความสามารถในการละลายของสาร ณ อุณหภูมิเดียวกัน สารแต่ละชนิดละลายไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้คือ

1. ชนิดของตัวทำละลาย
2. ชนิดของตัวถูกละลาย
3. ความดัน ในกรณีที่ตัวถูกละลายมีสถานะเป็นก๊าซ ถ้าความดันเพิ่มจะละลายได้มากขึ้น
4. อุณหภูมิ ความสามารถในการละลายของสารบางชนิดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม แต่บางชนิด ละลายได้น้อยลง (ตกตะกอนผลึกออกมา) เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม

การบอกสภาพละลายได้ โดยมากมักจะบอกได้ 3 ระดับคือ

1. ละลายได้ดี หมายถึง ละลายได้ทากกว่า 1 กรัมในน้ำ 100 กรัม
2. ละลายได้เล็กน้อยหรือละลายได้บางส่วน หมายถึง ละลายได้มากกว่า 0.1 กรัม แต่ไม่เกิน 1 กรัม ในน้ำ 100 กรัม
3. ไม่ละลาย หมายถึง ละลายได้น้อยกว่า 0.1 กรัมในน้ำ 100 กรัม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 1 สภาพละลายได้ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารแต่ละชนิด

สาร	สูตร	สภาพละลายได้เป็นกรัมในน้ำ 100 กรัม ณ อุณหภูมิต่าง ๆ (C°)			
		0	20	60	100
โซเดียมไนเตรต	$NaNO_3$	37.00	88.00	124.00	180.00
โพแทสเซียมไอโอไดด์	KI	124.50	144.00	176.00	208.00
โพแทสเซียมไนเตรต	KNO_3	13.30	31.60	110.00	246.00
แคลเซียมโครเมต	$CaCrO_4$	13.00	10.40	6.10	3.20
โซเดียมครอไรด์	NaCl	35.70	36.00	37.30	39.80

การตกตะกอน

การตกตะกอน (Precipitation) เป็นการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก หรือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางผ่านของเหลวไปรวมกันอยู่ที่ก้นภาชนะที่ใช้ในการตกตะกอนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกได้เร็วและดีกว่าอนุภาคขนาดเล็ก สำหรับอนุภาคมีขนาดเล็กมาก ๆ จะต้องผ่านการรวมตะกอนก่อน การตกตะกอนจึงจะเกิดได้ดี สารที่ทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็นตะกอนนั้น ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีวิธีการพิจารณาดังตาราง 2

ตาราง 2 กฎของการละลาย

ประเภท	ตัวอย่าง
ALWAYS SOLUBLE : (ประเภทที่ละลายได้เสมอ)	- ไอออนของโลหะแอลคาไลน์ (Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+), NH_4^+, NO_3^-, $C_2H_3O_2^-$, ClO_3^-, ClO_4^-
USUALLY SOLUBLE : (ประเภทที่ละลายได้เป็นส่วนใหญ่แต่มีข้อยกเว้นบ้าง)	- สารที่มี Cl^-, Br^-, I^- เป็นองค์ประกอบ ยกเว้น ถ้ารวมตัวกับ Ag^+, Pb^{2+}, Hg_2^{2+} จะไม่ละลาย - สารที่มี SO_4^{2-} เป็นองค์ประกอบ ยกเว้น ถ้ารวมตัวกับ Ca^{2+}, Ba^{2+}, Sr^{2+}, Pb^{2+} จะไม่ละลายหรือละลายเล็กน้อย - สารที่มี F^- เป็นองค์ประกอบ ยกเว้นถ้ารวมตัวกับ Ca^{2+}, Ba^{2+}, Sr^{2+}, Pb^{2+}, Mg^{2+} จะไม่ละลายหรือละลายเล็กน้อย

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 2 (ต่อ)

ประเภท	ตัวอย่าง
USUALLY INSOLUBLE : (ประเภทที่ไม่ละลาย)	- สารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์ คือมี O^{2-}, OH^- เป็นองค์ประกอบ ยกเว้นถ้ารวมตัวกับ Ca^{2+}, Ba^{2+}, Sr^{2+} จะละลายได้)
NEVER SOLUBLE : (ประเภทที่ไม่ละลายแน่ ๆ)	- สารที่มี CO_3^{2-}, PO_4^{3-}, S^{2-}, SO_3^{2-}, CrO_4^{2-}, $C_2O_4^{2-}$ เป็นองค์ประกอบ ยกเว้นถ้ารวมตัวกับโลหะอัลคาไลน์และ NH_4^+ ละลายได้

ที่มา : นวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล. ออนไลน์. 2557

แรงเชื่อมแน่นและแรงยึดติด

แรงเชื่อมแน่น (Cohesive Force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของสารชนิดเดียวกัน เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของเอทานอลกับเอทานอล เป็นต้น

แรงยึดติด (Adhesive Force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคต่างชนิดกัน เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในหลอดแก้วที่บรรจุน้ำ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับอนุภาคในแผ่นไม้ เป็นต้น เมื่อหยดน้ำลงบนแผ่นกระดาษหรือแผ่นไม้จะพบว่า แผ่นกระดาษและแผ่นไม้เปียก แสดงว่าแรงเชื่อมแน่นมีค่าน้อยกว่าแรงยึดติด แต่ถ้าหยดน้ำลงบนวัสดุใดแล้วพบว่าเกิดหยดน้ำที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมเกาะที่พื้นผิววัสดุนั้น แสดงว่า แรงเชื่อมแน่นมีค่ามากกว่าแรงยึดติด

การสร้างชุดทดลองหรืออุปกรณ์การทดลอง

มนต์ชัย เทียนทอง (2548 : 59) กล่าวถึง การออกแบบสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก และค่อนข้างละเอียด ผู้สร้างจะต้องพิจารณาองค์ประกอบทุก ๆ ด้านที่เกี่ยวข้อง ประการแรกที่สำคัญ ได้แก่ การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของบทเรียนว่าเนื้อหาหลักต้องการอะไร ผู้เรียนต้องมีกิจกรรมอย่างไรจึงจะแสดงว่าบรรลุตามวัตถุประสงค์ ถ้าต้องการแสดงออกด้วยผลการทดลองค้นคว้า หรือหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ชุดทดลองประกอบ หรือใช้สื่อความหมาย ก็จะต้องสร้างชุดทดลองโดยออกแบบขึ้นเองหรือดัดแปลงแก้ไขตามแบบที่มีอยู่ในการออกแบบสร้างชุดทดลองขึ้นใหม่ ควรพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ในหลายด้าน เช่น ชุดทดลองสำหรับผู้สอนใช้สาธิตหน้าชั้นเรียนต้องมีขนาดเหมาะสม การแสดงผลเห็นได้ทั่วถึง ชัดเจน มีความปลอดภัยในการใช้ โดยเฉพาะชุดทดลองสำหรับผู้เรียน มีความสะดวก

ในการใช้งาน ไม่ต้องใช้ประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยไม่จำเป็น มีโครงสร้างง่าย และใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไป เพื่อความสะดวกต่อการซ่อมแซม และมีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่นได้ เป็นต้น นอกจากนี้ฐิติมา อรุณรังสี (2557 : 7) ได้สร้างชุดสาธิตสำหรับการสอนเคมี เรื่อง หลักเลอชาเตอริเอ เพื่อเพิ่มผลการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสายปัญญารังสิต ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของธีระยุทธ เพลิดพริ้ง และคณะ (2556 : 203) ที่ได้สร้างชุดการเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 เรื่อง การหาความเร็วเสียงโดยวิธีเรโซแนนซ์ และสะอาด กันคำ (2556 : 14) ได้การสร้างชุดทดลองเรื่องการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นไฟฟ้ากระแสตรง วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) โดยชุดทดลองและชุดสาธิตที่สร้างขึ้นนั้นโดยสรุปพบว่า มีผลทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นเนื่องจากได้ลงมือปฏิบัติเห็นจริงจึงทำให้มีความเข้าใจในเนื้อหา และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก ดังนั้นการผลิตสื่อการเรียนรู้โดยการสร้างชุดทดลองเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการอย่างยิ่ง

การสอนแบบทดลอง

เติมศักดิ์ สุวรรณ (ออนไลน์. 2554) ได้ให้คำจำกัดความของวิธีสอนแบบทดลอง (Laboratory Method) ว่าเป็นวิธีสอนที่ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ศึกษา ค้นคว้าด้วยการทดลอง เพื่อพิสูจน์หลักการ ทฤษฎีที่ผู้อื่นได้ค้นพบไว้ วิธีสอนแบบนี้มักใช้ในวิชาวิทยาศาสตร์ เช่น ทดลองการเกิดเงา ทดลองการเพาะพืชด้วยเมล็ด ทดลองการสะท้อนของแสงทดลองว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรงเป็นต้น โดยมีความมุ่งหมายหลัก 4 ประการ คือ

1. เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการทดลอง ค้นคว้าด้วยตนเอง
2. เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ และใช้ได้อย่างถูกต้อง เป็นแนวทางในการปฏิบัติทดลองค้นคว้าคิดค้นสิ่งใหม่ต่อไป
3. เพื่อฝึกการปฏิบัติงานทดลองค้นคว้าหาข้อเท็จจริงอย่างมีระบบขั้นตอนรอบคอบ
4. เพื่อฝึกการสังเกต วิเคราะห์ สรุปผล และรายงานตามความเป็นจริงที่ค้นพบ

โดยขั้นตอนการสอนแบบทดลองประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นเตรียมการทดลอง

1.1 กำหนดจุดประสงค์ ผู้สอนต้องศึกษาหลักสูตร คู่มือครู หรือแผนการสอน แล้วตั้งจุดประสงค์การสอนให้ชัดเจนว่าต้องการให้ผู้เรียนมีพฤติกรรมแต่ละด้านอย่างไรบ้างจากการเรียนด้วยการลงมือทดลองปฏิบัติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1.2 วางแผนการทดลอง ขั้นนี้ผู้สอนต้องลำดับขั้นตอนการสอนและเตรียมกำหนดกิจกรรมไว้ล่วงหน้าว่าจะเข้าสู่บทเรียนอย่างไร ผู้เรียนจะต้องทดลองตามลำดับขั้นตอนอย่างไรบ้าง สรุปผลการทดลองและเสนอผลตอนใด อย่างไร หรือโดยวิธีใด เป็นต้น

1.3 จัดเตรียมวัสดุและเครื่องมือ แบบบันทึกผลการทดลอง และแบบประเมินผล ผู้สอนต้องเตรียมให้พร้อม ให้มีจำนวนมากพอกับจำนวนนักเรียนและอยู่ในสภาพที่ใช้ได้

1.4 ตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของเครื่องมือวัสดุที่ใช้ ผู้สอนควรได้ทดลองใช้เครื่องมือก่อนสอน เพื่อให้เห็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้า และเพื่อประโยชน์ในการแนะนำ ตักเตือนผู้เรียนขณะทดลอง

1.5 เตรียมแบ่งกลุ่มผู้เรียน ผู้สอนต้องกำหนดกลุ่มผู้เรียนให้เหมาะสม ไม่ควรเป็นกลุ่มใหญ่มาก เพื่อให้ผู้เรียนทุกคนได้เรียนรู้วิธีทดลองอย่างทั่วถึง การแบ่งกลุ่มผู้เรียนนี้ต้องสอดคล้องกับจำนวนวัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ที่มีอยู่

2. ขั้นทดลอง

2.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน เป็นขั้นเร้าความสนใจผู้สอนแจ้งจุดประสงค์การทดลอง ขั้นตอน วิธีการทดลอง แนะนำการใช้เครื่อง วัสดุอุปกรณ์ ให้ผู้เรียนได้ทราบบทบาทของตนและให้ศึกษาคู่มือปฏิบัติการก่อนการทดลอง

2.2 ขั้นทดลอง ผู้เรียนเป็นผู้ดำเนินการทดลองโดยมีผู้สอนคอยดูแลแนะนำช่วยเหลือถ้าเป็นการทดลองที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ผู้สอนต้องคอยควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด

3. ขั้นเสนอผลการทดลอง

ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง และรายละเอียดประกอบ เช่น โครงการทดลอง การเตรียมการ วิธีทดลอง และผลที่ได้จากการทดลอง

4. ขั้นอภิปรายสรุปผล

ในขั้นนี้ผู้เรียนจะแลกเปลี่ยนประสบการณ์ที่ตนได้รับ เช่น บางกลุ่มอาจได้ผลการทดลองที่คาดเคลื่อนก็จะได้ช่วยกันวิเคราะห์หาสาเหตุว่าผิดพลาดที่ขั้นตอนใด และมีแนวทางในการแก้ปัญหาอย่างไร ในขั้นนี้ผู้สอนจะมีบทบาทในการให้ความคิดเห็นเพิ่มเติมย้ำประเด็นสำคัญและสรุปหลักการ ความคิดรวบยอดที่ได้จากการทดลอง

5. ขั้นประเมินผล

เมื่อการอภิปรายผลสิ้นสุดลงผู้สอนควรได้ประเมินผลผู้เรียนในด้านต่าง ๆ และแจ้งให้ผู้เรียนทราบเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทดลองที่จะมีขึ้นในครั้งต่อไป เช่น ประเมินด้านการใช้เครื่องมือ ด้านความละเอียดรอบคอบในการทดลอง ด้านการจดบันทึกผลการทดลอง ด้านการรายงานผล ด้านการให้ความร่วมมือกับกลุ่ม เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สำหรับข้อดีของการสอนแบบทดลองนั้นมีด้วยกันหลายประการ ดังนี้

1. ผู้เรียนได้ประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ขณะลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง

2. ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการในการใช้ความคิดอย่างมีเหตุผล

3. ผู้เรียนมีทักษะในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ

4. ผู้เรียนเกิดทักษะการเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การสังเกต การฝึกปฏิบัติการค้นคว้าหาข้อมูล เป็นต้น

5. ผู้เรียนสามารถนำผลการทดลองไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาขั้นต่อไปและในชีวิตจริง

6. ผู้เรียนเกิดความสนุกและตื่นเต้นกับการทดลอง ทำให้บทเรียนน่าสนใจยิ่งขึ้น

การนำวิธีสอนแบบทดลองไปใช้นั้น ต้องคำนึงความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. วิธีสอนแบบทดลองใช้ได้เหมาะสมกับเนื้อหาทางด้านวิทยาศาสตร์ เช่น เรื่องเกี่ยวกับพลังงาน สารเคมี การเจริญเติบโตของพืช ฯลฯ

2. ถ้าเป็นการทดลองที่ยุ่งยากสลับซับซ้อน ต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย หรือการทดลองปฏิกิริยาการระเบิด ควรใช้การสาธิตแทนการทดลอง

3. ผู้สอนต้องวางแผนการสอนให้ละเอียดชัดเจน ให้แน่ใจว่าแต่ละขั้นตอนจะต้องทำอย่างไรทำอะไรก่อนหลัง และผู้สอนต้องเตรียมวัสดุ เครื่องมือต่าง ๆ ไว้ให้พร้อม

4. ผู้สอนต้องเตรียมคำชี้แจงและวิธีการไว้อย่างละเอียด ให้ผู้เรียนเข้าใจสามารถปฏิบัติได้ อาจเขียนไว้บนกระดานดำ หรือจัดทำเป็นเอกสารให้ผู้เรียนได้ศึกษา ทำความเข้าใจก่อนลงมือทดลอง

5. การพิจารณาเลือกใช้วิธีสอนแบบทดลองให้คำนึงถึงจุดประสงค์การสอน เนื้อหาวิชาที่จะสอน ความพร้อมในด้านวัสดุอุปกรณ์ และเวลาที่มี

วิธีการสอนแบบทดลอง ใช้สำหรับการสอนเนื้อหาวิชาการเทคนิค โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นวิธีการสอนที่เหมาะสมสำหรับการสอนหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่มีงานปฏิบัติเป็นพื้นฐาน การทดลองเป็นวิธีการสอนที่ดีเยี่ยม ทำให้ผู้เรียนเรียนรู้อย่างแจ่มแจ้งในเนื้อหา ให้โอกาสแก่ผู้เรียนได้พิสูจน์หลักการด้วยตนเอง โดยละออ การุณยะวานิช (2529 : 47) ได้ให้ความหมายของวิธีการสอนแบบทดลองว่าเป็นการสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ใหม่ ๆ และข้อเท็จจริงจากการสอบสวนและทดลองนั่นเอง วิธีนี้ผู้เรียนจะเป็นผู้ปฏิบัติการทดลองในห้องเรียนปฏิบัติการ ซึ่งไม่เหมือนกันกับวิธีการสอนแบบสาธิต ที่ผู้สอนเท่านั้นจะดำเนินการทดลองในขณะที่ผู้เรียนเป็นผู้เฝ้าดู โดยความมุ่งหมายของการสอนแบบทดลองนั้น เพื่อพัฒนาทักษะในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง ประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริง

ในภาคสนามได้ และพัฒนาความสามารถของผู้เรียน ในการรวบรวมความสัมพันธ์ของความคิดหลักการและความรู้ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้ผู้เรียนมองภาพรวมในเนื้อหาของวิชานั้นการปฏิบัติการทดลอง ขั้นตอนของการปฏิบัติการทดลอง เช่น การอภิปรายก่อนการทดลอง การทำการทดลองโดยอาศัยทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์การอภิปรายหลังการทดลองเป็นเครื่องมือที่ใช้กระบวนการค้นพบ ตลอดจนสร้างสรรค์หรือประดิษฐ์คิดค้น ทำให้ความรู้ต่าง ๆ ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว (พวงทอง มีมั่งคั่ง. 2537 : 90)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสอนเรื่องสารกำหนดปริมาณ อาทิ รณชัย กลิ่นกล้า (2559 : 211 - 217) ได้ทำการวิจัยโดยจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ วิชาเคมี เรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ ซึ่งเป็นการใช้คำถามปลายเปิดในการแก้ปัญหาเพื่อให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเรื่องสารกำหนดปริมาณ พบว่า จากงานวิจัยทำให้ผู้เรียนมีความเข้าในเนื้อหาดีขึ้น แต่พบข้อเสนอแนะในด้านการตั้งคำถามปลายเปิดควรมีความหลากหลาย

ปิเอนต้า และคณะ (Pienta and et al. 1997 : 1328A - 1328B) สอนปริมาณสารสัมพันธ์โดยใช้วิธีการ ทำให้ลูกโป่งใหญ่ขึ้น จากการใช้ผงฟูและน้ำส้มสายชูทำปฏิกิริยากัน ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรกเป็นการเพิ่มน้ำส้มสายชูและผงฟูปริมาณเล็กน้อยจนกระทั่งฟองหยุดปฏิกิริยาลง ส่วนวิธีที่สองเป็นการผสมผงฟูปริมาณคงที่กับเพิ่มปริมาณของน้ำส้มสายชู และเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในลูกโป่ง พบว่า ในการเพิ่มปริมาณน้ำส้มสายชูไม่ได้ทำให้เกิดฟองมากขึ้น พบว่า ผงฟูจะเป็นสารกำหนดปริมาณที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อน และในการทำให้ลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของผงฟู โดยถ้าใส่ผงฟูมากจะทำให้ลูกโป่งขยายใหญ่มาก

เฟอกูลร่า และคณะ (Flguelra and et al. 1988 : 1060 - 1061) ได้ออกแบบเทคนิคการสอนปริมาณสารสัมพันธ์ด้วยการทดลองเผาสารโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โดยเปรียบเทียบปฏิกิริยาการสลายตัวของ $NaHCO_3$ ที่เป็นไปได้ 3 ปฏิกิริยาว่าปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยาที่แท้จริงของการสลายตัว $NaHCO_3$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$NaHCO_3\,(s) \longrightarrow NaOH\,(s) + CO_2\,(g) \qquad (1)$$

$$2NaHCO_3\,(s) \longrightarrow Na_2CO_3\,(s) + CO_2\,(g) + H_2O\,(g) \qquad (2)$$

$$2NaHCO_3\,(s) \longrightarrow Na_2O\,(s) + 2CO_2\,(g) + H_2O\,(g) \qquad (3)$$

พบว่า ปฏิกิริยาที่ 1 เป็นปฏิกิริยาการสลายตัวของ $NaHCO_3$ ไม่สัมพันธ์กับการทดลองจริง จึงไม่นำมาพิจารณาต่อ ปฏิกิริยาที่ 2 เมื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนจำนวนโมลระหว่าง $NaHCO_3$ ต่อ Na_2CO_3 เท่ากับ 0.63 และปฏิกิริยาที่ 3 เมื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนจำนวนโมลระหว่าง $NaHCO_3$ ต่อ Na_2O เท่ากับ 0.37 สำหรับมวลที่ได้จากการทดลองจริงนั้นอัตราส่วนจำนวนโมลระหว่าง $NaHCO_3$ ต่อ Na_2CO_3 เท่ากับ 0.64 ดังนั้นปฏิกิริยาที่ 2 จึงสอดคล้องกับผลการทดลองจริงมากที่สุด จากเทคนิคการสอนนี้ทำให้นักเรียนเข้าใจในเนื้อหาเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์มากขึ้น ซึ่งนักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้หรือแนวคิดทางวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางเคมีได้

ฟรานซิสแคน (Franciscan. 2000 : 1608) ได้สร้างและออกแบบการทดลองโดยใช้ปริมาณสารสัมพันธ์เพื่อให้ได้เป็นน้ำอัดลมที่มีรสชาดดี โดยใช้สารโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต กรดซิตริก น้ำผลไม้หรือผงโคล่า และน้ำตาลหรือสารให้ความหวาน การทดลองดังกล่าวทำโดยให้นักเรียนผสมสูตรน้ำอัดลมเอง โดยใช้ความรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณเพื่อให้ได้น้ำอัดลมที่อร่อย

มูรอว และสเทดจี (Murov and Stedjee. 2001 : 1389) สร้างการทดลองโดยการวิเคราะห์เม็ดสังกะสี เพื่อนำไปสู่การการศึกษาการทดลองปริมาณสารสัมพันธ์ โดยศึกษาปฏิกิริยาเคมีระหว่างสาร $K_4Fe(CN)_6$ และ $ZnSO_4$ ทั้งหมด 4 ปฏิกิริยา

$$K_4Fe(CN)_6(aq) + ZnSO_4(aq) \longrightarrow K_2ZnFe(CN)_6(s) + K_2SO_4(aq) \quad (1)$$

$$K_4Fe(CN)_6(aq) + 2ZnSO_4(aq) \longrightarrow Zn_2Fe(CN)_6(s) + 2K_2SO_4(aq) \quad (2)$$

$$2K_4Fe(CN)_6(aq) + ZnSO_4(aq) \longrightarrow K_6Zn[Fe(CN)_6]_2(s) + K_2SO_4(aq) \quad (3)$$

$$2K_4Fe(CN)_6(aq) + 3ZnSO_4(aq) \longrightarrow K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2(s) + 3K_2SO_4(aq) \quad (4)$$

โดยก่อนการทดลองคาดว่าปฏิกิริยาที่ 2 เป็นปฏิกิริยามาตรฐานในการทดลอง แต่เมื่อทำการไทเทรต พบว่า ปฏิกิริยาที่ได้มาตรฐานและสอดคล้องกับการทดลองคือปฏิกิริยาที่ 4 โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง Zn^{2+} : $Fe(CN)_6^{4-}$ ในอัตราส่วน 1 : 1.5

เฮม และคณะ (Haim and et al. 2003 : 1021 - 1022) ได้ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมี สารกำหนดปริมาณ และสารเหลือโดยการใช้แฮมเบอร์เกอร์ 3 ชนิด วิธีการทำโดยกำหนดโจทย์ว่าต้องการ MacChem แซนวิช 100 ชิ้นจะต้องใช้ HambChem และ CheeseChem กี่ชิ้น กำหนดให้ HambChem (B_2H_2) ประกอบด้วย ขนมปัง 2 แผ่น และแฮม 2 แผ่น Cheese Chem (B_2Ch_2) ประกอบด้วย ขนมปัง 2 แผ่น กับชีส 2 แผ่น และกำหนดให้ MacChem (B_3ChH_2) ประกอบด้วย ขนมปัง 3 แผ่น ชีส 1 แผ่น และแฮม 2 แผ่น คำนวณโดยใช้สมการเคมี

X HambChem + Y Cheese Chem $\longrightarrow$ 100 MacChem

และแทนค่าสมการด้วยส่วนประกอบในการทำแฮมเบอร์เกอร์แซนวิช ดังนี้

$2B_2H_2 + B_2Ch_2 \longrightarrow 2B_3ChH_2$

และจากโจทย์ทำให้คำนวณและดุลสมการเพื่อให้ได้ MacChem Sandwiches 100 ชิ้น จะได้สมการดังนี้

$100\ B_2H_2 + 50\ B_2Ch_2 \longrightarrow 100\ B_3ChH_2$

ซึ่งจากการสอนปริมาณสารสัมพันธ์ โดยการใช้แฮมเบอร์เกอร์ แซนวิชมีข้อดี คือ

1. ง่ายต่อการเข้าใจในการอธิบายเนื้อหาและหลักการคำนวณ เรื่องสารกำหนดปริมาณ ซึ่งสามารถบอกได้ว่า สารใดหมด สารใดเหลือ

2. ใช้คณิตศาสตร์ช่วยในการแก้โจทย์ปริมาณสารสัมพันธ์ได้ชัดเจน

3. ใช้คำศัพท์ที่เป็นภาษาที่นักเรียนคุ้นเคยเพื่อนำไปสู่คำศัพท์เฉพาะในการคำนวณเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์

เชโบลู และสโทแรนดท์ (Chebolu and Storandt. 2003 : 305 - 306) ได้ศึกษาปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริกสำหรับการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีเบื้องต้นหรือปฏิบัติการเคมีทั่วไป สิ่งสำคัญของปฏิกิริยานี้คือการเก็บแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ซึ่งการเก็บแก๊สนี้พบปัญหาคือ เครื่องแก้วที่ใช้ในการเก็บแก๊สมีไม่เพียงพอ ดังนั้นผู้วิจัยได้แก้ปัญหาคือประยุกต์วิธีการทดลองในรูปแบบปฏิบัติการเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้นักศึกษาทำการทดลองได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับเวลาปกติ นอกจากนี้การใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยทำให้นักศึกษาเห็นการเกิดปฏิกิริยา สามารถสร้างกราฟและคำนวณหาจำนวนโมลในเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ได้ถูกต้อง

อาร์ทเดจ (Artdej. 2003 : 1382 - 1384) ได้ทำการศึกษาการพองของลูกโป่งโดยใช้การทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่างน้ำส้มสายชู และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ทำให้ผู้เรียนได้รู้และเข้าใจหลักการของสารกำหนดปริมาณ โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นในลูกโป่ง โดยให้น้ำส้มสายชูมีปริมาณคงที่ และค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงปริมาณของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตปริมาณ CO_2 จะเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยรามคำแหง

ตามไปด้วย แต่เมื่อเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตไปเรื่อย ๆ จนถึงปริมาณหนึ่ง ปรากฏว่าแก๊ส CO_2 คงที่คือลูกโป่งไม่เพิ่มขนาดอีกทำนองเดียวกันกับงานวิจัยของลอร่า (Laura. 2014 : 1390 - 1392) ที่ทำการทดลองเพื่อศึกษาการบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงพลาสติกโดยใช้สารโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต และน้ำส้มสายชูเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเรื่องสารกำหนดปริมาณ

โคงะ และคณะ (Koga and et al. 2011 : 1309 - 1313) ได้สร้างการทดลองเพื่อค้นหาองค์ประกอบในสารประกอบที่ใช้ในชีวิตประจำวัน โดยใช้สารทำความสะอาด Sodium Sesquicarbonate (SSC) โดยผู้สอนจะทำการสาธิตคุณสมบัติและปฏิกิริยาของ SSC แล้วผู้เรียนจะต้องตั้งข้อสมมุติฐานในเรื่องของส่วนประกอบใน SSC และปริมาณที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลอง โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับสาร Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ ซึ่งผู้เรียนต้องทำการไทเทรต (Neutralization Titration) โดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ 1) การไทเทรตเพื่อให้เป็นกลาง โดยการนำ SSC ไปไทเทรตกับ HCl ปริมาตรอย่างละ 100 ml พบว่า ได้อัตราส่วนระหว่างปริมาตรทั้งสอง คือ CO_3^{2-} และ HCO_3^- เป็น 1 : 2 2) การให้ความร้อน พบว่า มวลของแก๊ส CO_2 และไอน้ำ ทำให้มวลของสารลดลงร้อยละ 29.6 และ 3) ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด HCl พบว่า แก๊ส CO_2 จะระเหยไป ทำให้มวลของสารลดลง ร้อยละ 38.9 จากการทดลองสองและสามทำให้ผู้เรียนระบุมวลของสารหลังจากผ่านการให้ความร้อน (Thermal Decomposition) และหลังจากการทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดได้

จื้อหลิน (Zhilin. 2012 : 649 - 651) ได้ศึกษาและออกแบบการทดลองปริมาณสารสัมพันธ์โดยการสาธิตการเผาแก๊สของสารประกอบแอลเคน ในเรื่องหลักการของสารกำหนดปริมาณซึ่งง่ายและให้ผลดี โดยใช้การทดลองการเผาสารประกอบแอลเคน (มีเทนและบิวเทน) เข้าผสมกับอากาศในขวดน้ำอัดลมขนาด 2 ลิตร หากหาอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับแก๊สได้ถูกต้องจะเกิดการเผาไหม้โดยสมบูรณ์

จากรายงานการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปรูปแบบการสร้างชุดการทดลองทางเคมีได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ศึกษาสารกำหนดปริมาณจากปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สไฮโดรเจน (H_2)

2. ศึกษาสารกำหนดปริมาณจากการทดลองที่ไม่เกิดแก๊ส เช่น การคำนวณจำนวนโมลจากปฏิกิริยาเคมี

3. ศึกษาสารกำหนดปริมาณ โดยอาศัยการเปรียบเทียบจากสิ่งของที่คุ้นเคย เช่น แฮมเบอร์เกอร์ รสชาติของน้ำอัดลม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ซึ่งทั้งสามรูปแบบนั้นมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน กล่าวคือ การศึกษาสารกำหนดปริมาณจากการเกิดแก๊ส มีข้อดีคือสามารถสังเกตได้ชัดเจน แต่มีความยุ่งยากในเก็บแก๊สที่เกิดขึ้น และปฏิกิริยาบางปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดแก๊สบางชนิดที่อาจไม่ปลอดภัยต่อผู้เรียน ในขณะที่การศึกษาโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบกับสิ่งของมีข้อดีคือสามารถทำให้ผู้เรียนจินตนาการให้เข้าใจบทเรียนมากขึ้นได้ แต่จะไม่ได้ปฏิบัติการทดลองจริงจึงทำให้ไม่เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่วนการคำนวณจากสมการเคมีสามารถบอกได้ทันทีว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ แต่บางครั้งคำนวณยากไม่เห็นภาพและไม่ได้ปฏิบัติการทดลองจริง อย่างไรก็ตามสื่อการสอนสารกำหนดปริมาณในหลายการทดลองจำเป็นต้องใช้เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ราคาสูงและหาได้ยากซึ่งทำให้โรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์วิทยาศาสตร์สูญเสียโอกาสในการนำมาประยุกต์ใช้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจสร้างชุดทดลองในเรื่องสารกำหนดปริมาณ ด้วยการปฏิบัติการทดลองจากปฏิกิริยาเคมีแล้วสังเกตการเกิดตะกอน ซึ่งนอกจากจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดได้ง่าย สังเกตได้ชัดเจนแล้ว ผู้เรียนยังสามารถทำการทดลองได้ไม่ยากนัก และไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์พื้นฐานที่มีอยู่ในห้องเรียนโดยทั่วไป และออกแบบให้มีการใช้ตารางมวลมาตรฐานที่สร้างขึ้นทดแทนการใช้เครื่องชั่งราคาสูง ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนได้นำความสูงของตะกอนที่วัดได้ไปเปรียบเทียบในการหามวลและสามารถนำมวลดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณเพื่อให้เข้าใจความหมายของสารกำหนดปริมาณได้ดียิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี