ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

LIMITING REAGENT TEST KIT USING PRECIPITATION METHOD

วิทยานิพนธ์

ของ

ศิริพร ปาเชน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

มีนาคม 2560

ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

LIMITING REAGENT TEST KIT USING PRECIPITATION METHOD

วิทยานิพนธ์

ของ

ศิริพร ปาเชน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

มีนาคม 2560

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

เรื่อง

ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

Limiting Reagent Test Kit Using Precipitation Method

โดย ศิริพร ปาเชน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.เสาวนาภรณ์ ตั้งสุขวรคุณ)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.อาภาพร บุญมี)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.สุนิษา สุวรรณเจริญ)

..... กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภัทร เปี่ยมอรุณ)

ได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา (เคมี)

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยนต์ ประดิษฐศิลป์)

วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ศิริพร ปาเชน. (2560). **ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน.** วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). จันทบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาภาพร บุญมี วท.ด. (เคมี) ประธานกรรมการ

สุนิษา สุวรรณเจริญ วท.ด. (เคมี) กรรมการ

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดการทดลองเรื่อง สารกำหนดปริมาณและทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองสำเร็จรูปที่สร้างขึ้น โดยกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบ ประกอบด้วย 1) นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ ไม่จำกัดคณะ จำนวน 10 คน 2) นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จำนวน 10 คน 3) นักเรียนระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จังหวัดระยอง จำนวน 25 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบสุ่มเจาะจง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดการทดลอง ซึ่งชุดทดลองสำเร็จรูปนี้ สร้างจากวิธีการตกตะกอนของแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) จากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 2 mol/dm^3 ซึ่งเป็นตะกอนที่เหมาะสม เนื่องจากมีลักษณะผิวหน้าของตะกอนเรียบและแน่น นอกจากนี้ชุดการทดลองสำเร็จรูปสร้างจากวัสดุอุปกรณ์ไม่แตกง่าย ราคาถูกและสามารถใช้งานได้ง่าย จึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งสำหรับการจัดการเรียนการสอนในโรงเรียนที่มีอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ไม่เพียงพอเนื่องจากสามารถใช้หลอดฉีดยาพลาสติกในการตวงสารละลายแทนการใช้ปิเปตและใช้คิวเวทท์แทนหลอดทดลองโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า ชุดการทดลองนี้สามารถทำให้กลุ่มตัวอย่างระดับมัธยมศึกษาตอนปลายซึ่งไม่เคยเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณมาก่อนสามารถตอบคำถามว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณได้อย่างถูกต้องร้อยละ 84 และมีระดับความพึงพอใจต่อชุดทดลองเฉลี่ย 4.27 อยู่ในระดับมาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Siriporn Pachain. (2017). **Limiting Reagent Test Kit Using Precipitation Method.** Thesis. M.S. (Science Education). Chanthaburi : Rambhai Barni Rajabhat University.

Thesis Advisors

Apaporn Boonmee Ph.D. (Chemistry) Chairman

Sunisa Suwancharoen Ph.D. (Chemistry) Member

Abstract

The limiting reagent test kit using precipitation method was studied. The efficiency of test kit objective was also studied. The sample groups of this research included : (1) 10 science students from various faculties, (2) 10 educational chemistry students, Rambhi Barni Rajabhat University and (3) 25 high school students from Banchang Kanchanakulwittaya School, Rayong Province. The sample groups were selected by purposive sampling to determine the efficiency of the lab kit. The lab kit was produced by using the precipitation of calcium sulfate ($CaSO_4$) from the reaction between calcium chloride ($CaCl_2$) and sulfuric acid (H_2SO_4) which was the most suitable reaction because the surface of precipitate is smooth and dense. Moreover, for schools which have insufficient laboratory equipment, a plastic syringe and plastic cuvette can be used instead of pipette and small test tube, respectively. The research results found that both sets of equipment are not significantly different ($p = 0.05$). For the efficiency result, 84 percent of high school students who had never really understood the meaning of the limiting reagent could answer the limiting reagent question correctly, and the mean scores of students' opinions from this group toward the test kit was at the very satisfied degree of 4.27.

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือให้คำแนะนำอย่างดียิ่งจาก ดร.อาภาพร บุญมี ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.สุนิษา สุวรรณเจริญ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.เสาวนาภรณ์ โชคสกุลพร ที่ได้ให้เกียรติเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภัทร เปี่ยมอรุณ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์และให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคณาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีและผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ปรากฏชื่อในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอน้อมระลึกถึงพระคุณของคุณพ่อสาคร ปาเชน และคุณแม่ถนอม ปาเชน ซึ่งเป็นผู้อบรมเลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา เป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยตลอดมาส่งผลให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จ หากประโยชน์ใด ๆ อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบูชาแด่บิดา มารดา คณาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศิริพร ปาเชน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญ

หน้า

สารบัญ ..... (1)

สารบัญตาราง ..... (3)

สารบัญภาพ ..... (5)

บทนำ 1

ความเป็นมา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ประโยชน์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 3

สมมุติฐานในการวิจัย 4

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

สารกำหนดปริมาณ 5

สภาพการละลายได้ของสาร 6

การตกตะกอน 7

แรงเชื่อมแน่นและแรงยึดติด 8

การสร้างชุดทดลองหรืออุปกรณ์การทดลอง 8

การสอนแบบทดลอง 9

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

อุปกรณ์และวิธีการ 17

อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 17

วิธีการดำเนินการวิจัย 18

ผลและการวิจารณ์ 26

สรุปผลและข้อเสนอแนะ 45

เอกสารและสิ่งที่อ้างอิง 47

ภาคผนวก 51

ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมี และการคำนวณทางสถิติ 52

ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง 57

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค ใบกิจกรรมและแบบสอบถาม..... 71

ภาคผนวก ง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน $CaSO_4$ กับปริมาตรของ $CaCl_2$ ของกลุ่มผู้ทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 จำนวน 10, 10 และ 25 คน ตามลำดับ..... 97

ภาคผนวก จ ภาพชุดการทดลองสำเร็จรูปและผู้ทำกิจกรรม เรื่องสารกำหนดปริมาตรโดยใช้วิธีการตกตะกอน..... 103

ประวัติย่อผู้วิจัย..... 109

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	สภาพละลายได้ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารแต่ละชนิด	7
2	กฎของการละลาย	7
3	คู่สาร 25 คู่สารที่ใช้ทำการศึกษาการเกิดตะกอน	18
4	คู่สาร 1 คู่สารที่ใช้ทำการศึกษาการเกิดตะกอน	20
5	คู่สาร 1 คู่สารที่ใช้ทำการศึกษามวลกับความสูงตะกอน	21
6	ความเข้มข้นและปริมาตรที่ใช้ในการศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการเกิดตะกอน $CaSO_4$	22
7	ปริมาตรที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูป	23
8	ลักษณะตะกอนจากปฏิกิริยาการเกิดตะกอน 25 ปฏิกิริยา	27
9	แสดงความสูงและลักษณะตะกอน $CaSO_4$ ที่เกิดจากปฏิกิริยา $CaCl_2(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow CaSO_4(s) + 2HCl\ (aq)$	28
10	แสดงความสูงและลักษณะตะกอน $PbCl_2$ ที่เกิดจากปฏิกิริยา $CaCl_2 + Pb(NO_3)_2 \rightarrow PbCl_2(s) + Ca(NO_3)_2$	29
11	แสดงความสูงและลักษณะตะกอน $PbSO_4$ ที่เกิดจากปฏิกิริยา $Pb(NO_3)_2\ (aq) + Na_2SO_4\ (aq) \rightarrow PbSO_4\ (s) + 2NaNO_3\ (aq)$	29
12	เปรียบเทียบร้อยละความสูงของตะกอน 3 ชนิด ที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป	29
13	เปรียบเทียบค่า SD, R^2	31
14	ความเข้มข้นกับการเกิดตะกอน	32
15	มวล $CaSO_4$ ทางทฤษฎีกับมวลจากการทดลอง	34
16	แสดงตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตที่สร้างจากสมการจากการใช้หลอดทดลองขนาดเล็ก	35
17	ค่าความสูงกับมวลของตะกอนจากการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ ปิเปตต์และคิวเวทท์	36
18	ตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตที่สร้างจากสมการการใช้ปิเปตกับคิวเวทท์	37
19	ผลการเปรียบเทียบชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต	37

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
20	ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ 1	40
21	ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ 2	42
22	ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ 3	44
23	ความสูงและมวลของตะกอน $CaSO_4$ ณ ช่วงเวลา 5 นาที	58
24	ความสูงและมวลของตะกอน $PbCl_2$ ณ ช่วงเวลา 5 นาที	60
25	ความสูงและมวลของตะกอน $PbSO_4$ ณ ช่วงเวลา 5 นาที	62
26	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอนเพื่อสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต	64
27	มวลที่ได้จากสมการโดยการใช้ปิเปตต์และหลอดฉีดยา	65
28	มวลที่ได้จากสมการโดยการใช้หลอดทดลองและดิวเวทท์	68

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอน $CaSO_4$, $PbSO_4$ และ $PbCl_2$ 31

2 ภาพของตะกอน $CaSO_4$ ที่เกิดจาก $CaCl_2$ เข้มข้น 1 mol/dm^3 , H_2SO_4 1 mol/dm^3 และ $CaCl_2$ เข้มข้น 2 mol/dm^3 , H_2SO_4 2 mol/dm^3 ที่ปริมาตรต่าง ๆ 33

3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนและมวลตะกอนที่เกิดขึ้น 35

4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมวลจากการใช้คิวเวทท์ 36

5 ชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน 39

6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$ 59

7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $PbCl_2$ 61

8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $PbSO_4$ 63

9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$ เมื่อใช้อุปกรณ์คิวเวทท์กับปิเปต 67

10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $PbSO_4$ เมื่อใช้อุปกรณ์คิวเวทท์กับหลอดฉีดยา 70

11 ส่วนประกอบชุดการทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาตรโดยใช้วิธีการตกตะกอน 104

12 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ ไม่จำกัดแขนงวิชา 105

13 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี 106

14 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จังหวัดระยอง 107

15 ตะกอนที่เกิดจากการทำการทดลองเพื่อสร้างชุดทดลองสำเร็จรูป 108

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทนำ

ความเป็นมา

ประเทศไทยได้ตระหนักถึงความสำคัญของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากขึ้นและพยายามส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรบุคคลของประเทศให้มีความรู้ความเข้าใจและความสามารถในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยกระทรวงศึกษาธิการได้บรรจุวิชาวิทยาศาสตร์เข้าไว้ในหลักสูตรตลอดมาทุกระดับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 จนถึงปัจจุบัน การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยเปลี่ยนไปจากการให้เนื้อหาความรู้แต่เพียงอย่างเดียว เป็นการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Method) ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนการสอนคือ การนำเข้าสู่บทเรียน การอภิปรายก่อนการทดลอง การทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง เป็นการสอนให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ (สุวัฒก์ นิยมค้า. 2531 : 164) อีกทั้งหัวใจสำคัญของการปฏิรูปการศึกษาตามแนวพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 คือการปฏิรูปการเรียนรู้ซึ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ การจัดการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพนั้นนอกจากการทดลองให้เห็นจริงแล้ว สื่อการสอนนับว่ามีบทบาทสำคัญที่จะทำให้บรรลุตามวัตถุประสงค์เช่นกัน จากรายงานวิจัยของศันสนีย์ สุริยวงษ์ (2534) และบุญธรรม จอมมงคล (2539) พบว่า หากครูไม่มีเวลาในการเตรียมและผลิตสื่อการสอน ครูไม่ใช้สื่อการสอนหรือใช้ไม่เป็น ขาดแคลนสื่อการสอนที่ตรงกับจุดมุ่งหมายและเนื้อหาที่ต้องการ สามารถทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนตกต่ำลงได้ ดังนั้นสื่อการสอนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจในเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น โดยสื่อการสอนวิทยาศาสตร์นั้นต้องเป็นสื่อที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาที่เป็นความรู้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ (นิคม ทาแดง. 2536 : 16 ; อ้างถึงใน อนันต์ ช้างต่อ. 2545 : 2) ซึ่งจากรายงานวิจัยการใช้สื่อการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์ดีเด่นในระดับมัธยมศึกษา (นิรมล แสงศรี. 2535 : 29) พบว่าครูวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่เลือกสื่อการสอนที่ตรงกับเนื้อหาของบทเรียน เป็นสื่อที่หาง่าย ราคาถูก เตรียมการใช้สื่อการสอนล่วงหน้าก่อนนำไปใช้สอนจริง ใช้สื่อประเภทของจริงมากและมีการจัดกิจกรรมเสริมหลักสูตรเพื่อให้นักเรียนนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้นั้นเน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติหาคำตอบ เพื่อนำไปสู่การสรุป หลักการ กฎ ได้ด้วยตนเอง (ขวัญใจ จินดานุรักษ์. 2534 : 35) สื่อกิจกรรมเป็นหนึ่งในสื่อการสอนที่เน้นการปฏิบัติหรือการกระทำและหมายรวมถึงวิธีการด้วย โดยสื่อกิจกรรมนี้จำแนกได้เป็น 14 ประเภท ได้แก่ การสาธิต การแสดงนิทรรศการ การศึกษานอกสถานที่ การเล่นเกม ชุดการสอน การสร้างสถานการณ์จำลอง การสอน

เป็นทีม บทเรียนแบบโปรแกรม การสอนแบบศูนย์การเรียน การทดลอง การแสดงละคร การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ การสอนแบบจุลภาค และการสอนด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (จักรา สุวานิโช. 2529 : 15 ; อ้างถึงใน อนันต์ ช้างต่อ. 2545 : 2) จากประสบการณ์ในการสอนวิชาเคมีซึ่งเป็นวิชาในกลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนมีความสนใจในการเรียนเมื่อได้ทำกิจกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำกิจกรรมกลุ่ม และจากในเนื้อหาวิชาเคมีในเรื่องสารกำหนดปริมาณตามเอกสารประกอบการเรียนการสอนของกระทรวงศึกษาธิการจะเป็นส่วนที่เป็นเนื้อหาและทฤษฎี ไม่มีการทดลองส่งผลให้นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถเข้าใจในเนื้อหาทฤษฎีได้อย่างถ่องแท้ จึงทำให้ผลการสอบวัดความรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณจากนักเรียนทั้งหมด 190 คน มีเพียง 32 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 16.84 เท่านั้นที่สอบผ่าน ในขณะที่นักเรียนส่วนใหญ่เป็นนักเรียนที่สอบไม่ผ่าน ซึ่งมีจำนวนถึง 158 คน คิดเป็นร้อยละ 83.16 จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจออกแบบและสร้างชุดทดลองสารกำหนดปริมาณ ในวิชาเคมี 2 เรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งเนื้อหาของบทเรียนส่วนใหญ่เป็นเรื่องของทฤษฎีและการคำนวณนักเรียนยังขาดความเข้าใจในตัวแปรและการแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการคำนวณ จึงต้องใช้ปฏิบัติการทดลองเข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มความสนใจและความเข้าใจในเนื้อหาให้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากผู้เรียนได้ประกอบกิจกรรมด้วยตนเองและใช้กิจกรรมกลุ่มเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน โดยครูเป็นผู้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ อันจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาการเรียนการสอนในเรื่องสารกำหนดปริมาณในลำดับต่อไป โดยการทดลองนี้ผู้วิจัยศึกษาเพื่อหาคู่สารตั้งต้นที่เหมาะสมที่สามารถทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็นตะกอน และพัฒนาเป็นชุดการทดลองเรื่องสารกำหนดปริมาณในลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดทดลอง เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยอุปกรณ์พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่หาได้ง่ายและราคาถูก
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพด้านความพึงพอใจและด้านการเรียนรู้ของผู้ทดลองที่มีต่อชุดทดลองสำเร็จรูปที่สร้างขึ้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ประโยชน์ของการวิจัย

1. ได้สร้างชุดการทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน
2. ผลของการวิจัยในครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลและเป็นแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนวิชาเคมีเพื่อพัฒนาศักยภาพของนักเรียนให้ดีขึ้นต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตของการดำเนินการ 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ออกแบบสร้างชุดการทดลอง เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

ตอนที่ 2 พัฒนาชุดทดลอง

1. วัดประสิทธิภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยวิธีการสอบเทียบความสูงของตะกอนน้ำหนักของตะกอน

2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมวลของตะกอนโดยมีตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

2.1 ตัวแปรต้น คือ ความสูงของตะกอน

2.2 ตัวแปรตาม มวลของตะกอน

2.3 ตัวแปรควบคุม ความเข้มข้นของสารละลาย ชนิดของตะกอน

ตอนที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นในด้านของความพึงพอใจและด้านการเรียนรู้ของผู้ทดลอง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง มี 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ ไม่จำกัดคณะ จำนวน 10 คน โดยวิธีสุ่มแบบเจาะจง

2. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี จำนวน 10 คน โดยวิธีสุ่มแบบเจาะจง

3. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จังหวัดระยอง จำนวน 25 คน โดยวิธีสุ่มแบบเจาะจง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดทดลองที่ออกแบบโดยผู้วิจัยเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

2. ใบกิจกรรมการทดลองเรื่องสารกำหนดปริมาณ

3. แบบสอบถามความพึงพอใจชุดทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

นิยามศัพท์เฉพาะ

การตกตะกอน (Precipitation) หมายถึง สารตั้งแต่ 2 ชนิดทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็นอนุภาคของแข็งแยกออกจากของเหลว ไม่ละลายน้ำ และรวมกันอยู่ที่ก้นภาชนะโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนได้เร็วและดีกว่าอนุภาคขนาดเล็ก

สารกำหนดปริมาณ (Limiting Reagent) หมายถึง ตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นมีปริมาณที่ไม่พอดีกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสิ้นสุดเมื่อสารใดสารหนึ่งหมด และสารที่หมดก่อนจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์

ชุดทดลอง (Test Kit) หมายถึง ชุดสำหรับใช้ศึกษาผลของตัวแปรอิสระะโดยการลงมือปฏิบัติการทดลองจริงโดยจะดำเนินการไปตามขั้นตอนตามใบกิจกรรมที่ได้ออกแบบไว้ และควรจะทดลองซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าได้ผลเช่นนั้นจริง

สมมุติฐานในการวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอนสามารถใช้ในการสร้างชุดการทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

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 อุณหภูมิเดียวกันสารแต่ละชนิดละลายไม่เท่ากัน 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

$$X\ \text{HambChem} + Y\ \text{Cheese Chem} \longrightarrow 100\ \text{MacChem}$$

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

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์

1. ปิเปตต์ (Pipette) ขนาด 1, 2, 5 มิลลิลิตร
2. หลอดทดลอง (Test Tube) ขนาด (12 x 100) มิลลิเมตร
3. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeryer Flask) ขนาด 250 และ 1,000 มิลลิลิตร
4. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 100, 250, 500 มิลลิลิตร
5. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100, 250, 500 มิลลิลิตร
6. แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod)
7. โถดูดความชื้น (Desiccator)
8. ที่ตั้งหลอดทดลอง (Test Tube Rack)
9. หลอดฉีดยาพลาสติก (Plastic Syringe)
10. คิวเวทท์พลาสติก (Plastic Cuvette)
11. ไม้บรรทัด (Ruler)

สารเคมี

1. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) AR, Ajax Finechem
2. โซเดียมไฮโดรเจนฟอตเฟต (Na_2HPO_4) Commercial, รวมเคมี
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) AR, Merck
4. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) AR, Riedel
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR, Merck
6. แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) AR, Ajax Finechem
7. แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) AR, Carloerba
8. แบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$) AR , Ajax Finechem
9. กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) AR, เคมีกิจ
10. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) Commercial, เคมีกิจ
11. ไอร์ออน (III) คลอไรด์ ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) Lab, Ajax Finechem
12. อะลูมิเนียมไนเตรต ($Al(NO_3)_3$) AR, Riedel
13. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) AR, Riedel
14. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) AR, Ajax Finechem

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

15. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) AR, Ajax Finechem
16. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) AR, Ajax Finechem
17. เลด (II) ไนเตรต ($Pb(NO_3)_3$) AR, เคมีกิจ

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง (Precision Balance) รุ่น MS16023
2. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) รุ่น Modell 600
3. ชุดกรองสุญญากาศ (Suction Filtration)

วิธีการดำเนินการวิจัย

เปรียบเทียบลักษณะของตะกอนโดยการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมี 25 ปฏิกิริยา

ทำการศึกษาสารที่ทำปฏิกิริยาแล้วเกิดตะกอน เพื่อดูลักษณะของตะกอนที่เกิดโดยการเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้น 1 mol/dm^3 จับคู่และปิเปตสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้สารทำปฏิกิริยากัน แล้วปิเปตน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เพื่อเป็นการกดตะกอนทำให้ง่ายต่อการวัดค่าความสูง ทำการทดลองดังตารางที่ 3 สังเกตการเกิดตะกอน โดยพิจารณาความเรียบของผิวหน้าตะกอน การเกาะข้างหลอดของตะกอน การจับตัวของตะกอน สีของตะกอน บันทึกผล และประมวลผลการทดลองเพื่อคัดเลือกคู่สารจำนวน 3 คู่ ซึ่งคู่สารที่คัดเลือกจะต้องมีผิวหน้าของตะกอนเรียบ ไม่มีตะกอนติดข้างหลอดทดลอง ตะกอนแน่น และสีของตะกอนชัดเจน

ตาราง 3 คู่สาร 25 คู่สารที่ใช้ทำการศึกษาการเกิดตะกอน

สารละลายที่ทำปฏิกิริยากัน	ชนิดของตะกอน
1. $CaCl_2$ + Na_2HPO_4	$CaHPO_4$
2. $CaCl_2$ + Na_2CO_3	$CaCO_3$
3. $CaCl_2$ + Na_2SO_4	$CaSO_4$
4. $CaCl_2$ + $Pb(NO_3)_2$	$PbCl_2$
5. $CaCl_2$ + H_2SO_4	$CaSO_4$
6. $MgCl_2$ + Na_2CO_3	$MgCO_3$
7. $MgCl_2$ + Na_2HPO_4	$MgHPO_4$
8. $MgCl_2$ + $Pb(NO_3)_2$	$PbCl_2$
9. $BaCl_2$ + Na_2SO_4	$BaSO_4$

สถาบันของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 3 (ต่อ)

สารละลายที่ทำปฏิกิริยากัน	ชนิดของตะกอน
10. $Ba(OH)_2$ + H_2CO_3	$BaCO_3$
11. $BaCl_2$ + Na_2HPO_4	$BaHPO_4$
12. $Pb(NO_3)_2$ + KI	PbI_2
13. $Pb(NO_3)_2$ + Na_2CO_3	$PbCO_3$
14. $Pb(NO_3)_2$ + H_2SO_4	$PbSO_4$
15. $Pb(NO_3)_2$ + Na_2HPO_4	$PbHPO_4$
16. $Pb(NO_3)_2$ + $Ba(OH)_2$	$Pb(OH)_2$
17. $Pb(NO_3)_2$ + Na_2SO_4	$PbSO_4$
18. $Pb(NO_3)_2$ + H_3PO_4	$Pb_3(PO_4)_2$
19. $Pb(NO_3)_2$ + KOH	$Pb(OH)_2$
20. $Pb(NO_3)_2$ + $K_2Cr_2O_7$	$PbCr_2O_7$
21. $Pb(NO_3)_2$ + NaOH	$Pb(OH)_2$
22. $FeCl_3$ + $Ba(OH)_2$	$Fe(OH)_3$
23. $FeCl_3$ + NaOH	$Fe(OH)_3$
24. Na_2CO_3 + $Al(NO_3)_3$	$Al(CO_3)_3$
25. $Al(NO_3)_3$ + NaOH	$Al(OH)_3$

เลือกคู่สารที่เหมาะสม

ศึกษาทดลองและวิเคราะห์เพื่อเลือกคู่สารที่เหมาะสม 1 คู่สาร จาก 3 คู่สาร เพื่อใช้ในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการตกตะกอนทำการทดลอง 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. เปรียบเทียบความสูงของตะกอนกับระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดตะกอนของ 3 ปฏิกิริยา

2.1 $CaCl_2(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbCl_2(s) + Ca(NO_3)_2(aq)$

2.2 $CaCl_2(aq) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow CaSO_4(s) + 2HCl(aq)$

2.3 $Pb(NO_3)_2(aq) + Na_2SO_4(aq) \longrightarrow PbSO_4(s) + 2NaNO_3(aq)$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ทำการศึกษาคู่สารทั้ง 3 ปฏิกิริยาที่ได้คัดเลือกเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของตะกอน โดยการเตรียมสารละลาย $CaCl_2$, $Pb(NO_3)_2$, H_2SO_4 และ Na_2SO_4ให้มีความเข้มข้น 1 mol/dm^3 จากนั้นทำการทดลองคู่สารที่ 1 คือ $CaCl_2$ ทำปฏิกิริยากับ $Pb(NO_3)_2$ โดยใส่สารละลายดังตาราง 4 ศึกษาการเกิดตะกอน วัดความสูงโดยใช้ไม้บรรทัดยี่ห้อ Airplane หน่วยในการวัดเป็นเซนติเมตร และสังเกตลักษณะของตะกอน ทุก ๆ นาทีที่ 5, 10 และ 15 บันทึกผล จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนคู่เป็นคู่สารที่ 2 คือ $CaCl_2$ ทำปฏิกิริยากับ H_2SO_4 และคู่สารที่ 3 คือ $Pb(NO_3)_2$ ทำปฏิกิริยากับ Na_2SO_4

ตาราง 4 คู่สาร 1 คู่สารที่ใช้ทำการศึกษาการเกิดตะกอน

หลอดทดลองที่	ปิเปตสารละลาย $CaCl_2$ (ml)	ปิเปตสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ (ml)	เขย่า/ไม่เขย่า	ปิเปต H_2O (ml)
1	0.5	0.5	เขย่า	1.0
2	1.0	1.0	เขย่า	1.0
3	1.5	1.5	เขย่า	1.0
4	2.0	2.0	เขย่า	1.0

2. เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความสูงของตะกอน

ทำการศึกษาคู่สารทั้ง 3 ปฏิกิริยาที่ได้คัดเลือกเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของตะกอน โดยการเตรียมสารละลาย $CaCl_2$, $Pb(NO_3)_2$, H_2SO_4 และ Na_2SO_4 ให้มีความเข้มข้น 1 mol/dm^3 จากนั้นทำการทดลองคู่สารที่ 1 คือ สารละลาย $CaCl_2$ ทำปฏิกิริยากับสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ โดยใส่สารละลายปริมาตร ดังตาราง 5 เขย่า และเติมน้ำกลั่นหลอดละ 1 ml วัดความสูงโดยใช้ไม้บรรทัดยี่ห้อ Airplane หน่วยในการวัดเป็นเซนติเมตรพร้อมทั้งสังเกตลักษณะการเกิดของตะกอนทุก ๆ นาทีที่ 5 10 และ 15 บันทึกผล ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นนำตะกอนที่ได้จากการทดลองมาหามวลของตะกอน โดยวิธีการดังนี้

2.1 อบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อไล่น้ำ จากนั้นนำมาพักไว้ที่โถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น

2.2 นำกระดาษกรองที่อบแล้วมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกมวลกระดาษกรอง

2.3 นำกระดาษกรองที่ผ่านการชั่งมากรองตะกอนด้วยชุดกรองสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.4 นำสารที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที เพื่อไล่น้ำ จากนั้นนำมาพักไว้ที่โถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น

2.5 นำสารที่อบแล้วมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกมวลตะกอน

2.6 ทำการการทดลองซ้ำข้อ 4 และ 5 เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีมวลของน้ำ โดยสังเกตค่ามวลตะกอนไม่เปลี่ยนแปลง

ตาราง 5 คู่สาร 1 คู่สารที่ใช้ทำการศึกษามวลกับความสูงตะกอน

หลอดทดลองที่	ปิเปตสารละลาย $CaCl_2$ (ml)	ปิเปตสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ (ml)
1	0.10	0.10
2	0.20	0.20
3	0.30	0.30
4	0.40	0.40
5	0.50	0.50
6	0.60	0.60
7	0.70	0.70
8	0.80	0.80
9	0.90	0.90
10	1.00	1.00

เมื่อทำการทดลองสารคู่ที่ 1 แล้วให้ทำการทดลองต่อโดยเปลี่ยนเป็นคู่สารที่ 2 สารละลาย $CaCl_2$ ทำปฏิกิริยากับสารละลาย H_2SO_4 และคู่สารที่ 3 สารละลาย $Pb(NO_3)_2$ ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Na_2SO_4 ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น เมื่อทำการทดลองครบทั้ง 3 คู่สาร แล้วนำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยเพื่อนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของปฏิกิริยา จากนั้นเปรียบเทียบค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) ความสัมพันธ์สมการเชิงเส้นตรงซึ่งวิเคราะห์จากค่า Coefficient of Determination (R^2) ลักษณะการเกิดตะกอน ความยากง่ายในการเกิดตะกอน และความแน่นของตะกอน ประมวลผลวิเคราะห์ทำการคัดเลือก 1 คู่สารที่เหมาะสมเพื่อนำไปสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการตกตะกอน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม

เตรียมสารละลาย $CaCl_2$ และ H_2SO_4 ให้มีสองความเข้มข้นคือ 1 และ 2 mol/dm^3 แล้วทำการทดลองโดยใช้ปริมาตรและความเข้มข้น ดังตารางที่ 6 เขย่าสารละลายและเติมน้ำกลั่น 1 ml ลงในหลอดทดลอง วัดความสูงโดยใช้ไม้บรรทัดยี่ห้อ Airplane หน่วยในการวัดเป็นเซนติเมตรและสังเกตลักษณะของตะกอนทุก ๆ นาทีที่ 5 10 และ 15 บันทึกผล ในการทดลองแต่ละการทดลองให้ทำ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย (Mean) วิเคราะห์ผลการทดลองเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้ในการสร้างชุดทดลอง

ตาราง 6 ความเข้มข้นและปริมาตรที่ใช้ในการศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการเกิดตะกอน $CaSO_4$

การทดลองที่	ความเข้มข้นของ $CaCl_2$ (M)	ปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml)	ความเข้มข้นของ H_2SO_4 (M)	ปริมาตรของ H_2SO_4 (ml)
1	2	0.10 - 1.00	2	0.10 - 1.00
2	1	0.10 - 1.00	1	0.10 - 1.00
3	1	0.10 - 1.00	2	0.10 - 1.00
4	2	0.10 - 1.00	1	0.10 - 1.00
5	2	1.00	2	0.10 - 1.40
6	2	0.10 - 1.40	2	1.00
7	2	2.00	2	0.70 - 2.50
8	2	1.00	2	0.20 - 1.40

สร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต

ทำการศึกษาทดลองและวิเคราะห์คู่สาร เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอนเพื่อสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต เพื่อใช้ประกอบในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการตกตะกอน พร้อมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบอุปกรณ์เพื่อหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับสร้างชุดทดลอง

สถาบันของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เตรียมสารละลาย $CaCl_2$ และ H_2SO_4 ให้มีความเข้มข้น 2 mol/dm^3 ทำการทดลองโดยปิเปตต์สารละลายลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก ดังตาราง 7 วัดความสูงโดยใช้ไม้บรรทัดยี่ห้อ Airplane หน่วยในการวัดเป็นเซนติเมตรและสังเกตลักษณะของตะกอนทุก ๆ นาทีที่ 5, 10 และ 15 บันทึกผล นำตะกอนที่ได้จากการทดลองมาชั่งหามวลตะกอน โดยวิธีการดังนี้

1. อบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที เพื่อไล่น้ำ จากนั้นนำมาพักไว้ที่โถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น

2. นำกระดาษกรองที่อบแล้วมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกมวลกระดาษกรอง

3. นำกระดาษกรองที่ผ่านการชั่งมากรองตะกอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

4. นำสารที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที เพื่อไล่น้ำ จากนั้นนำมาพักไว้ที่โถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น

5. นำสารที่อบแล้วมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกมวลตะกอน

6. ทำการการทดลองซ้ำข้อ 4 และ 5 เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีมวลของน้ำ โดยสังเกตค่ามวลตะกอนไม่เปลี่ยนแปลง ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ

7. นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าความสูงและมวลเฉลี่ย และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของปฏิกิริยา วิเคราะห์ผล นำผลไปสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต

ตาราง 7 ปริมาตรที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูป

หลอดทดลองที่	ปิเปตปริมาตรของสารละลาย $CaCl_2$ (ml)	ปิเปตปริมาตรของสารละลาย H_2SO_4 (ml)
1	0.1	1.0
2	0.2	1.0
2	0.3	1.0
4	0.4	1.0
5	0.5	1.0
6	0.6	1.0
7	0.7	1.0
8	0.8	1.0
9	0.9	1.0
10	1.0	1.0

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เปรียบเทียบอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับสร้างชุดทดลอง

ทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้คิวเวทท์พลาสติก (Plastic Cuvette) แทนการใช้หลอดทดลองขนาดเล็ก และทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้หลอดฉีดยาพลาสติก (Plastic Syringe) แทนการใช้ปิเปตต์ โดยทำการทดลองตามขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นของขั้นที่ 4 โดยเปลี่ยนอุปกรณ์จากหลอดทดลองขนาดเล็กเป็นคิวเวทท์ และนำผลไปสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตสำหรับใช้ประกอบในชุดทดลอง และทำการทดสอบเพื่อหาค่า t - test โดยมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 วิเคราะห์ ระหว่างหลอดทดลองขนาดเล็กกับคิวเวทท์และทำการทดลองตามวิธีการดังกล่าวข้างต้นอีกครั้ง โดยเปลี่ยนมาใช้หลอดฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร แทนปิเปตต์ และทำการทดลองโดยใช้คิวเวทท์ จากนั้นทำการทดสอบเพื่อหาค่า t - test โดยมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดทดลองสำเร็จรูป

ชุดทดลอง 1 ชุดประกอบด้วย กล่องพลาสติก 1 กล่อง ขวดพลาสติกใส่สารเคมี 3 ใบ กระปุกพลาสติกใส่สารเคมี 3 ใบ คิวเวทท์พลาสติก 18 หลอด หลอดฉีดยาพลาสติก 3 อัน ไม้บรรทัด 1 อัน ที่คนสาร 1 ชิ้น ฐานสำหรับใส่คิวเวทท์ 1 อัน น้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 75 มิลลิลิตร สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 mol/dm^3 ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ใบแสดงวิธีใช้ชุดทดลอง และตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต โดยวิธีการทดลองและการใช้ตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตทำได้ดังนี้ ให้ผู้เรียนใช้หลอดฉีดยาดูดสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในคิวเวทท์ จำนวน 3 หลอด จากนั้นดูดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 2 mol/dm^3 เติมลงในคิวเวทท์ หลอดละ 0.4 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่น หลอดละ 1 มิลลิลิตร คนสารให้เข้ากันจับเวลา 5 นาที วัดความสูงของตะกอนด้วยไม้บรรทัด หน่วยเป็นเซนติเมตร บันทึกผล ทำการทดลองซ้ำด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ปริมาตรของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็น 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 ตามลำดับ และใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกกับน้ำกลั่นอย่างละจำนวน 1 มิลลิลิตรคงที่ นำค่าความสูงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับตารางมวลมาตรฐาน $CaSO_4$ ที่กำหนดให้ เพื่อหามวลของตะกอน $CaSO_4$ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ $CaCl_2$ และความสูงเฉลี่ยของตะกอน โดยให้แทนแกน X เป็นปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และให้ความสูงเฉลี่ยของตะกอน (cm) เป็นแกน Y จากกราฟการทดลองเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน ให้ผู้เรียนตอบคำถามว่า สารใดคือสารกำหนดปริมาณและสารใดคือสารเหลือ นำชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการเกิดตะกอนที่สร้างเสร็จแล้วไปทดสอบประสิทธิภาพ โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ 1) นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ ไม่จำกัดคณะ จำนวน 10 คน 2) นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี จำนวน 10 คน 3) นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จำนวน 25 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มใช้วิธีการเลือกแบบสุ่มเจาะจง โดยให้กลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้ทีละกลุ่ม โดยเริ่มจากกลุ่มที่ 1 เก็บและประมวลผลจากการปฏิบัติการทดลอง การสร้างกราฟ การตอบคำถามและประเมินความพึงพอใจ ซึ่งแบบประเมินความพึงพอใจสร้างโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 อันดับ ตามวิธีการของลิเคิร์ท (ชัชวาล เรืองประพันธ์. 2543 : 30) รวมทั้งข้อเสนอแนะ นำผลการประเมินและข้อเสนอแนะมาปรับปรุงและแก้ไขชุดทดลองที่สร้างขึ้น จากนั้นนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ 2 โดยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น แล้วทำการปรับปรุงอีกครั้ง จากนั้นนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ 3 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผลและการวิจารณ์

จากการดำเนินการวิจัยชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน ได้ผลการวิจัยดังนี้

ผลการเปรียบเทียบลักษณะของตะกอนโดยการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมี 25 ปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาการเกิดตะกอนที่ศึกษามีทั้งหมด 25 ปฏิกิริยา ดังตารางที่ 2 โดยการศึกษาได้สังเกตลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อค้นหาตะกอนที่มีลักษณะเหมาะสมซึ่งต้องมีลักษณะที่ดีครบสามประการ กล่าวคือ ตะกอนต้องมีผิวหน้าเรียบเพื่อให้ง่ายต่อการวัดความสูง ตะกอนจัดเรียงตัวแน่นเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดซึ่งหากตะกอนจัดเรียงตัวอย่างหลวม ๆ พบว่าความสูงของตะกอนจะลดลงอย่างมากเมื่อเวลาผ่านไป และตะกอนต้องไม่เกาะข้างหลอดเนื่องจากจะทำให้ความสูงของตะกอนคลาดเคลื่อนด้วยเช่นเดียวกัน ผลการทดสอบแสดงดังตาราง 8 จากผลการทดสอบพบว่าปฏิกิริยาการเกิดตะกอน $CaSO_4$ $PbCl_2$ และ $PbSO_4$ ในลำดับที่ 4, 5, 16 และ 17 ตามสมการที่ (1) ถึง (4) ให้ลักษณะตะกอนที่ดีครบทั้งสามข้อ

$$CaCl_2(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow 2HCl(aq) + CaSO_4(s) \quad .....(1)$$

$$CaCl_2(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \rightarrow Ca(NO_3)_2(aq) + PbCl_2(s) \quad .....(2)$$

$$Pb(NO_3)_2(aq) + Na_2SO_4(aq) \rightarrow 2NaNO_3(aq) + PbSO_4(s) \quad .....(3)$$

$$Pb(NO_3)_2(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow 2HNO_3(aq) + PbSO_4(s) \quad .....(4)$$

เมื่อได้ตะกอนจากปฏิกิริยาที่เหมาะสมแล้ว ผู้วิจัยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมวลของตะกอน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบตารางมวลมาตรฐาน โดยได้ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดตะกอนเฉพาะปฏิกิริยาที่ (1), (2) และ (3) ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาที่ (3) และ (4) ให้ตะกอน $PbSO_4$ ชนิดเดียวกัน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เพียงปฏิกิริยาเดียวคือปฏิกิริยาที่ (3) เนื่องจากการใช้ Na_2SO_4 จะมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้กรด H_2SO_4 นอกจากนี้พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นแม้เป็นตะกอนชนิดเดียวกันแต่อาจมีลักษณะที่แตกต่างกันได้เมื่อใช้สารตั้งต้นไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น ตะกอน $CaSO_4$ ในลำดับที่ 3 และ 4 เมื่อใช้ Na_2SO_4 พบว่ามีตะกอนเกาะด้านข้างหลอด ในขณะที่การใช้กรด H_2SO_4 กลับไม่พบตะกอนเกาะด้านข้างหลอดแต่อย่างใด ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับแรงยึดติด (Adhesive Force) แรงเชื่อมแน่น (Cohesive Force) และความแรงของไอออนในสารละลาย (Ionic Strength) ที่มีผลต่อความตึงผิวของสาร ทำให้การเกาะติดหลอดทดลองของตะกอนไม่เท่ากัน ส่วนตะกอนของ $PbCl_2$ ในลำดับที่ 5 และ 6 พบว่า เมื่อใช้ $MgCl_2$ แทนการใช้ $CaCl_2$ กลับทำให้ผิวหน้าตะกอนขรุขระ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 8 ลักษณะตะกอนจากปฏิกิริยาการเกิดตะกอน 25 ปฏิกิริยา

ลำดับ	สารตั้งต้นที่ใช้	ผลิตภัณฑ์ (ตะกอน)	สีตะกอน	ลักษณะตะกอน		
				ผิวหน้าเรียบ[1]	จัดเรียงตัวแน่น[2]	ไม่เกาะข้างหลอด[3]
1	$CaCl_2 + Na_2HPO_4$	$CaHPO_4$	ขาว	-	-	-
2	$CaCl_2 + Na_2CO_3$	$CaCO_3$	ขาว	-	-	-
3	$CaCl_2 + Na_2SO_4$	$CaSO_4$	ขาว	+	+	-
4	$CaCl_2 + H_2SO_4$	$CaSO_4$	ขาว	+	+	+
5	$CaCl_2 + Pb(NO_3)_2$	$PbCl_2$	ขาว	+	+	+
6	$MgCl_2 + Pb(NO_3)_2$	$PbCl_2$	ขาว	-	+	+
7	$MgCl_2 + Na_2CO_3$	$MgCO_3$	ขาว	-	-	-
8	$MgCl_2 + Na_2HPO_4$	$MgHPO_4$	ขาว	-	-	-
9	$BaCl_2 + Na_2SO_4$	$BaSO_4$	ขาว	+	+	-
10	$Ba(OH)_2 + H_2CO_3$	$BaCO_3$	ขาว	+	+	-
11	$BaCl_2 + Na_2HPO_4$	$BaHPO_4$	ขาว	+	+	-
12	$Al(NO_3)_3 + Na_2CO_3$	$Al_2(CO_3)_3$	ขาว	-	-	-
13	$Al(NO_3)_3 + NaOH$	$Al(OH)_3$	ขาว	+	+	-
14	$Pb(NO_3)_2 + KI$	PbI_2	เหลือง	+	+	-
15	$Pb(NO_3)_2 + Na_2CO_3$	$PbCO_3$	ขาว	+	+	-
16	$Pb(NO_3)_2 + Na_2SO_4$	$PbSO_4$	ขาว	+	+	+
17	$Pb(NO_3)_2 + H_2SO_4$	$PbSO_4$	ขาว	+	+	+
18	$Pb(NO_3)_2 + Na_2HPO_4$	$PbHPO_4$	ขาว	-	+	-
19	$Pb(NO_3)_2 + H_3PO_4$	$Pb_3(PO_4)_2$	ขาว	+	+	-
20	$Pb(NO_3)_2 + Ba(OH)_2$	$Pb(OH)_2$	ขาว	-	-	-
21	$Pb(NO_3)_2 + KOH$	$Pb(OH)_2$	ขาว	-	+	-
23	$Pb(NO_3)_2 + NaOH$	$Pb(OH)_2$	ขาว	-	+	-
24	$Pb(NO_3)_2 + K_2Cr_2O_7$	$PbCr_2O_7$	เหลือง	+	+	-
25	$FeCl_3 + Ba(OH)_2$	$Fe(OH)_3$	น้ำตาล	+	+	-
25	$FeCl_3 + NaOH$	$Fe(OH)_3$	น้ำตาลแดง	+	+	-

[1]ผิวหน้าเรียบ +, ผิวหน้าขรุขระ -, [2]ตะกอนจัดเรียงตัวแน่น +, ตะกอนจัดเรียงตัวไม่แน่น -, [3]ตะกอนไม่เกาะข้างหลอด +, ตะกอนเกาะข้างหลอด -

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกี่ยวข้องกับขนาดของตะกอนที่เกิดขึ้น ซึ่งแม้จะเป็นตะกอนชนิดเดียวกันแต่อาจมีขนาดต่างกัน เนื่องจากอัตราการเกิดตะกอนของแต่ละปฏิกิริยาไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้ขนาดของตะกอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันด้วย ตะกอนที่ขนาดเล็กจะรวมตัวกันแน่นและให้ผิวหน้าที่เรียบกว่าตะกอนที่มีขนาดใหญ่ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผิวหน้าตะกอนขรุขระได้ ยากต่อการวัดค่าความสูง จึงไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมวลของตะกอน

ผลการศึกษาทดลองและวิเคราะห์เพื่อเลือกคู่สารที่เหมาะสม

ผลการทดลองและวิเคราะห์เพื่อเลือกคู่สารที่เหมาะสม 1 คู่สาร จาก 3 คู่สาร เพื่อใช้ในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน ทำการทดลอง 2 ขั้นตอน ดังนี้

ผลการเปรียบเทียบความสูงของตะกอนกับระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดตะกอน

ผลการทดลองของทั้งสามปฏิกิริยานั้น จะได้สารละลายใส ลักษณะของตะกอนแน่นเหมือนกัน ส่วนผลการเปรียบเทียบความสูงของตะกอนกับระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดตะกอนของ 3 ปฏิกิริยา แบ่งเป็น 3 ตาราง ดังนี้

ตาราง 9 แสดงความสูงและลักษณะตะกอน $CaSO_4$ ที่เกิดจากปฏิกิริยา $CaCl_2(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow CaSO_4(s) + 2HCl\ (aq)$

ปริมาตรสาร (ml)		ความสูงเฉลี่ยของตะกอน (cm)			ร้อยละความสูงที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป	
$CaCl_2$	H_2SO_4	5 นาที	10 นาที	15 นาที	5 นาที	10 นาที
0.5	0.5	1.1	0.9	0.9	18.18	18.18
1.0	1.0	2.4	2.4	2.3	0.00	4.17
1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	0.00	0.00
2.0	2.0	2.7	2.6	2.6	3.70	0.00

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 10 แสดงความสูงและลักษณะตะกอน $PbCl_2$ ที่เกิดจากปฏิกิริยา $CaCl_2 + Pb(NO_3)_2 \rightarrow PbCl_2(s) + Ca(NO_3)_2$

ปริมาตรสาร (ml)		ความสูงเฉลี่ยของตะกอน (cm)			ร้อยละความสูงที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป	
$CaCl_2$	$Pb(NO_3)_2$	5 นาที	10 นาที	15 นาที	5 นาที	10 นาที
0.5	0.5	1.0	0.9	0.8	10.0	20.0
1.0	1.0	1.4	1.3	1.2	7.1	14.3
1.5	1.5	2.4	2.0	1.8	16.7	25.0
2.0	2.0	2.6	2.1	2.0	19.2	23.1

ตาราง 11 แสดงความสูงและลักษณะตะกอน $PbSO_4$ ที่เกิดจากปฏิกิริยา $Pb(NO_3)_2$ (aq) + Na_2SO_4 (aq) $\rightarrow$ $PbSO_4$ (s) + $2NaNO_3$ (aq)

ปริมาตรสาร (ml)		ความสูงเฉลี่ยของตะกอน (cm)			ร้อยละความสูงที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป	
$Pb(NO_3)_2$	Na_2SO_4	5 นาที	10 นาที	15 นาที	5 นาที	10 นาที
0.5	0.5	0.8	0.6	0.5	25.0	37.50
1.0	1.0	1.9	1.0	0.7	47.4	63.16
1.5	1.5	1.3	1.0	0.9	23.1	30.77
2.0	2.0	1.9	1.7	1.4	10.5	26.32

ตาราง 12 เปรียบเทียบร้อยละความสูงของตะกอน 3 ชนิด ที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

ปริมาตรสาร (ml)	ตะกอน $CaSO_4$		ตะกอน $PbCl_2$		ตะกอน $PbSO_4$	
	ร้อยละความสูงที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป		ร้อยละความสูงที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป		ร้อยละความสูงที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป	
	5 นาที	10 นาที	5 นาที	10 นาที	5 นาที	10 นาที
0.5	18.18	18.18	10.0	20.0	25.0	37.50
1.0	0.00	4.17	7.1	14.3	47.4	63.16
1.5	8.00	8.00	16.7	25.0	23.1	30.77
2.0	3.70	7.41	19.2	23.1	10.5	26.32

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

จากตะกอนผลการทดลอง ลักษณะของตะกอนช่วงแรก ตะกอนยังไม่แน่น เมื่อเวลาผ่านไปนาทีที่ 10 และ 15 แน่นขึ้นเหมือนกันทั้งสามปฏิกิริยาซึ่งสังเกตจากการวัดค่าความสูงของตะกอนและร้อยละการลดลงของความสูงเมื่อเวลาผ่านไป ดังตาราง 12 พบว่าตะกอนของ $CaSO_4$ มีร้อยละความสูงลดลงในช่วงเวลา 5 และ 10 นาทีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ส่วนตะกอนของ $PbSO_4$ มีร้อยละความสูงลดลงในช่วงเวลา 5 และ 10 นาทีเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังนั้นตะกอนของ $CaSO_4$ จึงเป็นตะกอนที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจาก เมื่อเวลาผ่านไป 5 และ 10 นาที ความสูงของตะกอนลดลงน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลดีเนื่องจากเวลามีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความสูงของตะกอนน้อย แต่อย่างไรก็ตาม จากตาราง 8 จะสังเกตเห็นว่า การเพิ่มปริมาตรของสารตั้งต้นเป็น 2 เท่าไปเรื่อย ๆ ณ ช่วงแรกที่ปริมาตรสารตั้งต้น อยู่ในช่วง 0.50 - 1.00 มิลลิลิตร มีความแตกต่างของความสูงตะกอนอย่างชัดเจน แต่ช่วง 1.00 - 2.00 มิลลิลิตร ความสูงตะกอนไม่แตกต่างกันมากนักจึงควรเลือกใช้ปริมาตรที่เหมาะสมในการออกแบบชุดทดลองสำเร็จรูป

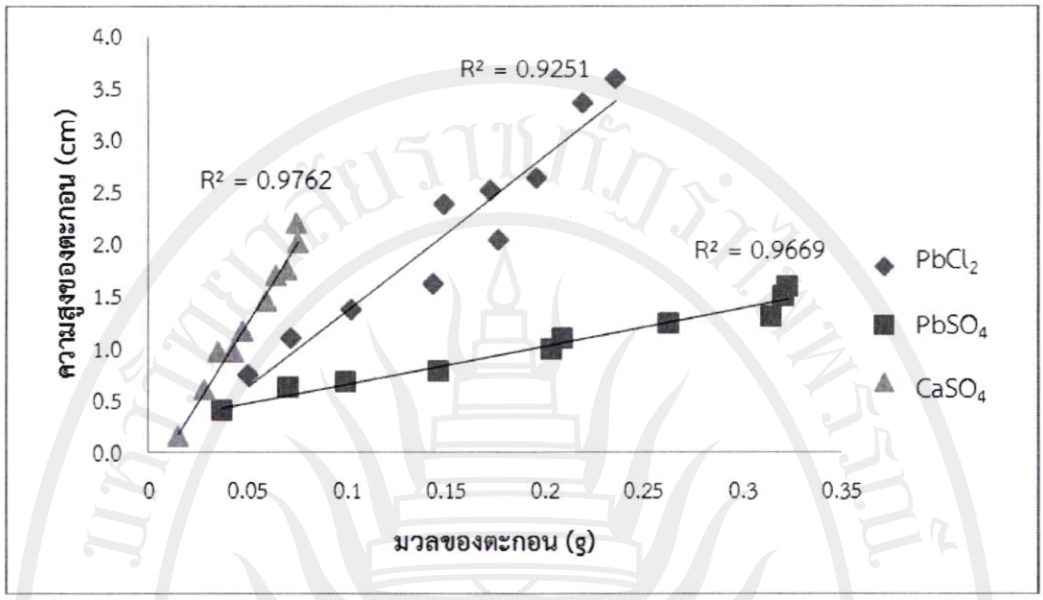
ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความสูงของตะกอน

ผลการทดลองแสดงค่าความสูงเฉลี่ยและค่ามวลเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$, $PbCl_2$ และ $PbSO_4$ ซึ่งหาจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อนำมาสร้างกราฟเพื่อหาค่า R^2 สำหรับเปรียบเทียบเลือก 1 ปฏิกิริยา แสดงดังตาราง 23, 24 และ 25 ตามลำดับ ในภาคผนวก ข

จากการทดลองของ 3 ปฏิกิริยา เพื่อศึกษาค่า S.D. ซึ่งคำนวณจากค่า S.D. เฉลี่ยของแต่ละปฏิกิริยา, R^2 ซึ่งสร้างจากค่ามวลเฉลี่ย (แกน Y) และค่าความสูงเฉลี่ย (แกนX) ลักษณะการเกิดตะกอน วิเคราะห์เลือก 1 ปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับสร้างชุดทดลอง แสดงดังตาราง 13 และภาพประกอบ 1 เปรียบเทียบค่า S.D. , R^2

ผลจากตาราง 13 พบว่า ค่า R^2 ของปฏิกิริยาการเกิดตะกอน $CaSO_4$ $PbCl_2$ และ $PbSO_4$ เท่ากับ 0.976 0.925 และ 0.966 ตามลำดับ และค่า S.D. เท่ากับ 0.0249 0.0419 และ 0.0373 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการศึกษากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมวลตะกอนทั้งสามชนิดแสดงดังภาพประกอบ 1 พบว่า ทั้งสามปฏิกิริยาให้กราฟความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยตะกอน $CaSO_4$ ในปฏิกิริยาที่ (1) ให้กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า เท่ากับ 0.976 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และมีค่าความคลาดเคลื่อน (S.D.) เท่ากับ 0.0249 ซึ่งน้อยที่สุด นอกจากนี้ข้อดีของปฏิกิริยานี้ที่ใช้สารตั้งต้นราคาไม่แพง และไม่เป็นโลหะหนักที่เป็นอันตราย อีกทั้งตะกอนของ $CaSO_4$ ยังมีประโยชน์ในหลายด้านสามารถนำไปใช้ในงานอื่นต่อได้ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมของยิปซัม ทำปูนปลาสเตอร์ ใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน ตลอดจนใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในวิชาเคมี ทำให้ไม่เป็นการเพิ่มขยะสารเคมีในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปฏิกิริยาการเกิดตะกอน $CaSO_4$ มาใช้ในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพประกอบ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอน $CaSO_4$, $PbSO_4$ และ $PbCl_2$

ตาราง 13 เปรียบเทียบค่า SD, R^2

ปฏิกิริยา	ค่า S.D. มวลเฉลี่ย	ค่า R^2
$CaCl_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2HCl$	0.0249	0.9762
$CaCl_2 + Pb(NO_3)_2 \rightarrow PbCl_2 + Ca(NO_3)_2$	0.0419	0.9251
$Pb(NO_3)_2 + Na_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2NaNO_3$	0.0373	0.9669

ผลการเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสม

การทดลองนี้เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน สำหรับการสร้างชุดทดลอง ความเข้มข้นของสารละลาย $CaCl_2$ และ H_2SO_4 ที่ใช้คือ 1 และ 2 mol/dm^3 โดยสลับคู่ความเข้มข้นและปริมาตรสังเกตตะกอนจะต้องมีลักษณะที่ดี คือ ตะกอนมีผิวหน้าเรียบและแน่นเพื่อง่ายต่อการวัดค่าความสูงของตะกอนที่เกิดขึ้น แสดงดังตาราง 14 ความเข้มข้นกับการเกิดตะกอน

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

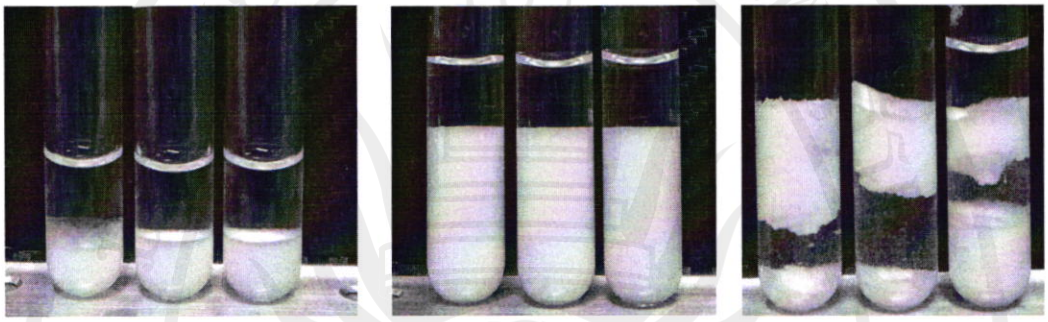
ตาราง 14 ความเข้มข้นกับการเกิดตะกอน

สารละลาย $CaCl_2$		สารละลายกรด H_2SO_4		ลักษณะตะกอน	
ความเข้มข้น (mol/dm^3)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (mol/dm^3)	ปริมาตร (ml)	ผิวหน้าเรียบ	จัดเรียงตัวแน่น
2	0.10 - 1.00	2	0.10 - 1.00	+	+
1	0.10 - 1.00	1	0.10 - 1.00	-	-
1	0.10 - 1.00	2	0.10 - 1.00	+	-
2	0.10 - 1.00	1	0.10 - 1.00	+	-
2	1.00	1	0.10 - 1.40	-	-
2	0.10 - 1.40	2	1.00	-	+
2	2.00	2	0.70 - 2.50	-	+
2	1.00	2	0.20 - 1.40	+	+

[1]ผิวหน้าเรียบ +, ผิวหน้าขรุขระ -, [2]ตะกอนจัดเรียงตัวแน่น +, ตะกอนจัดเรียงตัวไม่แน่น -

จากการทดลองปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย $CaCl_2$ กับกรด H_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 1 mol/dm^3 ปริมาตรต่ำกว่า 1 มิลลิลิตร พบว่า ต้องเขย่า และใช้เวลานานในการเกิดตะกอน ตะกอนเกิดยาก ผิวหน้าของตะกอนไม่เรียบ และไม่แน่น ส่วนปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1 mol/dm^3 กับกรด H_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 2 mol/dm^3 หรือปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 2 mol/dm^3 กับกรด H_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 1 mol/dm^3 จะให้ผลของลักษณะการเกิดตะกอนคล้ายกัน คือ เกิดตะกอนทันที แต่ผิวหน้าของตะกอนไม่เรียบ ไม่แน่น ส่วนปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย $CaCl_2$ กับกรด H_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 2 mol/dm^3 พบว่า จะเกิดตะกอนขึ้นทันที ผิวหน้าของตะกอนเรียบ แน่น และจากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเกิดตะกอน $CaSO_4$ คือ ต้องใช้สารละลาย $CaCl_2$ ทำปฏิกิริยากับกรด H_2SO_4 ที่เข้มข้น 2 mol/dm^3 เพราะเกิดตะกอนง่าย ผิวหน้าเรียบ ตะกอนแน่นส่งผลให้ตะกอนเกิดเร็วมากยิ่งขึ้น และช่วยเพิ่มความสูงของตะกอนเนื่องจากจำนวนโมลของ $CaSO_4$ เพิ่มสูงขึ้น ทำให้สามารถวัดความสูงของตะกอนได้ง่ายกว่าการใช้สารตั้งต้นความเข้มข้นต่ำ และยังลดการเขย่าซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุสารเคมีหกลงได้ โดยใช้เพียงการคนเบา ๆ ก็สามารถทำให้เกิดตะกอนได้อย่างรวดเร็ว เมื่อได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้วผู้วิจัยได้ศึกษาปริมาตรของสารตั้งต้นที่เหมาะสมในช่วง 0.1 - 2.5 มิลลิลิตร พบว่าหากใช้ปริมาตรสารตั้งต้นมากขึ้นจะส่งผลให้ตะกอนเกิดเร็วขึ้น โดยช่วง

ของปริมาตรที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.1 - 1.5 มิลลิลิตร ทั้งนี้ปริมาตรที่มากกว่า 1.5 มิลลิลิตร จะส่งผลให้ตะกอนเกิดขึ้นในทันทีโดยไม่ต้องเขย่าหรือคน และจะเกิดการแยกชั้นของตะกอนบนผิวหน้าออกจากบริเวณก้นหลอดทดลองทำให้ไม่สามารถวัดความสูงของตะกอนได้ ดังภาพประกอบ 2 และนอกจากนี้การใช้ปริมาตรเกิน 1.00 - 2.00 ไม่ส่งผลให้ความสูงของตะกอนเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน จึงไม่ควรใช้ปริมาตรในช่วงนี้



$CaCl_2$ เข้มข้น 1mol/dm^3
ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร
H_2SO_4เข้มข้น 1 mol/dm^3
ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร

ก

$CaCl_2$ เข้มข้น 2 mol/dm^3
ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร
H_2SO_4ข้มข้น 2 mol/dm^3
ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร

ข

$CaCl_2$ เข้มข้น 1 mol/dm^3
ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร
H_2SO_4เข้มข้น 2 mol/dm^3
ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร

ค

ภาพประกอบ 2 ภาพของตะกอน $CaSO_4$ ที่เกิดจาก $CaCl_2$ เข้มข้น 1 mol/dm^3 , H_2SO_4 1 mol/dm^3 และ $CaCl_2$ เข้มข้น 2 mol/dm^3 , H_2SO_4 2 mol/dm^3 ที่ปริมาตรต่าง ๆ

ผลการสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต

ผลการศึกษาทดลองและวิเคราะห์คู่สารเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอนเพื่อสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต โดยใช้อุปกรณ์ปิเปตต์และหลอดทดลองขนาดเล็ก เพื่อใช้ประกอบในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการตกตะกอน จากการทดลองเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ ทำให้ได้ความสูงและมวลของตะกอนแคลเซียมซัลเฟตในหลอดทดลองขนาดเล็ก ดังตาราง 15 เมื่อนำผลการทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอน ได้สมการ $Y = 0.1145X$ โดย Y คือ มวลจากการทดลองของ $CaSO_4$ และ ค่า X คือ ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ และค่า $R^2 = 0.9758$ ดังภาพประกอบ 3 นำสมการมาสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตจากหลอดทดลอง

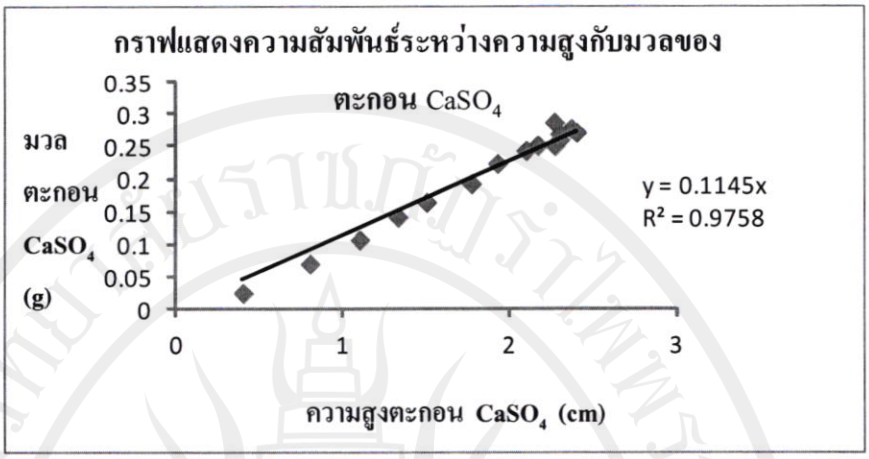
ขนาดเล็ก ดังแสดงตาราง 16 เมื่อใช้กรด H_2SO_4 2 mol/dm^3 1 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับ $CaCl_2$ เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร จากหลอดทดลองขนาดเล็ก

ตาราง 15 มวล $CaSO_4$ ทางทฤษฎีกับมวลจากการทดลอง

ปริมาตร $CaCl_2$ (ml)	มวล $CaSO_4$ ทฤษฎี (g)	มวล $CaSO_4$ จากการทดลอง (g±S.D.)	ร้อยละความแตกต่าง (%)	ผลได้ร้อยละ (%)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm±S.D.)
0.10	0.029	0.0192±0.00	34.48	65.52	1.10±0.23
0.20	0.059	0.0475±0.01	18.64	81.36	1.30±0.10
0.30	0.088	0.0728±0.00	17.05	82.95	1.70±0.09
0.40	0.118	0.1029±0.01	12.71	87.29	1.80±0.10
0.50	0.147	0.1226±0.00	16.33	83.67	2.00±0.04
0.60	0.176	0.1510±0.01	14.20	85.80	2.20±0.07
0.70	0.206	0.1755±0.00	14.56	85.44	2.30±0.02
0.80	0.235	0.1998±0.01	14.89	85.11	2.40±0.06
0.90	0.265	0.2131±0.00	19.62	80.38	2.50±0.01
1.00	0.294	0.2291±0.01	22.11	77.89	2.60±0.06

นำค่ามวลเฉลี่ยจากมวลของตะกอนและค่าความสูงเฉลี่ยโดยใช้หลอดทดลองขนาดเล็กจากการทดลองมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความสูงของตะกอน ดังภาพประกอบ 3

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนและมวลตะกอนที่เกิดขึ้น

ตาราง 16 แสดงตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตที่สร้างจากสมการจากการใช้หลอดทดลองขนาดเล็ก

ความสูงของตะกอน (cm)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
มวลตะกอน (g)	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
ความสูงของตะกอน (cm)	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
มวลตะกอน (g)	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23
ความสูงของตะกอน (cm)	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
มวลตะกอน (g)	0.24	0.25	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34

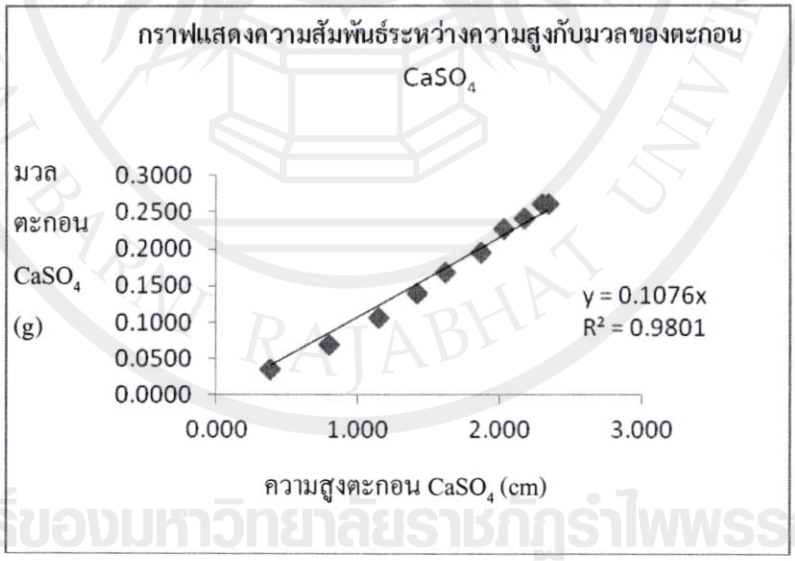
ผลการเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับสร้างชุดทดลอง

โดยแบ่งเป็นอุปกรณ์ 2 ชนิด คือระหว่างการใช้คิวเวทท์พลาสติก แทนการใช้หลอดทดลองขนาดเล็กและระหว่างการใช้หลอดฉีดยาพลาสติกแทนการใช้ปิเปตต์ ให้ผลดังตาราง 17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 17 ค่าความสูงกับมวลของตะกอนจากการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ ปิเปตต์และคิวเวทท์

ปริมาตร $CaCl_2$ (ml)	มวล $CaSO_4$ ทฤษฎี (g)	มวล $CaSO_4$ จากการทดลอง (g ±S.D.)	ร้อยละความแตกต่าง (%)	ผลได้ร้อยละ (%)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm ±S.D.)
0.10	0.029	0.0354±0.01	21.95	122	0.38±0.06
0.20	0.059	0.0694±0.00	17.63	118	0.79±0.07
0.30	0.088	0.1052±0.00	19.58	120	1.15±0.04
0.40	0.118	0.1406±0.00	19.15	119	1.42±0.09
0.50	0.147	0.1686±0.00	14.72	115	1.62±0.12
0.60	0.176	0.1945±0.01	10.51	111	1.87±0.12
0.70	0.206	0.2264±0.00	9.89	110	2.03±0.09
0.80	0.235	0.2403±0.01	2.27	102	2.12±0.07
0.90	0.265	0.2604±0.01	1.75	98	2.30±0.13
1.00	0.294	0.2598±0.01	11.62	88	2.35±0.11



ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมวลจากการใช้คิวเวทท์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 18 ตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตที่สร้างจากสมการการใช้ปิเปตกับคิวเวทท์

ความสูงของตะกอน (cm)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
มวลตะกอน (g)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11
ความสูงของตะกอน (cm)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
มวลตะกอน (g)	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.22
ความสูงของตะกอน (cm)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
มวลตะกอน (g)	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32

ตาราง 19 ผลการเปรียบเทียบชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต

อุปกรณ์	ค่า R^2	t–test จากการคำนวณ	t–test* จากตารางมาตรฐาน two-tail
หลอดทดลองขนาดเล็กกับหลอดฉีดยา	0.976	0.0143	2.0639
คิวเวทท์กับหลอดฉีดยา	0.980		
ปิเปตต์กับหลอดทดลองขนาดเล็ก	0.916		
หลอดฉีดยากับหลอดทดลองขนาดเล็ก	0.925	0.4878	2.0639

*ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ Df เท่ากับ 24

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

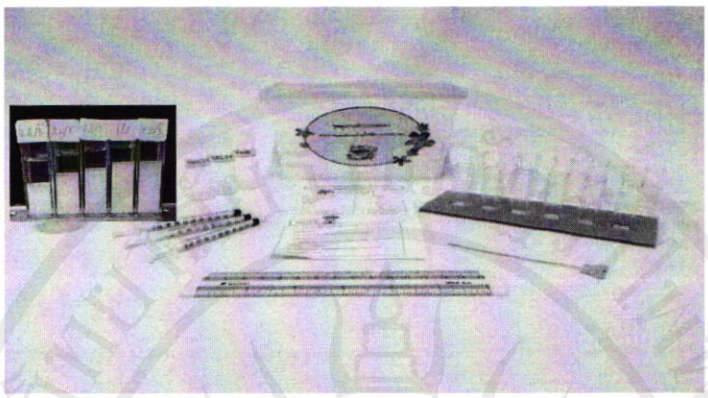
จากผลการทดลองดังตาราง 27 และตาราง 28 ซึ่งอยู่ในภาคผนวก ข เมื่อนำมาหาค่า R^2 และค่า t - test พบว่า ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) ของการทดลองโดยใช้คิวเวทท์ มีค่าสูงกว่าค่า R^2 ของการใช้หลอดทดลองขนาดเล็ก และเมื่อทดสอบค่า t - test ผลทางสถิติปรากฏว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น p = 0.05 ดังตาราง 19 ดังนั้นจึงใช้คิวเวทท์แทนหลอดทดลองขนาดเล็ก เพราะง่ายต่อการวัดค่าความสูง เนื่องจากมีฐานเรียบ อีกทั้งคิวเวทท์

เป็นพลาสติกจึงไม่แตกง่าย น้ำหนักเบา ง่ายต่อการล้างทำความสะอาดและเก็บรักษา ราคาถูก นอกจากจะเห็นว่าค่า R^2 ของการทดลองโดยใช้หลอดฉีดยามีค่าสูงกว่าค่า R^2 ของการใช้ปิเปตต์ และเมื่อทดสอบค่า t - test ผลทางสถิติปรากฏว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจึงใช้หลอดฉีดยาแทนปิเปตต์ เพราะขั้นตอนการดูดสารทำได้ง่ายและใช้เวลาน้อยกว่าปิเปตต์ ทั้งยังเป็นพลาสติกจึงไม่แตกง่าย น้ำหนักเบา ราคาถูก หาซื้อได้ทั่วไปในท้องถิ่น แต่การใช้หลอดฉีดยามีข้อควรระวังคือ ต้องทำการไล่ฟองอากาศให้หมดในขณะที่ดูดสารเคมี เพราะการมีฟองอากาศจะทำให้ปริมาตรของสารคลาดเคลื่อน เมื่อพบว่าอุปกรณ์ที่ทำการศึกษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจึงนำผลที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ปิเปตกับคิวเวทท์และจากการทดลองเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างทำให้ได้ค่าความสูงและค่ามวลของตะกอนแคลเซียมซัลเฟตในคิวเวทท์ ดังตาราง 17 เมื่อนำผลการทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอน ได้สมการ $Y = 0.1076X$ โดย Y คือ มวลจากการทดลองของ $CaSO_4$ และ ค่า X คือ ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ และค่า $R^2 = 0.980$ ดังภาพประกอบ 4 มาทำการสร้างตารางมวลมาตรฐาน $CaSO_4$ สำหรับใช้ในการสร้างชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการตกตะกอน ดังตาราง 18

ผลการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดทดลองสำเร็จรูป

ได้ชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการเกิดตะกอน ประกอบด้วยอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลองจำนวน 1 ชุดประกอบด้วยกล่องพลาสติก 1 กล่อง ขวดพลาสติกใส่สารเคมี 3 ใบ กระปุกพลาสติกใส่สารเคมี 3 ใบ คิวเวทท์ 18 หลอด หลอดฉีดยา 3 อัน ไม้บรรทัด 1 อัน ลวดคนสาร 1 ชิ้น สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 75 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 75 ลูกบาศก์เซนติเมตร และน้ำกลั่น 75 ลูกบาศก์เซนติเมตร ฐานสำหรับใส่คิวเวทท์ 1 อัน ใบแสดงจำนวนอุปกรณ์สารเคมี และวิธีการทดลอง ตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต บรรจุลงในกล่องพลาสติกปิดฝา โดยชุดการทดลองนี้มีราคาต้นทุนกล่องละ 260 บาท และได้กำหนดราคาขายกล่องละ 300 บาท แสดงดังภาพประกอบ 5

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 5 ชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการเกิดตะกอน

จากการนำชุดทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการเกิดตะกอนมาทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 3 กลุ่ม ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การปฏิบัติการทดลองและตอบคำถามตามใบกิจกรรม และ ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ชุดการทดลองเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยวิธีการตกตะกอน ให้ทำการทดลองตามใบกิจกรรมที่ 1 ตามภาคผนวก ค โดยทำการทดลองคือใช้หลอดฉีดยา ดูดสารละลายสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 1 ml ลงในคิวเวทท์ (Cuvette) จำนวน 5 หลอด จากนั้นดูดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 1.2, 1.0, 0.8, 0.6, 0.4 ml และน้ำกลั่นเติมลงในคิวเวทท์ที่เตรียมไว้ จำนวน 1 ml จนครบ ทั้ง 5 คิวเวทท์ตามลำดับ จับเวลาหลอดละ 5 นาที บันทึกความสูงของตะกอน ทำการทดลอง 1 ซ้ำ เขียนกราฟและตอบคำถามตามใบกิจกรรม ให้ผลดังนี้

กลุ่มที่ 1 นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ไม่จำกัดคณะ จำนวน 10 คน พบว่า

1. ผู้ที่ตอบคำถามว่าสารใดคือสารกำหนดปริมาณถูกต้อง จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 80
2. ผู้ที่ตอบคำถามว่าสารใดคือสารเหลือถูกต้อง จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 70
3. สามารถเขียนกราฟได้ถูกต้อง 1 คน คิดเป็นร้อยละ 10
4. สามารถปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนในใบแสดงวิธีทำด้วยตนเองถูกต้อง ร้อยละ 100
5. ใช้ตารางมวลมาตรฐาน $CaSO_4$ ใช้บอกมวลของตะกอนได้ถูกต้อง ร้อยละ 100

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 20 ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

ข้อ	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
1.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา	4.60	พึงพอใจมากที่สุด
2.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย	4.60	พึงพอใจมากที่สุด
3.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม	4.40	พึงพอใจมาก
4.	ผู้ทดลองมีส่วนร่วมในการทดลอง	4.40	พึงพอใจมาก
5.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง	4.30	พึงพอใจมาก
6.	ชุดทดลองส่งเสริมให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	4.30	พึงพอใจมาก
7.	ผู้ทดลองเกิดความสนุกสนานในการเรียน	4.10	พึงพอใจมาก
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก	4.50	พึงพอใจมาก
9.	ความเหมาะสมของแบบฝึกหัดในชุดทดลอง	4.30	พึงพอใจมาก
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้	4.40	พึงพอใจมาก
	ระดับความพึงพอใจเฉลี่ยคือ	4.39	พึงพอใจมาก

ผลจากการใช้ชุดทดลองสำเร็จรูปด้านระดับความพึงพอใจเฉลี่ยคือ 4.39 แปลได้ว่าพึงพอใจมาก ส่วนด้านการปฏิบัติการทดลองตามใบกิจกรรม พบปัญหาเรื่องการสร้างกราฟการทดลองคือ ผู้ทำการทดสอบเขียนกราฟได้ถูกต้องเพียง 1 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10 และทำการทดลองเพียง 1 ซ้ำ จึงทำให้การทดลองไม่ได้ผลเท่าที่ควรเพราะไม่สามารถนำผลการทดลองมาเขียนกราฟได้อย่างถูกต้องและอาจทำให้ความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณในเรื่องใช้ความสูงในการเทียบหามวลจากตารางมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟตคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้ผู้ทำการทดสอบได้ให้ข้อเสนอแนะว่าควรเขียนขั้นตอนการทดลองให้ชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการปรับใบกิจกรรมใหม่โดยการเขียนขั้นตอนการทดลองให้กระชับ ชัดเจน และเพิ่มการทดลองเป็น 2 ตอน คือ การใช้อุปกรณ์ 2 ชุด ระหว่างการใช้ปิเปตต์กับคิวเวทท์ และ การใช้หลอดฉีดยาเพื่อเปรียบเทียบ

ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง และเพิ่มจำนวนการทดลองเป็น 3 ซ้ำแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยมาเขียนกราฟการทดลองให้ได้ค่าความสูงที่ถูกต้องพร้อมทั้งแก้ไขแบบสอบถามความพึงพอใจในบางข้อเพื่อให้สอดคล้องกับชุดทดลอง จากนั้นนำชุดทดลองพร้อมใบกิจกรรมที่ปรับแก้ให้กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี จำนวน 10 คน โดยให้ใช้ใบกิจกรรมที่ 2 ตามภาคผนวก ค วิธีการทดลองคือ ตอนที่ 1 ใช้อุปกรณ์ปิเปตต์กับคิวเวทท์ ทำโดยปิเปตต์สารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 1 ml ลงในคิวเวทท์ จำนวน 3 หลอด จากนั้นปิเปตต์สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1 mol/dm^3 เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 1 หลอดละ 0.6 ml ตามด้วยปิเปตต์น้ำกลั่น เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 2 หลอดละ 1 ml คนสารละลายให้เข้ากัน จับเวลา 5 นาที วัดความสูงของตะกอน บันทึกผล จากนั้นทำการเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนปริมาตรของสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1 mol/dm^3 จากหลอดละ 0.6 ml เป็น 0.8, 1.0, 1.2 ml ตามลำดับ เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้น หาค่าเฉลี่ยความสูงของตะกอนในแต่ละปริมาตรของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สร้างกราฟ และตอบคำถามตามใบกิจกรรม สำหรับการทดลองตอนที่ 2 ทำเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นหลอดฉีดยากับคิวเวทท์ พบว่าการใช้อุปกรณ์ปิเปตต์ และหลอดฉีดยา ให้ผลการทดสอบเหมือนกัน ดังนี้

1. ผู้ที่ตอบคำถามว่าสารใดคือสารกำหนดปริมาณถูกต้อง จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 100
2. ผู้ที่ตอบคำถามว่าสารใดคือสารเหลือถูกต้อง จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 100
3. สามารถเขียนกราฟได้ถูกต้อง 8 คน คิดเป็นร้อยละ 80
4. สามารถปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนในใบแสดงวิธีทำด้วยตนเองถูกต้อง ร้อยละ 100
5. ใช้ตารางมวลมาตรฐาน $CaSO_4$ ใช้บอกมวลของตะกอนได้ถูกต้อง ร้อยละ 100
6. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลอง โดยใช้อุปกรณ์ปิเปตใช้เวลาเฉลี่ย 46.5 นาที ซึ่งมากกว่าเวลาเฉลี่ยในการใช้หลอดฉีดยาซึ่งใช้เพียง 24.9 นาที

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 21 ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

ข้อ	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
1.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา	4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
2.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย	4.80	ความพึงพอใจมากที่สุด
3.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม	4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
4.	ผู้ทดลองมีความส่วนร่วมในการทดลอง	4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
5.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง	4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
6.	ชุดทดลองส่งเสริมให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
7.	ผู้ทดลองเกิดความสนุกสนานในการเรียน	4.40	ความพึงพอใจมาก
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก	4.50	ความพึงพอใจมาก
9.	หลอดฉีดยาใช้สะดวกกว่าปิเปตต์	4.90	ความพึงพอใจมากที่สุด
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้	4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
	ระดับความพึงพอใจเฉลี่ย	4.66	ความพึงพอใจมากที่สุด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผลจากการใช้ชุดทดลองสำเร็จรูปด้านระดับความพึงพอใจเฉลี่ยคือ 4.66 แปลได้ว่าพึงพอใจมากที่สุด ส่วนด้านการปฏิบัติการทดลองตามใบกิจกรรมเมื่อนำค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 3 ซ้ำมาเขียนกราฟพบว่า ถูกต้องจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 80 และอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลองควรเป็นหลอดฉีดยาเนื่องจากใช้งานได้สะดวกและประหยัดเวลาในการทดลอง นอกจากนี้ผู้ทดสอบ

ได้เสนอแนะให้ประดิษฐ์ลวดคนสารให้มีความแข็งแรงมากขึ้น และควรมีฐานรองคิวเวทท์ระหว่างทำการทดลองเพื่อความสะดวกในการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ลวดคนสารให้แข็งแรงยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มขนาดของลวด ส่วนฐานรองคิวเวทท์ใช้ฟิวเจอร์บอร์ดมาทำเนื่องจากหาง่าย น้ำหนักเบา และราคาไม่แพง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ปรับใบกิจกรรมใหม่ให้เหลือเฉพาะขั้นตอนใช้อุปกรณ์หลอดฉีดยากับคิวเวทท์เพราะใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลาในการทดลอง ราคาถูก และให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการใช้ปิเปตต์ จากนั้นนำไปให้ผู้ทดสอบ กลุ่มที่ 3 นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จำนวน 25 คน ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่เคยเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณมาก่อน โดยให้ใช้ใบกิจกรรมที่ 3 ตามภาคผนวก ค วิธีการทดลองใช้อุปกรณ์หลอดฉีดยากับคิวเวทท์ ทำโดยดูดสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 1 ml ลงในคิวเวทท์ จำนวน 3 หลอด จากนั้นดูดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1 mol/dm^3 เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 1 หลอดละ 0.6 ml ตามด้วยดูดน้ำกลั่น เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 2 หลอดละ 1 ml คนสารละลายให้เข้ากัน จับเวลา 5 นาที วัดความสูงของตะกอน บันทึกผล จากนั้นทำการเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนปริมาตรของสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1 mol/dm^3 จากหลอดละ 0.6 ml เป็น 0.8, 1.0, 1.2 ml ตามลำดับ เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้น หาค่าเฉลี่ยความสูงของตะกอนในแต่ละปริมาตรของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สร้างกราฟ และตอบคำถามตามใบกิจกรรม ผลเป็นดังนี้

1. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลอง เสร็จสิ้นใช้เวลาเฉลี่ย 36.03 นาที
2. ผู้ที่ตอบคำถามว่ามวล $CaSO_4$ คงที่เมื่อใช้ $CaCl_2$ ปริมาตรเท่าใดได้ถูกต้องจำนวน 24 คน คิดเป็นร้อยละ 96
3. ผู้ที่ตอบคำถามว่ามวลของ $CaSO_4$ ที่สามารถเกิดได้มากที่สุดควรเป็นเท่าใดได้ถูกต้องจำนวน 14 คนคิดเป็นร้อยละ 56
4. ผู้ที่ตอบคำถามว่าสารกำหนดปริมาณคือสารใดได้ถูกต้อง จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 84
5. ผู้ที่ตอบคำถามว่าสารเหลือ คือสารใดได้ถูกต้อง จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 88
6. สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอนกับปริมาตรของ $CaCl_2$ ได้ถูกต้อง จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 64

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 22 ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ 3

ข้อ	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
1.	หลังใช้ชุดทดลองสำเร็จรูปผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณในระดับใด	4.24	ความพึงพอใจมาก
2.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา	4.32	ความพึงพอใจมาก
3.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย	4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
4.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม	3.88	ความพึงพอใจมาก
5.	ผู้ทดลองมีส่วนร่วมในการทดลอง	4.56	ความพึงพอใจมากที่สุด
6.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง	4.36	ความพึงพอใจมาก
7.	ชุดทดลองนี้สามารถทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณมากขึ้น	4.24	ความพึงพอใจมาก
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก	4.08	ความพึงพอใจมาก
9.	ผลการทดลองช่วยในการตอบคำถามหลังการทดลองได้ง่าย	4.24	ความพึงพอใจมาก
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้	4.20	ความพึงพอใจมาก
	ระดับความพึงพอใจเฉลี่ย	4.27	ความพึงพอใจมาก

ผลจากการใช้ชุดทดลองสำเร็จรูปด้านระดับความพึงพอใจเฉลี่ยคือ 4.27 แปลได้ว่าพึงพอใจมาก ส่วนด้านการปฏิบัติการทดลองตามใบกิจกรรมพบว่าเนื่องจากผู้ทดสอบกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่ไม่เคยเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณมาก่อน แต่เมื่อทดลองใช้ชุดกิจกรรมสามารถตอบคำถามและปฏิบัติตามใบกิจกรรมได้ถูกต้องในแต่ละคำถามเฉลี่ยเกิน ร้อยละ 56

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

การสร้างชุดการทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย $CaCl_2$ กับกรด H_2SO_4 เป็นปฏิกิริยาที่ดีที่สุดได้ตะกอน $CaSO_4$ ซึ่งมีลักษณะการเกิดตะกอนที่ดี ตะกอนแน่น ไม่มีตะกอนเกาะรอบหลอด ผิวหน้าตะกอนเรียบ และเป็นสารที่หาง่าย ราคาถูก ปลอดภัย โดยความเข้มข้นของสารละลายกรด H_2SO_4 และ $CaCl_2$ ที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา คือ 2 mol/dm^3 และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับสร้างชุดทดลองใช้หลอดฉีดยาพลาสติกแทนปิเปตต์ ใช้คิวเวทท์พลาสติกแทนหลอดทดลองขนาดเล็ก เนื่องจากใช้สะดวก ง่ายต่อการวัดความสูงของตะกอน ขั้นตอนการดูดสารในการใช้หลอดฉีดยาทำได้ง่ายและใช้เวลาน้อยกว่าปิเปตต์ ทั้งยังเป็นพลาสติกจึงไม่แตกง่าย น้ำหนักเบา ง่ายต่อการล้างทำความสะอาดและเก็บรักษา ราคาถูกหาซื้อได้ทั่วไปในท้องถิ่น และจากผลการทดลองทำให้ได้ตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต ทำให้ทราบค่ามวลของสารจากความสูงตะกอนโดยไม่ต้องชั่งมวลของตะกอน สามารถแก้ปัญหาการไม่มีเครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่งได้ในบางโรงเรียน และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ $CaCl_2$ และความสูงเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$ และใช้การแปลผลจากกราฟตอบคำถามเรื่องสารกำหนดปริมาณว่าสารใดหมด สารใดเหลือได้ เมื่อนำชุดการทดลองสำเร็จรูปไปให้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 กลุ่มทดลองใช้ คือ กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ ไม่จำกัดคณะ จำนวน 10 คน กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี จำนวน 10 คน และกลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จังหวัดระยอง จำนวน 25 คน โดยวิธีสุ่มแบบเจาะจง ปรากฏว่ากลุ่มที่ 1 มีความพึงพอต่อชุดทดลองในระดับพึงพอใจมาก ส่วนการทำกิจกรรมการทดลองพบปัญหาว่า หลังทำการทดลองอาสาสมัครสร้างกราฟได้ถูกต้องเพียงร้อยละ 10 ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการปรับแก้ใบกิจกรรมให้มีขั้นตอนที่ชัดเจนพร้อมทั้งทำการทดลองเพิ่มเป็น 3 ซ้ำ และแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนเพื่อเปรียบเทียบเวลา และความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ระหว่างการใช้ปิเปตต์กับหลอดฉีดยาจากนั้นนำใบกิจกรรมที่ปรับแก้ไปทดสอบกับกลุ่มที่ 2 ซึ่งพบว่ากลุ่มนี้มีความพึงพอใจต่อชุดทดลองในระดับมากที่สุดอีกทั้งสามารถสร้างกราฟหลังการทดลองได้ถูกต้องร้อยละ 80 นอกจากนี้พบว่าการใช้หลอดฉีดยาพลาสติกใช้งานได้สะดวกและประหยัดเวลากว่าการใช้ปิเปตต์และได้มีข้อเสนอแนะคือ ควรทำลวดคนสารให้แข็งแรงและควรมีฐานรองคิวเวทท์

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

พลาสติกเพื่อความสะดวกในการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยได้ปรับแก้ใบกิจกรรมอีกครั้งให้เหลือเฉพาะส่วนที่ใช้อุปกรณ์หลอดฉีดยาพลาสติกกับคิวเวทท์พลาสติก ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ สร้างลวดคนสารให้แข็งแรงพร้อมทั้งสร้างฐานรองคิวเวทท์พลาสติก จากนั้นนำไปทดสอบกับกลุ่มทดลองกลุ่มที่ 3 ซึ่งไม่เคยเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณมาก่อน พบว่าอาสาสมัครสามารถทำการทดลองและตอบคำถามได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 56 และความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองอยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะ

ควรนำชุดทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอนไปใช้สอนวิชาเคมี เรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ เพื่อช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2556). **คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2**. กรุงเทพฯ : สกสค. ลาดพร้าว.

_____. (2557). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2**. กรุงเทพฯ : สกสค. ลาดพร้าว.

ขวัญใจ จินดานุรักษ์. (2534). **แนวโน้มของสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา ในปี พ.ศ. 2555**. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (โสตทัศนศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ชัชวาล เรืองประพันธ์. (2543). **สถิติพื้นฐานพร้อมตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab SPSS และ SAS**. ขอนแก่น : โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

ฐิติมา อรุณรังษี. (2557). **การสร้างชุดสาธิตสำหรับการสอนเคมี เรื่องหลักเลอชาเตอริเอ เพื่อเพิ่มผลการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสายปัญญารังสิต**. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (การสอนวิทยาศาสตร์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต.

เติมศักดิ์ สุวรรณ. (2554). **วิธีสอนแบบทดลอง**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.krutermsak.in.th/index.php/2013-02-14-03-15-32/2-uncategorised/24-2013-02-22-06-06-49. 9 พฤษภาคม 2554.

ธีระยุทธ เพลิดพริ้ง. (2556). **การสร้างชุดการเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 เรื่อง การหาความเร็วเสียงโดยวิธีเรโซแนนซ์**. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ.

นวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล. (2557). **พันธะเคมี ตอนที่ 4 การละลายและการตกตะกอนของสารไอออนิก**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : www.satriwit3.ac.th/external_newsblog.php?links=1286. 18 ตุลาคม 2557.

นิรมล แสงศรี. (2535). **การศึกษาการใช้สื่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของครูวิทยาศาสตร์ดีเด่น ในระดับมัธยมศึกษา**. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (โสตทัศนศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญธรรม จอมมงคล. (2539). **การสร้างชุดการสอนรายวิชาย่อย สำหรับกลุ่มสร้างเสริมประสบการณ์ชีวิต ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5**. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (เทคโนโลยีทางการศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พวงทอง มีมั่งคั่ง. (2537). **การสอนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา**. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูพระนคร.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

มนต์ชัย เทียนทอง. (2548). "แนวทางการจัดการเรียนการสอน e-Learning ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ". วารสารการประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ.

รณชัย กลิ่นกล้า. (2559). "ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้และวิธีการแบบเปิดเพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ วิชาเคมี เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5," **วารสารการศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**. 18 (1 มกราคม - มีนาคม) : 211 - 217.

ละออ การุณยะวนิช. (2529). **วิธีสอนทั่วไป**. กรุงเทพฯ :โรงพิมพ์รุ่งเรืองธรรม.

ศันสนีย์ สุริยาวงษ์. (2534). **การศึกษาการใช้สื่อการสอนของครูโรงเรียนประถมศึกษา สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดพิจิตร**. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (เทคโนโลยีทางการศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

สะอาด กันคำ. (2556). **การสร้างชุดทดลองเรื่องการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นไฟฟ้ากระแสตรง วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)**. วิทยานิพนธ์ ค.อ.ม. (แขนงวิชาอิเล็กทรอนิกส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุวัฒก์ นิยมค้า. (2531). **ทฤษฎีและการปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้**. กรุงเทพฯ : เจเนอร์บุคส์.

อนันต์ ช้างต่อ. (2545). **การพัฒนาชุดการสอนวิชาเคมี เรื่องพันธะโคเวเลนต์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4**. ศษ.ม. (เทคโนโลยีทางการศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Artdej, Romklao. (October 2003). "A Dramatic Classroom Demonstration of Limiting Reagent Using the Vinegar and Sodium Hydrogen Carbonate Reaction," **Journal of Chemical Education**. 85 (10) : 1382 - 1384.

Chebolu, Venkat and Storandt, Barbara C. (March 2003). "Stoichiometry of the Reaction of Magnesium with Hydrochloric Acid, " **Journal of Chemical Education**. 80 (3) : 305 - 306.

Flguelra, Alvaro Rocha, Coch, Juan and Zeplca, Marilene. (December 1988). "Teaching Stoichimetry," **Journal of Chemical Education**. 65 (12) : 1060 - 1061.

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอัลบูรพา

Franciscan, Padua. (December 2000). "Fizzy Drinks : Stoichiometry You Can Taste," **Journal of Chemical Education**. 77 (12) : 1608.

Haim, Liliana and et al. (September 2003). "Learning Stoichiometry with Hamburger Sanwiches," **Journal of Chemical Education**. 80 (9) : 1021 - 1022.

Koga, Nobuyoshi Kimura, Tomoyasu and Shigedomi, Kana. (May 2011). "Laboratory Inquiry for Determining the Chemical Composition of a Component in a Daily Use Detergent: Sodium Sesquicarbonate," **Journal of Chemical Education**. 88 (10) : 1309 - 1313.

Laura M. Lanni. (10 July 2014). "Filling a Plastic Bag with Carbon Dioxide : A Student-Designed Guided-Inquiry Lab for Advanced Placement and College Chemistry Courses," **Journal of Chemical Education**. 91 : 1390 - 1392.

Murov, Steven and Stedjee, Brian. (October 2001). "Analysis of Zinc Tablets : An Extension to a Stoichiometry Experiment," **Journal of Chemical Education**. 78 (10) : 1389.

Pienta, Norbert J. and et al. (November 1997). "How Big Is the Balloon? Stoichiometry Using Baking Soda and Vinegar," **Journal of Chemical Education**. 74 (11) : 1328A - 1328B.

Zhilin, Denis M. (1 February 2012). "Stoichiometric Experiment with Alkane Combustion : A Classroom Demonstation," **Journal of Chemical Education**. 89 (10) : 649 - 651.

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมี และการคำนวณทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1. การเตรียมสารเคมี

คำนวณเตรียมความเข้มข้นของทุกสารให้มีความเข้มข้น 1 mol/dm^3 , 2 mol/dm^3

1.1 สูตรคำนวณ

1.2 สูตรคำนวณ $C_1V_1 = C_2V_2$

เตรียมความเข้มข้นของทุกสารให้มีความเข้มข้น 1 mol/dm^3

สาร	น้ำหนักที่ชั่ง (g)
1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)	1.66
2. สารละลายเลด (II) ไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$)	3.17
3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)	1.47
4. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	1.06
5. สารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)	1.42
6. สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)	2.03
7. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$)	2.44
8. สารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$)	3.15
9. สารละลายกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3)	0.62
10. สารละลายไอออน (III) คลอไรด์ ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)	2.71

2. ผลผลิตร้อยละ (Percent Yield) โดยคำนวณจากสมการ

ผลผลิตร้อยละ = $\times 100$

ผลผลิตจริง คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองหรือจากการเกิดปฏิกิริยา

ผลผลิตตามทฤษฎี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการเคมี เกิดจากปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ผลผลิตร้อยละ จะได้ไม่ถึงร้อยเปอร์เซ็นต์เนื่องจากการทำการทดลอง จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง อาจจะทำให้เกิดสารชนิดอื่น ๆ ได้ นอกจากนี้ สารตั้งต้นอาจจะมีสารชนิดอื่นปนอยู่ด้วย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตัวอย่างการคำนวณ คำนวณผลได้ร้อยละของมวล $CaSO_4$ เมื่อกำหนดให้มวล $CaSO_4$ ตามทฤษฎีเท่ากับ 0.029 กรัม และมวล $CaSO_4$ จากการทดลอง 0.0192 กรัม

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

$$= \frac{0.0192}{0.029} \times 100$$

$$= 65.52$$

ดังนั้น ผลได้ร้อยละของมวล $CaSO_4$ คือ 65.52

3. ร้อยละ (Percentage) เป็นค่าสถิติที่นิยมใช้กันมาก โดยเป็นการเปรียบเทียบความถี่ หรือจำนวนที่ต้องการกับความถี่หรือจำนวนทั้งหมดที่เทียบเป็น 100 จะหาค่าร้อยละจากสูตรต่อไปนี้

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

เมื่อ P แทน ค่าร้อยละ
f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นค่าร้อยละ
N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณ ร้อยละความแตกต่างระหว่างมวลจากการทดลองและมวลทางทฤษฎีของ $CaSO_4$ โดยมวลจากการทดลองได้ 0.0475 กรัม และมวลทางทฤษฎีได้ 0.059 กรัม

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

$$= \frac{0.0475}{0.059} \times 100$$

$$= 18.64$$

ดังนั้น ร้อยละความแตกต่างระหว่างมวลจากการทดลองและมวลทางทฤษฎีของ $CaSO_4$ คือ 18.64

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

4. ค่าเฉลี่ย (Mean) หรือเรียกว่าค่ากลางเลขคณิต ค่าเฉลี่ย ค่ามัชฌิมเลขคณิต เป็นต้น

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดของกลุ่ม

n แทน จำนวนของคะแนนในกลุ่ม

ตัวอย่างการคำนวณ จากแบบสอบถามระดับความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองสำเร็จรูปเป็นดังนี้ 4.6, 4.6, 4.4, 4.4, 4.3, 4.3, 4.1, 4.5, 4.3, 4.4 จงหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตระดับความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองสำเร็จรูปของนักศึกษากลุ่มนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$= \frac{4.6 + 4.6 + 4.4 + 4.4 + 4.3 + 4.3 + 4.1 + 4.5 + 4.3 + 4.4}{10}$$

$$= 4.39$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยเลขคณิตระดับความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองสำเร็จรูปของนักศึกษากลุ่มคือ 4.39

5. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นการวัดการกระจายที่นิยมใช้กันมากเขียนแทนด้วย S.D. หรือ S

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X} - X)^2}{n - 1}}$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เมื่อ S.D. แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน ค่าคะแนน

n แทน จำนวนคะแนนในแต่ละกลุ่ม

$\sum$ แทน ผลรวม

ตัวอย่างการคำนวณ จงหาค่า S.D. ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ โดยใช้ข้อมูลตาราง 23 ภาคผนวก ข

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X}-X)^2}{n-1}}$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(0.0341-0.0147)^2}{9}}$$

$$= 0.0186$$

ดังนั้น ค่า S.D. ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ คือ 0.0186

6. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล 2 ชุด ใช้สูตรดังนี้

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2-(\sum D)^2}{(n-1)}}} \quad df = n - 1$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

D แทน ค่าผลต่างระหว่างคู่คะแนน

ΣD แทน ผลรวมค่าผลต่างระหว่างคู่คะแนน

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

df แทน องศาแห่งความเป็นอิสระ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดลอง

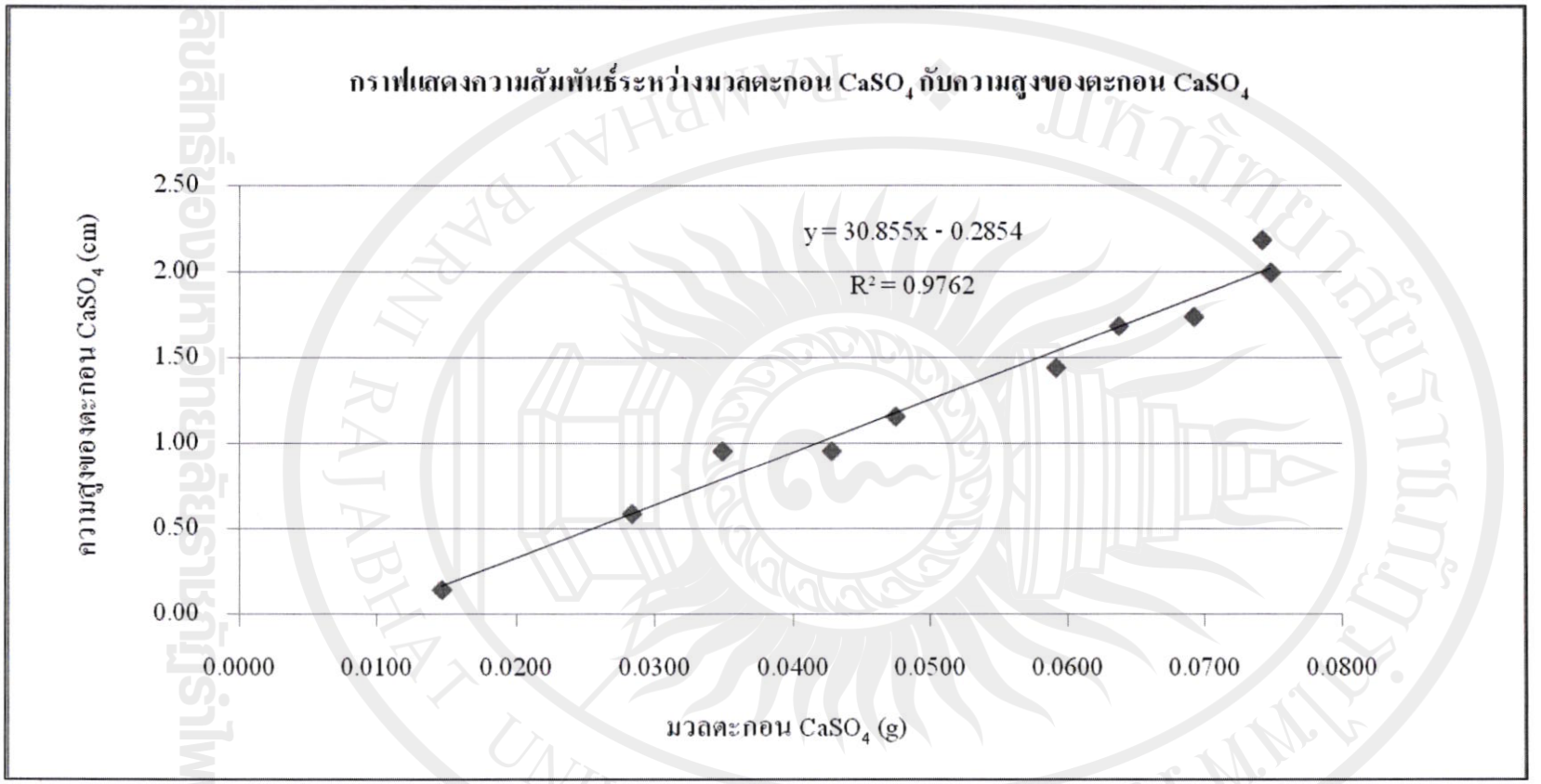
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 23 ความสูงและมวลของตะกอน $CaSO_4$ ณ ช่วงเวลา 5 นาที

เมื่อใช้สารละลาย $CaCl_2$ และ H_2SO_4 เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร $CaCl_2$ 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร และปริมาตร H_2SO_4 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร

1. ปฏิกิริยา $CaCl_2\,(aq) + H_2SO_4\,(aq) \longrightarrow CaSO_4\,(s) + 2HCl\,(aq)$

ml	mol	มวล ครั้งที่ 1 (g)	มวล ครั้งที่ 2 (g)	มวล ครั้งที่ 3 (g)	มวล เฉลี่ย (g)	S.D. มวลเฉลี่ย	มวล ทฤษฎี (g)	ผลได้ ร้อยละ %	ความสูง ครั้งที่ 1 (cm)	ความสูง ครั้งที่ 2 (cm)	ความสูง ครั้งที่ 3 (cm)	ความสูง เฉลี่ย (cm)	S.D. สูง เฉลี่ย
0.10	1×10^{-4}	-0.0030	0.01300	0.0341	0.0147	0.0186	0.0136	108.06	0.07	0.17	0.20	0.14	0.0681
0.20	2×10^{-4}	0.0046	0.02057	0.0598	0.0283	0.0284	0.0272	104.18	0.53	0.57	0.67	0.59	0.0721
0.30	3×10^{-4}	0.0268	0.02937	0.0722	0.0428	0.0255	0.0408	104.82	0.93	0.93	1.00	0.96	0.0404
0.40	4×10^{-4}	0.0162	0.03673	0.0518	0.0349	0.0178	0.0544	64.16	0.80	1.03	1.03	0.96	0.1328
0.50	5×10^{-4}	0.0257	0.05097	0.0658	0.0475	0.0202	0.0680	69.82	0.77	1.30	1.40	1.16	0.3386
0.60	6×10^{-4}	0.0270	0.05910	0.0913	0.0591	0.0322	0.0816	72.45	1.40	1.37	1.57	1.44	0.1079
0.70	7×10^{-4}	0.0383	0.06157	0.0915	0.0638	0.0267	0.0952	66.97	1.57	1.73	1.77	1.69	0.1058
0.80	8×10^{-4}	0.0383	0.06567	0.1039	0.0693	0.0330	0.1088	63.68	1.27	1.97	2.00	1.74	0.4131
0.90	9×10^{-4}	0.0503	0.07653	0.0977	0.0748	0.0237	0.1224	61.11	1.83	2.23	1.93	2.00	0.2082
1.00	10×10^{-4}	0.0537	0.07767	0.0914	0.0743	0.0191	0.1360	54.58	2.10	2.17	2.30	2.19	0.1015



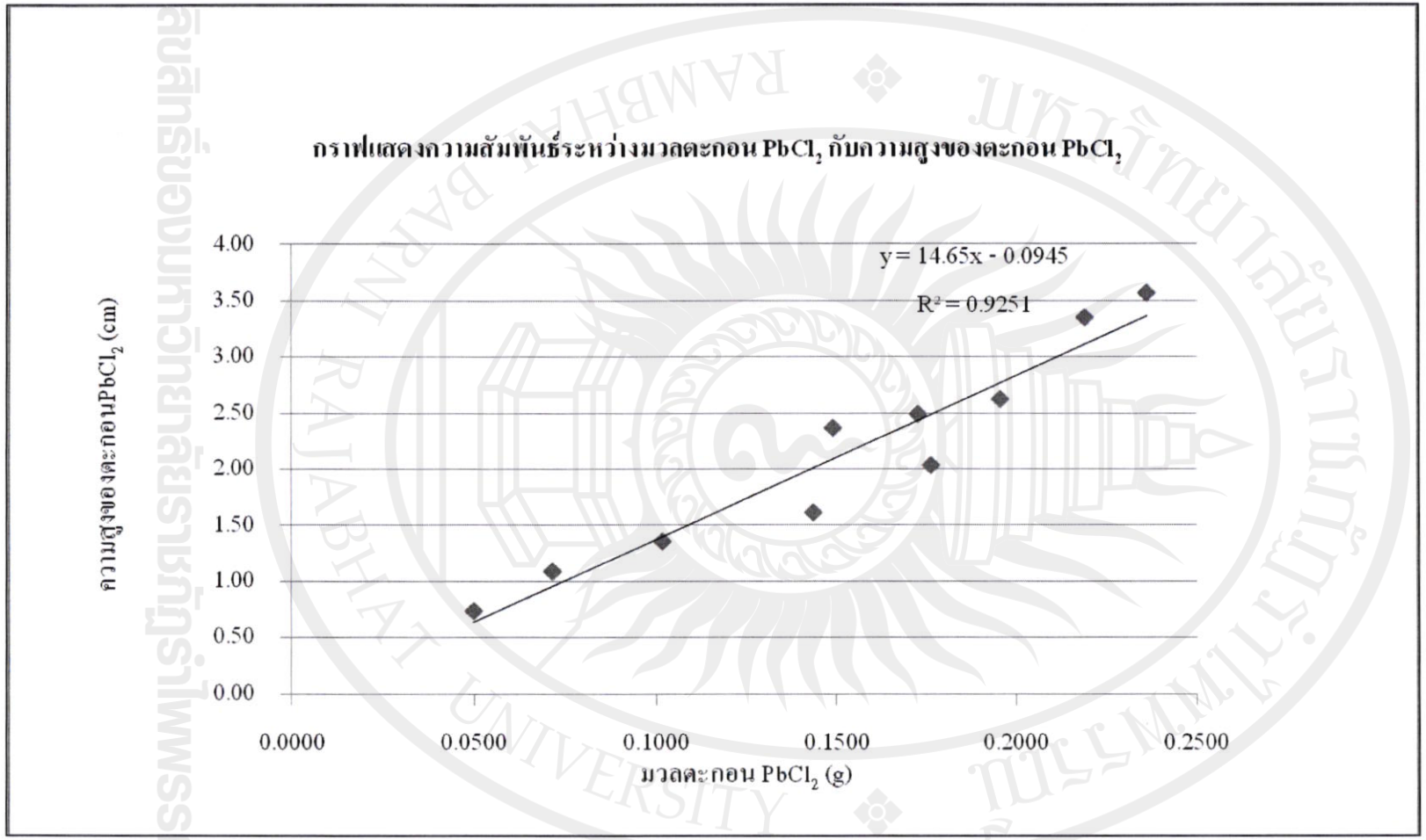
ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$

ตาราง 24 ความสูงและมวลของตะกอน $PbCl_2$ ณ ช่วงเวลา 5 นาที

เมื่อใช้สารละลาย $CaCl_2$ และ $Pb(NO_3)_2$ เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร $CaCl_2$ 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร และปริมาตร $Pb(NO_3)_2$ 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร

2. ปฏิกิริยา $CaCl_2(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbCl_2(s) + Ca(NO_3)_2(aq)$

ml	mol	มวล ครั้งที่ 1 (g)	มวล ครั้งที่ 2 (g)	มวล ครั้งที่ 3 (g)	มวล เฉลี่ย (g)	S.D. มวล เฉลี่ย	มวล ทฤษฎี (g)	ผลได้ ร้อยละ %	ความสูง ครั้งที่ 1 (cm)	ความสูง ครั้งที่ 2 (cm)	ความสูง ครั้งที่ 3 (cm)	ความสูง เฉลี่ย (cm)	S.D. สูง เฉลี่ย
0.10	$1 X 10^{-4}$	0.0732	0.0385	0.0377	0.0498	0.0203	0.0695	71.64	0.75	0.70	0.77	0.74	0.0361
0.20	$2 X 10^{-4}$	0.0792	0.0802	0.0550	0.0715	0.0143	0.1391	51.40	0.95	1.05	1.27	1.09	0.1637
0.30	$3 X 10^{-4}$	0.1216	0.1076	0.0760	0.1018	0.0234	0.2086	48.79	1.34	1.32	1.42	1.36	0.0529
0.40	$4 X 10^{-4}$	0.1565	0.1674	0.1065	0.1435	0.0324	0.2781	51.59	1.57	1.55	1.73	1.62	0.0987
0.50	$5 X 10^{-4}$	0.2248	0.1216	0.1824	0.1763	0.0518	0.3476	50.71	2.01	2.08	2.02	2.04	0.0379
0.60	$6 X 10^{-4}$	0.1340	0.1044	0.2084	0.1489	0.0536	0.4172	35.71	2.15	2.58	2.38	2.37	0.2152
0.70	$7 X 10^{-4}$	0.1373	0.1464	0.2338	0.1725	0.0533	0.4867	35.44	2.37	2.55	2.57	2.50	0.1102
0.80	$8 X 10^{-4}$	0.1591	0.1809	0.2469	0.1956	0.0457	0.5562	35.17	2.48	2.75	2.65	2.63	0.1365
0.90	$9 X 10^{-4}$	0.1893	0.1785	0.2894	0.2190	0.0611	0.6257	35.00	3.38	3.53	3.13	3.35	0.2021
1.00	$10 X 10^{-4}$	0.1806	0.2238	0.3041	0.2362	0.0627	0.6953	33.97	3.40	4.00	3.32	3.57	0.3717



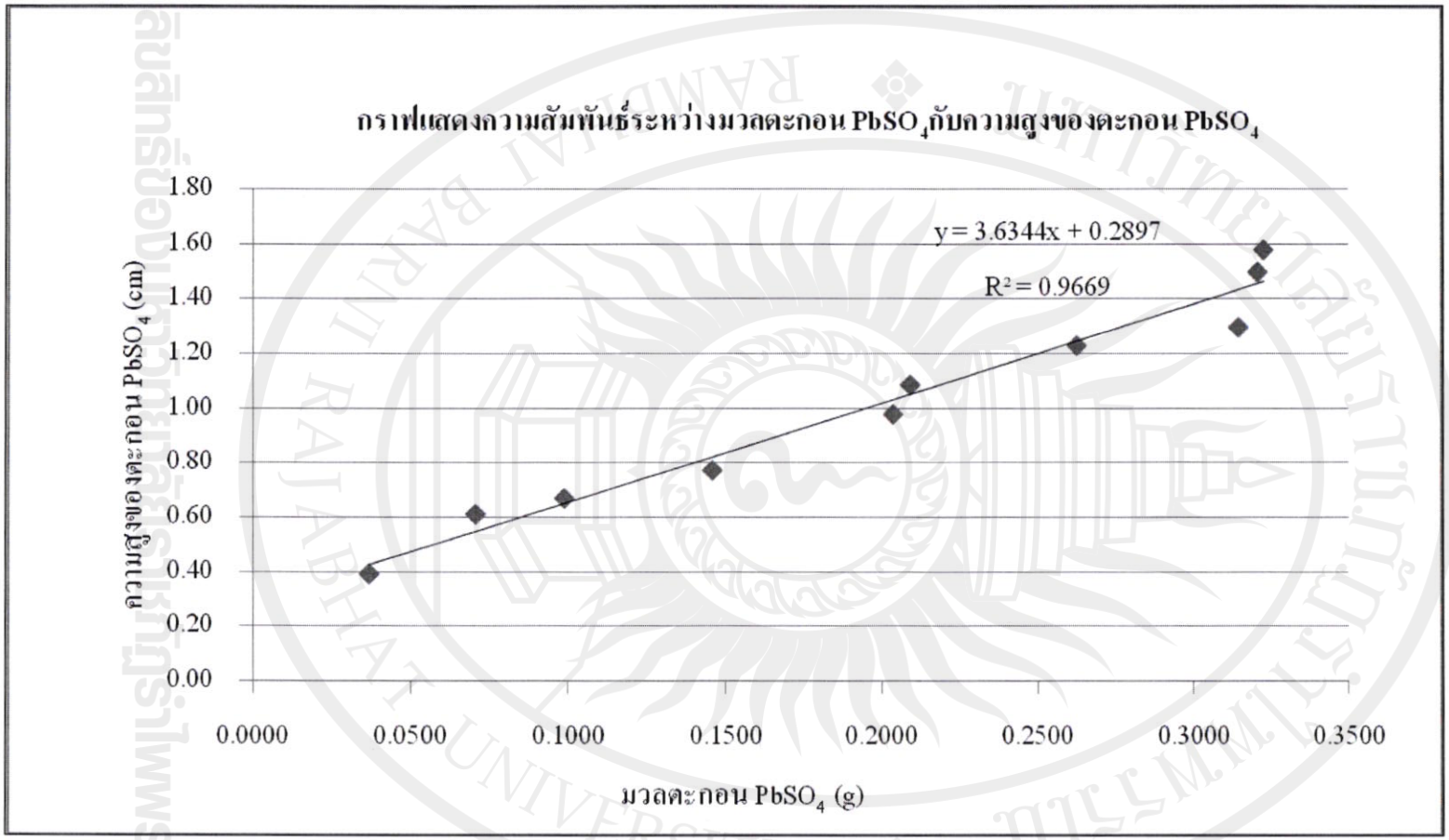
ภาพประกอบ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $PbCl_2$

ตาราง 25 ความสูงและมวลของตะกอน $PbSO_4$ ณ ช่วงเวลา 5 นาที

เมื่อใช้สารละลาย $Pb(NO_3)_2$ และ Na_2SO_4 เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร $Pb(NO_3)_2$ 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร และปริมาตร Na_2SO_4 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร

3. ปฏิกิริยา $Pb(NO_3)_2(aq) + Na_2SO_4(aq) \longrightarrow PbSO_4(s) + NaNO_3(aq)$

ml	mol	มวล ครั้งที่ 1 (g)	มวล ครั้งที่ 2 (g)	มวล ครั้งที่ 3 (g)	มวล เฉลี่ย (g)	S.D. มวล เฉลี่ย	มวล ทฤษฎี (g)	ผลได้ ร้อยละ %	ความสูง ครั้งที่ 1 (cm)	ความสูง ครั้งที่ 2 (cm)	ความสูง ครั้งที่ 3 (cm)	ความสูง เฉลี่ย (cm)	S.D. สูง เฉลี่ย
0.10	$1 X 10^{-4}$	0.0318	0.03467	0.0447	0.0371	0.0068	0.0758	48.87	0.43	0.39	0.35	0.39	0.0400
0.20	$2 X 10^{-4}$	0.0619	0.06437	0.0848	0.0704	0.0126	0.1517	46.41	0.73	0.53	0.57	0.61	0.1058
0.30	$3 X 10^{-4}$	0.0915	0.09297	0.1126	0.0990	0.0118	0.2275	43.53	0.71	0.62	0.67	0.67	0.0451
0.40	$4 X 10^{-4}$	0.1236	0.16937	0.1448	0.1459	0.0229	0.3033	48.10	0.82	0.77	0.74	0.77	0.0404
0.50	$5 X 10^{-4}$	0.1706	0.20177	0.2386	0.2036	0.0340	0.3791	53.71	1.03	0.91	0.99	0.98	0.0611
0.60	$6 X 10^{-4}$	0.1902	0.18497	0.2521	0.2091	0.0373	0.4550	45.96	1.18	0.98	1.10	1.09	0.1007
0.70	$7 X 10^{-4}$	0.2244	0.22577	0.3384	0.2629	0.0654	0.5308	49.52	1.25	1.18	1.25	1.23	0.0404
0.80	$8 X 10^{-4}$	0.2577	0.25700	0.4290	0.3146	0.0991	0.6066	51.85	1.32	1.27	1.30	1.30	0.0252
0.90	$9 X 10^{-4}$	0.2885	0.28943	0.3899	0.3226	0.0583	0.6824	47.27	1.82	1.42	1.50	1.58	0.2117
1.00	$10 X 10^{-4}$	0.2963	0.31987	0.3458	0.3206	0.0247	0.7583	42.29	1.37	1.57	1.56	1.50	0.1127



ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $PbSO_4$

ตาราง 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับมวลของตะกอนเพื่อสร้างตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต เมื่อใช้สารละลาย $CaCl_2$ และ H_2SO_4 เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร $CaCl_2$ 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร และปริมาตร H_2SO_4 1.00 มิลลิลิตร

สาร/ปริมาตรที่ทำปฏิกิริยา	ความสูงเฉลี่ย (cm)							มวลเฉลี่ย (กรัม)						
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	เฉลี่ย	S.D.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	เฉลี่ย	S.D.
0.10	0.70	1.23	1.07	1.26	1.13	1.08	0.2267	0.0201	0.0197	0.0209	0.0160	0.0195	0.0192	0.0019
0.20	1.13	1.30	1.36	1.33	1.35	1.29	0.0954	0.0554	0.0454	0.0488	0.0504	0.0377	0.0475	0.0066
0.30	1.50	1.73	1.66	1.66	1.70	1.65	0.0901	0.0747	0.0708	0.0743	0.0703	0.0741	0.0728	0.0021
0.40	1.73	1.90	1.76	1.84	1.96	1.84	0.0954	0.1082	0.1204	0.0952	0.0964	0.0945	0.1029	0.0112
0.50	2.00	2.06	2.00	2.00	2.06	2.02	0.0365	0.1202	0.125	0.1216	0.1193	0.1268	0.1226	0.0032
0.60	2.10	2.20	2.23	2.13	2.26	2.18	0.0691	0.1613	0.1535	0.1484	0.1507	0.1413	0.1510	0.0073
0.70	2.30	2.30	2.33	2.33	2.30	2.31	0.0182	0.1718	0.1718	0.1775	0.1735	0.1831	0.1755	0.0048
0.80	2.33	2.40	2.46	2.40	2.50	2.42	0.0650	0.2030	0.2068	0.1976	0.1926	0.1991	0.1998	0.0054
0.90	2.50	2.50	2.50	2.53	2.50	2.50	0.0149	0.2138	0.2139	0.2162	0.208	0.2138	0.2131	0.0031
1.00	2.50	2.56	2.60	2.61	2.66	2.58	0.0614	0.2246	0.2277	0.2317	0.2207	0.2409	0.2291	0.0077

ตาราง 27 มวลที่ได้จากสมการโดยการใช้ปิเปตต์และหลอดฉีดยา

เมื่อใช้สารละลาย $CaCl_2$ และ H_2SO_4 เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร $CaCl_2$ 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร และปริมาตร H_2SO_4 1.00 มิลลิลิตร อุปกรณ์ที่ใช้คือ ปิเปตกับคิวเวทท์และหลอดฉีดยากับคิวเวทท์

ความสูงของตะกอน (cm) = แกน x	มวลจากสมการใช้ปิเปตกับคิวเวทท์ (กรัม) = แกน y	มวลจากสมการใช้หลอดฉีดยากับคิวเวทท์ (กรัม) = แกน y	t-test
0.1	0.01	0.01	0.4878
0.2	0.02	0.02	
0.3	0.03	0.03	
0.4	0.04	0.04	
0.5	0.05	0.05	
0.6	0.06	0.06	
0.7	0.07	0.07	
0.8	0.08	0.08	
0.9	0.09	0.09	
1.0	0.10	0.10	
1.1	0.11	0.11	
1.2	0.12	0.12	
1.3	0.13	0.13	
1.4	0.14	0.14	
1.5	0.15	0.15	
1.6	0.16	0.16	
1.7	0.17	0.17	
1.8	0.18	0.18	
1.9	0.19	0.19	
2.0	0.20	0.20	
2.1	0.21	0.21	
2.2	0.22	0.22	

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 27 (ต่อ)

ความสูงของตะกอน (cm) = แกน x	มวลจากสมการใช้ปิเปต กับคิวเวทท์ (กรัม) = แกน y	มวลจากสมการใช้หลอดฉีดยา กับคิวเวทท์ (กรัม) = แกน y	t-test
2.3	0.23	0.24	
2.4	0.24	0.25	
2.5	0.25	0.26	

วิธีการคำนวณค่า t-test

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน

ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_{post} = \mu_{pre}$

$H_1 : \mu_{post} > \mu_{pre}$

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = .05$

ขั้นที่ 3 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - (\sum D)^2}{(N-1)}}} \quad ; df = n - 1$$

ขั้นที่ 4 กำหนดขอบเขตวิกฤติ

กำหนด $\alpha = .05$ และเป็นการทดสอบแบบทางเดียว ($H_1 : \mu_{post} > \mu_{pre}$) ค่าวิกฤตของ t ณ df = 24 และ $\alpha = .05$ จะได้ค่าวิกฤตของ t ($t_{ตาราง}$) = 2.0639

ขั้นที่ 5 คำนวณค่าสถิติตามสูตร

โดยใช้ โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 ในการวิเคราะห์ผล ได้ค่า t-test = 0.4878

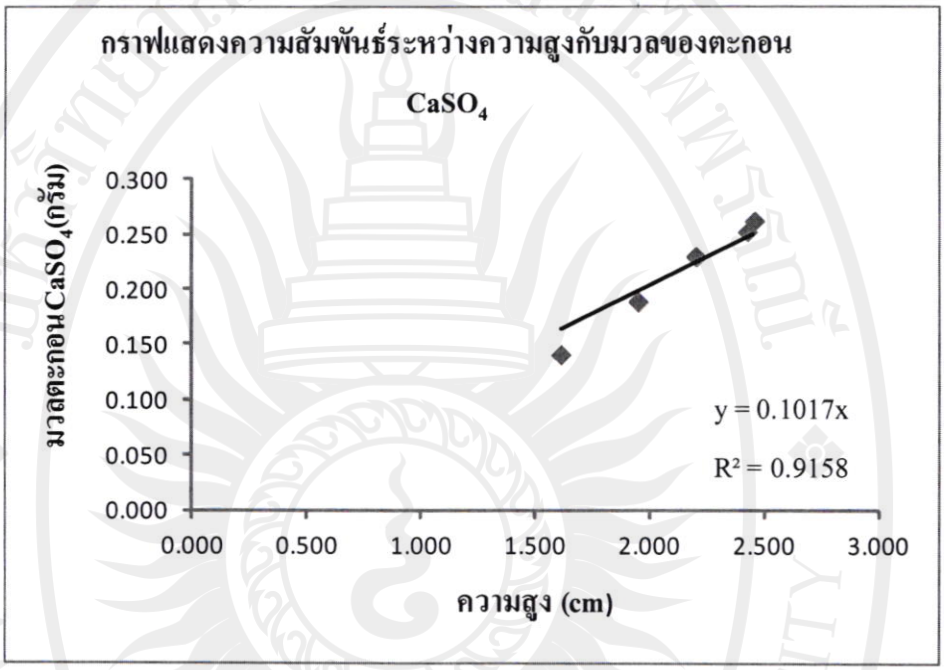
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ขั้นที่ 6 สรุปตัดสินใจ

พิจารณา เมื่อ $t_{คำนวณ} > t_{ตาราง}$ จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ $t_{คำนวณ} < t_{ตาราง}$ จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

เนื่องจาก $t_{คำนวณ} = 0.4878 < t_{ตาราง} = 2.0639$ ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_1 <u>ยอมรับ</u> H_0 นั่นคือ การใช้ปิเปตในการทดลองกับการใช้หลอดฉีดยาในการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$ เมื่อใช้อุปกรณ์คิวเวทท์กับปิเปต

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 28 มวลที่ได้จากสมการโดยการใช้หลอดทดลองและคิวเวทท์

เมื่อใช้สารละลาย $CaCl_2$ และ H_2SO_4 เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร $CaCl_2$ 0.10 - 1.00 มิลลิลิตร และปริมาตร H_2SO_4 1.00 มิลลิลิตร อุปกรณ์ที่ใช้คือ หลอดทดลองกับปิเปตต์ และคิวเวทท์กับปิเปตต์

ความสูงของตะกอน (cm) = แกน x	มวลจากสมการใช้หลอดทดลองกับปิเปตต์ (g) = แกน y	มวลจากสมการใช้คิวเวทท์กับปิเปตต์ (g) = แกน y	t-test
0.1	0.01	0.01	0.0143
0.2	0.02	0.02	
0.3	0.02	0.03	
0.4	0.03	0.05	
0.5	0.04	0.06	
0.6	0.05	0.07	
0.7	0.06	0.08	
0.8	0.06	0.09	
0.9	0.07	0.10	
1.0	0.08	0.11	
1.1	0.09	0.13	
1.2	0.09	0.14	
1.3	0.10	0.15	
1.4	0.11	0.16	
1.5	0.12	0.17	
1.6	0.13	0.18	
1.7	0.13	0.19	
1.8	0.14	0.21	
1.9	0.15	0.22	
2.0	0.16	0.23	
2.1	0.17	0.24	
2.2	0.17	0.25	

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 28 (ต่อ)

ความสูงของตะกอน (cm) = แกน x	มวลจากสมการใช้หลอดทดลองกับปิเปตต์ (g) = แกน y	มวลจากสมการใช้คิวเวทท์กับปิเปตต์ (g) = แกน y	t-test
2.3	0.18	0.26	
2.4	0.19	0.28	
2.5	0.20	0.29	

วิธีการคำนวณค่า t-test

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน

ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_{post} = \mu_{pre}$

$H_1 : \mu_{post} > \mu_{pre}$

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = .05$

ขั้นที่ 3 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - (\sum D)^2}{(N-1)}}} \quad ; \ df = n-1$$

ขั้นที่ 4 กำหนดขอบเขตวิกฤติ

กำหนด $\alpha = .05$ และเป็นการทดสอบแบบทางเดียว ($H_1 : \mu_{post} > \mu_{pre}$)

ค่าวิกฤตของ t ณ df = 24 และ $\alpha = .05$ จะได้ค่าวิกฤตของ t ($t_{ตาราง}$) = 2.0639

ขั้นที่ 5 คำนวณค่าสถิติตามสูตร

โดยใช้ โปรแกรม Microsoft office Excel 2007 ในการวิเคราะห์ผล ได้ค่า t-test = 0.0143

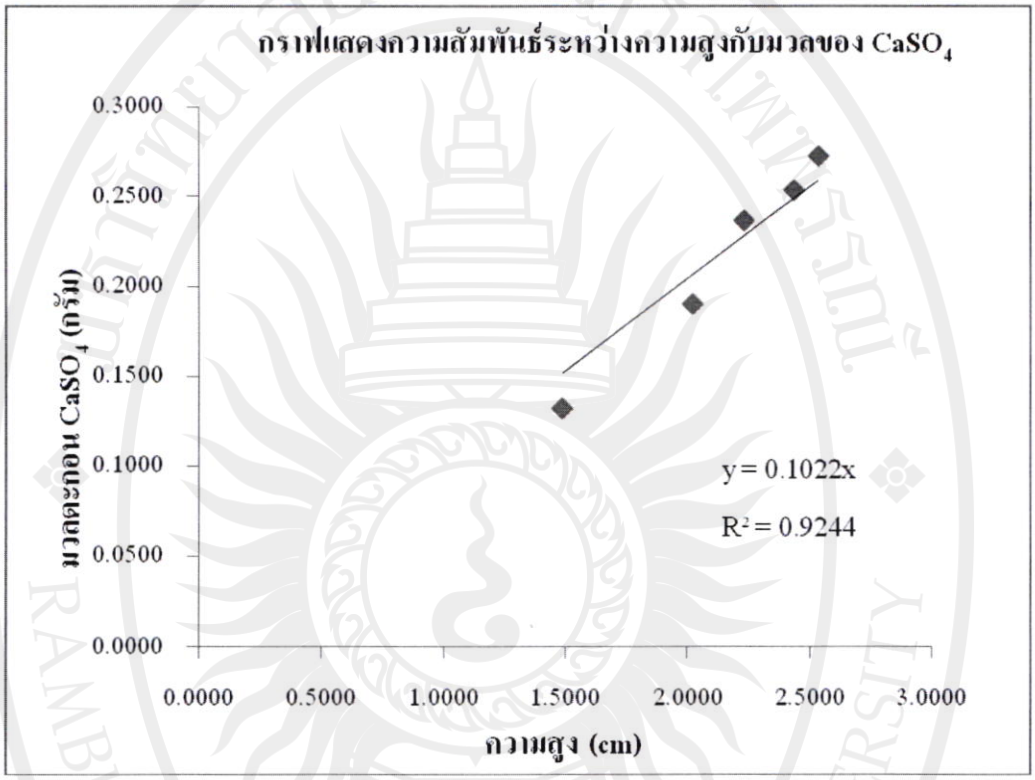
ขั้นที่ 6 สรุปตัดสินใจ

พิจารณา เมื่อ $t_{คำนวณ} > t_{ตาราง}$ จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ $t_{คำนวณ} < t_{ตาราง}$ จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เนื่องจาก $t_{คำนวณ} = 0.0143 < t_{ตาราง} = 2.0639$ ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_1 <u>ยอมรับ</u> H_0 นั่นคือ การใช้คิวเวทท์ในการทดลองกับการใช้หลอดทดลองขนาดเล็กในการทดลองไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



ภาพประกอบ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยและมวลเฉลี่ยของตะกอน $PbSO_4$ เมื่อใช้อุปกรณ์คิวเวทท์กับหลอดฉีดยา

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาคผนวก ค

ใบกิจกรรมและแบบสอบถาม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ใบกิจกรรมการทดลองที่ 1 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 1
เรื่อง ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

การทดลองเรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้วิธีการตกตะกอนการทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลตะกอนกับความสูงของตะกอน โดยเทียบกับตารางมาตรฐานที่กำหนด

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความสูงของตะกอน
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความสูงของตะกอน เมื่อเทียบกับตารางมาตรฐานที่กำหนดให้ได้ พร้อมทั้งเขียนสมการและอธิบายถึงสารกำหนดปริมาณสารเหลือที่ได้จากการทดลอง

เวลาที่ใช้

อภิปรายก่อนการทดลอง	10 นาที
ทดลอง	30 นาที
อภิปรายหลังทดลอง	10 นาที
รวม	50 นาที

สารเคมี และอุปกรณ์

รายการ	ต่อกลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
1. สารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 2 mol/dm^3	8 ml
2. สารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 2 mol/dm^3	8 ml
3. น้ำกลั่น	8 ml
<u>อุปกรณ์</u>	
1. คิวเวทท์ (cuvette)	5 หลอด
2. หลอดฉีดยา ขนาด 1 ml	3 อัน
3. ลวดคนสาร	1 อัน
4. บีกเกอร์ขนาด 50 ml	3 ใบ
5. กระดาษกราฟ	1 แผ่น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 100 ml โดยชั่งสาร $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 29.43 g ละลายในน้ำให้ได้ ปริมาตร 100 ml

2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 100 ml ในขวดวัดปริมาตร 100 ml โดยใช้สารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น (12 mol/dm^3) ปริมาตร 16.67 ml ละลายในน้ำให้ได้ปริมาตร 100 ml

อธิบายก่อนการทดลอง

1. การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร $CaCl_2$ และความสูงของตะกอน $CaSO_4$ ให้แทนแกน X เป็นปริมาตร $CaCl_2$ (ml) และให้ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm) เป็นแกน Y

2. ตารางมาตรฐานที่กำหนดให้

ตารางมวลมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต ดังนี้

ความสูงของตะกอน (cm)	มวลของตะกอน (กรัม)	ความสูงของตะกอน (cm)	มวลของตะกอน (กรัม)
0.1	0.01	1.4	0.15
0.2	0.02	1.5	0.16
0.3	0.03	1.6	0.17
0.4	0.04	1.7	0.18
0.5	0.05	1.8	0.19
0.6	0.06	1.9	0.2
0.7	0.08	2.0	0.22
0.8	0.09	2.1	0.23
0.9	0.10	2.2	0.24
1.0	0.11	2.3	0.25
1.1	0.12	2.4	0.26
1.2	0.13	2.5	0.27
1.3	0.14		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วิธีการทดลอง

1. ดูดสารละลายสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 1 ml ลงในคิวเวทท์ (Cuvette) จำนวน 5 หลอด

2. ดูดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้มข้น 2 mol/dm^3 และน้ำกลั่นเติมลงในคิวเวทท์ที่เตรียมไว้ ในข้อ 1 โดยใช้ปริมาตรของ $CaCl_2$ ดังนี้

คิวเวทท์	1	2	3	4	5
ปริมาตร $CaCl_2$ (ml)	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4
ปริมาตร น้ำ (ml)	1	1	1	1	1

โดย เมื่อเติม $CaCl_2$ และน้ำกลั่นลงในคิวเวทท์ ให้คนตะกอนที่เกิดขึ้นทุกครั้ง

1. จับเวลาหลอดละ 5 นาทีหลังเติมน้ำกลั่น จากนั้นวัดความสูงของตะกอนที่เกิดขึ้น หน่วยเป็นเซนติเมตร ในคิวเวทท์ที่ 1 - 5 ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

2. นำค่าความสูงของตะกอนที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับตารางที่กำหนดให้ เพื่อหามวลของตะกอน

3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ $CaCl_2$ และความสูงของตะกอน ให้แทนแกน X เป็นปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และ ให้ความสูงของตะกอน (cm) เป็นแกน Y

4. จากกราฟการทดลองเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้วิธีการเกิดตะกอน จงบอกว่าสารใดคือสารกำหนดปริมาณ และสารใดคือสารเหลือ

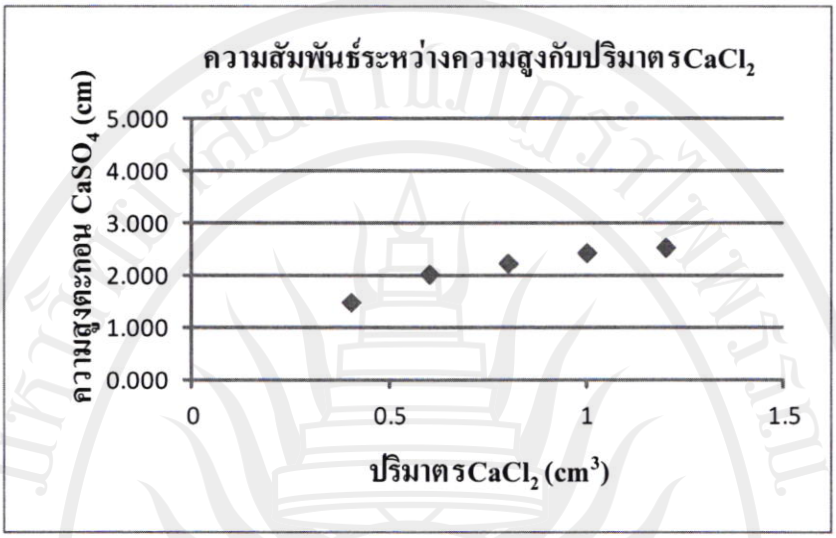
5. จากการทดลองจงแสดงวิธีการคำนวณหามวลของตะกอนที่เกิดขึ้นและบอกด้วยว่ามีสารเหลือกี่กรัม

ตัวอย่างผลการทดลอง

H_2SO_4 ปริมาตร (ml)	$CaCl_2$ ปริมาตร (ml)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)	มวลของตะกอน $CaSO_4$ (g)
1	0.4	1.4	0.14
1	0.6	1.9	0.19
1	0.8	2.2	0.24
1	1.0	2.4	0.26
1	1.2	2.4	0.26

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนกับปริมาตรของ $CaCl_2$ สำหรับผู้สอน



ตัวอย่าง การอภิปรายการทดลองสำหรับผู้สอน

แต่ละกลุ่มนำผลการทดลองมาร่วมกันอภิปราย เพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. สมการการเกิดตะกอน $CaSO_4$ เป็นดังนี้

$$CaCl_2 + H_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4 + 2HCl$$

2. ตะกอนมีสีขาว ผิวหน้าเรียบ ตะกอนแน่น

เมื่อวัดความสูงของตะกอน $CaSO_4$ ที่ได้จากการทดลองและนำไปเทียบกับตารางมาตรฐานที่กำหนดก็จะได้มวลของตะกอน $CaSO_4$ ส่วนความสูงตะกอนคงที่ไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก H_2SO_4 ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับ $CaCl_2$ หมด ทำให้ตะกอนของ $CaSO_4$ ไม่เพิ่มขึ้น จึงเรียก H_2SO_4 ว่าสารกำหนดปริมาณ และเรียก $CaCl_2$ ว่าสารเหลือ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ใบกิจกรรมการทดลองที่ 2 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 2

การทดลองเรื่อง ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความสูงของตะกอน

2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความสูงของตะกอน เมื่อเทียบกับตารางมาตรฐานที่กำหนดให้ได้ พร้อมทั้งเขียนสมการและอธิบายถึงสารกำหนดปริมาณสารเหลือที่ได้จากการทดลอง

เวลาที่ใช้ ทดลอง 50 นาที

อธิบายก่อนการทดลอง

1. การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร $CaCl_2$ และความสูงของตะกอน $CaSO_4$ ให้แทนแกน X เป็นปริมาตร $CaCl_2$ (ml) และให้ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm) เป็นแกน Y

2. จับเวลา เมื่อทำการทดลองขั้นตอนการปิเปต และดูดสาร ตั้งแต่ข้อที่ 1 - 5 เสร็จสิ้นจะใช้เวลากี่นาที ในการทดลองแต่ละตอน

3. ตารางมาตรฐานแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ที่กำหนดให้

ตารางแสดงตารางมวลมาตราฐาน $CaSO_4$ ดังนี้

ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)	มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)	มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)
0.1	0.01	1.4	0.15
0.2	0.02	1.5	0.16
0.3	0.03	1.6	0.17
0.4	0.04	1.7	0.18
0.5	0.05	1.8	0.19
0.6	0.06	1.9	0.2
0.7	0.08	2.0	0.22
0.8	0.09	2.1	0.23
0.9	0.1	2.2	0.24
1.0	0.11	2.3	0.25

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)	มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)	มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)
1.1	0.12	2.4	0.26
1.2	0.13	2.5	0.27
1.3	0.14	2.6	0.28

ตอนที่ 1 วิธีการทดลองโดยใช้ปิเปตต์

1. ปิเปตต์สารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 1 ml ลงในคิวเวทท์ จำนวน 3 หลอด

2. ปิเปตต์สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1 mol/dm^3 เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 1 หลอดละ 0.4 ml

3. ปิเปตต์น้ำกลั่น เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 2 หลอดละ 1 ml คนสารลายให้เข้ากัน

4. จับเวลา 5 นาที วัดความสูงของตะกอนด้วยไม้บรรทัด หน่วยเป็นเซนติเมตร บันทึกผล

5. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 - 4 โดยใช้ปริมาตรของสารละลาย ตามตาราง

สารละลายกรด H_2SO_4 (ml)	สารละลาย $CaSO_4$ (ml)
1	0.6
1	0.8
1	1.0
1	1.2

6. นำค่าความสูงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับตารางมวลมาตรฐาน $CaSO_4$ ที่กำหนดให้เพื่อหามวลของตะกอน

7. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ $CaCl_2$ และความสูงเฉลี่ยของตะกอน ให้แทนแกน X เป็นปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และให้ความสูงเฉลี่ยของตะกอน (cm) เป็นแกน Y

8. จากกราฟการทดลองเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน จงบอกว่าสารใดคือสารกำหนดปริมาณ และสารใดคือสารเหลือ

ตอนที่ 2 วิธีการทดลองโดยใช้หลอดฉีดยา

หมายเหตุ เมื่อมีฟองอากาศในหลอดฉีดยาต้องทำการไล่ทุกครั้งเมื่อดูดสาร

1. ดูดสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน 1 ml ลงในคิวเวทท์ (Cuvette) จำนวน 3 หลอด

2. ดูดสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 2 mol/dm^3 เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 1 หลอดละ 0.4 ml

3. ดูดน้ำกลั่น เติมลงในหลอดทดลองในข้อ 2 หลอดละ 1 ml คนสารลายให้เข้ากัน

4. จับเวลา 5 นาที วัดความสูงของตะกอนด้วยไม้บรรทัด หน่วยเป็นเซนติเมตร บันทึกผล

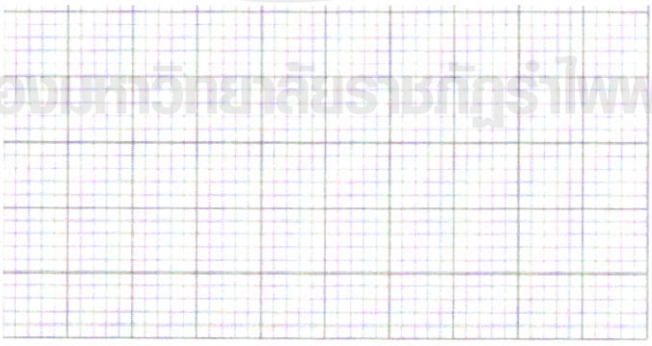
5. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 - 4 โดยใช้ปริมาตรของสารละลาย ตามตาราง

สารละลาย H_2SO_4 (ml)	สารละลาย $CaSO_4$ (ml)
1	0.6
1	0.8
1	1.0
1	1.2
1	1.4

6. นำค่าความสูงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับตารางมวลมาตรฐาน $CaSO_4$ ที่กำหนดให้เพื่อหามวลของตะกอน

7. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ $CaCl_2$ และความสูงเฉลี่ยของตะกอน ให้แทนแกน X เป็นปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และให้ความสูงเฉลี่ยของตะกอน (cm) เป็นแกน Y

8. จากกราฟการทดลองเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้วิธีการเกิดตะกอน จงบอกว่าสารใดคือสารกำหนดปริมาณ และสารใดคือสารเหลือ

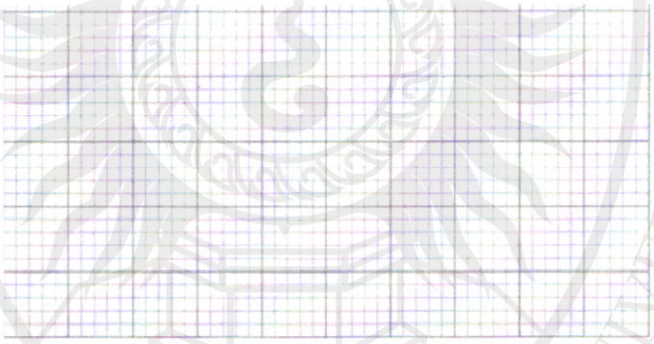


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผลการทดลอง ตอนที่ 1 วิธีการทดลองโดยใช้ปิเปตต์

H_2SO_4 ปริมาตร (ml)	$CaCl_2$ ปริมาตร (ml)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)										มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)
		ดิวเวทท์ที่ 1			ดิวเวทท์ที่ 2			ดิวเวทท์ที่ 3			เฉลี่ย	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	0.4											
1	0.6											
1	0.8											
1	1.0											
1	1.2											
1	1.4											

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอนกับปริมาตรของ $CaCl_2$



อภิปรายผลการทดลอง

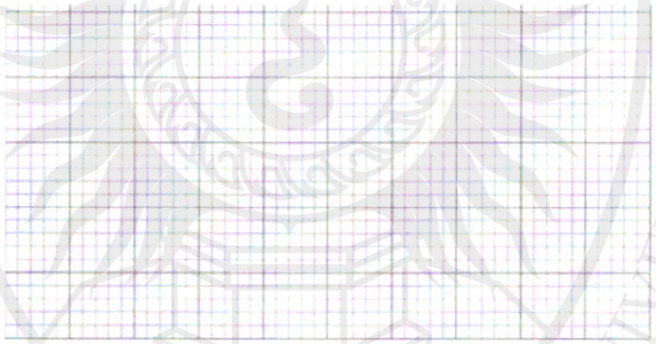
1. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลองขั้นตอนการปิเปต ตั้งแต่ข้อที่ 1 - 5 เสร็จสิ้นใช้เวลา.....นาที
2. สารกำหนดปริมาณคือ.....
3. สารเหลือ คือ.....
4. อื่น ๆ .....

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผลการทดลอง ตอนที่ 2 วิธีการทดลองโดยใช้หลอดฉีดยา

H_2SO_4 ปริมาตร (ml)	$CaCl_2$ ปริมาตร (ml)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)										มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)
		คิวเวทท์ที่ 1			คิวเวทท์ที่ 2			คิวเวทท์ที่ 3			เฉลี่ย	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	0.4											
1	0.6											
1	0.8											
1	1.0											
1	1.2											
1	1.4											

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอนกับปริมาตรของ $CaCl_2$



อภิปรายผลการทดลอง

1. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลองขั้นตอนการดูดสาร ตั้งแต่ข้อที่ 1 - 5 เสร็จสิ้นใช้เวลา.....นาที
2. สารกำหนดปริมาณคือ.....
3. สารเหลือ คือ.....
4. อื่น ๆ .....

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ใบกิจกรรมการทดลองที่ 3 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 3

การทดลองเรื่อง ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน

จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลาย $CaCl_2$ กับความสูงของตะกอน $CaSO_4$
2. สามารถหาค่ามวลของ $CaSO_4$ จากการเทียบกับตารางมาตรฐานที่กำหนดให้ได้
3. สามารถระบุถึงสารกำหนดปริมาณสารเหลือที่ได้จากการทดลอง
4. สามารถสร้างกราฟที่บ่งบอกถึงสารกำหนดปริมาณได้

วิธีการทดลอง

หมายเหตุ เมื่อมีฟองอากาศในหลอดฉีดยาต้องทำการไล่ทุกครั้งเมื่อดูดสาร และจับเวลาเมื่อทำการทดลองในขั้นตอน ที่ 1 เสร็จสิ้นจะใช้เวลากี่นาที

1. ดูดสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 2 mol/dm^3 ปริมาตร 1 ml ลงในคิวเวทท์ (Cuvette) จำนวน 6 หลอด จากนั้นดูดสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้มข้น 2 mol/dm^3 เติมลงในคิวเวทท์แต่ละหลอด ปริมาตรตามตารางตั้งแต่ 0.4 - 1.4 ml จากนั้นเติมน้ำกลั่น 1 ml ลงในคิวเวทท์ทุกหลอด

คิวเวทท์ที่	สารละลาย H_2SO_4 (ml)	สารละลาย $CaCl_2$ (ml)
1	1	0.4
2	1	0.6
3	1	0.8
4	1	1.0
5	1	1.2
6	1	1.4

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2. คนสารละลายให้เข้ากันด้วยลวดคนสารจับเวลา 5 นาที วัดความสูงของตะกอนด้วยไม้บรรทัด หน่วยเป็นเซนติเมตร บันทึกผลในตารางบันทึกผล
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 และ 2 อีก 2 ซ้ำ แล้วบันทึกผลในตารางบันทึกผล

4. หาความสูงของตะกอนเฉลี่ยแล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ $CaCl_2$ และความสูงเฉลี่ยของตะกอน ให้แทนแกน X เป็นปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และความสูงเฉลี่ยของตะกอน (cm) เป็นแกน Y

5. นำค่าความสูงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับตารางมวลมาตรฐาน $CaSO_4$ ที่กำหนดให้เพื่อหามวลของตะกอนโดยตารางมวลมาตราฐาน $CaSO_4$ เป็นดังนี้

ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)	มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm)	มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม)
0.1	0.01	1.4	0.15
0.2	0.02	1.5	0.16
0.3	0.03	1.6	0.17
0.4	0.04	1.7	0.18
0.5	0.05	1.8	0.19
0.6	0.06	1.9	0.2
0.7	0.08	2.0	0.22
0.8	0.09	2.1	0.23
0.9	0.1	2.2	0.24
1.0	0.11	2.3	0.25
1.1	0.12	2.4	0.26
1.2	0.13	2.5	0.27
1.3	0.14	2.6	0.28

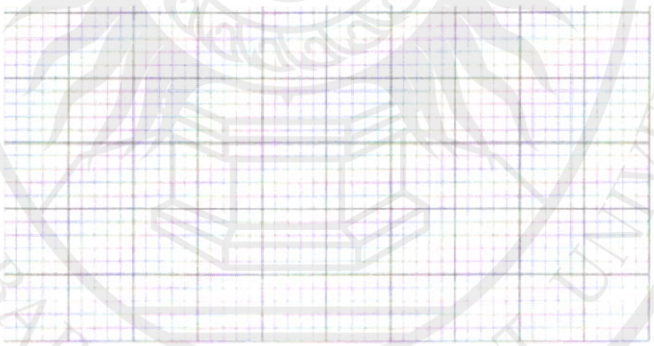
6. จากผลการทดลองให้ตอบคำถามที่เกี่ยวข้องกับการทดลองที่กำหนดให้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผลการทดลอง ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและมวลของตะกอน $CaSO_4$ กับปริมาตร $CaCl_2$ ที่ใช้ในปฏิกิริยา

H_2SO_4 ปริมาตร (ml)	$CaCl_2$ ปริมาตร (ml) (X)	ความสูงของตะกอน $CaSO_4$ (cm) ในคิวเวทท์				มวลของตะกอน $CaSO_4$ (กรัม) จากตารางมาตรฐาน
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย (Y)	
1	0.4					
1	0.6					
1	0.8					
1	1.0					
1	1.2					
1	1.4					

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอนกับปริมาตรของ $CaCl_2$



คำถามท้ายการทดลอง

1. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลอง ในขั้นตอนที่ 1 เสร็จสิ้นใช้เวลา..... นาที
2. มวล $CaSO_4$ คงที่เมื่อใช้ $CaCl_2$ ปริมาตรเท่าใด.....
3. มวลของ $CaSO_4$ ที่สามารถเกิดได้ มากที่สุดควรเท่าใด.....
4. สารกำหนดปริมาณคือ.....
5. สารเหลือ คือ.....

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบสอบถามความพึงพอใจที่ 1 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 1

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามนี้ต้องการสอบถามความคิดเห็นของผู้ทดลองที่มีต่อชุดการทดลองสำเร็จรูป เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน

2. อ่านข้อความแบบสอบถาม แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความรู้สึกของผู้ทดลองมากที่สุด

3. ระดับความพึงพอใจ มี 5 ระดับดังนี้

5 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด 4 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก

3 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง 2 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย

1 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา					
2.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย					
3.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม					
4.	ผู้ทดลองมีส่วนร่วมในการทดลอง					
5.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง					
6.	ชุดทดลองส่งเสริมให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์					
7.	ผู้ทดลองเกิดความสนุกสนานในการเรียน					
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก					
9.	ความเหมาะสมของแบบฝึกหัดในชุดทดลอง					
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้					
คะแนนรวม						

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

การสรุปและการแปลความหมายแบบสอบถามความพึงพอใจที่ 1 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 1

ของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดการทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

1. นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ ไม่จำกัดแขนงวิชา จำนวน 10 คน

2. ระดับความพึงพอใจ มี 5 ระดับดังนี้

4.51 - 5.00	ความพึงพอใจมากที่สุด	3.51 - 4.50	ความพึงพอใจมาก
2.51 - 3.50	ความพึงพอใจปานกลาง	1.51 - 2.50	ความพึงพอใจน้อย
1.00 - 1.50	ความพึงพอใจน้อยที่สุด		

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ 5	4	3	2	1	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
1.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา	6	4				4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
2.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย	2	8				4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
3.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม	4	6				4.40	ความพึงพอใจมาก
4.	ผู้ทดลองมีความส่วนร่วมในการทดลอง	4	6				4.40	ความพึงพอใจมาก
5.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง	4	5	1			4.30	ความพึงพอใจมาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ					ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
		5	4	3	2	1		
6.	ชุดทดลองส่งเสริมให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	4	5	1			4.30	ความพึงพอใจมาก
7.	ผู้ทดลองเกิดความสนุกสนานในการเรียน	3	5	2			4.10	ความพึงพอใจมาก
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก	5	5				4.50	ความพึงพอใจมาก
9.	ความเหมาะสมของแบบฝึกหัดในชุดทดลอง	3	7				4.30	ความพึงพอใจมาก
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้	4	6				4.40	ความพึงพอใจมาก
	ระดับความพึงพอใจเฉลี่ย						4.39	ความพึงพอใจมาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบสอบถามความพึงพอใจที่ 2 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 2

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามนี้ต้องการสอบถามความคิดเห็นของผู้ทดลองที่มีต่อชุดการทดลองสำเร็จรูป เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

2. อ่านข้อความแบบสอบถาม แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความรู้สึกของผู้ทดลองมากที่สุด

3. ระดับความพึงพอใจ มี 5 ระดับดังนี้

5 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด 4 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก

3 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง 2 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย

1 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา					
2.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย					
3.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม					
4.	ผู้ทดลองมีความส่วนร่วมในการทดลอง					
5.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง					
6.	ชุดทดลองส่งเสริมให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์					
7.	ผู้ทดลองเกิดความสนุกสนานในการเรียน					
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก					
9.	หลอดฉีดยาใช้สะดวกกว่าปิเปตต์					
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้					
คะแนนรวม						

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

การสรุปและการแปลความหมายแบบสอบถามความพึงพอใจที่ 2 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 2

ของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดการทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

1. นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี จำนวน 10 คน

2. ระดับความพึงพอใจ มี 5 ระดับดังนี้

4.51 - 5.00	ความพึงพอใจมากที่สุด	3.51 - 4.50	ความพึงพอใจมาก
2.51 - 3.50	ความพึงพอใจปานกลาง	1.51 - 2.50	ความพึงพอใจน้อย
1.00 - 1.50	ความพึงพอใจน้อยที่สุด		

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ					ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
		5	4	3	2	1		
1.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา	7	3				4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
2.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย	8	2				4.80	ความพึงพอใจมากที่สุด
3.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม	7	3				4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
4.	ผู้ทดลองมีความส่วนร่วมในการทดลอง	7	3				4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
5.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง	6	4				4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ					ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
		5	4	3	2	1		
6.	ชุดทดลองส่งเสริมให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	7	2	1			4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
7.	ผู้ทดลองเกิดความสนุกสนานในการเรียน	5	4	1			4.40	ความพึงพอใจมาก
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก	6	3	1			4.50	ความพึงพอใจมาก
9.	หลอดฉีดยาใช้สะดวกกว่าปิเปตต์	9	1				4.90	ความพึงพอใจมากที่สุด
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้	7	3				4.70	ความพึงพอใจมากที่สุด
	ระดับความพึงพอใจเฉลี่ย						4.66	ความพึงพอใจมากที่สุด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบสอบถามความพึงพอใจที่ 3 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 3
เรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้ต้องการสอบถามความคิดเห็นของผู้ทดลองที่มีต่อชุดการทดลองสำเร็จรูป เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

ผู้ตอบแบบสอบถามกรุณาอ่านข้อความในแบบสอบถาม แล้วตอบคำถามในช่องว่างที่กำหนดให้หรือทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. ห้อง..... 2. เพศ..... 3. เกรดเคมี ม. 4 ภาคเรียนที่ 2 .....
4. ก่อนการใช้ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน ท่านมีความรู้เรื่องสารกำหนด มากน้อยเพียงใด

☐ น้อยที่สุด ☐ น้อย ☐ ปานกลาง ☐ มาก ☐ มากที่สุด

ตอนที่ 2 ระดับความพึงพอใจ

5 หมายถึง มากที่สุด 4 หมายถึง มาก 3 หมายถึง ปานกลาง
2 หมายถึง น้อย 1 หมายถึง น้อยที่สุด

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1	หลังใช้ชุดทดลองสำเร็จรูปผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณในระดับใด					
2	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา					
3	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย					
4	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม					
5	ผู้ทดลองมีความส่วนร่วมในการทดลอง					

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
6.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง					
7.	ชุดทดลองนี้สามารถทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณมากขึ้น					
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก					
9.	ผลการทดลองช่วยในการตอบคำถามหลังการทดลองได้ง่าย					
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้					
	คะแนนรวม					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การสรุปและการแปลความหมายแบบสอบถามความพึงพอใจที่ 3 ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 3 เรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. นักเรียนโรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา ห้อง ม. 5/1 จำนวน 25 คน
2. เพศชาย 11 คน และเพศหญิง จำนวน 14 คน
3. เกรดเคมี ม. 4 ภาคเรียนที่ 2

เกรด	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
จำนวน (คน)	0	1	8	5	5	5	1

4. ก่อนการใช้ชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน ท่านมีความรู้เรื่องสารกำหนด มากน้อยเพียงใด

ระดับความรู้	**น้อยที่สุด**	**น้อย**	**ปานกลาง**	**มาก**	**มากที่สุด**
จำนวน (คน)	1	2	15	6	1

ตอนที่ 2 ระดับความพึงพอใจ มี 5 ระดับดังนี้

4.51 - 5.00 ความพึงพอใจมากที่สุด 3.51 - 4.50 ความพึงพอใจมาก
2.51 - 3.50 ความพึงพอใจปานกลาง 1.51 - 2.50 ความพึงพอใจน้อย
1.00 - 1.50 ความพึงพอใจน้อยที่สุด

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ 5	4	3	2	1	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
1.	หลังใช้ชุดทดลองสำเร็จรูปผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณในระดับใด	7	17	1			4.24	ความพึงพอใจมาก
2.	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา	9	15	1			4.32	ความพึงพอใจมาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ 5	4	3	2	1	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
3.	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย	17	6	2			4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
4.	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม	7	9	8	1		3.88	ความพึงพอใจมาก
5.	ผู้ทดลองมีความส่วนร่วมในการทดลอง	15	9	1			4.56	ความพึงพอใจมากที่สุด
6.	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง	11	12	2			4.36	ความพึงพอใจมาก
7.	ชุดทดลองนี้สามารถทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณมากขึ้น	9	13	3			4.24	ความพึงพอใจมาก
8.	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก	7	13	5			4.08	ความพึงพอใจมาก
9.	ผลการทดลองช่วยในการตอบคำถามหลังการทดลองได้ง่าย	7	17	1			4.24	ความพึงพอใจมาก
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้	9	12	4			4.2	ความพึงพอใจมาก
	คะแนนรวม	98	123	28	1			

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สรุปและแปลผลจากแบบสอบถามความพึงพอใจ

สรุปและแปลผลจากแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ทดลองที่มีต่อชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน

1. แบบสอบถามนี้ต้องการสอบถามความคิดเห็นของผู้ทดลองที่มีต่อชุดการทดลองสำเร็จรูป เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน

2. ระดับความพึงพอใจ มี 5 ระดับดังนี้

4.51 - 5.00	ความพึงพอใจมากที่สุด	3.51 - 4.50	ความพึงพอใจมาก
2.51 - 3.50	ความพึงพอใจปานกลาง	1.51 - 2.50	ความพึงพอใจน้อย
1.00 - 1.50	ความพึงพอใจน้อยที่สุด		

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
1	หลังใช้ชุดทดลองสำเร็จรูปผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณในระดับใด	4.24	ความพึงพอใจมาก
2	รูปแบบของชุดทดลองเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา	4.32	ความพึงพอใจมาก
3	ขั้นตอนของวิธีการทดลองที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเข้าใจง่าย	4.60	ความพึงพอใจมากที่สุด
4	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเหมาะสม	3.88	ความพึงพอใจมาก
5	ผู้ทดลองมีความส่วนร่วมในการทดลอง	4.56	ความพึงพอใจมากที่สุด
6	ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาด้วยตัวเอง	4.36	ความพึงพอใจมาก
7	ชุดทดลองนี้สามารถทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณมากขึ้น	4.24	ความพึงพอใจมาก
8	อุปกรณ์ในชุดทดลองมีความเหมาะสม คงทน สวยงาม ใช้สะดวก	4.08	ความพึงพอใจมาก
9	ผลการทดลองช่วยในการตอบคำถามหลังการทดลองได้ง่าย	4.24	ความพึงพอใจมาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอำไพพรรณี

ข้อที่	ข้อตอบ	ระดับความพึงพอใจ	แปลความหมาย
10.	ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในชุดการทดลองสำเร็จรูปนี้	4.20	ความพึงพอใจมาก
	ระดับความพึงพอใจเฉลี่ย	4.27	พึงพอใจมาก

ค่าใช้จ่ายต้นทุนและราคาขายต่อ 1 ชุดของชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้วิธีการตกตะกอน

1. ราคาต้นทุน

รายการ	จำนวนหน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
กล่องพลาสติก	1 กล่อง	20	20
ขวดพลาสติกใส่สารเคมี	3 ใบ	2	6
ถุงพลาสติก	6 ใบ	0.50	3
กระปุกพลาสติกใส่สารเคมี	3 ใบ	2	6
คิวเวทท์	18 หลอด	6	108
หลอดฉีดยา	3 อัน	5	15
ไม้บรรทัด	1 อัน	6	6
ฐานสำหรับใส่คิวเวทท์	1 แผ่น	1	4
ลวด	10 เซนติเมตร	1	1
ลูกปัด	1 เม็ด	1	1
น้ำกลั่น	75 ลูกบาศก์เซนติเมตร	0.24	18
สารละลายกรดซัลฟิวริก	75 ลูกบาศก์เซนติเมตร	0.60	45
สารละลายแคลเซียมซัลเฟต	75 ลูกบาศก์เซนติเมตร	0.36	27
	รวมเป็นเงิน		**260**

2. ราคาขายกล่องละ 300 บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

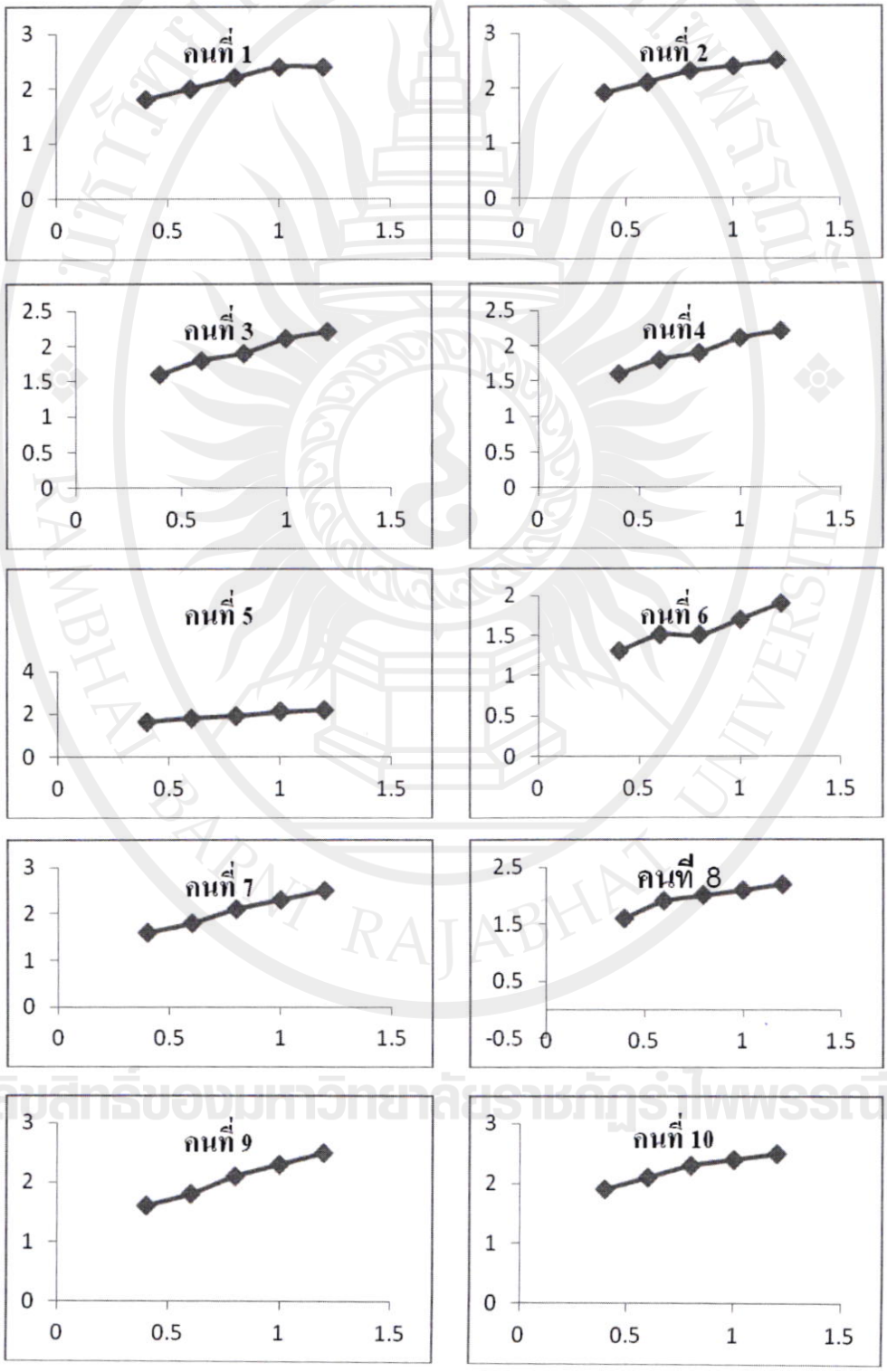
ภาคผนวก ง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน $CaSO_4$ กับปริมาตรของ $CaCl_2$ ของกลุ่มผู้ทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 จำนวน 10, 10 และ 25 คน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน $CaSO_4$ กับปริมาตรของ $CaCl_2$ ของกลุ่มผู้ทดลองกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คน

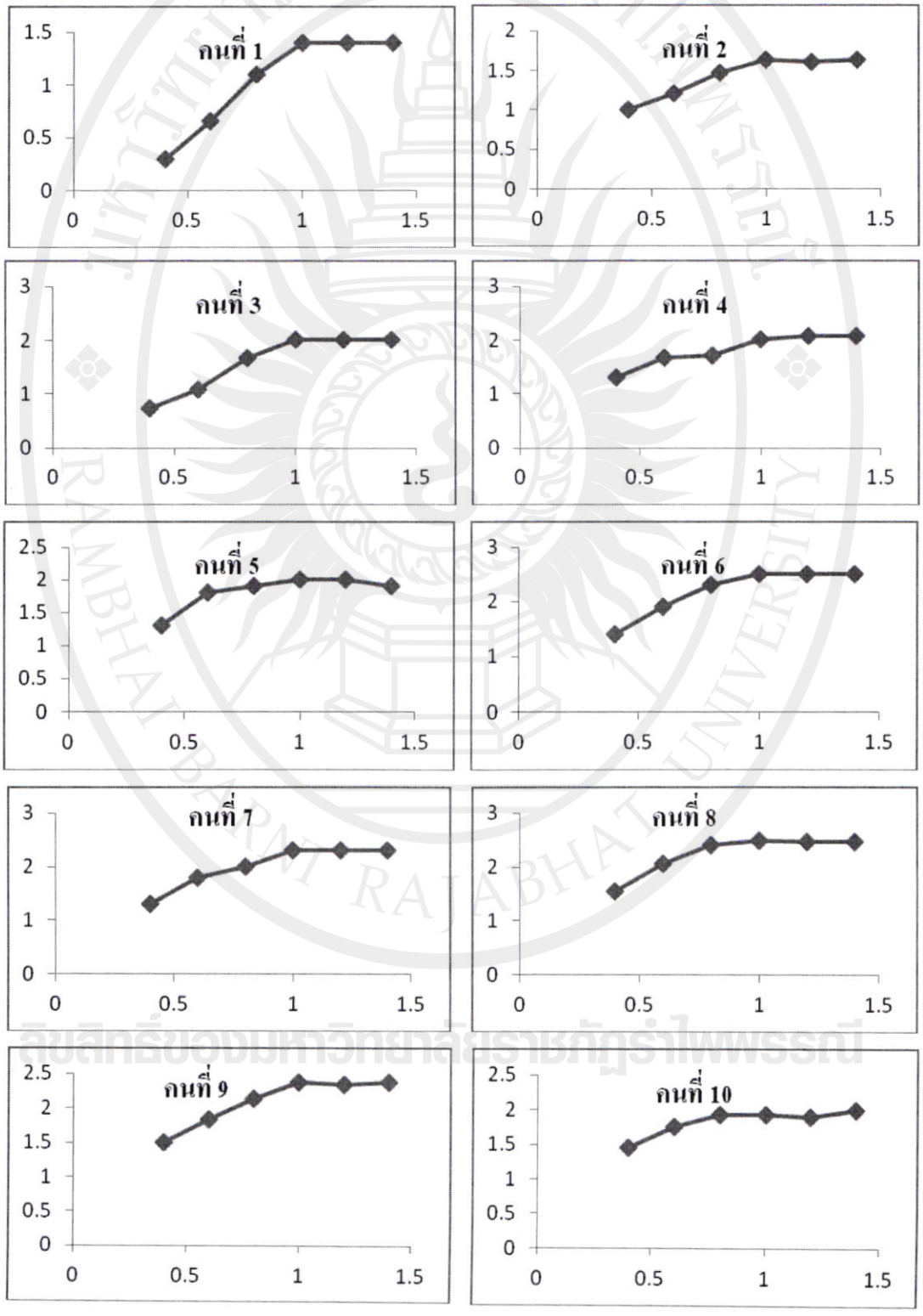
กำหนดให้แกน X = ปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และแกน Y =ความสูงเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$ (cm)



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน $CaSO_4$ กับปริมาตรของ $CaCl_2$ ของกลุ่มผู้ทดลองกลุ่มที่ 2 จำนวน 10 คน

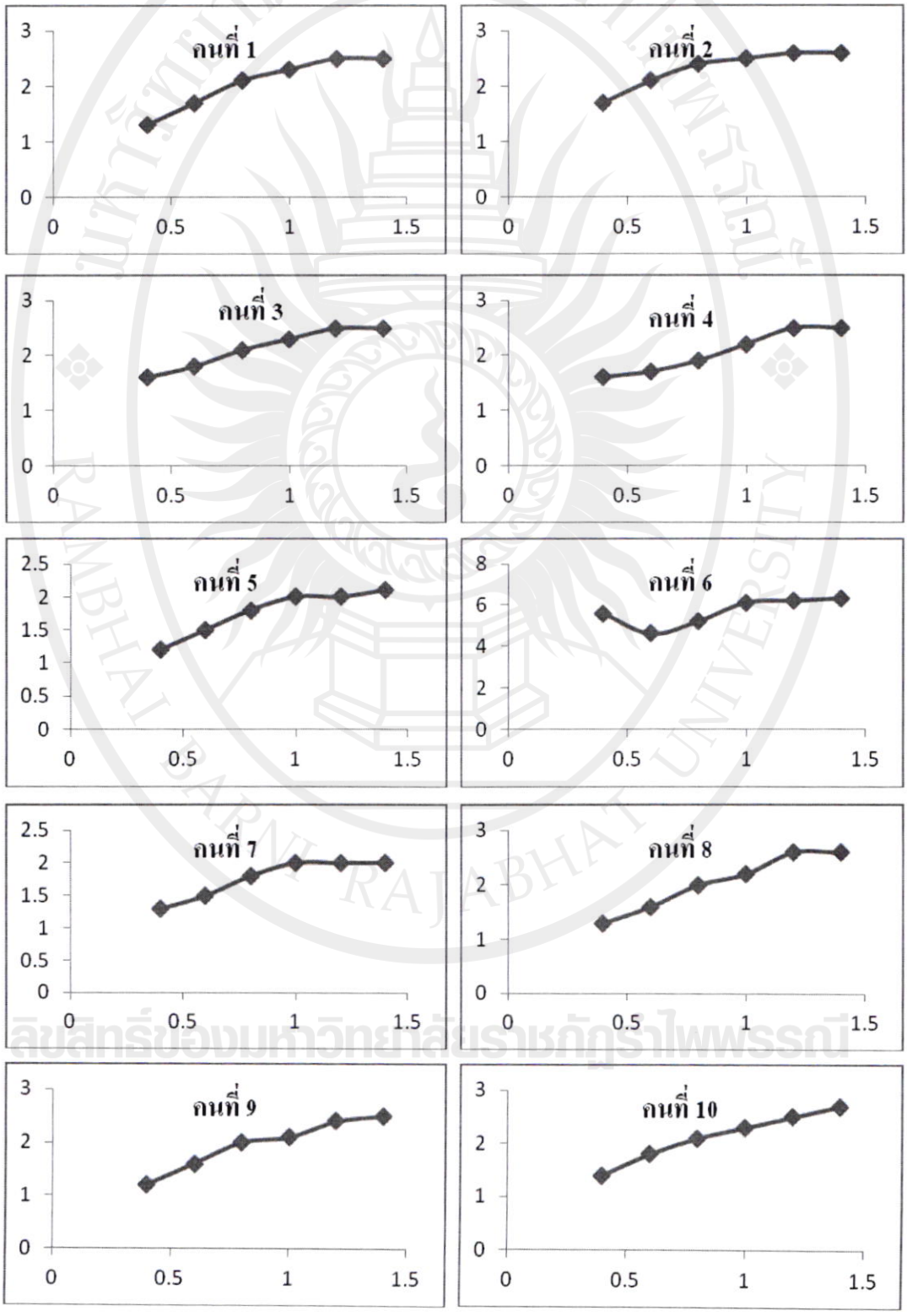
กำหนดให้แกน X = ปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และแกน Y =ความสูงเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$ (cm)



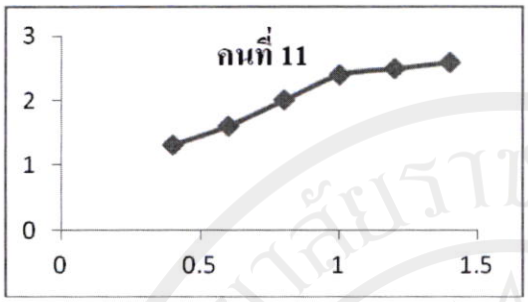
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

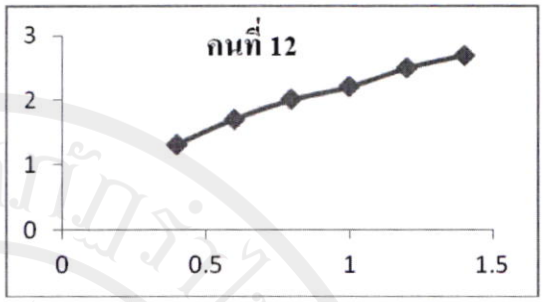
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน $CaSO_4$ กับปริมาตรของ $CaCl_2$ ของกลุ่มผู้ทดลองกลุ่มที่ 3 จำนวน 25คน

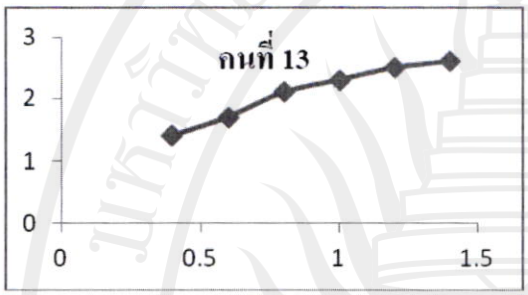
กำหนดให้แกน X = ปริมาตรของ $CaCl_2$ (ml) และแกน Y =ความสูงเฉลี่ยของตะกอน $CaSO_4$ (cm)

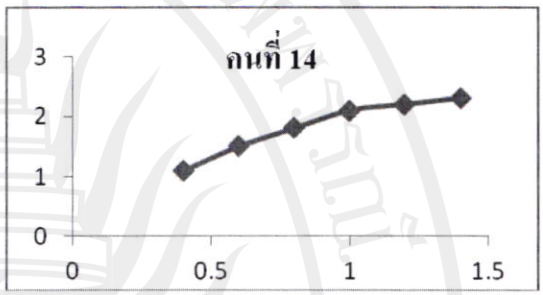


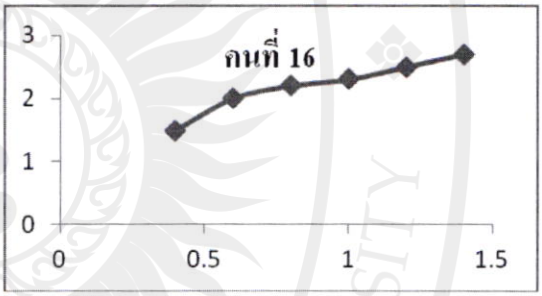
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

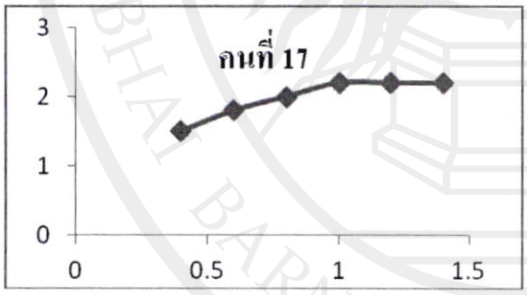


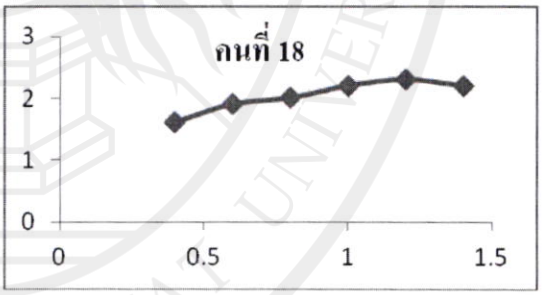


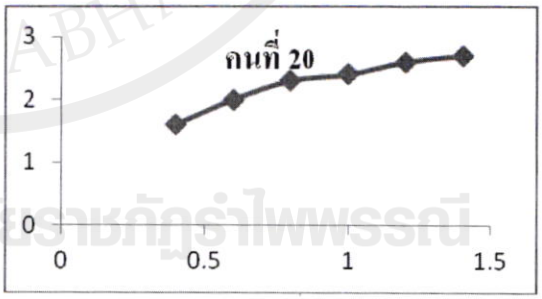




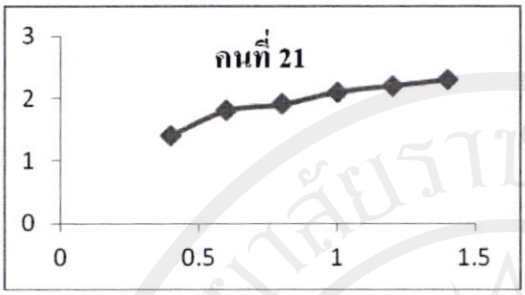


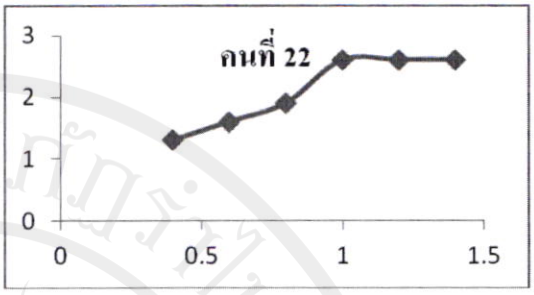


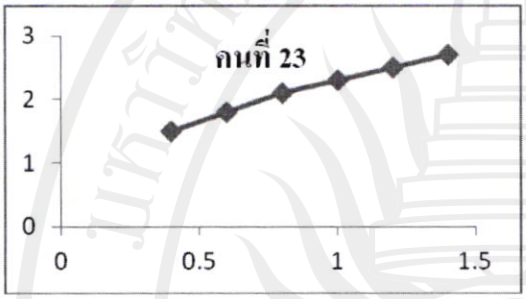


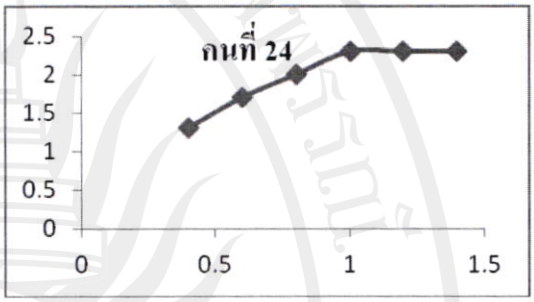


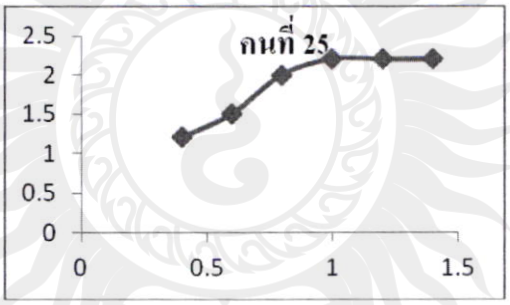
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี











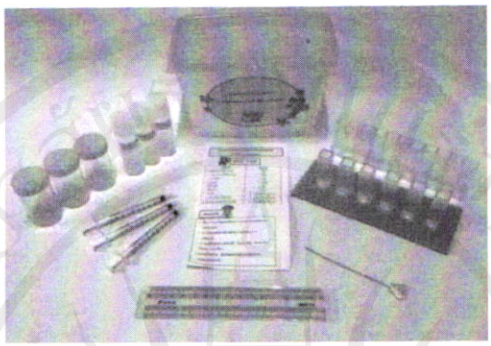
RAMBHAI BARNI RAJABHAT UNIVERSITY
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

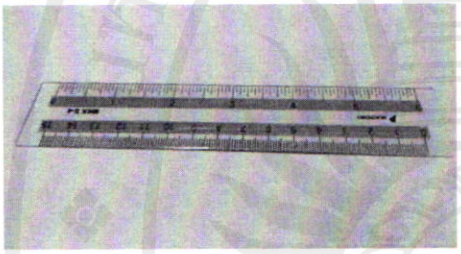
ภาคผนวก จ

ภาพชุดการทดลองสำเร็จรูปและผู้ทำกิจกรรม เรื่องสารกำหนดปริมาตรโดยใช้วิธีการตกตะกอน

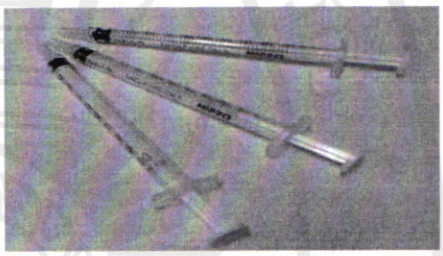
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาตรโดยใช้วิธีการตกตะกอน

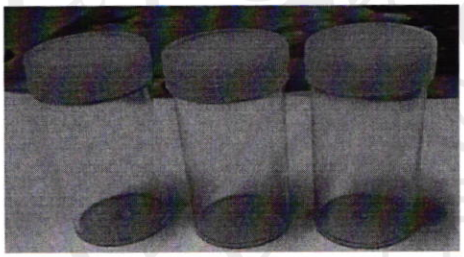




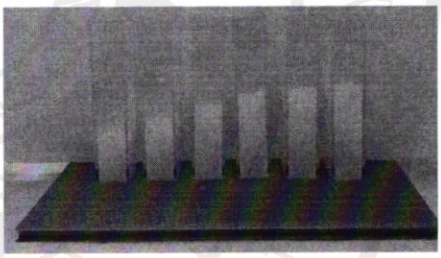
(a)



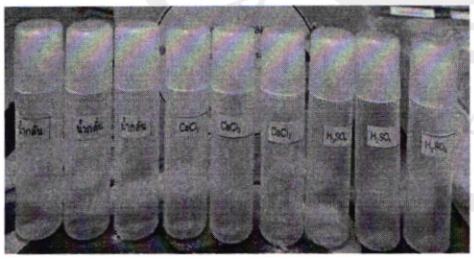
(b)



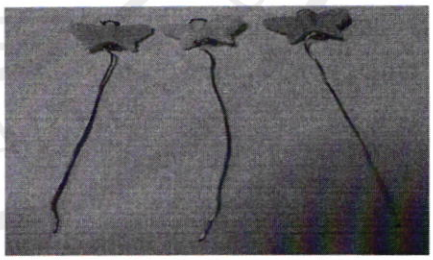
(c)



(d) , (e)



(f)



(g)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

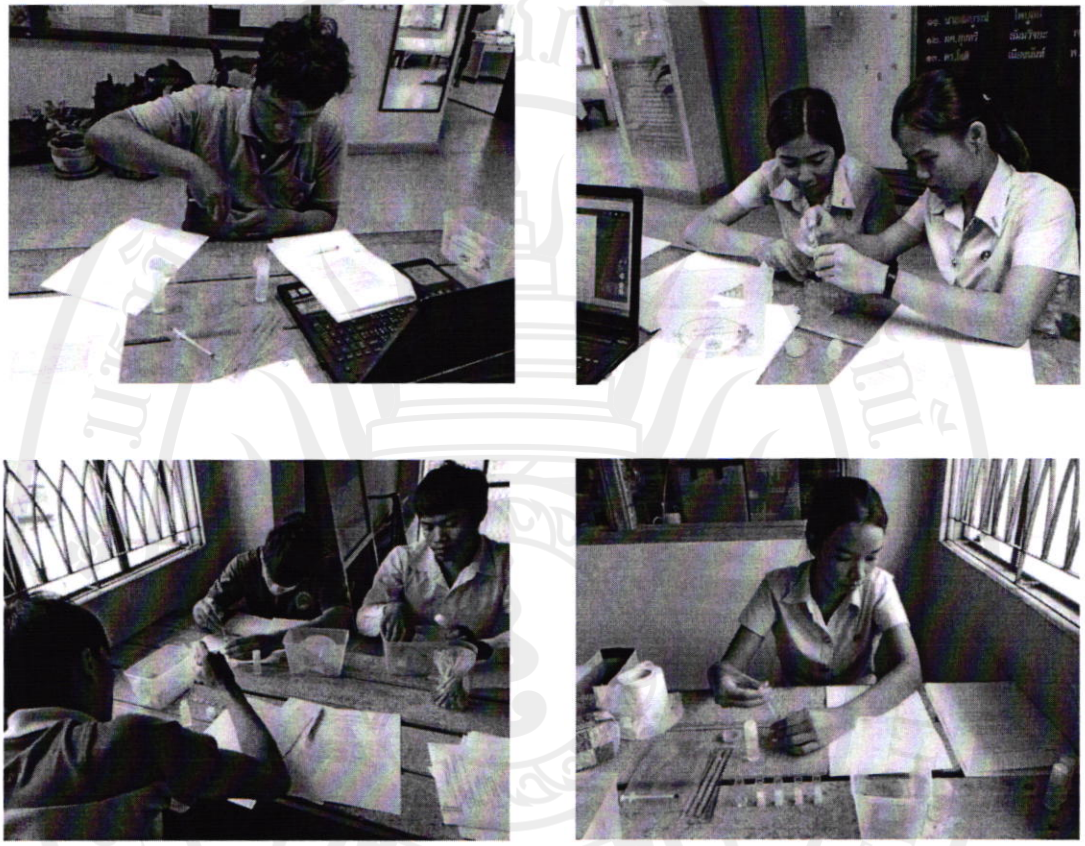
ภาพประกอบ 11 ส่วนประกอบชุดการทดลองสำเร็จรูป เรื่องสารกำหนดปริมาตร โดยใช้วิธีการตกตะกอน

(a) ไม้บรรทัด (b) หลอดฉีดยา (c) กระปุ๊กใส่สารเคมี

(d), (e) คิวเวทท์และที่วางคิวเวทท์ (f) ขวดใส่สารเคมี (g) ลวดคนสาร

ผู้ทำการทดลองชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาตรโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน

กลุ่มที่ 1

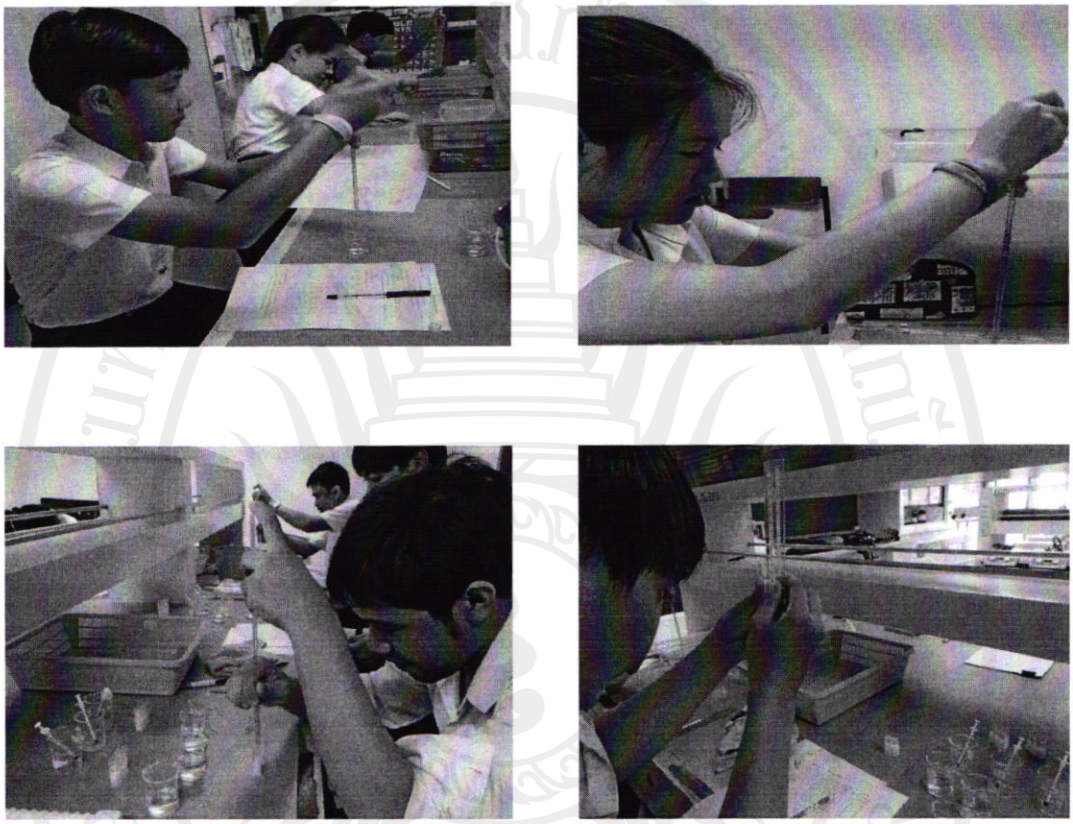


ภาพประกอบ 12 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ ไม่จำกัดแขนงวิชา

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผู้ทำการทดลองชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาตรโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน

กลุ่มที่ 2

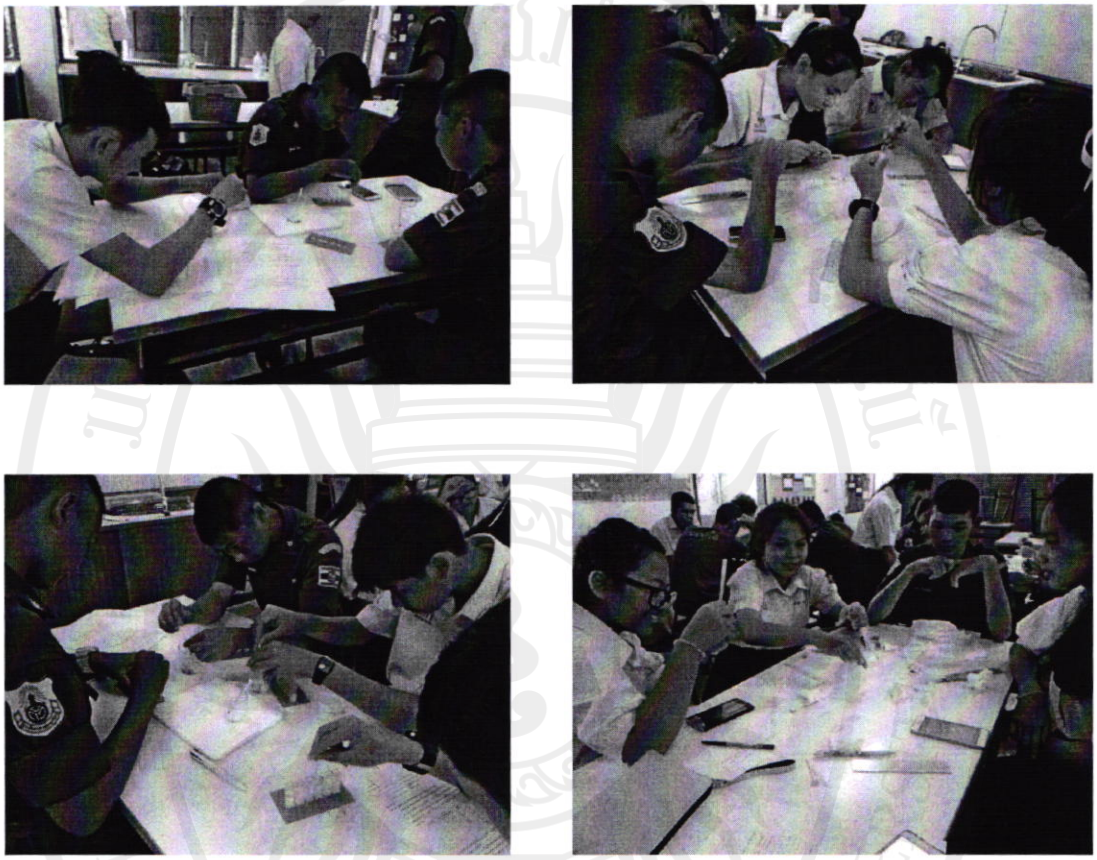


ภาพประกอบ 13 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ผู้ทำการทดลองชุดการทดลองสำเร็จรูปเรื่อง สารกำหนดปริมาตรโดยใช้วิธีการเกิดตะกอน

กลุ่มที่ 3



ภาพประกอบ 14 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จังหวัดระยอง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพการตกตะกอนของสารต่าง ๆ

ภาพประกอบ 15 ตะกอนที่เกิดจากการทำการทดลองเพื่อสร้างชุดทดลองสำเร็จรูป

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ประวัติย่อผู้วิจัย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล	นางสาวศิริพร ปาเชน
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	4/662 หมู่ 9 ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	รับราชการครูผู้สอนวิชาเคมี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 18 จังหวัดระยอง

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2536	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแหลมสิงห์วิทยาคม อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี
พ.ศ. 2539	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี
พ.ศ. 2543	ศึกษาศาสตรบัณฑิต กศ.บ. (วิทยาศาสตร์ – เคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2560	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วท.ม. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา – เคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี