

การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้
เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

พิทักษ์พงษ์ นามวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



FABRICATING SIMPLE WAX SCREEN-PRINTING PAPER-BASED
ANALYTICAL DEVICES TO DEMONSTRATE THE CONCEPT OF LIMITING
REAGENT IN ACID-BASE REACTIONS

PITHAKPONG NAMWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN SCIENCE EDUCATION
FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2018

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ เรื่องสารกำหนดปริมาณ
โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

ผู้วิจัย นายพิทักษ์พงษ์ นามวงศ์
คณะกรรมการสอบ

ดร.กุลธิดา นกุลธรรม

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีม จารุจรัส

กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีม จารุจรัส)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชริดา ปุกหุต)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2561

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัย เรื่อง การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส สำเร็จอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐุมิ จารุจรัส ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มะลิวรรณ อมตธงไชย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์ ที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือ คำแนะนำและเอาใจใส่ ตลอดจนตรวจปรับแก้รายงานวิจัยให้สมบูรณ์ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาศักยภาพครูเพื่อเป็นผู้นำการเปลี่ยนแปลงการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี (สควค.) โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) สำหรับทุนการศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ขอขอบพระคุณ นายพงษ์อนันต์ ธรรมศิริ ผู้อำนวยการ รองผู้อำนวยการ และคณะครูโรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย คอยให้กำลังใจ สนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการสร้างนวัตกรรมและเก็บข้อมูลงานวิจัยเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้และพัฒนาผู้เรียน ให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อม

คุณประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีของงานวิจัยนี้ ขอมอบคุณความดีแด่ บิดา มารดา และ คุณครูที่เคารพอย่างสูงทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้และให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

พิทักษ์พงษ์ นามวงษ์

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ เรื่องสารกำหนดโดยใช้
 ปฏิบัติการด-เบส

ผู้วิจัย : พัทธ์พงษ์ นามวงษ์

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐม จารุจรัส

คำสำคัญ : เคมีวิเคราะห์, การเรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติ, ปฏิบัติการด-เบส,
 สารกำหนดปริมาณ, ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

การวิจัยในครั้งนี้ได้สร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ที่ใช้ต้นทุนต่ำ สร้างได้ง่ายและรวดเร็ว โดยเคลือบแว็กซ์บนกระดาษกรองเพื่อสร้างช่องรองรับปฏิกิริยา ทำการทดลองโดยใช้ปฏิบัติการด-เบสบนชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) เพื่อแสดงให้เห็นนักเรียนได้เห็นถึงแนวคิดสำคัญของสารกำหนดปริมาณ โดยให้ความเข้มข้นของเบสที่ทำปฏิกิริยากับกรดที่เพิ่มความเข้มข้นทีละน้อย การทดลองสาธิตนี้ช่วยให้นักเรียนสามารถระบุสารกำหนดปริมาณโดยสังเกตจากการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จากการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนหลังการจัดกิจกรรม การทดลองด้วยแบบทดสอบชนิดตัวเลือกสามลำดับขั้น (3-tier multiple choice test: TTDT) พบว่านักเรียนมีคะแนนหลังเรียน (55.20 %) สูงกว่าก่อนเรียน (32.40 %) ซึ่งต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจและสามารถให้เหตุผลได้ (ข้อสอบชนิดเลือกตอบ อธิบายเหตุผลที่เลือก และระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกที่เลือก) และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนถูกใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ เห็นได้ชัดว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังการทดลองที่ดีขึ้นและมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (4.10 ± 0.75 จาก 5 ระดับ) ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณมากขึ้น การสาธิตนี้ไม่ได้นำเสนอแค่แนวทางใหม่ในการเสริมสร้างการเรียนรู้ เรื่องสารกำหนดปริมาณ แต่ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ในระดับโรงเรียนมัธยมศึกษาจนถึงมหาวิทยาลัย

ABSTRACT

TITLE : FABRICATING SIMPLE WAX SCREEN-PRINTING PAPER-BASED
ANALYTICAL DEVICES TO DEMONSTRATE THE CONCEPT OF LIMITING
REAGENT IN ACID-BASE REACTIONS

AUTHOR : PITHAKPONG NAMWONG

DEGREE : MASTER OF SCIENE

MAJOR : SCIENCE EDUCATION

ADVISOR : ASST. PROF. PURIM JARUJUMRUS, Ph.D.

KEYWORDS : ANALYTICAL CHEMISTRY, HANDS-ON LEARNING, ACIDS/BASES,
LIMITING REAGENT, SCIENCE PROCESS SKILLS

In this-study, a low-cost, simple, and rapid fabrication of paper-based analytical devices (PADs) using a wax screen-printing method is reported. The acid–base reaction is implemented in the simple PADs to demonstrate to students the chemistry concept of a limiting reagent. When a fixed concentration of base reacts with a gradually increasing concentration of acid, a dramatic demonstration allows students to discover the limiting reagent by naked eyes observing the color change from phenolphthalein as an indicator. In order to assess how the experiment improved the learning process, all students accomplished the prelab (32.40 %) and postlab (55.20 %) of three–tier diagnostic test (TTDT) which used as a science process skills test (multiple choices, explanation from the chosen choice and the confidence level for choice made) and questionnaire (students’ satisfaction to learning in the classroom) were applied as tools for collecting data in this study. Obviously, students showed a significant improvement in the concept of the limiting reagent after doing the lab experiment with a good satisfication (4.10 ± 0.75 from 5). This finding suggests that the use of PADs helps students gain a better understanding of the limiting reagent. This demonstration is not only a new approach to enhance students’ learning of the chemistry concept of the limiting reagent, but also presents potential applications of PADs into all levels of chemistry from middle school through college.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติจริง (Hands-on)	5
2.2 ทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึม (constructivism)	10
2.3 แบบทดสอบสำรวจความเข้าใจชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT)	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	14
3.2 การศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังได้รับ การจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	34
4.2 การศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณ หลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	44
4.3 การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	53

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.2 สรุปผลการวิจัย	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	59

เอกสารอ้างอิง	61
---------------	----

ภาคผนวก

ก ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้	68
ข กิจกรรมการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	74
ค แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT)	77
ง แบบสอบถามความพึงพอใจ	86
จ การวิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียน	89
ฉ การคำนวณค่า pH จากปฏิกิริยากรด-เบส	96
ช ภาพการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องปริมาณสัมพันธ์โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	121
ซ เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสาร Journal of chemical education ปี 2018	123

ประวัติผู้วิจัย	129
-----------------	-----

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เนื้อหาและเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องปริมาณสัมพันธ์โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	23
3.2 ค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกรายข้อของแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องปริมาณสัมพันธ์	26
3.3 รายการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องปริมาณสัมพันธ์โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส แยกตามประเด็นการประเมินรายด้าน	28
3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส	30
4.1 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	37
4.2 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	39
4.3 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมบอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	41
4.4 จำนวนนักเรียน คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของนักเรียนที่ตอบถูกก่อนเรียนและหลังเรียน และผลต่างของคะแนนเฉลี่ย	44
4.5 คะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ร้อยละความคลาดเคลื่อน และร้อยละผลต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน	45
4.6 ค่าร้อยละของนักเรียนที่ตอบตัวเลือถูก ตอบเหตุผลถูก และตอบตัวเลือกและเหตุผลถูกก่อนเรียนและหลังเรียน	48
4.7 ร้อยละความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณในการตอบคำถามก่อนเรียนและหลังเรียน	51
4.8 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส (N=51)	53
จ.1 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน คะแนนเต็ม 10 คะแนน	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ.2	คะแนนของนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก และตอบทั้งตัวเลือก และเหตุผลถูก ในแต่ละข้อก่อนเรียนและหลังเรียน (n=51)	92
จ.3	จำนวนนักเรียนที่แสดงความเข้าใจในเรื่องสารกำหนดปริมาณจากการตอบคำถามก่อนเรียนและหลังเรียน	93
จ.4	ระดับความพึงพอใจของนักเรียนแต่ละคนต่อการจัดกิจกรรม	94
ฉ.1	ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm ³ กับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	98
ฉ.2	ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm ³ กับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	105
ฉ.3	ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm ³ กับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	อุปกรณ์การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ	15
3.2	แบบวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 cm, 1.00 cm และ 1.20 cm	16
3.3	กรอบไม้สี่เหลี่ยมสำหรับติดผ้าสกรีน	16
3.4	บล็อกสกรีนแบบพิมพ์รูปวงกลม	17
3.5	ลำดับการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ	18
3.6	ขั้นตอนการเคลือบพาราฟินแว็กซ์บนกระดาษกรอง	18
3.7	ชุดการทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติคกับสารละลายเบส	19
3.8	ปฏิกิริยากรด-เบสบนชุดทดลองด้วยกระดาษ (μ PADs) และสังเกตการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน	20
3.9	ผลการทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติคกับสารละลายเบส	21
3.10	การเลือกภาพสำหรับวิเคราะห์ความเข้มสี	21
3.11	การเปลี่ยนภาพเป็นไฟล์ 8 bit gray scale	22
3.12	การเลือกพื้นที่สำหรับวัดค่าความเข้มสีเทา (Gray scale intensity)	22
3.13	ตัวอย่างแบบทดสอบสำรวจความรู้ความเข้าใจเรื่องปริมาณสัมพันธ์ชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT)	26
4.1	ช่องรองรับปฏิกิริยาบนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยพาราฟินแว็กซ์	35
4.2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องรองรับปฏิกิริยา (hydrophilic)	35
4.3	การทดสอบบริเวณที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และบริเวณที่ชอบน้ำ (hydrophilic)	36
4.4	ผลการทดลองของปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับสารละลายเบส	36
4.5	เปลี่ยนภาพจากต้นฉบับ (ภาพที่ 4.4) เป็นไฟล์ 8 bit gray scale	42
4.6	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มสี (gray scale) ระหว่างเบสกับกรดแอสติค (CH_3COOH)	42
4.7	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มสีของปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต(NaHCO_3) กับกรดแอสติค(CH_3COOH)	43
4.8	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มสีของปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนต (NaHCO_3) กับกรดแอสติค(CH_3COOH)	45
4.9	ตัวอย่างการตอบคำถามจากแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ณ.1	ผลการทดลองของปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับสารละลายเบส	97
ช.1	การทดลองใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ (μ PADs) ของนักเรียน	122

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ความหมาย
TTDT	3-tier diagnostic tests
cm	centimeter
IOC	Item Objective Concurrence
PADs	Paper-based analytical devices

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาที่ยากประการหนึ่งในการเรียนปริมาณสัมพันธ์คือการระบุตัวสารกำหนดปริมาณในปฏิกิริยาเคมี [1] ในหลายตำราเรียนได้ให้คำนิยามทั่วไปของสารกำหนดปริมาณเอาไว้ 2 ความหมายคือ สารตั้งต้นที่เป็นตัวกำหนดปริมาณสารผลิตภัณฑ์เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด และสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อน [2 - 4] แต่ถ้ามีสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัวมีอยู่ในปริมาณที่มากกว่าสารกำหนดปริมาณ สารเหล่านี้เรียกว่าสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเคมีใด ๆ สารกำหนดปริมาณ สามารถคำนวณหาผลได้ร้อยละของปฏิกิริยาได้ มีความพยายามในการระบุสารกำหนดปริมาณหลายวิธี ทั้งการเปรียบเทียบ [5, 6] การสาธิตในห้องเรียน [7, 8] การจัดกิจกรรมในชั้นเรียน [9, 10] และการทดลองในห้องปฏิบัติการ [11, 12] ในวิธีการเหล่านี้พบว่า การทดลองเป็นวิธีที่มีชื่อเสียงในการนำเสนอแนวคิดสำคัญของสารกำหนดปริมาณ เนื่องจากสามารถสร้างความสนใจของนักเรียนในชั้นเรียนได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ การทดลองสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณได้อย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตามการทดลองยังไม่เหมาะสำหรับบริบททางการศึกษา เช่น ข้อจำกัดในการเข้าถึงเครื่องมือวิเคราะห์ และห้องปฏิบัติการที่ไม่เหมาะสมในหลาย ๆ โรงเรียนและมหาวิทยาลัย ดังนั้นการทดลองแบบง่าย ๆ จึงเป็นที่ต้องการสำหรับห้องปฏิบัติการทั่วไปใช้เวลาไม่นานมาก และสามารถทำได้ง่ายจึงเป็นที่ต้องการอย่างมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ พบว่า ชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาในการทดลองทางเคมีได้หลายอย่าง เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ น้ำหนักเบา สามารถผลิตได้ง่ายและรวดเร็ว ปริมาณการใช้สารเคมีและสารตัวอย่างจำนวนน้อย ง่ายต่อการใช้งาน รายงานการใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2550 (ค.ศ. 2007) โดยนักวิจัยกลุ่ม Whitesides [13] ด้วยการออกแบบช่องรองรับปฏิกิริยาด้วยบนกระดาษกรองด้วยสารที่ไม่ชอบน้ำ โดยสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะสามารถผ่านรูพรุนของกระดาษและส่วนที่ไม่ชอบน้ำกั้นเอาไว้ ช่องรองรับปฏิกิริยาลักษณะวงกลมขนาดเล็กสามารถประดิษฐ์ได้หลายเทคนิค เช่นการเคลือบด้วยสารไวแสง (photolithography) การตัดด้วยแสงเลเซอร์ การใช้สารเคลือบ การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ และการเคลือบด้วยซีเมนต์ เป็นต้น [14] แนวคิดในการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) จะใช้เครื่องมือและวัสดุราคาไม่แพง สามารถสร้างในปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว ทำได้ง่าย และไม่มีข้อเสียที่เกิดจากการบวนการสร้าง เทคนิคในการสร้างควรให้ความละเอียดสูงและสามารถการทำซ้ำได้อีก

ด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แม่พิมพ์แว็กซ์อย่างง่ายโดยการปรับเปลี่ยนเล็กน้อยจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [15] เนื่องจากเป็นวิธีการสร้างที่ราคาถูกลงและใช้เพียงบล็อกสกรีนที่ราคาไม่แพง ชีฟิ่งซึ่งปราศจากตัวทำละลาย เครื่องเป่าให้ความร้อน การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการตรวจวัดทางเคมีได้รับการอ้างอิงโดย Dungchai และคณะ [15] อย่างไรก็ตาม การใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ในการศึกษาสำหรับนักเรียนมัธยม นักศึกษาระดับปริญญาตรี และประชาชนทั่วไป [13 - 18] ยังคงเป็นความท้าทาย

บริเวณที่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาบนชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ทำได้โดยหยดสารตั้งต้นลงบนกระดาษบริเวณดังกล่าว วิธีการวิเคราะห์สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการวิเคราะห์จากการวาวแสง (fluorescence) [16] วิเคราะห์จากการเปล่งแสง (chemiluminescence) [17] วิเคราะห์จากการตรวจวัดทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical sensing) [18] วิเคราะห์จากการสังเกตสี (colorimetric assay) [19] ซึ่งการสังเกตสีเป็นที่นิยมมากที่สุดทางเคมี โดยเฉพาะการวิเคราะห์ร่วมกับรูปถ่ายจากกล้องดิจิทัลหรือกล้องจากโทรศัพท์มือถือ และการวิเคราะห์ผ่านทางซอฟต์แวร์ที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี หรือแม้กระทั่งการสังเกตด้วยตาเปล่า ดังนั้นข้อได้เปรียบของการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษด้วยวิธีนี้คือต้นทุนต่ำ สร้างได้ง่าย และสามารถผลิตได้รวดเร็วเป็นที่นิยม [20 - 26]

ปฏิกิริยากัด - เบสมีความสำคัญในหลักสูตรวิชาเคมีของโรงเรียนทั้งระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และหลักสูตรเคมีทั่วไปในระดับมหาวิทยาลัย ปฏิกิริยากัด - เบสเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละลายกรดและสารละลายเบส ปฏิกิริยากัด - เบสจำนวนมากถูกนำมาสาธิตการทดลองกันอย่างแพร่หลายเพื่อแสดงให้นักเรียนเห็นแนวคิดสำคัญของเคมีเป็นจำนวนมากในชั้นเรียนและในห้องปฏิบัติการ [8, 27, 28] วิธีที่ใช้กันทั่วไปในการบอกจุดยุติ (หรือจุดสมมูล) ของปฏิกิริยาระหว่างกรดและเบสคือการใช้อินดิเคเตอร์ ในงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการทดลองสาธิตเพื่อให้นักเรียนได้เข้าถึงแนวคิดสำคัญของสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากัด-เบสบนชุดทดลองด้วยกระดาษโดยสังเกตการเปลี่ยนสีฟีนอล์ฟทาลีน เมื่อให้เบสมีความเข้มข้นที่แน่นอนทำปฏิกิริยากับกรดที่เพิ่มความเข้มข้นที่ละน้อย การสาธิตนี้สามารถนำมาใช้ในการทดลองสำหรับหลักสูตรเคมีเบื้องต้นในโรงเรียนต่าง ๆ และมหาวิทยาลัยโดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากัด-เบส

1.2.2 เพื่อสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังได้รับการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากัด-เบส

1.2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระต่ายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ชุดทดลองด้วยกระต่ายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส สามารถระบุสารกำหนดปริมาณและใช้ประกอบการเรียนได้

1.3.2 นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ หลังได้รับการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระต่ายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

1.3.3 นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยชุดทดลองด้วยกระต่าย เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส หลังเรียนอยู่ในระดับมาก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 400 คนที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 28

1.4.2 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 51 คน ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาปริมาณสารสัมพันธ์ รหัสวิชา ว30222 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 28

1.4.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1.4.3.1 ตัวแปรต้น คือชุดทดลองด้วยกระต่ายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

1.4.3.2 ตัวแปรตาม คือการระบุสารกำหนดปริมาณ ความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ และความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดทดลองด้วยกระต่ายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

1.4.3.3 ระยะเวลาที่ศึกษา คือภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 6 ชั่วโมง ไม่รวมการทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณก่อนเรียนหลังเรียน และการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ชุดทดลองด้วยกระดาษ หมายถึง ชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยใช้พาราฟินแว็กซ์เคลือบบนกระดาษกรองที่เพื่อสร้างช่องรองรับสารเคมี

1.5.2 การสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ หมายถึง การทดสอบเรื่องสารกำหนดปริมาณด้วยแบบทดสอบชนิดตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT) ประกอบด้วยชั้นที่ 1 (First Tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด ชั้นที่ 2 (Second Tier) เหตุผลของคำตอบและชั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ (1) คาดเดา (2) ไม่มั่นใจอย่างมาก (3) ไม่มั่นใจ (4) มั่นใจ และ (5) มั่นใจอย่างมาก

1.5.3 ความพึงพอใจ หมายถึง ระดับความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสแบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านการสอน และกิจกรรมการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ชุดทดลองที่สร้างด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

1.6.2 นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณที่ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

1.6.3 นักเรียนมีบทบาทในห้องเรียนมากขึ้นได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ได้เพิ่มทักษะการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ และฝึกการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม

1.6.4 นักเรียนมีเจตคติที่ดีและสนุกต่อการเรียนวิชาเคมีมากขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูล แนวคิดทฤษฎี หลักการสำคัญจากเอกสาร วารสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศเพื่อเป็นแนวทางและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัย ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 การเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติจริง (Hands-on)

2.2 ทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึม (constructivism)

2.3 แบบทดสอบสำรวจความเข้าใจชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT)

2.1 การเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติจริง (Hands-on)

วิทยาศาสตร์เป็นเรื่องราวเกี่ยวกับโลกธรรมชาติ (natural world) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทุกคนจึงต้องเรียนรู้เพื่อนำผลการเรียนรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวันและการประกอบอาชีพ ดังนั้นในการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ครูผู้สอนจึงต้องรู้หลักการสอน การสอนวิทยาศาสตร์ว่าเป็นวิชาที่ศึกษาเรื่องราวหรือการค้นพบปรากฏการณ์ของสิ่งต่าง ๆ ในธรรมชาติ ประกอบด้วยเนื้อหาหรือตัวความรู้วิทยาศาสตร์ และกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้นเกิดจากประสบการณ์โดยตรง การใช้ประสาทสัมผัสแล้วใช้กระบวนการแสวงหาความรู้เข้าค้นคว้าเพื่อให้ได้คำตอบหรือตัวความรู้ออกมา ซึ่งประกอบด้วยวิธีการวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ [38]

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์วิธีการหนึ่งที่จะทำให้นักเรียนเกิดองค์ความรู้ด้วยตนเองคือ การทำให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ของคอนสตรัคติวิซึม ซึ่งเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ทั้งนี้ครูต้องออกแบบและวางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเป็นอย่างดี ต้องใช้รูปแบบกระบวนการเรียนการสอนและกิจกรรมที่หลากหลาย เมื่อนักเรียนได้ทำกิจกรรมและสังเกตผลที่เกิดขึ้นด้วยตัวเอง ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะนำไปสู่การถามคำถาม การอธิบาย การอภิปราย และหาข้อสรุปต่อไป กิจกรรมลักษณะนี้จึงส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติและฝึกคิด นำมาสู่การสร้างความรู้ด้วยตนเองด้วยความเข้าใจและมีความหมาย

กิจกรรมคิดและปฏิบัติ (Hands-on mind-on activities) นักการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์แนะนำให้ครูจัดกิจกรรมให้นักเรียนได้คิดและลงมือปฏิบัติ เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงหรือได้ทำการทดลองต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ก็จะเกิดความคิดและคำถามที่หลากหลาย ซึ่งเมื่อนักเรียนได้ทำกิจกรรมดังกล่าวจะทำให้สังเกตผลที่เกิดขึ้นด้วยตัวเอง ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะนำไปสู่การถามคำถาม การอธิบาย การอภิปราย หาข้อสรุป และการศึกษาต่อไป กิจกรรมลักษณะนี้จึงส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติและฝึกคิดนำมาสู่การสร้างความรู้ด้วยตนเองด้วยความเข้าใจและเป็นการเรียนรู้ที่มีความหมาย

นักจิตวิทยาการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายการเรียนรู้ด้วยการลงมือทำว่าเป็นการเรียนรู้จากการกระทำ เป็นการลงมือปฏิบัติกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือการได้ปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมที่มีความหมายต่อตนเองแล้วสร้างองค์ความรู้ของตนเองขึ้นมาซึ่งคาบเกี่ยวกับขั้นตอนที่ผ่านมา ขั้นนี้จะเกิดทั้งการดูดซึม (assimilation) และการปรับความแตกต่าง (accommodation) ผสมผสานกันไป [29]

(1) กระบวนการดูดซึมเป็นกระบวนการที่เกิดจากเด็กพบ หรือมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมแล้วรับหรือดูดซึมภาพและเหตุการณ์ต่างๆ เข้าไว้ในความคิดของตน

(2) กระบวนการปรับความแตกต่างเป็นการปรับความรู้เดิมเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่

การจัดการเรียนรู้ด้วยการลงมือทำจะเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อได้รับประสบการณ์ตรงหรือลงมือทำด้วยตนเอง ได้มีส่วนร่วมในการสร้างที่มีความหมายกับตนเอง ทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงผสมผสานความรู้ระหว่างความรู้ใหม่กับความรู้ที่มีอยู่เดิม (รู้ว่าตนเองได้เรียนรู้อะไรบ้าง) และสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ขึ้นมา ซึ่งทั้งหมดจะอยู่ภายใต้ประสบการณ์และบรรยากาศที่เอื้ออำนวยต่อการเรียนรู้การลงมือทำด้วยตนเอง โดยการได้ทำสิ่งที่ตนเองชอบหรือสนใจ ซึ่งในขณะที่ทำสิ่งที่ตนเองสนใจหรือชอบก็จะได้ความรู้จากกระบวนการที่ทำไปพร้อม ๆ กัน [29]

กิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการปฏิบัติจริง (Hands-on) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ควบคู่กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน นอกจากนี้ ผู้เรียนยังมีเจตคติที่ดีต่อกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการปฏิบัติจริงอีกด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วิธีการนี้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อเน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ และเกิดความเข้าใจ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้จากการได้ลงมือทำกิจกรรม จากสิ่งที่นักเรียนได้ออกแบบ ลองผิดลองถูกด้วยตนเอง นักเรียนจะเกิดความภาคภูมิใจที่สามารถทำงานให้สำเร็จได้ด้วยตนเอง และเกิดการจดจำโดยไม่ต้องท่องจำ [30]

การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาเคมีหากต้องการให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ง่าย ต้องออกแบบกิจกรรมให้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ซึ่งจะเกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงของผู้เรียน ทั้งนี้ครูต้องออกแบบและวางแผนการจัดกิจกรรมที่สอดคล้องกับเนื้อหาวิชาและเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง

การศึกษาสารกำหนดปริมาณในรายวิชาเคมีเป็นหนึ่งในเนื้อหาที่นักการศึกษาและนักวิจัยพยายามศึกษาวิธีการในการระบุสารกำหนดปริมาณซึ่งมีหลายวิธี ทั้งการเปรียบเทียบ [5, 6] การสาธิตในห้องเรียน [7, 8] การจัดกิจกรรมในชั้นเรียน [9, 10] และการทดลองในห้องปฏิบัติการ [11, 12] ในวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้พบว่า การทดลองเป็นวิธีที่มีชื่อเสียงในการนำเสนอแนวคิดสำคัญของสารกำหนดปริมาณ เนื่องจากสามารถสร้างความสนใจของนักเรียนในชั้นเรียนได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ การทดลองสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณได้อย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตาม การทดลองยังไม่เหมาะสำหรับบริบททางการศึกษา เช่น ข้อจำกัดในการเข้าถึงเครื่องมือวิเคราะห์ และห้องปฏิบัติการที่ไม่เหมาะสมในหลาย ๆ โรงเรียนและมหาวิทยาลัย ดังนั้นการทดลองอย่างง่ายจึงเป็นที่ต้องการสำหรับห้องปฏิบัติการทั่ว ๆ ไป ใช้เวลาไม่นานมาก และสามารถทำได้ง่าย จึงเป็นที่ต้องการอย่างมาก

การสาธิตทดลองสารกำหนดปริมาณโดยใช้สารเคมีในชีวิตประจำวันจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบคาร์บอนेटกับกรดน้ำส้มสายชู คาร์บอนेटจะทำปฏิกิริยากับกรดแอซิดิก แล้วได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรงจากการใช้กระบอกฉีดยาโดยไม่ต้องอาศัยการแทนที่น้ำเมื่อใช้ปริมาณกรดคงที่ ปริมาตรของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนेटที่ใช้ เพราะฉะนั้น ผลที่ได้จากการทดลองช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณได้ดียิ่งขึ้น การสาธิตทดลองนี้น่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครูและนักเรียนทุกระดับชั้นในวิชาเคมี [39]

การสาธิตการทดลอง เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ พบว่าปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำจะได้สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแก๊สอะเซทิลีนเป็นผลิตภัณฑ์ แก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา สามารถติดตามได้โดยอาศัยการแทนที่น้ำปฏิกิริยานี้ทำการทดลองได้ในโรงเรียนโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย การทดลองนี้เป็นตัวอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์เชิงปริมาณสารและคำนวณหาปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในสมการเคมีได้เป็นอย่างดีนอกจากครูผู้สอนยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้การสาธิตทดลองนี้ในห้องปฏิบัติการของโรงเรียนได้แล้ว สารเคมีและอุปกรณ์การทดลองยังมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายอีกด้วย [40]

เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ พบว่าชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาในการทดลองทางเคมีได้หลายอย่าง เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ น้ำหนักเบาสามารถผลิตได้ง่ายและรวดเร็ว ปริมาณการใช้สารเคมีและสารตัวอย่างจำนวนน้อย ง่ายต่อการใช้งาน รายงานการใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) มีมาตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2550 (ค.ศ. 2007) โดยนักวิจัยกลุ่ม Whitesides [13] ทำการออกแบบช่องรองรับปฏิกิริยาบนกระดาษกรองด้วยสารที่ไม่ชอบน้ำ โดยสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะสามารถผ่านรูพรุนของกระดาษและส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะ

กันเอาไว้ ช่องรองรับปฏิกิริยาลักษณะวงกลมขนาดเล็กสามารถประดิษฐ์ได้หลายเทคนิค เช่น การเคลือบด้วยสารไวแสง (photolithography) การตัดด้วยแสงเลเซอร์ การใช้สารเคลือบ การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ และการเคลือบด้วยซีพิ้ง เป็นต้น [14] แนวคิดในการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) จะใช้เครื่องมือและวัสดุราคาไม่แพง สามารถสร้างในปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว ทำได้ง่าย และไม่มีข้อเสียที่เกิดจากการกระบวนการสร้าง เทคนิคในการสร้างควรให้ความละเอียดสูงและสามารถทำซ้ำได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แม่พิมพ์เว็กรีดอย่างง่ายโดยการปรับเปลี่ยนเล็กน้อยจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [15] เนื่องจากเป็นวิธีการสร้างที่ราคาถูกกว่าและใช้เพียงบล็อกสกรีนที่ราคาไม่แพง ซีพิ้งซึ่งปราศจากตัวทำละลาย เครื่องเป่าให้ความร้อน การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการตรวจวัดทางเคมีได้รับการอ้างอิงโดย Dungchai และคณะ[15] อย่างไรก็ตามการใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ในการศึกษาสำหรับนักเรียนมัธยม นักศึกษาระดับปริญญาตรี และประชาชนทั่วไป [13-18] ยังคงเป็นความท้าทาย

บริเวณที่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาบนชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) ทำได้โดยหยดสารตั้งต้นลงบนกระดาษบริเวณดังกล่าว วิธีการวิเคราะห์สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการวิเคราะห์จากการเรืองแสง (fluorescence) [16] วิเคราะห์จากการเปล่งแสง (chemiluminescence) [17] วิเคราะห์จากการตรวจวัดทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical sensing) [18] วิเคราะห์จากการสังเกตสี (colorimetric assay) [19] ซึ่งการสังเกตสีเป็นที่นิยมมากที่สุดทางเคมี โดยเฉพาะการวิเคราะห์ร่วมกับรูปถ่ายจากกล้องดิจิทัลหรือกล้องจากโทรศัพท์มือถือ และการวิเคราะห์ผ่านทางซอฟต์แวร์ที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี หรือแม้กระทั่งการสังเกตด้วยตาเปล่า ดังนั้นข้อได้เปรียบของการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษด้วยวิธีนี้คือต้นทุนต่ำ สร้างได้ง่าย และสามารถผลิตได้รวดเร็วเป็นที่นิยม [20-26]

การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยชุดทดลองกระดาษสำหรับการตรวจหาสีของอาหารสำหรับแบคทีเรีย โดยพบว่าแบคทีเรียก่อโรคที่สำคัญที่สุด 3 ชนิด คือเชื้อ *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. และ *Listeria monocytogenes* เนื่องจากความรุนแรงและความถี่ของการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตจำนวนมาก การคงอยู่ของแบคทีเรียในอาหารที่ยาวนานจึงต้องการความรวดเร็ว ง่าย และราคาไม่แพงในการวิเคราะห์ที่สามารถตรวจจับเชื้อโรคในตัวอย่างที่ซับซ้อน เทคนิคการเพาะเลี้ยงเพื่อตรวจหาและระบุสาเหตุเชื้อโรคที่เกิดจากอาหารต้องใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน การปรับปรุงเทคนิคการตรวจจับระดับโมเลกุลได้รับการแนะนำจากเทคนิคการเกิดโพลีเมอร์ (PCR) วิธีการยุ่งยากต้องมีเครื่องมือที่ซับซ้อน ราคาแพง จำเป็นต้องมีบุคลากรที่ได้รับการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี และไม่ง่ายต่อการตรวจคัดกรอง งานวิจัยได้พัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์แบบใช้กระดาษ (μ PAD) เพื่อตรวจหา *E. coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium และ *L. monocytogenes* ในระบบคัดกรองตัวอย่างอาหาร ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างบริเวณทดสอบขนาดเล็กบนกระดาษโดยใช้การพิมพ์ซีพิ้งบนกระดาษกรอง ทำการตรวจวัดโดยการวัดการเปลี่ยนสีเมื่อเอนไซม์เข้าร่วมตัวกับเชื้อโรคที่มีความจำเพาะสารตั้งต้นบน

โครโมโซม เมื่อรวมกับขั้นตอนอื่น ๆ วิธีนี้จะช่วยเพิ่มระยะเวลาในการสลายตัว 12 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า และสามารถตรวจจับแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นในอาหารปริมาณน้อย (RTE) ที่มีเชื้อโรคได้น้อยกว่า 10^1 หน่วยโคโลนี/ตารางเซนติเมตร [45]

การสร้างชุดทดสอบกระดาษด้วยวิธีการง่าย ๆ เพียงขั้นตอนเดียวโดยใช้ปากกาหมึกถาวรและแม่แบบโลหะเฉพาะ ขั้นตอนการประดิษฐ์สามารถทำได้ภายใน 1 นาที หมึกปากกาตามแบบบนกระดาษไม่ชอบน้ำทำหน้าที่กั้นน้ำหรือแยกบริเวณทดสอบ อุปกรณ์กระดาษต่าง ๆ สามารถสร้างขึ้นโดยใช้แม่แบบอื่นที่มีรูปแบบที่สอดคล้องกัน อุปกรณ์เทปกาที่มีความโปร่งใสสามารถปกป้องพื้นผิวการทดสอบของพวกเขจากการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้น ในบริเวณการทดสอบวงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง ~ 3 มิลลิเมตร) ที่สร้างขึ้นสำหรับการตรวจสอบและการตรวจหาปริมาณของแอนติเจนที่มีความจำเพาะ (PSA) ของบริเวณเป้าหมาย ตัวอย่างจำนวนมากได้รับการทดสอบด้วยวิธีการใหม่นี้ และเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ทางเคมีในเชิงพาณิชย์ เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง วิธีการสร้างชุดทดสอบกระดาษขั้นตอนเดียวนี้นี้ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์และทักษะพิเศษใด ๆ มีราคาไม่แพงและสร้างได้รวดเร็ว ดังนั้นจึงมีศักยภาพที่จะใช้งานได้หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลและสภาพแวดล้อมที่มีทรัพยากรจำกัด เช่นห้องปฏิบัติการขนาดเล็กและ การใช้งานส่วนตัว [46]

การพัฒนาเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายและราคาถูกด้วย ชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษซึ่งประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu, Pb, Ag, Zn, Fe และ Sn เมื่อทำการทดลองสามารถวัดศักย์ไฟฟ้าได้ถึง 15 คู่เซลล์ ซึ่งทำการทดลองได้หลายเซลล์ ใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย ทำให้ประหยัดสารเคมี ต้นทุนถูก ทำได้ง่าย รวดเร็ว ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน สามารถนำไปใช้ได้จริงในการสอน เรื่องเซลล์กัลวานิก และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนกับหลังการจัดการเรียนรู้พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน 8.57 หรือ ร้อยละ 57.14 สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน 3.77 ร้อยละ 25.14 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษมีการพัฒนาการเรียนรู้ มีความรู้ความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น [31]

การไตเตรทกรด-เบส โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยกระดาษ ซึ่งการทดลองทำได้ง่าย โดยอุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยกระดาษ (PADs) สร้างจากแวกซ์เพื่อให้เกิดช่องสำหรับทำปฏิกิริยาและช่องสำหรับตรวจสอบอย่างละ 10 ช่อง โดยช่องสำหรับทำปฏิกิริยาใส่สารตั้งต้นคือโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHPth) ที่เพิ่มความเข้มข้นเรื่อย ๆ และช่องสำหรับตรวจสอบเติมฟีนอล์ฟทาเลิน เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายตัวอย่างเติมลงบริเวณจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยกระดาษ (PADs) และปล่อยให้กระจายไปยังช่องสำหรับทำปฏิกิริยาที่มีโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHPth) เมื่อโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณมากกว่าโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHPth)

ไฮโดรเจนไอออนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะไหลผ่านไปยังช่องสำหรับตรวจสอบทำให้เกิดปฏิกิริยาและเปลี่ยนสีฟีนอล์ฟทาลีน ดังนั้นจำนวนช่องสำหรับตรวจสอบที่ไม่มีการเปลี่ยนสีจึงเป็นตัวกำหนดความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ การไตเตรทใช้เวลาภายใน 1 นาที โดยการสังเกตจุดยุติซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือ ถ้าปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHPth) และฟีนอล์ฟทาลีน ที่ถูกเติมลงไปอย่างถูกต้องในแต่ละช่องจะให้ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เที่ยงตรงและแม่นยำ เมื่อใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยกระดาษ (PADs) และให้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นตามลำดับตั้งแต่ 0.01 – 1 M และใช้สารละลายตัวอย่างกรดเช่น กรดไฮโดรคลอริก และใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นสารมาตรฐานแทนโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHPth) นอกจากนี้อุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยกระดาษ (PADs) ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการไตเตรทกรดไนตริก กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายแอมโมเนีย อุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยกระดาษ (PADs) มีความเสถียรมากกว่า 1 เดือนเมื่อเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามจะลดลงเหลือเพียง 5 วัน เท่านั้นถ้าอยู่ในสภาวะที่มีแสง การวิเคราะห์ความเป็นกรดของน้ำพุร้อนสามารถใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยกระดาษ (PADs) ทดสอบได้เช่นเดียวกัน และให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับการไตเตรทกรด-เบสแบบเดิม [32]

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส โดยการสังเกตการเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ ซึ่งพกพาสะดวก ผลิตได้ง่ายและสามารถผลิตในจำนวนมากได้รวดเร็ว ทำการทดลองง่ายไม่ยุ่งยาก ประหยัดสารเคมี

2.2 ทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึม (Constructivism)

ทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึมมีหลักการที่สำคัญว่า ในการเรียนรู้ผู้เรียนจะต้องเป็นผู้กระทำ (Active) และสร้างความรู้ แต่กลุ่มนักจิตวิทยาคอนสตรัคติวิซึมมีความคิดเห็นแตกต่างกันในเรื่องการเรียนรู้หรือสร้างความรู้ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร เนื่องจากความเชื่อพื้นฐานของทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึมมีรากฐานมาจาก 2 แหล่งคือ จากทฤษฎีของ Piaget และ Vygotsky

ทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึมจึงแบ่งออกเป็น 2 ทฤษฎีคือ

2.2.1 Cognitive Constructivism หมายถึงทฤษฎีการเรียนรู้พุทธิปัญญาที่มีรากฐานมาจากทฤษฎีพัฒนาการของ Piaget แนวคิดของทฤษฎีนี้เน้นผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยการลงมือกระทำ Piaget เชื่อว่าถ้าผู้เรียนถูกกระตุ้นด้วยปัญหาที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive Conflict) หรือเรียกว่าเกิดการเสียสมดุลทางปัญญา (Disequilibrium) ผู้เรียนต้องพยายามปรับโครงสร้างทางปัญญา (Cognitive Structuring) ให้เข้าสู่ภาวะสมดุล (Equilibrium) โดยวิธีการดูดซึม (Assimilation) ได้แก่การรับข้อมูลใหม่จากสิ่งแวดล้อมเข้าไปไว้ในโครงสร้างทางปัญญา และการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางปัญญา (Accommodation) คือการเชื่อมโยงโครงสร้างทางปัญญาเดิมหรือ

ความรู้เดิมที่มีมาก่อนกับข้อมูลข่าวสารใหม่จนกระทั่งผู้เรียนสามารถปรับโครงสร้างทางปัญญาเข้าสู่สภาพสมดุลหรือสามารถที่จะสร้างความรู้ใหม่ขึ้นมาได้หรือเกิดการเรียนรู้ขึ้นเอง ทฤษฎีนี้ถือว่าผู้เรียนเป็นผู้กระทำ (Active) และเป็นผู้สร้างความรู้ในใจเอง ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมมีบทบาทในการก่อให้เกิดความไม่สมดุลทางพุทธิปัญญาขึ้นเป็นเหตุให้ผู้เรียนปรับความเข้าใจเดิมที่มีอยู่ให้เข้ากับข้อมูลข่าวสารใหม่จนกระทั่งเกิดความสมดุลทางพุทธิปัญญาหรือเกิดความรู้ใหม่ [33]

2.2.2 Social Constructivism เป็นทฤษฎีที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีพัฒนาการของ Vygotsky ซึ่งมีแนวคิดที่สำคัญที่ว่า “ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาทางพุทธิปัญญา” รวมทั้งแนวคิดเกี่ยวกับศักยภาพในการพัฒนาทางพุทธิปัญญาที่อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับช่วงของการพัฒนาที่เรียกว่า Zone of proximal Development ถ้าผู้เรียนอยู่ต่ำกว่า Zone of proximal Development จำเป็นที่จะต้องได้รับการช่วยเหลือในการเรียนรู้ที่เรียกว่า Scruftolding โดย Vygotsky เชื่อว่าผู้เรียนสร้างความรู้โดยผ่านทางการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับผู้อื่น ได้แก่ ผู้ใหญ่ พ่อแม่ ครู และเพื่อน ในขณะที่เด็กอยู่ในบริบทของสังคมและวัฒนธรรม (Sociocultural Context) เป็นตัวแปรที่สำคัญและขาดไม่ได้ ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมทำให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจเดิมให้ถูกต้องหรือซับซ้อนกว้างขวางขึ้น [33]

คุณลักษณะร่วมของทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึม

แม้ว่านักจิตวิทยา Cognitive Constructivism และ Social Constructivism จะมีความเห็นแตกต่างกันในเรื่องการอธิบายว่าผู้เรียนสร้างความรู้ได้อย่างไร ทุกคนต่างเห็นร่วมกันในลักษณะของทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึมดังต่อไปนี้

- (1) ผู้เรียนสร้างความเข้าใจในสิ่งที่เรียนรู้ด้วยตนเอง
- (2) การเรียนรู้สิ่งใหม่ขึ้นกับความรู้เดิมและความเข้าใจที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- (3) การมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมมีความสำคัญต่อการเรียนรู้
- (4) การจัดสิ่งแวดล้อม กิจกรรมที่คล้ายคลึงกับชีวิตจริง ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย [33]

ทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึมมีแนวคิดหลักว่าบุคคลเรียนรู้โดยวิธีการที่ต่าง ๆ กัน โดยอาศัยประสบการณ์เดิมโครงสร้างทางปัญญาที่มีอยู่ความสนใจและแรงจูงใจภายในเป็นพื้นฐาน โดยมีแรงจูงใจจากความขัดแย้งทางปัญญาทำให้เกิดการไตร่ตรอง (reflection) นำไปสู่การสร้างโครงสร้างใหม่ทางปัญญา (cognitive restructuring) ที่ได้รับการตรวจสอบทั้งโดยตนเองและผู้อื่นว่าสามารถแก้ปัญหาเฉพาะต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในกรอบของโครงสร้างนั้นและใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการสร้างโครงสร้างใหม่ต่อไป [34]

มีทฤษฎีเกี่ยวกับการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ชี้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงความคิดที่มีอยู่แล้วของผู้เรียน ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความคิดมากกว่าดูดซึมความคิดใหม่ ๆ และผู้เรียนเป็นผู้สร้าง

ความหมายจากประสบการณ์ด้วยตนเอง คอนสตรัคติวิซึมเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับความรู้และการเรียนรู้ เป็นการบรรยายโดยอาศัยพื้นฐานทางจิตวิทยา ปรัชญาและมนุษยวิทยา ว่าความรู้คืออะไรและความรู้ได้มาอย่างไร [35]

คอนสตรัคติวิซึมมีความหมายเกี่ยวกับการเชื่อมโยงประสบการณ์ผู้เรียนจะมีประสบการณ์ของตนเอง และมีโครงสร้างความรู้ความคิดจากพื้นฐานของประสบการณ์ที่ตนได้รับมา หรือประสบการณ์ใหม่ที่เชื่อมโยงกับความรู้ที่มีอยู่เดิม ซึ่งในการเรียนรู้นั้นผู้เรียนจะต้องเป็นผู้คิดผู้ปฏิบัติด้วยตนเอง เพื่อให้เกิดการสร้างองค์ความรู้ใหม่ให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย [36]

ทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึมเป็นทฤษฎีการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นผู้สร้างความเข้าใจในสิ่งที่เรียนรู้ด้วยตนเอง ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้การเชื่อมโยงหรือการปรับแนวคิดระหว่างการเรียนรู้สิ่งใหม่กับความรู้เดิมของผู้เรียน โดยมีการปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับบุคคลอื่นและสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเรียนรู้และใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการสร้างความคิดใหม่ๆ ด้วยตนเอง [37]

ทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึมเป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองจากประสบการณ์ของตนเอง โดยผู้เรียนจะต้องเป็นผู้คิดผู้ปฏิบัติด้วยตนเอง เพื่อให้เกิดการสร้างองค์ความรู้ใหม่โดยเชื่อมโยงกับความรู้เดิม การมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับบุคคลอื่นและสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการเรียนรู้และการสร้างองค์ความรู้ของผู้เรียน

2.3 แบบทดสอบวัดความเข้าใจชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT)

การวัดความเข้าใจของนักเรียนสามารถวัดได้จากการทดสอบ ดังนั้นการสร้างแบบทดสอบจึงมีความสำคัญมาก เพราะแบบทดสอบเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาแนวคิดของผู้เรียนทั้งก่อนเรียนหรือหลังเรียน แล้วนำข้อมูลจากการทดสอบไปใช้ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอน และสามารถวิเคราะห์ความเข้าใจผิด แนวคิดที่ไม่ถูกต้องของนักเรียนเพื่อแก้ไขจุดบกพร่อง แบบทดสอบจึงต้องมีคุณภาพเพราะจะนำไปสู่การวัดและประเมินผลที่มีคุณภาพด้วย จึงมีนักการศึกษาหลายท่านที่ให้ความสนใจและให้ความสำคัญกับแบบทดสอบมากขึ้น เพื่อนำไปสู่การแก้ไขข้อบกพร่องของผู้เรียนได้อย่างตรงจุด และเป็นแนวทางในการปรับปรุงการเรียนการสอนต่อไป แบบทดสอบสำรวจความเข้าใจชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT) จึงมีลักษณะแตกต่างจากแบบทดสอบทั่วไป เป็นแบบวัดแนวคิดที่เน้นศึกษาความเข้าใจของผู้เรียน กระตุ้นให้ผู้เรียนตอบคำถามและระบุความมั่นใจในการตอบคำถามตัวเลือกและเหตุผลโดยใช้ความเข้าใจมากกว่าความจำ สามารถแสดงให้เห็นถึงกระบวนการคิดของนักเรียนอย่างเพียงพอที่จะวิเคราะห์ความเข้าใจผิดในการเรียน มุ่งวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนเป็นรายข้อหรือกลุ่มข้อสอบแต่ละด้าน

แบบสอบชนิดเลือกตอบ 3 ระดับ ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบสอบชนิดเลือกตอบ 2 ระดับ โดยการเพิ่มส่วนที่ 3 ของส่วนคำตอบของข้อสอบซึ่งเป็นการให้ผู้ตอบเลือกความมั่นใจ

หรือไม่มั่นใจในคำตอบที่เลือกในส่วนที่ 1 (ตัวเลือกซึ่งเป็นคำตอบและตัวลวง) และส่วนที่ 2 (ตัวเลือกซึ่งเป็นเหตุผลของคำตอบที่เลือกในส่วนที่ 1) ผู้ตอบจะได้คะแนนก็ต่อเมื่อตอบส่วนที่ 1 และ 2 ได้ถูกต้องด้วยความมั่นใจ สำหรับผู้ตอบที่ตอบผิดทั้งส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 อย่างมั่นใจ แสดงว่ามีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่ถึงกระนั้นระดับความมั่นใจในส่วนที่ 3 นี้ ก็ไม่ได้บอกว่าผู้ตอบมั่นใจในคำตอบส่วนที่ 1 หรือ 2 ดังนั้น แบบสอบชนิดเลือกตอบ 3 ระดับนี้ก็ยังไม่สามารถจำแนกว่าการที่ผู้เรียนตอบผิดนั้นเป็นเพราะมีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือตอบผิดเพราะไม่มีความรู้ในเรื่องนั้น ๆ [47]

การใช้แบบทดสอบสำรวจความเข้าใจในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT) อ้างอิงจาก Harika, O. A., Ceyhan, C. and Christine, M. (2012) มีลักษณะดังนี้ ขั้นที่ 1 (First-Tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด ขั้นที่ 2 (Second-Tier) เหตุผลของคำตอบ และขั้นที่ 3 (third-tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกจำนวน 5 ระดับ ได้แก่ (1) คาดเดา (2) ไม่มั่นใจอย่างมาก (3) ไม่มั่นใจ (4) มั่นใจ และ (5) มั่นใจอย่างมาก โดยใช้แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนชุดเดียวกัน พบว่าการใช้แบบทดสอบวัดระดับความเข้าใจของนักเรียนต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แบบ 3 ขั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT) สามารถจำแนกระดับความเข้าใจของนักเรียนได้ และยังสามารถแสดงให้เห็นถึงความรู้ความเข้าใจ หรือการมีองค์ความรู้ของนักเรียนทุกกลุ่มต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้สอนสามารถนำผลการวิจัยไปพัฒนาผู้เรียนแต่ละกลุ่มให้มีความรู้ความเข้าใจได้ตรงตามความต้องการเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เพิ่มขึ้น [41]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

การวิจัยเรื่องการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ผู้วิจัยแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ตอน คือตอนที่ 1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณ และตอนที่ 2 การศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังได้รับการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

3.2 การศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังได้รับการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

3.1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1.1 ยางปาดสกรีนหน้าตัดรูปตัววี

3.1.1.2 บล็อกสกรีนแบบพิมพ์วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.80 cm, 1.00 cm และ 1.20 cm ผ้าสกรีนทำจากไนลอนขนาด 90 mesh

3.1.1.3 เครื่องเป่าลมยี่ห้อพานาโวนิค กำลังไฟ 1,000 วัตต์ รุ่น EH-ND11

3.1.1.4 กระดาษกรอง whatman #1

3.1.1.5 ไมโครปิเปตขนาด 10 – 100 μL

3.1.1.6 ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 cm^3

3.1.1.7 ปีกเกอร์ขนาด 50 cm^3

3.1.1.8 พาราฟินแว็กซ์

3.1.1.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3

3.1.1.10 โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3

3.1.1.11 โซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3

3.1.1.12 กรดแอสติคความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm^3

3.1.1.13 0.1% ฟีนอล์ฟทาลีน

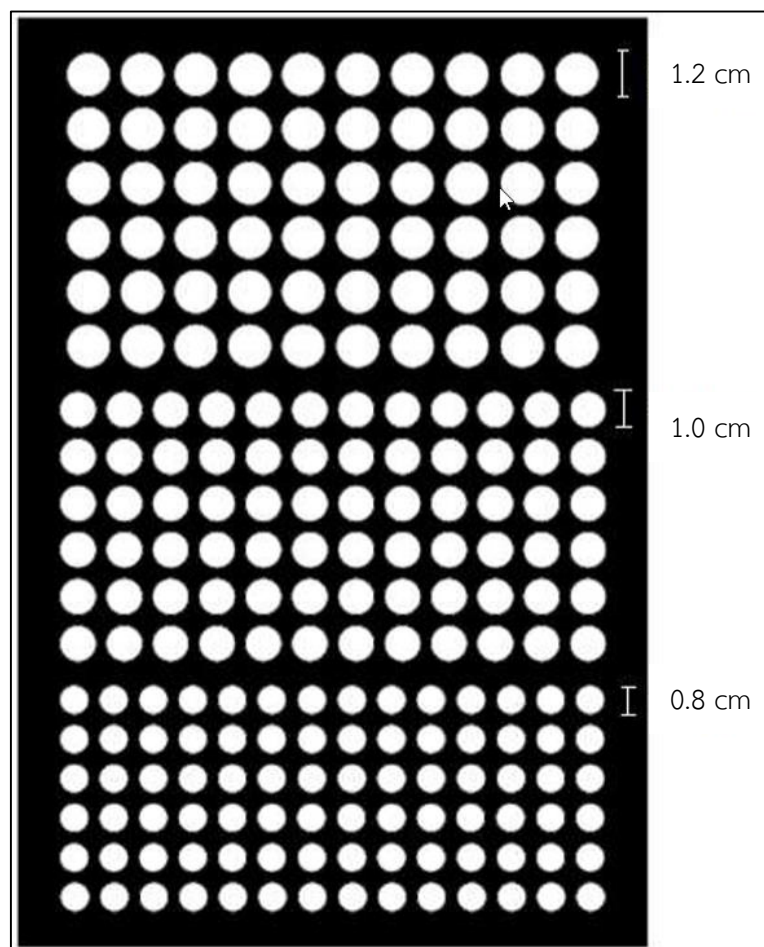
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสาร กำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ

3.1.2 ขั้นตอนการสร้างบล็อกสกปรน

3.1.2.1 ออกแบบวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 cm, 1.00 cm และ 1.20 cm โดยใช้โปรแกรม Microsoft word แล้วพิมพ์ต้นฉบับบนกระดาษไข ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แบบวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 cm, 1.00 cm และ 1.20 cm

3.1.2.2 การสร้างบล็อกสกรีน โดยกรอบทำจากไม้ด้วยขนาด 2 x 20 cm และ 2 x 30 cm ยึดติดกันเป็นกรอบสี่เหลี่ยม ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 กรอบไม้สี่เหลี่ยมสำหรับติดผ้าสกรีน

3.1.2.3 ผ้าสกรีนเป็นผ้าไนลอนขนาด 90 mesh ยึดติดกรอบไม้สี่เหลี่ยม

3.1.2.4 การเคลือบผ้าสกรีนโดยใช้น้ำยาไวแสงและอิมัลชันผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำอิมัลชันที่ผสมแล้วเทลงบนผ้าไนลอนและใช้ยางปาดให้เรียบเสมอกัน ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลาสองชั่วโมง จนกว่าจะแห้งสนิท

3.1.2.5 นำแบบวงกลมที่ปริ้นบนกระดาษไขมาติดด้านบนผ้ากรีนที่เคลือบด้วยอิมัลชัน จากนั้นฉายแสงด้วยหลอดไฟขนาด 250 วัตต์ ให้ห่างประมาณ 1-2 ฟุต ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที สุดท้ายจะเห็นเส้นสีน้ำเงินจาง ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 บล็อกสกรีนแบบพิมพ์รูปวงกลม

3.1.2.6 นำบล็อกสกรีนไปล้างให้สะอาดด้วยน้ำเปล่าและฉีดน้ำเก็บรายละเอียด จะได้บล็อกสกรีนพร้อมใช้งาน

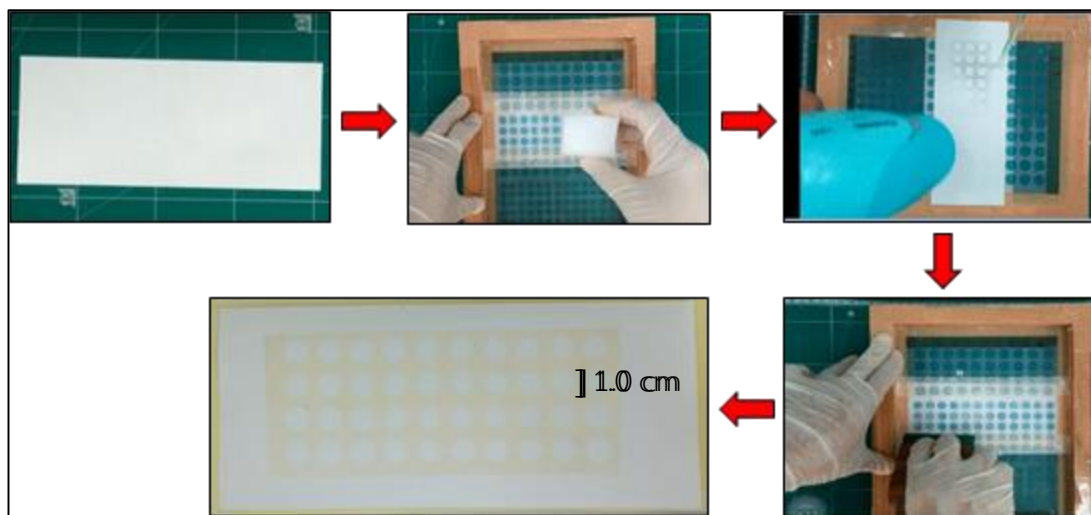
3.1.3 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ

3.1.3.1 ตัดกระดาษกรอง whatman #1 ขนาด 10 x 20 cm แล้ววางกระดาษกรองวางบนพื้นราบ

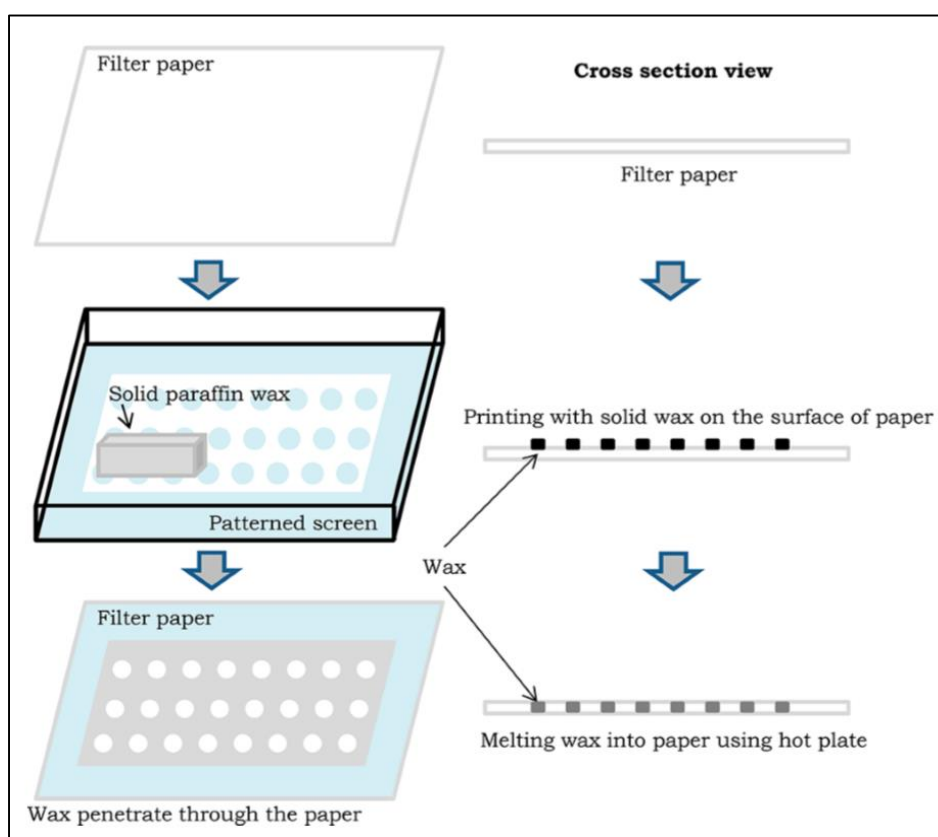
3.1.3.2 วางบล็อกสกรีนให้ด้านนอกทับบนกระดาษกรอง จากนั้นถูฟาราฟินแว็กซ์บนผ้าสกรีนด้านในของบล็อกสกรีนให้ทั่วพื้นที่ที่ต้องการ

3.1.3.3 ใช้ยางปาดสกรีนลักษณะหน้าตารูปตัววีปาดฟาราฟินแว็กซ์ที่เคลือบบนผ้าสกรีนให้เรียบและขูดเอาฟาราฟินส่วนเกินออก

3.1.3.4 ละลายพาราฟินโดยการเป่าลมร้อนด้วยเครื่องเป่าลมประมาณ 5-10 วินาที พาราฟินจะซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษกรองและได้วงกลมตามแบบพิมพ์ที่ต้องการ



ภาพที่ 3.5 ลำดับการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการเคลือบพาราฟินแว็กซ์บนกระดาษกรอง

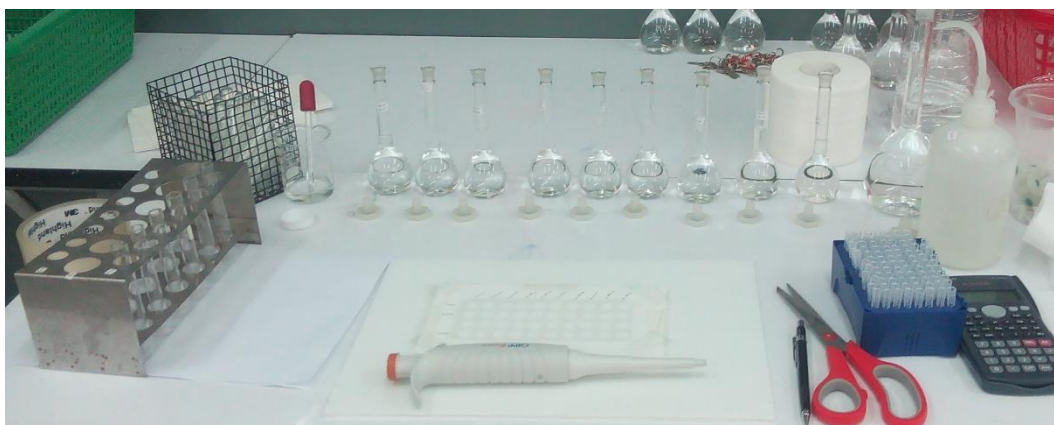
3.1.4 การทดสอบชุดทดลองด้วยกระดาษ

3.1.4.1 ใช้เวอร์เนียร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องรองรับปฏิกิริยาบนกระดาษกรองที่เกิดจากแบบพิมพ์วงกลม 3 ขนาด (แบบพิมพ์เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 cm, 1.00 cm และ 1.20 cm) โดยแต่ละขนาดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางจำนวน 100 ช่อง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย

3.1.4.2 ทดสอบบริเวณไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และบริเวณที่ชอบน้ำ (hydrophilic) บนกระดาษกรองที่เคลือบด้วยพาราฟิน โดยใช้ 0.1% ฟีนอล์ฟทาไลน์ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งได้สารละลายสีชมพู แล้วหยดบริเวณที่มีพาราฟินเคลือบ (hydrophobic) และบริเวณวงกลมที่เป็นช่องรองรับปฏิกิริยา (hydrophilic) แล้วสังเกตลักษณะของสารละลายของทั้ง 2 บริเวณ

3.1.5 การทดลองศึกษาสารกำหนดปริมาณด้วยชุดทดลองกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

3.1.5.1 เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับทดลองให้พร้อม แล้วนำชุดทดลองกระดาษวางบนบล็อกซึ่งทำมาจากฟิวเจอร์บอร์ดแล้วติดเทปให้แน่น ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ชุดการทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติคกับสารละลายเบส

3.1.5.2 ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายกรดแอสติคความเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 จำนวน $10 \text{ }\mu\text{L}$ ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาจำนวน 3 ช่อง จากนั้นล้าง

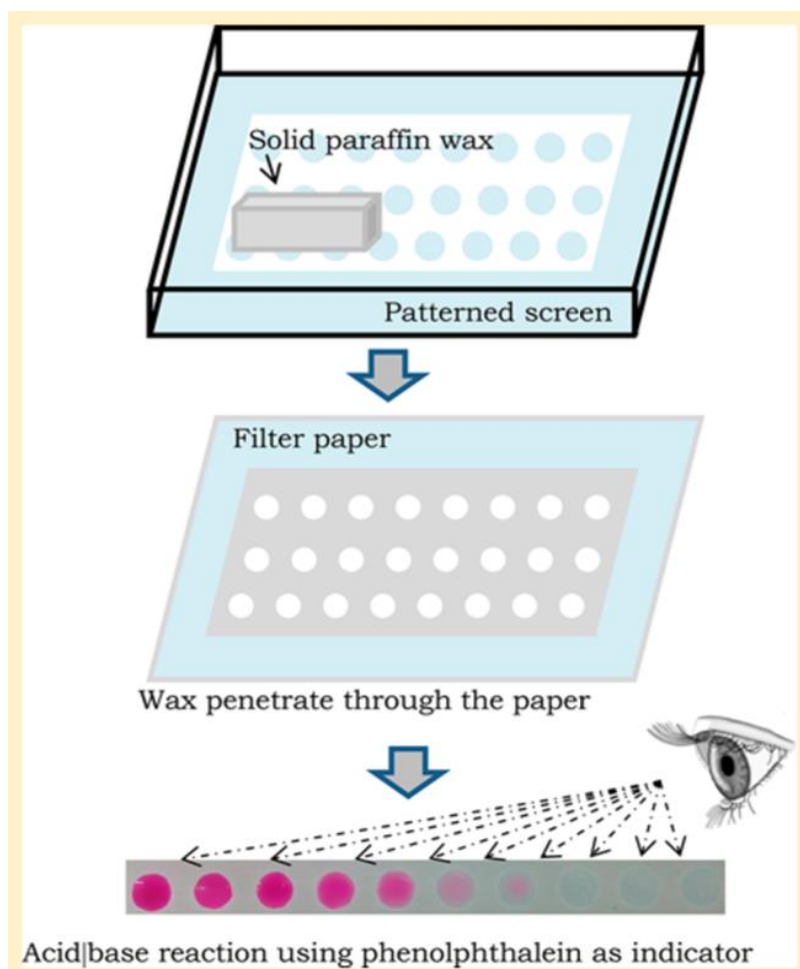
3.1.5.3 ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3.2.2 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของกรดแอสติคเป็น 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 10 mol/dm^3 ตามลำดับจากซ้ายไปขวา

3.1.5.4 ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลาย 0.1% ฟีนอล์ฟทาไลน์ จำนวน $10 \text{ }\mu\text{L}$ ใส่ลงในช่องรองรับปฏิกิริยาที่มีกรดแอสติคทุกช่อง

3.1.5.5 ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 จำนวน $10 \text{ }\mu\text{L}$ ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาแถวที่ 1 จำนวน 10 ช่อง (เรียงลำดับความเข้มข้นของ

สารละลายกรดแอสติคจาก $0.01\text{--}0.10\text{ mol/dm}^3$) แล้วตั้งทิ้งไว้ 15–20 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย

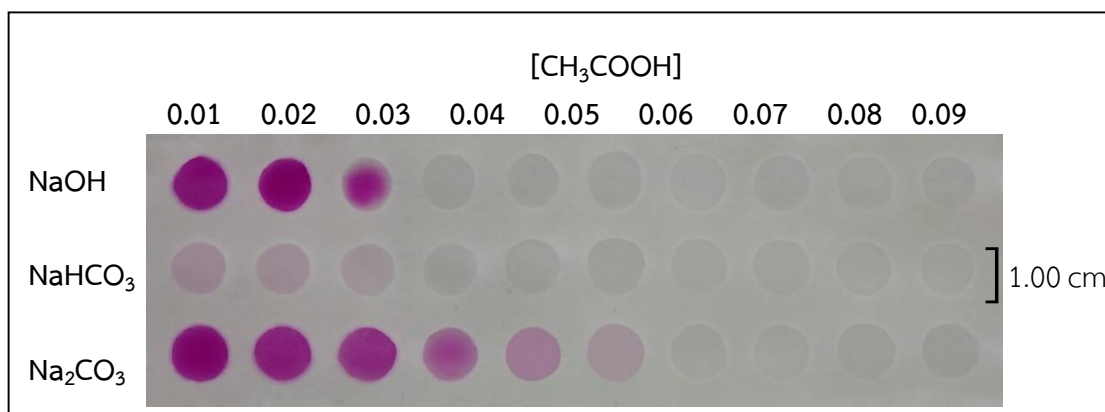
3.1.5.6 ทำการทดลองซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1–3.2.5 แต่เปลี่ยนเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาแถวที่ 2 จำนวน 10 ช่อง และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาแถวที่ 3 จำนวน 10 ช่อง



ภาพที่ 3.8 ปฏิกริยากรด-เบส บนชุดทดลองด้วยกระดาษ (PADs) และสังเกตการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน

3.1.5.7 ถ่ายภาพการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยโปรแกรม ImageJ โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเข้มแสงบนภาพถ่าย ทำการถ่ายภาพด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ

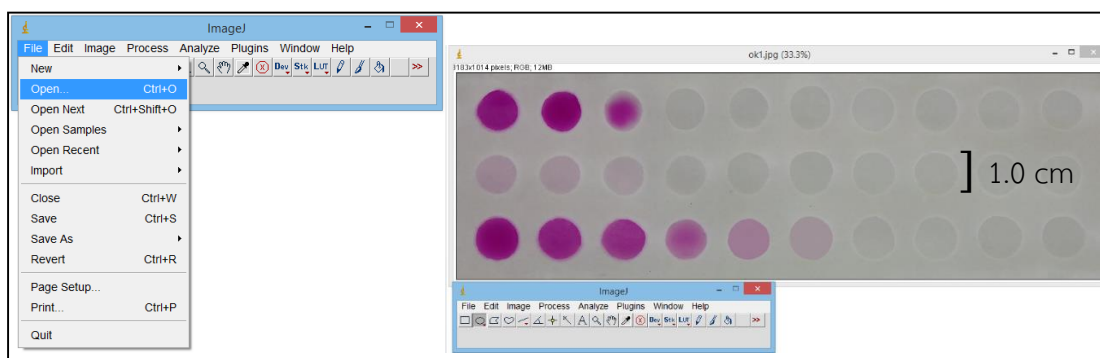
HUAWEI TAG-L22 ในโหมดถ่ายภาพอัตโนมัติ ภายใต้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่งเดียวกัน ทุกครั้ง ให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์และกล้องถ่ายรูปเท่ากับ 30 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ผลการทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซิดกับสารละลายเบส

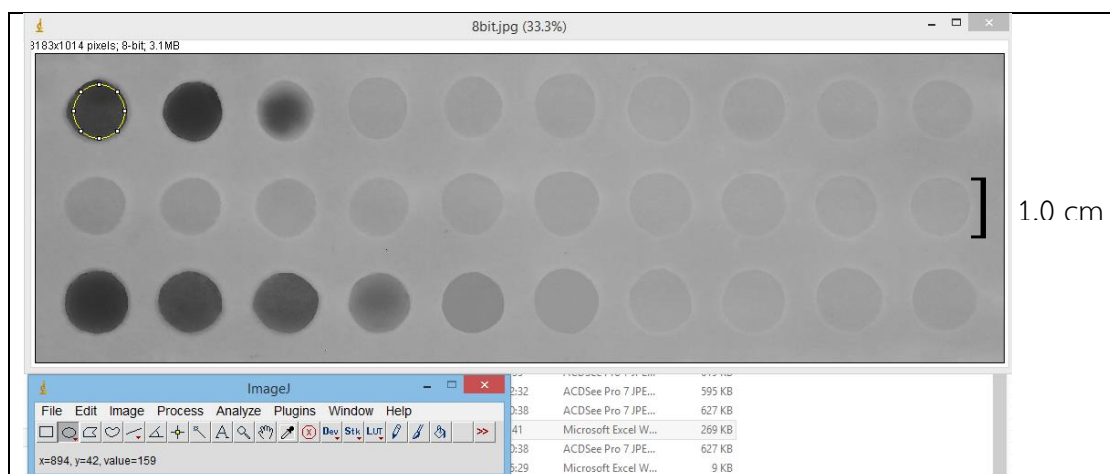
ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยโปรแกรม ImageJ

- 1) นำรูปถ่ายที่ได้เข้าโปรแกรม ImageJ เพื่อวิเคราะห์ความเข้มสี
- 2) เปิดโปรแกรม Image J จากนั้นใช้ชุดคำสั่ง File → Open → เลือกรูปที่ต้องการ ดังภาพที่ 3.10



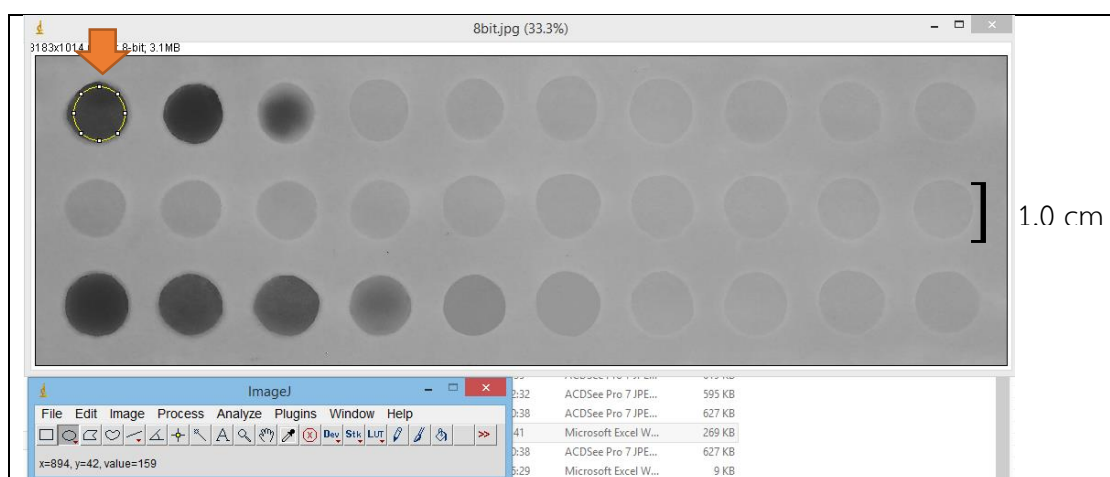
ภาพที่ 3.10 การเลือกภาพสำหรับวิเคราะห์ความเข้มสี

- 3) การวัดค่าความเข้มสีเทา (Gray scale intensity) โดยนำภาพต้นฉบับ (ภาพที่ 3.9) มาดำเนินการเปลี่ยนเป็นไฟล์ 8 bit gray scale ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 การเปลี่ยนภาพเป็นไฟล์ 8 bit gray scale

4) ทำการเลือกพื้นที่ที่ต้องการวัดค่าความเข้มสีเทา (Gray scale intensity) โดยใช้พื้นที่ลักษณะวงกลม ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การเลือกพื้นที่สำหรับวัดค่าความเข้มสีเทา (Gray scale intensity)

3.2 การศึกษาความเข้าใจเรื่องปริมาณสัมพันธ์หลังจากการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษ

3.2.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้แบบแผนการวิจัยเป็นแบบกลุ่มเดียวสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One Group Pretest-Posttest Design)

กลุ่มทดลอง $O_1 \longrightarrow X \longrightarrow O_2$

เมื่อ

O_1 คือ การทดสอบก่อนเรียน

X คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

O_2 คือ การทดสอบหลังเรียน

3.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.2.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ลงทะเบียนเรียนเพิ่มเติมรายวิชาปริมาณสัมพันธ์ ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 400 คน โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 28

3.2.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาปริมาณสัมพันธ์ รหัสวิชา ว30222 จำนวน 51 คน ของภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ

3.2.3 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยเป็นเนื้อหาในรายวิชาสาระเพิ่มเติม รายวิชาปริมาณสัมพันธ์ รหัสวิชา ว30222 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องสารกำหนดปริมาณ ผู้วิจัยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 ชั่วโมง ดังนี้ ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เนื้อหาและเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

เนื้อหา	เวลาที่ใช้สอน (ชั่วโมง)
1. ปริมาณสัมพันธ์ของสารในสมการเคมี	2
2. สารกำหนดปริมาณ	4

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

3.2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

3.2.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1) แบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ จำนวน 10 ข้อ แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Tree-tier diagnostic test: TTDT) คือ ขั้นที่ 1 (First-Tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ขั้นที่ 2 (second-Tier) เหตุผลของคำตอบแบบ ปรนัย 4 ตัวเลือก และขั้นที่ 3 (third tier) ความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ คือ 1) คัด เดา 2) ไม่มั่นใจอย่างมาก 3) ไม่มั่นใจ 4) มั่นใจ และ 5) มั่นใจอย่างมาก ทดสอบก่อนเรียน จำนวน 10 ข้อ และทดสอบหลังเรียนจำนวน 10 ข้อ โดยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเป็นข้อสอบชุด เดียวกัน [41]

2) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุด ทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด- เบส แบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามวิธีของลิเคิร์ทมี 5 ระดับ โดยกำหนดเกณฑ์การตอบ ดังนี้ [43]

- 2.1) ถ้านักเรียนมีระดับความคิดเห็นน้อยที่สุด
- 2.2) ถ้านักเรียนมีระดับความคิดเห็นน้อย
- 2.3) ถ้านักเรียนมีระดับความคิดเห็นปานกลาง
- 2.4) ถ้านักเรียนมีระดับความคิดเห็นมาก
- 2.5) ถ้านักเรียนมีระดับความคิดเห็นมากที่สุด

3.2.5 การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ

3.2.5.1 แบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ ผู้วิจัยสร้างตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 หลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย มาตรฐานการเรียนรู้และผลการ เรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เนื้อหาเรื่องปริมาณสัมพันธ์จากหนังสือ วารสาร เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) สร้างแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Tree-tier diagnostic test: TTDT) [41] จำนวน 10 ข้อ มีลักษณะดังนี้ ขั้นที่ 1 (first-tier)

เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด ชั้นที่ 2 (second-tier) อธิบายเหตุผลของคำตอบ และชั้นที่ 3 (third-tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ (1) คาดเดา (2) ไม่มั่นใจอย่างมาก (3) ไม่มั่นใจ (4) มั่นใจ และ (5) มั่นใจอย่างมาก โดยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกันแต่มีการสลับข้อและสลับตัวเลือก

3) นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา การใช้ภาษา ระยะเวลาในการสอบ และความเหมาะสมของคำถามที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาให้เห็นและให้คะแนนเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Concurrence: IOC)

4) คัดเลือกข้อสอบที่มีค่า IOC อยู่ในเกณฑ์ 0.50-1.00 ถือว่าข้อสอบนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้และข้อใดมีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 นำมาปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น และแบบทดสอบมีค่า IOC อยู่ในช่วง 0.60- 1.00

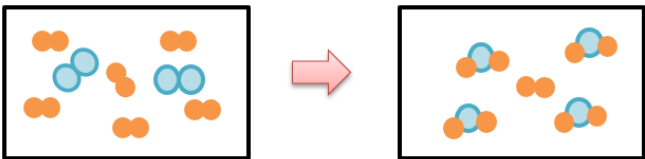
5) นำแบบทดสอบที่ได้ไปทดสอบกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 10 คน ที่ผ่านการเรียนเนื้อหาเรื่องปริมาณสัมพันธ์ มาแล้ว (Try-out) โดยข้อที่ตอบถูกให้ข้อละ 1 คะแนนข้อที่ตอบผิดหรือไม่ตอบหรือตอบมากกว่า 1 ตัวเลือกในข้อเดียวกันให้ 0 คะแนน

6) นำผลการตรวจคะแนนมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบ โดยคัดเลือกข้อสอบที่มีความยากง่าย (Difficulty) ระหว่าง 0.20-0.80 และค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) ของข้อสอบ แล้วเลือกเฉพาะข้อสอบที่มีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป โดยแบบทดสอบทั้งชุดมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.40- 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (R) อยู่ระหว่าง 0.25-0.88 โดยการวิเคราะห์ข้อสอบแบบอิงเกณฑ์ ดังตารางที่ 3.2

7) นำผลคะแนนวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ (Reliability) โดยค่าความเชื่อมั่นแบบโลเวท (Lovett Reliability) มีค่าเท่ากับ 0.74

8) เลือกและจัดพิมพ์แบบทดสอบที่ผ่านการวิเคราะห์คุณภาพแล้วจำนวน 10 ข้อ ไปใช้เก็บข้อมูลกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

3. จากรูปภาพด้านล่าง โดยที่ด้านซ้ายของสมการเป็นสารตั้งต้นและด้านขวาของสมการเป็นผลิตภัณฑ์



จากรูปข้อใดถูกต้อง

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจประกอบตัวเลือก
ก. สารกำหนดปริมาณ คือ 	☐ 1.คาดเดา
ข. สารกำหนดปริมาณ คือ 	☐ 2.ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. สารกำหนดปริมาณ คือ 	☐ 3.ไม่มั่นใจ
ง. สารกำหนดปริมาณ คือ 	☐ 4.มั่นใจ
	☐ 5.มั่นใจอย่างมาก

แสดงเหตุผลของคำตอบ

.....

.....

.....

ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างแบบทดสอบสำรวจความรู้ความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT)

ตารางที่ 3.2 ค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกรายข้อของแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ

ข้อที่	ค่าความยากง่าย	แปลผล	อำนาจจำแนก	แปลผล	แปลผลคุณภาพของข้อสอบ
1	0.70	ใช้ได้	0.25	ใช้ได้	ใช้ได้
2	0.50	ใช้ได้	0.63	ใช้ได้	ใช้ได้
3	0.80	ใช้ได้	0.38	ใช้ได้	ใช้ได้
4	0.70	ใช้ได้	0.88	ใช้ได้	ใช้ได้
5	0.60	ใช้ได้	0.75	ใช้ได้	ใช้ได้
6	0.70	ใช้ได้	0.25	ใช้ได้	ใช้ได้
7	0.40	ใช้ได้	0.50	ใช้ได้	ใช้ได้
8	0.70	ใช้ได้	0.88	ใช้ได้	ใช้ได้
9	0.80	ใช้ได้	0.38	ใช้ได้	ใช้ได้
10	0.50	ใช้ได้	0.63	ใช้ได้	ใช้ได้

3.2.5.2 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระต่ายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจตามลำดับขั้นตอนดังนี้ [31, 41]

1) ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง และวิเคราะห์ข้อมูลจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจให้มีความเหมาะสม

2) สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) จำนวน 1 ฉบับ แบ่งเป็น 2 ด้าน ดังตารางที่ 3.3 และกำหนดระดับความพึงพอใจของนักเรียนเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง พึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง พึงพอใจน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง พึงพอใจที่สุด

3) นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องทางภาษา และความเหมาะสมของคำถามที่แสดงถึงความพึงพอใจ ประเมินความเที่ยงตรง (IOC) โดยพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับพฤติกรรมชีวิตด้านความพึงพอใจต่อการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระต่ายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

4) ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามความพึงพอใจในส่วนที่บกพร่องตามที่คุณผู้เชี่ยวชาญแนะนำและนำผลการประเมินของคุณผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 พบว่าค่า IOC สอดคล้องตั้งแต่ 0.60 ถึง 1.00 จำนวน 13 ข้อ

5) นำแบบสอบถามความพึงพอใจจำนวน 13 ข้อ ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วมาจัดพิมพ์และนำไปทดลองใช้กับนักเรียนจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ ที่เคยผ่านการเรียนเนื้อหาเรื่องปริมาณสัมพันธ์มาแล้ว (Try-out)

6) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองใช้มาวิเคราะห์หาความเชื่อมั่นของแบบสอบถามความพึงพอใจทั้งฉบับ โดยวิธีการหาสัมประสิทธิ์แอลฟา (α) ตามวิธีของครอนบาค (Cronbach) พบว่าค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้ง (α) เท่ากับ 0.51 แสดงว่าแบบทดสอบความพึงพอใจมีความเชื่อมั่นปานกลาง

7) จัดพิมพ์แบบสอบถามความพึงพอใจเพื่อนำไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาปริมาณสัมพันธ์ รหัสวิชา ว30222 จำนวน 51 คน ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559

ตารางที่ 3.3 รายการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาดเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส แยกตามประเด็นการประเมินรายด้าน

ด้านที่	รายการประเมิน	ข้อที่
1	การสอน	1-4
2	กิจกรรมการทดลอง	5-13

3.2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.6.1 ทดสอบก่อนเรียนเพื่อสำรวจความเข้าใจของนักเรียนก่อนจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาดเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ด้วยแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) จำนวน 10 ข้อ ๆ ละ 1 คะแนน

3.2.6.2 จัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาดเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส โดยจัดการแบ่งกลุ่มนักเรียนตามเกรดเฉลี่ยวิชาเคมีที่เรียนมาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 คือ ภาคเรียนที่ 1 และภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 สามารถจัดกลุ่มนักเรียนได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ นักเรียนที่มีความรู้ความสามารถในรายวิชาเคมีระดับสูง ปานกลาง และอ่อน ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มนักเรียนได้ 10 กลุ่ม ๆ ละ 4-5 แต่ละกลุ่มจะคละนักเรียนที่มีความรู้ความสามารถในรายวิชาเคมีที่แตกต่างกัน

3.2.6.3 ทดสอบเพื่อสำรวจความเข้าใจหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาดเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ด้วยแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) จำนวน 10 ข้อ ตรวจให้คะแนนแล้วนำคะแนนมาวิเคราะห์และสรุปผล

3.2.6.4 วัดและประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาดเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ตามประเด็นการประเมิน 2 ด้าน รวมทั้งหมดจำนวน 13 ข้อ ได้แก่ ด้านการสอน จำนวน 4 ข้อ และด้านกิจกรรมการทดลอง จำนวน 9 ข้อ ตามระดับความพึงพอใจมาตรฐานประมาณค่า 5 ระดับ แล้วข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผล

3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.7.1 วิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) ตามเกณฑ์ ดังนี้ [41]

ขั้นที่ 1 (First-tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด โดยเลือกคำตอบถูกต้องเท่ากับ correct และคำตอบผิดเท่ากับ incorrect

ขั้นที่ 2 (Second-tier) อธิบายเหตุผลของคำตอบ โดยอธิบายถูกต้องเท่ากับ correct และอธิบายผิดเท่ากับ incorrect

ขั้นที่ 3 (Third-tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ (1) คาดเดา (2) ไม่มั่นใจอย่างมาก (3) ไม่มั่นใจ (4) มั่นใจ และ (5) มั่นใจอย่างมาก โดยระดับ 1-3 คือ ไม่มั่นใจ (uncertain) และระดับ 4-5 คือ มั่นใจ (certain)

จากนั้นจำแนกระดับความเข้าใจของนักเรียนดังนี้

- 1) CCC: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก มีความมั่นใจในคำตอบ
- 2) CIC: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลผิด มีความมั่นใจในคำตอบ
- 3) ICC: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลถูก มีความมั่นใจในคำตอบ
- 4) IIC: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลผิด มีความมั่นใจในคำตอบ
- 5) CCU: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก ไม่มีความมั่นใจคำตอบ
- 6) CIU: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลผิด ไม่มีความมั่นใจคำตอบ
- 7) ICU: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลถูก ไม่มีความมั่นใจคำตอบ
- 8) IIU: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลผิด ไม่มีความมั่นใจคำตอบ

จากนั้นวิเคราะห์หาค่าร้อยละความเข้าใจของนักเรียนเรื่องปริมาณสัมพันธ์จากระดับความเข้าใจข้างต้น

3.2.7.2 การวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ลงเรียนรายวิชาปริมาณสัมพันธ์ รหัสวิชา ว3022 จำนวน 51 คน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส จำนวน 13 ข้อ โดยใช้การหาค่าเฉลี่ย (Mean) การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และค่าร้อยละ โดยมีเกณฑ์การแปลความหมายดังนี้

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

ระดับคะแนน	การแปลความหมาย
5.00-4.50	ความพึงพอใจมากที่สุด
4.49-3.50	ความพึงพอใจมาก
3.49-2.50	ความพึงพอใจปานกลาง
2.49-1.50	ความพึงพอใจน้อย
1.49-0.00	ความพึงพอใจน้อยที่สุด

3.2.8 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.8.1 สถิติสำหรับหาคุณภาพของเครื่องมือ

1) การหาค่าความเที่ยงตรง (Validity) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้สูตรดัชนีค่าความสอดคล้อง IOC ดังสมการที่ 3.1 [42]

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (3.1)$$

เมื่อ IOC แทนดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์กับเนื้อหา หรือระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์

$\sum R$ แทนผลรวมระหว่างคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ทั้งหมด
 N แทนจำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

2) ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) ของแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตรดังสมการที่ 3.2 [43]

$$r = \frac{R_u - R_l}{f} \quad (3.2)$$

เมื่อ r แทนระดับความยากง่าย

R_u แทนจำนวนคนในกลุ่มสูงที่ตอบถูกที่ทำข้อสอบถูก

R_l แทนจำนวนคนในกลุ่มต่ำที่ตอบถูกที่ทำข้อสอบถูก

f แทนจำนวนคนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำซึ่งเท่ากัน

3) การหาค่าความยากง่าย (P) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตรดังสมการที่ 3.3 [43]

$$P = \frac{R_u + R_l}{2f} \quad (3.3)$$

เมื่อ P แทนระดับความยากง่าย

R_u แทนจำนวนคนในกลุ่มสูงที่ตอบถูกที่ทำข้อสอบถูก

R_l แทนจำนวนคนในกลุ่มต่ำที่ตอบถูกที่ทำข้อสอบถูก

f แทนจำนวนคนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำซึ่งเท่ากัน

4) หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้สูตร K. R. 20 ดังสมการที่ 3.4 [43]

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum pq}{S_t^2} \right\} \quad (3.4)$$

เมื่อ n คือจำนวนข้อ

p คือสัดส่วนของคนทำถูกในแต่ละข้อ

q คือสัดส่วนของคนทำผิดในแต่ละข้อ $= 1 - p$

S_t^2 คือความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ

3.2.8.2 แบบสอบถามความพึงพอใจ

หาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส โดยการหาสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient) ตามวิธีของครอนบาค (Cronbach) ใช้สูตรดังสมการที่ 3.5 [44]

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right\} \quad (3.5)$$

เมื่อ α แทนค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

n แทนจำนวนข้อของแบบทดสอบ

S_i^2 แทนความแปรปรวนของแบบทดสอบรายข้อ

S_t^2 แทนความแปรปรวนของแบบทดสอบทั้งฉบับ

3.2.9 สถิติพื้นฐาน

3.2.9.1 ร้อยละ (Percentage) ใช้สูตรดังสมการที่ 3.6 [43]

$$P = \frac{f}{N} \times 100 \quad (3.6)$$

เมื่อ P แทนร้อยละ

f แทนความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ

N แทนจำนวนความถี่ทั้งหมด

3.2.9.2 ค่าเฉลี่ย (Mean) ของคะแนนใช้สูตรดังสมการที่ 3.7 [43]

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (3.7)$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทนผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

N แทนจำนวนคนในกลุ่ม

3.2.9.3 การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้สูตรดังสมการที่ 3.8 [43]

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}} \quad (3.8)$$

เมื่อ $S.D.$ แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทนคะแนนแต่ละตัว

N แทนจำนวนคะแนนในกลุ่ม

$\sum$ แทนผลรวม

3.2.9.4 การหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (percentage error) โดยการประยุกต์ใช้สูตรดังสมการที่ 3.9 [48]

$$\%error = \frac{|\text{คะแนนเต็ม} - \text{คะแนนที่ได้}|}{|\text{คะแนนเต็ม}|} \times 100 \quad (3.9)$$

เมื่อ % error แทน ร้อยละความคลาดเคลื่อน

3.2.9.5 การหาร้อยละความต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน (percentage relative different) โดยการใช้สูตรดังสมการที่ 3.10 [49]

$$\text{percent difference} = \frac{|\text{measured}_1 - \text{measured}_2|}{\left(\frac{\text{measured}_1 + \text{measured}_2}{2}\right)} \times 100 \quad (3.10)$$

เมื่อ percent difference แทนร้อยละผลต่างของคะแนนก่อนเรียน และ
หลังเรียน

Measured1 แทนคะแนนก่อนเรียน

Measured2 แทนคะแนนหลังเรียน

บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส แล้วนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาปริมาณสัมพันธ์ รหัสวิชา ว30222 จำนวน 51 คน ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ และแบบประเมิน ความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรม จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ โดยนำเสนอตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

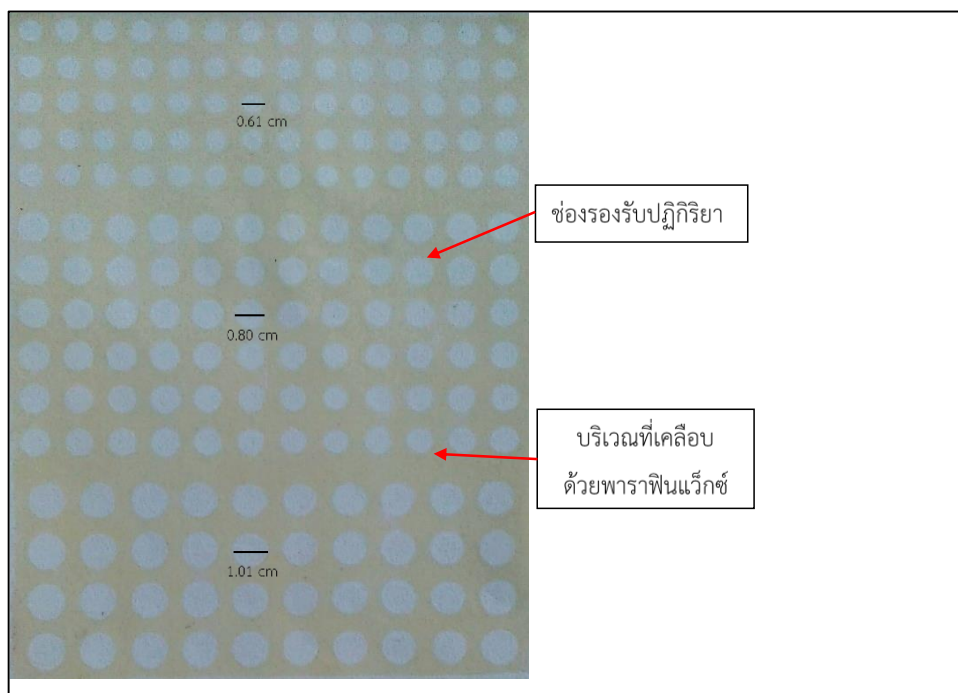
4.2 การศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

4.3 การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

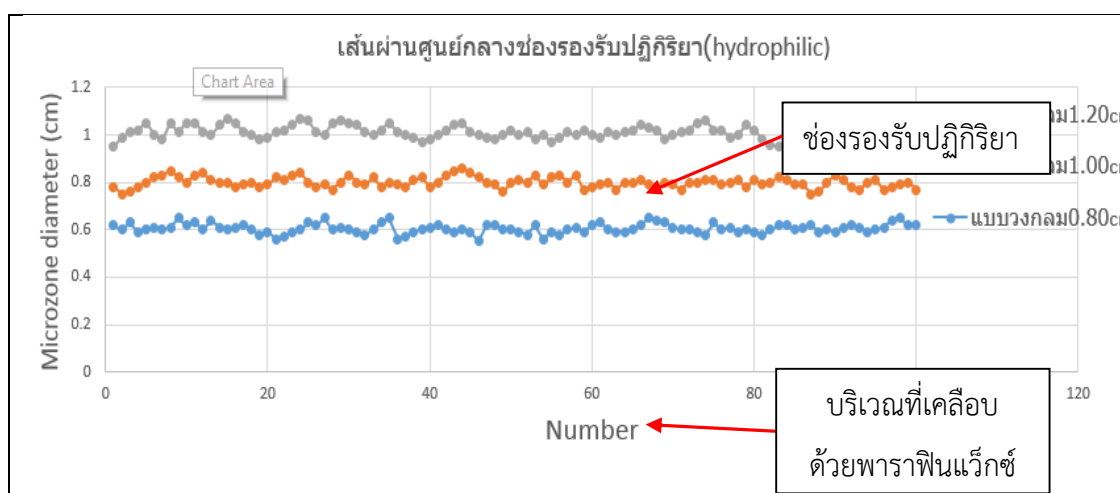
4.1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

4.1.1 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องรองรับปฏิกิริยา

นำชุดทดลองด้วยกระดาษที่สร้างขึ้นไปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องรองรับปฏิกิริยาพบว่า ช่องรองรับปฏิกิริยาจากแบบวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 cm หลังหลอมพาราฟินแวกซ์ได้ช่องรองรับปฏิกิริยาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.61 cm ช่องรองรับปฏิกิริยาที่สร้างจากแบบวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 cm หลังหลอมพาราฟินแวกซ์ได้ช่องรองรับปฏิกิริยาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.80 cm ช่องรองรับปฏิกิริยาที่สร้างจากแบบวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 cm หลังหลอมพาราฟินแวกซ์ได้ช่องรองรับปฏิกิริยาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.00 cm ดังภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ช่องรองรับปฏิกิริยาบนกระดานกรงที่เคลือบด้วยพาราฟินแว็กซ์

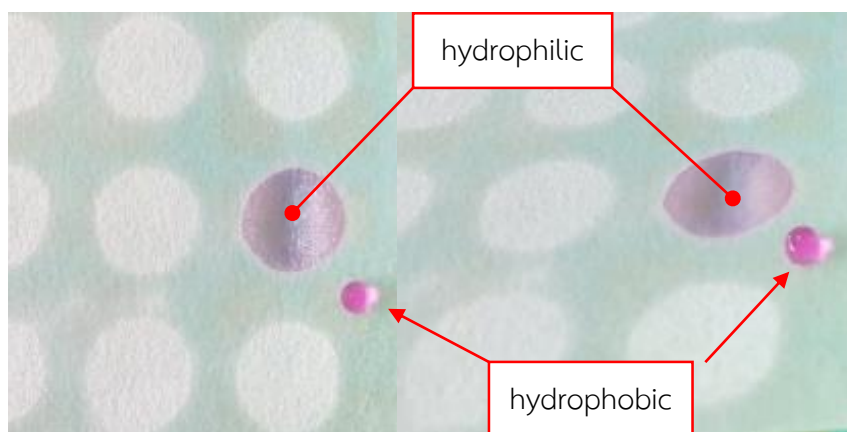


ภาพที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องรองรับปฏิกิริยา (hydrophilic)

4.1.2 การทดสอบบริเวณไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และบริเวณที่ชอบน้ำ (hydrophilic)

การทดสอบบริเวณไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และบริเวณที่ชอบน้ำ (hydrophilic) บนกระดานกรงหลังเคลือบด้วยพาราฟินแว็กซ์ โดยใช้ 0.1% ฟีนอล์ฟทาไลน์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้สารละลายสีชมพู แล้วนำไปหยดลงในช่องรองรับปฏิกิริยาซึ่งเป็นบริเวณที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และบริเวณเคลือบด้วยพาราฟินแว็กซ์ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) พบว่าบริเวณที่ชอบน้ำ

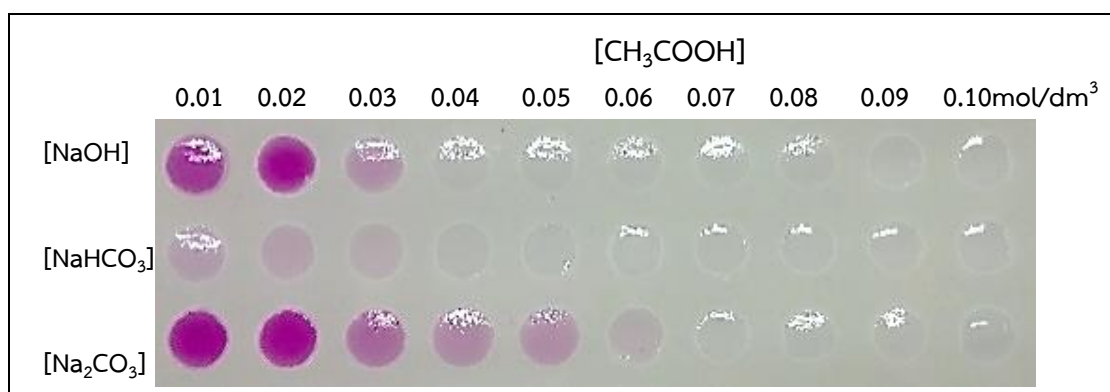
(hydrophilic) สารละลายสามารถไหลซึมผ่านลงไปในกระดาษกรองและกระจายทั่วช่องรองรับปฏิกิริยา ส่วนบริเวณที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สารละลายไม่สามารถไหลซึมผ่านลงไปในกระดาษกรองและจับตัวเป็นลักษณะทรงกลม ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การทดสอบบริเวณที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และบริเวณที่ชอบน้ำ (hydrophilic)

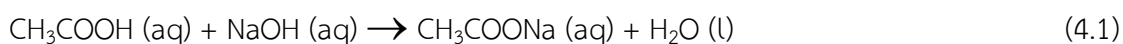
4.1.3 การทดลองศึกษาปริมาณสัมพันธ์ด้วยชุดทดลองกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

การวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส เมื่อใช้เบส 3 ชนิด (โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต และโซเดียมคาร์บอเนต) ความเข้มข้นแน่นอนทำปฏิกิริยากับกรดแอซิดิกที่เพิ่มความเข้มข้นขึ้นทีละน้อย และใช้ 0.01% ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วสังเกตการเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิดิกกับสารละลายเบส

จากภาพที่ 4.4 เมื่อพิจารณาแถวที่ 1 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังสมการที่ 4.1



จากการทดลองพบว่าช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 และ 0.02 mol/dm^3 หลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ สำหรับช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพูเนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และถือเป็นจุดสมมูล ส่วนช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น $0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09$ และ 0.10 mol/dm^3 หลังทำปฏิกิริยาสารละลายใสไม่มีสี เนื่องจากสารละลายมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ผลการทดลองและค่า pH ที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอซิดิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

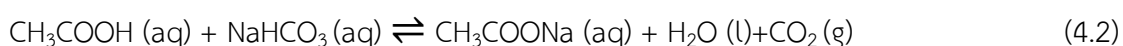
ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินพอ
0.01 mol/dm^3 CH_3COOH	12.00	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.02 mol/dm^3 CH_3COOH	11.70	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.03 mol/dm^3 CH_3COOH	8.46	ชมพู	จุดสมมูล	จุดสมมูล
0.04 mol/dm^3 CH_3COOH	5.22	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.05 mol/dm^3 CH_3COOH	4.92	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH

ตารางที่ 4.1 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอซิดิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินพอ
0.06 mol/dm^3 CH_3COOH	4.74	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.07 mol/dm^3 CH_3COOH	4.62	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.08 mol/dm^3 CH_3COOH	4.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.09 mol/dm^3 CH_3COOH	4.44	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.10 mol/dm^3 CH_3COOH	4.38	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH

หมายเหตุ: * มาจากการคำนวณ

จากภาพที่ 4.4 เมื่อพิจารณาแถวที่ 2 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซิดิกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์บอเนต แสดงดังสมการที่ 4.2



จากการทดลองพบว่าช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 และ 0.02 mol/dm^3 หลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ สำหรับช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์บอเนตและถือเป็นจุดสมมูล ส่วนช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm^3 หลังทำปฏิกิริยา

สารละลายใสไม่มีสี เนื่องจากมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 โดยโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ผลการทดลองและค่า pH ที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอซิดิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินไป
0.01 mol/dm^3 CH_3COOH	9.23	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.02 mol/dm^3 CH_3COOH	9.12	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.03 mol/dm^3 CH_3COOH	8.46	ชมพู	จุดสมมูล	จุดสมมูล
0.04 mol/dm^3 CH_3COOH	5.22	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.05 mol/dm^3 CH_3COOH	4.92	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.06 mol/dm^3 CH_3COOH	4.74	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.07 mol/dm^3 CH_3COOH	4.62	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.08 mol/dm^3 CH_3COOH	4.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.09 mol/dm^3 CH_3COOH	4.44	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.10 mol/dm^3 CH_3COOH	4.38	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH

ตารางที่ 4.2 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอซิดิกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินพอ
0.06 mol/dm^3 CH_3COOH	4.74	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.07 mol/dm^3 CH_3COOH	4.62	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.08 mol/dm^3 CH_3COOH	4.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH

หมายเหตุ: * มาจากการคำนวณ

จากภาพที่ 4.4 พิจารณาแถวที่ 3 ปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซิดิกกับโซเดียมคาร์บอเนตแสดงดังสมการที่ 4.3



จากการทดลองพบว่าช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น $0.01, 0.02, 0.03, 0.04$ และ 0.05 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากสารละลายมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ สำหรับช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.06 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมคาร์บอเนต และถือเป็นจุดสมมูล ส่วนช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น $0.07, 0.08, 0.09$ และ 0.10 mol/dm^3 หลังทำปฏิกิริยาสารละลายใสไม่มีสี เนื่องจากสารละลายมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 โดยโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ผลการทดลองและค่า pH ที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 4.3

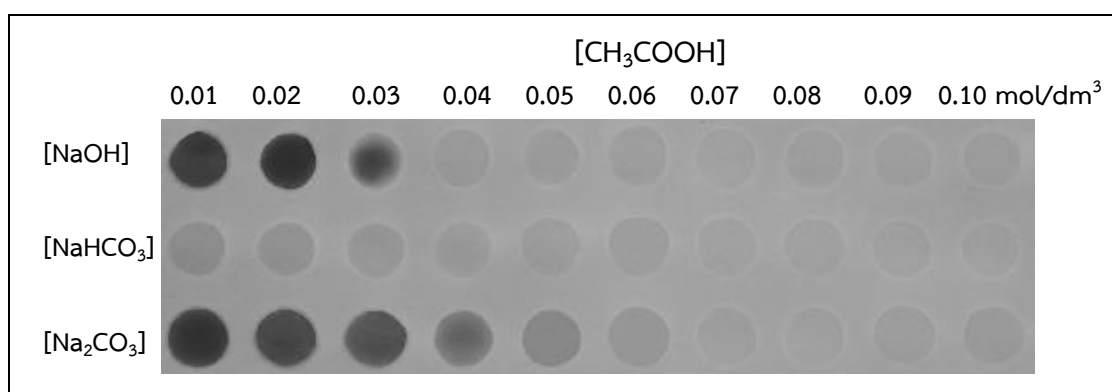
ตารางที่ 4.3 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอซิดิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินพอ
0.01 mol/dm^3 CH_3COOH	11.21	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.02 mol/dm^3 CH_3COOH	11.16	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.03 mol/dm^3 CH_3COOH	11.10	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.04 mol/dm^3 CH_3COOH	11.01	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.05 mol/dm^3 CH_3COOH	10.86	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.06 mol/dm^3 CH_3COOH	8.61	ชมพู	จุดสมมูล	จุดสมมูล
0.07 mol/dm^3 CH_3COOH	5.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.08 mol/dm^3 CH_3COOH	5.22	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.09 mol/dm^3 CH_3COOH	5.05	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.10 mol/dm^3 CH_3COOH	4.92	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH

หมายเหตุ: * มาจากการคำนวณ

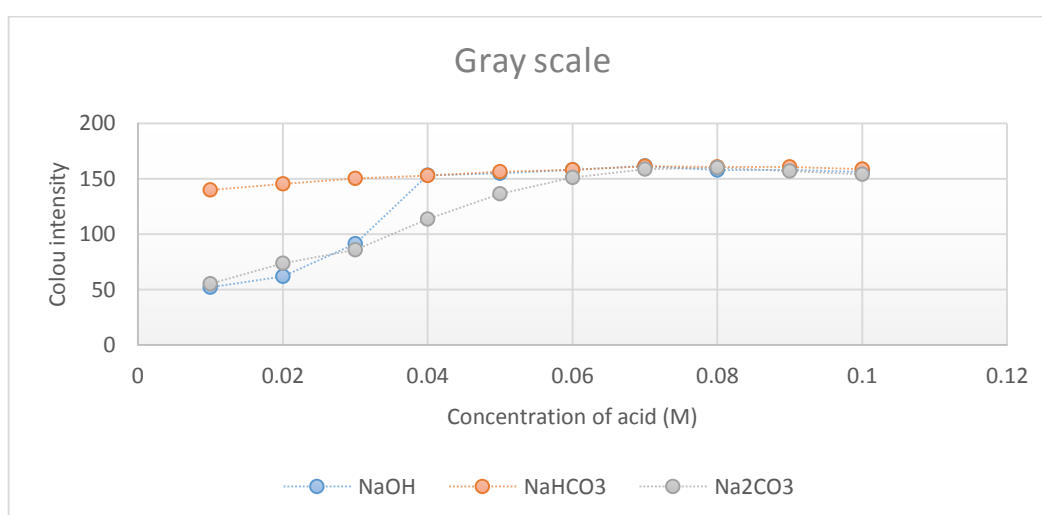
4.1.3 การวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image J

ถ่ายภาพการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความเข้มสี โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเข้มแสงบนภาพถ่าย ทำการถ่ายภาพด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ HUAWEI TAG-L22 ในโหมดถ่ายภาพอัตโนมัติ (Auto) ภายใต้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง ให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์และกล้องถ่ายรูปเท่ากับ 30 cm นำรูปถ่ายที่ได้เข้าโปรแกรม Image J เพื่อวิเคราะห์ความเข้มสี ดังภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5



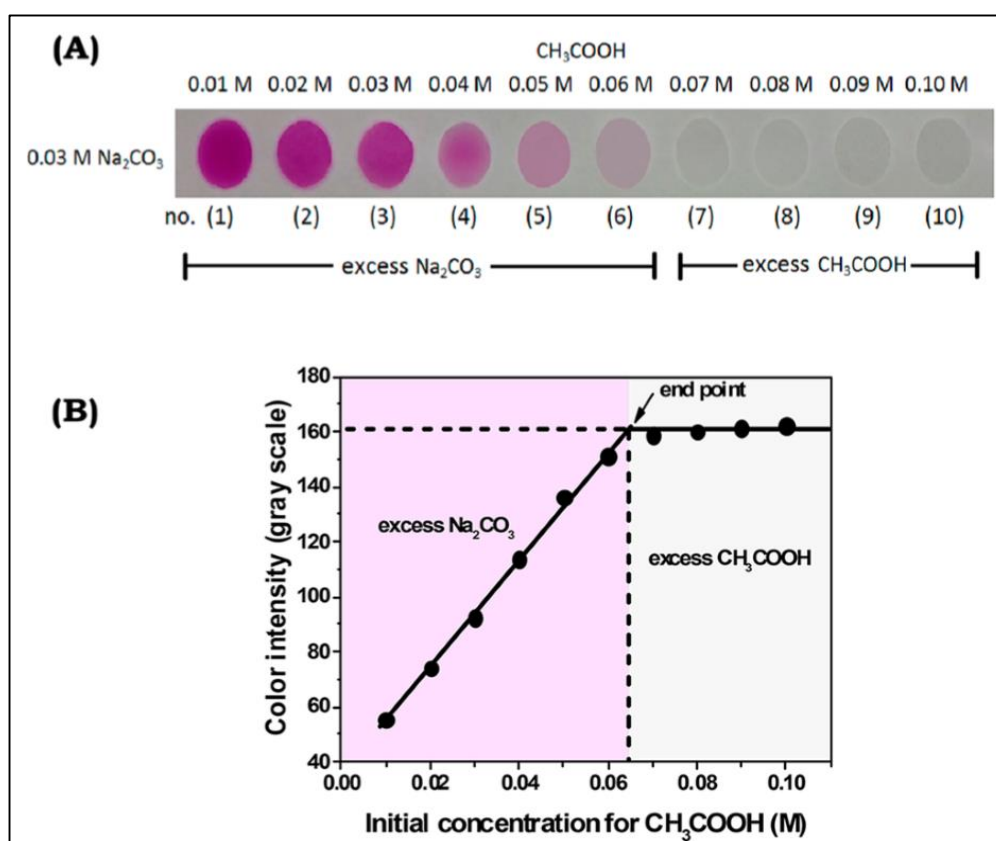
ภาพที่ 4.5 เปลี่ยนภาพจากต้นฉบับ (ภาพที่ 4.4) เป็นไฟล์ 8 bit gray scale

เมื่อนำภาพที่ 4.5 ไปวิเคราะห์ความเข้มสี gray scale ด้วยโปรแกรม Image J จากปฏิกิริยาระหว่างเบสกับกรดแอซิติก (CH₃COOH) ให้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มสี (gray scale) ระหว่างเบสกับกรดแอซิติก (CH₃COOH)

จากภาพที่ 4.6 เมื่อใช้โปรแกรม Image J วัดค่าความเข้มสี Gray scale ของปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับกรดแอซิดิก (CH_3COOH) และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) กับกรดแอซิดิก (CH_3COOH) พบว่าค่าที่ได้แปรผันตรงกับความเข้มข้นของกรดแอซิดิก (CH_3COOH) โดยเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นโดยเรียงลำดับจาก 0.01 mol/dm^3 , 0.02 mol/dm^3 และ 0.03 mol/dm^3 ความเข้มสีประเภทจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้หลังทำปฏิกิริยาสารละลายมีค่า pH ลดลง แต่ยังคงมากกว่าค่า pH 8.1 สารละลายยังเป็นสีชมพู โดยจะมีสีจางลงตามลำดับ ความเข้มสีจึงมีค่าเพิ่มขึ้น ความเข้มสีจะเริ่มคงที่เมื่อใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้นตั้งแต่ 0.04 , 0.05 , 0.06 , 0.07 , 0.08 , 0.09 และ 0.10 mol/dm^3 ตามลำดับ เนื่องจากปฏิกิริยามีเบสเป็นสารกำหนดปริมาณคือทำปฏิกิริยาหมดก่อน หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาจะเหลือกรดแอซิดิก ส่งผลให้ค่า pH ของสารละลายมีค่าลดลงและมีค่าน้อยกว่าค่า pH 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนมีลักษณะใสไม่มีสี จึงทำให้ค่าความเข้มสีมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.7 (A) ปฏิกิริยาระหว่าง Na_2CO_3 และ CH_3COOH และสังเกตการเปลี่ยนสีฟีนอล์ฟทาลีน (B) ผลการวิเคราะห์ความเข้มสี (gray scale) โดยใช้โปรแกรม Image J

จากภาพที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อใช้โปรแกรม Image J วัดค่าความเข้มสี Gray scale พบว่าค่าที่ได้แปรผันตรงกับความเข้มข้นของกรดแอซติก (CH_3COOH) โดยเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จาก 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 และ 0.06 mol/dm^3 ตามลำดับ ความเข้มสีมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้กรดแอซติกความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้หลังทำปฏิกิริยาสารละลายมีค่า pH ลดลง แต่ยังคงมากกว่าค่า pH 8.1 สารละลายยังเป็นสีชมพูโดยจะมีสีจางลงตามลำดับ ความเข้มสีจึงมีค่าเพิ่มขึ้น ความเข้มสีจะเริ่มคงที่เมื่อใช้กรดแอซติกความเข้มข้นตั้งแต่ 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm^3 ตามลำดับ เนื่องจากปฏิกิริยามีเบสเป็นสารกำหนดปริมาณคือทำปฏิกิริยาหมดก่อน หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาจะเหลือกรดแอซติก ส่งผลให้ค่า pH ของสารละลายมีค่าลดลงและมีค่าน้อยกว่าค่า pH 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนมีลักษณะใสไม่มีสี จึงทำให้ค่าความเข้มสีมีค่าใกล้เคียงกัน

4.2 การศึกษาความเข้าใจเรื่องปริมาณสัมพันธ์หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

4.2.1 เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

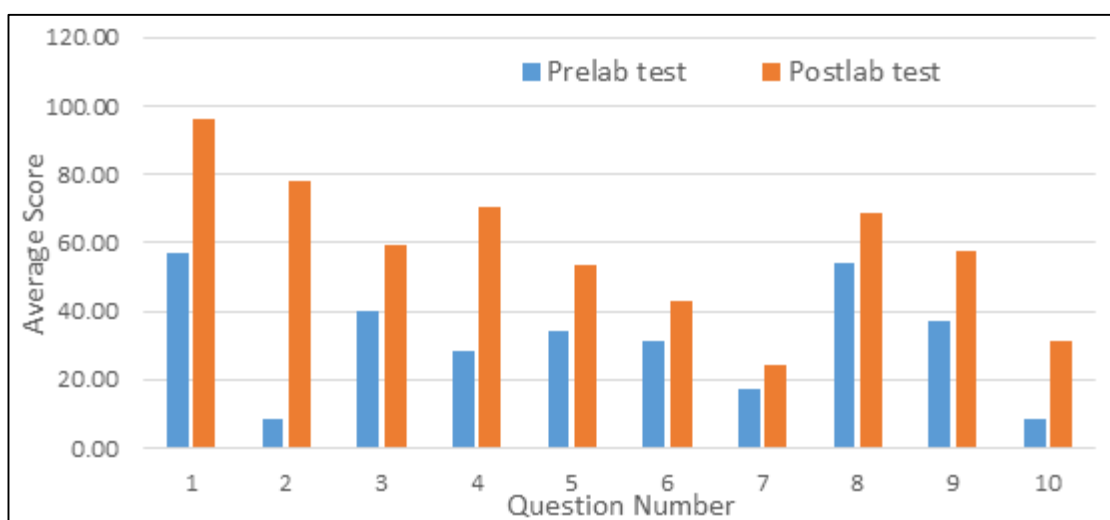
การวัดผลคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้ชุดการทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) จำนวน 10 ข้อ โดยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเป็นชุดเดียวกันแต่ทำการสลับตัวเลือกและข้อผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 จำนวนนักเรียน คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของนักเรียนที่ตอบถูกก่อนเรียนและหลังเรียน และผลต่างของคะแนนเฉลี่ย

คะแนน	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ผลต่างของค่าเฉลี่ย
ก่อนเรียน	51	10	1	5	3.24	1.124	2.59
หลังเรียน	51	10	3	8	5.82	1.452	(25.90%)

ตารางที่ 4.5 คะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ร้อยละความคลาดเคลื่อน และร้อยละผลต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

Question number	Pre-test			Post-test			% relative different
	1.00	100%	% error	1.00	100%	% error	
1	0.57	56.86	43.14	0.96	96.08	3.92	39.22
2	0.10	9.80	90.20	0.78	78.43	21.57	68.63
3	0.41	41.18	58.82	0.59	58.82	41.18	17.65
4	0.29	29.41	70.59	0.71	70.59	29.41	41.18
5	0.35	35.29	64.71	0.55	54.90	45.10	19.61
6	0.31	31.37	68.63	0.43	43.14	56.86	11.76
7	0.18	17.65	82.35	0.24	23.53	76.47	5.88
8	0.55	54.90	45.10	0.69	68.63	31.37	13.73
9	0.37	37.25	62.75	0.57	56.86	43.14	19.61
10	0.10	9.80	90.20	0.31	31.37	68.63	21.57
เฉลี่ย	0.39	29.50	67.65	0.62	53.03	41.76	25.88



ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณของนักเรียน (n=51)

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าคะแนนก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลอง ด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ย 3.24 (SD 1.12) โดยมีคะแนนต่ำสุด 1 คะแนน และคะแนนสูงสุด 5 คะแนน และคะแนนหลังการจัด กิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 5.52 คะแนน (SD 1.45) โดยมีคะแนนต่ำสุด 3 คะแนน และคะแนนสูงสุด 8 คะแนน นักเรียนมีคะแนนความก้าวหน้าเฉลี่ย 2.58 และจากตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าหลังจากการจัดกิจกรรมมีร้อยละความต่างของคะแนนทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกข้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 25.88 โดยข้อที่ 2 หลังเรียนมีความต่างร้อยละ 68.63 ซึ่งสูงที่สุด ส่วนข้อที่ 7 หลังเรียนมีความต่างร้อยละ 5.88 ซึ่งต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่า นักเรียนที่ได้รับการจัด กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ ปฏิกิริยากรด-เบส มีพัฒนาการสูงขึ้นจริง ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ (1) การจัดการเรียนรู้ออกแบบกิจกรรมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองทำให้ได้ประสบการณ์ตรง จากการทดลอง ทั้งนี้กิจกรรมยังได้ออกแบบให้นักเรียนเรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่ม นอกจากสามารถเรียนรู้ ได้ด้วยตนเองขณะเดียวกันเมื่อเกิดข้อสงสัยหรือปัญหายังมีสมาชิกในกลุ่มให้คำแนะนำและคำปรึกษา (2) การใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส เป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นและออกแบบให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดสำคัญของสารกำหนดปริมาณ โดย การสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายก่อนและหลังทำปฏิกิริยา ซึ่งสามารถบอกได้ว่าสารใดเป็น สารกำหนดปริมาณและสารใดเหลือในสารละลาย ทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ส่งผลให้นักเรียนมี คะแนนหลังเรียนสูงขึ้น ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยการสาธิตทดลองสารกำหนดปริมาณโดย ใช้สารเคมีในชีวิตประจำวันจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบคาร์บอนेटกับกรดน้ำส้มสายชู คาร์บอนेटจะทำปฏิกิริยากับกรดแอซิดิกแล้วได้แก๊สคาร์บอนได ออกไซด์ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรงจาก การใช้กระบอกฉีดยาโดยไม่ต้องอาศัยการแทนที่น้ำ เมื่อใช้ปริมาณกรดคงที่ ปริมาตรของแก๊สคาร์บอนได ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนेटที่ใช้ เพราะฉะนั้น ผลที่ได้จากการ ทดลองช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณได้ดียิ่งขึ้น [39] การสาธิตการทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ พบว่าปฏิกิริยาระหว่าง แคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำจะได้สารแคลเซียม ไฮดรอกไซด์และแก๊สอะเซทิลีนเป็นผลิตภัณฑ์แก๊ส อะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสามารถติดตามได้โดยอาศัยการแทนที่น้ำปฏิกิริยานี้ทำการทดลองได้ ในโรงเรียนโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย การทดลองนี้เป็นตัวอย่างหนึ่ง ที่สามารถนำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์เชิงปริมาณสารและคำนวณหาปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในสมการ เคมีได้เป็นอย่างดีนอกจากครูผู้สอนยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้การสาธิตทดลองนี้ในห้องปฏิบัติการ ของโรงเรียนได้แล้ว สารเคมีและอุปกรณ์การทดลองยังมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายอีกด้วย [40] นอกจากนี้งานวิจัยที่ใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนตัวอย่างเช่น การ

พัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยชุดทดลองกระดาษสำหรับการตรวจหาสีของอาหารสำหรับแบคทีเรีย โดยพบว่าแบคทีเรียก่อโรคที่สำคัญที่สุด 3 ชนิด คือ เชื้อ *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. และ *Listeria monocytogenes* เนื่องจากความรุนแรงและความถี่ของการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตจำนวนมาก การคงอยู่ของแบคทีเรียในอาหารที่ยาวนานจึงต้องการความรวดเร็ว ง่าย และราคาไม่แพงในการวิเคราะห์ที่สามารถตรวจจับเชื้อโรคในตัวอย่างที่ซับซ้อน เทคนิคการเพาะเลี้ยงเพื่อตรวจหาและระบุสาเหตุเชื้อโรคที่เกิดจากอาหารต้องใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน การปรับปรุงเทคนิคการตรวจจับระดับโมเลกุลได้รับการแนะนำจากเทคนิคการเกิดโพลิเมอร์ (PCR) วิธีการยุ่งยากต้องมีเครื่องมือที่ซับซ้อน ราคาแพง จำเป็นต้องมีบุคลากรที่ได้รับการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี และไม่ง่ายต่อการตรวจคัดกรองงานวิจัยได้พัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์แบบใช้กระดาษ (μ PAD) เพื่อตรวจหา *E. coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium และ *L. monocytogenes* ในระบบคัดกรองตัวอย่างอาหาร ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างบริเวณทดสอบขนาดเล็กบนกระดาษโดยใช้การพิมพ์ซีพิ้งบนกระดาษกรอง ทำการตรวจวัดโดยการวัดการเปลี่ยนสีเมื่อเอนไซม์เข้าร่วมตัวกับเชื้อโรคที่มีความจำเพาะสารตั้งต้นบนโครโมโซม เมื่อรวมกับขั้นตอนอื่นๆ วิธีนี้จะช่วยเพิ่มระยะเวลาในการสลายตัว 12 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า และสามารถตรวจจับแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นในอาหารปริมาณน้อย (RTE) ที่มีเชื้อโรคได้น้อยกว่า 10^1 หน่วยโคโลนี/ตารางเซนติเมตร [45] การสร้างชุดทดลองกระดาษด้วยวิธีการง่ายๆ เพียงขั้นตอนเดียวโดยใช้ปากกาหมึกถาวรและแม่แบบโลหะเฉพาะ ขั้นตอนการประดิษฐ์สามารถทำได้ภายใน 1 นาที หมึกปากกาตามแบบบนกระดาษไม่ชอบน้ำทำหน้าที่กั้นน้ำหรือแยกบริเวณทดสอบ อุปกรณ์กระดาษต่างๆ สามารถสร้างขึ้นโดยใช้แม่แบบอื่นที่มีรูปแบบที่สอดคล้องกัน อุปกรณ์เทปกาที่มีความโปร่งใสสามารถปกป้องพื้นผิวการทดสอบของพวกเขาจากการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้น ในบริเวณการทดสอบวงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง ~ 3 มิลลิเมตร) ที่สร้างขึ้นสำหรับการตรวจสีและการตรวจหาปริมาณของแอนติเจนที่มีความจำเพาะ (PSA) ของบริเวณเป้าหมาย ตัวอย่างจำนวนมากได้รับการทดสอบด้วยวิธีการใหม่นี้และเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีในเชิงพาณิชย์ เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง วิธีการสร้างชุดทดลองกระดาษขั้นตอนเดียวนี้ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์และทักษะพิเศษใด ๆ มีราคาไม่แพงและสร้างได้รวดเร็ว ดังนั้นจึงมีศักยภาพที่จะใช้งานได้หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลและสภาพแวดล้อมที่มีทรัพยากรจำกัด เช่นห้องปฏิบัติการขนาดเล็กและการใช้งานส่วนตัว [46] และงานวิจัยการพัฒนาเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายและราคาถูกด้วยชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ ซึ่งประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu, Pb, Ag, Zn, Fe และ Sn เมื่อทำการทดลองสามารถวัดศักย์ไฟฟ้าได้ถึง 15 คู่เซลล์ ซึ่งทำการทดลองได้หลายเซลล์ ใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย ทำให้ประหยัดสารเคมี ต้นทุนถูก ทำได้ง่าย รวดเร็ว ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน พบว่าสามารถนำไปใช้ได้จริงในการสอน เรื่อง เซลล์กัลวานิก และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนกับหลังการจัดการเรียนรู้พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน 8.57 หรือ

ร้อยละ 57.14 สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน 3.77 ร้อยละ 25.14 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษมีการพัฒนาการเรียนรู้ มีความรู้ความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น [31]

4.2.2 ความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

การศึกษาความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณก่อนและหลังได้รับการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ทำการศึกษาเฉพาะคำตอบและเหตุผลที่ตอบ โดยการวิเคราะห์ชนิดเลือกตอบ 2 ลำดับชั้น [41] ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละของนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก ตอบตัวเลือก และเหตุผลถูกก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อที่	ร้อยละความเข้าใจของนักเรียน					
	ก่อนเรียน			หลังเรียน		
	ตอบ ตัวเลือกถูก	ตอบ เหตุผลถูก	ตอบตัวเลือก และเหตุผลถูก	ตอบ ตัวเลือกถูก	ตอบ เหตุผลถูก	ตอบตัวเลือก และเหตุผล ถูกทั้งคู่
1	56.86	15.69	15.69	96.08	78.43	78.43
2	9.80	1.96	1.96	78.43	50.98	50.98
3	41.18	9.80	9.80	58.82	35.29	35.29
4	29.41	13.73	13.73	70.59	47.06	47.06
5	35.29	7.84	7.84	54.90	29.41	27.45
6	31.37	1.96	1.96	43.14	17.65	17.65
7	25.49	7.84	7.84	23.53	17.65	15.69
8	47.06	9.80	9.80	68.63	41.18	41.18
9	37.25	11.76	11.76	56.86	31.37	31.37
10	9.80	0.00	0.00	31.37	19.61	17.65
เฉลี่ย	32.35	8.04	8.04	58.24	36.86	36.27
SD	14.91	5.27	5.27	21.78	18.78	19.31

จากตารางที่ 4.6 ร้อยละของจำนวนนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก และตอบตัวเลือกถูกและเหตุผลถูก ก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูกร้อยละ 32.35 ตอบเหตุผลถูกร้อยละ 8.04 และตอบทั้งตัวเลือกและเหตุผลถูกร้อยละ 8.04 ส่วนหลังเรียนนักเรียนตอบตัวเลือกถูกร้อยละ 58.24 ตอบเหตุผลถูกร้อยละ 36.86 และตอบทั้งตัวเลือกและเหตุผลถูกร้อยละ 36.27 จะเห็นว่าทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน นักเรียนตอบตัวเลือกถูกมีจำนวนมากกว่านักเรียนที่ตอบเหตุผลถูก และมากกว่านักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนคุ้นเคยกับการตอบคำถามแบบเลือกตอบเพียงอย่างเดียวมากกว่าการตอบแบบเลือกตอบและการตอบให้เหตุผล นักเรียนไม่เคยชินกับการให้เหตุผลหรือที่มาของคำตอบ จึงส่งผลให้นักเรียนตอบเฉพาะตัวเลือกได้ถูกต้องมากกว่าการตอบโดยให้เหตุผล หากพิจารณาจำนวนนักเรียนที่ตอบเฉพาะตัวเลือกถูกหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียน ยกเว้นข้อ 7 ที่มีนักเรียนตอบตัวเลือกถูกก่อนเรียนมากกว่าหลังเรียน (ก่อนเรียนตอบตัวเลือกถูกร้อยละ 25.49 หลังเรียนตอบตัวเลือกถูกร้อยละ 23.53) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนตอบตัวเลือกถูกโดยการคาดเดามากกว่าตอบด้วยเหตุผลที่มาจากคำตอบจึงทำให้ก่อนเรียนมีโอกาสได้คะแนนมากกว่าหลังเรียน เมื่อพิจารณาการตอบให้เหตุผลพบว่าหลังเรียนนักเรียนให้เหตุผลได้ถูกต้องมากกว่าก่อนเรียนทุกข้อ และเมื่อพิจารณาการตอบทั้งตัวเลือกและเหตุผลพบว่าหลังเรียนนักเรียนทั้งตัวเลือกและเหตุผลถูกมากกว่าก่อนเรียนทุกข้อ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นถึงแม้ว่าข้อที่ 7 นักเรียนจะตอบตัวเลือกถูกก่อนเรียนมากกว่าหลังเรียน แต่ส่วนใหญ่การตอบตัวเลือกถูกหลังเรียนจะมากกว่าก่อนเรียน การตอบให้เหตุผลถูกหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนทุกข้อ และการตอบทั้งตัวเลือกและเหตุผลถูกหลังเรียนจะมากกว่าก่อนเรียนทุกข้อเช่นเดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังเรียนได้ถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้อสอบชนิดเลือกตอบ 2 ลำดับชั้น (2-tier multiple choice test) สามารถศึกษาความเข้าใจของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยพิจารณาจากการตอบตัวเลือกและการให้เหตุผล ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดถึงเหตุผลที่มาจากคำตอบมากกว่าการท่องจำเนื้อหา มาตอบคำถาม แต่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและครอบคลุม ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ข้อสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น (3-tier multiple choice test: TTDT) เพื่อให้ทราบถึงระดับความมั่นใจ การตอบคำถาม โดยประกอบด้วย คำตอบแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ระดับความเชื่อมั่นในการเลือกตอบแบบ 5 ระดับ และเหตุผลของคำตอบ เพื่อสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยมีข้อสอบทั้งหมด 10 ข้อ ตัวอย่างข้อสอบดังภาพที่ 4.8 และผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.7

7. ถ้านำกรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส จากตัวเลือกที่กำหนดให้ข้อใดสรุปได้ถูกต้องที่สุด

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจ ประกอบตัวเลือก
☒ สารละลายเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นน้ำเงิน แสดงว่ากรดไฮโดรคลอริกเป็นสารกำหนดปริมาณ ปฐ จ. ปฐปฐ	☐ 1. คาดเดา ☐ 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ 3. มั่นใจ ☐ 4. ไม่มั่นใจ ☒ 5. มั่นใจอย่างมาก
☐ สารละลายเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินเป็นแดง แสดงว่ากรดไฮโดรคลอริกเป็นสารกำหนดปริมาณ กรด กรดในล่ง	
☐ สารละลายเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นน้ำเงิน แสดงว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกำหนดปริมาณ ปฐ ปฐปฐ	
☐ ข้อมูลไม่สมบูรณ์	

แสดงเหตุผลของคำตอบ

สารละลายเปลี่ยนสีกระดาษ ลิตมัสสีน้ำเงินเป็นน้ำเงิน มีคุณสมบัติเป็นเบส

แสดงว่า เบสในล่ง จ. กรดในล่ง จ. กรดเป็นสารกำหนดปริมาณ

ไฮโดรคลอริกเป็นกรด

✖

ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างการตอบคำถามจากแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น

ตารางที่ 4.7 ร้อยละความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณในการตอบคำถามก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อที่	CCC		CIC		ICC		IIC		CCU		CIU		ICU		IIU	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	3.92	43.14	5.88	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	11.76	35.29	35.29	15.69	0.00	0.00	43.14	3.92
2	0.00	29.41	1.96	7.84	0.00	0.00	19.61	7.84	1.96	21.57	5.88	19.61	0.00	0.00	70.59	13.73
3	3.92	27.45	11.76	15.69	0.00	0.00	17.65	19.61	5.88	7.84	19.61	7.84	0.00	0.00	41.18	21.57
4	3.92	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	1.96	9.80	13.73	15.69	23.53	0.00	0.00	68.63	27.45
5	1.96	17.65	1.96	1.96	0.00	0.00	0.00	13.73	5.88	9.80	25.49	25.49	0.00	1.96	64.71	29.41
6	0.00	7.84	1.96	1.96	0.00	0.00	15.69	19.61	1.96	9.80	27.45	23.53	0.00	0.00	52.94	37.25
7	0.00	7.84	0.00	0.00	0.00	0.00	21.57	31.37	5.88	7.84	11.76	7.84	0.00	1.96	60.78	43.14
8	3.92	27.45	7.84	3.92	0.00	0.00	0.00	3.92	7.84	13.73	35.29	23.53	0.00	0.00	45.10	27.45
9	3.92	23.53	1.96	0.00	0.00	0.00	1.96	9.80	7.84	7.84	23.53	25.49	0.00	0.00	60.78	33.33
10	0.00	13.73	1.96	3.92	0.00	0.00	29.41	31.37	0.00	3.92	7.84	9.80	0.00	1.96	60.78	35.29
Mean	2.16	23.14	3.53	3.73	0.00	0.00	10.78	13.92	5.88	13.14	20.78	18.24	0.00	0.59	56.86	27.25
SD	1.95	11.39	3.79	4.84	0.00	0.00	11.14	11.38	3.70	9.15	10.51	7.34	0.00	0.95	10.66	11.64

จากตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น (3-tier multiple choice test: TTDT) เพื่อวิเคราะห์ระดับความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณก่อนเรียนและหลังเรียน สามารถแบ่งนักเรียนออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) (2) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (CIC ICC IIC) (3) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และ (4) กลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU ICU IIU)

เมื่อแยกพิจารณาตามกลุ่มพบว่ากลุ่มที่ (1) กลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนร้อยละ 23.14 มีค่ามากกว่าก่อนเรียนร้อยละ 2.16 โดยต่างเท่ากับ 20.98 กลุ่มที่ (2) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน แบ่งเป็นคลาดเคลื่อนเชิงบวก (CIC) คลาดเคลื่อนเชิงลบ (ICC) และความเข้าใจคลาดเคลื่อน (IIC) โดยกลุ่มที่คลาดเคลื่อนเชิงบวก (CIC) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 3.73 มีค่ามากกว่าก่อนเรียนร้อยละ 3.53 โดยผลต่างเท่ากับ 0.20 กลุ่มที่คลาดเคลื่อนเชิงลบ (ICC) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนเท่ากับก่อนเรียน เท่ากับร้อยละ 0.00 ส่วนกลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (IIC) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.92 มีค่ามากกว่าก่อนเรียนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.78 โดยผลต่างเท่ากับ 3.14 กลุ่มที่ (3) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 13.14 มีค่ามากกว่าก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 5.88 โดยผลต่างเท่ากับ 7.26 กลุ่มที่ (4) กลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU ICU IIU) แบ่งเป็นกลุ่ม CIU มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 20.78 มีค่าน้อยกว่าก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 18.24 โดยผลต่างเท่ากับ 2.54 กลุ่ม ICU มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 มีค่ามากกว่าก่อนเรียนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.00 โดยผลต่างเท่ากับ 0.19 และ กลุ่ม IIU มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.25 มีค่าน้อยกว่าก่อนเรียนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.86 โดยผลต่างเท่ากับ 29.61

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าความเข้าใจของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังเรียนมีค่ามากกว่าก่อนเรียน ได้แก่ กลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) กลุ่มที่คลาดเคลื่อนเชิงบวก (CIC) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (IIC) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และกลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU) กลุ่มที่มีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังเรียนมีค่าเท่ากับก่อนเรียน ได้แก่กลุ่มที่คลาดเคลื่อนเชิงลบ (ICC) และกลุ่มที่มีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังเรียนมีค่าน้อยกว่าก่อนเรียน ได้แก่กลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU และ IIU) จะเห็นได้ว่าแบบทดสอบวัดความเข้าใจชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic tests: TTDT) สามารถวัดแนวคิดที่เน้นศึกษาความเข้าใจของผู้เรียน กระตุ้นให้ผู้เรียนตอบคำถามและระบุความมั่นใจในการตอบคำถามตัวเลือกและเหตุผลโดยใช้ความเข้าใจมากกว่าความจำ สามารถแสดงให้เห็นถึงกระบวนการคิดของนักเรียนอย่างเพียงพอที่จะวิเคราะห์ความเข้าใจผิดในการเรียน มุ่งวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนเป็นรายข้อหรือกลุ่มข้อสอบแต่ละด้าน

4.3 การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

จากการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลอง ด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส (N=51)

รายการ	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	5	4	3	2	1		
ส่วนที่ 1 ด้านบทบาทของครูผู้สอน							
1. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การสอน	35.29	37.25	27.45	0.00	0.00	4.08	0.78
2. ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงความคิดเห็นในระหว่างเรียน	19.61	60.78	19.61	0.00	0.00	4.00	0.68
3. ครูผู้สอนอธิบายเนื้อหาได้ชัดเจน	19.61	58.82	21.57	0.00	0.00	3.98	0.68
4. ครูผู้สอนตอบคำถามแก่นักเรียนได้เมื่อเกิดข้อสงสัย	31.37	49.02	19.61	0.00	0.00	4.12	0.73
เฉลี่ย	26.47	51.47	22.06	0.00	0.00	4.04	0.71
ส่วนที่ 2 กิจกรรมการทดลอง							
5. การทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสมีความน่าสนใจ	50.98	29.41	19.61	0.00	0.00	4.31	0.80
6. การทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสสามารถทำได้ง่าย	13.73	70.59	15.69	0.00	0.00	3.98	0.54

ตารางที่ 4.8 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิริยากรด-เบส (N=51) (ต่อ)

รายการ	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	5	4	3	2	1		
7. การทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิริยากรด-เบสทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณดียิ่งขึ้น	25.49	47.06	27.45	0.00	0.00	3.98	0.73
8. อุปกรณ์การเรียนมีจำนวนเพียงพอกับจำนวนนักเรียน	27.45	33.33	39.22	0.00	0.00	3.88	0.83
9. ในการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิริยากรด-เบส ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยช่วยกระตุ้นการคิดอย่างมีเหตุผลเพื่อแก้ปัญหาในห้องปฏิบัติการ	45.10	39.22	15.69	0.00	0.00	4.29	0.74
10. ในการทดลองการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิริยากรด-เบส ทำให้นักเรียนมีพัฒนาการเกี่ยวกับการลงมือปฏิบัติจริง (Hands-on) ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น	27.45	52.94	19.61	0.00	0.00	4.08	0.70
11. ในการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิริยากรด-เบส ทำให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์	29.41	47.06	23.53	0.00	0.00	4.06	0.73

ตารางที่ 4.8 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิริยากรด-เบส (N=51)

รายการ	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	5	4	3	2	1		
12. ในระหว่างที่ทำการทดลอง ผู้เรียนได้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างเพื่อนในกลุ่ม	31.37	41.18	27.45	0.00	0.00	4.04	0.79
13. นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเอง อย่างมีความสุข	49.02	31.37	19.61	0.00	0.00	4.29	0.79
เฉลี่ย	33.33	43.57	23.09	0.00	0.00	4.10	0.74
เฉลี่ยรวม						4.10	0.75

หมายเหตุ: 5 = มากที่สุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = พอใช้ และ 1 = น้อย

จากตารางที่ 4.8 พบว่าหลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิริยากรด-เบส นักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 ± 0.75 ด้านบทบาทของครูผู้สอน นักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.04 ± 0.71 โดยในหัวข้อครูผู้สอนตอบคำถามแก่นักเรียนได้เมื่อเกิดข้อสงสัยนักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทำกิจกรรม การเรียนรู้ที่นักเรียนต้องการให้ครูผู้สอนคอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและตอบคำถามเมื่อเกิดข้อสงสัย ด้านกิจกรรมการทดลอง นักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 ± 0.74 โดยในหัวข้อการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิริยากรด-เบสมีความน่าสนใจ นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษซึ่งสร้างขึ้นใหม่นั้น เป็นการทดลองที่แตกต่างจากการทดลองที่นักเรียนเคยเรียนมา ได้ใช้วัสดุอุปกรณ์ใหม่ ๆ วิธีการใหม่ ทำให้เกิดความน่าสนใจและสนุกสนานกับการทำกิจกรรม

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ ทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 51 คน ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 สามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

ชุดการทดลองด้วยกระดาษที่สร้างขึ้น เมื่อใช้เบสความเข้มข้นที่แน่นอนทำปฏิกิริยากับกรดที่เพิ่มความเข้มข้นขึ้นทีละน้อย และใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วสังเกตการณ์เปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ จากการทดลองพบว่าชุดทดลองดังกล่าวสามารถทดลองระบุได้ว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณและสารใดที่เหลือในสารละลาย โดยการสังเกตการณ์เปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา โดยผลการทดลองสอดคล้องกับช่วงการเปลี่ยนสีเมื่อพิจารณา ค่า pH จากการคำนวณ หลังทำปฏิกิริยาในช่องรองรับปฏิกิริยาใดสารละลายจะเป็นสีชมพูแสดงว่ามีเบสเหลือและกรดทำปฏิกิริยาหมดก่อนจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ ส่วนช่องรองรับปฏิกิริยาใดสารละลายจะใสไม่มีสีแสดงว่ากรดเหลือและเบสทำปฏิกิริยาหมดก่อนจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ เมื่อวิเคราะห์ค่าความเข้มสีโดยโปรแกรม Image J เพื่อพิจารณาค่าความเข้มสี Gray scale ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายที่กรดเป็นสารกำหนดปริมาณแสดงว่าเบสเหลือสารละลายจะมีสีชมพู ค่าความเข้มสีแต่ละประเภทจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดที่เพิ่มขึ้น จนเริ่มคงที่เมื่อสารละลายเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี นั่นคือช่วงที่เบสเป็นสารกำหนดปริมาณโดยมีกรดเหลือในสารละลาย

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าการใช้ชุดการทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส และใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์นั้นสามารถใช้ทำการศึกษาเพื่อระบุได้ว่าสารกำหนดปริมาณได้และสอดคล้องตามทฤษฎี อีกทั้งชุดการทดลองด้วยกระดาษนี้สร้างได้ง่าย สามารถผลิตจำนวนมากและรวดเร็ว ต้นทุนการผลิตราคาถูกวัสดุอุปกรณ์หาได้ง่ายทั่วไป การทดลองทำได้ไม่ยุ่งยาก สังเกตผลการทดลองได้ง่าย ใช้เวลาทดลองน้อย และประหยัดสารเคมี

5.1.2 การศึกษาความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณหลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 คิดเป็นร้อยละ 55.20 สูงกว่าคะแนนทดสอบก่อนเรียนค่าเฉลี่ย 3.24 คิดเป็นร้อยละ 32.40 โดยนักเรียนมีคะแนนความก้าวหน้าเฉลี่ย 2.58 หรือร้อยละ 25.80 เมื่อพิจารณาร้อยละความต่างของคะแนนทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกข้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 25.88 แสดงให้เห็นว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ทำให้นักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณเพิ่มมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาระดับความเข้าใจของนักเรียนโดยการตอบคำถามแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 2 ลำดับขั้น (2-tier multiple choice test) พบว่าหลังเรียนจำนวนนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก (ร้อยละ 58.24) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 32.35) หลังเรียนจำนวนนักเรียนที่ตอบเหตุผลถูก (ร้อยละ 36.86) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 8.04) เมื่อพิจารณาจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกทั้งตัวเลือกและเหตุผลถูกหลังเรียน (ร้อยละ 36.27) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 8.04) จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า การจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจและสามารถให้เหตุผลที่ถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ระดับความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (3-tier multiple choice test) พบว่าสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ (1) กลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) (2) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (CIC ICC IIC) (3) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และ (4) กลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU ICU IIU) โดยกลุ่มที่ (1) กลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) นักเรียนมีร้อยละความเข้าใจ (ร้อยละ 23.14) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 2.16) ค่อนข้างมาก โดยผลต่างเท่ากับ 20.98 กลุ่มที่ (2) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน แบ่งเป็น กลุ่มมีคลาดเคลื่อนเชิงบวก (CIC) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียน (ร้อยละ 3.73) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 3.53) เล็กน้อย โดยผลต่างเท่ากับ 0.20 กลุ่มคลาดเคลื่อนเชิงลบ (ICC) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียนเท่ากับก่อนเรียน (ร้อยละ 0.00) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (IIC) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียน (ร้อยละ 13.92) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 10.78) เล็กน้อย โดยผลต่างเท่ากับ 3.14 กลุ่มที่ (3) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียน (ร้อยละ 13.14) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 5.88) เล็กน้อย โดยผลต่างเท่ากับ 7.26 กลุ่มที่ (4) กลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU ICU และ IIU) แบ่งเป็นกลุ่ม CIU มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียน (ร้อยละ 20.78)

น้อยกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 18.24) โดยผลต่างเท่ากับ 2.54 กลุ่ม ICU มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียน (ร้อยละ 0.19) มากกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 0.00) เล็กน้อย โดยผลต่างเท่ากับ 0.19 กลุ่ม IIU มีร้อยละความเข้าใจหลังเรียน (ร้อยละ 27.25) มีค่าน้อยกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 56.86) ค่อนข้างมาก โดยผลต่างเท่ากับ 29.61 จากข้อมูลดังกล่าวอาจมีสาเหตุจากก่อนเรียนนักเรียนไม่มีพื้นฐานและยังไม่ได้เรียน ทำให้ไม่มั่นใจในการตอบคำถามและไม่สามารถตอบเหตุผลจากการเลือกตอบได้ หลังจากผ่านกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น ส่งผลให้มีความมั่นใจการเลือกตอบและการตอบเหตุผลมากขึ้น จึงทำให้ทำข้อสอบได้เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจหลังเรียนมากขึ้น อีกทั้งสามารถให้เหตุผลในการตอบคำถามและมีระดับความมั่นใจมากขึ้น และข้อสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (3-tier multiple choice test: TTDT) สามารถใช้ศึกษาและจำแนกระดับความเข้าใจของนักเรียนได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลจากการวิเคราะห์นี้ไปใช้ในการออกแบบกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนในแต่ละกลุ่มได้

5.1.3 การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

หลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส และให้นักเรียนตอบแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.10 ± 0.75 ด้านบทบาทของครูผู้สอนนักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.04 ± 0.71 โดยในหัวข้อครูผู้สอนตอบคำถามแก่นักเรียนได้เมื่อเกิดข้อสงสัยนักเรียนมีพึงพอใจมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทำกิจกรรมการเรียนรู้นี้นักเรียนต้องการให้ครูผู้สอนคอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและตอบคำถามเมื่อเกิดข้อสงสัย ด้านกิจกรรมการทดลองนักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 ± 0.74 โดยในหัวข้อการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสมีความน่าสนใจ นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษซึ่งสร้างขึ้นใหม่นั้น เป็นการทดลองที่แตกต่างจากการทดลองที่นักเรียนเคยเรียนมา ได้ใช้วัสดุอุปกรณ์ใหม่ ๆ วิธีการใหม่ ทำให้เกิดความน่าสนใจและสนุกสนานกับการทำกิจกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

5.2.1.1 การใช้ฟาราฟินแว็กซ์เคลือบบนกระดาษกรองเพื่อสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษ ควรทำในอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนักเพราะจะทำให้ฟาราฟินอ่อนตัวเกินไปจะทำให้สร้างได้ยากขึ้น

5.2.1.2 การให้ความร้อนจากไดร์เป่าผมเพื่อหลอมฟาราฟินสามารถใช้เตาไฟฟ้า (hot plate) แทนได้ แต่ไม่ควรให้ความร้อนเป็นเวลานานเกินไป เพราะจะทำให้ฟาราฟินหลอมเหลวและ ไหลซึมแพร่กระจายไปทั่วกระดาษกรองในพื้นที่มากขึ้น ทำให้ได้ช่องรองรับปฏิกริยามีขนาดเล็กลง

5.2.1.3 ก่อนการจัดกิจกรรมด้วยชุดทดลองกระดาษครูผู้สอนควรจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และตรวจสอบเครื่องมือให้พร้อมสำหรับการใช้งาน เพื่อให้การจัดกิจกรรมเป็นไปด้วยความเรียบร้อย

5.2.1.4 ก่อนให้นักเรียนลงมือทำการทดลองกับชุดทดลองด้วยกระดาษ ควรฝึกให้นักเรียนใช้ไมโครปิเปตเพื่อให้เกิดความชำนาญและใช้งานได้คล่องแคล่ว เพื่อป้องกันผลการทดลองที่ อาจคลาดเคลื่อนจากการดูดสารละลาย

5.2.1.5 การจัดกิจกรรมดำเนินการในรูปแบบกลุ่มที่ละความรู้ความสามารถ ซึ่ง พิจารณาจากผลการเรียนรายวิชาเคมี ดังนั้นจึงต้องกำชับให้แต่ละกลุ่มแบ่งบทบาทหน้าที่ความ รับผิดชอบ และให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน การจัดกิจกรรมจึงจะมีประสิทธิภาพและเกิดการ เรียนรู้สูงสุด

5.2.1.6 การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสาร กำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกริยารด-เบส ทำให้นักเรียนได้ลงปฏิบัติด้วยตนเอง ซึ่งในการวิจัยรูปแบบนี้ ครั้งต่อไปควรเปิดโอกาสให้นักเรียนมีทางเลือกในการศึกษาตามความสนใจของแต่ละบุคคลหรือแต่ละ กลุ่ม

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.2.2.1 ควรทำการศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เนื่องจากเป็น การลงมือปฏิบัติและเป็นการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

5.2.2.2 การใช้แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับขั้น (3-tier multiple choice test) เป็นการศึกษความเข้าใจของนักเรียนในการเลือกตอบเพราะต้องให้เหตุผลของคำตอบและระดับ ความเชื่อมั่น ทำให้รู้ที่มาของคำตอบ สามารถตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนได้เป็นอย่างดี จึงควรฝึกให้นักเรียนได้ทำแบบทดสอบลักษณะการให้เหตุผลมากขึ้น และกำชับให้นักเรียนตอบเหตุผล เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบกิจกรรมเพื่อพัฒนาเป็นรายบุคคลต่อไป

5.2.2.3 การสร้างชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส สามารถศึกษาโดยใช้กรดและเบสชนิดอื่น ๆ หรือใช้อินดิเคเตอร์ชนิดอื่นซึ่งมีช่วงการเปลี่ยนสีแตกต่างจากฟีนอล์ฟทาลีน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Olmsted, J. “Amounts Tables as a Diagnostic Tool for Flawed Stoichiometric Reasoning”, **Journal Chemical Education**. 76(1): 52-56; January, 1999.
- [2] Chang, R. **Limiting Reagents**. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2009.
- [3] Cracolice, M. S. and Peters, E. I. **Limiting reagents: Smaller-Amount method**. United States of America: Thomson learning, Inc., 2007.
- [4] Gilbert, T. R. and et al. **Solutions: Properties and Behavior**. New York: W. W. Norton and Company, Inc., 2012.
- [5] McMinn, D. “Coffee, Coins, and Limiting Reagents”, **Journal Chemical Education**. 61(7): 591-593; July, 1984.
- [6] Tóth, Z. “Limiting Reactant. An Alternative Analogy”, **Journal Chemical Education**. 76(7): 934-937; July, 1999.
- [7] Blankenship, C. A. “Nuts and Bolts Approach to Explain Limiting Reagents”, **Journal Chemical Education**. 64(2): 134-139; February, 1987.
- [8] Artdej, R. and et al. “Demonstration of Limiting Reagent Using the Vinegar and Sodium Hydrogen Carbonate Reaction”, **Journal Chemical Education**. 85(10):1382-1384; October, 2008.
- [9] Witzel, J. E. “Lego Stoichiometry”, **Journal Chemical Education**. 79(3): 350-357; March, 2002.
- [10] Sharma, A. K. and Wolfgang, D. E. “The Golden Drain: A Stoichiometry Case Study for General Chemistry”, **The Chemical Educator**. 21: 77-80; April, 2016.
- [11] Kildahl, N.; Berka, L. H. Experiments for Modern Introductory Chemistry: Limiting Reagent, Stoichiometry, and the Mole. **Journal Chemical Education**. 70(8), 671-680; August, 1993.
- [11] Furlong, W. R., Rubinski, M. A., Indralingam, R. “The Method of Continuous Variation: A Laboratory Investigation of the Formula of a Precipitate”, **Journal Chemical Education**. 90: 937–940; May, 2013.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Martinez, A. W. and et al. “Paper as a Platform for Inexpensive, Low-Volume, Portable Bioassays”, **Angewandte Chemie International Edition in English**. 46(8): 1318–1320; October, 2007.
- [14] Cate, D. M. and et al. “Recent Developments in Paper-Based Microfluidic Devices”, **Analytical chemistry**. 87(1): 19–41; November, 2015.
- [15] Dungchai, W., Chailapakul, O. and Henry, C. S. “A Low-Cost, Simple, and Rapid Fabrication Method for Paper-Based Microfluidics Using Wax Screen-Printing”, **Analyst**. 136: 77–82; August, 2011.
- [16] He, M. and Liu, Z. “Paper-Based Microfluidic Device with Upconversion Fluorescence Assay”, **Analytical Chemistry**. 85(4): 11691– 11694; December, 2013.
- [17] Liu, W. and et al. “Laminated Paper Based Analytical Devices (LPAD) with Origami-Enabled Chemiluminescence Immunoassay for Cotinine Detection in Mouse Serum”, **Analytical Chemistry**. 85(21): 10270–10276; November, 2013.
- [18] Adkins, J. A. and Henry, C. S. “Electrochemical Detection in Paper Based Analytical Devices Using Microwire Electrodes”, **Analytica Chimica Acta**. 891: 247–254; September, 2015.
- [19] Jokerst, J. C. and et al. “Development of a Paper-Based Analytical Device for Colorimetric Detection of Select Foodborne Pathogens”, **Analytical Chemistry**. 84(6): 2900–2907; February, 2012.
- [20] Cai, L. and et al. “A Simple Paper-Based Microfluidic Device for the Determination of the Total Amino Acid Content in a Tea Leaf Extract”, **Journal Chemical Education**. 90(2): 232–234; December, 2013.
- [21] Chatmontree, A. and et al. “Student Fabrication and Use of Simple, Low-Cost, Paper-Based Galvanic Cells To Investigate Electrochemistry”, **Journal Chemical Education**. 92(6): 1044–1048; May, 2015.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] Koesdjojo, M. T. and et al. “Cost Effective Paper-Based Colorimetric Microfluidic Devices and Mobile Phone Camera Readers for the Classroom”, **Journal Chemical Education**. 92(4): 737–741; March, 2015.
- [23] Ravgiala, R. R. and et al. “Using Paper-Based Diagnostics with High School Students To Model Forensic Investigation and Colorimetric Analysis”, **Journal Chemical Education**. 91(1): 107–111; October, 2014.
- [24] Sharpe, E. and Andreescu, S. “Integration of Nanoparticle-Based Paper Sensors into the Classroom: An Example of Application for Rapid Colorimetric Analysis of Antioxidants”, **Journal Chemical Education**. 92(5): 886–891; February, 2015.
- [25] Wang, B., Lin, Z. and Wang, M. “Fabrication of a Paper-Based Microfluidic Device To Readily Determine Nitrite Ion Concentration by Simple Colorimetric Assay”, **Journal Chemical Education**. 92(4): 733–736; March, 2015.
- [26] Cardoso, T. M. G. and et al. “Versatile Fabrication of Paper-Based Microfluidic Devices with High Chemical Resistance Using Scholar Glue and Magnetic Masks”, **Analytica Chimica Acta**. 974: 63–68; June, 2017.
- [27] Shaw, C. F., Webb, J. W. and Rothenberger, O. “Using Demonstrations Involving Combustion and Acid–Base Chemistry To Show Hydration of Carbon Dioxide, Sulfur Dioxide, and Magnesium Oxide and Their Relevance for Environmental Climate Science”, **Journal Chemical Education**. 93(12): 2063–2067; November, 2016.
- [28] Bopegedera, A. M. R. P. and Perera, K. N. R. “Greening a Familiar General Chemistry Experiment: Coffee Cup Calorimetry to Determine the Enthalpy of Neutralization of an Acid–Base Reaction and the Specific Heat Capacity of Metals”, **Journal Chemical Education**. 94(4): 494–499; October, 2017.
- [29] นุจรี มะโนมัย. การจัดการเรียนรู้ด้วยการลงมือทำเรื่องสารอินทรีย์เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [30] ศักดิ์ศรี สุภาธร และรุ่งนภา สายัญ. “การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เน้นปฏิบัติจริงเพื่อพัฒนาเจตคติต่อวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการเปลี่ยนแปลงสารและการแยกสาร”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคเหนือ. 3: 156-162; เมษายน, 2554.
- [31] อัญชลี ขาติมนตรี. การเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติจริงในเซลล์กลวานิก ด้วยชุดทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนในวิชาเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2557.
- [32] Karita, S and Kaneta, T. “Acid–Base Titrations Using Microfluidic Paper-Based Analytical Devices”, *Analytical Chemical*. 86(24): 12108–12114; November, 2014.
- [33] สุรางค์ ไคว้ตระกูล. จิตวิทยาการศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [34] ไพจิตร สะดวกการ. ผลของการสอนนิเทศศาสตร์ตามแนวคิดของทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และความสามารถในการถ่ายโยงการเรียนรู้ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [35] วรณทิพา รอดแรงคำ. *Constructivism*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
- [36] บุบผชาติ ทัพทิกรณ์. เทคโนโลยีสารสนเทศทางวิทยาศาสตร์ศึกษา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
- [37] เกษศิริินทร์ พลหาญ. การใช้กระตักน้ำสุญญากาศแทนแคลอริมิเตอร์เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- [38] ภพ เลหาไฟบูลย์. *แนวการสอนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช, 2540.
- [39] กุมารินทร์ ชาลีแสน และคณะ. “การสาธิตทดลองสารกำหนดปริมาณโดยใช้สารเคมีในชีวิตประจำวัน”, วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์. 7(1): 147-159; มิถุนายน, 2559.
- [40] จุฑามาต มะลิลา และคณะ. “การสาธิตทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ”, วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้. 7(1): 184-190, เมษายน, 2559

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [41] อโณทัย ดาทอง. การใช้สารเคมีในชีวิตประจำวันสำหรับส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นฐานแนวทางการสอนแบบสืบเสาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2558.
- [42] สมนึก ภัททิยธนี. การวัดผลการศึกษา. ภาพสัณฐาน: ประสานการพิมพ์, 2549.
- [43] บุญชม ศรีสะอาด. การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาสน, 2545.
- [44] พวงรัตน์ ทวีรัตน์. วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, 2540.
- [45] Jana, C. J. and et al. “Development of a Paper-Based Analytical Device for Colorimetric Detection of Select Foodborne Pathogens”, **Analytical Chemistry**. 84(6): 2900–290; February, 2012.
- [46] Jinfang, N. and et al. “Low-Cost Fabrication of Paper-Based Microfluidic Devices by One Step Plotting”, **Analytical Chemistry**. 84(15): 6331–6335; July, 2012.
- [47] วันเพ็ญ คำเทศ. “มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์: ประเภทและเครื่องมือประเมิน”, **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช**. 10(2): 54-64; ธันวาคม, 2560.
- [48] Helmenstine, T. (2017). “Percent Error”, **Calculate Percent Error**. <https://sciencenotes.org/calculate-percent-error/>. 10 March, 2018.
- [49] Raymond, J. (2015). “Percent Difference”, **Percent Difference Equations Formulas Calculator**. https://www.ajdesigner.com/phppercentdifference/percent_difference_equation.php. 10 March, 2018.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ รายวิชาปริมาณสัมพันธ์ รหัส ว 30222
 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หน่วยการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณ
 เรื่อง สารกำหนดปริมาณ เวลา 4 ชั่วโมง
 วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนสถานะของสาร การเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยาเคมี มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2. ตัวชี้วัด/ผลการเรียนรู้

อธิบายความหมายของสารกำหนดปริมาณ ทดลองและคำนวณเพื่อระบุให้ได้ว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณและนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิต

3.สาระสำคัญ

เมื่อใช้สารทำปฏิกิริยาในปริมาณที่ไม่พอดีกัน จะมีสารหนึ่งเข้าทำปฏิกิริยาหมดไป สารนี้จึงเป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและเรียกว่าสารกำหนดปริมาณ

4.จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายของสารกำหนดปริมาณได้ (K)
2. คำนวณหาสารกำหนดปริมาณ และสารต่างๆ ในสมการเคมีได้ (P)
3. ทำการทดลองเพื่อศึกษาสารกำหนดปริมาณ (P)
4. ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)
 - 4.1 ซื่อสัตย์สุจริต
 - 4.2 มีวินัย
 - 4.3 ใฝ่เรียนรู้
 - 4.4 มุ่งมั่นในการทำงาน
 - 4.5 มีจิตสาธารณะ

5.สาระการเรียนรู้

สารกำหนดปริมาณ

6.ชิ้นงานหรือภาระงาน

1. กิจกรรมการทดลอง
2. ทดสอบเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดตอบแบบ 3 ชั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT)

7. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นสร้างความสนใจ

1. แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มๆ 5 คน แต่ละกลุ่มประกอบด้วยนักเรียนเก่ง ปานกลาง และอ่อนคละกัน โดยพิจารณาจากผลการเรียนในรายวิชาเคมีที่ผ่านมา
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาสถานการณ์จำลองที่แจกให้ แล้วระดมความคิดเพื่อหาคำตอบของสถานการณ์นั้นๆ และส่งตัวแทนนำเสนอผลงาน ตัวอย่างสถานการณ์จำลองเช่น

อาหารเข้าที่โรงแรมแห่งหนึ่งใน 1 จาน ประกอบด้วย จาน 1 ใบ ช้อนและส้อม 1 คู่ ขนมหั้ว 2 ชิ้น ไส้กรอก 3 ชิ้น ไข่ดาว 2 ฟอง สมมติว่าต้องเตรียมอาหารเข้าสำหรับ 5 คน จะต้องเตรียมส่วนประกอบต่างๆ จำนวนเท่าใด

3. หลังจากแต่ละกลุ่มนำเสนอความคิดเห็นจากสถานการณ์ต่างๆ ที่ได้รับมอบหมาย จากนั้นร่วมกันอภิปรายจากสถานการณ์ต่างๆ เชื่อมโยงกับความรู้เดิมเรื่องความสัมพันธ์ของสารในสมการเคมี

4. ครูใช้คำถามนำว่า “ถ้าสมมติเรามีส่วนประกอบต่างๆ จำนวนไม่พอดีกับการจัดอาหารเข้า โดยอาจมีบางอย่างหมดและบางอย่างเหลือ นักเรียนจะรู้ได้อย่างไรว่าจะสามารถจัดอาหารเข้าได้กี่จานแล้วมีวิธีคิดอย่างไร” ให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระโดยครูยังไม่สรุปคำตอบ

5. เพื่อหาคำตอบดังกล่าวให้นักเรียนทำกิจกรรมการทดลอง เพื่อศึกษาแนวคิดสำคัญของสารกำหนดปริมาณ โดยแจกใบกิจกรรมการทดลองให้แต่ละกลุ่มศึกษาและวางแผนการทดลอง

ขั้นสำรวจและค้นหา

6. แต่ละกลุ่มศึกษาใบกิจกรรมการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส แล้ววางแผนการทดลองลงในแบบบันทึกกิจกรรมการทดลองรูปแบบแผนผังวงกลม โดยตั้งสมมติฐาน กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เขียนแผนภาพเพื่อออกแบบการทดลอง และออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง เป็นต้น

7. นักเรียนแต่ละกลุ่มทำกิจกรรมการทดลอง แล้วบันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล อภิปรายและสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งตอบคำถามท้ายกิจกรรมการทดลองลงในแบบบันทึกกิจกรรมการทดลองรูปแบบแผนผังวงกลม

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

8. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มระดมสมองวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง อภิปรายและสรุปผลการทดลองพร้อมตอบคำถามท้ายกิจกรรมการทดลอง โดยบันทึกลงในแบบบันทึกการทดลองรูปแบบแผนผังวงกลม

9. ส่งตัวแทนนำเสนอผลงานจากการทดลอง จากนั้นนักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายทั้งชั้นเรียนเพื่อหาสรุปอีกครั้ง

ชั้นขยายความรู้ (Elaboration)

10. จากสถานการณ์จำลองที่แต่ละกลุ่มได้รับ และจากข้อสรุปจากการทดลอง ให้แต่ละกลุ่มสืบค้นข้อมูลพร้อมยกตัวอย่างการนำความรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันหรือเชิงอุตสาหกรรม

ชั้นประเมินผล (Evaluation)

11. นักเรียนทุกคนทำกิจกรรมการทดลอง และส่งบันทึกกิจกรรมการทดลองตามรูปแบบแผนผังวงกลม

12. นักเรียนทุกคนทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ ตอบแบบ 3 ชั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT)

13. ประเมินพฤติกรรมในชั้นเรียนและการร่วมกิจกรรม

8. สื่อ/แหล่งการเรียนรู้

1. ชุดการทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเรื่องสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

2. ใบกิจกรรมการทดลอง เรื่องสารกำหนดปริมาณ

3. หนังสือเรียนรายวิชาเคมีเพิ่มเติม เคมี เล่ม 4 กระทรวงศึกษาธิการ

4. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชาปริมาณสัมพันธ์ (ว30222)

9. การวัดและประเมินผลการเรียนรู้

1. วิธีวัดและเครื่องมือ

ประเด็นการประเมิน	วิธีวัด	เครื่องมือ	เกณฑ์การประเมิน
1. ด้านความรู้ อธิบายความหมายของ สารกำหนดปริมาณได้	ทดสอบด้วย แบบทดสอบตอบ แบบ 3 ชั้น	แบบทดสอบสำรวจความ เข้าใจเรื่องสารกำหนด ปริมาณ ข้อสอบตอบแบบ 3 ชั้น	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50
2. ด้านทักษะ กระบวนการ 2.1 สามารถ คำนวณหาสารกำหนด ปริมาณ และสารต่าง ๆ ในสมการเคมีได้ 2.2 ทำการทดลองเพื่อ ศึกษาสารกำหนด ปริมาณ (P)	-สังเกตการทำ กิจกรรมการ ทดลอง -ทำแบบบันทึกผล การทดลองตาม รูปแบบแผนผัง วงกลม	-แบบประเมินกิจกรรมการ ทดลอง -แบบบันทึกผลการทดลอง ตามรูปแบบแผนผังวงกลม	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50
3. ด้านคุณลักษณะอัน พึงประสงค์ 3.1 ซื่อสัตย์สุจริต 3.2 มีวินัย 3.3 ใฝ่เรียนรู้ 3.4 มุ่งมั่นในการทำงาน 3.5 มีจิตสาธารณะ	ประเมินพฤติกรรม ในการเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรม	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

10. บันทึกผลหลังการสอน

ผลการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้บันทึก

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก ข

กิจกรรมการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน
เรื่องสารกำหนดปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

กิจกรรมการทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ

คำชี้แจง : ให้นักเรียนปฏิบัติตามกิจกรรมการทดลองดังต่อไปนี้อย่างเคร่งครัด และสมาชิกในกลุ่ม
ร่วมกันอภิปรายและสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งตอบคำถามหลังการทดลอง

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสารกำหนดปริมาณและการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชุดทดลองกระดาษ
2. ไมโครปิเปต
3. ปีกเกอร์ 50 cm³
4. หลอดหยด
5. สารละลาย NaHCO₃ ความเข้มข้น 0.03 mol/dm³
6. สารละลาย NaCO₃ ความเข้มข้น 0.03 mol/dm³
7. สารละลายกรดแอสติค ความเข้มข้น 0.01 mol/dm³, 0.02 mol/dm³, 0.03 mol/dm³, 0.04 mol/dm³, 0.05 mol/dm³, 0.06 mol/dm³, 0.07 mol/dm³, 0.08 mol/dm³, 0.09 mol/dm³ และ 0.10 mol/dm³
8. 0.1% ฟีนอล์ฟทาลีน

วิธีการทดลอง

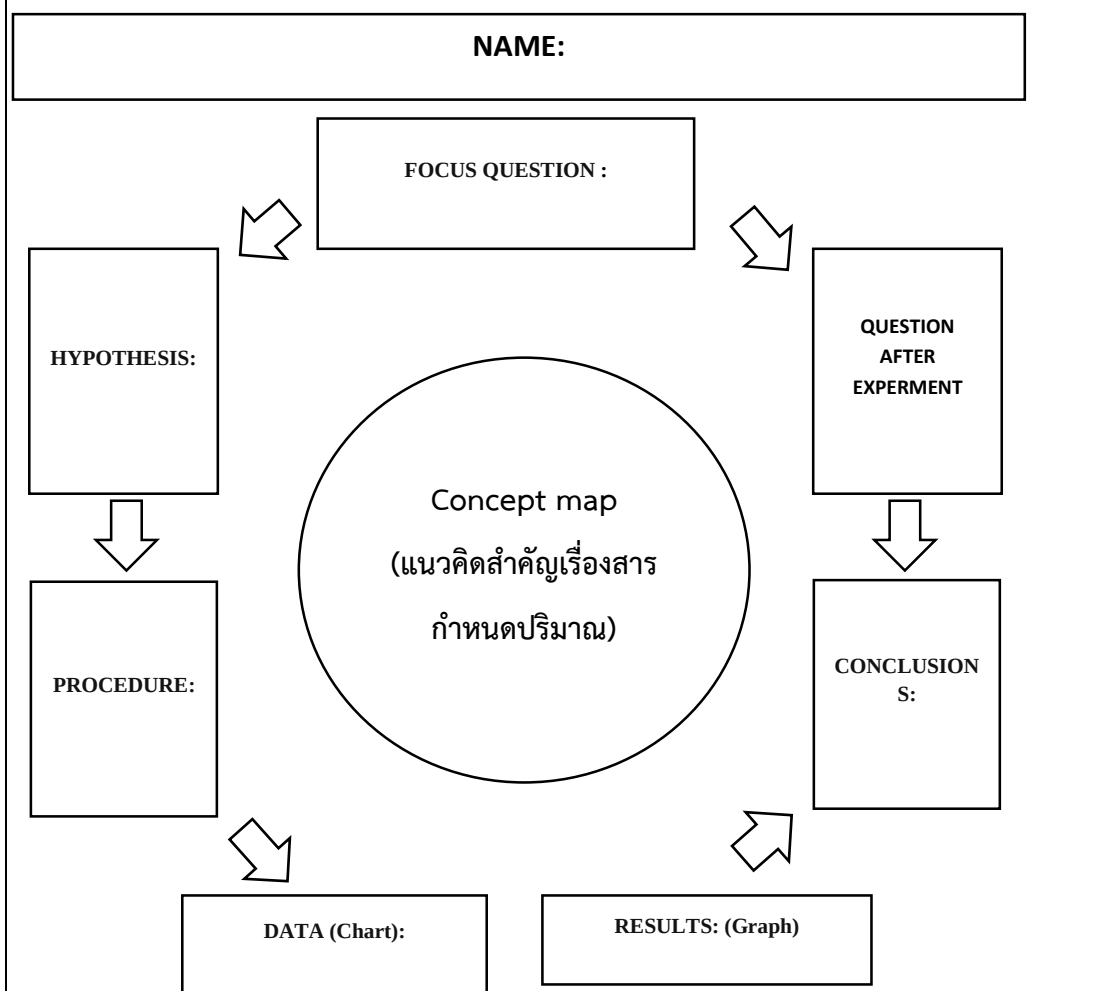
1. นำชุดทดลองกระดาษวางบนบล็อกซึ่งทำมาจากฟิวเจอร์บอร์ดแล้วติดเทปให้แน่น
2. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายกรดแอสติคความเข้มข้น 0.01 mol/dm³ จำนวน 10 µl ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาจำนวน 3 ช่อง จากบนลงล่าง
3. ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2. แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของกรดแอสติคเป็น 0.02 mol/dm³, 0.03 mol/dm³, 0.04 mol/dm³, 0.05 mol/dm³, 0.06 mol/dm³, 0.07 mol/dm³, 0.08 mol/dm³, 0.09 mol/dm³ และ 10 mol/dm³ ตามลำดับจากซ้ายไปขวา
4. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลาย 0.1% ฟีนอล์ฟทาลีน จำนวน 10 µl ใส่ลงในช่องรองรับปฏิกิริยาที่มีกรดแอสติคทุกช่อง
5. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ จำนวน 10 µl ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาแถวที่ 1 จำนวน 10 ช่อง (เรียงลำดับความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติคจาก 0.01–0.10 mol/dm³) แล้วตั้งทิ้งไว้ 15–20 นาที สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย

6. ทำการทดลองซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1–3.2.5 แต่เปลี่ยนเป็นสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาแถวที่ 2 จำนวน 10 ช่อง และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ใส่ในช่องรองรับปฏิกิริยาแถวที่ 3 จำนวน 10 ช่อง
7. บันทึกข้อมูล อภิปรายและสรุปผลการทดลองลงในแบบบันทึกการทดลองตามรูปแบบแผนผังวงกลม พร้อมตามคำถามท้ายกิจกรรมการทดลอง

คำถามท้ายกิจกรรมการทดลอง

1. จากการทดลองสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณทราบได้อย่างไร
2. ความรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณสามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง

แบบบันทึกข้อมูลกิจกรรมการทดลองตามรูปแบบแผนผังวงกลม



ภาคผนวก ค

แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณชนิดเลือกตอบ 3 ลำดับชั้น
(Three-tier diagnostic test: TTDT)



แบบทดสอบสำรวจความเข้าใจเรื่องสารกำหนดปริมาณ วิชาปริมาณสัมพันธ์ (ว3022)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนทำเครื่องหมายกากบาท (X) ทับตัวเลือก ก, ข, ค และ ง ที่เห็นว่าถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวลงในกระดาษคำตอบ
2. ให้นักเรียนทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในช่อง ☐ หน้าระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกเพียงข้อเดียวลงในกระดาษคำตอบ
3. ให้นักเรียนตอบเหตุผลของการเลือกตอบแต่ละข้ออย่างละเอียด

กำหนดมวลอะตอม (g/mol) ของธาตุดังนี้

H = 1.008 , C = 12.011 , N = 14.007 , O = 15.999 , Na = 22.990 , Cl = 35.45 ,
Ba = 137.327 , S = 32.06 , K = 39.098 , Ca = 40.078 , Ti = 47.867 , Mg = 24.305

1. คำชี้แจง ใช้ข้อมูลที่กำหนดให้ตอบคำถาม
 - A. การเกิดปฏิกิริยาเคมีสารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยากันพอดีเสมอ
 - B. สารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดเป็นสารกำหนดปริมาณ
 - C. สารตั้งต้นที่มีจำนวนโมลน้อยที่สุดในสมการเคมีจะเป็นสารกำหนดปริมาณ
 - D. สารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาสารใดทำปฏิกิริยาหมดก่อนเป็นสารกำหนดปริมาณ
 - E. ปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันหมดพอดี จะไม่มีสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ
 - F. ปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันหมดพอดี จะให้สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณก็ได้

ได้ข้อใดถูกต้อง

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจ ประกอบตัวเลือก
ก. A และ E	☐ 1. คัดเดา
ข. B และ F	☐ 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. C และ E	☐ 3. ไม่มั่นใจ
ง. D และ F	☐ 4. มั่นใจ
	☐ 5. มั่นใจอย่างมาก

แสดงเหตุผลของคำตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ถ้าใช้น้ำส้มสายชูใส่ในหลอดทดลองที่มีผงฟูละลายอยู่ โดยหยดฟีนอล์ฟทาลี 2 หยด จากนั้นเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าได้สารละลายเป็นชมพูเข้ม ข้อใดสรุปได้ถูกต้องที่สุด

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจประกอบตัวเลือก
ก. ผงฟูเหลือในสารละลาย	☐ 1. คัดเดา
ข. น้ำส้มสายชูเหลือในสารละลาย	☐ 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. น้ำส้มสายชูทำปฏิกิริยาหมดพอดีกับผงฟู	☐ 3. ไม่มั่นใจ
ง. เหลือทั้งน้ำส้มสายชูและผงฟูในสารละลาย	☐ 4. มั่นใจ
	☐ 5. มั่นใจอย่างมาก

แสดงเหตุผลของคำตอบ

.....

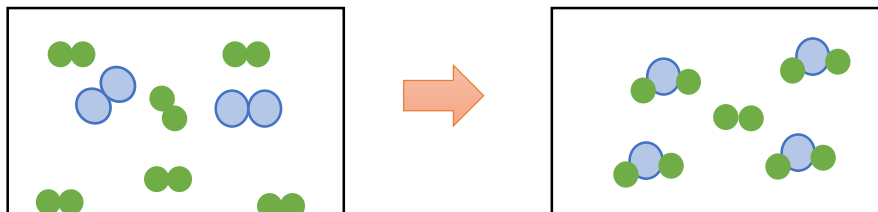
.....

.....

.....

.....

3. จากรูปภาพด้านล่าง โดยที่ด้านซ้ายของสมการเป็นสารตั้งต้นและด้านขวาของสมการเป็นผลิตภัณฑ์



จากรูปข้อใดถูกต้อง

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจประกอบตัวเลือก
ก. สารกำหนดปริมาณ คือ ●●	☐ 1.คาดเดา
ข. สารกำหนดปริมาณ คือ ●●●●	☐ 2.ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. สารกำหนดปริมาณ คือ ●●●	☐ 3.ไม่มั่นใจ
ง. สารกำหนดปริมาณ คือ ●●●●	☐ 4.มั่นใจ
	☐ 5.มั่นใจอย่างมาก

แสดงเหตุผลของคำตอบ

.....

.....

.....

.....

4. การเผาไหม้แก๊สหุงต้มซึ่งมีแก๊สโพรเพนเป็นส่วนประกอบ ดังสมการ $C_3H_8(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$ สมการยังไม่ได้ดุล ถ้าใช้แก๊สโพรเพน (C_3H_8) 66 กรัม ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) 160 กรัม จะเหลือแก๊สชนิดใดและเหลือปริมาณเท่าใด

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจประกอบตัวเลือก
ก. เหลือแก๊ส C_3H_8 ปริมาณ 22 กรัม	☐ 1.คาดเดา
ข. เหลือแก๊ส O_2 ปริมาณ 80 กรัม	☐ 2.ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. เหลือแก๊ส O_2 ปริมาณ 94 กรัม	☐ 3.ไม่มั่นใจ
ง. ทำปฏิกิริยาหมดพอดี	☐ 4.มั่นใจ
	☐ 5.มั่นใจอย่างมาก

แสดงวิธีการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

5. เมื่อนำผงฟูทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเกิดปฏิกิริยาดังสมการ $NaHCO_3(s) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ ถ้าใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 3.65 กรัม ทำปฏิกิริยากับผงฟู ($NaHCO_3$) 10.08 กรัม จากการทดลองเกิดโซเดียมคลอไรด์กี่กรัม และสารใดคือสารกำหนดปริมาณ

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจประกอบตัวเลือก
ก. 5.85 กรัม สารกำหนดปริมาณคือ HCl	☐ 1.คาดเดา
ข. 58.5 กรัม สารกำหนดปริมาณคือ $NaHCO_3$	☐ 2.ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. 7.02 กรัม สารกำหนดปริมาณคือ HCl	☐ 3.ไม่มั่นใจ
ง. 70.2 กรัม สารกำหนดปริมาณคือ $NaHCO_3$	☐ 4.มั่นใจ
	☐ 5.มั่นใจอย่างมาก

แสดงวิธีการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

6. การตกตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) ดังสมการ $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{Ba}(\text{OH})_2(\text{aq}) \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ถ้าใช้กรดซัลฟิวริก(H_2SO_4) 0.12 โมล ต้องใช้แบเรียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) มากที่สุดกี่กรัม ถึงจะทำให้ได้ตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) มากที่สุด

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจ ประกอบตัวเลือก
ก. 4.32 กรัม	☐ 1.คาดเดา
ข. 11.76 กรัม	☐ 2.ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. 18.48 กรัม	☐ 3.ไม่มั่นใจ
ง. 26.76 กรัม	☐ 4.มั่นใจ
	☐ 5.มั่นใจอย่างมาก

แสดงวิธีการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. ถ้านำกรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส จากตัวเลือกที่กำหนดให้ข้อใดถูกต้องที่สุด

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจประกอบตัวเลือก
ก. สารละลายเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นน้ำเงิน แสดงว่ากรดไฮโดรคลอริกเป็นสารกำหนดปริมาณ	☐ 1. คาดเดา ☐ 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ 3. ไม่มั่นใจ ☐ 4. มั่นใจ ☐ 5. มั่นใจอย่างมาก
ข. สารละลายเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินเป็นแดง แสดงว่ากรดไฮโดรคลอริกเป็นสารกำหนดปริมาณ	
ค. สารละลายเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นน้ำเงิน แสดงว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกำหนดปริมาณ	
ง. ข้อมูลไม่สมบูรณ์	

แสดงเหตุผลของคำตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

8. การเผาไหม้กลูโคสจากกระบวนการหายใจในร่างกายเกิดดังสมการ $C_6H_{12}O_6(aq) + 9O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l)$ ถ้ามีน้ำตาลกลูโคส 3.60 กรัม แล้วหายใจเอาออกซิเจนเข้าไป 3.20 กรัม สารใดมีมากเกินไปในปฏิกิริยานี้

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจประกอบตัวเลือก
ก. ทั้ง $C_6H_{12}O_6$ และ O_2 มีปริมาณมากเกินไป	☐ 1. คาดเดา ☐ 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ 3. ไม่มั่นใจ ☐ 4. มั่นใจ ☐ 5. มั่นใจอย่างมาก
ข. $C_6H_{12}O_6$ มีปริมาณมากเกินไป	
ค. O_2 มีปริมาณมากเกินไป	
ง. ทำปฏิกิริยาหมดพอดี	

แสดงวิธีการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

9. จากปฏิกิริยา $\text{NaHCO}_3(\text{s}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$ ถ้า โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) 8.40 กรัม ทำปฏิกิริยากับกรดแอซีติก (CH_3COOH) 20.0 กรัม ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดขึ้นตั้งสมการ หลังปฏิกิริยาสิ้นสุดพบมีหนึ่งสารเหลืออยู่ ทั้งสิ้น 14.0 กรัม สารใดทำปฏิกิริยาหมดก่อนและเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นกี่กรัม

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจ ประกอบตัวเลือก
ก. NaHCO_3 เกิดแก๊ส CO_2 4.4 กรัม	☐ 1.คาดเดา
ข. NaHCO_3 เกิดแก๊ส CO_2 14.67 กรัม	☐ 2.ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. CH_3COOH เกิดแก๊ส CO_2 4.4 กรัม	☐ 3.ไม่มั่นใจ
ง. CH_3COOH เกิดแก๊ส CO_2 14.67 กรัม	☐ 4.มั่นใจ
	☐ 5.มั่นใจอย่างมาก

แสดงวิธีการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10. ข้อใดไม่ใช่การนำความรู้เรื่องสารกำหนดปริมาณไปใช้ประโยชน์

ตัวเลือก	ระดับความมั่นใจ ประกอบตัวเลือก
ก. เพื่อหาปริมาณของผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นหลายตัว	☐ 1. คาดเดา
ข. ทราบปริมาณสารตั้งต้นที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ผลิตตามที่ต้องการ	☐ 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. ทราบปริมาณตัวเร่งที่ต้องการใช้ในปฏิกิริยาเคมี	☐ 3. ไม่มั่นใจ
ง. ประหยัดสารเคมีในการศึกษาปฏิกิริยาเคมี	☐ 4. มั่นใจ
	☐ 5. มั่นใจอย่างมาก

แสดงเหตุผลของคำตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง
แบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน
ด้วยการจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน
เรื่องปริมาณสัมพันธ์โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดเขียนเครื่องหมาย / ลงในช่อง () หน้าข้อความที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงของท่าน

1. เพศ () ชาย () หญิง

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามชุดนี้ใช้เพื่อสำรวจความคิดเห็นและความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องปริมาณสัมพันธ์โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ในรายวิชาปริมาณสัมพันธ์ รหัสวิชา ว30222

2. กรุณาตอบแบบสอบถามให้ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนมากที่สุด เกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นในกิจกรรมนี้ โดยใช้นักเรียนทำเครื่องหมาย / ลงในช่องระดับความคิดเห็นของนักเรียนเพียงช่องเดียวต่อคำถามเท่านั้น

3. ในการตอบแบบสอบถามครั้งนี้ จะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อนักเรียน

4. โปรดพิจารณาคำตอบที่นักเรียนให้ข้อมูล ให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

โดยเลือก

- 1 ถ้านักเรียนมีความพึงพอใจน้อยที่สุด
- 2 ถ้านักเรียนมีความพึงพอใจน้อย
- 3 ถ้านักเรียนมีความพึงพอใจปานกลาง
- 4 ถ้านักเรียนมีความพึงพอใจมาก
- 5 ถ้านักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด

รายการ	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
ส่วนที่ 1 ด้านการสอน					
1. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน					
2. ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงความคิดเห็นในระหว่างเรียน					
3. ครูผู้สอนอธิบายเนื้อหาได้ชัดเจน					
4. ครูผู้สอนตอบคำถามแก่นักเรียนได้เมื่อเกิดข้อสงสัย					
ส่วนที่ 2 กิจกรรมการทดลอง					
5. การทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสมีความน่าสนใจ					
6. การทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสสามารถทำได้ง่าย					
7. การทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบสทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องปริมาณสัมพันธ์ดียิ่งขึ้น					
8. อุปกรณ์การเรียนมีจำนวนเพียงพอกับจำนวนนักเรียน					
9. ในการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยช่วยกระตุ้นการคิดอย่างมีเหตุผลเพื่อแก้ปัญหาในห้องปฏิบัติการ					
10. ในการทดลองการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส นักเรียนมีพัฒนาการเกี่ยวกับการลงมือปฏิบัติจริง (Hands-on) ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น					
11. ในการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส ทำให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์					
12. ในระหว่างที่ทำการทดลองผู้เรียนได้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างเพื่อนในกลุ่ม					
13. นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองอย่างมีความสุข					
ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ					

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียน

ตารางที่ จ.1 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน คะแนนเต็ม 10 คะแนน

นักเรียนคนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
1	4	7
2	2	3
3	5	7
4	4	7
5	2	4
6	5	7
7	4	8
8	2	5
9	5	8
10	4	8
11	3	5
12	1	3
13	2	5
14	3	7
15	4	8
16	5	7
17	5	7
18	2	3
19	3	8
20	3	6
21	4	6
22	3	5
23	3	8
24	4	6
25	3	5
26	4	6
27	2	4
28	3	4

ตารางที่ จ.1 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน คะแนนเต็ม 10 คะแนน (ต่อ)

นักเรียนคนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
29	2	4
30	3	8
31	2	6
32	4	6
33	2	7
34	2	5
35	3	5
36	2	3
37	2	5
38	5	6
39	4	8
40	3	6
41	5	6
42	2	6
43	2	5
44	5	6
45	3	4
46	4	6
47	3	6
48	2	5
49	3	6
50	3	5
51	5	6
เฉลี่ย	3.24	5.82
คะแนนต่ำสุด	1	3
คะแนนสูงสุด	5	8
SD	1.124	1.452

ตารางที่ จ.2 คะแนนของนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก และตอบทั้งตัวเลือกและเหตุผลถูก ในแต่ละข้อก่อนเรียนและหลังเรียน (n=51)

ข้อที่	จำนวนนักเรียน(คน)					
	ก่อนเรียน			หลังเรียน		
	ตอบ ตัวเลือกถูก	ตอบ เหตุผลถูก	ตอบตัวเลือก และเหตุผลถูก	ตอบ ตัวเลือกถูก	ตอบ เหตุผลถูก	ตอบตัวเลือก และเหตุผล ถูกทั้งคู่
1	29	8	8	49	40	40
2	5	1	1	40	26	26
3	21	5	5	30	18	18
4	15	7	7	36	24	24
5	18	4	4	28	15	14
6	16	1	1	22	9	9
7	13	4	4	12	9	8
8	24	5	5	35	21	21
9	19	6	6	29	16	16
10	5	0	0	16	10	9
เฉลี่ย	16.5	4.1	4.1	29.7	18.8	18.5

ตารางที่ จ.3 จำนวนนักเรียนที่แสดงความเข้าใจในเรื่องสารกำหนดปริมาณจากการตอบคำถามก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อที่	CCC		CIC		ICC		IIC		CCU		CIU		ICU		IIU	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	2	22	3	1	0	0	0	0	6	18	18	8	0	0	22	2
2	0	15	1	4	0	0	10	4	1	11	3	10	0	0	36	7
3	2	14	6	8	0	0	9	10	3	4	10	4	0	0	21	11
4	2	17	0	0	0	0	1	1	5	7	8	12	0	0	35	14
5	1	9	1	1	0	0	0	7	3	5	13	13	0	1	33	15
6	0	4	1	1	0	0	8	10	1	5	14	12	0	0	27	19
7	1	4	0	0	0	0	10	16	3	4	9	4	0	1	28	22
8	1	14	4	2	0	0	1	2	4	7	15	12	0	0	26	14
9	2	12	1	0	0	0	1	5	4	4	12	13	0	0	31	17
10	0	7	1	2	0	0	15	16	0	2	4	5	0	1	31	18
รวม	11	118	18	19	0	0	55	71	30	67	106	93	0	3	290	139
ร้อยละ	2.16	23.14	3.53	3.73	0.00	0.00	10.78	13.92	5.88	13.14	20.78	18.24	0.00	0.59	56.86	27.25

*ข้อสอบจำนวน 10 ข้อ กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 51 คน

ตารางที่ จ.3 จำนวนนักเรียนที่แสดงความเข้าใจในเรื่องสารกำหนดปริมาณจากการตอบคำถามก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อที่	CCC		CIC		ICC		IIC		CCU		CIU		ICU		IIU	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	2	22	3	1	0	0	0	0	6	18	18	8	0	0	22	2
2	0	15	1	4	0	0	10	4	1	11	3	10	0	0	36	7
3	2	14	6	8	0	0	9	10	3	4	10	4	0	0	21	11
4	2	17	0	0	0	0	1	1	5	7	8	12	0	0	35	14
5	1	9	1	1	0	0	0	7	3	5	13	13	0	1	33	15
6	0	4	1	1	0	0	8	10	1	5	14	12	0	0	27	19
7	1	4	0	0	0	0	10	16	3	4	9	4	0	1	28	22
8	1	14	4	2	0	0	1	2	4	7	15	12	0	0	26	14
9	2	12	1	0	0	0	1	5	4	4	12	13	0	0	31	17
10	0	7	1	2	0	0	15	16	0	2	4	5	0	1	31	18
รวม	11	118	18	19	0	0	55	71	30	67	106	93	0	3	290	139
ร้อยละ	2.16	23.14	3.53	3.73	0.00	0.00	10.78	13.92	5.88	13.14	20.78	18.24	0.00	0.59	56.86	27.25

หมายเหตุ: *ข้อสอบจำนวน 10 ข้อ กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 51 คน

ตารางที่ จ.4 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนแต่ละคนต่อการจัดกิจกรรม

คนที่	ระดับความพึงพอใจ												
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	ข้อ 5	ข้อ 6	ข้อ 7	ข้อ 8	ข้อ 9	ข้อ 10	ข้อ 11	ข้อ 12	ข้อ 13
1	4	5	4	5	5	5	4	3	5	4	5	5	4
2	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5
3	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5
4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	5
5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	5	5
6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	4	5
8	5	4	4	5	5	3	4	5	3	4	5	4	5
9	5	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5
10	5	3	4	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4
11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
12	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
13	3	4	5	4	5	3	4	3	4	4	4	3	5
14	4	5	4	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4
15	5	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5
16	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
17	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5
18	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3
19	3	3	3	4	3	4	3	3	3	5	3	3	4
20	4	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4
21	4	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4
22	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3
23	3	4	3	5	3	4	5	3	5	4	4	5	3
24	4	3	4	5	4	5	4	3	5	4	3	4	5
25	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3
26	4	5	4	5	5	5	4	3	5	4	5	5	4

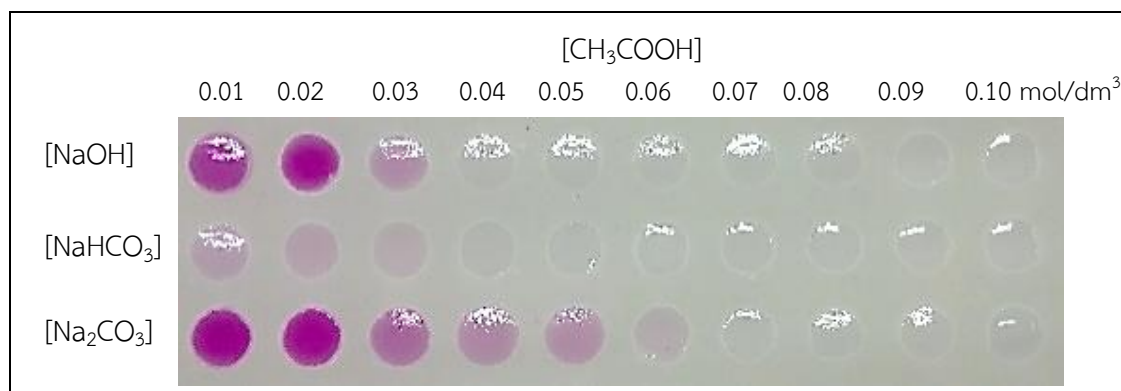
ตารางที่ จ.4 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนแต่ละคนต่อการจัดกิจกรรม (ต่อ)

คนที่	ระดับความพึงพอใจ												
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	ข้อ 5	ข้อ 6	ข้อ 7	ข้อ 8	ข้อ 9	ข้อ 10	ข้อ 11	ข้อ 12	ข้อ 13
27	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5
28	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5
29	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	5
30	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	5	5
31	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
32	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	4	5
33	5	4	4	5	5	3	4	5	3	4	5	4	5
34	5	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5
35	5	4	4	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4
36	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
37	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
38	3	4	5	4	5	3	4	3	4	4	4	3	5
39	4	5	4	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4
40	5	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5
41	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
42	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5
43	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3
44	3	3	3	4	3	4	3	3	3	5	3	3	4
45	4	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4
46	3	3	3	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4
47	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3
48	3	3	3	5	3	4	3	3	5	4	4	5	3
49	4	3	4	5	4	5	4	3	5	4	3	4	5
50	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3
51	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5
เฉลี่ย	4.08	4.00	3.98	4.12	4.31	3.98	3.98	3.88	4.29	4.08	4.06	4.04	4.29

ภาคผนวก ฉ
การคำนวณค่า pH จากปฏิกิริยากรด-เบส

จ.1 การทดลองศึกษาปริมาณสัมพันธ์ด้วยชุดทดลองกระดาษโดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส

จากปฏิกิริยากรด-เบส โดยใช้ 0.01% ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ได้ผลการทดลองดังภาพที่
ฉ.1



ภาพที่ ฉ.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับสารละลายเบส

จากภาพที่ ฉ.1 เมื่อพิจารณาแถวที่ 1 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังสมการที่ ฉ.1



จากการทดลองพบว่าช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.01 mol/dm³ และ 0.02 mol/dm³ หลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ สำหรับช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และถือเป็นจุดสมมูล ส่วนช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm³ หลังทำปฏิกิริยาสารละลายใสไม่มีสี เนื่องจากสารละลายมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ผลการทดลองและค่า pH ที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ ฉ.1

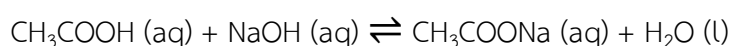
ตารางที่ ๑.1 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอซิดิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินพอ
0.01 mol/dm^3 CH_3COOH	12.00	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.02 mol/dm^3 CH_3COOH	11.70	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.03 mol/dm^3 CH_3COOH	8.46	ชมพู	จุดสมมูล	จุดสมมูล
0.04 mol/dm^3 CH_3COOH	5.22	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.05 mol/dm^3 CH_3COOH	4.92	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.06 mol/dm^3 CH_3COOH	4.74	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.07 mol/dm^3 CH_3COOH	4.62	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.08 mol/dm^3 CH_3COOH	4.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.09 mol/dm^3 CH_3COOH	4.44	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.10 mol/dm^3 CH_3COOH	4.38	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH

หมายเหตุ: * มาจากการคำนวณ

จากตารางที่ ฉ.1 สามารถแยกผลการทดลองได้ 3 กรณี ดังนี้

(1) กรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ที่ความเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 และ 0.02 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู (ภาพที่ ฉ.1 แถวที่ 1) ทั้งนี้เพราะสารละลายมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยยกตัวอย่างกรณีที่ใช้กรดแอซิดิก ความเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.03 mol/dm^3 แสดงปริมาณสัมพันธ์ของสารจากสมการเคมีดังต่อไปนี้



0.01	0.03		mol/dm^3 (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
1.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}		mol (โมลเริ่มต้น)
1.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	mol (โมลที่ทำปฏิกิริยา)
0.00	2.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	mol(โมลที่เหลือในสารละลาย)

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อ สารละลายกรดแอซิดิกเข้มข้น 0.01 mol/dm^3

ปริมาตรของกรดแอซิดิก $10 \text{ }\mu\text{L}$

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.03 mol/dm^3

ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ $10 \text{ }\mu\text{L}$

ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด $20 \text{ }\mu\text{L}$

หาจำนวนโมลของกรดแอซิดิกจากความเข้มข้น

จำนวนโมล (mol) = ความเข้มข้น (mol/dm^3) x ปริมาตร (dm^3)

$$= 0.01 \text{ mol/dm}^3 \times 10 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$= 1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$$

ดังนั้น กรดแอซิดิกมีจำนวนโมลเริ่มต้นเท่ากับ $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$

สามารถคำนวณหาจำนวนโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.03 mol/dm^3 ได้เช่นเดียวกัน โดยคำนวณได้เท่ากับ $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$

จากสมการเคมีกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนต่อโมล 1 : 1 เพราะฉะนั้นกรดแอซิดิก $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ จะทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ เกิดโซเดียมแอซิเตท $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ แต่จำนวนโมลเริ่มต้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ

3.00×10^{-7} mol แสดงว่าจะเหลือโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ในสารละลาย 2.00×10^{-7} mol หลังทำปฏิกิริยาจะมีโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมแอสิตเทเหลืออยู่ในสารละลาย ดังนั้น ค่า pH ของสารละลายจึงขึ้นอยู่กับการแตกตัวของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือเพียงอย่างเดียวเพราะเป็นเบสแก่สามารถแตกตัวได้ดี แสดงการคำนวณดังนี้

จำนวนโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือเท่ากับ 2.00×10^{-7} mol

ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายเท่ากับ 20×10^{-6} dm³

สามารถเปลี่ยนให้เป็นความเข้มข้นจากสมการ

ความเข้มข้น (mol/L) = จำนวนโมล (mol) ÷ ปริมาตรสารละลาย (dm³)

ความเข้มข้น (mol/dm³) = $(2.00 \times 10^{-7} \text{ mol}) \div (20 \times 10^{-6} \text{ dm}^3)$

ความเข้มข้น (mol/dm³) = 0.01 mol/dm³

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 mol/dm³ ซึ่งแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ได้ 100% สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายได้ดังนี้

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log (0.01)$$

$$\text{pOH} = 2$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

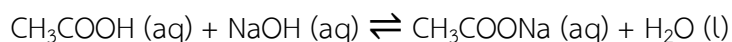
$$\text{pH} = 14 - 2$$

$$\text{pH} = 12$$

จากการคำนวณ ค่า pH ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 12 สูงกว่าค่า pH 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู สอดคล้องกับผลการทดลองดังภาพที่ ฉ.1 แถวที่ 1

ในส่วนของปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสิติกความเข้มข้น 0.02 mol/dm³ ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน และคำนวณค่า pH ของสารละลายได้ 11.70 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู สอดคล้องกับผลการทดลอง

(2) ที่จุดสมมูลกรดแอสิติกความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ ผลการทดลองพบว่า หลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู (ภาพที่ ฉ.1 แถวที่ 1) ทั้งนี้เพราะสารละลายมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนมีสีชมพู แสดงปริมาณสัมพันธ์จากสมการเคมีดังต่อไปนี้



0.03	0.03	0	mol/dm ³ (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
3.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	0	mol (โมลเริ่มต้น)
3.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	mol (โมลที่ทำปฏิกิริยา)
0.00	0.00	3.00×10^{-7}	mol (โมลที่เหลือในสารละลาย)

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อ กรดแอซิกติกเข้มข้น 0.03 mol/dm^3

ปริมาตรของกรดแอซิกติก $10 \text{ }\mu\text{L}$

โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.03 mol/dm^3

ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ $10 \text{ }\mu\text{L}$

ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด $20 \text{ }\mu\text{L}$

หาจำนวนโมลของกรดแอซิกติกจากความเข้มข้น

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมล (mol)} &= \text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3\text{)} \times \text{ปริมาตร (dm}^3\text{)} \\ &= 0.03 \text{ mol/dm}^3 \times 10 \times 10^{-6} \text{ dm}^3 \\ &= 3.00 \times 10^{-7} \text{ mol} \end{aligned}$$

ดังนั้น กรดแอซิกติกมีจำนวนโมลเริ่มต้นเท่ากับ $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$

จากสมการเคมีกรดแอซิกติกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนต่อโมล 1 : 1 ดังนั้น กรดแอซิกติก $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ และเกิดโซเดียมแอซิเตท $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ โดยสารตั้งต้นทั้งสองจะหมดพอดี ทำให้ค่า pH ของสารละลายขึ้นอยู่กับค่าการแตกตัวของโซเดียมแอซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น แสดงการคำนวณดังนี้

จำนวนโมลของโซเดียมแอซิเตท เท่ากับ $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$

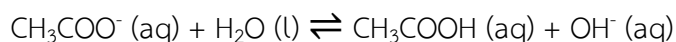
เปลี่ยนให้เป็นความเข้มข้นจากสมการ

$$\text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3\text{)} = \text{จำนวนโมล (mol)} \div \text{ปริมาตรสารละลาย (dm}^3\text{)}$$

$$\text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3\text{)} = 3.00 \times 10^{-7} \text{ mol} \div 20 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$\text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3\text{)} = 0.015 \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

โซเดียมแอซิเตทในน้ำจะแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) แสดงดังสมการต่อไปนี้



0.015	0	0 mol/dm ³ (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
x	x	x mol/dm ³ (ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลง)
0.015-x	x	x mol/dm ³ (ความเข้มข้นที่สมดุล)

สมการค่าคงที่สมดุลการแตกตัวของเบสอ่อน (k_b)

$$k_b = \frac{x^2}{[\text{CH}_3\text{COO}^-] - x} \quad (\text{ฉ. 2})$$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของกรดแอซติก (CH_3COOH) ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของ

ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่สภาวะสมดุล

k_b คือ ค่าคงที่สมดุลการแตกตัวของแอซิเตทไอออน มีค่าเท่ากับ 5.6×10^{-10}

แทนค่าลงในสมการที่ (ฉ.2) จะได้

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = (5.6 \times 10^{-10})(0.015 - x) \quad ; \quad 0.015 - x \approx 0.015$$

$$x = \sqrt{(5.6 \times 10^{-10})(0.015)}$$

$$x = [\text{OH}^-]$$

$$x = 2.9 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มข้นของกรดแอซติก (CH_3COOH) และความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) มีค่าเท่ากับ $2.9 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ สามารถนำไปคำนวณหาค่า pH ของสารละลายจากได้ดังนี้

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log(2.9 \times 10^{-5})$$

$$\text{pOH} = 5.54$$

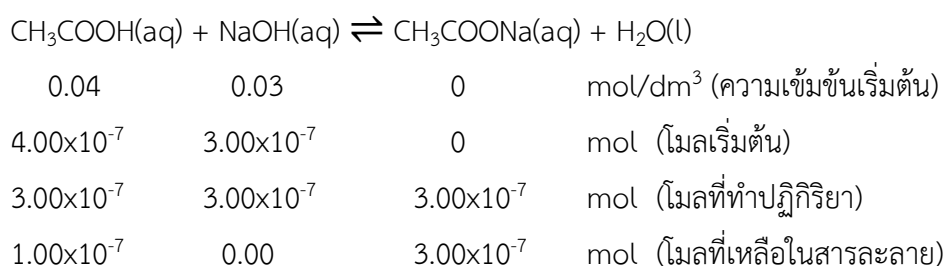
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pH} = 14 - 5.54$$

$$\text{pH} = 8.46$$

จากการคำนวณ ค่า pH ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 8.46 มีค่าสูงกว่า pH 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู สอดคล้องกับผลการทดลองดังภาพที่ ฉ.1 แถวที่ 1

(3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกความเข้มข้น $0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09$ และ 0.10 mol/dm^3 พบว่าทุกความเข้มข้นหลังทำปฏิกิริยาสารละลายใสไม่มีสี (ภาพที่ ฉ.1แถวที่ 1) ทั้งนี้ เพราะสารละลายมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนใสไม่มีสี ยกตัวอย่างกรณีที่ใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 0.04 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.03 mol/dm^3 แสดงปริมาณสัมพันธ์ของสารจากสมการเคมีดังต่อไปนี้



แสดงตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อ กรดอะซิติกเข้มข้น 0.04 mol/dm^3

ปริมาตรของกรดอะซิติก $10 \text{ }\mu\text{L}$

โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.03 mol/dm^3

ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ $10 \text{ }\mu\text{L}$

ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด $20 \text{ }\mu\text{L}$

หาจำนวนโมลของกรดอะซิติกจากความเข้มข้น

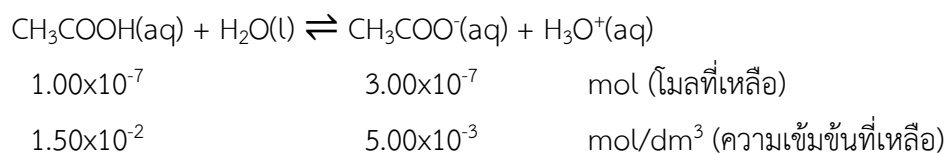
$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนโมล(mol)} &= \text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3\text{)} \times \text{ปริมาตร (dm}^3\text{)} \\
 &= 0.04 \text{ mol/dm}^3 \times 10 \times 10^{-6} \text{ dm}^3 \\
 &= 4.00 \times 10^{-7} \text{ mol}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น กรดอะซิติกมีจำนวนโมลเริ่มต้นเท่ากับ $4.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$

การคำนวณหาจำนวนโมลเริ่มต้นของกรดอะซิติกความเข้มข้น $0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10 \text{ mol/dm}^3$ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ก็คำนวณเช่นเดียวกัน

จากสมการเคมีกรดอะซิติกทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนต่อโมล 1:1 ดังนั้น โซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ กล่าวคือ เริ่มต้นกรดอะซิติก $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ เกิดโซเดียมอะซิเตทจำนวน $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ แต่จำนวนโมลเริ่มต้นของกรดอะซิติกเท่ากับ $4.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ ดังนั้นจึงเหลือกรดอะซิติกอยู่ใน

สารละลาย 1.00×10^{-7} mol หลังทำปฏิกิริยาจะมีกรดแอซิดิกและโซเดียมแอซิเตทเหลืออยู่ในสารละลาย ทำให้สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาตามระบบสารละลายบัฟเฟอร์ แสดงการคำนวณดังนี้



การคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่เหลือในปฏิกิริยา

เมื่อ โมลเริ่มต้นของกรดแอซิดิก (CH_3COOH) เท่ากับ 1.00×10^{-7} mol

โมลเริ่มต้นของโซเดียมแอซิเตท (CH_3COO^-) เท่ากับ 3.00×10^{-7} mol

ปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 20 μL

$$\begin{aligned} [\text{CH}_3\text{COOH}] &= \frac{1.00 \times 10^{-7}}{20 \times 10^{-6}} \\ &= 0.005 \text{ mol/dm}^3 \\ [\text{CH}_3\text{COO}^-] &= \frac{3.00 \times 10^{-7}}{20 \times 10^{-6}} \\ &= 0.015 \text{ mol/dm}^3 \end{aligned}$$

จากสมการหาค่า pH ตามระบบบัฟเฟอร์กรด

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

เมื่อค่า K_a ของกรดแอซิดิก (CH_3COOH) มีค่าเท่ากับ 1.8×10^{-5} แทนค่าจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.015}{0.005} \\ \text{pH} &= 5.22 \end{aligned}$$

จากการคำนวณหาค่า pH ของสารละลาย ได้ค่าเท่ากับ 5.22 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาไลน์ไม่มีสี ในส่วนของปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสติกเข้มข้น 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm³ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน โดยค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาแสดงตามตารางที่ ฉ.1

จากภาพที่ ฉ.1 เมื่อพิจารณาแถวที่ 2 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติกกับโซเดียม-ไฮโดรเจนคาร์บอเนต แสดงดังสมการที่ ฉ.3



จากการทดลองพบว่าช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสติกเข้มข้น 0.01 mol/dm³ และ 0.02 mol/dm³ หลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นสีชมพู โดยกรดแอสติกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ สำหรับช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสติกความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นสีชมพู โดยกรดแอสติกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและถือเป็นจุดสมมูล ส่วนช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้ กรดแอสติกความเข้มข้น 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm³ หลังทำปฏิกิริยาสารละลายใสไม่มีสี เนื่องจากมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 โดยโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ผลการทดลองและค่า pH ที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ ฉ.2

ตารางที่ ฉ.2 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียม

ไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ กับกรดแอสติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของกรดแอสติก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินไป
0.01 mol/dm ³ CH ₃ COOH	9.23	ชมพู	CH ₃ COOH	NaOH
0.02 mol/dm ³ CH ₃ COOH	9.12	ชมพู	CH ₃ COOH	NaOH

ตารางที่ ๑.2 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ กับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้นของกรดอะซิติก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินไป
0.03 mol/dm ³ CH ₃ COOH	8.46	ชมพู	จุดสมมูล	จุดสมมูล
0.04 mol/dm ³ CH ₃ COOH	5.22	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.05 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.92	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.06 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.74	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.07 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.62	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.08 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.09 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.44	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.10 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.38	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.06 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.74	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.07 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.62	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH
0.08 mol/dm ³ CH ₃ COOH	4.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH ₃ COOH

หมายเหตุ: b* มาจากการคำนวณ

จากตารางที่ ๑.2 สามารถแยกผลการทดลองได้ 3 กรณี ดังนี้

(1) กรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ความเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 และ 0.02 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.03 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู (ภาพที่ ๑.1 แถวที่ 2) เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นสีชมพู

ในกรณีที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.01 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.03 mol/dm^3 แสดงปริมาณสัมพันธ์ของสารจากสมการเคมีดังต่อไปนี้

$\text{CH}_3\text{COOH (aq)} + \text{NaHCO}_3\text{(aq)} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)} + \text{CO}_2\text{(g)}$			
0.01	0.03	0	mol/dm^3 (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
1.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	0	mol (โมลเริ่มต้น)
1.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	mol (โมลที่ทำปฏิกิริยา)
0	2.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	mol (โมลที่เหลือ)
0	0.01	0.005	mol/dm^3 (ความเข้มข้นที่เหลือ)

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อ กรดแอซิดิกเข้มข้น 0.01 mol/dm^3

ปริมาตรของกรดแอซิดิก $10 \text{ }\mu\text{L}$

โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเข้มข้น 0.03 mol/dm^3

ปริมาตรของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต $10 \text{ }\mu\text{L}$

ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด $20 \text{ }\mu\text{L}$

หาจำนวนโมลของกรดแอซิดิกจากความเข้มข้น

จำนวนโมล(mol) = ความเข้มข้น (mol/dm^3) x ปริมาตร(dm^3)

$$= 0.01 \text{ mol/dm}^3 \times 10 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$= 1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$$

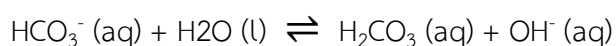
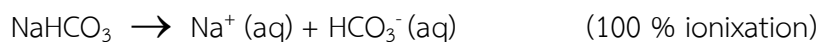
ดังนั้น กรดแอซิดิกมีจำนวนโมลเริ่มต้นเท่ากับ $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$

การคำนวณหาจำนวนโมลของกรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.02 mol/dm^3 และจำนวนโมลของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ก็คำนวณเช่นเดียวกัน

จากสมการเคมีกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ในอัตราส่วนต่อโมล 1:1 ดังนั้น กรดแอซิดิกจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ กล่าวคือ ถ้ากรดแอซิดิก $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ และเกิดโซเดียมแอซิเตท $1.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$

แต่เริ่มต้นมีโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 3.00×10^{-7} mol แสดงว่าเหลือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 2.00×10^{-7} mol หลังทำปฏิกิริยาจะมีโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและโซเดียมแอซิเตตอยู่ในสารละลาย ซึ่งสารทั้งสองส่งผลต่อค่า pH ของสารละลาย แสดงการคำนวณดังนี้

การหาความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนจากการแตกตัวของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต



0.01	0	0	mol/dm ³ (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
X	x	x	mol/dm ³ (ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง)
0.01-x	x	x	mol/dm ³ (ความเข้มข้นที่สมดุล)

จากสมการค่าคงที่สมดุลของเบส

$$k_b = \frac{x^2}{[\text{HCO}_3^-]_0 - x} \quad (\text{ฉ.4})$$

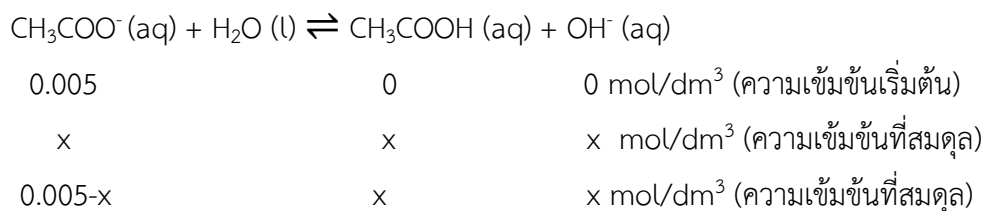
เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) มีความเข้มข้นเท่ากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่สภาวะสมดุล

k_b คือ ค่าคงที่สมดุลการแตกตัวของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.3×10^{-5}

แทนค่าลงในสมการ (ฉ.4) จะได้

$$\begin{aligned} k_b &= \frac{x^2}{[\text{HCO}_3^-]_0 - x} \\ 2.3 \times 10^{-5} &= \frac{x^2}{0.01 - x} \quad ; 0.01 - x \approx 0.01 \\ x &= [\text{OH}^-] \\ &= \sqrt{2.3 \times 10^{-8} \times 0.01} \\ x &= [\text{OH}^-] \\ &= 1.52 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

การหาความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนจากการแตกตัวของโซเดียมแอซิเตท



สมการค่าคงที่สมดุล (k_b)

$$k_b = \frac{x^2}{[\text{CH}_3\text{COO}^-] - x} \quad (\text{ฉ.5})$$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของกรดอะซิติก (CH_3COOH) ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่สภาวะสมดุล

k_b คือ ค่าคงที่สมดุลของเบส (5.6×10^{-10})

แทนค่าลงในสมการ (ฉ.5) จะได้

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = (5.6 \times 10^{-10})(0.005 - x) \quad ; \quad 0.005 - x \cong 0.005$$

$$x = \sqrt{(5.6 \times 10^{-10})(0.005)}$$

$$x = [\text{OH}^-]$$

$$x = 1.67 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

เพราะฉะนั้นความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่ได้จากการแตกตัวของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและโซเดียมแอซิเตทมีค่าเท่ากับ

$$[\text{OH}^-]_{\text{total}} = 1.52 \times 10^{-5} + 1.67 \times 10^{-6} = 1.69 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $1.69 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายได้ดังนี้

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log(1.69 \times 10^{-5})$$

$$\text{pOH} = 4.77$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pH} = 14 - 4.77$$

$$\text{pH} = 9.23$$

จากการคำนวณหาค่า pH ของสารละลาย มีค่าเท่ากับ 9.23 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู ในส่วนของปฏิกิริยาที่ใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 0.02 mol/dm^3 สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน โดยค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยาแสดงตามตารางที่ ๑.2

(2) ที่จุดสมมูลกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู (ภาพที่ ๑.1 แถวที่ 2) เนื่องจากสารละลายมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู สามารถแสดงปริมาณสัมพันธ์จากสมการเคมีดังต่อไปนี้

$\text{CH}_3\text{COOH (aq)} + \text{NaHCO}_3 \text{ (aq)} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)} + \text{CO}_2 \text{ (g)}$			
0.03	0.03	0	mol/dm^3 (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
3.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	0	mol (โมลเริ่มต้น)
3.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	mol (โมลที่ทำปฏิกิริยา)
0	0	3.00×10^{-7}	mol (โมลที่เหลือ)
0	0	0.015	mol/dm^3 (ความเข้มข้นที่เหลือ)

จากสมการปฏิกิริยาเคมีกรดอะซิติกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต ในอัตราส่วนต่อโมล 1:1 ดังนั้น กรดอะซิติก $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ และเกิดโซเดียมอะซิเตท $3.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายจากการแตกตัวของโซเดียมอะซิเตท แสดงการคำนวณได้ดังนี้

$\text{CH}_3\text{COO}^- \text{ (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH (aq)} + \text{OH}^- \text{ (aq)}$		
0.015	0	0 mol/dm^3 (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
x	x	x mol/dm^3 (ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง)
0.015-x	x	x mol/dm^3 (ความเข้มข้นที่สมดุล)

สมการค่าคงที่สมดุล (k_b)

$$k_b = \frac{x^2}{[\text{CH}_3\text{COO}^-] - x} \quad (\text{ฉ.6})$$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก (CH_3COOH) ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่สภาวะสมดุล

k_b คือ ค่าคงที่สมดุลการแตกตัวของแอซิเตทไอออน (CH_3COO^-) เท่ากับ 5.6×10^{-10}

แทนค่าลงในสมการ (ฉ.6) จะได้

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = (5.6 \times 10^{-10})(0.015 - x) ; 0.015 - x \cong 0.015$$

$$x = \sqrt{(5.6 \times 10^{-10})(0.015)}$$

$$x = [\text{OH}^-]$$

$$x = 2.96 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนมาจากการแตกตัวของโซเดียมแอซิเตท มีค่าเท่ากับ $2.96 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายได้ดังนี้

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log(2.96 \times 10^{-6})$$

$$\text{pOH} = 5.54$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

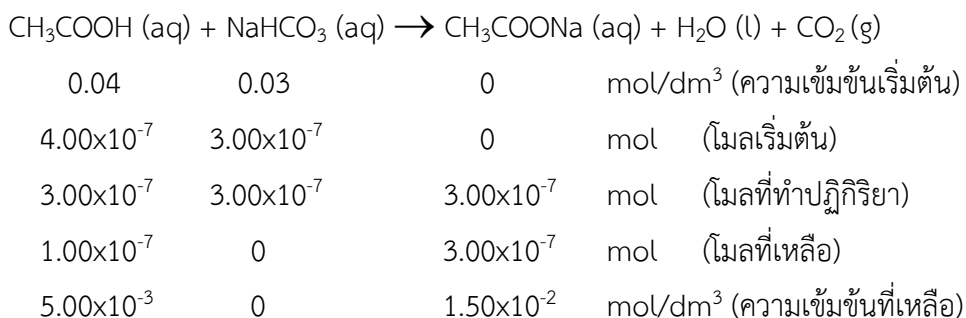
$$\text{pH} = 14 - 5.54$$

$$\text{pH} = 8.46$$

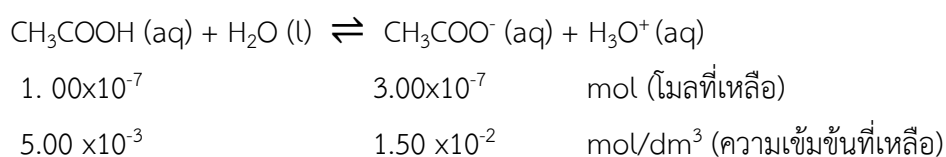
จากการคำนวณจะเห็นว่าที่จุดสมมูลค่า pH ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 8.46 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพูสอดคล้องกับผลการทดลอง ดังภาพที่ ฉ.1 แถวที่ 2

(3) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาหมตก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับกรดแอซิดิก ความเข้มข้น 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ

0.10 mol/dm³ พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายใสไม่มีสี (ภาพที่ ฉ.1 แถวที่ 2) ทั้งนี้เพราะสารละลายมี pH น้อยกว่า 8.1 อยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนไม่มีสี ยกตัวอย่างกรณีที่ใช้กรดแอสติคความเข้มข้น 0.04 mol/dm³ ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ แสดงปริมาณสัมพันธ์ของสารจากสมการเคมีดังต่อไปนี้



จากสมการเคมีกรดแอสติคทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่อโมล 1:1 ดังนั้น โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 3.00×10⁻⁷ mol จะทำปฏิกิริยากับกรดแอสติค 3.00×10⁻⁷ mol และเกิดโซเดียมแอสเตท 3.00×10⁻⁷ mol แต่จำนวนโมลเริ่มต้นของกรดแอสติคเท่ากับ 4.00×10⁻⁷ mol เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดจะเหลือกรดแอสติค 1.00×10⁻⁷ mol สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ หลังทำปฏิกิริยาจะมีกรดแอสติคกับโซเดียมแอสเตท เหลืออยู่ในสารละลาย สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายตามระบบสารละลายบัฟเฟอร์ แสดงการคำนวณดังนี้



การคำนวณหาค่า pH ของสารละลายตามระบบบัฟเฟอร์กรด

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad (\text{ฉ.7})$$

เมื่อ ค่า Ka ของกรดแอสติค (CH₃COOH) มีค่าเท่ากับ 1.8 × 10⁻⁵ แทนค่าในสมการ (ฉ.7) จะได้ว่า

$$\text{pH} = -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.015}{0.005}$$

$$\text{pH} = 5.22$$

จากการคำนวณหาค่า pH ของสารละลาย เท่ากับ 5.22 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนสีไม่มีสี ใน ส่วนของปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสติกติกความเข้มข้น 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm³ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน โดยค่า pH ของสารละลายแสดงตามตารางที่ ๓.2

จากภาพที่ ๓.1 พิจารณาแถวที่ 3 ปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติกกับโซเดียมคาร์บอเนต แสดงดัง สมการที่ ๓.8



จากการทดลองพบว่าช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสติกติกความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 mol/dm³ พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากสารละลายมีค่า pH สูง กว่า 8.1 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอสติกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสาร กำหนดปริมาณ สำหรับช่องรองรับปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสติกติกความเข้มข้น 0.06 mol/dm³ พบว่าหลัง ทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู เนื่องจากมีค่า pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู โดยกรดแอสติกทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมคาร์บอเนต และถือเป็นจุดสมมูล ส่วนช่องรองรับปฏิกิริยา ที่ใช้กรดแอสติกติกความเข้มข้น 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm³ หลังทำปฏิกิริยาสารละลายใส ไม่มีสี เนื่องจากสารละลายมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 โดยโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือ เป็นสารกำหนดปริมาณ ผลการทดลองและค่า pH ที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ ๓.3

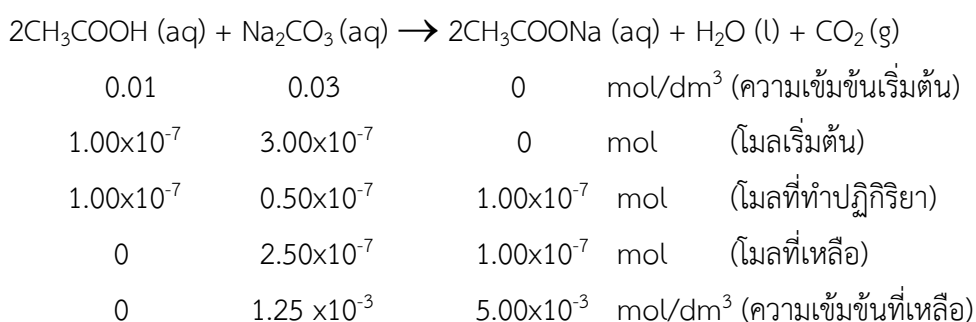
ตารางที่ ๓.3 ค่า pH จากการคำนวณและสีของสารละลายหลังเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 กับกรดแอซิดิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของกรดแอซิดิก	ค่า pH ของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา*	สีของสารละลายหลังทำปฏิกิริยา	สารกำหนดปริมาณ	สารปริมาณมากเกินพอ
0.01 mol/dm^3 CH_3COOH	11.21	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.02 mol/dm^3 CH_3COOH	11.16	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.03 mol/dm^3 CH_3COOH	11.10	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.04 mol/dm^3 CH_3COOH	11.01	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.05 mol/dm^3 CH_3COOH	10.86	ชมพู	CH_3COOH	NaOH
0.06 mol/dm^3 CH_3COOH	8.61	ชมพู	จุดสมมูล	จุดสมมูล
0.07 mol/dm^3 CH_3COOH	5.52	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.08 mol/dm^3 CH_3COOH	5.22	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.09 mol/dm^3 CH_3COOH	5.05	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH
0.10 mol/dm^3 CH_3COOH	4.92	ใสไม่มีสี	NaOH	CH_3COOH

หมายเหตุ: * มาจากการคำนวณ

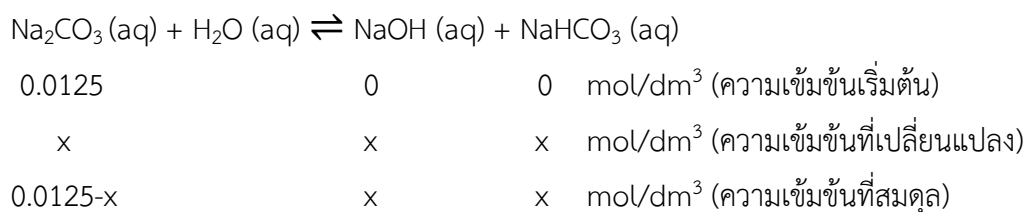
จากตารางที่ ๓.3 สามารถแยกผลการทดลองได้ 3 กรณี ดังนี้

(1) กรดแอซิดิกทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ ความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 mol/dm³ ทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนต 0.03 mol/dm³ พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู (ภาพที่ 4.4 แถวที่ 3) เนื่องจากสารละลายมี pH สูงกว่า 8.1 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู ยกตัวอย่างในกรณีที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.01 mol/dm³ ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.03 mol/dm³ แสดงปริมาณสัมพันธ์ของสารจากสมการเคมีดังต่อไปนี้



จากสมการเคมีกรดแอซิดิกทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วนต่อโมล 2:1 ดังนั้นกรดแอซิดิกจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ กล่าวคือ กรดแอซิดิก 1.00×10^{-7} mol จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.50×10^{-7} mol และเกิดโซเดียมแอซิเตท 1.00×10^{-7} mol แต่จำนวนโมลเริ่มต้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็น 3.00×10^{-7} mol แสดงว่าเหลือโซเดียมคาร์บอเนตอยู่ในสารละลาย 2.50×10^{-7} mol เพราะฉะนั้นหลังทำปฏิกิริยาจะมีโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมแอซิเตท อยู่ในสารละลาย ซึ่งสารทั้งสองส่งผลต่อค่า pH ของสารละลาย แสดงการคำนวณดังนี้

หาความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนจากการแตกตัวของโซเดียมคาร์บอเนต



จากสมการค่าคงที่สมดุล (k_b)

$$k_b = \frac{x^2}{[\text{CO}_3^{2-}] - x} \quad (\text{ฉ.9})$$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่สภาวะสมดุล

k_b คือ ค่าคงที่สมดุลการแตกตัวของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เท่ากับ 2.1×10^{-4}

แทนค่าลงในสมการ (6) จะได้

$$x^2 = k_b([\text{CO}_3^{2-}] - x)$$

$$x^2 = k_b([\text{CO}_3^{2-}] - x)$$

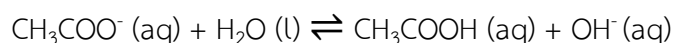
$$x^2 = (2.1 \times 10^{-4})(0.0125 - x) \quad ; \quad 0.0125 - x \cong 0.0125$$

$$x = \sqrt{(2.1 \times 10^{-4})(0.0125)}$$

$$x = [\text{OH}^-]$$

$$x = 1.62 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

หาความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนจากการแตกตัวของโซเดียมแอซิเตท



0.005	0	0	mol/dm ³ (ความเข้มข้นเริ่มต้น)
-------	---	---	---

x	x	x	mol/dm ³ (ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลง)
-----	-----	-----	---

$0.005 - x$	x	x	mol/dm ³ (ความเข้มข้นที่สมดุล)
-------------	-----	-----	---

จากสมการค่าคงที่สมดุล (k_b)

$$k_b = \frac{x^2}{[\text{CH}_3\text{COO}^-] - x} \quad (\text{ฉ.10})$$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของแอซิเตทไอออน (CH_3COO^-) ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่สภาวะสมดุล

k_b คือ ค่าคงที่สมดุลการแตกตัวของแอซิเตทไอออน (CH_3COO^-) เท่ากับ 5.6×10^{-10}

แทนค่าในสมการ (ฉ.10) จะได้

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = (5.6 \times 10^{-10})(0.005 - x) \quad ; \quad 0.005 - x \cong 0.005$$

$$x = \sqrt{(5.6 \times 10^{-10})(0.005)}$$

$$x = [\text{OH}^-]$$

$$= 1.67 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

เพราะฉะนั้นความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนทั้งหมดได้จากการแตกตัวของโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมอะซิเตตมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} [\text{OH}^-]_{\text{total}} &= 1.62 \times 10^{-3} + 1.67 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \\ &= 1.62 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \end{aligned}$$

จากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายได้ดังนี้

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log(1.62 \times 10^{-3})$$

$$\text{pOH} = 2.79$$

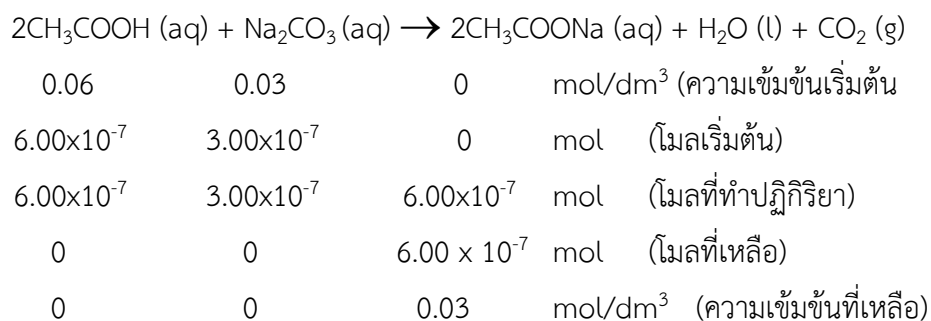
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pH} = 14 - 2.79$$

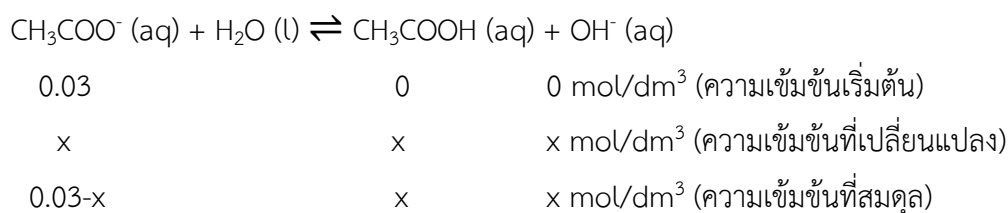
$$\text{pH} = 11.21$$

จากการคำนวณหาค่า pH ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 11.21 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู ในส่วนของปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอสติติกความเข้มข้น 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 mol/dm³ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน โดยค่า pH ของสารละลายแสดงตามตารางที่ ๓.3

(2) ที่จุดสมมูลกรดแอสติติกความเข้มข้น 0.06 mol/dm³ ทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.03 mol/dm³ พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายเป็นสีชมพู (ภาพที่ ๓.1 แถวที่ 3) ทั้งนี้เพราะสารละลายมีค่า pH สูงกว่า 8.1 อยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนมีสีชมพู แสดงปริมาณสัมพันธ์จากสมการเคมีดังต่อไปนี้



จากสมการเคมีกรดแอซิดทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วนต่อโมล 2:1 ดังนั้นกรดอะซิดิก 6.00×10^{-7} mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 3.00×10^{-7} mol เกิดโซเดียมแอซิเตท 6.00×10^{-7} mol สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายจากการแตกตัวของโซเดียมแอซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ แสดงการคำนวณได้ดังนี้



สมการค่าคงที่สมดุล (k_b)

$$k_b = \frac{x^2}{[\text{CH}_3\text{COO}^-] - x} \quad (\text{ฉ.11})$$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของแอซิเตทไฮดรอกไซด์ (CH_3COO^-) ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่สภาวะสมดุล

k_b คือ ค่าคงที่สมดุลของเบส (5.6×10^{-10})

แทนค่าในสมการ (ฉ.11) จะได้

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = k_b([\text{CH}_3\text{COO}^-] - x)$$

$$x^2 = (5.6 \times 10^{-10})(0.03 - x) ; 0.03 - x \cong 0.03$$

$$x = \sqrt{(5.6 \times 10^{-10})(0.03)}$$

$$x = [\text{OH}^-]$$

$$x = 4.1 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จากการแตกตัวของโซเดียมอะซิเตตมีค่าเท่ากับ $4.1 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ สามารถนำไปคำนวณหาค่า pH ของสารละลายได้ดังนี้

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log(4.1 \times 10^{-6})$$

$$\text{pOH} = 5.39$$

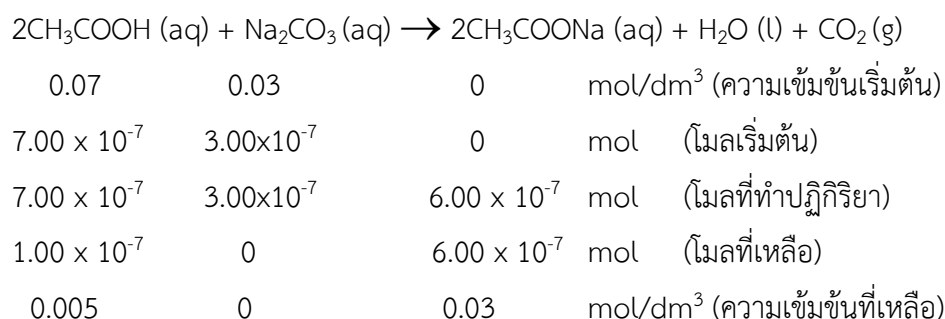
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pH} = 14 - 5.39$$

$$\text{pH} = 8.61$$

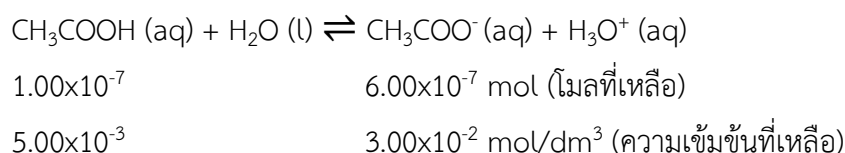
จากการคำนวณจะเห็นว่าที่จุดสมมูลค่า pH ของสารละลายเท่ากับ 8.61 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู สอดคล้องกับผลการทดลอง

(3) โซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาหมดก่อนหรือเป็นสารกำหนดปริมาณ โดยใช้ความเข้มข้น 0.03 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับกรดแอซติก ความเข้มข้น 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 mol/dm^3 พบว่าหลังทำปฏิกิริยาสารละลายใสไม่มีสี (ภาพที่ ฉ.1 แถวที่ 3) ทั้งนี้เพราะสารละลายมีค่า pH น้อยกว่า 8.1 อยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนใสไม่มีสี ยกตัวอย่างในกรณีที่ใช้กรดแอซติกความเข้มข้น 0.07 mol/dm^3 ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.03 mol/dm^3 แสดงปริมาณสัมพันธ์ของสารจากสมการเคมีดังต่อไปนี้



จากสมการเคมีกรดแอซติกทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่อโมล 2:1 ดังนั้นโซเดียมคาร์บอเนตจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ กล่าวคือ กรดแอซติก $6.00 \times 10^{-7} \text{ mol}$ จะทำปฏิกิริยา

กับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 3.00×10^{-7} mol เกิดโซเดียมแอซิเตท 6.00×10^{-7} mol แต่จำนวนโมลเริ่มต้นของกรดแอซิดิกเท่ากับ 7.00×10^{-7} mol แสดงว่าเหลือกรดแอซิดิก 1.00×10^{-7} mol หลังทำปฏิกิริยาจะมีกรดแอซิดิกกับโซเดียมแอซิเตทอยู่ในสารละลาย สามารถคำนวณหาค่า pH ของสารละลายตามระบบสารละลายบัฟเฟอร์ แสดงการคำนวณดังนี้



คำนวณหาค่า pH ของสารละลายตามระบบบัฟเฟอร์กรด

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad (\text{ฉ.12})$$

เมื่อ ค่า Ka ของกรดแอซิดิก (CH_3COOH) เท่ากับ 1.8×10^{-5}
แทนค่าในสมการ (ฉ.12) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.015}{0.03} \\ \text{pH} &= 4.44 \end{aligned}$$

จากการคำนวณค่า pH ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 4.44 มีค่าน้อยกว่า pH 8.1 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ฟีนอล์ฟทาลีนสีไม่มีสี สอดคล้องกับผลการทดลอง ในส่วนของปฏิกิริยาที่ใช้กรดแอซิดิกความเข้มข้น 0.08 mol/dm^3 , 0.09 mol/dm^3 และ 0.10 mol/dm^3 สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน โดยค่า pH ของสารละลายแสดงตามตารางที่ ฉ.3

ภาคผนวก ข

ภาพการทดลองโดยใช้ชุดทดลองด้วยกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน
เรื่องปริมาณสัมพันธ์โดยใช้ปฏิริยากรด-เบส



ภาพที่ ข.1 การทดลองใช้ชุดทดลองด้วยกระดาส (μPADs) ของนักเรียน

ภาคผนวก ซ

เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสาร Journal of chemical education ปี 2018

Fabricating Simple Wax Screen-Printing Paper-Based Analytical Devices To Demonstrate the Concept of Limiting Reagent in Acid–Base Reactions

Pithakpong Namwong,[†] Purim Jarujamrus,^{‡,§} Maliwan Amatatongchai,^{‡,§} and Sanoe Chairam^{*,‡,§}

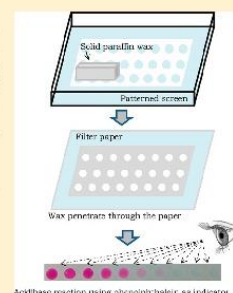
[†]Program of Science Education, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

[‡]Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

[§]Nanomaterials Science, Sensors & Catalysis for Problem-Based Projects, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

Supporting Information

ABSTRACT: In this article, a low-cost, simple, and rapid fabrication of paper-based analytical devices (PADs) using a wax screen-printing method is reported here. The acid–base reaction is implemented in the simple PADs to demonstrate to students the chemistry concept of a limiting reagent. When a fixed concentration of base reacts with a gradually increasing concentration of acid, a dramatic demonstration allows students to discover the limiting reagent by naked eyes observing the color change from phenolphthalein as an indicator. This demonstration is not only a new approach to enhancing students' learning of the chemistry concept of the limiting reagent, but also presents potential applications of PADs into all levels of chemistry from middle school through college classes.



KEYWORDS: High School/Introductory Chemistry, First-Year Undergraduate/General, Analytical Chemistry, Hands-On Learning/Manipulatives, Laboratory Equipment/Apparatus, Microscale Lab, Acids/Bases

INTRODUCTION

One of the most difficult problems in stoichiometry is the identification of the *limiting reagent* (or *limiting reactant*) in a chemical reaction.¹ In many textbooks, there are two common identifications of the limiting reagent: (i) the reagent that limits the amount of product formed when the chemical reaction is complete; (ii) the reactant that is totally consumed first by the reaction.^{2–4} If one or more other reagents are present in quantities greater than necessary to react with the quantity of the limiting reagent, they are called the *excess reagents* (or *excess reactants*). In any chemical reaction, the limiting reagent must be identified in order to calculate the percentage reaction yields. Many attempts have been performed to identify the limiting reagent through analogy,^{5,6} classroom demonstration,^{7,8} classroom activity,^{9,10} and laboratory experiment.^{11,12} Among them, the laboratory experiment is a famous method to introduce the idea of the limiting reagent, since it can engage student interest in the classroom more than others when they are learning. Many laboratory experiments could provide the students with concrete understanding to explain how to identify the limiting reagent. However, the experiments somehow are not suitable for educational contexts such as the limited access to sophisticated analytical instruments and laboratories as found

in many schools and universities. Thus, a simple experiment that requires inexpensive laboratory facilities, is less time-consuming, and is easily performed is highly desirable.

When compared to other equipment, paper-based analytical devices (PADs) are powerful tools for solving several chemistry problems due to their low cost, portability, easy and rapid fabrication, low consumption of reagents and samples, ease-of-use, and disposability. Microfluidic paper-based analytical devices (μ PADs) were first reported in 2007 by the research group of Whitesides.¹³ By patterning the hydrophobic channel structure on the hydrophilic paper, an aqueous solution is able to wick through the porous paper structure while being directed by the hydrophobic barrier. The circular microzones of channels can be fabricated via a number of techniques, such as photolithography, laser cutting, plasma treatment, inkjet printing, and wax printing, for instance.¹⁴ An ideal fabrication method for μ PADs would use inexpensive instrumentation and materials, allow a rapid fabrication for mass production, be simple, and would not require the hydrophilic region to be

Received: June 13, 2017

Revised: November 29, 2017

Published: January 19, 2018

exposed to solvent during fabrication. The technique should also provide high resolution and repeatability. In this work, a simple wax screen-printing was demonstrated by slight modification from previous work,¹⁵ because it is cheaper than fabrication methods as mentioned above and requires only an inexpensive screen, wax (solid form; solvent free), and a hot hair dryer. Developments in μ PAD technology as it applies specifically to making chemical measurements have been cited by Dungchai and co-workers.¹⁵ However, the use of μ PAD in educational purposes at various levels including school children, undergraduate students, and the general public^{13–18} is still a challenge.

The detection zones can be formed at desired locations on μ PADs by spotting reagents onto paper. A number of analytical methods can be employed for detection, including fluorescence,¹⁶ chemiluminescence,¹⁷ electrochemical sensing,¹⁸ and colorimetric assay.¹⁹ Among them, the colorimetric assay has proven the most popular method in chemistry, particularly in combination with image collection via digital or smartphone cameras and analysis via available software for free download or even with naked eyes. Thus, advantages including low-cost, simple, and rapid fabrication of paper-based devices have made them very popular.^{20–26}

Acid–base chemistry is an important fundamental concept in the chemistry curriculum of middle and upper high schools and general chemistry courses at universities. The acid–base reaction is a chemical reaction that occurs between an acid and a base solution. Many acid–base reactions have been widely used to demonstrate to students a number of the chemistry concepts in the classroom demonstration and laboratory experiment.^{8,27,28} The most common method to evaluate the end point (or equivalent point) of the reaction between an acid and base is to use a dye indicator. Herein, we have successfully demonstrated to students the chemistry concept of limiting reagent from the acid–base reaction on μ PADs by observing the color change of phenolphthalein as an indicator when a fixed concentration of base reacts with a set of acid solutions with slightly different concentrations. This demonstration could also be implemented to serve as an experiment into introductory chemistry laboratory courses at many schools and universities, especially in developing countries.

MATERIALS AND EQUIPMENT

All chemicals were of analytical grade and were used as received without further purification. Sodium carbonate (Na_2CO_3), sodium bicarbonate (NaHCO_3), and potassium hydrogen phthalate (KHP) were purchased from Sigma-Aldrich. Hydrochloric acid (HCl) and sodium hydroxide (NaOH) were purchased from Fluka. The commercial 5% distilled vinegar (acetic acid, CH_3COOH) produced by Thai Thiparos Co., Ltd., was obtained from a local supermarket. Phenolphthalein used as indicator was purchased from Gammaco Co., Ltd., Thailand. Stock solutions were dissolved in distilled water obtained from a water purification system (UP 900, New Human).

Equipment needed in this study is listed as follows. Whatman filter paper No. 1 (20 cm $\times$ 20 cm sheet) was purchased from Whatman International Ltd. (Buckinghamshire, UK). The solid paraffin wax (mp 53–57 °C) was purchased from a local supermarket. A home hair dryer that can be held at constant temperature is used to melt the wax, while a micropipette was used to transfer the solution onto the reaction zones. For screen-printing, a circle design mask was created using

Microsoft Word Home Office and printed on a transparency film using a laser printer. Black areas of the mask generate a hydrophobic area on the paper, while colorless areas yield hydrophilic features. The transparency is then used to create the screens at a local screen-printing shop. The patterned screen was made from 90 mesh nylon on a wood frame, and a squeegee was also obtained from a local screen-printing shop or clothing shop in Ubon Ratchathani, Thailand. A total cost for producing templates for screens here was at 394 THB (for about 11.8 US\$) per 100 cm^2 . It would be possible to have such a screen printed, especially in developing countries, which presumably do not have access to instrumentation. The screens were then used by the students to make the μ PADs. The detailed procedure for producing these templates for the screens is given (see the [Supporting Information](#)).

FABRICATION OF PAPER-BASED ANALYTICAL DEVICES

Our simple fabricated μ PADs were prepared by a slight modification from a wax screen-printing method as described by Dungchai and co-workers.¹⁵ The proposed method requires the following steps. The patterned screen with ca. 1 cm diameter circles of microzones was designed using Microsoft Word. The screen was made from a 90 mesh nylon on a wood frame. A wax screen-printing was fabricated by printing patterns of solid paraffin wax on the surface of filter paper. After printing, the residual wax was removed using a squeegee. To melt the wax, the screened paper was blown with a home hair dryer (screened paper up) for ca. 15 s to create the hydrophobic barriers on the filter paper. Characteristic performance of the fabricated μ PADs was tested by dropping a red food dye solution onto the patterned paper via a micropipette to visualize the hydrophobic barrier and hydrophilic circular region. The diameter of microzones plays an important role with the color intensity, so the reproducibility of device fabrication is evaluated. The inner microzone diameter of the hydrophilic circle areas was measured using a vernier caliper. The average diameter of 100 circular microzones was 1.01 ± 0.02 cm, indicating a good fabrication reproducibility of the screen-printing method (see [Supporting Information](#)). A general method for fabricating μ PADs is shown in [Figure 1](#).

EXPERIMENTAL PROCEDURE

The steps are as follows:

- Making the screen-printing apparatus with the assistance of a commercial screen-printing service to produce the paper μ PADs having 1 cm diameter circles as the reaction microzones (demonstrated in instructor notes, see [Supporting Information](#)).
- Putting the reagents in 10 circular microzones, using a 10 μL micropipettor.
- Photographing the circular microzones using a digital camera and light box.
- Analyzing the captured image using ImageJ software (free download available).²⁹
- Plotting the measured color intensity using proprietary software (Origin) that is expensive for a site license. Microsoft Excel could accomplish the same task but perhaps less conveniently.

(In practice, steps c–e could be omitted if students simply observed the spots by eye.)

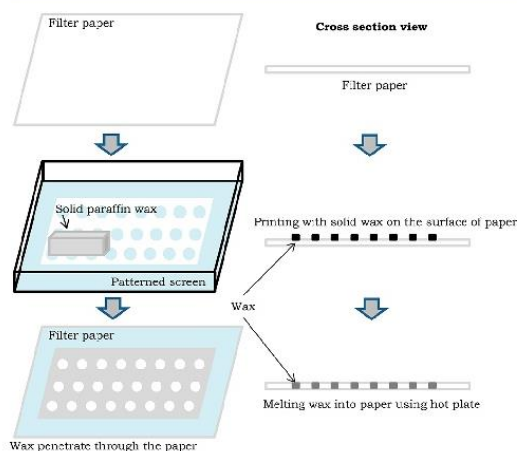


Figure 1. Schematic illustration of a wax screen-printing method for patterning hydrophobic barriers on the filter paper using a patterned screen and solid paraffin wax.

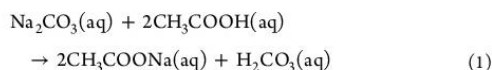
To promote students' learning, this laboratory was conducted with 51 grade-10 students who were studying the concept of the limiting reagent. The prelab and postlab tests consisting of 10 problematic questions were presented. The questions must be solved by small groups of students with the help of a teacher in the class. Sometimes, the teacher may guide some ideas or reasoning about the limiting reagent through appropriate questions. A student handout and instruction notes are available (see [Supporting Information](#)). By using one set of equipment, students worked together in groups of three or four members, and they were required to complete the experiment within a 2 h laboratory period. Students simply observed the spots by eye a few minutes after the reactions are complete. One screen can be used to make the test papers for several times before its degradation. Within 2 h, students in groups could make many attempts to fabricate μ PADs to investigate the concept of the limiting reagent from acid–base reactions and discuss their results with the group members or the teacher. All images in the JPEG format were recorded by a digital camera in the control light box,³⁰ and then analyzed using ImageJ software. Then, a graph is constructed using OriginPro software. It may be possible to employ simple software, e.g., Microsoft Excel, for making the plots, but it may be less convenient. The limiting reactant of either the acid or the base was determined from the end point.

HAZARDS

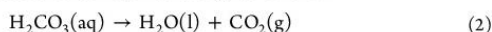
An aqueous solution of an acid or a base is corrosive to skin and eyes. Students are required to wear laboratory coats and protective goggles while carrying out the experiment; avoid direct contact of all chemicals without chemical-resistant gloves. When preparing an aqueous solution of an acid or a base, significant heat is released, and the liquid should be swirled constantly to prevent heat developing. After melting the wax, it is important to avoid burn injuries caused by a home hair dryer. Additionally, a home hair dryer should be handled with caution.

RESULTS AND DISCUSSION

In this work, a simple neutralization reaction between sodium carbonate (Na_2CO_3) and vinegar (CH_3COOH) is used to demonstrate the concept of the limiting reaction, since they are cheap and easily purchased from a local supermarket worldwide. The chemical equation between Na_2CO_3 and CH_3COOH could be written as follows:



Na_2CO_3 reacts quantitatively with CH_3COOH to produce sodium acetate (CH_3COONa) and carbonic acid (H_2CO_3). However, H_2CO_3 is unstable and then forms water (H_2O) and gaseous carbon dioxide (CO_2) as follows:



As shown in Figure 2A, a series of 10 experiments of the reaction between Na_2CO_3 and CH_3COOH are used to

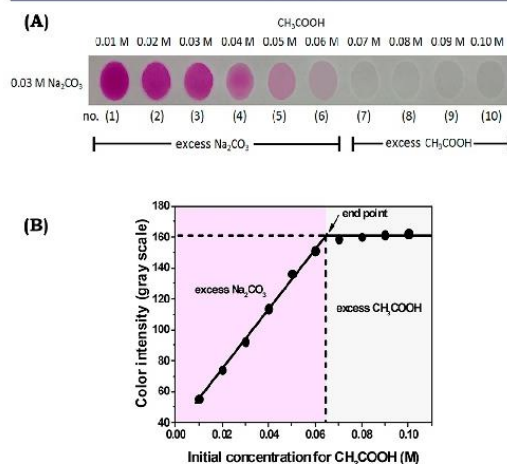


Figure 2. (A) Digital image showing the resulting reaction between Na_2CO_3 and CH_3COOH by observing the color change using 0.01% phenolphthalein as an indicator. (B) The color intensity (gray scale) analyzed by the image processing technique using ImageJ.

demonstrate the concept of the limiting reagent in the circular microzones of μ PADs. The concentration of CH_3COOH was gradually increased from 0.01 to 0.10 M, while the concentration of Na_2CO_3 was fixed at 0.03 M. Phenolphthalein is also a suitable indicator in this case with its color change: colorless (acid) and pink (base). The idea is that when the limiting reagent is completely consumed at the end of the reaction, the other excess reactant that is still present in some amounts causes the color change of an indicator. From 10 circular microzones of Na_2CO_3 – CH_3COOH reaction in a series, when increasing the concentration of CH_3COOH from 0.01 to 0.06 M (nos. 1–6), the color of the reaction microzones gradually turns from reddish to faint pink. This result indicates that the solution is basic in experiments. Therefore, Na_2CO_3 is the excess reagent, while CH_3COOH is the limiting reagent. After increasing the concentration of CH_3COOH more than 0.06 M (nos. 7–10), the reaction microzones become colorless,

indicating that the solution is now acidic. The acidic results indicate that the amount of CH_3COOH is in excess, and Na_2CO_3 is the limiting reagent.

In order to get the quantitative information, the reaction images for the colorimetric assay were recorded using a digital camera in a homemade control light box as recently reported by our group research;³⁰ the JPEG format was then analyzed by the image processing technique using ImageJ. All signals were subtracted by a threshold intensity to remove the contribution from a background color. The obtained data are then imported into OriginPro, and it takes a few minutes to complete a graph. The point of an intersection of the two straight lines gives the equivalent concentration of the reaction between an acid and base. As shown in Figure 2B, when fixing the concentration of Na_2CO_3 at 0.03 M, the concentration of CH_3COOH at the end point is 0.065 M. This value is also in agreement with acid–base titrations using μPADs reported by Karita and Kaneta.³¹ Additionally, the proposed μPADs in this work have been further explored for various kinds of base solutions (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , and NaOH) with satisfactory performance by a number of high school students (see Supporting Information). The concentration of either the acid or the base solution was in agreement with the values obtained from a standard volumetric titration. Considering the consumption of reagents and waste production, this experiment is also suited to introduce students the concept of green chemistry in the laboratory. Thus, the developed μPADs could be conducted as a model to demonstrate to students the concept of the limiting reagent using the acid–base reactions in the chemistry laboratory at high schools and universities. In order to assess how the experiment improved the learning process, all students accomplished the prelab and postlab tests consisting of 10 problematic questions. A comparison of students' responses is provided in Figure 3. Obviously, students showed a significant

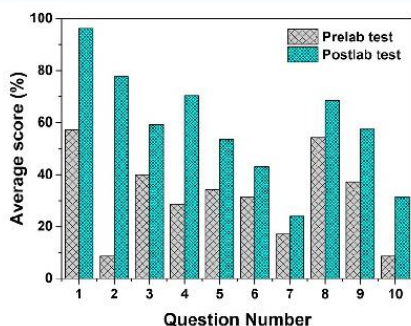


Figure 3. Comparison of students' responses ($n = 51$) on the limiting reagent before and after doing the lab experiment.

improvement in the concept of the limiting reagent after doing the lab experiment. This finding suggests that the use of μPADs helps students gain a better understanding of the limiting reagent.

ADDITIONAL DETAILS

All the secondary standard solutions must be standardized in order to determine a certain concentration before use. The color change of reaction solutions is for visual aid, so phenolphthalein is recommended as the best indicator. It

may be possible to employ a spot plate,^{32,33} e.g., a 12-well white porcelain spot plate, which is reusable and available at low cost (US \$1.50 from Fisher Scientific). However, porcelain spot plates would not be as easy for students to handle as the μPADs .

CONCLUSION

We have successfully demonstrated a simple method for fabricating microfluidic paper-based analytical devices (μPADs). A low-cost, simple, and rapid fabrication of μPADs using a wax screen-printing method is suitable for educational contexts for which there is limited access to sophisticated analytical instruments at many schools and universities in laboratories, especially in developing countries. The acid–base reaction is performed on μPADs using phenolphthalein as an indicator. When a fixed concentration of base reacts with a gradually increasing concentration of acid, students could discover the limiting reagent by observing the color change from phenolphthalein. This more active learning seemed to help students enjoy activities and become interested in learning the concept of a limiting reagent. This demonstration ought to be interesting at all levels of chemistry from middle school classes through potential applications in upper-division college classes. Additionally, the method described here could be used as a starting point in engaging and inspiring potential future researchers in exciting fields.

ASSOCIATED CONTENT

Supporting Information

The Supporting Information is available on the ACS Publications website at DOI: 10.1021/acs.jchemed.7b00410.

Detailed description of the instructor and student notes (PDF, DOC)

AUTHOR INFORMATION

Corresponding Author

*E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th.

ORCID

Sanoe Chairam: 0000-0002-9026-1479

Notes

The authors declare no competing financial interest.

ACKNOWLEDGMENTS

The financial support from the Center of Excellent for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC); the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST); the Office of the Higher Education Commission (OHEC), Ministry of Education; and the Faculty of Science, Ubon Ratchathani University (UBU), is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- (1) Olmsted, J. Amounts Tables as a Diagnostic Tool for Flawed Stoichiometric Reasoning. *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 52.
- (2) Chang, R. *Chemistry*, 10th ed.; McGraw-Hill: Bangkok, Thailand, 2010; pp 103–105.
- (3) Cracolice, M. S.; Peters, E. I. *Introductory Chemistry: An Active Learning Approach*, 4th ed.; Brooks/Cole CENGAGE Learning: Singapore, 2011; pp 285–294.
- (4) Gilbert, T. R.; Kirss, R. V.; Foster, N.; Davies, G. *Chemistry*; Norton: New York, 2012; pp 114–121.

- (5) McMinn, D. Coffee, Coins, and Limiting Reagents. *J. Chem. Educ.* **1984**, *61*, 591.
- (6) Tóth, Z. Limiting Reactant. An Alternative Analogy. *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 934.
- (7) Blankenship, C. A. Nuts and Bolts Approach to Explain Limiting Reagents. *J. Chem. Educ.* **1987**, *64*, 134.
- (8) Artdej, R.; Thongpanchang, T. Stacy DeWees, H. A Dramatic Classroom Demonstration of Limiting Reagent Using the Vinegar and Sodium Hydrogen Carbonate Reaction. *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 1382.
- (9) Witzel, J. E. Lego Stoichiometry. *J. Chem. Educ.* **2002**, *79*, 352A.
- (10) Sharma, A. K.; Wolfgang, D. E. The Golden Drain: A Stoichiometry Case Study for General Chemistry. *Chem. Educ.* **2016**, *21*, 77–80.
- (11) Kildahl, N.; Berka, L. H. Experiments for Modern Introductory Chemistry: Limiting Reagent, Stoichiometry, and the Mole. *J. Chem. Educ.* **1993**, *70*, 671.
- (12) Furlong, W. R.; Rubinski, M. A.; Indralingam, R. The Method of Continuous Variation: A Laboratory Investigation of the Formula of a Precipitate. *J. Chem. Educ.* **2013**, *90*, 937–940.
- (13) Martinez, A. W.; Phillips, S. T.; Butte, M. J.; Whitesides, G. M. Patterned Paper as a Platform for Inexpensive, Low-Volume, Portable Bioassays. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2007**, *46*, 1318–1320.
- (14) Cate, D. M.; Adkins, J. A.; Mettakoonpitak, J.; Henry, C. S. Recent Developments in Paper-Based Microfluidic Devices. *Anal. Chem.* **2015**, *87*, 19–41.
- (15) Dungchai, W.; Chailapakul, O.; Henry, C. S. A Low-Cost, Simple, and Rapid Fabrication Method for Paper-Based Microfluidics Using Wax Screen-Printing. *Analyst* **2011**, *136*, 77–82.
- (16) He, M.; Liu, Z. Paper-Based Microfluidic Device with Upconversion Fluorescence Assay. *Anal. Chem.* **2013**, *85*, 11691–11694.
- (17) Liu, W.; Cassano, C. L.; Xu, X.; Fan, Z. H. Laminated Paper-Based Analytical Devices (LPAD) with Origami-Enabled Chemiluminescence Immunoassay for Cotinine Detection in Mouse Serum. *Anal. Chem.* **2013**, *85*, 10270–10276.
- (18) Adkins, J. A.; Henry, C. S. Electrochemical Detection in Paper-Based Analytical Devices Using Microwire Electrodes. *Anal. Chim. Acta* **2015**, *891*, 247–254.
- (19) Jorke, J. C.; Adkins, J. A.; Bisha, B.; Mentele, M. M.; Goodridge, L. D.; Henry, C. S. Development of a Paper-Based Analytical Device for Colorimetric Detection of Select Foodborne Pathogens. *Anal. Chem.* **2012**, *84*, 2900–2907.
- (20) Cai, L.; Wu, Y.; Xu, C.; Chen, Z. A Simple Paper-Based Microfluidic Device for the Determination of the Total Amino Acid Content in a Tea Leaf Extract. *J. Chem. Educ.* **2013**, *90*, 232–234.
- (21) Chatmontree, A.; Chairam, S.; Supasorn, S.; Amatongchai, M.; Jarujamrus, P.; Tamuang, S.; Somsook, E. Student Fabrication and Use of Simple, Low-Cost, Paper-Based Galvanic Cells To Investigate Electrochemistry. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 1044–1048.
- (22) Koesdjojo, M. T.; Pengpumat, S.; Wu, Y.; Boonloed, A.; Huynh, D.; Remcho, T. P.; Remcho, V. T. Cost Effective Paper-Based Colorimetric Microfluidic Devices and Mobile Phone Camera Readers for the Classroom. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 737–741.
- (23) Ravgiala, R. R.; Weisburd, S.; Sleeper, R.; Martinez, A.; Rozkiewicz, D.; Whitesides, G. M.; Hollar, K. A. Using Paper-Based Diagnostics with High School Students To Model Forensic Investigation and Colorimetric Analysis. *J. Chem. Educ.* **2014**, *91*, 107–111.
- (24) Sharpe, E.; Andreescu, S. Integration of Nanoparticle-Based Paper Sensors into the Classroom: An Example of Application for Rapid Colorimetric Analysis of Antioxidants. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 886–891.
- (25) Wang, B.; Lin, Z.; Wang, M. Fabrication of a Paper-Based Microfluidic Device To Readily Determine Nitrite Ion Concentration by Simple Colorimetric Assay. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 733–736.
- (26) Cardoso, T. M. G.; de Souza, F. R.; Garcia, P. T.; Rabelo, D.; Henry, C. S.; Coltro, W. K. T. Versatile Fabrication of Paper-Based Microfluidic Devices with High Chemical Resistance Using Scholar Glue and Magnetic Masks. *Anal. Chim. Acta* **2017**, *974*, 63–68.
- (27) Shaw, C. F.; Webb, J. W.; Rothenberger, O. Using Demonstrations Involving Combustion and Acid–Base Chemistry To Show Hydration of Carbon Dioxide, Sulfur Dioxide, and Magnesium Oxide and Their Relevance for Environmental Climate Science. *J. Chem. Educ.* **2016**, *93*, 2063–2067.
- (28) Bopegedera, A. M. R. P.; Perera, K. N. R. Greening a Familiar General Chemistry Experiment: Coffee Cup Calorimetry to Determine the Enthalpy of Neutralization of an Acid–Base Reaction and the Specific Heat Capacity of Metals. *J. Chem. Educ.* **2017**, *94*, 494–499.
- (29) ImageJ software. <https://imagej.nih.gov/ij/> (accessed Nov 2017).
- (30) Meelapsom, R.; Jarujamrus, P.; Amatongchai, M.; Chairam, S.; Kulsing, C.; Shen, W. Chromatic Analysis by Monitoring Unmodified Silver Nanoparticles Reduction on Double Layer Microfluidic Paper-Based Analytical Devices for Selective and Sensitive Determination of Mercury(II). *Talanta* **2016**, *155*, 193–201.
- (31) Karita, S.; Kaneta, T. Acid–Base Titrations Using Microfluidic Paper-Based Analytical Devices. *Anal. Chem.* **2014**, *86*, 12108–12114.
- (32) Birk, J. P.; Ronan, T. H. Spot Plate Chemistry. General Chemistry Experiments in a Depression. *J. Chem. Educ.* **1977**, *54*, 328.
- (33) Woelfel, W. C. Inexpensive Spot Plate. *J. Chem. Educ.* **1969**, *46*, 56.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายพิทักษ์พงษ์ นามวงษ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2545-พ.ศ.2548 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี พ.ศ.2553-2554 ประกาศนียบัตรบัณฑิตวิชาชีพครู มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2554-ปัจจุบัน
ตำแหน่ง	ครูวิทยฐานะชำนาญการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ โทรศัพท์: 095-7955822 E-mail: kruthak@hotmail.com