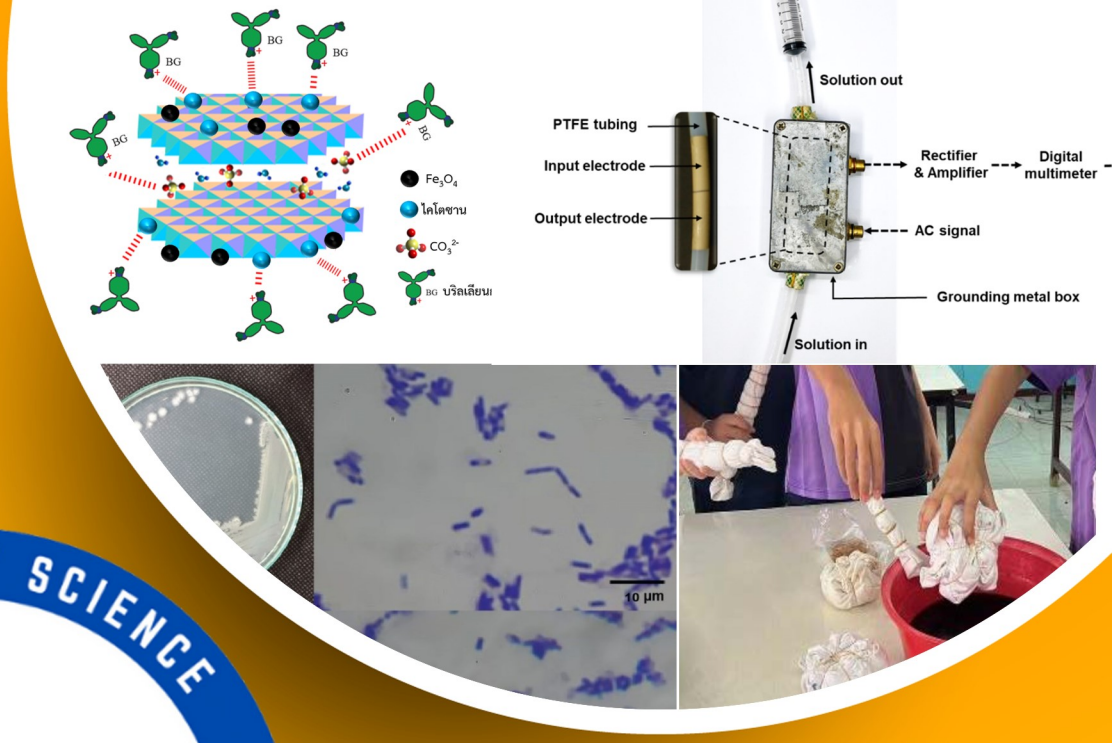


ISSN 2586-9256 (Print)
ISSN 2697-410X (Online)

JSSE Journal of Science and Science Education

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 (ก.ค. – ธ.ค. 2566)
Vol. 6, No. 2 (Jul. – Dec. 2023)

FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JSSE

คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา
Journal of Science and Science Education (JSSE)

ISSN 2586-9256 (Print)
ISSN 2697-410X (Online)

เจ้าของ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สำนักงาน
งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
85 ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425
โทรสาร 045-353422
Email: jsse.sci.ubu@gmail.com หรือ saksri.s@ubu.ac.th หรือ purim.j@ubu.ac.th

พิมพ์ที่
โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
85 ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
วันที่พิมพ์ 30 กันยายน 2566

ข้อคิดเห็นในบทความของวารสารนี้เป็นทัศนะของผู้เขียน
กองบรรณาธิการของวารสารฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (Journal of Science and Science Education: JSSE) หมายเลข ISSN 2586-9256 เป็นวารสารที่จัดทำโดยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่บทความวิจัย (Research articles) หรือบทความวิชาการ (Review articles) ทั้งด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา (ซึ่งหมายรวมถึงเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ศึกษา และคณิตศาสตร์ศึกษา) และด้านวิทยาศาสตร์ (โดยเน้นเป็นวิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ เคมี ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี) ทั้งบทความภาษาไทยและบทความภาษาอังกฤษ โดยลักษณะของบทความที่จะนำเสนอเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน ทั้งนี้ ทุกบทความจะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในแต่ละสาขาวิชา (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน ตั้งแต่วารสารปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เป็นต้นมา ผลงานที่ได้รับการพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระน่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัยและต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน อนึ่ง วารสาร JSSE จัดอยู่ในกลุ่มสาขาวิชาสังคมศึกษา (Main subject categories: Social Sciences) สาขาวิชาสังคมศึกษา (Subject areas: Social Sciences) และอยู่ในสาขาวิชาย่อยด้านการศึกษา (Sub-subject: Education) นอกจากนี้ ยังมีสาขาวิชาย่อยเพิ่มเติมอีก 4 สาขาวิชาย่อยในกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ (Main subject categories: Physical Sciences) ได้แก่ (1) เคมีทั่วไป (2) คอมพิวเตอร์ทั่วไป (3) คณิตศาสตร์ทั่วไป และ (4) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ทั่วไป ทั้งนี้ วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษามีกำหนดเผยแพร่บทความปีละ 2 ฉบับหรือเล่ม โดยเล่มที่ 1 เป็นเผยแพร่บทความระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน และเล่มที่ 2 เผยแพร่บทความระหว่าง กรกฎาคม – ธันวาคม ในกรณีที่มีกิจกรรมหรือโอกาสพิเศษของคณะวิทยาศาสตร์และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทางกองบรรณาธิการอาจจะมีการพิจารณาเผยแพร่ฉบับเพิ่มเติม (Supplementary Issue) นอกเหนือจากฉบับปกติเป็นรายกรณีไป

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความผลงานวิจัย (Research Articles) เป็นผลงานที่เตรียมจากข้อมูลที่ผู้เขียนหรือคณะผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตัวเอง

2. บทความวิชาการ (Academic Articles) อาจแยกเป็นบทความปริทัศน์ (Review articles) บทความทางเทคนิค (Technical articles) เรียบเรียงจากการสืบค้น ตรวจสอบเอกสารวิชาการในสาขานั้นๆ และบทความพิเศษ (Special articles) เสนอความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน

กำหนดออก

เล่มที่ 1 มกราคม – มิถุนายน ของทุกปี
เล่มที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม ของทุกปี

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

ที่ปรึกษาวารสาร คณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ศักดิ์ศรี สุภาษร บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา
รองศาสตราจารย์ปุริม จารุจำรัส บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการจากภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์วิชัย ริ้วตระกูล	มหาวิทยาลัยมหิดล
ศาสตราจารย์ประนอม จันทรโณทัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์สันติ แม้นศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศาสตราจารย์วินิช พรมอารักษ์	สถาบันวิทยสิริเมธี
รองศาสตราจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ชาตรี ฝ่ายคำตา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
รองศาสตราจารย์อิศรา ก้านจักร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์พัชรินทร์ ปัญจบุรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์สุทธิดา รักกะเปา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์พัดตาวัน นาใจแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นินนาท์ จันทร์สูรย์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรีฑา แก้วคง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กติกา สระมณีอินทร์	นักวิชาการอิสระ

กองบรรณาธิการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ศาสตราจารย์ศิริพร จึงสุทธิวงษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์มะลิวรรณ อมตธงไชย	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์สายันต์ แสงสุวรรณ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์วรศักดิ์ สุขบท	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์เชิดศักดิ์ บุตรจอมชัย	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฏฐ์ ดิษเจริญ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ สีบุตร	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวิน นามมั่น	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลย์ชิญาภัท อริยะเชาว์กุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

กองบรรณาธิการจัดการวารสาร

รองศาสตราจารย์สุระ วุฒิพรหม	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ช่อทิพย์ กัณฑโชติ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ฝ่ายประสานงานวารสาร นางสาวอมรรัตน์ วะสุรีย์ นายนัฐพงษ์ สืบสุข และนางสุกัญญา พิมพ์บุญมา

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ

ทาง JSSE เปิดรับบทความวิจัยและบทความวิชาการทั้งภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ต้นฉบับบทความประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนบทคัดย่อ และส่วนเนื้อเรื่อง มีความยาวรวมกันไม่เกิน 16 หน้า ทั้งนี้ ถ้าบทความใดมีความยาวมากกว่า 16 หน้า ทางกองบรรณาธิการจะเป็นผู้พิจารณาตามความเหมาะสมอีกครั้ง โดยจัดพิมพ์ต้นฉบับบทความด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2013 หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK สำหรับหัวเรื่องให้ใช้ตัวหนาขนาด 18 point ชื่อผู้เขียน ขนาด 14 point สถาบันต้นสังกัดของผู้เขียนขนาด 12 point ส่วนของเนื้อหาขนาด 14 point และให้ตั้งค่าหน้ากระดาษเป็นขนาด A4 (8.5 x 11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะจากขอบกระดาษด้านบน ด้านขวา และด้านล่าง ด้านละ 1 นิ้ว ส่วนด้านซ้ายเว้นระยะเป็น 1.25 นิ้ว จัดเป็นคอลัมน์เดียว ระยะห่างระหว่างบรรทัดเป็น single space โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนบทคัดย่อ ประกอบด้วยชื่อเรื่อง (Title) ของคณะผู้วิจัย (Authors) ชื่อสถาบัน และเนื้อหา(Body) พร้อมคำสำคัญ (Keywords) โดยชื่อเรื่อง ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด ให้ใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ ยกเว้นคำนำหน้านาม (article) คำบุพบท (proposition) และคำสันธาน (conjunction) ให้พิมพ์เป็นตัวพิมพ์เล็ก ชื่อคณะผู้วิจัย พิมพ์ด้วยตัวอักษรขนาด 14 point ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านามหรือคุณวุฒิ และใส่ดอกจัน (asterisk, *) หลังนามสกุลของผู้เขียนหลักหรือผู้ประสานงาน (corresponding author) สำหรับภาษาไทยให้เว้นวรรค 2 เคาะ ระหว่างชื่อผู้วิจัย และผู้วิจัยคนสุดท้ายให้ใส่ "และ" นำหน้าโดยไม่ต้องเว้นวรรค และสำหรับภาษาอังกฤษให้ใส่จุลภาค (comma) หลังนามสกุล ยกเว้นคนสุดท้ายให้นำหน้าด้วย "and" และไม่ต้องใส่จุลภาคหน้า "and" ชื่อสถาบันขึ้นบรรทัดใหม่ พิมพ์ด้วยอักษรขนาด 12 point หากมีมากกว่า 1 สถาบัน ให้ใช้ตัวเลขยก (superscript) กำกับหน้าชื่อสถาบันและหลังชื่อผู้วิจัยให้ตรงกัน อีเมลของผู้เขียนหลักหรือผู้ประสานงานพิมพ์บรรทัดใหม่ใต้ชื่อสถาบันด้วยตัวอักษรขนาด 12 point เนื้อหาในบทคัดย่อควรครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา เช่น วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลและอภิปรายผล และคำสำคัญ ให้ขึ้นบรรทัดใหม่ และมีจำนวนอย่างน้อย 3 คำ แต่ไม่เกิน 5 คำ โดยใช้คำที่สื่อความหมายในการค้นอย่างชัดเจน

ส่วนเนื้อเรื่อง ประกอบด้วยบทนำ (Introduction) วิธีดำเนินการวิจัย (Research Method) ผลการวิจัย (Results) อภิปรายผล (Discussion) สรุปผล (Conclusion) กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) และเอกสารอ้างอิง (References) สำหรับบทความวิชาการอาจจะมีรูปแบบการนำเสนอหรือหัวข้อที่แตกต่างออกไปตามความเหมาะสม ทั้งนี้รายละเอียดของบทความวิจัยอาจจะประกอบด้วย (1) บทนำ เป็นส่วนที่อธิบายถึงที่มาและความสำคัญของปัญหาในการวิจัยหรือการศึกษา ตลอดจนสรุปผลการทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างกระชับเพื่อส่งเสริมให้ที่มาของงานวิจัยสำคัญและชัดเจนมากขึ้น (2) วัตถุประสงค์การวิจัย อาจจะเลือกนำเสนอในรูปแบบของคำถามวิจัยหรือสมมติฐานการวิจัยเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเป็นการนำเสนอสิ่งที่ต้องการศึกษาให้ชัดเจน (3) วิธีดำเนินการวิจัย เป็นการอธิบายวิธีดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบและประเภทของการวิจัยที่มีรายละเอียดแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม (4) ผลการวิจัยและอภิปรายผล เป็นการนำเสนอผลจากการศึกษาที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัยของการวิจัย ควรนำเสนออย่างตรงประเด็นและอภิปรายผลควบคู่ไปกับผลการวิจัยในแต่ละส่วน โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ หรือเปรียบเทียบกับหลักการหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (5) สรุปผล เป็นการนำเสนอสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษาหรือการวิจัยอย่างกระชับและเข้าใจได้ง่าย ควรมีการให้ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยหรือการศึกษาเพิ่มเติมเข้าไปด้วย (6) กิตติกรรมประกาศ เป็นการระบุแหล่งทุนสนับสนุนการศึกษา หน่วยงานหรือบุคคลที่ให้การสนับสนุนหรือช่วยเหลือในการศึกษา และ (7) เอกสารอ้างอิง เป็นการเขียนรายการเอกสารที่ใช้ในการอ้างอิงในส่วนของเนื้อหาทั้งหมด โดยให้ยึดรูปแบบ APA (American Psychological Association) โดยเขียนบรรณานุกรมหรือเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด โปรดดูคำอธิบายเพิ่มเติมในส่วนของเอกสารอ้างอิง เอกสารอ้างอิงแต่ละรายการให้พิมพ์ต่อกัน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ยาวจนตกบรรทัดเอง (ใช้การเคาะ space bar ตามความหมาะสม) **แต่ห้ามเคาะ enter เพื่อตัดบรรทัด** และห้ามใช้ชื่อเต็มของวารสาร ทั้งนี้ เอกสารอ้างอิงทุกรายการต้องเขียนระบบการอ้างอิงแบบ APA (American Psychological Association) เป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น กรุณาศึกษาคำแนะนำและตัวอย่างในการเขียนรายการเอกสารอ้างอิง ดังนี้

คำแนะนำในการเขียนเอกสารอ้างอิง

วารสารนี้ใช้รูปแบบ APA ในการเขียนบรรณานุกรมหรือเอกสารอ้างอิง ซึ่งเป็นรูปแบบที่เป็นที่นิยมใช้ในสาขาวิชา จิตวิทยา การศึกษา และสาขาสังคมศาสตร์อื่นๆ การอ้างอิงมีข้อกำหนดตามแหล่งที่มาของเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิง และมีลำดับอักษรเรียงตามพยัญชนะ A B C ตามลำดับ ดังนี้

การอ้างอิงจากบทความในวารสารวิชาการ

<u>บทความภาษาอังกฤษ</u>

Supasorn, S. and Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. **Chemistry Education Research and Practice**, 16(1), 121-132.

<u>บทความภาษาไทย</u>

กฤษฎา พนันชัยและศักดิ์ศรี สุภาษร. (2563). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องสารประกอบไอออนิก ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับโมเดลระดับอนุภาค. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 3(2), 165-176.

<u>เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษเป็น</u>

Pananchai, K. and Supasorn, S. (2020). Development of grade-10 students' conceptual understanding of ionic compound by using inquiry learning in conjunction with particulate models (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 165-176.

การอ้างอิงจากบทความในรายงานการประชุมวิชาการ

Author Name. (Year). Article or chapter title. In **Proceedings of _____** (pp. page-page). Date (if applicable). City: Publisher.

<u>ตัวอย่างบทความภาษาไทย</u>

ฮิกมะฮ์ อาแวกะจิ และศักดิ์ศรี สุภาษร. (2558). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่องสมดุลเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบายในขั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. **รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ม.อบ. วิจัย ครั้งที่ 9** (หน้า 388-398). วันที่ 2-3 กรกฎาคม 2558. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

<u>เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษได้ดังนี้</u>

A-waekaji, H. and Supasorn, S. (2015). Development of scientific conceptual understanding of chemical equilibrium by using 5E inquiry learning cycle integrated with predict-observe-explain in the elaboration step for grade-11 students (in Thai). **Proceedings of 9th Ubon Ratchathani University Research Conference** (pp. 388-398). July 2–3, 2015. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

การอ้างอิงจากหนังสือ

Author Name. (Year). **Textbook title**. City: Publisher.

<u>ตัวอย่าง</u>

Okuda, M. and Okuda, D. (1993). **Star trek chronology: The history of the future**. New York: Pocket Books.

การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

Author Name. (Year). Dissertation/Thesis title. Master's Thesis or Doctoral Dissertation. City: Publisher/University.

<u>ตัวอย่างวิทยานิพนธ์ภาษาไทย</u>

ฮิกมะฮ์ อาแวกะจิ (2558). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่องสมดุลเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบายในขั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

<u>เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ</u>ได้ดังนี้

A-waekaji, H. (2015). Development of scientific conceptual understanding of chemical equilibrium by using 5E inquiry learning cycle integrated with predict-observe-explain in the elaboration step for grade-11 students (in Thai). **Master's Thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

การอ้างอิงจากเว็บไซต์

Author Name. (Year). Title. Retrieved Date Month Year, from **Website Name**: URL

<u>ตัวอย่างเว็บไซต์ภาษาไทย</u>

วิจารณ์ พานิช. (2562). มหาวิทยาลัยแห่งอนาคต. สืบค้นเมื่อ 8 มิถุนายน 2562, จาก **GoToKnow**: https://www.gotoknow.org/posts/285169

<u>เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ</u>

Panich, V. (2019). University of the future (in Thai). Retrieved 8 June 2019, from **GoToKnow**: https://www.gotoknow.org/posts/661810

ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

http://www.ams.cmu.ac.th/lib/administrator/paper/APA%206th%20New.pdf

ดาวน์โหลดไฟล์เทมเพลทบทความได้ใน

https://drive.google.com/open?id=13ODZ6TaSzzXZV6EImwxHwyBYQ17ynZQb

ถ้อยแถลงบรรณาธิการ

ปัจจุบันนี้ นักวิชาการหรือผู้ทำงานในสังคมวิชาการส่วนใหญ่มีภารกิจสำคัญหลายอย่าง และหนึ่งในภารกิจเหล่านั้น คือ การเผยแพร่ผลงานวิชาการในวารสารวิชาการหรือการประชุมวิชาการที่มีการกลั่นกรองผลงานโดยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักวิชาการด้วยกันเองและเพื่อเป็นการเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปที่สนใจได้อ่านและศึกษาตามความสนใจของแต่ละคน ทั้งนี้ ผู้เขียนต้องพึงระวังว่า การอ้างอิงผลงานวิชาการเป็นเรื่องที่ต้องใส่ใจเป็นอย่างยิ่งและต้องอ้างอิงอย่างมีวิจารณญาณและมีจริยธรรม ทั้งนี้ ผู้เขียนจะต้องพิจารณาประเด็นเหล่านี้อย่างถี่ถ้วนก่อนส่งมารับการพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฯ เพื่อป้องกันการคัดลอกผลงานวิชาการ (plagiarism) ทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจได้ ทั้งนี้ กองบรรณาธิการของวารสารฯ ได้มีการตรวจสอบบทความอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนจากหลักวิชาการ การคัดลอกผลงานวิชาการหรือการกระทำที่ผิดต่อจริยธรรมการวิจัย

ทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เล็งเห็นความสำคัญข้างต้น จึงได้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ขึ้นมาเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 6 เล่มที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2566 ซึ่งประกอบด้วยบทความทั้งหมด 16 เรื่อง จำแนกเป็นบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ 4 เรื่อง บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 11 เรื่อง และบทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ 1 เรื่อง

ทั้งนี้ วารสารได้ประกาศอัตราค่าธรรมเนียมการพิจารณาบทความ (Article Processing Charge) บทความละ 1,500 บาท โดยจะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมเฉพาะบทความต้นฉบับที่บรรณาธิการวารสารพิจารณาเบื้องต้นแล้วว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของวารสาร จึงจะส่งต่อไปยังกระบวนการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ โดยจะไม่มีการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมสำหรับบทความต้นฉบับที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของวารสาร ทั้งนี้ JSSE จะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมการดำเนินการบทความ ผ่านบัญชี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (คณะวิทยาศาสตร์) เลขที่ 869-3-00127-7 ธนาคารไทยพาณิชย์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2566 เป็นต้นไป ทั้งนี้ การชำระค่าธรรมเนียมการพิจารณาบทความไม่ได้เป็นการยืนยันว่าบทความดังกล่าวจะได้รับการเผยแพร่ใน JSSE แต่อย่างใด ดังนั้น บทความที่จะได้รับการเผยแพร่ใน JSSE จะต้องผ่านกระบวนการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิตามปกติ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาษร)
หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารฯ

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร	ข
กองบรรณาธิการ	ค
คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ	ง
ถ้อยแถลงบรรณาธิการ	ช
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Research Articles in Science)	
1) Influence of manganese ions concentration on structural and elastic properties in recycled window glasses by using ultrasonic technique and FTIR spectroscopy Natsupon Chutithanapanon*, Jintana Laopaiboon and Raewat Laopaiboon	171 - 180
2) การคัดแยกแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก เสาวภา สุราวุธ* ชุตาภา คุณสุข สุทิศา ชัยกุล และรุจีรัตน์ ใจคง	181 - 191
3) การใช้คุณสมบัติไดอิเล็กทริกในการตอบสนองต่อสารเคมีและการวัดปริมาณ ภูริช กีรติชรินทร์พาณิชย์ ดวงใจ นาคะปรีชา และพูนทวี แซ่เตีย*	192 - 205
4) การสังเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติของโคบอลต์ซิงค์อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ด้วยอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโนและไคโตซานสำหรับการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน สุภาพ ตาเมือง* และ ผดุงศักดิ์ มั่นคง	206 - 215
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Research Articles in Science Education)	
5) Development of UBU-ASLC system for supporting the teacher professional development program: A case study of Asperger's syndrome learning for Thai educators Juthathip Kruanopphakhun and Nadh Ditcharoen*	216 - 227
6) ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสมที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 อดิศร พลสีขาว ตะวัน ทองสุข และชุลิดา เหมตะศิลป์*	228 - 240
7) ผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ศรณ์ภวิชญ์ อรรถประจง ตะวัน ทองสุข1 และชุลิดา เหมตะศิลป์*	241 - 250
8) ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง การแยกสาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ณิชมน ทำทอง สุมาลี เทียนทองดี* กรกมล ชูช่วย และบุญฤดี อุดมผล	251 - 259
9) การจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุสองวัตถุที่เคลื่อนที่ไล่ตามกันในแนวตรงโดยใช้ลิบราออฟฟิศ กานต์ ษรบัณฑิต	260 – 268

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

หน้า

10) การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนชุมชนบ้านคำพอกท่าดอกแก้ว 269 - 279

มนัด สุรันนา ปวีณา ขันธ์ศิลา และประภาพร หนองหารพิทักษ์*

11) ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 280 - 292

วนันท์ดา ปราบภัย* นงลักษณ์ วิริยะพงษ์ และมนชยา เจียงประดิษฐ์

12) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 293 - 302

สุธีพร กุลค้อ* นงลักษณ์ วิริยะพงษ์ และมนชยา เจียงประดิษฐ์

13) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 303 - 319

ธรนินทร์ แย้มสุข* และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์

14) ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ที่มีต่อการคิดเชิงเรขาคณิตและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 320 - 332

ณัฐพล หงษ์ทอง* ธีรโชติ โลกธาตุ และสิทธิพร ประทีป

15) ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 333 - 343

ภูวนัตถ์ นาคประดิษฐ์ ประภาพร หนองหารพิทักษ์ และปวีณา ขันธ์ศิลา*

16) สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ช่วยเพิ่มศักยภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่าย 344 – 352

ณัฏฐ์นรี โสภากันต์* และพิชิต โสภากันต์

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul.– Dec. 2023): 171 - 180
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.15

Research Article

Influence of manganese ions concentration on structural and elastic properties in recycled window glasses by using ultrasonic technique and FTIR spectroscopy

Natsupon Chutithanapanon[1, *], Jintana Laopaiboon[2] and Raewat Laopaiboon[2]

[1]*Research and Development of Science and Technology Teaching Department, Educational Research Development Demonstration Institute, Srinakharinwirot University,* 26120, *Nakhon Nayok, Thailand*

[2] *Glass Technology Excellent Center (GTEC), Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, 34190, Ubon Ratchathani, Thailand*

**Email: n.chutithanapanon@gmail.com*

Received <11 November 2022>; Revised <31 March 2023>; Accepted <3 April 2023>

Abstract

This study aimed to examine recycled window glasses' structural and elastic properties (RWG). The recycled window glasses were prepared in the 90RWG – $10Na_2O$ – $xMnO_2$ system (x = 0.001, 0.01, 0.1, and 1.0 mol %) by the conventional melt quenching method at 1250 °C. The densities of the glass samples were determined using Archimedes' principle. Elastic moduli, such as longitudinal modulus, shear modulus, Young's modulus, bulk modulus, Poisson's ratio, and microhardness, were calculated using ultrasonic velocity data from the ultrasonic technique. The ultrasonic velocity measured the velocities of the glass samples at a frequency of 4 MHz and room temperature. FTIR spectra were measured in a wave number range of 400 – 2000 cm^{-1} to study the structure of the glass samples by FTIR spectroscopy. The results show that the glass structure was changed and could be improved by increasing the concentration of MnO_2 in the glass system. Adding MnO_2 to the glass network resulted in the formation of SiO_4 bridging oxygen and cross-link density in the glass network. These results lead to changes in the elastic moduli of the glass and an increase in the rigidity of the glass structure. The Si-O-Si linkages of the bridging oxygen were verified by FTIR spectroscopy.

Keywords: Glass, Recycled window glasses, Ultrasonic technique, FTIR spectroscopy

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

อิทธิพลของแมงกานีสไอออนต่อสมบัติทางโครงสร้างและความยืดหยุ่นของกระจกหน้าต่างรีไซเคิลโดยใช้เทคนิคอัลตร้าโซนิกและอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ณัฏฐ์สุพล ชุติธนภานนท์[1,*] จินตนา เหล่าไพบูลย์[2] และเรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์[2]

[1]สาขาวิจัยและพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 26120 จังหวัดนครนายก ประเทศไทย

[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190 จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย

**Email: n.chutithanapanon@gmail.com*

รับบทความ: 11 พฤศจิกายน 2565 แก้ไขบทความ: 31 มีนาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 3 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติความยืดหยุ่นของกระจกหน้าต่างรีไซเคิลที่ถูกเตรียมให้อยู่ในระบบ 90RWG – 10Na_2O – xMnO_2 โดยวิธีการหลอมที่อุณหภูมิสูง 1250°C เมื่อ x = 0.001 0.01 0.1 และ 1.0 mol% ความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วสามารถหาได้จากหลักการของอาร์คิมิดีส สมบัติความยืดหยุ่น เช่น มอดูลัสตามยาว มอดูลัสเฉือน มอดูลัสของยัง บัลค์มอดูลัส อัตราส่วนปัวซอง และความแข็งระดับไมโคร สามารถคำนวณได้จากความเร็วคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิคโดยใช้เทคนิคคลื่นเสียงความถี่สูง การวัดความเร็วคลื่นเสียงของตัวอย่างแก้วถูกวัดที่ความถี่ 4 MHz และที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นศึกษาโครงสร้างด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในช่วงของเลขคลื่น 400 – 2000 cm^{-1} จากผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างของระบบแก้วมีการเปลี่ยนแปลงและสามารถปรับปรุงโครงสร้างโดยการเติมความเข้มข้นของแมงกานีสออกไซด์ในระบบแก้ว เนื่องจากการเติมแมงกานีสออกไซด์ในระบบแก้วสร้างการก่อตัวของโครงสร้าง SiO_4 และความหนาแน่นของ cross-link ในโครงข่ายแก้ว ผลลัพธ์นี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความยืดหยุ่นและความแข็งแรงทางโครงสร้างเพิ่มขึ้น ซึ่งโครงสร้างของ Si-O-Si สามารถถูกตรวจสอบได้โดยใช้เทคนิค FTIR

คำสำคัญ: แก้ว กระจกรีไซเคิล เทคนิคอัลตร้าโซนิค อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Introduction

Glass materials, such as window glass for decorations, glassware in the laboratory, and optical lenses, have been used extensively. Glass materials are interesting because they are insulators and are transparent to visible light. In addition, the corrosion resistance to chemicals, high strength, and impurities gives the glass its color, and glass can be blown into an infinite number of shapes. Silicate glass (soda-lime Glass) is one of the most widely used glass types because of its ability to be modified and remelted numerous times. This is one reason that leads to increasing glass waste in the environment. Silicate glass composition is 70-75 wt% silica, 12-16 wt% Na_2O, and 10-15 wt% CaO. This system contains a large amount of silica (SiO_2), which leads to a high melting point of the glass. In terms of glass formation, SiO_2 forms the basis of glass and is called the glass former. However, its high melting point and viscosity make it difficult to melt. Na_2O can modify the form of glass, which is known as a glass modifier. Its effect on decreasing the melting point and viscosity (Srisittipokakun *et al*., 2011). However, the decomposition of glass waste takes time and effort. Reusing and recycling glass waste is an interesting solution to environmental problems (Khazaalah *et al*., 2022). One of the glass waste management methods is melting at a high temperature. In addition, the adding of transition metals oxide (TMOs) into the recycled glass can improve and develop the properties of glass. Moreover, transition metals (TM) are used as coloring agents for glasses. Glass doped with transition metals has attracted much attention because of its interesting optical, electrical, and mechanical properties. Modifier oxide added into the glass network can break the inter-tetrahedral bonds, which is the change in some properties of glass and colors (Abdeldaym *et al*., 2021). In addition, many researchers have reported that metal ions can create several non-bridging oxygens (NBOs) and present a higher mechanical strength. Manganese is a transition metal with a color that improves the microstructure of glass when added to glass systems. Many forms of Mn^{2+}, Mn^{3+}, Mn^{4+}, and MnO^{4-} ions exist. It is well known that manganese oxide transforms into Mn orthomanganate when heated to 1000°C (Gaddam *et al*., 2014). Mn^{2+} acts as a modifying cation and has a coordination number of six in silicate glass. Mn^{4+} forms polyhedral coordinates $[MnO_4]^{4-}$ and may participate in the formation of a glass network together with Si^{4+} (Gaddam *et al*., 2014 and Wahab *et al*., 2021).

In this work, the recycling of window glass waste is interesting and suitable for this work. Commercial window glass was recycled (RWG) using the conventional melt-quench method and was prepared in a 90RWG – $10Na_2O$ – $xMnO_2$ system (where x = 0.001, 0.01, 0.1, and 1.0 mol%). Recycled window glass (RWG) is the base glass system and then added MnO_2 into the glass base for studies of the structure and elastic properties. The structural properties of the glass were studied using ultrasonic techniques and FTIR spectroscopy. Elastic moduli, such as longitudinal modulus, shear modulus, Poisson's ratio, bulk modulus, Young's modulus, and microhardness, were calculated using the ultrasonic velocity data and density data from Archimedes' principle.

Material and Methods

Sample preparation

Commercial window glass waste was recycled (Recycled Window Glass = RWG). There are included a careful cleaning and are crushed into a powder. Crushed glass was prepared in 90RWG – $10Na_2O$ – $xMnO_2$ (where x = 0.001, 0.01, 0.1 and 1.0 mol%) and mixed until homogeneous. Homogeneous mixtures were melted in an electric furnace at 1250°C for 5 h. The melted glass was poured into preheated stainless-steel molds and annealed at 500°C for 2 h. The samples were then naturally cooled to room temperature. Glass samples were cut and polished using different silicon carbide grades and aluminum powder for ultrasonic velocity measurements. Chemical composition analyses of the glass system were carried out using WDXRF. Commercial window glass composition is 73.390% of silica (SiO_2), Na_2O = 15.170%, CaO = 7.339%, MgO = 3.408%, Al_2O_3 = 0.586%, Fe_2O_3 = 0.063%, TiO_2 = 0.026%, and K_2O = 0.023% (Sopapan *et al*., 2019).

Density measurements

Density of all glass samples was determined employing Archimedes' principle using n-hexane and applying the relation (Gaafar, 2007).

$$\rho = \rho_l \left(\frac{W_a}{W_a - W_b}\right) \quad (1)$$

where ρ_l is density of immersion liquid, W_a and W_b are the glass sample weights in air and weights in the immersion liquid, respectively. The molar volume (V_m) of the glass samples are given by

$$V_m = \frac{M}{\rho} \quad (2)$$

where ρ is the density of the glass and M is the molecular weight of the glass system (Singh *et al*., 2008).

Ultrasonic velocity measurements

The ultrasonic velocities of the glass samples were measured using a pulse-echo technique. The ultrasonic wave was generated from a ceramic transducer with a resonant frequency of 4 MHz and simultaneously acted as a transmitter-receiver. This study used an ultrasonic flaw detector, SONATEST Sitescan 230, for ultrasonic velocity measurement. The velocity measurements were repeated three times to check the velocity data. The elastic moduli were calculated using the following standard equation (Afifi *et al*., 2003).

Longitudinal modulus (L):

$$L = \rho V_l^2 \quad (3)$$

Shear modulus (G):

$$G = \rho V_S^2 \quad (4)$$

Bulk modulus (K):

$$K = L - \frac{4}{3}G \quad (5)$$

Young's modulus (E):

$$\mathrm{E} = (1 + \sigma)2\mathrm{G} \quad (6)$$

Poisson's ratio (σ):

$$\sigma = \frac{L-2G}{2(L-G)} \quad (7)$$

Micro-hardness (H):

$$H = \frac{(1-2\sigma)E}{6(1+\sigma)} \quad (8)$$

Where v_l is longitudinal velocity and v_s is shear velocity of the glass samples.

Infrared absorption measurements

The glass samples were measured at room temperature in the wavenumber range 400–2000 cm^{-1} by a Fourier transform infrared spectrometer. The powdered glass samples were mixed with KBr at a ratio of 1:100 mg of glass powder: KBr.

Results and discussion

Density and Molar volume

Density is an essential parameter for studying the physical properties of a material. The density and molar volume of all glass samples are shown in Figure 1. It was observed that the density increased from 2.552 g/cm3 to 2.581 g/cm^3 as the concentration of MnO_2 in the glass system increased. The increase in the density of the glass is due to the higher molecular weight of MnO_2 in the glass network. The molecular weight of MnO_2 is 86.93 g/mol, and 60.09 g/mol of silica. Thus, adding MnO_2 to the glass system increased the density of the glass samples. Basically, the molar volume represents the volume occupied by one mole of material and it depends on the ionic radius of the modifier. Shelby reported that if the ionic radius of the modifier ions is smaller than the interstices of the glass network their attraction to the oxygen ions can lead to a

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

decrease in consequently decreases the molar volume. The Mn^{2+} ions in the glass network may be inserted to replace Na^{+} ions, decreasing the molar volume at 0.001 mol% MnO_2. This led to shrinkage of the glass structure. The ionic radius of Mn^{2+} ions (0.83 Å) is smaller than that of Na^{+} ions (1.02 Å) (Laopaiboon *et al*., 2014). Then, the increase in molar volume at 0.01 to 1.0 mol% MnO_2 due to Mn^{2+} ions increase in the glass network. Due to the ionic radius of Mn^{2+} is larger than Si^{4+} (the ionic radius of Si^{4+} is 0.400 Å) which is an increase in the bond length or inter-atomic spacing between the atoms, whereby the glass network will expand. This result indicates a decrease in the compactness of the glass by increasing the number of non-bridging oxygens and expands the glass structure. Furthermore, the size of manganese ions can depend on their oxidation state. The ionic radius of manganese (II) ion (Mn^{2+}) is about 0.83 Å, manganese (III) ion (Mn^{3+}) is about 0.67 Å, manganese (IV) ion (Mn^{4+}) is about 0.53 Å. FTIR spectra can check the creation of NBOs at approximately 960 cm^{-1} and as shown in Figure 7.

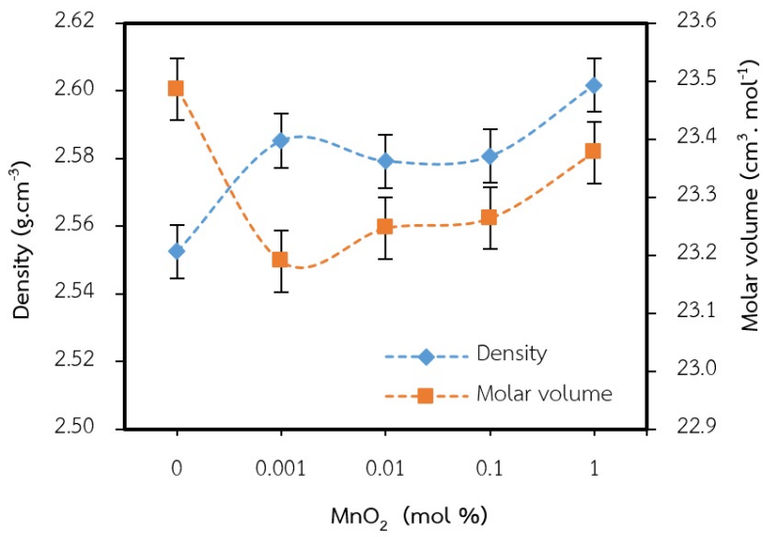


Figure 1. Variation of density and molar volume with the concentration of MnO_2

Ultrasonic velocity and elastic moduli

The ultrasonic velocity, such as the longitudinal and shear velocities, was measured using the pulse-echo technique at a frequency of 4 MHz and room temperature. Ultrasonic velocity measurement is one of the techniques used to study the glass structure. The longitudinal and shear velocities are shown in Figure 2. The longitudinal velocities increased from 5822 m/s to 5891 m/s, and the shear velocities increased from 3402 m/s to 3588 m/s. Adding MnO_2 can create bridging oxygen (BOs) in the glass network. This leads to higher connectivity of the glass network bonds and an increase in the ultrasonic velocities of the glass (Marzouk, 2009). The longitudinal and shear moduli are shown in Figure 3. The elastic moduli, such as longitudinal modulus, shear modulus, bulk modulus, Young's modulus, Poisson's ratio, and microhardness, were calculated using the following equation (3-8). It is well known that the longitudinal and shear moduli directly correlate with glass density. The increase in density leads to an increase in the longitudinal and shear moduli (Laopaiboon *et al*., 2016). From Figure 3., the value of longitudinal modulus increases from 86.5 to 90.2 GPa and increases from 29.5 to 33.5 GPa of the shear modulus.

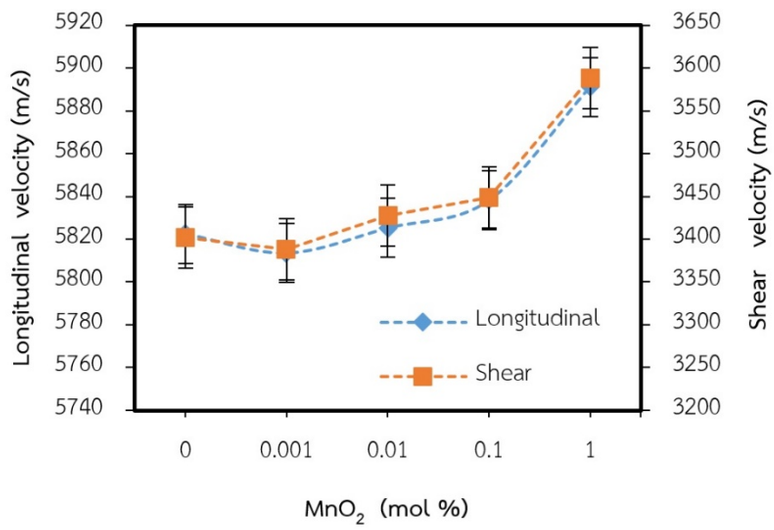


Figure 2. Variation of longitudinal and shear velocities with the concentration of MnO_2

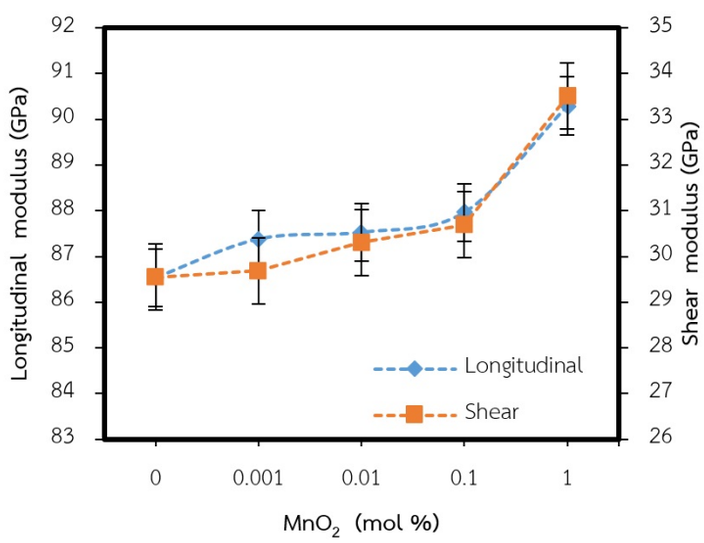


Figure 3. Variation of longitudinal and shear modulus with the concentration of MnO_2

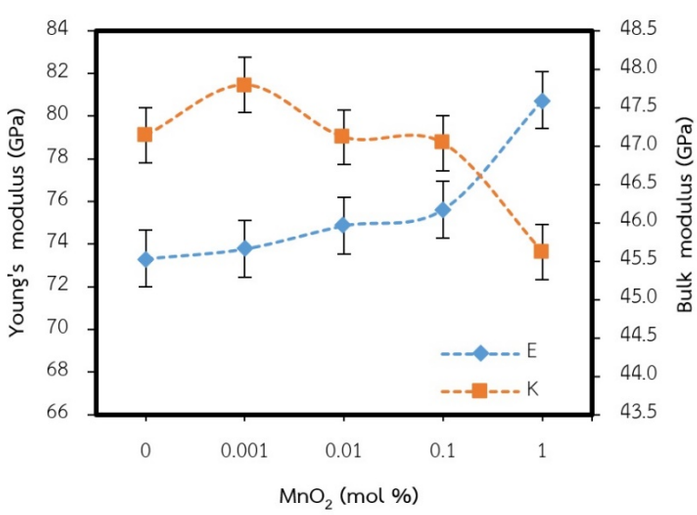


Figure 4. Variation of Young's modulus and Bulk modulus with the concentration of MnO_2

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

The values of Young's modulus and bulk modulus, as shown in Figure 4. Young's modulus increased with an increase in the concentration of MnO_2 in the glass system. The value of Young's modulus increased from 73.3 to 80.7 GPa with an increase in MnO_2 mol% content. The high value of Young's modulus is related to the increase in the rigidity of the glass structure and is associated with the change in the cross-linking of the glass network. The elastic moduli are related to the average strength of the bond and depend on the value of the cation-anion forces (Singh, 2014). However, adding MnO_2 to the glass system decreased the bulk modulus from 47.1 to 45.6 GPa. Poisson's ratio is shown in Figure 5. It can be observed in Figure 5. that the Poisson's ratio decreases from 0.24 to 0.20 with the increase in MnO_2 content. Poisson's ratio reveals a cross-link density in the glass structure. The range of Poisson's ratio 0.1 to 0.2 presents a high cross-link density, while 0.3 to 0.5 is a low cross-link density. In this study, the value of Poisson's ratio remained in the range of a high cross-link density. Adding Mn^{2+} ions to the glass system can create bridging oxygens (BOs) in the glass network. This leads to the formation of bridging oxygen of Mn-O-Si bonds, and the results reveal increasing rigidity of the glass structure (Saddeek *et al*., 2004). In addition, the decrease in Poisson's ratio revealed covalent bonds in the glass structure and a correlation between the number of bridging bonds per cation in the glass system (Zaid, 2011).

The microhardness value, as shown in Figure 6. The micro-hardness of glass samples increases from 5.1 GPa to 6.5 GPa. These results show that the rigidity of the glass sample increased with the addition of MnO_2 to the glass system. Mn^{2+} ions create cross-link density in the glass network.

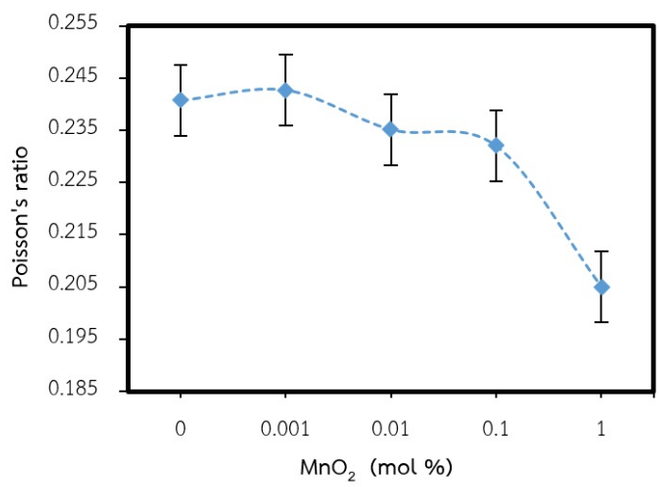


Figure 5. Variation of Poisson's ratio with the concentration of MnO_2

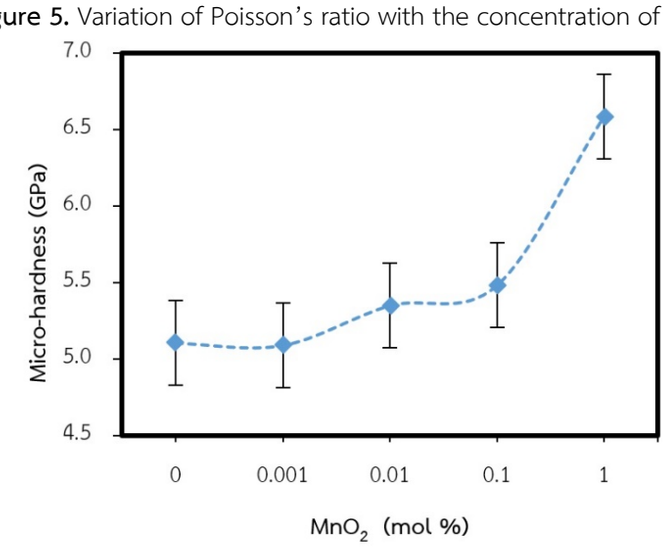


Figure 6. Variation of micro-hardness with the concentration of MnO_2

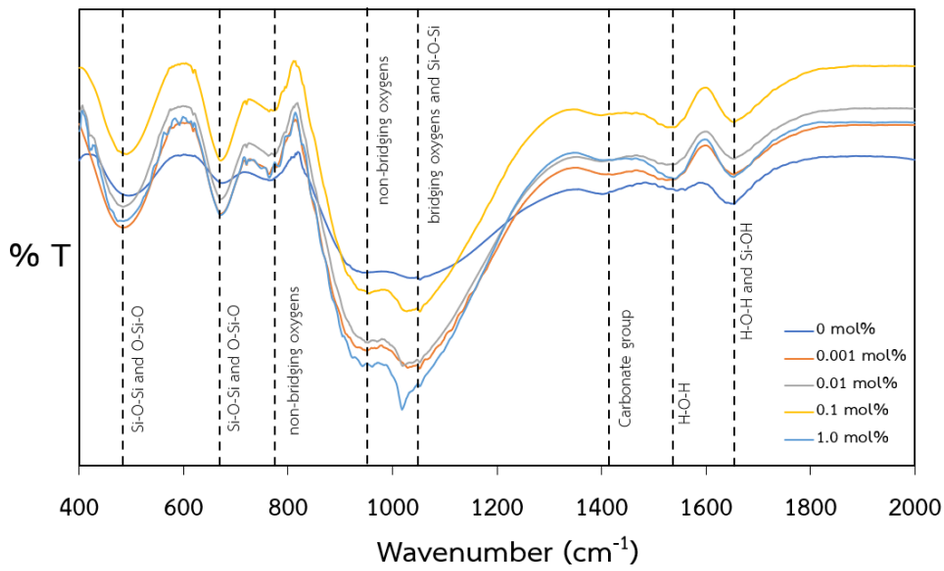


Figure 7. The FTIR spectra of all glass samples

FTIR spectroscopy

The glass samples in this work were measured at room temperature in the wavenumber range of 400 - 2000 cm^{-1}. The FTIR spectra of the glass samples are shown in Figure 7, and the infrared absorption peaks are presented in Table 1. It can be seen that the first region of the IR band in the frequency around 470 cm^{-1} is due to the Si-O-Si bending modes of bridging oxygen. The second peak at approximately 640-680 cm^{-1} corresponds to the vibration of the Si-O-Si and O-Si-O bending modes. The weak IR band located at approximately 775-800 cm^{-1} is assigned to the vibrations of the O-Si-O bonds. The strong peak of the IR spectra at approximately 960 cm^{-1} is the vibrations of nonbridging oxygen (NBO). The absorption at 960 cm^{-1} of the glass sample non-doped with MnO_2 into the glass system is a strong peak. The glass network builds Si-O-Si of nonbridging oxygen (SiO_4) in the network. In addition, MnO_2 doped glass sample (1.0 mol%) had a more substantial peak than the glass sample (non-doped MnO_2). These results show that Mn^{2+} ions can create nonbridging oxygen in the glass network, leading to an open structure of the glass networks. The peak at approximately 1050-1120 cm^{-1} was assigned to the Si–O–Si antisymmetric stretching of Si-O-Si of bridging oxygen (SiO_4). It can be seen that bridging oxygen can be created and increased when adding the MnO_2 into the glass system, owing to the structure of the nonbridging oxygen of SiO_4 and SiO_2, the bridging oxygen of SiO_4 (Abdeldaym, 2021 and ElBatal, 2009). This leads to an increase in the ultrasonic velocity of the glass and elastic moduli. The bands in the region of ~1600 cm^{-1} were assigned to molecular water- or hydroxyl-related bands.

Table1. Depicts the detailed assignments of IR bands in sodium silicate glasses (Abdelghany *et al*., 2014).

Peak position (cm^{-1})	Assignment
460-480	Bending vibration of Si-O-Si linkages
640-680	Si-O-Si and O-Si-O bending
775-800	Symmetric stretching vibrations of O-Si-O bonds
960	Vibrations of non-bridging oxygen (NBO)
1050–1120	Anti-symmetric stretching of Si-O-Si linkages
1400–1460	Carbonate group
1630–1645	Molecular water

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Conclusion

Commercial window glass was recycled and prepared in 90RWG – $10Na_2O$ – $xMnO_2$ system with x = 0.001, 0.01, 0.1, and 1.0 mol% by melt-quenching technique. The density of the glass increased with increasing MnO_2 concentration. The lower molecular weight was substituted with a higher molecular weight (MnO_2). The ultrasonic velocity measurement results showed that the longitudinal and shear velocities increased with the concentration of MnO_2. The increase in the ultrasonic velocity might be due to the Mn^{2+} ions doped in the glass system, which leads to the creation of bridging oxygen atoms in the glass network. The elastic moduli were calculated and improved with increasing MnO_2 content in the glass system. Poisson's ratio was decreased, indicating an increase in cross-link density and rigidity. The microhardness increased with the concentration of MnO_2 doped in the glass system. This is due to the addition of Mn^{2+} ions, which are involved in the glass network by creating ionic bonds between the Mn ions and singly bonded oxygen atoms. FTIR results revealed that increasing the content of MnO_2 can create the formation of bridging oxygen (BOs). The FTIR data corroborated and confirmed the ultrasonic velocity and elastic moduli data.

Acknowledgement

The author wants to express their deep gratitude to Assoc. Prof. Jintana Laopaiboon and Assoc. Prof. Raewat Laopaiboon, Glass Technology Excellent Center (GTEC), Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University for their great support in providing all facilities necessary during this work.

References

Abd El-Malak, N.A. (2002). Ultrasonic studies on irradiated sodium borate glasses. **Materials Chemistry and Physics**, 73, 156–161.

Abdeldaym, A., Sallam, O.I., Ezz-Eldin, F.M., Elalaily, N.A. (2021). Influence of gamma irradiation on the optical, thermal and electrical features of blue commercial glass as potential accident dosimetry. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, 157, 110196.

Abdelghany, A.M., ElBatal, F.H., ElBatal, H.A., EzzElDin, F.M. (2014). Optical and FTIR structural studies of CoO-doped sodium borate, sodium silicate and sodium phosphate glasses and effects of gamma irradiation-a comparative study. **Journal of Molecular Structure**, 1074, 503–510.

Abdel Wahab, E. A., Koubisy, M.S.I., Sayyed, M.I., Mahmoud, K.A., Zatsepin, A.F., Makhlouf, Sayed A., Shaaban, Kh.S. (2021). Novel borosilicate glass system: Na_2B_4O7-SiO_2-MnO_2: Synthesis, average electronics polarizability, optical basicity, and gamma-ray shielding features. **Journal of Non-crystalline Solids**, 553, 120509**.**

Afifi, H., Marzouk, S., (2003). Ultrasonic velocity and elastic moduli of heavy metal tellurite glasses. **Materials Chemistry and Physics**, 80, 517–523.

Bauccio, M.L. (Ed.), (1994). **Engineered Materials Reference Book**, second ed. USA: ASM International.

Bootjomchai, C. and Laopaiboon R., (2012). Structural investigation of borosilicate recycled-barium–bismuth glasses under the influence of gamma-irradiation through ultrasonic and FTIR studies. **Nuclear Engineering and Design**, 248, 28– 34.

Bosca, M., Pop, L., Borodi, G., Pascuta, P., Culea, E. (2009). XRD and FTIR structural investigations of erbium-doped bismuth–lead–silver glasses and glass ceramics. **Alloys and Compounds**, 479, 579–582.

ElBatal, F.H., Abdelghany, A.M. ElBatal, H.A. (2014). Characterization by combined optical and FT infrared spectra of 3d-transition metal ions doped-bismuth silicate glasses and effects of gamma irradiation. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 122 (25), 461-468.

Gaddam, A. Fernandes, Hugo R., Tulyaganov, D.U., Pascual M.J., Ferreira, José M. F. (2014). Role of manganese on the structure, crystallization, and sintering of non-stoichiometric lithium disilicate glasses. **RSC Advances**, 4, 13581.

Gayathri Devi, A.V., Rajendran, V., Rajendran, N. (2010). Ultrasonic characterization of calcium phosphate glasses and glass-ceramics with addition of TiO_2. **International Journal of Engineering Science and Technology**, 2(6), 2483-2490.

Gaafar, M.S., Marzouk S.Y. (2007). Mechanical and structural studies on sodium borosilicate glasses doped with Er_2O_3 using ultrasonic velocity and FTIR spectroscopy. **Physica B**, 388, 294-302.

Khazaalah, H., Shahrim, Iskandar., Sayyed, M. I., Rahman, A., Hisam, R. (2022). Development of Novel Transparent Radiation Shielding Glasses by BaO Doping in Waste Soda Lime Silica (SLS) Glass, **Sustainability**, 14(2), 937.

Laopaiboon, R., Bootjomchai, C. (2014). Glass structure responses to gamma irradiation using infrared absorption spectroscopy and ultrasonic techniques: A comparative study between Co_2O_3 and Fe_2O_3. **Applied Radiation and Isotopes**, 89, 42–46.

Laopaiboon, R., Laopaiboon, J., Pencharee, S., Nontachat, S., Bootjomchai, C. (2016). The effects of gamma irradiation on the elastic properties of soda lime glass doped with cerium oxide. **Journal of Alloys and Compounds**, 666, 292-300.

Marzouk, S.Y. (2009). Ultrasonic and infrared measurements of copper-doped sodium phosphate glasses. **Materials Chemistry and Physics**, 114, 188–193.

Pfaender, H.G., (1996). **Schott Guide to Glass.** London: Chapman & Hall**.**

Prado, M.O., Messi, N.B., Plivelic, T.S., Torriani, I.L., Bevilacqua, A.M., Arribére, M.A., (2001). The effects of radiation on the density of an aluminoborosilicate glass. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 289, 175–184.

Rada, S., Rada, M., Culea, E. (2011). Structural and optical properties of the gadolinium–lead–germanate glasses. **Non-Crystalline Solids**, 357, 62–66.

Singh, K.J., Singh, N., Kaundal, R.S., Singh, K. (2008). Gamma-ray shielding and structural properties of PbO–SiO_2 glasses. **Physics Research B**, 266, 944–948.

Singh, K.J., Kaur, S., Kaundal, R.S. (2014). Comparative study of gamma ray shielding and some properties of PbO–SiO_2–Al_2O_3 and Bi_2O_3–SiO_2–Al_2O_3 glass systems. **Radiation Physics and Chemistry**, 96, 153–157.

Srisittipokakun, N., Kirdsiri, K., Kaewkhaoi, J., Kedkaewdan, C., Limsuwan, P. (2011). Absorption and Coloration of MnO_2 Doped in Soda-lime-silicate and Soda-lime-borate Glasses. **Procedia Engineering**, 8, 261-256.

Sopapan, P., Laopaiboon, J., Jaiboon, O., Gunhakoon, P., Laopaiboon, R. (2019). Effect of zinc oxide on elastic and structural properties of recycled window glass: a comparative study between before and after gamma irradiation. **Journal of Physics: Conference Series**, Ser. 1285-012032.

Saddeek, Y.B., Abd El Latif, L. (2004). Effect of TeO2 on the elastic moduli of sodium borate glasses. **Physica B: Condensed Matter**, 348, 475-484.

Wang, Mi-tang., Cheng, Jin-shu., Li, M., He, F. (2011). Structure and properties of soda lime silicate glass doped with rare earth. **Physica B**, 406, 187–191.

Zaid, M.H.M., Matori, K. A. (2014). Elastic moduli prediction and correlation in soda lime silicate glasses containing ZnO. **Physical Sciences**, 6(6), 1404-1410.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 181 - 191
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.16

Research Article

Isolation of bacteria contained in vermicompost with antifungal activity of chili anthracnose

Saowapha Surawut[1,*] Chutapa Kunsook [1] Sutisa Chaikul [2] and Rujeerat Jaikong[3]
[1]*Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi Province*
[2]*Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi Province*
[3]*Microbiology Program, Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University*
**Email: saowapha.s@rbru.ac.th*

Received <3 April 2023>; Revised <30 May 2023>; Accepted <30 May 2023>

Abstract

The study aimed to isolate bacteria contained in vermicompost with the antifungal activity of chili anthracnose. The causative agent of chili anthracnose was isolated and identified. Subsequently, the bacteria were isolated from vermicompost, their antifungal activities were investigated by the dual culture method and identified by morphology. The results found that the fungal pathogen of chili anthracnose was isolated and identified as *Colletotrichum siamense* by morphological characteristics and sequence analysis of ITS (Internal Transcribed Spacer), GAPDH (Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase), and TUB2 (Beta-tubulin2) gene. Twenty bacterial isolates were isolated from vermicompost. Among these isolates, 4 bacterial isolates revealed antifungal activity against *C. siamense* including B5, B3, A6, and A5 with inhibition percentages as 47.78±3.85%, 34.45±10.72%, 34.44±1.93% and 26.67±3.34%, respectively. These bacterial isolates were presumptively identified by morphology revealing that all bacteria isolated were classified as the endospore-forming gram-positive rod.

Keywords: Vermicompost, Bacteria, Inhibition, Chili Anthracnose

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การคัดแยกแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก

เสาวภา สุราวุธ[1,*] ชุตาภา คุณสุข[1] สุทิศา ชัยกุล[2] และรุจีรัตน์ ใจคง[3]

[1] ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี

[2] คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี

[3]หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี

**Email: saowapha.s@rbru.ac.th*

รับบทความ: 3 เมษายน 2566 แก้ไขบทความ: 30 พฤษภาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 30 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก โดยทำการคัดแยกและระบุชนิดเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก จากนั้นทำการคัดแยกแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน แล้วทำการทดสอบความสามารถของแบคทีเรียในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสด้วยวิธี dual culture และทำการระบุชนิดแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการยับยั้ง ผลการศึกษาพบว่า ทำการคัดแยกเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสและระบุชนิดโดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาร่วมกับการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ จำนวน 3 ตำแหน่ง คือ ITS (Internal Transcribed Spacer), GAPDH (Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase) และ TUB2 (Beta-tubulin2) สามารถระบุชนิดเชื้อราก่อโรคได้เป็น *Colletotrichum siamense* และสามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนได้ จำนวน 20 ไอโซเลต โดยในการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *C. siamense* พบแบคทีเรียที่แสดงผลการยับยั้งเชื้อรา *C. siamense* จำนวน 4 ไอโซเลต คือ B5, B3, A6 และ A5 ซึ่งมีร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 47.78±3.85, 34.45±10.72, 34.44±1.93 และ 26.67±3.34 ตามลำดับ เมื่อทำการระบุชนิดแบคทีเรียด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น พบว่าแบคทีเรียทุกไอโซเลตจัดเป็นแบคทีเรียกลุ่ม endospore-forming gram-positive rod

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน แบคทีเรีย การยับยั้ง โรคแอนแทรคโนสในพริก

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

พริก (*Capsicum* spp.) เป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างหนึ่ง แต่เกษตรกรที่ปลูกพริกกลับประสบปัญหาโรคที่เกิดในพริก ทำให้ผลผลิตเสียหายและไม่ได้ราคา โดยโรคที่เป็นปัญหามากที่สุดในผลผลิตพริกของเกษตรกรคือโรคแอนแทรคโนส (anthracnose) หรือโรคกุ้งแห้ง สาเหตุเกิดจากเชื้อราในสกุล *Colletotrichum* spp. ซึ่งในประเทศไทยพบรายงานเชื้อราสกุลนี้ 4 ชนิดที่ก่อโรคในพริก คือ *Colletotrichum gloeosporioides, C. siamense, C. acutatum* และ *C. capsica* (Suwannarat *et al.*, 2017) ซึ่งเชื้อเหล่านี้สามารถเข้าทำลายต้นพริกได้ทุกระยะและทุกส่วนทั้งลำต้น ใบ ดอก และผลพริก โดยเฉพาะอาการเป็นโรคที่ผลจะทำให้สูญเสียผลผลิตมากและยังเป็นปัญหาที่เกษตรกรยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเกิดโรคบนผลพริกจัดว่าเป็นทั้งโรคก่อนเก็บเกี่ยวและเป็นโรคหลังเก็บเกี่ยว เชื้อรากลุ่มนี้สามารถติดไปกับเมล็ดพันธุ์ อาจอาศัยอยู่ในดิน เศษซากพืชที่เป็นโรคที่ปล่อยทิ้งไว้ในแปลงปลูก หรือพืชอาศัยชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อมยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เชื้อโรคแพร่กระจาย โดยที่เชื้อรากลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส ความชื้น 80% ดังนั้น โรคแอนแทรคโนสจะแพร่กระจายมากและระบาดรุนแรงในช่วงฤดูฝน (Saxena *et al.,* 2016; Than *et al.*, 2008).

การป้องกันและควบคุมโรคที่เกิดขึ้นมีหลายวิธี แต่ส่วนใหญ่เกษตรกรมักใช้สารเคมีในการป้องกันและควบคุมโรคเนื่องจากทำได้ง่ายและเห็นผลเร็ว แต่สารเคมีที่ใช้ทางการเกษตรเป็นสารพิษอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งส่วนมากเกิดจากการสัมผัสสารเคมีหรือใช้สารเคมีไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดความเป็นพิษทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง นอกจากนี้สารเคมียังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ ระบบนิเวศ และห่วงโซ่อาหารอีกด้วย จากข้อเสียของการใช้สารเคมีดังกล่าวข้างต้น จึงควรมีการใช้วิธีการอื่น ๆ ทดแทนการใช้สารเคมี เช่น การควบคุมทางชีวภาพ (biological control) การใช้สารอินทรีย์จากธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการหมักในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สารชีวภัณฑ์ น้ำหมัก ปุ๋ยหมัก (Saxena *et al.,* 2016; Than *et al.*, 2008).

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (vermicompost) เป็นการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เกิดจากซากอินทรียวัตถุรวมทั้งดินและจุลินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลาย ขับถ่ายออกมาเป็นมูล มีลักษณะเป็นเม็ดสีดำ มีธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ได้และยังมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เป็นองค์ประกอบ (Tangsombatvichit and Buranasaksee, 2019). โดยในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมีการใช้ชนิดของไส้เดือนที่แตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา รวมทั้งพบแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่แตกต่างกัน ดังเช่นในรายงานของ Madsen and Alexander (1982) ได้ใช้ไส้เดือนชนิด *Lumbricus rubellus* ซึ่งพบแบคทีเรียในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ช่วยกระตุ้นการสร้างฮอร์โมนพืชเพื่อการเจริญเติบโต คือ *Rhizobium japoicum* และ *Pseudomonas putia* โดยในรายงานของ Vaz-Moreira *et al.* (2008) ใช้ไส้เดือนชนิด *Eisenia foetida* ซึ่งพบแบคทีเรีย *Bacillus* sp., *B. megaterium, B. pumilus* และ *B. subtilis* โดยแบคทีเรียเหล่านี้มีคุณสมบัติในการช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Staphylococcus aureus* และในรายงานของ Yasir *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ใช้ไส้เดือนชนิด *E. foetida* ซึ่งพบแบคทีเรียกลุ่ม Proteobacteria, Bacteroidetes, Verrucomicrobia, Actinobacteria และ Firmicutes โดยแบคทีเรียเหล่านี้มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรค เช่น *Colletotrichum coccodes*, *Rizoctonia solani* เป็นต้น โดยในการศึกษาความสามารถของแบคทีเรียในการยับยั้งเชื้อราก่อโรค *Colletotrichum* spp. มักทำการทดสอบด้วยวิธี dual culture ดังเช่นในรายงานของ Yutthasin *et al.* (2018) ที่ได้นำเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* spp. จำนวน 13 ไอโซเลต มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum acutatum, C. capsici* และ *C. gloeosporioides* โดยวิธี dual culture technique พบว่าเชื้อ *Bacillus* จำนวน 6 ไอโซเลต มีความสามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* ทั้ง 3 ชนิด

วิสาหกิจชุมชน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ได้ทำการผลิตและพัฒนาปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนเพื่อนำมาทดแทนการใช้สารเคมีทางการเกษตร ซึ่งจากการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนในแปลงเพาะปลูกพริกขี้หนูที่พบการระบาดของโรค สังเกตพบว่าต้นพริกขี้หนูมีอัตราการเกิดโรคติดเชื้อราลดลง แต่ทั้งนี้ยังไม่ได้ทำการทดลองอย่างเป็นระบบ โดยมีสมมุติฐานว่าในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนอาจจะมีจุลินทรีย์บางชนิดที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคในพริกได้ โดยวิสาหกิจชุมชนได้ทำการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ผลิตจากการเพาะเลี้ยงไส้เดือนจำนวน 3 สายพันธุ์ร่วมกัน คือ *Eudrilus eugeniqe, Eisenia hortensis* และ *Perionyx excavates* แล้วจึงนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ได้มาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นว่ามีแบคทีเรียชนิดใดบ้างที่เป็นองค์ประกอบในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริกได้ โดยข้อมูลจากงานวิจัยนี้จะช่วยสนับสนุนการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน นอกจากการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนเพื่อส่งเสริมการเจริญของพืชผลทางการเกษตรแล้ว ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนยังอาจมีแบคทีเรียที่มีประโยชน์เป็นองค์ประกอบ เพื่อทดแทนการใช้สารเคมีและเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ชีววิธีในการควบคุมโรค

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อคัดแยกเชื้อแบคทีเรียในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก

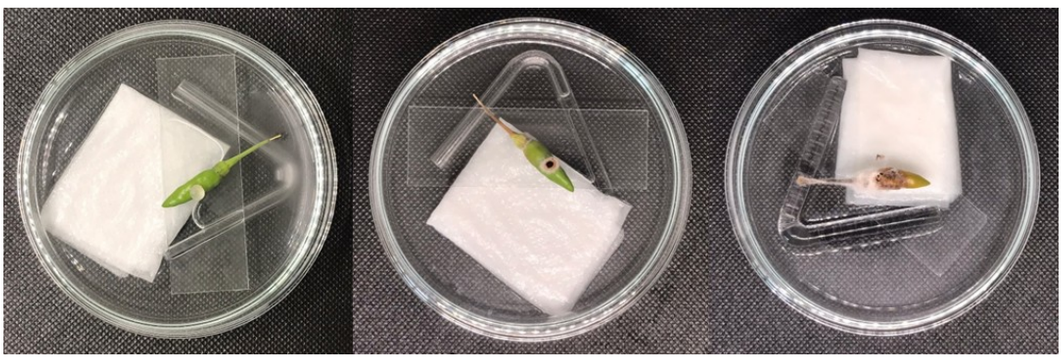
วิธีดำเนินการวิจัย

การคัดแยกเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก

เก็บผลพริกที่มีอาการของโรคจากแปลงของเกษตรกร อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ตัดชิ้นส่วนของพริกที่มีรอยโรคและบริเวณที่มีเนื้อเยื่อปกติ นำมาฆ่าเชื้อภายนอกโดยการแช่ใน 1% Sodium hypochlorite เป็นเวลา 3 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 3 ครั้ง จากนั้นนำชิ้นส่วนพริกมาวางบนอาหารวุ้น Potato Dextrose Agar (HiMedia, India) บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน สังเกตลักษณะโคโลนีที่เจริญออกมาจากชิ้นส่วนของพริก แล้วนำมาแยกเชื้อบริสุทธิ์บนอาหาร PDA อีกครั้ง

การพิสูจน์การเกิดโรค

นำเชื้อราที่แยกได้มาทำการติดเชื้อบนผลพริกปกติ เพื่อพิสูจน์การเกิดโรคตามทฤษฎีของ Koch (Koch's postulation) โดยใช้ cock borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ทำการเจาะวุ้นส่วนขอบโคโลนีของเชื้อรามาวางบนผลพริกที่ไม่เป็นโรค บ่มที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการสังเกตรอยโรคที่เกิดขึ้นบนผลพริก เมื่อสังเกตเห็นผลพริกมีรอยโรคเกิดขึ้น ให้ทำการตัดชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพริกมาวางบนอาหารวุ้น PDA แล้วสังเกตลักษณะโคโลนีและทำการแยกเชื้อซ้ำลงบนอาหาร PDA อีกครั้งหนึ่ง สังเกตลักษณะโคโลนีและศึกษาลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ด้วยการเตรียม slide culture (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การพิสูจน์การเกิดโรคตามทฤษฎีของ Koch (Koch's postulation)

การตรวจสอบชนิดเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก

นำเชื้อราที่ผ่านการพิสูจน์แล้วว่าเป็นเชื้อราก่อโรคพริกจริง นำมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยศึกษาลักษณะโคโลนีบนอาหาร Potato Dextrose Agar (HiMedia, India) และการเตรียม slide culture ด้วยการย้อมสี lactophenol cotton blue เพื่อศึกษาลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400x จากนั้นทำการสกัด DNA ด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป FavorPrep ™ Tissue Genomic DNA Extraction Mini Kit โดยวิธีการตามคู่มือ (Flavogen, Taiwan) แล้วทำการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมด้วยเทคนิค PCR (Polymerase Chain Reaction) เพื่อเพิ่มชิ้นส่วน DNA จำนวน 3 ตำแหน่ง คือ ITS (Internal Transcribed Spacer), GAPDH (Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase) และ TUB2 (Beta-tubulin2) ด้วย primer ดังตารางที่ 1 โดยมีส่วนประกอบปฏิกิริยา PCR ดังตารางที่ 2 และสภาวะการทำปฏิกิริยา PCR ดังตารางที่ 3-5 แล้วทำการตรวจสอบ PCR product ด้วยเทคนิค gel electrophoresis ที่กำลังไฟฟ้า 100 V เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ 2% agarose gel ที่ผสม RedSafe (iNtRONbiotechnology, Korea) ซึ่ง PCR product ที่ได้จะถูกทำให้บริสุทธิ์ด้วยชุดสำเร็จรูป NucleoSpin Gel and PCR Clean-up kit ดังวิธีการตามคู่มือ (Macherey-Nagel, Germany) แล้วนำส่งตรวจสอบหาลำดับนิวคลีโอไทด์ (DNA sequencing) ที่บริษัท เอ ที จี ซี จำกัด (ปทุมธานี ประเทศไทย) จากนั้นนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ไปทำการ BLAST ในฐานข้อมูล GenBank® เพื่อตรวจสอบและยืนยันชนิดของเชื้อราก่อโรค

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตารางที่ 1 Primer ที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมของเชื้อราก่อโรคในพริก

DNA target	Primer	Sequence (5' to 3')	PCR product	Reference
ITS	ITS1 ITS4	TCCGTAGGTGAACCTGCGG TCCTCCGCTTATTGATATGC	600 bp	Raja *et al.* (2017)
GAPDH	GDF-F GDF-R	GCCGTCAACGACCCCTTCATTGA GGGTGGAGTCGTACTTGAGCATGT	300 bp	Khodadadi *et al.* (2020)
TUB2	T1-F T2-R	AACATGCGTGAGATTGTAAGT TAGTGACCCTTGGCCCAGTTG	600 bp	Khodadadi *et al.* (2020)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบปฏิกิริยา PCR ในปริมาตร 20 ไมโครลิตร

ส่วนประกอบ	ปริมาตร (µl)	Final concentration
น้ำกลั่น	6	-
2x mastermix (Apsalagen, Thailand)	10	1x
Forward Primer	1	0.5 µM
Reverse Primer	1	0.5 µM
DNA template	2	10 pg-1 µg

ตารางที่ 3 สภาวะการทำปฏิกิริยา PCR สำหรับตำแหน่ง ITS

PCR profile	Cycle number	Temperature	Time
Initial denaturation	1	95 °C	3 min
Denaturation	35	95 °C	30 sec
Annealing		52 °C	30 sec
Extension		72 °C	1 min
Final extension	1	72 °C	10 min

ตารางที่ 4 สภาวะการทำปฏิกิริยา PCR สำหรับตำแหน่ง GAPDH

PCR profile	Cycle number	Temperature	Time
Initial denaturation	1	95 °C	3 min
Denaturation	35	95 °C	30 sec
Annealing		60 °C	30 sec
Extension		72 °C	45 sec
Final extension	1	72 °C	10 min

ตารางที่ 5 สภาวะการทำปฏิกิริยา PCR สำหรับตำแหน่ง TUB2

PCR profile	Cycle number	Temperature	Time
Initial denaturation	1	95 °C	3 min
Denaturation	35	95 °C	30 sec
Annealing		61 °C	30 sec
Extension		72 °C	45 sec
Final extension	1	72 °C	10 min

การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน

นำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี มาทำการแยกเชื้อแบคทีเรีย โดยนำตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจำนวน 25 กรัม ใส่ในขวดปลอดเชื้อ เทสารละลาย 0.1% peptone water เพื่อเจือจางตัวอย่างให้ได้ตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 ผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำการเจือจางความเข้มข้นตามลำดับ (serial dilution) แล้วทำการ spread plate โดยปิเปตปริมาตรตัวอย่าง 0.1 ml ลงบนอาหาร Plate Count Agar (HiMedia, India) แล้วใช้แท่งแก้วเกลี่ยให้ทั่วจานอาหาร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 – 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการแยกเชื้อให้เป็นโคโลนีเดี่ยวโดยการ cross streak บนอาหาร Nutrient Agar (HiMedia, India) แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 – 24 ชั่วโมง

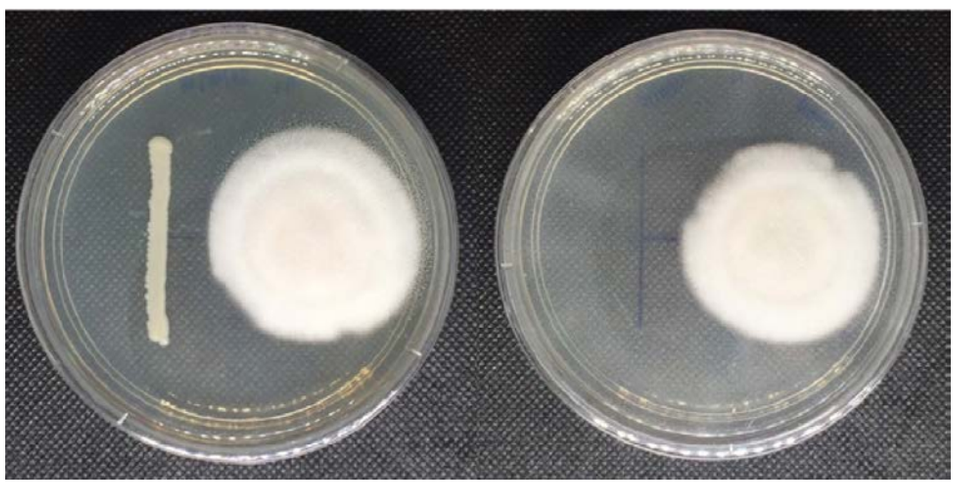
การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก

ทำการเพาะเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้ร่วมกับเชื้อราสาเหตุโรคบนจานเพาะเชื้อเดียวกัน (Dual culture technique) โดยใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะขอบโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพริก อายุ 7 วัน นำมาวางบนอาหาร PDA โดยวางห่างจากขอบจาน 2 เซนติเมตร และใช้ห่วงถ่ายเชื้อ (loop) ทำการขีดลากเชื้อแบคทีเรีย อายุ 24 ชั่วโมง เป็นเส้นตรงในทิศทางตรงข้ามกันและห่างจากขอบจาน 2 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2 โดยมีจานเพาะเชื้อราสาเหตุโรคพริกเพียงอย่างเดียวเป็นจานควบคุมและทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยทำเช่นเดียวกันนี้กับแบคทีเรียแต่ละไอโซเลตที่แยกได้ จากนั้นนำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง โดยสังเกตการเจริญของแบคทีเรียใน 18 – 24 ชั่วโมง และสังเกตการเจริญของเชื้อราในวันที่ 4-7 ของการเพาะเชื้อ เมื่อบ่มจานเพาะเชื้อครบ 7 วัน จึงวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราและนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาร้อยละการยับยั้ง โดยใช้สูตรคำนวณของ Tronsmo (1992)

$$\textbf{ร้อยละการยับยั้ง} = \left(\frac{R1-R2}{R1}\right) x100$$

R1 = ความยาวรัศมีโคโลนีของเชื้อราก่อโรคพริกในจานควบคุม

R2 = ความยาวรัศมีโคโลนีของเชื้อราก่อโรคพริกในจานทดสอบ



ภาพที่ 2 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราก่อโรคพริกกับเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้

การศึกษาชนิดแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก

จากการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก จะทำให้ทราบว่าแบคทีเรียไอโซเลตใดที่มีความสามารถในการยับยั้ง จากนั้นนำมาทำการจัดจำแนกโดยข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น ประกอบด้วย ลักษณะโคโลนี ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยย้อมสีแกรมและการย้อมสีเอนโดสปอร์ โดยทำการเพาะเชื้อบนอาหาร Nutrient Agar (HiMedia, India) อายุ 24-48 ชั่วโมง นำเชื้อแบคทีเรียเกลี่ย (smear) บนกระจกสไลด์ จากนั้นทำการย้อมสีแกรม (Gram staining) โดยการหยดสี crystal violet บนรอยเกลี่ยของเชื้อให้ท่วม ทิ้งไว้ 1 นาที แล้วเทสีทิ้ง ล้างน้ำ หยดสารละลาย Gram's iodine บนรอยเกลี่ยของเชื้อ ทิ้งไว้ 1 นาที เทสารละลายทิ้งแล้วล้างน้ำ ล้างสีออกด้วย ethanol 95% ทิ้งไว้ไม่เกิน 15 วินาที ล้างน้ำสะอาด หยดสี safranin บนรอยเกลี่ย ทิ้งไว้ประมาณ 45-60 วินาที ล้างน้ำและซับให้แห้ง ตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ศึกษาลักษณะเซลล์ การติดสี และการจัดเรียงตัว สำหรับการย้อมสีเอนโดสปอร์ (Endospore staining)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

หยดสี malachite green ให้ท่วมรอยเกลี่ยเชื้อ แล้วลนด้วยเปลวไฟโดยตรง ต้องระวังไม่ให้สีเดือดหรือแห้งไป ถ้าสีเริ่มแห้งให้หยดสีลงบนสไลด์ เรื่อย ๆ อย่าให้แห้ง ย้อมเป็นเวลา 5-10 นาที ปล่อยให้สไลด์เย็นลงแล้วล้างน้ำ ย้อมทับด้วยสี safranin นาน 30-60 วินาที ล้างน้ำ ทิ้งให้แห้ง ตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000X จะเห็นสปอร์ติดสีเขียวของ malachite green ส่วนอื่น ๆ ของเซลล์ติดสีแดงของ safranin

ผลการวิจัย

ผลการระบุชนิดเชื้อราก่อโรคพริก

เพื่อคัดแยกเชื้อราสาเหตุโรคในผลพริกที่พบระบาดในแปลงของเกษตรกร อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี จึงทำการคัดแยกเชื้อราที่เจริญจากเนื้อเยื่อของผลพริก จากนั้นนำเชื้อราที่ได้ไปทำการพิสูจน์การก่อโรค และทำการระบุชนิด พบเชื้อราก่อโรคมีลักษณะโคโลนี เส้นใยสีขาวฟู และลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบการสร้าง conidia และ appressorium (ภาพที่ 3) เมื่อทำการระบุชนิดด้วยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ จำนวน 3 ตำแหน่ง คือ ITS, GAPDH และ TUB2 แล้วนำไปทำการ BLAST ในฐานข้อมูล GenBank ได้ผลดังตารางที่ 6 โดยพบว่าเชื้อราก่อโรคพริกสามารถระบุชนิดได้เป็น *Colletotrichum siamense*

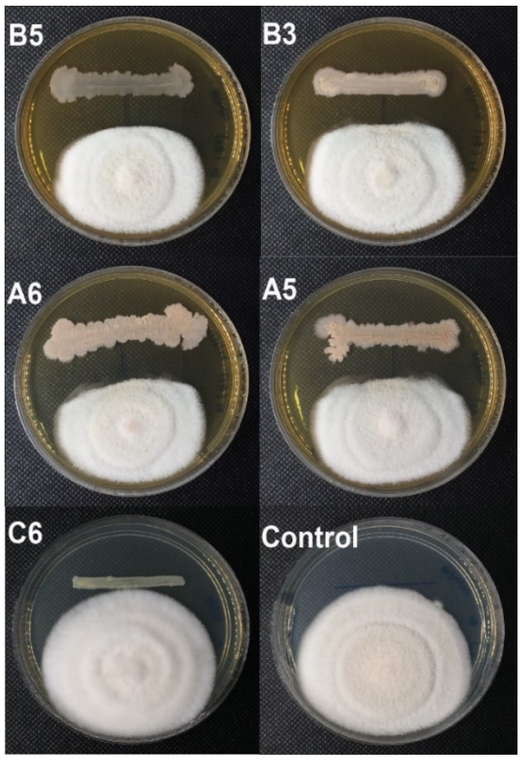
ภาพที่ 3 ลักษณะโคโลนีและลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของเชื้อรา *Colletotrichum siamense* หัวลูกศรสีดำ : appressorium, หัวลูกศรสีขาว : conidia

ตารางที่ 6 ผลการ BLAST ของลำดับนิวคลีโอไทด์ตำแหน่ง ITS, GAPDH และ TUB2 ของเชื้อราก่อโรคพริก

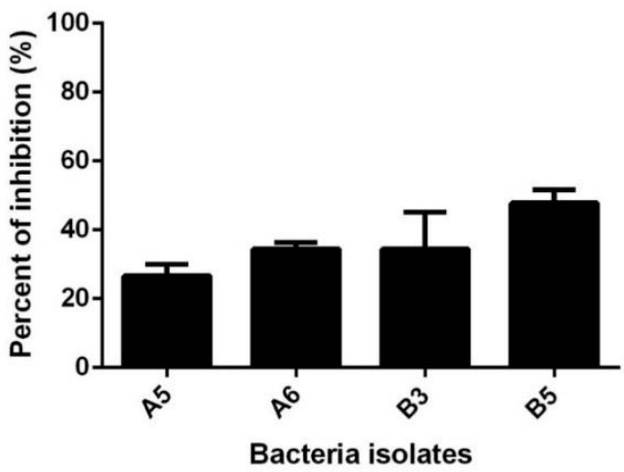
Gene position	Best match (Accession No.)	Similarity (%)
ITS	*Colletotrichum siamense* (MH883640.1)	100
GAPDH	*Colletotrichum siamense* (MK141756.1)	99.59
TUB2	*Colletotrichum siamense* (JF811021.1)	99.57

ผลการคัดแยกแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก

จากการแยกเชื้อแบคทีเรียที่พบในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค cross streak พบแบคทีเรียในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน จำนวน 20 ไอโซเลต (isolates) ในการทดสอบคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก *Colletotrichum siamense* กับเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน พบแบคทีเรียที่แสดงผลการยับยั้งราก่อโรคจำนวน 4 ไอโซเลต คือ B5, B3, A6 และ A5 มีร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 47.78±3.85, 34.45±10.72, 34.44±1.93 และ 26.67±3.34 ตามลำดับ (ภาพที่ 4-5)



ภาพที่ 4 ผลการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum siamense* กับเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน โดย B5, B3, A6 และ A5 คือแบคทีเรียที่แสดงผลการยับยั้ง, C6 คือ แบคทีเรียที่ไม่แสดงผลการยับยั้ง, Control คือ เชื้อรา *Colletotrichum siamense* ในจานควบคุม

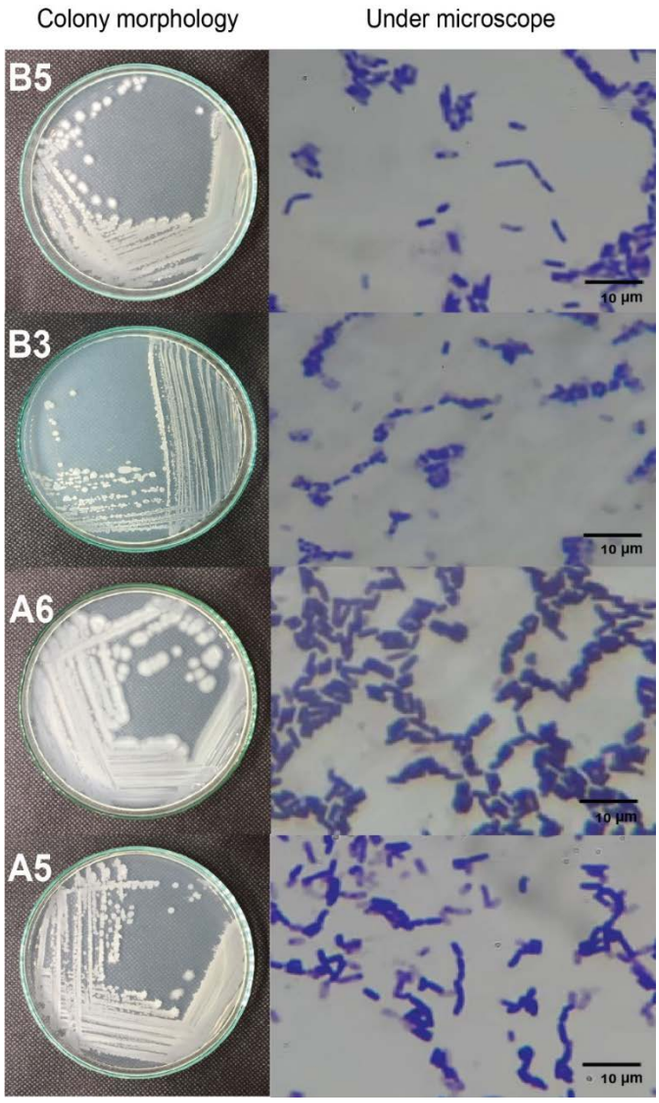


ภาพที่ 5 แผนภูมิร้อยละการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum siamense* กับเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน

ผลการระบุชนิดแบคทีเรียที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราก่อโรคพริก

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น พบว่าแบคทีเรียทุกไอโซเลตโคโลนีมีลักษณะกลม สีขาวครีม ขอบหยัก ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ มีรูปร่างท่อน ต่อกันเป็นเส้นสาย ติดสีแกรมบวก (ภาพที่ 6) เมื่อทำการย้อมเอนโดสปอร์ (endospore) พบว่าทั้งหมดสามารถสร้างเอนโดสปอร์ได้ จึงจัดเป็นแบคทีเรียกลุ่ม endospore-forming gram-positive rod

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



ภาพที่ 6 ลักษณะโคโลนีและลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum siamense*

อภิปรายผล

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการคัดแยกเชื้อราก่อโรคพริกในแปลงเพาะปลูกของเกษตรกร สามารถระบุชนิดเชื้อราก่อโรคพริกได้ว่าเป็น *Colletotrichum siamense* โดยมีรายงานว่าเป็นเชื้อราสาเหตุของโรคแอนแทรคโนส (anthracnose) ในพริก และพบก่อโรคได้ในประเทศไทย (Saxena *et al.,* 2016) จากนั้นจึงทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน พบแบคทีเรีย จำนวน 20 ไอโซเลต แล้วทำการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรค *C. siamense* กับเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้ โดยวิธี Dual culture technique

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า เชื้อแบคทีเรีย B5 ที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนสามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคพริก *C. siamense* ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ ร้อยละ 47.78±3.85 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งน้อยกว่าการศึกษาของ Yutthasin *et al.* (2018) ที่ได้นำเชื้อ *Bacillus* spp. จำนวน 13 ไอโซเลต มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum acutatum, C. capsici* และ *C. gloeosporioides* โดยวิธี dual culture technique เช่นเดียวกัน พบว่าเชื้อ *Bacillus* ไอโซเลต DL7, DL9, B23/2, 19w6, 20w16 และ 20w33 สามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* ทั้ง 3 ชนิด ได้มากกว่า 60% นอกจากนี้ในการศึกษาของ Thapanapongworakul *et al.* (2020) ซึ่งมีการใช้วิธี sealed plate ร่วมด้วยพบว่าเชื้อ *Streptomyces* sp. CT20 สามารถสร้างสารระเหยที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporiodes* Coll-1 ได้ดีที่สุดในเวลา 120 ชั่วโมง โดยมีร้อยละการยับยั้งสูงถึง 64.17

ในการศึกษาครั้งนี้ พบแบคทีเรียที่แสดงผลการยับยั้งเชื้อราก่อโรค *C. siamense* คือ B5, B3, A6 และ A5 มีร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 47.78±3.85, 34.45±10.72, 34.44±1.93 และ 26.67±3.34 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยก

ได้ทุกไอโซเลตมีความสามารถในการยับยั้งที่ไม่ได้แตกต่างกันมาก และการที่มีความสามารถใกล้เคียงกัน มีความเป็นไปได้ว่าอาจจะเป็นเชื้อกลุ่มเดียวกันหรือมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกัน ซึ่งจากการจำแนกด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่ามีลักษณะโคโลนีและลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่คล้ายกัน อย่างไรก็ตามผลการยับยั้งที่แสดงผลไม่เท่ากันอาจเนื่องมาจากเป็นเชื้อแบคทีเรียคนละสปีชีส์หรือคนละสายพันธุ์ (strain) ซึ่งในการระบุชนิดแบคทีเรียด้วยวิธีทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น พบว่าเชื้อแบคทีเรียจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *C. siamense* จากการศึกษาครั้งนี้ เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างท่อน สร้างเอนโดสปอร์ จัดอยู่ในกลุ่ม endospore forming gram positive rod เช่นเดียวกับในรายงานการศึกษาของ Vaz-Moreira *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน พบแบคทีเรียกลุ่ม endospore forming gram positive rod ซึ่งประกอบด้วย *Bacillus* sp., *B. megaterium, B. pumilus* และ *B. subtilis*

ทั้งนี้เชื้อจุลินทรีย์ที่นิยมใช้เพื่อการควบคุมทางชีวภาพ (biological control) และมีการจำหน่ายทางการค้าคือ เชื้อราในสกุล *Trichoderma* โดยมีรายงานวิจัยหลายการศึกษาที่สนับสนุนการใช้เชื้อราชนิดนี้ ดังเช่นในการศึกษาของ Chuenchan *et al.* (2019) พบว่า *Trichoderma harzianum* MKB11 และ MKB01 มีร้อยละการยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชเท่ากับ 86.28 และ 81.51 ตามลำดับ และในการศึกษาของ Thienchai and Nuangmek (2020) พบว่า เชื้อรา *Trichoderma* sp. (L1I3) และ *T. harzianum* (R24I2) มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญของเชื้อรา *Fusarium equiseti* สาเหตุโรคเหี่ยวของเมล่อนได้ถึงร้อยละการยับยั้ง 80.88 และ 84.16 ตามลำดับ ซึ่งเชื้อราสกุล *Trichoderma* สามารถผลิตสารปฏิชีวนะ สารพิษ และเอนไซม์ สำหรับช่วยในการละลายผนังเส้นใยของเชื้อก่อโรคพืชได้และยังสามารถนำมาพัฒนาให้อยู่ในรูปของสารชีวภัณฑ์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เชื้อแบคทีเรียได้มีรายงานการใช้เพื่อเป็นแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมทางชีวภาพ เช่น เชื้อแบคทีเรียในสกุล *Bacillus, Pseudomonas, Paenibacillus* และ *Agrobacterium* ซึ่งมีการจำหน่ายทางการค้า แต่ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับกลไกของเชื้อโรคเป้าหมาย ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ใช้ และสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน โดยมีรายงานว่าสกุล *Bacillus* สามารถผลิตสาร เช่น bacillomycin, mycosubtilin เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อราได้หลายชนิด รวมทั้ง *Colletotrichum* spp. ด้วย (Pal and Gardener, 2006)

ถึงแม้ในการศึกษาครั้งนี้จะพบเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสได้น้อยกว่าในรายงานการศึกษาอื่น แต่จากผลการศึกษาครั้งนี้ก็ทำให้ทราบว่าในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนอำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี มีแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อพืชผลทางการเกษตร เช่น พริก เป็นต้น โดยมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริกคือ *C. siamense* ดังแสดงในผลการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นนอกจากการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนเพื่อส่งเสริมการเจริญของพืชผลทางการเกษตรแล้ว ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนยังมีแบคทีเรียที่มีประโยชน์เป็นองค์ประกอบโดยมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชอีกด้วย

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

เพื่อทำการศึกษาว่าในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ผลิตโดยวิสาหกิจชุมชน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เป็นส่วนประกอบหรือไม่ จึงนำแบคทีเรียที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมาทำการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก โดยสามารถแยกแบคทีเรียได้ จำนวน 20 ไอโซเลต ในจำนวนนี้มี 4 ไอโซเลตที่แสดงผลการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum siamense* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสในพริก คือ B5, B3, A6 และ A5 และมีร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 47.78±3.85, 34.45±10.72, 34.44±1.93 และ 26.67±3.34 ตามลำดับ เมื่อทำการระบุชนิดแบคทีเรียด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้นด้วยลักษณะโคโลนี การย้อมสีแกรม และการย้อมสีเอนโดสปอร์ พบว่า แบคทีเรียทุก ไอโซเลตจัดเป็นแบคทีเรียกลุ่ม endospore-forming gram-positive rod ซึ่งไม่สามารถจำแนกชนิดของแบคทีเรียในระดับสกุลและระดับชนิดได้ ดังนั้นในการระบุชนิดจึงต้องทำการทดสอบปฏิกิริยาชีวเคมีเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถแยกความแตกต่างของชนิดแบคทีเรียได้ รวมทั้งอาจต้องใช้วิธีทางอณูชีววิทยาโดยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณตำแหน่งยีนที่จำเพาะเพื่อให้สามารถระบุชนิดแบคทีเรียได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่าในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมีแบคทีเรียบางชนิดที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก (*Colletotrichum siamense*) ได้ ดังนั้น การใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนทางการเกษตร นอกจากเพื่อการบำรุงต้นพืชแล้ว ยังอาจช่วยยับยั้งการเกิดโรคบางชนิดในพืชได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมภายใต้สภาพโรงเรือนและแปลงปลูกเพื่อยืนยันประสิทธิผลในการควบคุมโรคพืชด้วยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สัญญาเลขที่ 1101/2565)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์

ไม่มี

References

Chuenchan, W., Raksasanoy, S., Yooboriboon, S. and Kitja, W. (2019). Inhibition of *Phytophthora parasitica* by antagonistic molds from Soil's Kuiburi Subdistrict, Prachuap Khiri Khan Province. **Journal of Science Ladkrabang,** 28 (1), 52-64.

Khodadadi, F., González, J. B., Martin, P. L., Giroux, E., Bilodeau, G. J., Peter, K. A., Doyle, V. P. and Aćimović, S. G. (2020). Identification and characterization of *Colletotrichum* species causing apple bitter rot in New York and description of *C. noveboracense* sp. nov. **Scientific Reports,** 10(1), 11043.

Madsen, E.L. and Alexander, M. (1982). Transport of *Rhizobium* and *Pseudomonas* through soil. **Soil Science Society of America,** 46, 557-560.

Pal, K. K. and Gardener, B. M. (2006). Biological control of plant pathogens. **The Plant Health Instructor.** 2: 1117-1142.

Raja, H. A., Miller, A. N., Pearce, C. J. and Oberlies, N. H. (2017). Fungal identification using molecular tools: A primer for the natural products research community. **Journal of natural products,** 80(3), 756–770.

Saxena, A., Raghuwanshi, R., Gupta, V. K. and Singh, H. B. (2016). Chilli Anthracnose: The epidemiology and management. **Frontiers in Microbiology,** 7, 1-18.

Suwannarat, S., Steinkellner, S., Songkumarn, P. and Sangchote, S. (2017). Diversity of *Colletotrichum* spp. isolated from chili pepper fruit exhibiting symptoms of anthracnose in Thailand. **Mycological Progress,** 16(7), 677-86.

Tangsombatvichit, P. and Buranasaksee, U. (2019). Vermicomposting: Biological technology for soil conservation and organic wastes management in Thailand. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology).** 14 (2), 170-181.

Than, P.P., Prihastuti, H., Phoulivong, S., Taylor, P.W. and Hyde, K.D. (2008). Chilli anthracnose disease caused by *Colletotrichum* species. **Journal of Zhejiang University. Science.** B, 9(10), 764–778.

Thapanapongworakul, P., Duongta, W., Truektrakronburi, M. and Srichuwong, S. (2020). Antagonistic potential of *Streptomyces* spp. and *Bacillus subtilis* against phytopathogenic fungus causing anthracnose disease of chilli. **Khon Kaen Agriculture Journal,** 49 (3), 656-667.

Thienchai, P. and Nuangmek, W. (2020). Effect of endophytic fungi *Trichoderma* sp. (L1I3) and *Trichoderma harzianum* (R24 I2) against *Fusarium equiseti* causal agent of melon wilt disease in vitro. **Khon Kaen Agriculture Journal,** 48 Suppl. 1, 1155-1158.

Tronsmo, A. (1992). Leaf and blossom epiphytes and endophytes as biological control agent of plant disease. Pages. 43-54 In: Tjamos, E.C., Papavizas, G.C. and Cook, R.J. (eds.) Biological control of plant disease; progress and challenges for the future. **NATO ASI series. A life sciences** vol 230, Plenum Press, New York.

Vaz-Moreira, I., Silva, M. E., Manaia, C. M. and Nunes, O. C. (2008). Diversity of Bacterial Isolates from Commercial and Homemade Composts. **Microbial Ecology,** 55(4), 714-722.

Yasir, M., Aslam, Z., Kim, S.W., Lee, S.W., Jeon, C.O. and Chung, Y.R. (2009). Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. **Bioresource Technology,** 100, 4396-4403.

Yutthasin, R., Worasatit, N., Thomma, K., Dumkhum, W. and Seelarak, P. (2018). Selection of potential antagonistic *Bacillus* species to broad spectrum for control *Colletotrichum* spp., causal agent of chilli anthracnose disease. **Khon Kaen Agriculture Journal,** 46, Suppl. 1, 1130-1136.

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 6 (Jul. – Dec. 2023): 192 - 205
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.17

Research Article

Use of dielectric property for chemical sensing and measurement

Phurich Keeraticharinpanich[1,3], Duangjai Nacapricha[2,3] and Phoonthawee Saetear[2,3,*]

[1]Master of Science in Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University Rama 6 Road, Ratchatewi, Bangkok 10400 Thailand

[2] Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Rama 6 Road, Ratchatewi, Bangkok 10400 Thailand

[3]Flow Innovation-Research for Science and Technology Laboratories (Firstlabs), Thailand

**Email: phoonthawee.sae@mahidol.ac.th*

Received <29 June 2023>; Revised <22 July 2023>; Accepted <23 July 2023>

Abstract

The use of dielectric property for chemical sensing and measurement in liquid samples was presented. Binary-liquid mixtures were used to demonstrate the applicability and efficiency of the concept. For a mixture of two liquids with different dielectric constants, a new dielectric property is a combination of the two liquids. Thus, quantitative analysis of a liquid in that mixture can be accomplished if we can detect the change in signal due to the change in dielectric constant of liquid mixtures. This work adopts a capacitively coupled contactless conductivity detector (C4D) to measure chemical components in binary-liquid systems. A C4D sensor is lab-made of polytetrafluoroethylene (PTFE) tubing with two metal electrodes placed on the outer wall of the tubing. Parameters that affect the performance of C4D sensor, such as electrical parameters (frequency and voltage supplied to the electrode), tubing size and various types of metal electrodes were investigated. Measuring solution aspirated through the sensing area of electrode gives the changes in C4D signal from the concentration of interested liquid. In this work, various ratios in a binary-liquid mixture of alcohol and water leads the changes in C4D signal response. Quantitative analysis can be carried out using the plot between the response signals of the C4D with target analyte concentration. Rubbing alcohol is selected as a target sample for demonstrating the C4D response to the dielectric property. In the method validation, our developed C4D method gives no significant differences of the quantitative results from gas chromatography. These sensors can readily measure when liquid contacts the sensing areas. Furthermore, it is convenient to use and solvent resistance. Consequently, the sensors can be applicable as portable devices for quality control in the production line as well as in the laboratory.

Keywords: Contactless conductivity, Impedance, Alcohol, Rubbing alcohol, Binary-liquid mixture

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การใช้คุณสมบัติไดอิเล็กทริกในการตอบสนองต่อสารเคมีและการวัดปริมาณ

ภูริช กีรติชรินทร์พาณิชย์[1,3] ดวงใจ นาคะปรีชา[2,3] และ พูนทวี แซ่เตีย[2,3,*]

[1]*หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพระราม 6 ราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย*

[2]*ภาควิชาเคมีและศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพระราม 6 ราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย*

[3]ห้องปฏิบัติการนวัตกรรม-วิจัยการไหลเพื่อวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี *ประเทศไทย*

**Email: phoonthawee.sae@mahidol.ac.th*

รับบทความ: 29 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ: 22 กรกฎาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 23 กรกฎาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการใช้คุณสมบัติไดอิเล็กทริกในการตอบสนองต่อสารเคมีและการวัดปริมาณในตัวอย่างของเหลว โดยได้เลือกของเหลวประเภทสารละลายผสมสองชนิดมาใช้เพื่อสาธิตความสามารถและประสิทธิภาพของหลักการวัด สำหรับสารละลายผสมสองชนิดซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีค่าไดอิเล็กทริกที่ต่างกันนั้น ส่งผลให้ค่าไดอิเล็กทริก รวมของระบบเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเกิดจากการผลรวมของค่าไดอิเล็กทริกขององค์ประกอบทั้งสอง หากเราสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตอบสนองใด ๆ อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงไดอิเล็กทริกได้ เราจะสามารถทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณทางเคมีได้ ในงานนี้ ผู้วิจัยประยุกต์ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลาย หรือที่เรียกว่า capacitively coupled contactless conductivity detector (C4D) มาใช้กับการวัดเชิงปริมาณทางเคมีในตัวอย่างสารละลายผสมสองชนิด ผู้วิจัยได้สร้างตัวตรวจวัด C4D ขึ้นใช้เองทำด้วยท่อพอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน หรือ PTFE ที่ป้ายด้วยหมึกโลหะหรือแถบโลหะบริเวณด้านนอก เพื่อให้บางส่วนนำไฟฟ้าได้และทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดด้านนอกจำนวน 2 อิเล็กโทรด โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของตัวตรวจวัดที่ได้สร้างขึ้นนี้ ได้แก่ ความถี่และศักย์ไฟฟ้าของสัญญาณที่ให้กับอิเล็กโทรด ขนาดของท่อที่ใช้สร้างตัวตรวจวัด C4D และชนิดของโลหะที่นำมาใช้เป็นอิเล็กโทรด ตัวตรวจวัด C4D จะให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงจากตัวทำละลายเมื่อสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างไหลผ่านบริเวณที่มีอิเล็กโทรด การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบในสารละลายผสมระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตอบสนองจากตัวแปรอิมพีแดนซ์ (Z) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณได้โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณตอบสนองของ C4D กับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายได้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในกลุ่มตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผลด้วยตัวตรวจวัด C4D นี้ให้ค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับวิธีแก๊สโครมาโตรกราฟี นอกจากนี้ ตัวตรวจวัด C4D ยังสามารถอ่านผลได้ทันที ใช้งานง่ายและทนต่อสารเคมี จึงเหมาะแก่การพัฒนาเป็นเครื่องมือภาคสนามเพื่องานควบคุมคุณภาพซึ่งสามารถนำไปติดตั้งในโรงงานผลิต รวมถึงการใช้ในการวัดภายในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย

คำสำคัญ: เครื่องตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลาย, อิมพิแดนซ์, แอลกอฮอล์, แอลกอฮอล์ล้างแผล, สารละลายผสมสองชนิด

บทนำ

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิด

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกสามารถแสดงในรูปของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε) ซึ่งเป็นค่าคุณลักษณะเฉพาะของสารที่สนใจพิจารณา ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกนี้มีอยู่ได้ในทุกวัฏภาคของสารทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ตารางที่ 1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารบางชนิด

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารบางชนิด ณ อุณหภูมิ 25°C

สสาร	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε)[ก]
เกลือแกง	6.12
น้ำ	78.3
เอทานอล	24.3
ไอโซโพรพานอล	18.3
อากาศ	1

[ก]CRC Handbook of Chemistry and Physics, 67th Edition

หากพิจารณาค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารที่เป็นของเหลวบริสุทธิ์ จะพบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะสัมพันธ์กับความมีขั้วโดยสัมพัทธ์ของโมเลกุลของเหลว กล่าวคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนเมื่อความเป็นขั้วของโมเลกุลเพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างเช่น ในตารางที่ 1 ความเป็นขั้วของน้ำสูงกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลวอื่น ๆ ดังนั้น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำจึงสูงกว่าตัวทำละลายชนิดอื่นด้วย

หากนำของเหลวบริสุทธิ์ 2 ชนิด มาผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เราจะได้สารละลายใหม่ที่เรียกว่า “สารละลายผสมสองชนิด (binary-liquid mixture)” ซึ่งทำให้ค่าไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิดมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าไดอิเล็กทริกของของเหลวบริสุทธิ์ (Wang and Anderko, 2001) โดยจะเป็นผลรวมของค่าไดอิเล็กทริกของของเหลวบริสุทธิ์ มีรายงานเกี่ยวกับวิธีการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิด (Jayalaxmi *et al.*, 1987; Smith *et al.*, 1998; Sengwa and Sankhla, 2007; Yang *et al.*, 2009; Reynolds and Hough, (1957)) สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น สมการคณิตศาสตร์ของ Lichenecker เป็นสูตรที่ใช้ได้สำหรับการคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิด ดังแสดงในสมการที่ 1 (Gonvinda Raju, 1988)

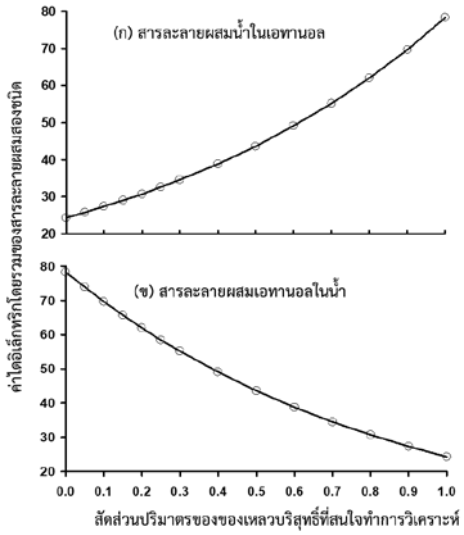
$$\varepsilon_m = \exp\,[V_1 \log\varepsilon_1 + V_2 \log\varepsilon_2] \qquad (1)$$

โดยที่ ε_m คือ ค่าไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิด
ε_1 คือ ค่าไดอิเล็กทริกของของเหลวบริสุทธิ์ชนิดที่ 1
ε_2 คือ ค่าไดอิเล็กทริกของของเหลวบริสุทธิ์ชนิดที่ 2
V_1 คือ สัดส่วนปริมาตรของของเหลวบริสุทธิ์ชนิดที่ 1
V_2 คือ สัดส่วนปริมาตรของของเหลวบริสุทธิ์ชนิดที่ 2

ภาพที่ 1 แสดงกราฟจำลองการคำนวณความสัมพันธ์ตามสมการคณิตศาสตร์ของ Lichenecker เราสามารถจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่คำนวณได้ของสารละลายผสมสองชนิด (ε_m) และสัดส่วนปริมาตรของน้ำ (V_1) และสัดส่วนปริมาตรของเอทานอล (V_2) พบว่า หากพิจารณานำเป็นสารที่สนใจวิเคราะห์ แนวโน้มของการคำนวณ ε_m จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาตรของน้ำ (ภาพที่ 1ก) ถือได้ว่าการเพิ่มปริมาตรน้ำทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำสูงกว่าเอทานอล ทำให้การรวมกันของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม หากพิจารณาเอทานอลเป็นสารที่สนใจวิเคราะห์ ค่า ε_m จะลดลง (ภาพที่ 1ข) ซึ่งมาจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเอทานอลมีค่าต่ำกว่าน้ำ ดังนั้น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิดจึงมีแนวโน้มลดลงนั่นเอง

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

จากกราฟจำลองในภาพที่ 1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิด คือ ผลรวมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่มาจากของเหลวบริสุทธิ์ทั้งสองชนิด ดังนั้น การวิเคราะห์เชิงปริมาณขององค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งที่สนใจในสารละลายผสมสองชนิด จะสามารถทำได้ หากเราสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจากตัวตรวจวัดอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิดนั่นเอง

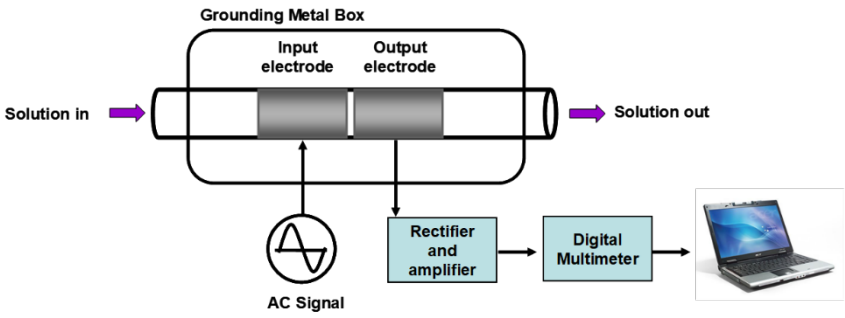


ภาพที่ 1 กราฟแสดงการคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิด ซึ่งผสมกันระหว่าง (ก) น้ำ (ε = 78.3) และ (ข) เอทานอล (ε = 24.3) ซึ่งเป็นของเหลวบริสุทธ์ที่สนใจพิจารณา โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ Lichenecker ในการคำนวณ กำหนดให้ V_1 เป็นสัดส่วนปริมาตรของน้ำ และ V_2 เป็นสัดส่วนปริมาตรของเอทานอล

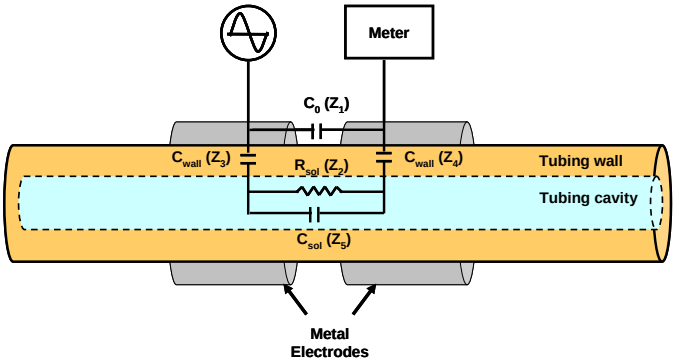
ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลาย

ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลาย หรือที่เรียกว่า capacitively coupled contactless conductivity detector (C4D) จัดเป็นตัวตรวจวัดประเภทอิมพีแดนซ์เซนเซอร์ (impedance sensor) ที่มีความไวต่ออิมพีแดนซ์ของระบบ โดยได้ถูกพัฒนาและนำมาใช้ในเคมีวิเคราะห์ในปี พ.ศ. 2541 (Fracassi Da Silva and Do Lago, 1998; Zemann *et al*., 1998) การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายที่ไหลผ่านเครื่องตรวจจับแบบท่อนี้ยังส่งผลให้ตัวตรวจวัด C4D สามารถตรวจจับสัญญาณได้ แผนผังของเครื่องตรวจจับ C4D แสดงในภาพที่ 2 ท่อฉนวนจะถูกบรรจุในกล่องโลหะสำหรับต่อลงดิน (grounding metal box) และมีแถบการนำไฟฟ้าป้ายอยู่ด้านนอกท่อฉนวนนี้ แถบการนำไฟฟ้า 1 เรียกว่าอิเล็กโทรดขาเข้า (input electrode) ได้รับสัญญาณกระแสสลับแบบ sine wave (AC signal) จากเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (function generator) และสัญญาณ C4D สังเกตได้ที่โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล (digital multimeter) จากแถบการนำไฟฟ้า 2 ที่เรียกว่าอิเล็กโทรดขาออก (output electrode) โดยมีการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นศักย์ไฟฟ้า (rectifier) และขยายสัญญาณ (amplifier)

เพื่ออธิบายและทำนายผลลัพธ์ที่สังเกตได้ วงจรไฟฟ้าสมมูล (equivalent electronic circuit) อย่างง่ายซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ของ C4D ได้ถูกสร้างขึ้นและแก้ไขให้เหมาะสมกับผลการทดลอง ปรากฏการณ์ที่แน่นอนที่เกิดขึ้นในเครื่องตรวจจับ C4D นี้ยังไม่มีรายงานอย่างชัดเจน ซึ่งวงจรสมมูลเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามแต่ละระบบการทดลอง องค์ประกอบทั่วไปที่เหมือนกันในวงจรไฟฟ้าสมมูลประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (capacitor) ที่เชื่อมต่อตามลำดับกับตัวต้านทาน (resistor) ดังแสดงในภาพที่ 3 C_{wall} คือความจุไฟฟ้าเนื่องจากผนังของท่อ (wall capacitance) ในขณะที่ R_{sol} แสดงถึงความต้านทานสารละลาย (solution resistance) ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในบริเวณระหว่างแถบการนำไฟฟ้า C_{sol} คือความจุไฟฟ้าของสารละลาย (solution capacitance) ในขณะที่ C_0 คือความจุไฟฟ้าแบบสเตรย์ (stray capacitance)



ภาพที่ 2 แผนผังของตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลาย (capacitively coupled contactless conductivity detector (C4D))



ภาพที่ 3 วงจรไฟฟ้าสมมูล (equivalent circuit) ของตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลายแบบ capacitively coupled contactless conductivity detector (C4D)

จากวงจรไฟฟ้าสมมูลในภาพที่ 3 ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2 และ 3 เมื่อ j = $\sqrt{-1}$ และ ω คือ ความถี่เชิงมุม อิมพีแดนซ์รวมสำหรับวงจรอนุกรมและวงจรขนานจะรวมกันในลักษณะเดียวกับตัวต้านทาน (R) ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (direct current, DC) สมการที่ 4 แสดงการคำนวณอิมพีแดนซ์รวมสำหรับวงจรสมมูลที่ในภาพที่ 3

ตัวต้านทาน, R: $Z = R$ (2)

ตัวเก็บประจุ, C $Z = -j/(\omega C)$ (3)

$$|Z_{total}| = \frac{\left[\left(\frac{|Z_1||Z_2|}{|Z_1|+|Z_2|}\right)+|Z_3|+|Z_4|\right]|Z_5|}{\left[\left(\frac{|Z_1||Z_2|}{|Z_1|+|Z_2|}\right)+|Z_3|+|Z_4|\right]+|Z_5|} \quad (4)$$

การพิจารณาวงจรไฟฟ้าสมมูลลักษณะนี้ สามารถประยุกต์เพื่อพิจารณากับตัวตรวจวัด C4D ได้เช่นกัน โดยในงานนี้ ผู้วิจัยพิจารณาความจุไฟฟ้าของสารละลายที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε) ของสารละลายผสมสองชนิด ดังแสดงไว้ในสมการ 5 เมื่อ A คือ พื้นที่ของอิเล็กโทรดที่ขนานกัน และ d คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (5)$$

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้น ในงานนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นวิเคราะห์ปริมาณในสารละลายผสมสองชนิดประเภทที่ไม่นำไฟฟ้า (non-electrolyte binary-liquid mixture) ซึ่งความจุไฟฟ้าของสารละลาย (C_{sol}) จะเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสัญญาณ C4D ที่แสดงสัญลักษณ์ Z_5 ตามสมการที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของความจุไฟฟ้าของสารละลาย (C_{sol}) นี้จะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ของเหลวบริสุทธิ์ที่ผสมกันและทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε) โดยรวมของสารละลายผสมสองชนิดก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน (ตามที่ได้กล่าวไปตามในสมการคณิตศาสตร์ของ Lichenecker และกราฟจำลองในภาพที่ 1) แท้จริงแล้ว ความต้านทานของสารละลาย (R_{sol}) มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความจุไฟฟ้าของสารละลาย (C_{sol}) ซึ่งสามารถพิจารณาตัดทิ้งตัวแปรความต้านทานของสารละลายได้ ดังนั้น ระดับความเข้มข้นของของเหลวบริสุทธิ์ที่สนใจวิเคราะห์จะส่งผลต่อสัญญาณ C4D โดยตรง เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย (C_{sol}) และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε) โดยรวมของสารละลายผสมสองชนิดเปลี่ยนแปลงนั่นเอง จากรายงานก่อนหน้านี้ การประยุกต์ตัวตรวจวัด C4D ในลักษณะนี้กับสารละลายผสมสองชนิดประเภทที่ไม่นำไฟฟ้า ยังไม่เคยมีรายงานมาก่อน

การประยุกต์ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลายสำหรับการวิเคราะห์แอลกอฮอล์ในตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล

ในงานนี้ ผู้วิจัยเลือกตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล ซึ่งจัดเป็นตัวอย่างประเภทสารละลายผสมสองชนิด เพื่อสาธิตการประยุกต์ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลาย องค์ประกอบของตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ (เอทานอลหรือไอโซโพรพานอล) และ น้ำ โดยความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ดังกล่าวที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค เชื้อจุลินทรีย์รวมถึงเชื้อโควิด 19 ต้องอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 60 ถึง 90 โดยปริมาตร (*Meyers,* (2021) สำหรับประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) มีข้อกำหนดสำหรับน้ำยาฆ่าเชื้อ ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ว่า ห้ามผลิต นำเข้า และจำหน่ายผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อที่มีเอทานอล ไอโซโพรพานอล เอ็นโพรพานอล หรือส่วนผสมของแอลกอฮอล์เหล่านี้ต่ำกว่าร้อยละ 70 โดยปริมาตร (The Secretariat of the Cabinet, 2020) ซึ่งมีความสอดคล้องกับเกณฑ์ของประเทศอื่นๆ ดังนั้น เพื่อให้ระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผลเป็นไปตามมาตรฐานในการฆ่าเชื้อโรค การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเอทานอล หรือ ไอโซโพรพานอลจึงมีความสำคัญเพื่อการควบคุมคุณภาพ โดยประยุกต์ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลายในลักษณะนี้กับกลุ่มตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ล้างแผลยังไม่เคยมีรายงานมาก่อน

วิธีการดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดลองสำหรับตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลายแบบ C4D

1. เครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (Instek, Model SFG-2104, USA) ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (AC signal) ในรูปแบบคลื่นฟังก์ชันไซน์ เพื่อใช้จ่ายสัญญาณไปยังอิเล็กโทรดขาเข้าบนเครื่อง C4D

2. มัลติมิเตอร์แบบดิจิตัล (Digital Multimeter (DM)) ยี่ห้อ Fluke Digital (Model 8845A, USA) เพื่อใช้ในการวัดสัญญาณจากตัวตรวจวัด C4D

3. เครื่องออสซิลโลสโคปแบบดิจิทัล (รุ่น DS1042C, RIGOL-Technologies, INC., China) ใช้เป็นเครื่องมือวัดความถี่และแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดในการทดลองตัวตรวจวัด C4D

4. เครื่องขยายสัญญาณหรือพรีแอมพลิฟายเออร์ (pre-amplifier, Bangkok High Lab Co., Ltd.) ใช้เพื่อขยายและแปลงสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าออสซิลเลชันที่มาจากอิเล็กโทรดขาออก (output electrode) เป็นกระแสตรง

สารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์

สารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์ที่ใช้ในงานนี้ คือ สารละลายมาตรฐานเอทานอลในน้ำ และสารละลายมาตรฐานไอโซโพรพานอลในน้ำ โดยเตรียมความเข้มข้นร้อยละ 0 ถึง 100 โดยปริมาตร ทุกความเข้มข้นจะเตรียมเป็นปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร เตรียมจากการผสมสัดส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำที่ปราศจากไอออนกับแอลกอฮอล์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9, Merck, Germany) ยกตัวอย่าง เช่น การเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตรนั้น จะเตรียมจากการผสมน้ำปราศจากไอออน 40.00 มิลลิลิตรเข้ากับเอทานอล 10.00 มิลลิลิตร เป็นต้น ผู้วิจัยใช้บิวเรตเป็นอุปกรณ์ในการถ่ายเทปริมาตรสารตามต้องการลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.00 มิลลิลิตร ซึ่งขวดวัดปริมาตรนี้ใช้เพื่อการผสมสารละลายที่สะดวกง่าย และ ป้องกันการระเหยของแอลกอฮอล์ระหว่างการผสม สารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์ที่เตรียมแบบข้างต้นนี้ จะใช้ในการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสัญญาณตอบสนองของหัวตรวจวัด และ ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณในตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล

ตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล

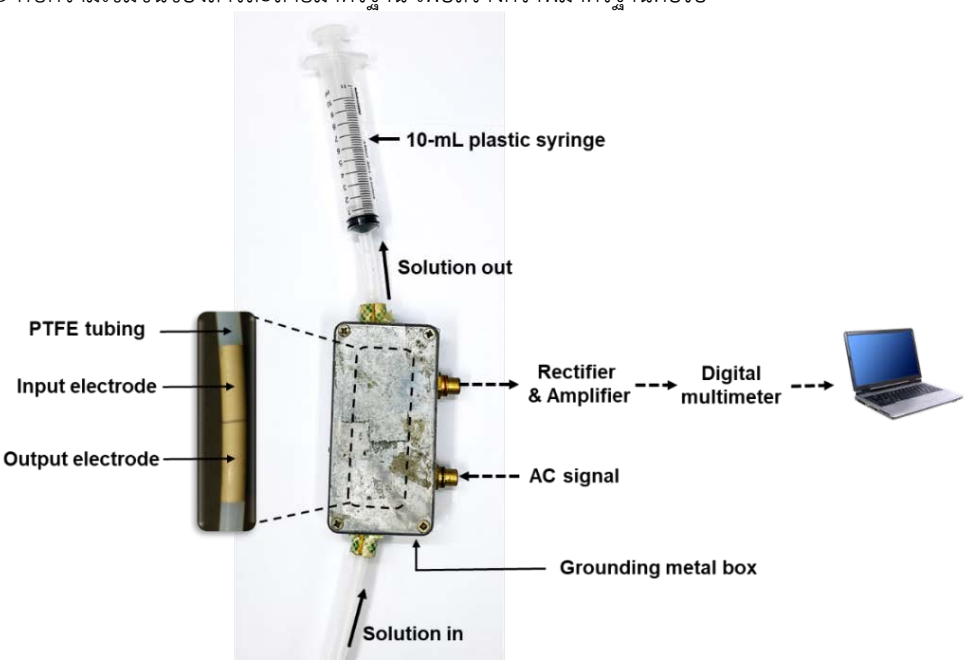
ตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ล้างแผล จำนวน 9 ตัวอย่าง โดยเป็นตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ล้างแผลที่ผลิตจากเอทานอลจำนวน 4 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างสารละลายแอลกอฮอล์ล้างแผลที่ผลิตจากไอโซโพรพานอลจำนวน 5 ตัวอย่าง ตัวอย่าง

ทั้ง 9 ตัวอย่างนี้ ไม่ต้องทำการเจือจางตัวอย่าง สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยตรง การทดลองทำซ้ำจำนวน 3 ครั้งต่อตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์จากตัวตรวจวัด C4D นี้ ได้ทำการเปรียบเทียบกับเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีที่มีเครื่องตรวจวัดชนิดเฟลม ไอออไนเซชัน (HP 6890 Series, Hewlett Packard, USA) โดยใช้คอลัมน์ชนิดแคปปิลารี่ (J&W Scientific DB-WAX, Agilent Technologies, USA)

ตัวตรวจวัด C4D และการวัดสัญญาณ C4D จากสารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์

ตัวตรวจวัด C4D ที่ใช้ในงานนี้ แสดงในภาพที่ 4 ท่อฉนวน PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 มิลลิเมตร ถูกบรรจุในกล่องโลหะสำหรับต่อลงดิน (grounding metal box) ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร และมีแถบการนำไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรดป้ายอยู่ด้านนอกท่อฉนวนนี้ อิเล็กโทรดขาเข้าได้รับสัญญาณกระแสสลับแบบ sine wave (AC signal) จากเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (function generator) และสัญญาณ C4D สังเกตได้ที่โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล (digital multimeter) จากอิเล็กโทรดขาออก โดยมีการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นศักย์ไฟฟ้า (rectifier) และขยายสัญญาณ (amplifier) จากนั้นบันทึกสัญญาณ C4D ด้วยดิจิตัลมัลติมิเตอร์และคอมพิวเตอร์

ในการทดลอง ทำการบันทึกสัญญาณ baseline ที่ได้จากอากาศภายในท่อ PTFE จากนั้นจะนำหลอดฉีดยาพลาสติกขนาด 10 มิลลิลิตร สวมเข้ากับปลายท่อ PTFE ด้านสารละลายขาออก (solution out, ภาพที่ 4) จากนั้นจะทำการจุ่มปลายท่อ PTFE ด้านสารละลายขาเข้า (solution in, ภาพที่ 4) ดึงก้านหลอดฉีดยาพลาสติกเพื่อให้สารละลายมาตรฐาน/สารละลายตัวอย่างไหลเข้ามาในท่อ PTFE โดยไม่ให้สารละลายล้นเข้ามาในหลอดฉีดยา เพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างสารละลาย สัญญาณจากเครื่อง C4D ถูกบันทึกอัตโนมัติตลอดเวลาโดยใช้โปรแกรม Lab VIEW และสัญญาณที่วัดได้จะเป็นความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากแถบการนำไฟฟ้า output electrode (ในงานนี้เรียกว่า สัญญาณ C4D) โดยพลอตความสูงของสัญญาณ C4D กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบตัวตรวจวัด C4D และการต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อบันทึกสั ญญาณ C4D ที่ได้จากทดลอง

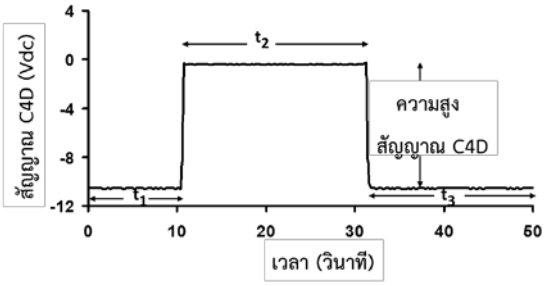
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบขั้นเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณในระบบของเหลวผสมสองชนิด

การทดลองตัวตรวจวัด C4D เบื้องต้นได้ใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออน ภาพที่ 5 แสดงสัญญาณ C4D ที่วัดได้ ช่วงเวลา t_1 คือ สัญญาณของอากาศ (ท่อเปล่า) ซึ่งใช้เป็นสัญญาณ baseline เมื่อน้ำเปล่าถูกดูดด้วยหลอดฉีดยาพลาสติกและกักไว้ภายในท่อเป็นระยะเวลาหนึ่ง ดังแสดงในช่วงเวลา t_2 สัญญาณ C4D ได้จากในช่วงเวลา t_2 นี้มาจากความแตกต่างของคุณสมบัติค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่แตกต่างกันระหว่างอากาศ (ε = 1) และน้ำกลั่นปราศจากไอออน (ε = 78.3) เมื่อได้สัญญาณที่นิ่งระยะหนึ่งจากช่วงเวลา t_2 แล้วจะทำการปล่อยน้ำกลั่นปราศจากไอออนในท่อออก เพื่อให้ได้สัญญาณ baseline กลับมาอีกครั้ง (ช่วงเวลา t_3)

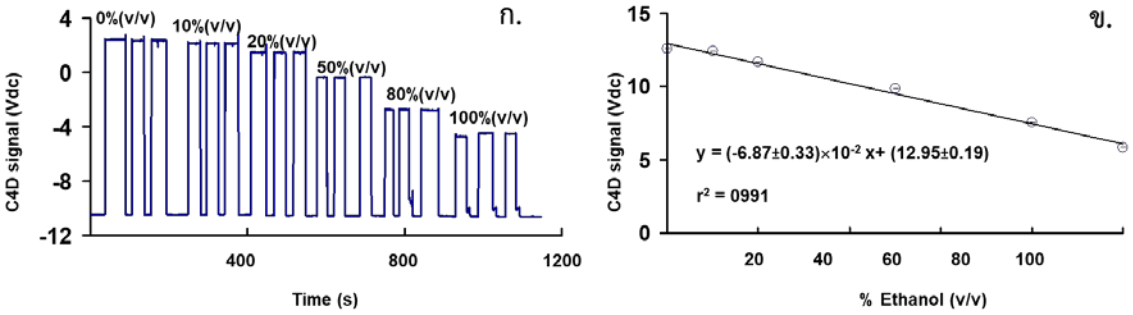
Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สัญญาณ C4D จะพิจารณาจากผลต่างระหว่างสัญญาณ baseline (ท่อเปล่า) และ สัญญาณของน้ำที่ถูกกักไว้ในท่อ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สัญญาณ C4D ของน้ำกลั่นปราศจากไอออน เปรียบเทียบกับสัญญาณ baseline ของอากาศ โดย t_1 และ t_3 คือ สัญญาณจากอากาศ (ท่อเปล่า) และ t_2 คือ สัญญาณจากน้ำกลั่นปราศจากไอออน

จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบตัวตรวจวัด C4D กับสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 โดยปริมาตร แต่ละความเข้มข้นทำการทดลองซ้ำ จำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 6 พบว่าสัญญาณ C4D ของสารละลายเอทานอลทุกความเข้มข้นให้ค่าที่แตกต่างจากสัญญาณ baseline ที่มาจากอากาศ โดยสารละลายเอทานอลร้อยละ 0 โดยปริมาตร (น้ำกลั่นปราศจากไอออน) ให้ค่าสัญญาณ C4D สูงที่สุดจากสารละลายทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเอทานอลมากขึ้น พบว่าแนวโน้มสัญญาณ C4D ที่วัดได้นั้นลดลงตามลำดับ (ภาพที่ 6ก) สัญญาณ C4D ที่ลดลงนี้เกิดจากผลรวมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลงจาก ε เท่ากับ 78.3 (จากน้ำกลั่นปราศจากไอออน) เป็น ε เท่ากับ 24.3 (จากเอทานอลบริสุทธิ์) ดังที่ได้กล่าวไปจากความสัมพันธ์ในภาพที่ 1 และ สมการที่ 1 ถึงแม้ว่าตัวตรวจวัด C4D จะไม่สามารถวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม ตัวตรวจวัด C4D จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกโดยรวมของระบบการวิเคราะห์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับคำอธิบายที่ได้กล่าวไว้ในสมการที่ 4 และ 5 เมื่อนำค่าความสูงสัญญาณ C4D มาพลอตเทียบกับความเข้มข้นของเอทานอลที่เตรียมในน้ำ จะได้กราฟมาตรฐานแสดงดังในภาพที่ 6ข โดยค่าความชันของกราฟมาตรฐานนี้มีค่าเป็นลบ เนื่องจากแนวโน้มการลดลงของผลรวมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายผสมสองชนิดเป็นตัวแปรหลัก จากการทดสอบเบื้องต้นของตัวตรวจวัด C4D บ่งชี้ว่าตัวตรวจวัดนี้ใช้ได้กับการวิเคราะห์เชิงปริมาณในสารละลายผสมของของเหลวผสมแบบสองชนิด

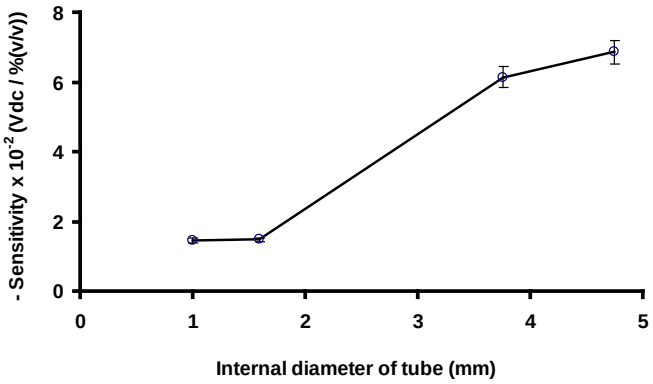


ภาพที่ 6 (ก) สัญญาณ C4D ของสารละลายมาตรฐานเอทานอลร้อยละ 0 ถึง 100 โดยปริมาตร และ (ข) กราฟมาตรฐานของสารละลายเอทานอลในน้ำ

ขนาดท่อพลาสติก PTFE สำหรับการสร้างตัวตรวจวัด C4D

ท่อฉนวนที่นำมาทดลองใช้ในการสร้างตัวตรวจวัด C4D มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ PTFE ดังนี้ 1.00, 1.59, 3.76 และ 4.75 มิลลิเมตร จากผลการทดลองในภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัด (sensitivity) ในการตอบสนองของสัญญาณเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อขนาดที่ใหญ่ขึ้น อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของปริมาณของสารละลายที่อยู่ในท่อของตัวตรวจวัด C4D มีปริมาณเอทานอลมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย (C_{sol}) (สมการที่ 5) และค่าอิมพีแดนซ์ของ C_{sol} (Z5 ในสมการที่ 4 และภาพที่ 3) มีค่าสูงขึ้น จึงส่งผลให้สัญญาณ C4D ที่วัดได้สูงขึ้นตามด้วยนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การเลือกขนาดของท่อฉนวนเพื่อสร้างตัวตรวจวัด C4D นี้ ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งานว่าต้องการ

ความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัดมากน้อยเพียงใด สำหรับในงานนี้ ผู้วิจัยเลือกขนาดท่อฉนวน PTFE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.75 มิลลิเมตร



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความไวของการวิเคราะห์ของตัวตรวจวัด C4D กับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อขนาดต่าง ๆ ตัวแปรควบคุม: หมึกเงินเป็นวัสดุนำไฟฟ้าที่มีขนาดความยาวอิเล็กโทรด 20 มิลลิเมตร ช่องว่างอิเล็กโทรด 1.0 มิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 20 V_{pp} และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ 100 kHz

ชนิดของแถบโลหะตัวนำไฟฟ้าสำหรับการสร้างอิเล็กโทรด

วัสดุนำไฟฟ้าถูกเคลือบบนท่อด้านนอกสำหรับการผลิตอิเล็กโทรดของตัวตรวจวัด C4D ในงานนี้ ได้เลือกใช้หมึกเงิน แผ่นทองแดง และเทปอลูมิเนียมเพื่อใช้ทดลองเป็นวัสดุนำไฟฟ้า โดยทดสอบด้วยการสร้างกราฟมาตรฐานของเอทานอลในน้ำ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ภาพของวัสดุนำไฟฟ้าและสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานที่ได้จากวัสดุนำไฟฟ้า 3 ชนิดที่เคลือบด้านนอกของท่อฉนวน PTFE

ชนิดของวัสดุนำไฟฟ้า	ความนำไฟฟ้า ($\times 10^6 S.m^{-1}$)	สมการกราฟมาตรฐาน (0-100%(v/v) ethanol in water)	r^2
หมึกเงิน	63.0	$y = (-8.34\pm0.41)\times10^{-2} + (14.90\pm0.22)$	0.991
แผ่นทองแดง	59.6	$y = (-7.53\pm0.37)\times10^{-2} + (13.15\pm0.20)$	0.991
เทปอลูมิเนียม	37.8	$y = (-7.02\pm0.37)\times10^{-2} + (12.72\pm0.18)$	0.991

ตัวแปรควบคุมดังต่อไปนี้: เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ PTFE 4.75 มิลลิเมตร, ความยาวอิเล็กโทรด 20 ซม., ช่องว่างอิเล็กโทรด 1.0 มม., ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า 20 V_{pp} และความถี่กระตุ้น 100 kHz x คือความเข้มข้นร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอลในน้ำ y คือ สัญญาณ C4D (V_{dc})

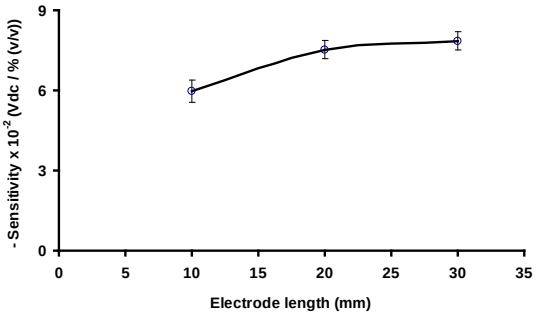
ผลการทดลองเป็นไปตามที่คาดไว้ กล่าวคือ หมึกเงินทำหน้าที่เป็นวัสดุนำไฟฟ้าซึ่งให้ความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัด C4D (ตัวแปร A ในสมการที่ 5 พิจารณาจากความชันของกราฟมาตรฐาน) สูงกว่าแผ่นทองแดงและเทปอะลูมิเนียมตามลำดับ จากผลการทดลองมีเหตุผลสองประการในการเลือกหมึกเงินเป็นวัสดุนำไฟฟ้าเพื่อเคลือบด้านนอกของท่อ PTFE ดังนี้ ประการแรก คือ ความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัดสูงกว่าวัสดุนำไฟฟ้าอื่น ๆ เนื่องจากเงินมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด (ตารางที่ 2) และประการที่ 2 คือ หมึกเงินสามารถติดกับท่อได้ง่าย (อิเล็กโทรดเรียบไปกับผิวด้านนอกของท่อฉนวน PTFE) ในขณะที่

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

การหุ้มแผ่นทองแดงรอบท่อ PTFE นั้น ทำได้ยาก (มีโอกาสที่จะไม่เรียบและมีฟองอากาศด้านใน) และ เทปอลูมิเนียม มีความเสี่ยงสูงต่อการถูกขูดลอก ดังนั้น ในงานนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกหมึกเงินเป็นวัสดุนำไฟฟ้าเพื่อเคลือบด้านนอกของท่อ PTFE

ความยาวของแถบอิเล็กโทรด

ค่าความจุไฟฟ้าของผนังท่อ (C_{wall} ในภาพที่ 3) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของแถบอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากขนาดพื้นที่ของตัวเก็บประจุ (ตัวแปร A ในสมการที่ 5) เพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 8 โดยจะพบว่าแถบความยาวอิเล็กโทรดที่ 20 และ 30 มิลลิเมตร ให้ความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัดที่ไม่แตกต่างกัน และมากกว่าแถบความยาวอิเล็กโทรดที่ 10 มิลลิเมตร ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้แถวความยาวอิเล็กโทรดที่ 20 มิลลิเมตร เนื่องจากใช้ปริมาณหมึกเงินที่น้อยกว่า



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความไวของการวิเคราะห์ของตัวตรวจวัด C4D กับแถบความยาวอิเล็กโทรดขนาดต่าง ๆ ตัวแปรควบคุม: หมึกเงินเป็นวัสดุนำไฟฟ้าบนท่อ PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ PTFE 4.75 มิลลิเมตร ช่องว่างอิเล็กโทรด 1.0 มิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 20 V_{pp} และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ 100 kHz

ช่องว่างระหว่าง 2 อิเล็กโทรด

ในงานนี้ ช่องว่างของอิเล็กโทรด หมายถึง ช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดสองอันซึ่งอยู่ที่ด้านนอกของผนังท่อ ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้เกิดเป็นความจุไฟฟ้าแบบสเตรย์ (C_0 ในภาพที่ 3) ผู้วิจัยทำการศึกษาผลของช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดต่อความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัด ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3 พบว่าความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัดจากช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด 1 และ 3 มิลลิเมตรให้ค่าไม่แตกต่างกัน และความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัดจะลดลงเมื่อเพิ่มระยะช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดเป็น 5 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองอาจสรุปได้ว่า การเพิ่มช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดอาจเพิ่มความจุไฟฟ้าแบบสเตรย์ (C_0) ซึ่งเป็นความจุที่ไม่ต้องการในการทดลอง ความจุไฟฟ้า C_0 นี้สามารถเกิดขึ้นได้เองโดยมาจากอากาศหรือพื้นที่ท่อระหว่างอิเล็กโทรดที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุไดอิเล็กทริก ซึ่งในการทดลองนี้ไม่สามารถกำจัดออกได้ ดังนั้น ในงานนี้ ผู้วิจัยเลือกช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด 1 มิลลิเมตร เป็นระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นการประหยัดการใช้หมึกเงิน (ส่วนที่ตัดออกไปสำหรับช่องว่าง 1 มิลลิเมตร น้อยกว่าส่วนที่ตัดออกไปสำหรับช่องว่าง 3 มิลลิเมตร)

ตารางที่ 3 ผลของช่องว่างระหว่าง 2 อิเล็กโทรดต่อความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัดของสารละลายเอทานอลในน้ำร้อยละ 0 ถึง 100 โดยปริมาตร

ช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด (มิลลิเมตร)	สมการกราฟเส้นตรง[n]	r^2
1	$y = [(-7.61\pm0.32)\times10^{-2}]x + (15.81\pm0.17)$	0.993
3	$y = [(-7.79\pm0.39)\times10^{-2}]x + (11.98\pm0.21)$	0.990
5	$y = [(-6.88\pm0.22)\times10^{-2}]x + (8.08\pm0.12)$	0.996
10	$y = [(-5.05\pm0.57)\times10^{-2}]x + (4.91\pm0.31)$	0.951

[n]ตัวแปรควบคุมของระบบ ท่อ PTFE เคลือบด้วยหมึกเงินเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 มิลลิเมตร ความยาวของอิเล็กโทรด 20 มิลลิเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า 20 V_{pp} และความถี่กระตุ้น 100 kHz; x: ความเข้มข้นของเอทานอลในน้ำ (ร้อยละโดยปริมาตร) และ y: สัญญาณ C4D (V_{dc})

ศักย์ไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าสลับแบบ sine wave ที่จ่ายให้แก่อิเล็กโทรดขาเข้า

เพื่อที่จะให้ได้ความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัด C4D ที่สูงสุด ผู้วิจัยได้ทดสอบระบบด้วยการเปลี่ยนแปลงการแรงดันไฟฟ้าขาเข้าซึ่งเป็นสัญญาณกระแสสลับ (AC) แบบ sine wave ที่สร้างจากเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน โดยให้มีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 5 ถึง 20 V_{pp} ผลการทดลองที่ได้จากแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ต่างกันแสดงไว้ในตารางที่ 4 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความไวของตัวตรวจวัด C4D เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ในงานนี้ ผู้วิจัยเลือกแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 20 V_{pp} เนื่องจากให้ความไวขอตัวตรวจวัด C4D สูงที่สุด

ตารางที่ 4 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้าต่อความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัดของสารละลายเอทานอลในน้ำร้อยละ 0 ถึง 100 โดยปริมาตร

ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า (V_{pp})	สมการกราฟเส้นตรง[n]	r^2
5	$y = (-0.87\pm0.06)\times10^{-2} + (1.13\pm0.03)$	0.983
10	$y = (-4.35\pm0.18)\times10^{-2} + (6.33\pm0.21)$	0.993
15	$y = (-6.07\pm0.28)\times10^{-2} + (11.07\pm0.15)$	0.992
20	$y = (-7.56\pm0.35)\times10^{-2} + (14.65\pm0.19)$	0.991

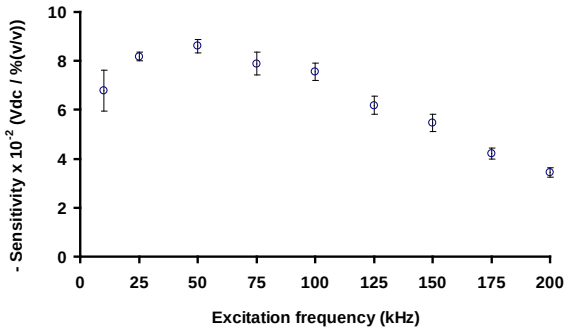
[n]ตัวแปรควบคุมของระบบ ท่อ PTFE เคลือบด้วยหมึกเงินเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 มิลลิเมตร ความยาวของอิเล็กโทรด 20 มิลลิเมตร และความถี่กระตุ้น 100 kHz; x: ความเข้มข้นของเอทานอลในน้ำ (ร้อยละโดยปริมาตร) และ y: สัญญาณ C4D (V_{dc})

ความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับแบบ sine wave ที่จ่ายให้แก่อิเล็กโทรดแถบที่ 1 (input electrode)

เครื่องกำเนิดฟังก์ชันถูกใช้เพื่อสร้างสัญญาณกระแสสลับในรูปแบบ sine wave ให้กับ input electrode โดยปกติแล้วความถี่ของ sine wave (frequency, f) จะส่งผลต่อสัญญาณ C4D เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์แต่ละค่า (Z1-Z5 ในภาพที่ 3) สัมพันธ์กับกับความถี่ดังแสดงในสมการที่ 3 และ 4 อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์เชิงไฟฟ้าดังกล่าว สามารถเขียนให้อยู่ในสมการดัดแปลง ดังแสดงในสมการที่ 6 ได้สำรวจการพึ่งพาสัญญาณ C4D ตามความถี่โดยใช้แรงดันกระตุ้นคงที่ที่ 20 V_{pp}

$$|\mathbf{Z}| = \sqrt{\mathbf{R}^2 + \frac{1}{\mathbf{C}^2\omega^2}} \quad , \omega = 2\pi f \qquad (6)$$

ภาพที่ 9 แสดงผลการทดลองศึกษาความถี่ต่อวามไวในการวิเคราะห์ของตัวตรวจวัด C4D ความถี่กระตุ้นที่ใช้ทดลองเริ่มตั้งแต่ 10 ถึง 200 kHz สังเกตว่าเมื่อเพิ่มความถี่จาก 10 เป็น 50 kHz ความไวของตัวตรวจวัด C4D จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จากนั้นความไวของตัวตรวจวัดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้ความถี่กระตุ้นมากกว่า 50 kHz ซึ่งผลนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้สมการ 3 ว่าความถี่แปรผกผันกับอิมพีแดนซ์ของ C ($Z \propto 1/f$) ผู้วิจัยได้เลือกความถี่ 50 kHz เป็นความถี่ที่เหมาะสม เนื่องจากความถี่นี้ให้ความไวสูงสุดและสูงพอที่จะลดความจุไฟฟ้าจากผนังของอิเล็กโทรดที่ผนังท่อ (C_{wall}) นอกจากนี้ ที่ความถี่ 50 kHz ให้ปรากฏการณ์ที่สะท้อนเฉพาะความต้านทาน (R_{sol}) และความจุไฟฟ้า (C_{sol}) ของสารละลายที่กำลังทำการวัด ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดอิมพีแดนซ์ของตัวตรวจวัด C4D



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความไวในการตอบสนองของตัวตรวจวัด C4D ที่ได้จากความถี่กระตุ้นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 10 ถึง 200 kHz

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

คุณลักษณะการวิเคราะห์ของตัวตรวจวัด C4D สำหรับการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล

จากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้สรุปสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ สำหรับตัวตรวจวัด C4D เพื่อวิเคราะห์สารละลายเอทานอลในน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สภาวะตัวแปรควบคุมที่เหมาะสมสำหรับตัวตรวจวัด C4D เพื่อวิเคราะห์สารละลายเอทานอลในน้ำ

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ PTFE	4.75 มิลลิเมตร
2. วัสดุตัวนำไฟฟ้าที่ใช้สร้างแถบอิเล็กโทรด	หมึกเงิน
3. ความยาวของแถบอิเล็กโทรด	20 มิลลิเมตร
4. ช่องว่างระหว่าง 2 แถบอิเล็กโทรด	1 มิลลิเมตร
5. ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า	20 V_{pp}
6. ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า	50 kHz

ภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 7 เมื่อทดสอบด้วยสารละลายมาตรฐานเอทานอลในน้ำจะได้คุณลักษณะการวิเคราะห์ของตัวตรวจวัด C4D ดังแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งครอบคลุมระดับความเข้มข้นของกลุ่มแอลกอฮอล์เป้าหมายที่ต้องการวิเคราะห์ โดยไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างและกำจัดสีของสารละลายตัวอย่างออกก่อนวิเคราะห์

ตารางที่ 8 คุณลักษณะการวิเคราะห์ของตัวตรวจวัด C4D สำหรับวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล

คุณลักษณะ	ค่าของคุณลักษณะ
1. ช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง	EtOH: 10-100%(v/v)
	i-PrOH: 10-100%(v/v)
2. สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน	EtOH: $y = -0.0975x - 0.4948$, $r^2 = 0.998$
	i-PrOH: $y = -0.1348x - 1.3761$, $r^2 = 0.990$
3. ความเที่ยง (%RSD, n=10)	70% (v/v) EtOH = 0.14%
	70% (v/v) i-PrOH = 0.77%
4. Limit of detection (3SD of regression/slope)	EtOH = 1.66%(v/v)
	i-PrOH = 1.10%(v/v)
5. Limit of quantitation (10SD of regression/slope)	EtOH = 5.54%(v/v)
	i-PrOH = 3.64%(v/v)

การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล

ตัวตรวจวัด C4D ที่พัฒนาขึ้น ได้นำมาทดสอบการใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผลเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์เป้าหมาย คือ เอทานอล และไอโพรพานอล โดยได้ทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้กับเทคนิค GC-FID จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 9 จะพบว่าตัวตรวจวัด C4D สามารถตอบสนองต่อองค์ประกอบอื่นในกลุ่มที่ตัวอย่างที่เลือกมาศึกษา สำหรับตัวอย่าง E1 ถึง E3 พบว่าค่าความเข้มข้นเอทานอลที่อ่านได้จากตัวตรวจวัด C4D มีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเทคนิค GC-FID และ ค่าที่ระบุไว้ที่ฉลากตัวอย่าง เนื่องจากในตัวอย่าง E1 ถึง E3 มีองค์ประกอบอื่น ๆ นอกเหนือจากน้ำและเอทานอล เช่น อะซิโตน โพรพิลีนไกลคอล และ สารสกัดธรรมชาติ ซึ่งผู้ผลิตได้เติมลงไปเพื่อวัตถุประสงค์บางอย่าง ส่งผลให้สารละลายตัวอย่าง E1 ถึง E3 ไม่จัดเป็นสารละลายผสมสองชนิด ดังที่ได้กล่าวถึงการตอบสนองของตัวตรวจวัดประเภท C4D อาศัยเรื่องความจุไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ ซึ่งจะสามารถตอบสนองต่อองค์ประกอบทั้งหมดในสารละลายที่สนใจจะวิเคราะห์ หรือตอบสนองต่อค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย C_{sol} นั่นเอง

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาตัวอย่าง E4 และ P1 ถึง P5 พบว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณจากตัวตรวจวัด C4D ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับเทคนิค GC-FID อย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (*t*-Test: Paired Two Sample for Means; t_{stat} = 0.246 และ $t_{critical}$ = 2.78)

ตารางที่ 9 ปริมาณแอลกอฮอล์ในสารละลายแอลกอฮอล์ล้างแผล 9 ชนิดจากตัวตรวจวัด C4D และเทคนิค GC-FID

ตัวอย่าง	ปริมาณแอลกอฮอล์ในสารละลายแอลกอฮอล์ (ร้อยละโดยปริมาตร)			[ก]องค์ประกอบอื่น ๆ (ร้อยละโดยปริมาตร) ที่ระบุไว้ที่ฉลากตัวอย่าง
	ตัวตรวจวัด C4D	เทคนิค GC-FID	ค่าที่ระบุไว้ที่ฉลากตัวอย่าง	
E1	92.22 ± 0.84	64.21 ± 0.40	70	อะซิโตน (18)
E2	34.95 ± 0.73	73.35 ± 0.37	73.7	โพรพิลีนไกลคอล (1.5)
E3	396.53 ± 0.19	70.26 ± 0.20	70	สารสกัดธรรมชาติ
E4	70.67 ± 0.50	70.54 ± 0.44	70	-
P1	63.42 ± 1.33	63.03 ± 0.33	70	-
P2	62.43 ± 0.17	63.17 ± 1.58	70	-
P3	62.69 ± 0.07	63.89 ± 0.74	70	-
P4	73.31 ± 0.07	69.53 ± 0.28	70	-
P5	64.98 ± 0.13	68.72 ± 0.26	70	-

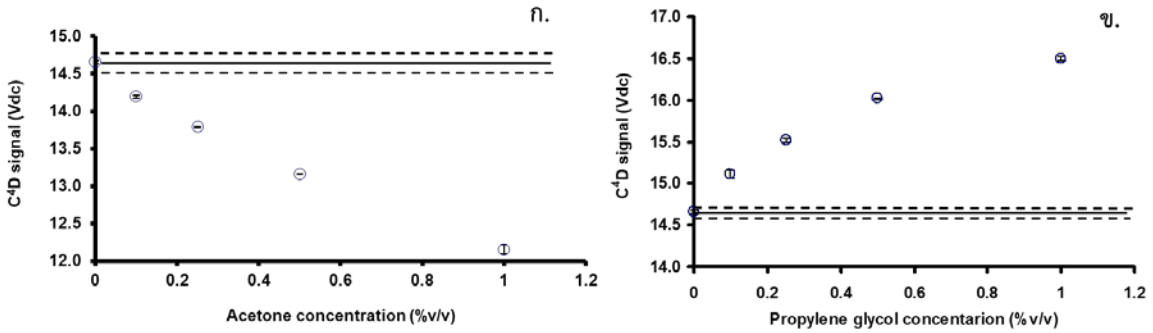
[ก] ส่วนประกอบอื่นที่ระบุบนฉลากนอกเหนือจากน้ำและแอลกอฮอล์

รหัสตัวอย่าง 'E' แทนเอทานอลเป็นสารที่วิเคราะห์ในตัวอย่าง และ 'P' แสดงไอโซโพรพานอลเป็นสารวิเคราะห์ในตัวอย่าง

ผลของตัวรบกวนที่ส่งผลต่อสัญญาณ C4D สำหรับวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผล

จากผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์แสดงในตารางที่ 9 สามารถสรุปได้ว่า การเติมสารอื่นที่มีค่าไดอิเล็กทริกสูงพอจะส่งผลการรบกวน เช่น กรณีตัวอย่าง E1 ที่มีอะซิโตนอยู่ถึงร้อยละ 18 โดยปริมาตร ซึ่งอะซิโตนนี้เองมีค่าไดอิเล็กทริก (ε) เท่ากับ 20.7 ก็จะรบกวนการวัดสารละลายผสมที่มีองค์ประกอบสองชนิดนี้ได้ และในทำนองเดียวกับกรณีตัวอย่าง E2 ที่แม้มีสารโพรพิลีนไกลคอล อยู่เพียงร้อยละ 1.5 โดยปริมาตรเท่านั้น ซึ่งโพรพิลีนไกลคอลเองมีค่าไดอิเล็กทริก (ε) เท่ากับ 30.2 ก็จะรบกวนการวัดสารละลายผสมที่มีองค์ประกอบสองชนิดนี้ได้เช่นกัน

เพื่อเป็นการยันยันสมมติฐานข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบผลการรบกวนของอะซิโตนและโพรพิลีนไกลคอลต่อสัญญาณ C4D สารละลายมาตรฐานเอทานอลในน้ำที่ร้อยละ 70 โดยปริมาตร จากผลการทดลองแสดงในภาพที่ 10 แสดงให้เห็นว่าตัวตรวจวัดประเภท C4D ที่อาศัยหลักการของอิมพีแดนซ์ เหมาะแก่การประยุกต์กับสารละลายผสมสองชนิดที่ทราบองค์ประกอบแน่นอนและปราศจากการรบกวนจากองค์ประกอบอื่น ๆ



ภาพที่ 10 ผลของการรบกวนของ (ก) อะซิโตน และ (ข) โพรพิลีนไกลคอลต่อสัญญาณ C4D ของสารละลายมาตรฐาน เอทานอลในน้ำที่ร้อยละ 70 โดยปริมาตร หมายเหตุ: เส้นทึบแสดงค่าเฉลี่ยสัญญาณ C4D ของสารละลายมาตรฐาน เอทานอลในน้ำที่ร้อยละ 70 โดยปริมาตร และ เส้นประแสดงขีดจำกัดการทนได้ (±3SD ของสัญญาณเฉลี่ยของสารละลายมาตรฐาน) ต่อการรบกวนจาก (ก) อะซิโตน และ (ข) โพรพิลีนไกลคอล ของตัวตรวจวัด C4D

สรุปผลการทดลอง

ในงานนี้ ผู้วิจัยเสนอประยุกต์ตัวตรวจวัดการนำไฟฟ้าแบบไม่สัมผัสสารละลาย หรือที่เรียกว่า capacitively coupled contactless conductivity detector (C4D) มาใช้กับการวัดเชิงปริมาณทางเคมีในตัวอย่างสารละลายผสมสองชนิด โดยอาศัยคุณสมบัติไดอิเล็กทริกในการตอบสนองต่อสารเคมีและการวัดปริมาณในตัวอย่างของเหลว โดยได้เลือกของเหลวประเภท

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สารละลายผสมสองชนิดมาใช้เพื่อสาธิตความสามารถและประสิทธิภาพของหลักการวัด สารละลายผสมสองชนิดซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีค่าไดอิเล็กทริกที่ต่างกันนั้น ส่งผลให้ค่าไดอิเล็กทริกรวมของระบบเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเกิดจากการผลรวมของค่าไดอิเล็กทริกขององค์ประกอบทั้งสอง ตัวตรวจวัด C4D สามารถนำมาใช้กับการวัดเชิงปริมาณทางเคมีในตัวอย่างสารละลายผสมสองชนิดที่ทราบองค์ประกอบแน่นอน ซึ่งในงานนี้ได้เลือกใช้สารละลายตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผลที่ประกอบไปด้วยเอทานอล/ไอโซโพรพานอล และ น้ำเท่านั้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้เลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น อะซิโตน โพรพิลีนไกลคอล และสารสกัดธรรมชาติ เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวตรวจวัด C4D นี้เหมาะแก่การใช้งานกับสารละลายผสมสองชนิดเท่านั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตอบสนองจากตัวแปรอิมพีแดนซ์ (Z) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณได้โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณตอบสนองของ C4D กับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายได้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในกลุ่มตัวอย่างแอลกอฮอล์ล้างแผลด้วยตัวตรวจวัด C4D นี้ให้ค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับวิธีแก๊สโครมาโตรกราฟี นอกจากนี้ ตัวตรวจวัด C4D ยังสามารถอ่านผลได้ทันที ใช้งานง่ายและทนต่อสารเคมี จึงเหมาะแก่การพัฒนาเป็นเครื่องมือภาคสนามเพื่องานควบคุมคุณภาพซึ่งสามารถนำไปติดตั้งในโรงงานผลิต รวมถึงการใช้ในการวัดภายในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนการศึกษาจากทุนเสริมสร้างนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC) กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

References

The Secretariat of the Cabinet. (2020). Notification of the Ministry of Public Health. Retrieved 22 July 2023, from **Ratchakitcha**: https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/17123828.pdf

Fracassi Da Silva, J. A. and Do Lago, C. L. (1998). An Oscillometric Detector for Capillary Electrophoresis. **Analytical Chemistry**, 70(20), 4339-4343.

Govinda Raju, G. R. (1988). In Dielectric constant of binary mixtures of liquids, Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. **Annual Report., Conference on, 1988**, 357-363.

Reynolds, J. A. and Hough, J. M. (1957) Formulae for Dielectric Constant of Mixtures. **Proceeding of the Physical Society Section B,** 70, 769-774.

Jayalaxmi, Y., Guha, S., Vani, V. C. and Gopal. E. S. R. (1987). The dielectric constant of the binary liquid system n heptane + methanol near its critical temperature. **Pramana**, 28(3), 269-275.

Meyers, C. (2021). Ethanol and isopropanol inactivation of human coronavirus on hard surfaces. **Journal of Hospital Infection**, 107, 45-49.

Sengwa, R. J. and Sankhla, S. (2007). Dielectric properties of binary and ternary mixtures of alcohols: Analysis of H-bonded interaction in complex systems. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 353(47-51), 4570-4574.

Smith, R. L., Lee, S. B., Komori, H. and Arai, K. (1998). Relative permittivity and dielectric relaxation in aqueous alcohol solutions. **Fluid Phase Equilibria,** 144(1-2), 315-322.

Wang, P. and Anderko, A. (2001) Computation of dielectric constants of solvent mixtures and electrolyte solutions. **Fluid Phase Equilibria**, 186(1-2), 103-122.

Yang, L. J., Yang, X. Q., Huang, K. M., Jia, G. Z. and Shuang, H. (2009). Dielectric Properties of Binary Solvent Mixtures of Dimethyl Sulfoxide with Water. **International Journal of Molecular Sciences**, 10(3), 1261-1270.

Zemann, A. J., Schnell, E., Volgger, D., and Bonn, G. K. (1998). Contactless Conductivity Detection for Capillary Electrophoresis. **Analytical Chemistry**, 70(3), 563-567.

JSSE
JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 206 - 215
http://doi.org/10.14456/jsse.2023.18

Research Article

Synthesis and Modification of CoZnAl Layered Double Hydroxides with Magnetic Nanoparticle and Chitosan for Brilliant Green Dye Adsorption

Suparb Tamuang[1,*] and Padungsak Mankhong[1]
[1]*Chemistry Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*
**Email: suparb.t@ubu.ac.th*

Received <4 July 2023>; Revised <18 August 2023>; Accepted <20 August 2023>

Abstract

Cobalt-zinc-aluminum layered double hydroxides (CoZnAl-LDHs) have been prepared and successfully modified with magnetic nanoparticles and chitosan (Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs) for being used as Brilliant Green (BG) dye adsorbent to solve the dye contamination in water problem. Magnetic nanoparticles (Fe_3O_4) allow easy separation of the adsorbent from the solution, and chitosan (CS) will increase the hydroxyl group density for the interaction with the positively charged BG dye. The materials were characterized by XRD and it revealed that the modified materials exhibited the structural characteristics of LDHs. From dye adsorption studies at pH 7 and 25 °C with initial dye concentration of 20 ppm, Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs exhibited 99% dye removal, which was greater than that of CoZnAl-LDHs (58%). The adsorption process reached equilibrium within 360 min. In addition, the adsorption isotherm followed the Langmuir model, and from the kinetic studies, this adsorption process corresponded to a pseudo second-order reaction. The synthesized material is promising for being used as an adsorbent to remove the dye from polluted water.

Keywords: Layered double hydroxides, Adsorption, Dyes, Magnetic nanoparticles, Chitosan, Brilliant green

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การสังเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติของโคบอลต์ซิงค์อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ด้วยอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโนและไคโตซานสำหรับการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน

สุภาพ ตาเมือง[1,*] และ ผดุงศักดิ์ มั่นคง[1]

[1]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

**Email:suparb.t@ubu.ac.th*

รับบทความ: 4 กรกฎาคม 2566 แก้ไขบทความ: 18 สิงหาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 20 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

วัสดุโคบอลต์ซิงค์อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโนและไคโตซาน (Fe_3O_4CS@CoZnAl- Layered double hydroxides) ถูกเตรียมขึ้นสำหรับการดูดซับสารละลายสีย้อมบริลเลียนท์ กรีน เพื่อแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสีย้อมในน้ำ อนุภาคแม่เหล็กระดับนาโนช่วยให้การแยกตัวดูดซับออกจากสารละลายทำได้ง่าย และไคโตซานจะช่วยเพิ่มหมู่ไฮดรอกซี สำหรับการสร้างอันตรกิริยากับสีย้อมบริลเลียน กรีน ที่มีประจุบวก จากการศึกษาโครงสร้างของวัสดุโดยเทคนิค XRD แสดงให้เห็นว่าหลังการปรับปรุงคุณสมบัติ วัสดุยังแสดงลักษณะโครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ และเมื่อทำการศึกษาการดูดซับสีย้อมที่ pH เท่ากับ 7 อุณหภูมิ 25 °C และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเป็น 20 ppm พบว่า Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ 99% ซึ่งมากกว่าวัสดุ CoZnAl-LDHs ที่สามารถดูดซับสีย้อมได้เพียง 58% กระบวนการดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 360 นาที นอกจากนี้ ผลการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับพบว่าสอดคล้องกับแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม และจากผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ แสดงถึงกระบวนการดูดซับนี้เป็นปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น แสดงคุณสมบัติที่ดีในการนำไปใช้สำหรับดูดซับสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำได้

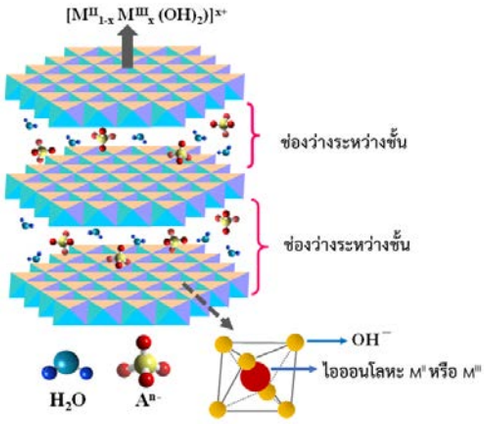
คำสำคัญ: เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ การดูดซับ สีย้อม อนุภาคแม่เหล็กระดับนาโน ไคโตซาน บริลเลียนกรีน

บทนำ

การพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศและคุณภาพชีวิตของคนในชาติ ซึ่งการขยายตัวของอุตสาหกรรมนั้น นอกจากจะส่งผลดีแล้ว ยังส่งผลเสียอีกด้วย เช่น การก่อมลพิษด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ หรือก่อให้เกิดฝุ่นละออง ที่อาจส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในระบบนิเวศน์ ซึ่งอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่เติบโตอย่างรวดเร็วเพราะเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมสิ่งทอก็ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นสาเหตุของมลพิษทางอากาศ และการปล่อยน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดก็ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำอีกด้วย (Kant, 2012) การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนและกรองออกซึ่งจะใช้ได้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แต่สำหรับอนุภาคสีย้อมที่โดยปกติจะอยู่ในรูปสีย้อมไอออนบวก สีย้อมไอออนลบ หรือสีย้อมที่เป็นกลาง ซึ่งสีย้อมส่วนใหญ่มีความสเถียรสลายตัวได้ยาก และไม่สามารถทำให้ตกตะกอนได้ ต้องทำการบำบัดด้วยวิธีอื่น เช่นการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ หรือการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับเพื่อให้อนุภาคแยกออกจากสารละลายน้ำ

การบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสีย้อมที่อาจพบได้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยวิธีการดูดซับ เป็นวิธีการที่ง่าย สามารถแยกสีย้อมออกจากน้ำที่ปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีรายงานการใช้ตัวดูดซับในการดูดซับสีย้อมเช่น วัสดุที่มีรูพรุนขนาดกลาง (mesoporous materials) (Zubieta *et al*., 2008) นาโนเคลย์ (Rodríguez *et al*., 2021) หรือถ่านกัมมันต์ (Wang, *et al.,* 2020) เป็นต้น

เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides, LDHs) เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นชั้น คล้ายแร่ไฮโดรทาลไซต์ที่พบในธรรมชาติ ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวประจุลบ LDHs มีสูตรทั่วไปเป็น $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2]^{x+}[(A^{n-})_{x/n}.yH_2O]^{x-}$ โดยที่ M^{3+} และ M^{2+} คือ โลหะไอออนประจุ +3 และ +2 ตามลำดับ สำหรับแร่ไฮโดรทาลไซต์ โลหะไอออน M^{3+} คือ Al^{3+} และ M^{2+} คือ Mg^{2+} แต่สำหรับวัสดุ LDHs ไอออนบวกสามารถเป็นโลหะชนิดอื่น เช่น Fe^{2+} Co^{2+} หรือ Cr^{3+} Fe^{3+} ได้ และ A^{n-} คือไอออนลบ โดยส่วนที่เป็นชั้นจะประกอบด้วยไอออนบวกของโลหะล้อมรอบโดยไฮดรอกไซด์ไอออน และมีไอออนลบแทรกอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นของโลหะไอออนบวกนี้ x คืออัตราส่วนโมลของ $M^{3+}/(M^{2+} + M^{3+})$ ซึ่งการจะเกิดเป็นโครงสร้าง LDHs นั้น x ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.2-0.4 โครงสร้างทั่วไปของ LDHs แสดงในภาพที่ 1 สมบัติที่น่าสนใจของวัสดุ LDHs คือ ไอออนลบที่แทรกอยู่ตรงกลางสามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable) ทำให้วัสดุ LDHs มีข้อดีในการนำไปใช้งานผ่านกลไกการแลกเปลี่ยนไอออน และสามารถควบคุมความหนาแน่นของประจุ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ LDHs ได้โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโมล M^{2+}/M^{3+} หรือการเพิ่มไอออนบวกที่มีประจุสูงเพิ่มเข้าไปได้ นอกจากนี้ LDHs ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพที่น่าสนใจ เช่น มีพื้นที่ผิวสูง และมีความเป็นรูพรุน อีกทั้งยังมีความเสถียรทางความร้อน ทำให้เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานเพื่อเป็นตัวดูดซับ



ภาพที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของ LDHs

เนื่องจากวัสดุ LDHs สามารถปรับการสังเคราะห์โดยใช้โลหะ และไอออนลบได้หลากหลาย อีกทั้งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ จึงมีการสังเคราะห์วัสดุ LDHs หลายชนิดเพื่อใช้งานเป็นตัวดูดซับสีย้อม เช่น MgAl-LDHs และปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้สารลดแรงตึงผิว เพื่อดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ (Lei *et al.,* 2020) วัสดุ CoCu-LDHs ที่ปรับปรุงมาจาก ZIP-67 เพื่อใช้ดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์เช่นกัน (Saghir, Fu, and Xiao, 2020) นอกจากนี้ ในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ สามารถเพิ่มอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโนเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีในการแยกตัวดูดซับออกจากสารละลาย ดังที่

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

รายงานในงานวิจัยของ Lu *et al*. (2017) ที่ได้ทำการสังเคราะห์ MgAl–LDHs และปรับปรุงคุณสมบัติด้วยอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโนเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมคองโกเรด นอกจากการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ และ คองโกเรด ซึ่งเป็นสีย้อมประจุลบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว วัสดุ LDHs ยังสามารถปรับปรุงเพื่อใช้ดูดซับสีย้อมบริลเลียนกรีน ซึ่งเป็นสีย้อมที่มีประจุบวกด้วย เช่นการใช้สารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (sodium dodecyl benzene sulfonate, SDBS) ร่วมกับอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของ MgAl-LDHs (Zhang *et al*., 2017) หรือการใช้ ZnAl-LDHs ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยสารลดแรงตึงผิวโดเดซิลซัลเฟต (dodecyl sulfate, DS) เพื่อใช้ดูดซับสีย้อมบริลเลียนกรีน (Grover *et al*., 2019)

จะเห็นได้ว่าการสังเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ LDHs สามารถทำได้หลากหลาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ สังเคราะห์วัสดุ LDHs ชนิด โคบอลต์ซิงค์อะลูมิเนียม (CoZnAl-LDHs) และปรับปรุงคุณสมบัติด้วยอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโน (Fe_3O_4) เพื่อให้ได้ตัวดูดซับที่สามารถแยกออกจากสารละลายได้ง่ายเพียงใช้แม่เหล็กจากภายนอกดูดออก นอกจากนี้ยังทำการปรับปรุงคุณสมบัติเพิ่มเติมด้วยไคโตซาน (CS) เพื่อเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของหมู่ไฮดรอกซีบนผิวของวัสดุสำหรับใช้ในการดูดซับสีย้อมบริลเลียนกรีน ซึ่งเป็นสีย้อมประจุบวก

วิธีดำเนินการวิจัย

การสังเคราะห์โคบอลต์ซิงค์อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (CoZnAl-LDHs)

วิธีการสังเคราะห์ปรับปรุงมาจากงานวิจัยของ Sharifi-Bonab *et al.* (2019) โดยมีรายละเอียดคร่าว ๆ ดังนี้คือ ชั่ง $Co(NO_3)_2{\cdot}6H_2O$ ประมาณ 0.96xx g (3 mmol) $Zn(NO_3)_2{\cdot}6H_2O$ ประมาณ 0.10xx g (0.3 mmol) และ $Al(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$ ประมาณ 1.5xx g (4 mmol) คิดเป็นอัตราส่วนไอออน (Co^{2+}+Zn^{2+}) : Al^{3+} เป็น 1:1.2 นำไปเติมน้ำ DI 200 mL จะได้สารละลายที่ 1 ชั่ง NaOH ประมาณ 0.08xx g และ Na_2CO_3 ประมาณ 0.40xx g จากนั้นนำไปเติมน้ำ DI 200 mL จะได้สารละลายที่ 2 หยดสารละลายที่ 1 ลงในสารละลายที่ 2 และกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 21 ชั่วโมง เมื่อครบ 21 ชั่วโมงนำมาล้างด้วยน้ำ DI และ Centrifuge จำนวน 3 รอบ และนำของแข็งที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 17 ชั่วโมง

การปรับปรุงคุณสมบัติของโคบอลต์ซิงค์อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs)

ชั่ง $FeSO_4{\cdot}7H_2O$ และ $FeCl_3$ ประมาณ 4.10xx g (0.0147 mol) และ 2.68xx g (0.0165 mol) ตามลำดับ ละลายด้วยน้ำ DI 50 mL และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C ภายใต้สภาวะไนโตรเจนจะได้สารละลายที่ 1 และชั่ง ไคโตซาน (low molecular weight) ประมาณ 0.1xx g ละลายไคโตซานด้วยกรดแอซิติก 3% 25 mL จะได้สารละลายที่ 2 จากนั้นเติม 25% NH_4OH 5 mL และ สารละลายที่ 2 ลงในสารละลายที่ 1 ตามลำดับ กวนทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบ 30 นาที นำมาล้างด้วยน้ำ DI จำนวน 3 รอบ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้ Fe_3O_4CS นำผลึกที่ได้มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปปรับปรุงคุณสมบัติร่วมกับ LDHs โดยชั่ง Fe_3O_4CS : LDHs ประมาณ 0.075x g : 0.025x g ตามลำดับ เติมน้ำ DI 30 mL แล้ว sonicate เป็นเวลา 30 นาที และล้างด้วยน้ำ DI 3 รอบ หลังจากนั้นนำของแข็งที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้วัสดุ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs

การศึกษาการดูดซับสีย้อมบริลเลียนกรีน (Brilliant Green, BG)

การศึกษาการดูดซับสีย้อม BG ทำได้โดยการชั่งตัวดูดซับ 0.01 g เติมลงในสารละลาย BG เข้มข้น 20 ppm ปริมาณ 50 mL โดยทำการดูดซับที่เวลา 0 5 15 20 60 45 60 90 120 150 180 240 300 360 และ 720 นาที ทำการเขย่าอย่างต่อเนื่อง เมื่อครบกำหนดเวลา แยกตัวดูดซับออกจากสารละลายโดยใช้แม่เหล็กจากภายนอก และนำสารละลายที่เหลือไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 624 nm

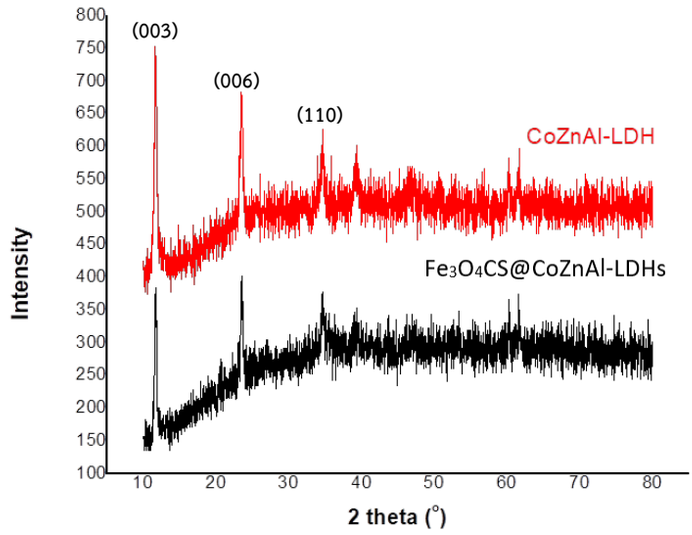
การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ BG ศึกษาที่ความเข้มข้นของ BG เป็น 10 20 30 40 และ 50 ppm ปริมาณ 50 mL โดยใช้ตัวดูดซับ 0.01 g ใช้เวลาในการดูดซับ 360 นาที

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงสร้างผลึกของ CoZnAl-LDHs และ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs

ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับ CoZnAl-LDHs และ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs จากเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) โดยใช้รังสีเอ็กซ์จาก Cu-Kα ที่ความยาวคลื่น 1.54 Å ในช่วง 2θ ตั้งแต่ 10° - 80° สำหรับวัสดุ CoZnAl-LDHs พบพีคที่ 11.9° 23.7° และ 35.1° ดังภาพที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sharifi-Bonab *et al.* (2019) ที่ได้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ และวิเคราะห์ว่าเป็นการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของระนาบ (003) (006) และ (110) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้หลังจากทำการปรับปรุงคุณสมบัติ พบว่าปรากฏพีคที่ตำแหน่งเดียวกับวัสดุ CoZnAl-LDHs ก่อนการปรับปรุงคุณสมบัติ แต่ความเข้มของพีคต่ำลง ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติไม่ได้

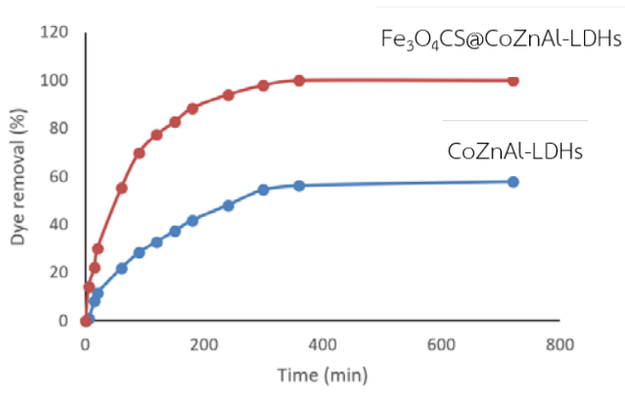
แทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของ LDHs แต่จับกันด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตระหว่างโลหะบนชั้นของ LDHs กับสภาพขั้วลบของหมู่ไฮดรอกซีในโมเลกุลของไคโตซาน



ภาพที่ 2 XRD pattern ของ CoZnAl-LDHs และ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs

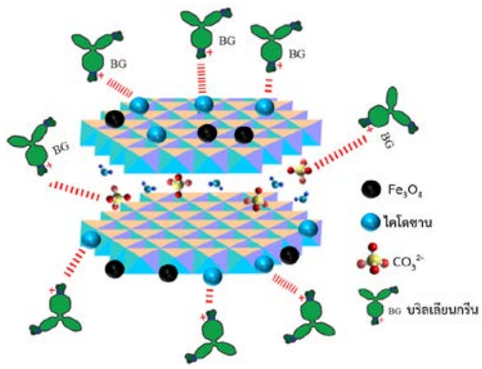
ผลการศึกษาการดูดซับสารละลายสีย้อมบริลเลียนกรีน (Brilliant Green, BG)

เมื่อใช้ตัวดูดซับ CoZnAl-LDHs และ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs 0.0100 g ในการดูดซับสารละลาย BG เข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 50 mL ที่เวลา 0 5 15 20 60 45 60 90 120 150 180 240 300 360 และ 720 นาที พบว่า Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs แสดงความสามารถในการดูดซับที่มากกว่า CoZnAl-LDHs และการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสอง เข้าสู่สมดุลที่เวลา 360 นาที CoZnAl-LDHs มีความสามารถในการดูดซับเป็นร้อยละ 58 ในขณะที่วัสดุดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 99 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ ทำให้ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เนื่องจาก ไคโตซานเข้าไปเพิ่มความเป็นลบให้โครงสร้างจากการมีหมู่ไฮดรอกซีอยู่ในโครงสร้างของไคโตซานจึงส่งผลให้มีความสามารถในการจับกับโมเลกุลสีย้อมประจุบวกได้ดีกว่า การดูดซับสีย้อมเกิดผ่านแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างหมู่ไฮดรอกซีบนไคซานกับประจุบวกบนบริลเลียนกรีน และแรงดึงดูดระหว่างไอออนลบของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ที่อยู่ระหว่างชั้นของ CoZnAl-LDHs ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ความสามารถในการดูดซับสีย้อม BG ของ CoZnAl-LDHs และ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



ภาพที่ 4 การดูดซับสีย้อมบริลเลียนกรีนบน Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs

เมื่อตัวดูดซับ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs แสดงความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่า CoZnAl-LDHs จึงทำการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่มีผลต่อการดูดซับ โดยศึกษาที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 ppm ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 1 โดยที่

$$\text{ร้อยละความสามารถในการดูดซับ} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม C_e = ความเข้มข้นที่สมดุล

ตารางที่ 1 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย BG ต่อความสามารถในการดูดซับของ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย BG (ppm)	ความสามารถในการดูดซับ (ร้อยละ)
10	100
20	99
30	97
40	79
50	78

จากตารางที่ 1 เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย BG เป็น 10 ppm ตัวดูดซับจะสามารถดูดซับสีย้อมไว้ได้ทั้งหมด ดังแสดงจากค่าความสามารถในการดูดซับเป็นร้อยละ 100 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเป็น 20 และ 30 ppm การดูดซับลดลงเหลือร้อยละ 98 และ 97 ตามลำดับ ซึ่งยังคงเป็นค่าการดูดซับที่มาก แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 40 ppm การดูดซับลดลงเหลือร้อยละ 79 อาจเกิดเนื่องจากบริเวณของตัวดูดซับที่สามารถสร้างอันตรกิริยากับสีย้อมถูกใช้จนเต็มแล้ว ถึงจุดอิ่มตัวของการดูดซับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นอีกเป็น 50 ppm การดูดซับลดลงเล็กน้อยเหลือ ร้อยละ 78 ซึ่งหากนำตัวดูดซับนี้ไปใช้กับน้ำที่ปนเปื้อนจากสีย้อมที่เข้มข้นน้อยกว่า 30 ppm ตัวดูดซับที่พัฒนาขึ้นจะสามารถดูดซับสีย้อมได้เกือบทั้งหมด อาจจะมีส่วนช่วยในการลดปัญหาการปนเปื้อนสีย้อมในน้ำได้

ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption Isotherms)

การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อม BG โดยใช้ตัวดูดซับ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs ศึกษาจากไอโซเทอร์มการดูดซับสองรูปแบบคือ Freundlich และ Langmuir isotherm โดยใช้สมการ (1) สำหรับ Freundlich isotherm และ สมการ (2) สำหรับ Langmuir isotherm

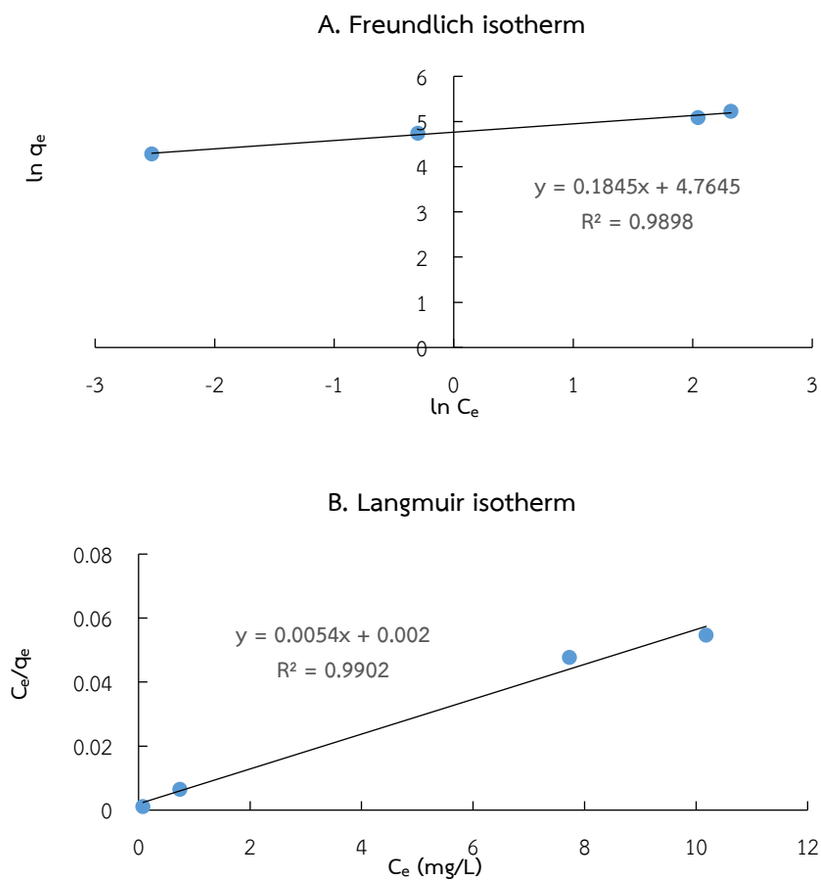
$$ln\, q_e = ln\, K_F + \frac{1}{n}\, ln\, C_e \quad (1)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับที่สมดุล (mg/g) C_e คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุล (mg/L) และ K_F คือค่าคงที่ Freundlich isotherm

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับที่สมดุล (mg/g) C_e คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุล (mg/L) q_m คือ ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ และ K_L คือ ค่าคงที่ Langmuir isotherm

เมื่อพล็อตกราฟสมการ (1) สำหรับ Freundlich isotherm และ สมการ (2) สำหรับ Langmuir isotherm ได้กราฟตามภาพที่ 5A และ 5B ตามลำดับ พบว่าสมการ Freundlich isotherm แสดงค่า K_F 117.27 mg/L ค่า 1/n มีค่าเป็น 0.1845 และ R^2 คือ 0.9898 ส่วนผลการศึกษาจากสมการ Langmuir isotherm ให้ค่า K_L เป็น 2.7000 ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (q_m) มีค่าเป็น 185.19 mg/g และ R^2 คือ 0.9902 เมื่อเทียบค่า R^2 ของไอโซเทอร์มการดูดซับทั้งสองแบบ พบว่า Langmuir isotherm มีค่า R^2 สูงและเข้าใกล้ 1 มากกว่า จึงสามารถสรุปว่าการดูดซับของสีย้อมสอดคล้องกับ Langmuir isotherm ซึ่งเป็นการดูดซับที่โมเลกุลของสีย้อมถูกดูดซับบนตัวดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) (Azizian and Eris, 2021) ค่าต่าง ๆ จากสมการของไอโซเทอมทั้งสองแบบ แสดงดังตารางที่ 2



ภาพที่ 5 A กราฟเส้นตรงตามสมการ Freundlich isotherm และ B กราฟเส้นตรงตามสมการ Langmuir isotherm

ตารางที่ 2 ค่าที่ได้จากสมการของไอโซเทอร์มทั้งสองแบบ

ค่าจากสมการของไอโซเทอม		
Langmuir	q_m (mg/g)	185.19
	K_L	2.7000
	r^2	0.9902
Freundlich	1/n	0.1845
	K_F	117.27
	r^2	0.9898

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

จลนพลศาสตร์การดูดซับ (Adsorption Kinetics)

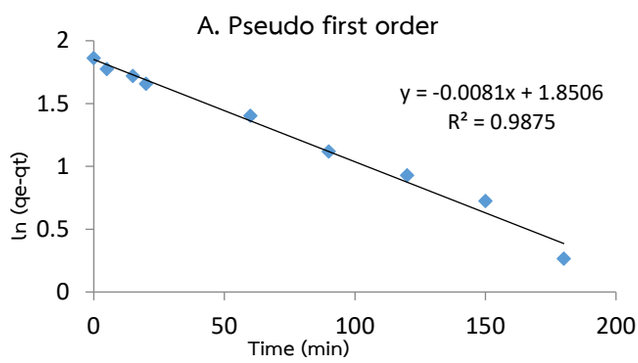
จลนพลศาสตร์ของการดูดซับที่ใช้ศึกษามี 2 แบบจำลอง คือ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (pseudo-first order) และปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (pseudo second-order) สมการของแบบจำลองทั้งสองแบบแสดงดังสมการที่ (3) และ สมการที่ (4) ตามลำดับ

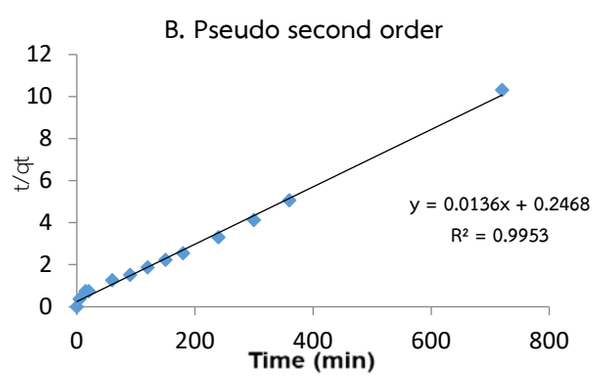
$$ln(q_e - q_t) = \ln q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right)t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

เมื่อ q_t และ q_e คือ ปริมาณของ BG ที่ถูกดูดซับ ณ เวลา t ใด ๆ และ ณ เวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล ตามลำดับ

จากผลการทดลอง เมื่อพล็อตกราฟเส้นตรงของแบบจำลองทั้งสอง จะได้กราฟดังภาพที่ 6A และ 6B สำหรับปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน และ ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ตามลำดับ





ภาพที่ 6 A กราฟเส้นตรงตามสมการ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน และ B กราฟเส้นตรงตามสมการ ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน

กราฟเส้นตรงจากแบบจำลองของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน และปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน พบว่าค่า R^2 ของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนเท่ากับ 0.9953 ซึ่งมากกว่าค่า R^2 ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (0.9875) แสดงว่าการดูดซับ BG ด้วยวัสดุ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน นอกจากนี้ เมื่อนำค่า q_e ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณมาเปรียบเทียบระหว่างปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน และปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน พบว่าค่า q_e ที่ได้จากการทดลอง และ จากการคำนวณของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน และค่าคงที่อัตรา k ของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนยังมากกว่าของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนอีกด้วย ค่าต่าง ๆ จากสมการทั้งสองแบบสรุปได้ดังตารางที่ 3 จึงสามารถยืนยันได้ว่าการทดลองการดูดซับ BG ด้วยวัสดุดูดซับ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ซึ่งหมายถึงขั้นกำหนดอัตราของการดูดซับ เป็นการดูดซับทางเคมี (chemisorption) และอัตราการ

ดูดซับจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับด้วย (Sahoo and Prelot, 2020) โดยขั้นตอนการดูดซับ เริ่มจากเกิดการแพร่ของสีย้อมไปยังบริเวณของผิวของวัสดุดูดซับ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs และเกิดการแพร่ที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุดูดซับ (Film diffusion) หลังจากนั้นโมเลกุลสีย้อมจะแพร่เข้าสู่รูพรุนของวัสดุดูดซับ (Pore diffusion) และเกิดอันตรกิริยากันระหว่างพื้นผิวของวัสดุดูดซับกับโมเลกุลของสีย้อม (Saleh, 2022) ซึ่งจากลักษณะโครงสร้างของวัสดุดูดซับที่มีหมู่ไฮดรอกซีที่มีสภาพขั้วเป็นลบจากไคโตซาน และไอออนลบที่อยู่ระหว่างชั้นของวัสดุ ส่วนสีย้อมที่ใช้เป็นสีไอออนบวก จึงสามารถเกิดอันตรกิริยาแบบแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตได้

ตารางที่ 3 ค่าจากสมการแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนและปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน

ปฏิกิริยา	R^2	$q_{e(exp)}$ (mg/g)	$q_{e(cal)}$ (mg/g)	k
อันดับหนึ่งเสมือน	0.9875	72.73	70.89	0.018
อันดับสองเสมือน	0.9953	72.73	73.52	0.246

สรุปผลการวิจัย

วัสดุดูดซับ CoZnAl-LDHs ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยไคโตซานและอนุภาคแม่เหล็กระดับนาโน (Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs) ถูกเตรียมขึ้น และนำไปใช้เพื่อดูดซับสีย้อมบริลเลียนกรีน พบว่าหลังปรับปรุงคุณสมบัติ วัสดุ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs แสดงความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้ดีกว่า CoZnAl-LDHs เนื่องจากการปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวเป็นการเพิ่มความเป็นลบให้กับโครงสร้าง ทำให้สามารถสร้างแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตกับสีย้อม BG ซึ่งเป็นสีย้อมประจุบวก โดยให้เปอร์เซ็นการดูดซับสีย้อม 100% เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเป็น 10 ppm และ ลดลงเล็กน้อย (97%) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นถึง 30 ppm และยังสามารถแยกตัวดูดซับออกจากสารละลายได้ง่ายโดยใช้แม่เหล็กจากภายนอก กระบวนการดูดซับสีย้อม BG โดยใช้ตัวดูดซับ Fe_3O_4CS@CoZnAl-LDHs เป็นไปตาม Langmuir isotherm และ เป็นปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นแสดงคุณสมบัติที่ดีในการนำไปใช้เพื่อดูดซับสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับพื้นที่ปฏิบัติงานและการสนับสนุนจากเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนวิจัยและสร้างนวัตกรรมมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

References

Azizian, S. and Eris, S. (2021). Chapter 6 - Adsorption isotherms and kinetics. **Interface Science and Technology**, 33, 445-509.

Grover, A., Mohiuddin, I., Malik, A. K., Aulakh, J. S. and Kim, K. (2019). Zn-Al layered double hydroxides intercalated with surfactant: Synthesis and applications for efficient removal of organic dyes. **Journal of Cleaner Production**, 240, 118090.

Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, 4(1), 22-26.

Lei, S., Wang, S., Gao, B., Zhan, Y., Zhao, O., Jin, S., Song, G., Lyu, X., Zhang, Y. and Tang, Y. (2020). Ultrathin dodecyl-sulfate-intercalated Mg-Al layered double hydroxide nanosheets with high adsorption capability for dye pollution. **Journal of Colloid and Interface Science**, 577, 181-190.

Lu, L., Li, J., Ng, D. H. L., Yang, P., Song, P. and Zuo, M. (2017). Synthesis of novel hierarchically porous Fe_3O_4@MgAl–LDH magnetic microspheres and its superb adsorption properties of dye from water. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, 46, 315-323.

Rodríguez, D. L., Vicent, B. M., Núñez, J. J., Aracil, M. B. and Belda, E. B. (2021). Uses of nanoclays and adsorbents for dye recovery: A textile industry review. **Applied Sciences**, 11(23), 11422-11449.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Saghir, S., Fu, E. and Xiao, Z. (2020). Synthesis of CoCu-LDH nanosheets derived from zeolitic imidazole framework-67 (ZIF-67) as an efficient adsorbent for azo dye from waste water. **Microporous and Mesoporous Materials**, 297, 110010.

Sahoo, T. R. and Prelot, B. (2020). **Nanomaterials for the Detection and Removal of Wastewater Pollutants.** Amsterdam: Elsevier

Saleh, T. A. (2022). Chapter 3 - Kinetic models and thermodynamics of adsorption processes: classification, **Interface Science and Technology**, 34, 65-97.

Sharifi-Bonab, M., Aber, S., Salari, D. and Khodam, F. (2019). Synthesis of CoZnAl-layered double hydroxide/graphene oxide nanocomposite for the removal of methylene blue: Kinetic, thermodynamic, and isotherm studies. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, 39(2), 13316.

Wang, H., Li, Z., Yahyaoui, S., Hanafy, H., Seliem, M. K., Petriciolet, A. B., Dotto, G. L., Sellaoui, L. and Li, Q. (2020). Effective adsorption of dyes on an activated carbon prepared from carboxymethyl cellulose: Experiments, characterization and advanced modelling. **Chemical Engineering Journal**, 417, 2816.

Zhang, D., Zhu, M., Yu, J., Meng, H. and Jiao, F. (2017). Effective removal of brilliant green from aqueous solution with magnetic Fe_3O_4@SDBS@LDHs composites. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, 27(12), 2673-2681.

Zubieta, C., Sierra, M. B., Morini, M. A., Schulz, P. C., Albertengo, L. and Rodríguez, M. S. (2008). The adsorption of dyes used in the textile industry on mesoporous materials. **Colloid and Polymer Science**, 286, 377–384.

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 216 - 227
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.19

Research Article

Development of UBU-ASLC system for supporting the teacher professional development program: A case study of Asperger's syndrome learning for Thai educators

Juthathip Kruanopphakhun[1] and Nadh Ditcharoen[2,*]

[1]Ph.D. Candidate in Science Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Thailand
[2]Department of Mathematics, Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Thailand
**Email: nadh.d@ubu.ac.th*

Received <31 January 2023>; Revised <18 February 2023>; Accepted <21 February 2023>

Abstract

With the advancement of technology use in educational settings, information and communication technology has been increasingly incorporated into the teacher professional development (TPD) programs to enhance knowledge acquisition, retention, and transfer. This study describes a research pilot of the development and use of a web application, the *Ubon Ratchathani University Applied Science Learning Center* (UBU-ASLC) system, as a deliverable of a TPD program in Thailand to build knowledge of Asperger's syndrome (AS) among educators. In Thailand, AS is not well-known compared to autism spectrum disorder due to the paucity of research and resources, and educators are challenged to nurture their students with AS to meet their full potential. The UBU-ASLC system was developed with multi-faceted software to support diverse modes of learning. The implementation of the system occurred in the city of Ubon Ratchathani, located in north-eastern Thailand. The participants of this study were in-service and pre-service teachers, who exhibited strong interests in learning about AS. The results suggested that the UBU-ASLC system was a valuable component of the TPD program, enhancing knowledge retention and promoting the creation of a professional learning community.

Keywords: Professional training, teacher professional development, knowledge transfer, web application, Asperger's syndrome

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การพัฒนาระบบ UBU-ASLC สำหรับสนับสนุนโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู: กรณีศึกษาการเรียนรู้เกี่ยวกับแอสเพอร์เกอร์ซินโดรมของบุคลากรทางศึกษาไทย

จุฑาทิพย์ เครือนพคุณ[1] และ ณัฏฐ์ ดิษเจริญ[2,*]

[1]นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

[2]ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

**Email: nadh.d@ubu.ac.th*

รับบทความ: 31 มกราคม 2566 แก้ไขบทความ: 18 กุมภาพันธ์ 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 21 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

ด้วยความก้าวหน้าของการใช้เทคโนโลยีในด้านการศึกษา เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารได้ถูกนำมาบูรณาการรวมกับโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อให้เกิดการเข้าถึงความรู้ ความคงทนและถ่ายโอนความรู้มากขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการนำร่องด้วยการพัฒนาระบบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ชื่อว่า Ubon Ratchathani University Applied Science Learning Center (UBU-ASLC) ซึ่งใช้เป็นช่องทางการถ่ายทอดองค์ความรู้ของโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแอสเพอร์เกอร์ซินโดรมให้กับนักการศึกษาในประเทศไทย เนื่องจากการขาดแคลนงานวิจัยและแหล่งเรียนรู้ จึงทำให้แอสเพอร์เกอร์ซินโดรมยังไม่ได้เป็นที่รู้จักมากนักในประเทศไทยเมื่อเทียบกับโรคออทิสติก จึงเป็นความท้าทายให้ครูต้องฟูมฟักนักเรียนที่มีอาการแอสเพอร์เกอร์ซินโดรมของตนเองให้มีศักยภาพที่สมบูรณ์ ระบบนี้พัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ที่หลากหลายเพื่อสนับสนุนวิธีการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน การวิจัยดำเนินการที่จังหวัดอุบลราชธานี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย ได้แก่ ครูประจำการ และนักศึกษาที่เรียนวิชาชีพครู ซึ่งมีความสนใจอย่างมากในการเรียนรู้เกี่ยวกับแอสเพอร์เกอร์ซินโดรม ผลการวิจัย พบว่า ระบบ UBU-ASLC เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโปรแกรมพัฒนาวิชาชีพครู สามารถส่งเสริมความคงทนในการเรียนรู้ และยังสนับสนุนการสร้างชุมชนการเรียนรู้อย่างมืออาชีพของครูด้วย

คำสำคัญ: การฝึกอบรมวิชาชีพ การพัฒนาวิชาชีพครู การถ่ายโอนความรู้ เว็บแอปพลิเคชัน แอสเพอร์เกอร์ซินโดรม

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Introduction

In recent years, the use of information and communication technology (ICT) has been widely observed in education settings. ICT is an acknowledged tool for enhancing the pedagogical experiences of teachers and students, and has been found to optimize students' learning outcomes (Istenic Starcic and Bagon, 2014; Jung, 2005). When educating students with exceptionalities, ICT has been found to be an effective means and information transfer and engagement. Primary uses of ICT reported in past literature in this context included the provision of assessment aids, skill development tools, and interventions (Drigas and Ioannidou, 2013). ICT has been widely used with students with Asperger's syndrome as a pathway to skill development for individuals affected by the condition (Istenic Starcic and Bagon, 2014; Konstantinidis *et al*., 2009; Lewis *et al*. 2005).

Asperger's syndrome (AS), a form of high-functioning autism, is a developmental disorder characterized by challenges with social interactions, emotional recognition and regulation, executive functioning, and problem-solving (Gallagher and Gallagher, 2002; Griffin *et al*., 2006; Smith Myles and Simpson, 2002). It was a distinct diagnostic label until the current edition of *the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (DSM-V) became available in 2013 (Cassidy *et al*., 2014). In the current classification, AS is amalgamated into the autism spectrum disorder, or ASD (Cassidy *et al*., 2014; Kite *et al*., 2013; Linton *et al*., 2013). However, in spite of the change, the term "Asperger's Syndrome" is still widely used due to the fact that the affected individuals were concerned with the dispossession of their identity as "persons with AS," and with the changes in eligibility to existing services and support systems (Kite *et al*., 2013; Linton *et al*., 2013).

Despite these adversities, these individuals are fully capable of achieving their higher potential with appropriate guidance (Grandin, 2002). Their talents and abilities can be well-nurtured through proper understanding of their strengths and challenges by the supporters of affected individuals - educators, parents, guardians, and friends. In order to create a nurturing community, ongoing educational opportunities for these stakeholders are imperative. However, research has identified a lack of resources and support system as barriers (Lindsay *et al*., 2013; Rodríguez *et al*., 2012). In Thailand, for example, research studies and intervention resources regarding AS are very scarce. The condition is under-recognized among educators, and as a result, these educators are deprived of educational support to properly nurture their students. These issues were acknowledged in the past studies; however, establishing a comprehensive set of data regarding this area of research was compromised due to the differences in perception of the condition and inequitable access to the existing services (Khaiman *et al*., 2015; Little *et al*., 2014; Vibulpatanavoug, 2018).

Educators' use of ICT in relation to professional development is well-documented in the literature (Istenic Starcic and Bagon, 2014). In the United Kingdom, a web portal was developed to encourage teachers' continuous professional development by allowing them access to the world's best teaching practices (Jung, 2005). This portal supported teachers' local and global networking and acted as a central means for a teacher professional development (TPD) program (Jung, 2005).

ICT can be incorporated in TPD programs and its benefits have been widely acknowledged. A systematic review of ICT uses in education indicated the effectiveness of ICT-incorporated TPD programs to prepare novice teachers to be able to manage students with exceptionalities tactfully in the regular classrooms (Istenic Starcic and Bagon, 2014; Jung, 2005). This kind of ICT usage was reported as favorable as a means to improve the compliance to the program and retention of knowledge when the ICT-supported program was developed with the principles of learning and instructional design (Kobak *et al*., 2011). Compared to the traditional learning, ICT-supported TPD programs contain "the multimedia-enriched visual appeal that has the potential to integrate various supportive materials for personalized learning" (Huang *et al*., 2012, p. 704). Without these innovative features, TPD programs can be a less intellectually- and emotionally-engaging

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

learning experience for educators. Consequently, these educators could become passive learners who would evaluate TPD programs less favorably (Gregson and Sturko, 2007).

In order to overcome challenges reported in past literature and to promote knowledge retention about AS among Thai educators, the current ICT-supported TPD program was developed. This TPD program consists of two major elements: a teacher training session and a web application (the *UBU Applied Science Learning Center)*. The teacher training session is designed as a career development course. The contents of the training include a PowerPoint presentation to review essential information about AS, professional presentations by a psychologist and a guest speaker, case studies, and role-playing activities. The *UBU Applied Science Learning Center* (UBU-ASLC), a primary focus of this paper, is introduced at the end of the teacher training session. It is emphasized that neither the teacher training session nor the *UBU Applied Science Learning Center* is intended for the purpose of diagnosing AS.

Purpose of the study

This paper will discuss the development and implementation of a web application named "the Ubon Ratchathani University (UBU) Applied Science Learning Center," for building understanding of AS in Thailand. The UBU Applied Science Learning Center (UBU-ASLC) was developed as a primary component of a teacher professional development (TPD) program for AS in Thailand. The goals of the UBU Applied Science Learning Center were:

1. To serve as a valuable component of the TPD program in order to build knowledge of AS.
2. To provide sufficient information for educators to enhance knowledge retention following a teacher training session.
3. To support diverse modes of learning by increased accessibility and the promotion of a professional learning community.

Research method

Design and development of the web application

The *UBU Applied Science Learning Center* is named after the affiliated university of the first and second authors (the Ubon Ratchathani University, or UBU). Initially, the application was a resource-based platform. This center was intended to be expandable to support the present of any kind of subjects. This preliminary version was implemented to the in-service teachers of Ubon Ratchathani, Thailand. Based on the feedback from these teachers, the application was upgraded to include interactive learning features. The current version of the web application, as indicated in Table 1, was implemented to the pre-service teachers at the local teaching college of Ubon Ratchathani.

Each of five modules is organized and placed in sequence as a linearly-related unit of knowledge in an attempt for knowledge building, and ways that educators can assist their students. The first three modules are intended to induce micro-level, individual-based learning. Module 1 presents the history and overview of AS. Particularly, Modules 2 and 3 are designed as corresponding modules. In Module 2, educators are engaged in cognitive-based learning. When they proceed to Module 3, they will learn effectively through integrating the theory into practice. Module 4 contains topics that are more intended for classroom management and administration. This module aims to generate macro-level, organization-based learning. Module 5, open-learning for professional communities, is an upgraded, interactive module. It is a connector module between the micro- and macro-level learning occurring with the preceding modules. Indeed, the *UBU-ASLC* system aims to produce both top-down and bottom-up educational transformation by incorporating two levels of learning. The framework of the *UBU-ASLC* system is shown in Figure 1.

Table 1 The contents of the *UBU Applied Science Learning Center*

Module number and the title	Contents
1. The History and Overview of AS	The history and overview of AS; famous persons with AS in the world; and effects of having AS
2. Common Characteristics of AS and Brief Overview of Differences and Similarities between Autism and AS	A flow-chart-type instrument for educators to understand the manifesting differences between Autism and AS
3. Short Case Studies	Four to five short case scenarios to aid in integrating theory into practice; these scenarios are based on the true experiences of the first author interacting with an individual with AS for many years
4. Extending Knowledge – Inclusive Education Overseas	Practices from New Brunswick, Canada, which is considered to be one of the world's leader in inclusive education, to widen educators' knowledge of supporting students with AS in regular classrooms
5. Open-Learning for Professional Communities	Video chat, online discussion, and conference calls in order to support the interactive learning

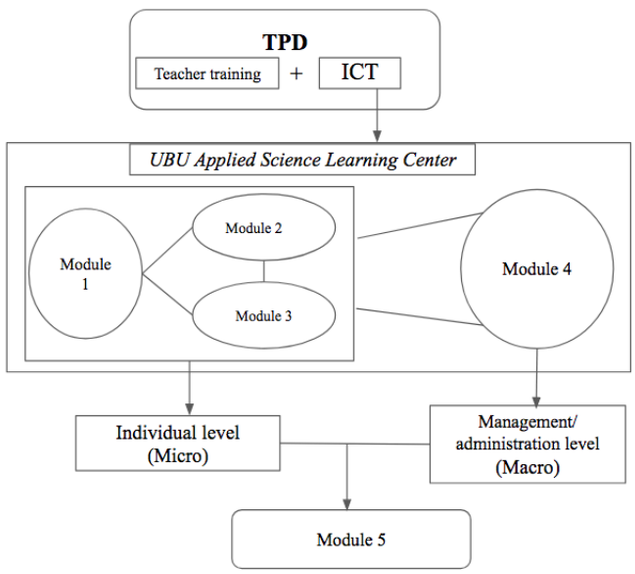


Figure 1 The framework of the *UBU Applied Science Learning Center*

Modules 1 to 4 can be directly accessed via the web application. Module 5 is a form of applied, interactive open-source. Therefore, this module can be accessed either directly via the application or social networking services to allow improved accessibility. Figure 2 provides a visual organization of the *UBU-ASLC* system.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

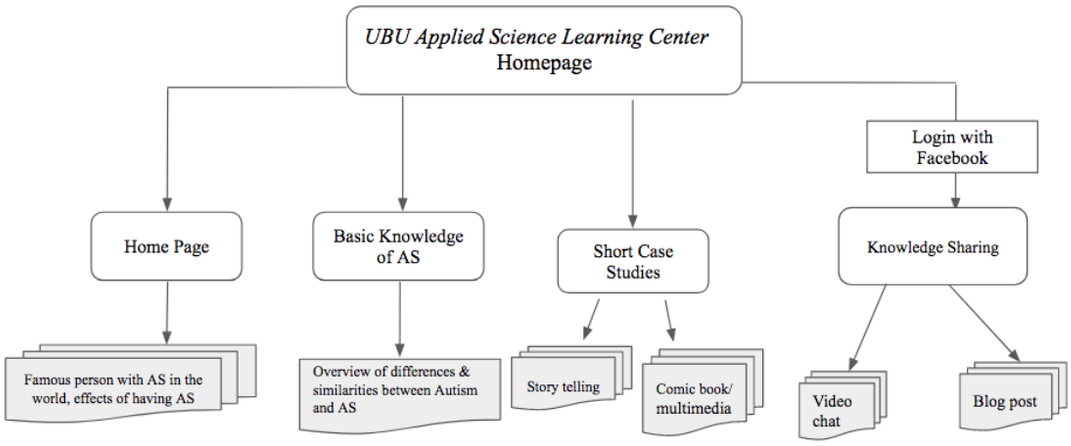


Figure 2 The visual organization of the *UBU Applied Science Learning Center*

Multiple software was employed to develop the *UBU-ASLC* system. Table 2 shows the software development tools used for the structure of the *UBU-ASLC* system and their purposes.

Table 2 Details of the software development tools used for the structure of the *UBU-ASLC* system

Purpose of use	Software development tools	Description
Language	PHP, HTML, CSS, JAVA Script	Language processors
Database management	MySQL	An open source, enabling the management of relational database (Oracle Corporation, 2019)
Text coding	Sublime Text	Enables the coding and editing of the text (Sublime, 2019)

In order to support multiple learning modes, the *UBU-ASLC* system also employs multimedia features. Table 3 shows the details of the software used for the contents and their purposes.

Table 3 Details of the software used for the contents of the *UBU-ASLC* system

Contents	Software used	Purposes of use
Expert presentation (Module 1)	YouTube videos	Increasing cognitive and affective learning
Cartoons in case studies (Module 3)	Microsoft PowerPoint, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator	Visual effects and increasing readability
Interviews (Module 4)	Smartphone, iMovie	Recording and editing
Video chat (Module 5)	Skype	Increasing accessibility
Blog posts (Module 5)	Facebook	

Participants and implementation

The study employed a quasi-experimental, one-group post-test only design. Participants were recruited via purposive sampling. The program implementation occurred in Ubon Ratchathani, Thailand. First, two groups of in-service teachers from varied grade levels and school sizes participated in the preliminary implementation of the *UBU-ASLC* system. It was requested in their feedback that an interactive feature was included in the application to enhance knowledge sharing among users. Subsequently, the application was

modified and upgraded accordingly. Thereafter, the sample group of 32 pre-service teachers from the local teachers' college were recruited to participate in the TPD program. They would be shortly at their final teaching practicum. These pre-service teachers were chosen with an intention that this program could aid in establishing their teaching philosophy and practice as novice professionals. Table 4 provides a summary of the demographic characteristics of participants.

Table 4 Demographic characteristics of participants

Recruitment methods	Type of implementation	Group (*N*)	Demographics	Location of the TPD program
Purposive sampling	Preliminary	1 (*N* = 6)	In-service classroom teachers and administrative staff; From primary and secondary schools	Facility at University
		2 (*N* = 6)	In-service classroom teachers; From primary schools and the Early Childhood Education Center	
	Major	3 (*N* = 32)	Pre-service teachers (Local teachers' college students); Early Childhood Education major and at the start of the final practicum	Teachers' college

The implementation of the *UBU-ASLC* system occurred on three independent occasions. The first two sessions with in-service teachers were considered as preliminary implementation, due to the novelty of the learning subject and the learning tool. The third session, with pre-service teachers, was a major implementation to examine the effectiveness of this innovative application.

Both the first and the second groups attended the teacher training session held at the university facility. The *UBU-ASLC* system was introduced at the end of the session. Participants were asked to evaluate the design and contents of the application after the trial period. One to two weeks following the training session, 50% of the participants were randomly selected for follow-up interviews. For the first group, the preliminary application was in English. Participants requested language to be changed to Thai for more familiarity. Likewise, inclusion of diverse multimedia features was requested. For the second group, the application was modified to be bilingual (English and Thai). Participants suggested that the application should be a platform for interactive learning and contain more culturally competent information. Given the feedback from both groups, the application was further modified prior to the major implementation.

The third group of pre-service teachers were invited to attend the teacher training session held at a facility of their college. The *UBU-ASLC* system was introduced at the end of the session. They were able to use the updated application with the interactive learning features. After the trial period, they were asked to evaluate the design and contents of the application. One to two weeks following the training session, 50% of the participants were randomly selected for follow-up interviews.

Data collection and analysis

For the quantitative evaluation, Likert-scale style questionnaires were employed. Participants were asked to rate the most suitable answer on a scale of 1 (Strongly disagree) to 5 (Strongly agree). The questions were divided into two major categories of the general contents and the design. Table 5 summarizes the category, focus, and sample questions of this questionnaire. Mean and standard deviation were observed to determine the effectiveness of the *UBU-ASLC* system in enhancing knowledge building and retention.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Table 5 Summary of the evaluation questionnaire

Category	Focus of questions	Sample questions
General contents	The amount, appropriateness, and suitability of the information provided in the *UBU Applied Science Learning Center*	"Did the *UBU Applied Science Learning Center* provide useful and resourceful information to help understand students with AS?" "Did the *UBU Applied Science Learning Center* provide sufficient knowledge in enhancing understanding of AS?"
Design	The usability, color, layout, and the language used in the *UBU Applied Science Learning Center*	"Was the *UBU Applied Science Learning Center* user-friendly?" "Do you think all the information on the *UBU Applied Science Learning Center* appeared credible and reliable?"

For the qualitative evaluation, the open-ended, semi-structured interviews were designed to allow participants to freely evaluate the *UBU-ASLC* system. These questions were also based on two categories of general contents and design of the application.

The construct validity, which measures the proper intention of the research instruments (Haele and Twycross, 2015), was examined through the statistical analysis of the evaluation questionnaire. Cronbach's alpha was calculated to examine the internal consistency of the research instruments (see Table 6). The descriptor in Table 6 was adapted from Taber (2016).

Table 6 Cronbach's alpha value and the descriptor

Data Collection Instruments	Cronbach's alpha value	Descriptor
Evaluation Questionnaires	0.93	Excellent/High

Results and discussions

By taking the results and comments from the precursory version of the UBU-ASLC system into account, the modification has been made. The examples of screenshots of the modified version of our *UBU-ASLC* system was illustrated in Figure 3 and Figure 4.

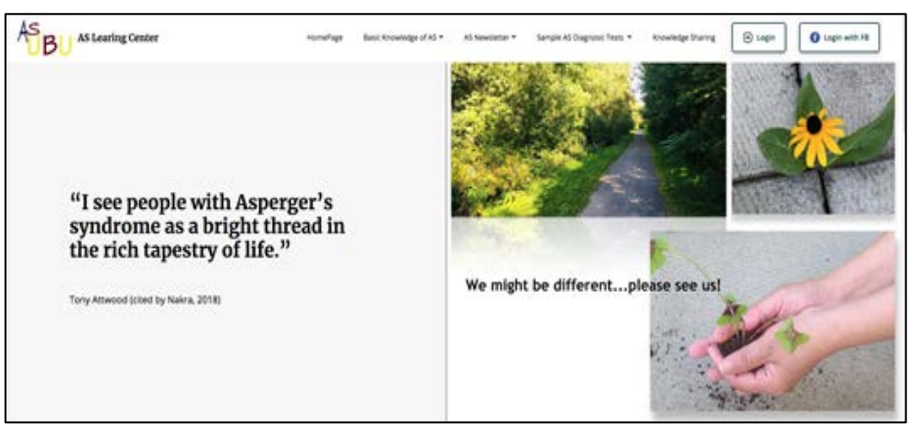
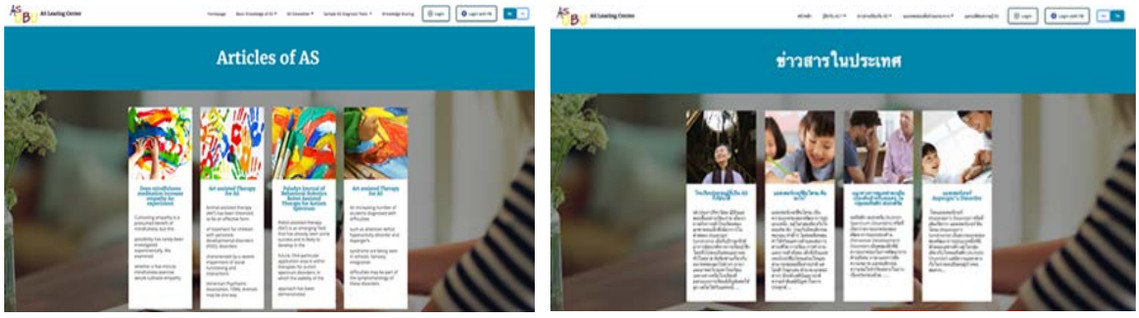


Figure 3 The screenshots of the *UBU-ASLC system* : Homepage



(A) (B)

Figure 4 The screenshots of the *UBU-ASLC system* (Module 3): Research articles in English (A) and in Thai (B)

The overall mean score of the *UBU-ASLC* system evaluation was 4.65 (SD = 0.52) (see Table 7 for item descriptions). For both content and design questions, participants regarded and rated this system highly.

Table 7 Statistical item descriptions for the evaluation questionnaire

Questions		Mean	SD
General contents	Did the *UBU Applied Science Learning Center* provide useful and resourceful information to help understand students with AS?	4.53	0.62
	Did the *UBU Applied Science Learning Center* increase the knowledge of teaching and learning with regard to educating students with AS?	4.72	0.53
	Did the *UBU Applied Science Learning Center* provide sufficient knowledge in enhancing understanding of AS?	4.66	0.48
	Do you think you can apply knowledge learned from this application to the classroom setting?	4.62	0.55
	Do you think the amount of information provided on the *UBU Applied Science Learning Center* was enough to build understanding of AS?	4.63	0.55
	Overall, do you think all the contents appeared well-organized?	4.69	0.54
Design	Was the *UBU Applied Science Learning Center* user-friendly?	4.63	0.49
	Were all the images and media related to the contents of AS learning?	4.69	0.47
	Do you think all the information on the *UBU Applied Science Learning Center* appeared credible and reliable?	4.72	0.46
Overall		**4.65**	**0.52**

(N=32), SD = standard deviation

All the interviews were transcribed, and the contents were analyzed based on two major categories - the contents and the design of the web application. Table 8 provides a summary of the questions and answers from these interviews.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Table 8 Summary of interviews with selected participants

Interview questions		Contents	Design
		How did you think the contents of the web application helped you to understand AS better?	**Was the information easy to follow, use, or understand?**
Summary of responses	Participant #1	"I learned a lot, but I would like to see more case studies in different contexts (age, gender, life experiences)."	"The design was easy to follow."
	Participant #2	"I felt the information was well-supported by the past literature."	"The layout helped me learning better."
	Participant #3	"Even I read briefly about AS in the textbook, I never knew that there were more to learn about it."	"I was excited to learn that I will be able to share my knowledge with others and learn from others."

The results of this implementation suggested that the web application was an effective means to enhance knowledge building and retention of AS. Participants regarded that the web application contained sufficient, resourceful information to increase their knowledge of AS, and build confidence that they could apply their learning to their teaching practice. In addition, participants evaluated the web application as a critical component of the TPD program. Commonly shared comments indicated that this web application aided in knowledge retention, concrete understanding of the condition, and knowledge application to practice. The first and second objectives of this study - the web application would serve as a valuable component of the TPD program in order to build knowledge of AS and to provide sufficient information to enhance knowledge retention - were fully achieved.

Particularly, the interactive learning features in Module 5, open-learning for professional communities, were received with much enthusiasm. Participants were immensely engaged in these features and actively participated in the online discussions. The comments for this module included, "The interactive features were very helpful for knowledge sharing," and "very accessible and fantastic." It is interesting to note that a few participants in the pre-service teacher group mentioned that they had read a paragraph about AS in their textbook. However, the chapter of that particular paragraph was not the required reading for the class. Therefore, not all the participants were aware of the availability of information. Nonetheless, these keen participants played a major role in motivating the entire group and as a result, their learning outcomes were positively affected. Even though these participants were pre-service teachers, they have already formed their own professional learning community successfully. This fulfilled the third objective of this study: that the *UBU-ASLC* system supported diverse modes of learning by increased accessibility and the promotion of a professional learning community.

An initiation of forming the professional learning community was also observed in the preliminary implementation of the TPD program. One in-service teacher in the preliminary session regarded that the *UBU-ASLC* system would benefit not only Thai educators, but also those in the neighboring countries. Additionally, after the session, this participant connected the first author with the Dean of Medicine Faculty for a project meeting. In the near future, it is intended that instructional programs be developed to assist students with AS.

Conclusions

This study was regarding the development and the implementation of a web application to Thai educators to build understanding of AS. As a primary, valuable, and accessible component of the TPD

program, the *UBU-ASLC* system offered a wealth of knowledge for educators to promote awareness and knowledge retention, as well as the creation of a professional learning community by incorporating diverse learning modes into their teaching practice. High satisfaction was reported by the participants.

Feedback from this study highlighted several issues needing improvement for the future. First, the study was conducted in a relatively small, homogeneous, rural area of Thailand. Therefore, the future replicated studies may need to be conducted in urban areas of the country to include more diversity. Second, as the discussion indicated, the *UBU-ASLC* system was offered in only one language (Thai). The need to have the English version was suggested in order to benefit the neighboring countries of Thailand and expand our own knowledge further. Lastly, participants suggested that the case studies be more diverse and inclusive in order for them to be able to apply their knowledge to face-to-face teaching with students of different ages and grade levels.

AS presents wide ranges of strengths and challenges for each person. As educators, we support and guide these individuals to empower themselves. This current TPD program aims to be a pioneer in the effort to raise AS awareness in Thailand. Effective education is valuable for educators who are willing to nurture their students' strengths. In the near future, the benefits from this suitable means can be extended to the neighboring countries and could be applied for any kind of subjects. Ultimately, it is researchers' hope that this web application can be a stepping stone to increase information literacy for educators.

Acknowledgements

This research study of the first author was inspired by the life experience of her good friend and appreciated her contribution. Moreover, this research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

Cassidy, S., Bradley, P., Robinson, J., Allison, C., McHugh. M. and Baron-Cohen, S. (2014). Suicidal ideation and suicide plans or attempts in adults with Asperger's syndrome attending a specialist diagnostic clinic: A clinical cohort study. **The Lancet Psychiatry**, 1(2), 142-147.

Drigas, A. S. and Ioannidou, R.-E. (2013). Special education and ICTs. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, 8(2), 41-47.

Gallagher, S. A. and Gallagher, J. J. (2002). Gifted and Asperger's Syndrome: A new agenda for education. **Understanding Our Gifted**, 14(2), 1-9.

Grandin, T. (2002). The world needs people with Asperger's Syndrome. **Cerebrum**, 4(4), 73-82.

Gregson, J. A. and Sturko, P. A. (2007). Teachers as adult learners: Re-conceptualizing professional development. **Journal of Adult Education**, 36(1), 1-18.

Griffin, H. C., Griffin, L. W., Fitch, C. W., Albera, V. and Gingras, H. (2006). Educational interventions for individuals with Asperger Syndrome. **Intervention in School and Clinic**, 41(3), 150-155.

Haele, R. and Twycross, A. (2015). Validity and reliability in quantitative studies. **Evidence-Based Nursing**, 18(3), 66-67.

Huang, Y-M., Liang, T-H., Su, Y-N. and Chen, N-S. (2012). Empowering personalized learning with an interactive e-book learning system for elementary school students. **Educational Technology Research and Development**, 60(4), 703-722.

Istenic Starcic, A. and Bagon, S. (2014). CIT-supported learning for inclusion of people with special needs: Review of seven educational technology journals, 1970-2011. **British Journal of Educational Technology**, 45(2), 202-230.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Jung, I. (2005). ICT-pedagogy integration in teacher training: Application cases worldwide. **Educational Technology & Society**, 8(2), 94-101.

Khaiman, C., Onnuam, K., Photchanakaew, S., Chonchaiya, W. and Suphapeetiporn, K. (2015). Risk factors for autism spectrum disorder in the Thai population. **European Journal of Pediatrics**, 174(10), 1365-1372.

Kite, D. M., Gullifer, J. and Tyson, G.A. (2013). Views on the diagnostic labels of Autism and Asperger's Disorder and the proposed changes in the DSM. **Journal of Autism and Developmental Disorders**, 43(7), 1692-1700.

Kobak, K. A., Stone, W. L., Wallace, E., Warren, Z., Swanson, A. and Robson, K. (2011). A web-based tutorial for parents of young children with Autism: Results from a pilot study. **Telemedicine and e-Health**, 17(10), 804-808.

Konstantinidis, E. I., Luneski, A., Frantzidis, C. A., Nikolaidou, M. M., Hitoglou-Antoniadou, M. and Bamidis, P. D. (2009). Information and communication technologies (ICT) for enhanced education of children with Autism Spectrum Disorders. **The Journal on Information Technology in Healthcare**, 7(5), 284-292.

Lewis, L., Trushell, J. and Woods, P. (2005). Effects of ICT group work on interactions and social acceptance of a primary pupil with Asperger's Syndrome. **British Journal of Educational Technology**, 36(5). 739-755.

Lindsay, S., Proulx, M., Thomson, N. and Scott, H. (2013). Educators' challenges of including children with Autism Spectrum Disorder in mainstream classrooms. **International Journal of Disability, Development and Education**, 60(4), 347-362.

Linton, K. F., Krcek, T.E., Sensui, L.M. and Spillers, J. L. H. (2013). Opinions of people who self-identify with Autism and Asperger's on DSM-5 criteria. **Research on Social Work Practice**, 24(1), 67-77.

Little, C., Vibulpatanavoug, K. and Evans, D. (2014). Investigating Thai teachers attitudes toward students with Autism. **Journal of Educational Research**, 9(1), 207-215.

Oracle Corporation. (2019). MySQL. Retrieved 2 August 2019, from **MySQL**: https://www.mysql.com/

Rodríguez, I. R., Saldaña, D. and Moreno, F. J. (2012). Support, inclusion, and special education teachers' attitudes toward the education of students with Autism Spectrum Disorders**. Autism Research and Treatment**, 12(3), 1-8.

Smith Myles, B. and Simpson, R. L. (2002). Asperger Syndrome: An overview of characteristics. **Focus on Autism and Other Developmental Disabilities**, 17(3), 132-137.

Sublime. (2019). A sophisticated text editor for code, markup and prose. Retrieved 2 August 2019, from **Sublime Text**: https://www.sublimetext.com/

Taber, K. S. (2016). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. **Research in Science Education**, 48(6), 1273-1296.

Vibulpatanavoug, K. (2018). Inclusive education in Thailand. **Advances in Social Science, Education and Humanities Research (ASSEHR)**, 169, 67-70.

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 228 - 240
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.20

Research Article

The effects of inquiry-based learning activities on the heterogeneous mixture separation on academic achievement and analytical thinking abilities of Grade-6 students

Adisorn Phonsrikhaw[1], Tawan Thongsuk[1] and Chulida Hemtasin[1,*]
[1]*Department of General Sciences, Faculty of Education and Educational Innovation, Kalasin University*
**Email:* chulida.ph@ksu.ac.th

Received <2 February 2023>; Revised <13 May 2023>; Accepted <26 May 2023>

Abstract

The purposes of this research were 1) to develop inquiry-based learning activities for grade-6 students to be effective according to the 85/85 criteria, 2) to compare academic achievement after learning activities, 3) to compare critical thinking, and 4) to study the satisfaction of 6th graders with inquiry-based learning activities on the separation of mixed substances. The sample group was grade-6 students in a school in Mahasarakham province. This study was in the first semester of 2022 academic year, selected amount 37 students from 1 class by cluster random sampling. Classroom was used as a random sampling unit in the amount of 1 classroom. The research applied the One group pretest-posttest design for the Pre-Experiment Design. The tools used in the research are as follows 1) inquiry-based learning plan 2) Achievement Test 3) Critical thinking ability test and 4) satisfaction assessments affecting learning activities. Statistics used to analyze the data include percentage, mean, standard deviation, and dependent sample t-test statistics. The results showed that 1) the lesson plans of inquiry-based learning activities had the efficiency, 85.69/83.21, 2) the students' mean score on the post-test achievement were higher than the pre-test mean score at the significant level of .05, 3) the student's analytical thinking abilities after learned by the developed lesson plans was higher than before learning at the .05 level of statistically significant, and 4) satisfaction with inquiry-based learning activities had an average of 4.80, in the highest level of satisfaction.

Keywords: Inquiry-based learning activities, Academic achievement, Analytical thinking

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่องการแยกสารเนื้อผสม ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

อดิศร พลสีขาว[1] ตะวัน ทองสุข[1] และชุลิดา เหมตะศิลป์[1,*]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

**Email:* chulida.he@ksu.ac.th

รับบทความ: 2 กุมภาพันธ์ 2566 แก้ไขบทความ: 13 พฤษภาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 26 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนากิจกรรมการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 85/85 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น 3) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ 4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดมหาสารคาม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 36 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยของการสุ่ม จำนวน 1 ห้องเรียน การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบการทดลองขั้นต้น โดยเป็นการทดลองแบบ One group pretest-posttest design เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้ 1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 3) แบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ และ 4) แบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติ dependent t-test ผลการวิจัยพบว่า 1) แผนจัดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 85.69/83.21 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหา 5 ขั้น สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 4) ความพึงพอใจในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.80 อยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด

คำสำคัญ: การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

การคิดวิเคราะห์เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการแก้ไขปัญหาซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการเตรียมความพร้อมให้กับเด็กสำหรับชีวิตและการทำงานในศตวรรษที่ 21 (Robbins, 2011) ที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถแยกแยะข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเรียนรู้ของพวกเขา (Elder and Paul, 2019) ซึ่งเหมาะสำหรับนห้องเรียนทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนต้องใช้ทักษะการคิดวิเคราะห์ ในการกำหนดสมมติฐาน วางแผนการทดลอง และสรุปผลโดยใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ ความสามารถนี้เกี่ยวข้องกับการผลลัพธ์ที่อนุมานช่วยให้นักเรียนสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Perdana *et al*, 2019) ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนสูงขึ้น (Kwinram, Noisombut and Worapun, 2022; Ratniyom *et al*, 2021; Theabthueng, Khamsong and Worapun, 2022)

แต่สภาพการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบันยังไม่สามารถพัฒนาผู้เรียนทำให้เป็นไปตามสภาพการเรียนรู้ที่กล่าวมา เนื่องจากรูปแบบการจัดการเรียนการสอนขาดกิจกรรมที่ส่งเสริมการพัฒนาความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ ซึ่งที่ผ่านมาการจัดการเรียนรู้มักดำเนินตามกระบวนการ ป้อนเนื้อหาให้นักเรียนทำความเข้าใจ จดจำ แล้วทำแบบฝึกหัด ยังอยู่ในขั้นความรู้ความจำ ทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์ ไม่เน้นทักษะกระบวนการที่ให้ผู้เรียนได้ฝึกพัฒนาความสามารถด้านความคิดวิเคราะห์และการแสวงหาความรู้ได้ด้วยตนเองขาดการประเมินผลสัมฤทธิ์ในส่วนกระบวนการเรียนรู้ ส่งผลให้ผู้เรียนมีระดับผลการเรียนเฉลี่ยต่ำ อีกทั้งพบว่าความผิดพลาดของการสอนวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน ได้แก่ การจัดการเรียนการสอนที่ขาดความน่าสนใจ เน้นการท่องจำมากกว่าการฝึกทักษะกระบวนการคิด การเรียนการสอนที่มีเนื้อหามาก นักเรียนขาดความกระตือรือร้น ในขณะเรียน (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2008) ดังที่ Seekeaw and Nasaree (2022) “กล่าวว่าครูต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการสอนแบบเดิม ๆ ที่คอยป้อนความรู้ให้กับนักเรียนเพียงอย่างเดียว ไปเป็นครูที่เป็นผู้ฝึก (Coach) หรือผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (Learning facilitator) ครูต้องเปลี่ยนเป้าหมายการเรียนรู้ของนักเรียนจากเน้นเรียนวิชาเพื่อได้ความรู้ให้ไปสู่การพัฒนาทักษะที่สำคัญต่อชีวิตในยุคใหม่ หรือยุคศตวรรษที่ 21” จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยพบว่า มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ และส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ที่มีความสำคัญต่อผู้เรียนในยุคปัจจุบัน เช่น แนวคิดของ บลูม (Bloom's Revised Taxonomy) ต่อมามีนักการศึกษาหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิดประเภทต่าง ๆ เช่น การจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหา (Problem Solving Method) การการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem Based Learning) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น การจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน (Project Based Learning) การจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ (Constructivist Learning Theory) การจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการแก้ปัญหาอนาคต (Future Problem Solving Technique) การการเรียนรู้ด้วย เทคนิค KWL, KWDL และ KWL-Plus เทคนิค 4 MAT การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบประสบการณ์ ของคอล์บ (Kolb’ s Experience Learning Model) การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ (Cooperative Learning) รวมถึงการใช้คำถามในการสอนคิด (Question for Thinking Skills) เป็นต้น (Laowreandee, 2006) แต่ พบว่าการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่เน้นผู้เรียนเป็นเรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการสืบเสาะหาความรู้ของนักวิทยาศาสตร์ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ในห้องเรียนควรให้สอดคล้องกับ 5 ลักษณะสำคัญในการสืบเสาะหาความรู้ ได้แก่ 1) ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการตั้ง ประเด็นคำถาม 2) ผู้เรียนให้ความสำคัญกับข้อมูลหลักฐาน 3) ผู้เรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามข้อมูล 4) ผู้เรียนเชื่อมโยงคำอธิบายของตนกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือคำอธิบายอื่น ๆ และ5) ผู้เรียนสื่อสารและให้เหตุผล ผู้สอนสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามลำดับความเหมาะสมกับศักยภาพและพัฒนาการของผู้เรียน (Olson and Loucks-Horsley, 2000) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูมีความสำคัญในการสอนครูควรนำเสนอสถานการณ์ที่ใกล้ตัวหรือพบเจอในชีวิตประจำวันจะส่งผลต่อให้การวิเคราะห์ (Auppatham and Poonpaiboonpipat, 2021)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (inquiry-based learning activities) เป็นรูปแบบการสอนวิธีหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ผู้เรียนใช้วิธีการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Inquiry Approach) ที่ต้องใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการค้นพบความรู้หรือประสบการณ์เรียนรู้ด้วยตนเองวัฏจักรการเรียนรู้ เป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นจุดศูนย์กลาง ให้ผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองและส่งเสริมความสามารถในด้านการคิดวิเคราะห์ ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น มี 5 ขั้นตอน เป็นกระบวนการที่มีส่วนช่วยให้ผู้เรียนได้จดจำ กับความรู้ใหม่สามารถเชื่อมโยงความรู้จากเนื้อหาของบทเรียนให้ เข้าใจง่ายขึ้น ทำให้เข้าใจ จดจำได้นานและมุ่งส่งเสริมให้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ผู้เรียน เกิดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ แล้วสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม (Novak and Gowin, 1984) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนโดยยกตัวอย่างสถานการณ์ที่กำลังเกิดขึ้นอยู่ในช่วงเวลานั้นหรือเป็นเรื่องที่กำลังเชื่อมโยงกับความรู้เดิมแล้วยังกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถามในตัวเองในประเด็นที่จะศึกษา 2) ขั้น สำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นขั้นที่นักเรียนต้องมีการวางแผนกำหนดแนวทางในการรวบรวมข้อมูล เพื่อตั้งสมมติฐานโดยการจินตนาการวิธีแก้ปัญหา แล้วเลือกวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุดเพื่อหาแนวทางแก้ไข 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ขั้นนี้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ การวิเคราะห์ การแปลผล สรุปผล และนำเสนอผลที่ได้ โดยนักเรียนจะสร้างสรรค์ผลผลิตตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างครูกับนักเรียน และนักเรียนกับนักเรียนด้วยกัน 4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นขั้นที่นักเรียนนำความรู้ที่ได้ไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือนำแนวคิดที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติมไปอธิบายเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดความรู้ที่ กว้างขวางมากขึ้น 5) ขั้นประเมินผล (Evaluation) เป็นขั้นสุดท้ายโดยนักเรียนจะประเมินการเรียนรู้ในด้าน กระบวนการปฏิบัติงานและผลงานซึ่งนักเรียนต้องปรับปรุงกระบวนการออกแบบขั้นตอนการปฏิบัติจนถึงผลงานของกลุ่มแล้วอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ซึ่งอาจเกิดเป็นปัญหาใหม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้ (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2012) ซึ่งต่อมามีนักการศึกษาไทยโดยใช้กรณีศึกษาไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เช่น ผลวิจัยของ Supamustduangkoon (2016) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์เรื่องภัยพิบัติทางธรรมชาติ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยัง พบว่าความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 อยู่ในระดับสูง และ ผลวิจัยของ Uttaman and Art-in (2012) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E พบว่า นักเรียนที่เรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 79.87 และมีคะแนนการคิดวิเคราะห์ร้อยละ 81.25 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

จากเหตุผล แนวคิด และหลักการดังกล่าว ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาความสำคัญของวิธีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ซึ่งเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญและเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิม แสวงหาความรู้ใหม่และเสริมสร้างประสบการณ์ตรงให้กับผู้เรียน เรียนรู้จากการลง มือปฏิบัติจริง สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง มีการวัดและประเมินผลจากการทำกิจกรรมได้อย่างถูกต้อง ผู้เรียนจะสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ได้ด้วยตนเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เพื่อเป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ตลอดจนส่งเสริมให้นักเรียนได้มีโอกาศพัฒนาความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ของตัวเองให้มากยิ่งขึ้น”

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่องการแยกสารเนื้อผสมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 85/85

2. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังเรียน

3. เปรียบเทียบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังเรียน

4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัย กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดมหาสารคาม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 36 คน ซึ่งได้จากการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม จำนวน 1 ห้องเรียน

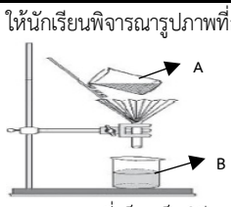
2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม จำนวน 9 แผน แผนละ 1 คาบ รวมเวลาเรียน 9 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยนำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 9 แผน เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านแผนการจัดการเรียนรูปและการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและพิจารณาโดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามวิธีของ Likert (Srisaard, 2002) ผลการประเมิน พบว่า มีค่าเฉลี่ย 4.45 หมายถึง แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมมากที่สุด และปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นนำแผนไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ไม่ใช้กลุ่มตัวอย่าง เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการใช้ภาษา เวลา เนื้อหา และสื่อการเรียนรู้ ทำการปรับปรุงแก้ไขให้เรียบร้อยเหมาะสมและจัดพิมพ์เป็นฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 45 ข้อ ซึ่งสอดคล้องกับแนวแนวคิดของ แนวคิดของ Bloom *et al*. (1956) ได้จำแนกระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยตามจุดมุ่งหมายทางการศึกษาใช้ในการวัดและประเมินผลด้านพุทธิพิสัยของผู้เรียนเป็น 6 ระดับ ได้แก่ 1) ความจำ 2) ความเข้าใจ 3) นำไปใช้ 4) วิเคราะห์ 5) สังเคราะห์ และ 6) ประเมินค่า ในปี ค.ศ. 2001 แอนเดอร์สันและแครทโวทล์ ได้ปรับระดับ พฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยใหม่เป็น “Bloom’s Revised Taxonomy” (Anderson and Krathwohl, 2001) จำแนกได้เป็น 6 ระดับดังนี้ 1) ความจำ 2) ความเข้าใจ 3) ประยุกต์ใช้ 4) วิเคราะห์ 5) การประเมินค่า และ 6) สร้างสรรค์ โดยผู้วิจัยกำหนดจำนวนข้อสอบ 90 ข้อ ต้องการใช้จริงจำนวน 45 ข้อ แล้วทำการสร้างข้อสอบให้สอดคล้องกับเนื้อหาย่อย และจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ได้วิเคราะห์ไว้ หลังจากนั้นนำแบบทดสอบเสนอต่อเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านแผนการจัดการเรียนรูปและการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อประเมินความสอดคล้องของข้อสอบแต่ละข้อกับจุดประสงค์การเรียนรู้ เมื่อแบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ผ่านการหาหาคุณภาพแล้วผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC โดยคัดเลือกข้อที่มีค่าดัชนีสอดคล้องตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 ผลปรากฏว่า ได้ข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 45 ข้อ โดยมีค่า IOC เท่ากับ 0.67 ถึง 1.00 นำแบบทดสอบไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 40 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำผลการทดลองมาหาคุณภาพของขอสอบผลปรากฏว่า ได้ข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 45 ข้อ ผู้วิจัยจึงทำการเลือกข้อสอบที่เหมาะสมทั้งหมด 45 ข้อโดยมีค่าความยาก (P) ตั้งแต่ 0.48 – 0.58 ค่าอำนาจจำแนก (R) ตั้งแต่ 0.21 – 0.48 และค่าความเชื่อมั่น (r_{cc}) ของแบบทดสอบทั้งฉบับตามวิธีของ Lovett’s (Worakham, 2012) เท่ากับ 0.90 หลังจากนั้น จัดพิมพ์แบบทดสอบเป็นฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 1

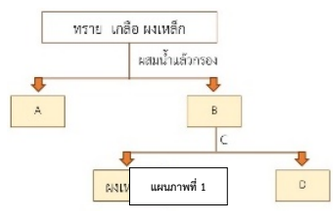
ตารางที่ 1 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการ

ตัวอย่างคำถามในแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	
1. การแยกสารที่มีสถานะของแข็งผสมกับของแข็งที่มีขนาดและมีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจน เรียกว่า การแยกสารด้วยวิธีใด ก. การกรอง ข. การร่อน ค. การหยิบออก ง. การตกตะกอน	ให้นักเรียนพิจารณารูปภาพที่กำหนดให้ แล้วตอบคำถามข้อ 3-4  3. จากภาพที่เห็น เป็นวิธีการแยกสารผสมด้วยวิธีใด ก. การกรอง ข. การร่อน ค. การระเหิด ง. การระเหยแห้ง
“เมื่อเทสารเนื้อผสมที่เป็นของแข็งผสมอยู่กับของแข็งไปในตะแกรง จากนั้นส่ายตะแกรง สารที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่ารูตะแกรง จะลอดผ่านรูของตะแกรง” 2. จากข้อความข้างต้น หมายการแยกสารด้วยวิธีใด ก. การกรอง ข. การรินออก ค. การร่อน ง. การตกตะกอน	4. ถ้าต้องการแยกผงถ่านที่ลอยอยู่ในน้ำโดยใช้วิธีการดังรูปภาพที่กำหนดให้ ข้อใดเป็นผลของการแยกสารที่ถูกต้อง ก. น้ำและผงถ่านติดอยู่บนภาชนะ A ข. น้ำและผงถ่านไหลลงมาภาชนะ B ค. ผงถ่านจะติดอยู่บนภาชนะ A และน้ำอยู่ในภาชนะ B ง. น้ำจะติดอยู่บนภาชนะ A และผงถ่านอยู่ในภาชนะ B

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

2.2.2 แบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อ สร้างแบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ตามแนวคิดของบลูม (Bloom, 1956) หลักการคิดวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ วิเคราะห์ความสำคัญ วิเคราะห์สัมพันธ์ และวิเคราะห์หลักการ โดยผู้วิจัยกำหนดจำนวนข้อสอบ 30 ข้อ ต้องการใช้จริง จำนวน 15 ข้อ แล้วทำการสร้างข้อสอบให้สอดคล้องกับเนื้อหาย่อย และจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ได้วิเคราะห์ไว้ หลังจากนั้นนำแบบทดสอบเสนอต่อเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านแผนการจัดการเรียนรูปและการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อประเมินความสอดคล้องของข้อสอบแต่ละข้อกับจุดประสงค์การเรียนรู้ เมื่อแบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ผ่านการหาหาคุณภาพแล้ว ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาค่าดัชนีความสอดคล้อง โดยคัดเลือกข้อที่มีค่าดัชนีสอดคล้องตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 ผลปรากฏว่า ได้ข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 15 ข้อ โดยมีค่า IOC เท่ากับ 0.67 ถึง 1.00 นำแบบทดสอบไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 40 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำผลการทดลองมาหาคุณภาพของขอสอบผลปรากฏว่า ได้ข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 15 ข้อ ผู้วิจัยจึงทำการเลือกข้อสอบที่เหมาะสมทั้งหมด 15 ข้อโดยมีค่าความยาก (P) ตั้งแต่ 0.48 – 0.55 ค่าอำนาจจำแนก (R) ตั้งแต่ 0.55 – 0.75 และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับตามวิธีของ Kuder-Richardson Method (Worakham, 2012) เท่ากับ 0.80 หลังจากนั้น จัดพิมพ์แบบทดสอบเป็นฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์

ตัวอย่างคำถามในแบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์	
อ่านสถานการณ์ต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามข้อ 1-2 การวิเคราะห์พลาสติกขนาดเล็กหรือไมโครพลาสติกในตะกอนบริเวณร่องน้ำเหนือหาดทรายทำโดย การนำตัวอย่างตะกอนมาใส่น้ำเกลือแล้วใช้แท่งแก้วคนสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 6 ชั่งโมง จะพบตะกอนทรายที่ก้นภาชนะ แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำเกลือมาเทผ่านกระดาษกรอง จากนั้นปล่อยให้กระดาษกรองแห้ง ตรวจสอบสารบนกระดาษกรองพบพลาสติขนาดเล็กหรือไมโครพลาสติกจำนวนมากปะปนกับตะกอนดินเหนียว 1. จากสถานการณ์ดังกล่าว ใช้วิธีการใดบ้างในการแยกสาร ตามลำดับ ก. การกรอง การตกตะกอน ข. การินออก การกรอง ค. การตกตะกอน การรินออก ง. การตกตะกอน การกรอง	ให้พิจารณาแผนภาพที่ 1 ที่กำหนดให้ แล้วตอบคำถามข้อ 3-4 สารเนื้อผสมที่ประกอบด้วยทราย เกลือ และผงเหล็ก มาแยกด้วยวิธีการต่าง ๆ สารที่แยกได้แสดงดังแผนภาพ  3. นำสารทั้ง 3 ชนิด มีทราย เกลือ และผงเหล็กผสมน้ำ แล้วใช้วิธีการแยกสารด้วยการกรอง จะได้สารที่ผ่านการกรอง จะได้สาร A กับ สาร B ดังแผนภาพที่ 1 แล้วสาร A , B ที่แยกได้ หมายถึงสารในคือใด ก. A = ผงเหล็ก B = เกลือ ข. A = ผงเหล็ก B = ทราย ค. A = ทราย B = ผงเหล็กกับน้ำเกลือ ง. A = ผงเหล็ก B = น้ำกับเกลือ
2. จากสถานการณ์ดังกล่าว ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง เกี่ยวกับการนำของเหลวหรือน้ำเกลือที่ได้จากการแยกสารด้วยวิธีการตกตะกอนแล้วนำมาเทผ่านกระดาษกรอง จากนั้นปล่อยให้กระดาษกรองแห้ง ตรวจสอบสารบนกระดาษกรองพบพลาสติขนาดเล็กหรือไมโครพลาสติกจำนวนมากปะปนกับตะกอนดินเหนียว ก. ไมโครพลาสติกเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำเกลือ และไมโครพลาสติกมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ารูพรุนกระดาษกรอง ข. ไมโครพลาสติกเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำเกลือ และไมโครพลาสติกมีขนาดอนุภาคเล็กกว่ารูพรุนกระดาษกรอง ค. ไมโครพลาสติกเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำเกลือ และไมโครพลาสติกมีขนาดอนุภาคเท่ากับรูพรุนกระดาษกรอง ง. ไมโครพลาสติกเป็นสารที่ละลายในน้ำเกลือ และไมโครพลาสติกมรีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ารูพรุนกระดาษกรอง	4. เมื่อนำสารทั้ง 3 ชนิด มีทราย เกลือ และผงเหล็กผสมน้ำ แล้วใช้วิธีการแยกสารด้วยการกรอง จะได้สารที่ผ่านการกรอง จะได้สาร A กับ สาร B แล้วจะแยก B ด้วยวิธีการใดตรงตำแหน่ง C จึงจะสามารถแยกสารเนื้อผสมได้เป็น ผงเหล็ก กับ สาร D ดังแผนภาพที่ 1 ก. C คือ ใช้วิธีการแยกสารด้วยการตกตะกอน ข. C คือ ใช้วิธีการแยกสารด้วยการใช้แม่เหล็กดึงดูด ค. C คือ ใช้วิธีการแยกสารด้วยการร่อน ง. C คือ ใช้วิธีการแยกสารด้วยการระหยแห้ง

2.2.3 แบบสอบถามความพึงพอใจ จำนวน 10 ข้อ กำหนดค่าแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามวิธีของ Likert (Srisaard, 2002) นำแบบสอบถามความพึงพอใจเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน โดยพิจารณา 3 ด้าน คือ 1. ด้านการจัดการเรียนรู้ 2. ด้านสื่อ/อุปกรณ์ 3. ด้านการวัดและประเมินเพื่อศึกษาค โดยการออกแบบ 3 ด้านเพื่อนำข้อมูลวิเคราะห์และพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งถัดไป โดยแบบสอบถามมีค่า IOC เท่ากับ 0.67-1 สามารถใช้ได้

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดมหาสารคาม

3.1 ผู้วิจัยทำการทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์และวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 36 คน ด้วยแบบทดสอบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ จำนวน 15 ข้อ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 45 ข้อ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

3.2 ผู้วิจัยดำเนินการสอนนักเรียนกลุ่มตัวอย่างตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น และกิจกรรมการทดลองแยกสารเนื้อผสม (ภาพที่ 1) ที่เตรียมไว้ ระยะเวลาที่ใช้ 1 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ชั่วโมงละ 60 นาที โดยสอนตามชั่วโมงปกติที่ทางโรงเรียนได้จัดไว้สำหรับการเรียนการสอนในเนื้อหา เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม จนครบทั้ง 9 ชั่วโมง

(ก) (ข)

ภาพที่ 1 กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (ก) กิจกรรมการทดลองแยกสารเนื้อผสม (ข)

3.3 เมื่อดำเนินการทดลองสอนตามเนื้อหาที่กำหนดไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ครบ 9 ชั่วโมงแล้ว ผู้วิจัยจะดำเนินการ ทดสอบหลังเรียน (Post-test) กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 36 คน โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบทดสอบวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม และให้นักเรียนทำแบบสอบถามความพึงพอ จำนวน 10 ข้อ ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม

3.4 ผู้วิจัยนำผลการทดสอบมาตรวจให้คะแนน และทำการวิเคราะห์ข้อมูล

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลของการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

4.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 ตามเกณฑ์ 85/85

4.2 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังเรียน

4.3 เปรียบเทียบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังเรียน

4.4 วิเคราะห์แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม โดยวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำ ค่าเฉลี่ยที่ได้มาแปลผลความพึงพอใจที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ดังนี้ ระดับความพึงพอใจ 5 ระดับ คือ

4.50 – 5.00 ขึ้นไป หมายถึง ความพึงพอใจมากที่สุด

3.50 – 4.49 หมายถึง ความพึงพอใจมาก

2.50 – 3.49 หมายถึง ความพึงพอใจปานกลาง

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

1.50 – 2.49 หมายถึง ความพึงพอใจน้อย
ต่ำกว่า 1.50 หมายถึง ความพึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

การวิจัยการพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีประสิทธิภาพ 85/85 ดังผลตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าประสิทธิภาพของชุดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ประสิทธิภาพของแผน	คะแนนเต็ม	จำนวนนักเรียน (คน)	$\bar{X}$	SD	ร้อยละ
ประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ (E_1)	180	36	154.25	10.21	85.69
ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)	45	36	37.44	2.37	83.21

จากตารางที่ 3 พบว่าประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหาได้ร่วมกับกิจกรรมการทดลองมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ร่วมกับกระบวนการคิดวิเคราะห์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ ขั้นที่ 5 ประเมิน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 85.69/83.21 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ นักเรียนสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้ตามเป้าหมายและได้ผลสัมฤทธิ์ที่สูงขึ้นกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (85/85)

2. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังเรียน สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ ดังผลตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ก่อนและหลังเรียน

การทดสอบ	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	SD	t	P
ก่อนเรียน	36	45	25.17	5.20	20.56*	0.00
หลังเรียน	36	45	37.44	2.37		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที 6 นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน สูงกว่าก่อนเรียน

3. เปรียบเทียบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังเรียน สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ ดังผลตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังเรียน

การทดสอบ	จำนวนนักเรียน (คน)	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	SD	t	P
ก่อนเรียน	36	15	5.72	2.12	22.16*	0.00
หลังเรียน	36	15	12.81	1.21		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 5 พบว่า ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังเรียน โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 นักเรียนมีความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์หลังเรียน สูงกว่าก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 85.37

4. ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่องการแยกสารเนื้อผสม สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ ดังผลตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่องการแยกสารเนื้อผสม

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ			
	$\bar{x}$	S.D	ระดับความพึงพอใจ	ลำดับที่
ด้านการจัดการเรียนรู้	**4.80**	**0.43**	**มากที่สุด**	2
1. นักเรียนสนุกและมีความสุขที่ได้ร่วมกิจกรรมในการเรียนการลงมือปฏิบัติ	4.94	0.23	มากที่สุด	
2. นักเรียนและเพื่อน ๆ ได้เรียนเป็นกลุ่มและทำงานเป็นกลุ่มอย่างอิสระ	4.58	0.68	มากที่สุด	
3. นักเรียนเรียนนำกระบวนการทดลองการแยกสารเนื้อผสมไปใช้ชีวิตประจำวันได้	4.97	0.16	มากที่สุด	
4. นักเรียนพอใจที่ได้ฝึกปฏิบัติค้นคว้ารวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง	4.69	0.66	มากที่สุด	
ด้านสื่อ/อุปกรณ์	**4.92**	**0.30**	**มากที่สุด**	1
5. นักเรียนพอใจที่มีสื่ออุปกรณ์การเรียนที่น่าสนใจ	4.89	0.34	มากที่สุด	
6. นักเรียนมีความพึงพอใจในการใช้สื่ออุปกรณ์ที่หลากหลาย	4.92	0.31	มากที่สุด	
7. ครูมีสื่อการเรียนการสอนที่ใช้มีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียน	4.94	0.26	มากที่สุด	
ด้านการวัดและประเมินผล	**4.69**	**0.59**	**มากที่สุด**	3
8. ครูมีการวัดผลและประเมินผลที่หลากหลาย	4.78	0.53	มากที่สุด	
9. เมื่อมีการตรวจงานนักเรียนมีความพอใจคะแนนที่ทำได้เสมอ	4.64	0.67	มากที่สุด	
10. นักเรียนพอใจที่ได้รับการประเมินผลงานตนเองอยางสม่ำเสมอ	4.67	0.58	มากที่สุด	
เฉลี่ยรวม	**4.80**	**0.44**	**มากที่สุด**	

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจด้านมากที่สุด คือ ด้านสื่อ/อุปกรณ์ รองลงมา คือ ด้านการจัดการเรียนรู้ และลำดับที่ 3 คือ การวัดและประเมิน

อภิปรายผล

1. การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 85/85 ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาสร้างแผนการจัดการเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นจำนวน 9 แผนการจัดการเรียนรู้ โดยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหาได้ร่วมกับกิจกรรมการทดลองมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ร่วมกับกระบวนการคิดวิเคราะห์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ ขั้นที่ 5 ประเมิน มีประสิทธิภาพ 85.69/83.21 ซึ่งสูงกว่า เกณฑ์ 85/85 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนมีการเชื่อมโยงความรู้เดิมแสวงหาความรู้ใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khunkhang (2022) ที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ โดยจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการความคิดของผู้เรียนที่ใช้เชื่อมโยงให้เกิดการคิดวิเคราะห์ พบว่า ประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้คือ 80.42/85.00 นอกจากนี้การเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริงสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับ Khunkhum and Sitti (2019) ที่มี

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

การกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ สำรวจ ทดลอง สืบค้นข้อมูล พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการคิดวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยพบว่า หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น มีกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนฝึกทักษะ โดยเฉพาะขั้นที่ 2 การสำรวจและค้นหานักเรียนจะได้ร่วมกับกิจกรรมการทดลองกระบวนการเรียนรู้ และขั้นที่ 4 ขยายความรู้ได้ร่วมกับกระบวนการคิดวิเคราะห์โดยกำหนดสถานการณ์มาใช้ร่วมกับกิจกรมการเรียนรู้ ทำให้เรียนเกิดความสมารถในการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ได้ปฏิบัติด้วยตนเองเกิดความคิดความเข้าใจในการเรียนรู้ ได้ทำการทดลองและวางแผนสืบค้นข้อมูล การสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติ การวิเคราะห์ข้อมูล อธิบายและแปรผลข้อมูลด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากกิจกรรมนั้นทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีความสามารถด้านการวิเคราะห์เรื่องราวต่าง ๆ ได้ จนเกิดเป็นความรู้ความจำที่ยาวนานซึ่งส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Deshakupt (2002) ได้กล่าวว่า “การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนค้นหาความรู้โดยใช้กระบวนการทางความคิด” เป็นวิธีการสอนหนึ่งที่สำคัญต่อการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบันที่เน้นทั้งความรู้และกระบวนการสร้างความรู้ให้นักเรียน สร้างความรู้ด้วยตนเอง โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงความคิดเห็น รู้จักการค้นคว้าแก้ปัญหาและสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำ (Khunkhang, 2022) การให้นักเรียนได้มีโอกาสตอบและร่วมอภิปรายในประเด็นหรือสถานการณ์ต่างๆ ขั้นตอนที่จะช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การตั้งคำถาม การคิดหาคำตอบ การแสดงความคิดเห็น และการค้นคว้าหาความรู้ให้เกิดขึ้นแก่ผู้เรียนได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Uttaman and Art-in (2012) ที่ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะขั้น 5 ขั้น โดยกิจกรรมเน้นให้ผู้เรียนเป็นสำคัญให้โอกาสผู้เรียนได้แสดงความคิด และลงความเห็นร่วมกันกับสมาชิกในห้องเรียน เพื่อขยายความรู้ที่ได้เรียนอย่างเต็ม พบว่า นักเรียนที่เรียนรู้ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 79.87 และมีคะแนนการคิดวิเคราะห์ร้อยละ 81.25 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

3. ผลการเปรียบเทียบความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ก่อนสูงกว่าหลังเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เป็นอาจเพราะการจัดกิจกรรมขั้นที่ 3 การอธิบายและลงข้อสรุป เป็นขั้นที่นักเรียนสรุปผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการค้นหา ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จะช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาสามารถในการคิดวิเคราะห์ สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Supamustduangkoon (2016) การอธิบายและลงข้อสรุปเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะช่วยฝึกให้นักเรียนได้มีการพัฒนาสามารถในการคิดวิเคราะห์ เนื่องจากในขั้นตอนนี้นักเรียนต้องคิดวิเคราะห์หาความรู้หรือคำตอบจากข้อมูลที่ตนเองค้นคว้ามา เพื่อนำเสนอหรือตอบคำถามครูและอธิบายให้เพื่อนมีความเข้าใจในเนื้อหาข้อมูลหรือคำตอบนั้น การกำหนดสถานการณ์มาใช้ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนได้ฝึกการคิดวิเคราะห์เชื่อมโยงเรื่องราวหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง สอดคล้องกับงานวัยของ Auppatham and Poonpaiboonpipat (2021) ที่ครูออกแบบสถานการณ์ปัญหาให้ใกล้เคียงกับชีวิตประจำวันจะส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์สูงขึ้น

4. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งนี้เป็นอาจเพราะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนร่วมมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลองมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้ และได้ใช้กระบวนการคิดวิเคราะห์โดยกำหนดสถานการณ์มาใช้ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้ ได้กระตุ้นและสร้างแรงจูงใจให้นักเรียนใช้ความรู้ความสามารถของตนเองในการปฏิบัติกิจกรรมที่เน้นกระบวนกลุ่มทุกคนมีส่วนร่วม ในการค้นคว้า ทดลองและตอบคำถามจนนักเรียนเกิดองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเองและพึงพอใจในผลลัพธ์ที่ได้จากการปฏิบัติภาระกิจที่ได้รับมอบหมายในกิจกรรมการเรียนรู้ โดยครูให้คำนำ เป็นที่ปรึกษาเมื่อนักเรียนมีปัญหาขณะ ปฏิบัติงานหรือทำงานกลุ่ม และมีสร้างแรงจูงใจโดยการให้รางวัลหรือคะแนนพิเศษเพื่อกระตุ้นความกล้าแสดงออกของนักเรียนทำให้นักเรียนเกิดความพึงพอใจในการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนการสอน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Phonmueangdee (2006) “กล่าวว่าความพึงพอใจ คือ ความรู้สึกนึกคิดหรือเจตคติของบุคคลที่มีต่อการทำงานหรือการปฏิบัติกิจกรรมในเชิงบวก” ดังนั้นความพึงพอใจ ในการเรียนจึงหมายถึง ความรู้สึกพอใจ ชอบใจในการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้และต้องการดำเนินกิจกรรมนั้น ๆ จนบรรลุความสำเร็จ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Namtas, Pharanat and Boontongtherng (2019) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ร่วมกับสื่อประสม โดยกิจกรรมเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญซึ่งเหมาะสำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ ที่ประกอบด้วยเครื่องมือในการเสาะแสวงหา

ความรู้ประกอบด้วย การสังเกต การรวบรวม ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และลงข้อสรุปด้วยตน ผู้สอนจะต้องให้ผู้เรียนตระหนักถึงการอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มรู้จักช่วยเหลือซึ่งกันและกัน โดยเปิดโอกาสให้ทุก ๆ คนในกลุ่มได้ร่วมมือในการทำกิจกรรมกันอย่างเท่าเทียมกันมีการพึ่งพาอาศัยกัน ช่วยเหลือกันรับฟังความคิดเห็นซึ่งกันและกัน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผลการพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 สรุปได้ดังนี้

1. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 85.69/83.21 ซึ่งสูงกว่า เกณฑ์ที่ตั้งไว้ (85/85)

2. นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 83.21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นมีความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์หลังเรียนงสูงกว่าก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 85.37 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่อง การแยกสารเนื้อผสม มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

1.1 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ผู้สอนควรศึกษารายละเอียดและทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการจัดกิจกรรม

1.2 ครูผู้สอนควรนำเสนอ ตัวอย่างหรือแบบกิจกรรมที่ใกล้ตัวหรือสามารถพบเจอในชีวิตประจำวันของนักเรียนเพื่อให้นักเรียนเข้าใจง่ายและสามารถเชื่อมโยงความรู้ได้

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ว่าสามารถส่งเสริมความคิดของนักเรียนด้านใดบ้าง เช่น การคิดสร้างสรรค์ การคิดอย่างมีวิจารณาญาณ เป็นต้น

2.2 ควรพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ในเนื้อหาสาระการเรียนรู้อื่น และระดับชั้นอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ประจำชาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและติดตามการวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

งานวิจัยนี้เป็นโครงการเกี่ยวกับกระบวนการเรียนการสอนหรือการประเมินผลการสอน ความพึงพอใจ ซึ่งไม่มีการระบุตัวบุคคลทั้งทางตรงหรือทางอ้อม (Anonymous) และดำเนินการวิจัยตามหลักของจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

References

Anderson, L. W. and Krathwohl, D. R. (2001). **A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives**. New York: Addison Wesley Longman.

Auppatham, R. and Poonpaiboonpipat, W. (2021). The case-based learning activities to enhance analytical thinking ability on ratio, proportion and percent for grade-7 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 84-95.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Bloom, B., Englehart, M. Furst, E., Hill, W. and Krathwohl, D. (1956). **Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain.** New York and Toronto: Longmans, Green.

Bloom, Benjamin S. co-authors (1956). **Taxonomy of Educational Objective Handbook I**: Cognitive Domain. New York: David Mckay Company Inc.

Deshakupt, P. (2002). **Learner-centered instruction, concepts, methods and techniques 1.** Bangkok: The Master Group Management Co., Ltd.

Elder, L., and Paul, R. (2019). **The thinker's guide to analytic thinking: How to take thinking apart and what to look for when you do**. Rowman & Littlefield.

Khunkhang, S. (2022). Developing analytical thinking ability using inquiry-based learning for high vocationalcertificate 1 (in Thai). **Journal of Research and Development Institute, Rajabhat Maha Sarakham University**, 10 (1), 541 – 554.

Khunkhum, P and Sitti, S (2019). The Development of 5E Inquiry Learning Activities with Science Instructional Package to Enhance Analytical Thinking and Learning Achievement for Prathomsuksa 6 Students (in Thai). **Journal of Education, Mahasarakham University,** 13 (3), 143 – 155.

Kwinram, S., Noisombut, T., and Worapun, W. (2022). The Development of Science Learning Achievement and Analytical Thinking of Grade 7 Students Using 5E Inquiry-Based Learning Cooperated with Graphic Organizers. **Journal of Educational Issues**, 8(2), 433-444.

Laowreandee, W. (2006). **Technical and tactical skills development of learner-centered learning management thinking skills**. Bangkok: Faculty of Education, Silpakorn University, Sanam Chan Palace Campus.

Namtas, P., Pharanat, W. and Boontongtherng, P. (2019). The Development of Learning Achievement and Analytical Thinking on the Topic of Natural Resources for Prathom Suksa III Students using 5E Inquiry Learning with Multimedia (in Thai). **The National Conference on Education for Learning Development 2019** (pp. 1282-1292). May 31, 2019. Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University.

Novak, J. D. and Gowin, D. B. **Learning how to learn. New York**: Cambridge University Press.

Olson, S and Loucks-Horsley, S. (2000). **Inquiry and the National Science Education Standards.** A Guide for teaching and learning. Washington, DC: The National Academies.

Panich, V. (2012). **Learning development pathway of student in 21st century** (in Thai). Bangkok: Sodsri Saritwong Foundation.

Perdana, R., Jumadi, J. and Rosana, D. (2019). Relationship between Analytical Thinking Skill and Scientific Argumentation Using PBL with Interactive CK 12 Simulation. **International Journal on Social and Education Sciences**, 1(1), 16-23.

Phonmueangdee, P. (2006). Comparison of academic achievement and permanence in Learn and satisfy library subjects and research at the Certificate of Advanced Study level using regular teaching program lessons. **Master's thesis** Banggkok: Srinakharinwirot Prasarnmit University.

Ratniyom, J., Jongpungklang, K., Sudsin, M., Chuchuoy, K., Tientongdee, S. and Lee, A. (2021). The effect of using Kahoot as a formative assessment tool in 4E×2 learning management on learning achievement and analytical thinking ability (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 264 - 278.

Robbins, J. K. (2011). Problem solving, reasoning, and analytical thinking in a classroom environment**. The Behavior Analyst Today**, 12(1), 41 - 48.

Seekeaw, N. and Nasaree, N. (2022). Infused integrated learning management by using an inquiry method entitled “cell transportation” for grade-7 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 322-331.

Srisaard, B**.** (2002). **Preliminary research**. (7th edition). Bangkok: Suviriyat Epistles.

Supamustduangkoon, P. (2016). The Development Of Learning Achievement And Analytical Thinking Ability On Natural Disasters Of Matthayomsuksa 5 Students By Inquiry Based Learning (5e) (in Thai). **Veridian E-Journal, Silpakorn University,** 9(1), 1349 - 1365

Theabthueng, P., Khamsong, J. and Worapun, W. (2022). The Development of Grade 8 Student Analytical Thinking and Learning Achievement Using the Integrated Problem-Based Learning and Think-Pair-Share **Technique. Journal of Educational Issues**, 8(1), 420-429.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2006) **Meeting Materials Outreach, amplification and training of the Inquiry Cycle (5E) learning process to develop a high-level cognitive process.** Bangkok: Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2008). **Science textbooks.** Bangkok: Kurusapa, Ladprao.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). **Measurement, evaluation, science.** Bangkok: C.EdUnition.

Uttaman, A and Art-in, S (2012) The Development of Learning Achievement and Analytical Thinking for The Pratomsuksa V Students by Using 5E Inquiry Cycle (in Thai). **Journal of Education Graduate Studies Research,** 5(3), 162 - 168

Worakham, P. (2012). **Educational research**. Mahasarakham: Mahasarakham Rajabhat University.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 241 - 250
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.21

Research Article

The Effect of organizing scientific activities based on creativity-based learning on the scientific creativity of Grade-7 students

Sornpawich Attaprajong[1], Tawan Thongsuk[1] and Chulida Hemtasin[1,*]
[1]Department of General Sciences, Faculty of Education and Educational Innovation, Kalasin University
**Email: chulida.he@ksu.ac.th*

Received <7 February 2023>; Revised <8 May 2023>; Accepted <29 May 2023>

Abstract

The objective of this research is to study the effect of science activities based on Creativity-based learning on the scientific creativity of grade-7 students with an average score of not less than 70%. This research is the Pre-experiment design. The target group used in the research was grade 7 students in a school in Kalasin province, semester 1, the academic year 2022, totaling 22 people, which is purposive sampling. The research instruments used in the research were 4 lesson plans based on Creativity-based learning for science and technology subjects in topic of cell, 6 hours, and (2) a subjective assessment of 8 items. This is a scientific creativity with four components: 1) originality, 2) fluency, 3) flexibility, and 4) elaboration. Basic statistics, such as mean, standard deviation, and percentage, were used to analyze the data. The results showed that the students who received science activity management based on Creativity-Based Learning had higher scores in scientific creativity. Furthermore, the scores for 1) originality, 2) fluency, 3) flexibility, and 4) elaboration were 80.64, 81.82, 93.18, and 85.23 percent, respectively. The overall average of all aspects of scientific creativity was 87.22 percent, which was 70 percent higher than the set criteria.

Keywords: Scientific creativity, Scientific activities, Creativity-based learning

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ศรณ์ภวิชญ์ อรรถประจง[1] ตะวัน ทองสุข[1] และชุลิดา เหมตะศิลป์[1,*]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

** Email: chulida.he@ksu.ac.th*

รับบทความ: 7 กุมภาพันธ์ 2566 แก้ไขบทความ: 8 พฤษภาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ให้มีคะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบการทดลองขั้นต้น กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 22 คน ของโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกาฬสินธุ์ ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง เซลล์ จำนวน 4 แผน 6 ชั่วโมง และ 2) แบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์แบบอัตนัย จำนวน 8 ข้อ ที่ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความคิดริเริ่ม 2) ความคิดคล่องแคล่ว 3) ความคิดยืดหยุ่น และ 4) ความคิดละเอียดลออ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานมีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์มีคะแนนสูงขึ้น โดยในด้านความคิดริเริ่ม ความคิดละเอียดลออ ความคิดยืดหยุ่นและความคิดคล่องแคล่ว มีคะแนนคิดเป็นร้อย 88.64, 81.82, 93.18 และ 85.23 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านของความคิดสร้างสรรค์ร้อยละ 87.22 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ร้อยละ 70

คำสำคัญ: ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ กิจกรรมวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

ปัจจุบันถ้าสังเกตโดยทั่วไปจะเห็นว่าความเจริญก้าวหน้าทางการศึกษาได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้กิจกรรมการเรียนการสอนเปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนสื่อการสอนและเทคนิคต่าง ๆ เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในด้านของกระบวนการเรียนการสอน และเป็นที่ทราบกันดีว่าผู้เรียนแต่ละคนมีความสามารถในการรับรู้ความสนใจ ความพร้อม และความต้องการที่แตกต่างกัน (Ministry of Education, 2009) ในศตวรรษที่ 21 โลกมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ มากมายรวมทั้งในด้านของเครื่องมือในการหาความรู้ ดังนั้น ครูจึงเปลี่ยนแปลงจากการยืนหน้าชั้นมากระตุ้นและอำนวยความสะดวกให้กับผู้เรียนเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ โดยเฉพาะทักษะความคิดสร้างสรรค์ที่เป็นความสามารถที่สำคัญอย่างหนึ่งของมนุษย์ ซึ่งมีความสามารถมากกว่าความคิดด้านอื่น (Tidma, 2015)

ทักษะความคิดสร้างสรรค์เป็นทักษะที่จะทำให้เราสามารถผลิตงานเชิงสร้างสรรค์หรือสร้างสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตได้ (Deshakupt, Yingsuk and Misri, 2013) และวิชาวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่มีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากในการส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์กล่าวคือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต้องอาศัยการสืบเสาะหาความรู้และใช้ทักษะกระบวณการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาและค้นคว้าหาคำตอบหรือเรียกว่าความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific creativity) (Junthon, Jantarakantee and Weerapaspong, 2015) แต่ในปัจจุบันยังมีนักเรียนที่ไม่สามารถที่จะนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย หรือการแสดงกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ บนหลักฐาน แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ที่สะท้อนความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้ (Thuwawit and Tharmapatip, 2023) ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวณการคิดและการกระทำโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนที่มีความแตกต่างระหว่างบุคคลให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้ (Lertangkoon *et al*. 2015) ทักษะการคิดสร้างสรรค์และงานทางด้านวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมที่อยู่ควบคู่กันมาช้านานในการสร้างสรรค์และพัฒนาอารยธรรมของมนุษย์ (Rolling, 2016as cited in Boonshu *et al*. 2022) และทักษะความคิดสร้างสรรค์สามารถส่งเสริมหรือพัฒนาได้ จึงกล่าวได้ว่าประเทศที่สามารถดึงเอาศักยภาพเชิงสร้างสรรค์ของประชาชนในชาติออกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากเท่าใดก็ยิ่งมีโอกาสเจริญก้าวหน้ามากเท่านั้น (Panmani, 2014) จากการศึกษางานที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา พบว่านักเรียนไม่สามารถคิดสร้างสรรค์ได้เนื่องจากไม่คิด หรือประดิษฐ์สิ่งใหม่ๆ และยังออกแบบคล้ายๆ กัน (Dittacharoen and Tananchaiputra, 2014) และการสอนที่ครูเป็นผู้บอกและนักเรียนเป็นผู้รับ ทำให้นักเรียนไม่มีความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างผลงาน ไม่มีความคิดแปลกใหม่ (Nuanpong, 2010)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงอยากศึกษาผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ให้มีคะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ในปัจจุบัน นับว่ามีประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในยุคปัจจุบันอย่างมากและเพื่อให้นักเรียนได้เกิดแนวทางนำไปสู่กระบวนการแก้ปัญหาและเกิดความคิดเชิงสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ มีความคิดที่หลากหลายแปลกใหม่ เพื่อเป็นการพัฒนาทักษะที่จำเป็นต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาการศึกษาของประเทศไทยในศตวรรษที่ 21

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ให้มีคะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะดำเนินการตามแบบแผนการทดลองขั้นต้นแบบ One-Shot Case Study เพื่อศึกษาผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ให้มีคะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่องเซลล์ จำนวน 4 แผน ได้แก่ 1. การศึกษาเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ 2. โครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ (1) 3. โครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ (2) และ 4. โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ มีเวลาในการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งหมด 6 คาบ คาบละ 60 นาที โดยแผนการจัดการเรียนรู้ได้ผ่านการหาคุณภาพ จาก ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ด้าน 1. ด้านเนื้อหา 2. ด้านวัดและประเมินผล และ 3. ด้านการสอน มีคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.69 ระยะเวลา 3 สัปดาห์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ ตัวอย่างกิจกรรมหลักในการศึกษาผลของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ภาระงาน/ร่องรอยหลักฐาน และเวลาที่ใช้ (1 คาบ = 60 นาที)

ที่	แผนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมหลัก	ภาระงาน/ร่องรอยหลักฐาน	เวลา
1	การศึกษาเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์	นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 6 คน แต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาเซลล์ถาวรผ่านการส่องกล้องจุลทรรศน์ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวางแผนจัดทำเป็นชิ้นงานและสรุปและทำความเข้าใจร่วมกันภายในกลุ่ม หลังจากนั้นให้แต่ละกลุ่มนำเสนอแผนผังความคิดจากสิ่งที่ได้เรียนรู้	แผนภาพความคิด สรุปสิ่งที่ได้รับจากการเรียนรู้	2 คาบ
2	โครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ (1)	นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน คละความสามารถ แต่ละกลุ่ม ร่วมกัน สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์พืช แล้วร่วมกันออกแบบแผนภาพความคิด นำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน	แผนภาพความคิด โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์พืช	1 คาบ
3	โครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ (2)	นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน คละความสามารถ แต่ละกลุ่มร่วมกันสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์สัตว์ แล้วร่วมกันออกแบบแผนภาพความคิด นำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน	แผนภาพความคิด โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์สัตว์	1 คาบ
4	โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์	ครูสอนเนื้อหาและให้นักเรียนดูวีดีโอหน้าที่ของเซลล์ต่าง ๆ และให้นักเรียนแบ่งกลุ่มสืบค้นข้อมูลกลุ่มละหัวข้อ หลังจากนั้นให้สรุปองค์ความรู้ที่ได้เป็นแผนภาพความคิดและนำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน รวมถึงให้คิดคำถามเพื่อสอบถามเพื่อนในห้องว่าเข้าใจในเนื้อหามากน้อยเพียงใด	แผนภาพความคิด เกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์	2 คาบ

1.2 แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 อิงเนื้อหาการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรื่อง เซลล์ ซึ่งพัฒนามาจากทฤษฎีโครงสร้างทางสติปัญญาของ Guilford (1967) ซึ่งประกอบด้วย 1. ความคิดริเริ่ม (Originality) 2. ความคิดคล่องแคล่ว (Fluency) 3. ความคิดยืดหยุ่น (Flexibility) และ 4. ความคิดละเอียดลออ (Elaboration) มีจำนวน 8 ข้อ แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ด้านละ 2 ข้อ ข้อละ 2 คะแนนโดยผ่านการหาคุณภาพและตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านแล้ว โดยคัดเลือกข้อที่มีค่าดัชนีสอดคล้องตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 ผลปรากฏว่า ได้ข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 8 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ที่ 1.00 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แบบทดสอบความความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ในแต่ละด้านของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

คำถาม	องค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์			
	ความคิดริเริ่ม	ความคิดคล่องแคล่ว	ความคิดยืดหยุ่น	ความคิดละเอียดลออ
1. ให้นักเรียนบอกสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าของสิ่งมีชีวิตมาอย่างน้อย 5 ชนิด	✓ การคิดคำตอบต่างจากคนอื่น			
2. ให้นักเรียนบอกชื่อของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ที่นักเรียนรู้จักมาให้ได้มากที่สุดภายในเวลาที่กำหนดให้ (5นาที)		✓ การคิดคำตอบให้ได้มากที่สุด		
3. หากนักเรียนอยากรู้จักโครงสร้างภายในของต้นหอม นักเรียนจะศึกษาด้วยวิธีการใดได้บ้าง			✓ การคิดคำตอบที่มีความหลากหลาย	

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

คำถาม	องค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์			
	ความคิดริเริ่ม	ความคิดคล่องแคล่ว	ความคิดยืดหยุ่น	ความคิดละเอียดลออ
4. อวัยวะภายในเซลล์มีหน้าที่เฉพาะตัวของแต่ละอวัยวะ แต่มีอยู่หนึ่งอวัยวะที่เป็นศูนย์กลางของเซลล์ สิ่งนั้นเรียกว่าอะไร				✓ การคิดคำตอบที่เป็นขั้นเป็นตอนและอธิบายให้เห็นภาพ
5. หากต้องการมองเห็นสิ่งมีชีวิตที่เล็กมาก ๆ ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ จะใช้วิธีการใดได้บ้าง	✓ การคิดคำตอบต่างจากคนอื่น			
6. ให้นักเรียนบอกชื่ออวัยวะภายในเซลล์ มาให้ได้มากที่สุด ภายในเวลาที่กำหนด (5 นาที)		✓ การคิดคำตอบให้ได้มากที่สุด		
7. ถ้าเปรียบอวัยวะภายในเซลล์เป็นสิ่งอื่น นักเรียนจะเปรียบให้อวัยวะภายในเซลล์เป็นอะไรได้บ้าง			✓ การคิดคำตอบที่มีความหลากหลาย	
8. จงบอกสิ่งที่มีในเซลล์พืช แต่ในเซลล์สัตว์ไม่มี				✓ การคิดคำตอบที่เป็นขั้นเป็นตอนและอธิบายให้เห็นภาพ

ระดับการประเมินวัดผลให้คะแนน แบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 อิงเนื้อหาการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรื่อง เซลล์ ซึ่ง มีจำนวน 8 ข้อ แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ด้านละ 2 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน หากผู้เรียนตอบตรงประเด็นตามที่ตั้งไว้ได้ทั้งหมดระดับผลคะแนนจะอยู่ที่ 2 คะแนน หากผู้เรียนตอบตรงประเด็นได้เป็นส่วนใหญ่ระดับผลคะแนนจะอยู่ที่ 1 คะแนน หากผู้เรียนตอบไม่ได้เลยตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ระดับผลคะแนนจะอยู่ที่ 0 คะแนน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับการประเมินวัดผลให้คะแนนของแบบทดสอบความความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ในแต่ละด้านของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

การประเมิน	ระดับคะแนน		
	2	1	0
คิดริเริ่ม	คิดแปลกใหม่ แตกต่างจากเดิม, ดัดแปลง,ประยุกต์และสามารถนำอุปกรณ์ไปใช้ได้อย่างถูกต้อง	คิดแปลกใหม่ แตกต่างจากเดิม, ดัดแปลง,ประยุกต์และสามารถนำอุปกรณ์ไปใช้ได้เป็นส่วนใหญ่	คิดแปลกใหม่ แตกต่างจากเดิม ดัดแปลง,ประยุกต์และสามารถนำไปใช้ได้เป็นส่วนน้อย
คิดละเอียดลออ	บอกรายละเอียดเกี่ยวกับคำตอบและเชื่อมโยงสัมพันธ์สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง	บอกรายละเอียดเกี่ยวกับคำตอบและเชื่อมโยงสัมพันธ์สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องเป็นส่วนใหญ่	บอกรายละเอียดเกี่ยวกับคำตอบและเชื่อมโยงสัมพันธ์สิ่งต่าง ๆ ไม่ได้
คิดยืดหยุ่น	จัดลักษณะ,ประเภท,กลุ่มคำตอบได้อย่างหลากหลาย	จัดลักษณะ,ประเภท,กลุ่มของคำตอบได้เป็นส่วนใหญ่	จัดลักษณะ,ประเภท,กลุ่มของคำตอบไม่ได้
คิดคล่องแคล่ว	ตอบตรงประเด็น ถูกต้อง ในเวลาที่กำหนด	ตอบตรงประเด็น ถูกต้องและเกินเวลาที่กำหนด	ตอบได้ไม่ตรงประเด็น และเกินเวลาที่กำหนด

2. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่ง จังหวัดกาฬสินธุ์ ปีการศึกษา 2565 จำนวน 22 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นนักเรียนมีคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าร้อยละ 70

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ผู้วิจัยสำรวจปัญหาเด็กไม่ผ่านเกณฑ์วัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยการสังเกตและสอบถามครูผู้สอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์

3.2 ผู้วิจัยรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของ แผนการจัดการเรียนรู้ รวมถึงเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในการเก็บมูลต่าง ๆ ที่ได้รับจากการประเมินคุณภาพเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ด้านการวัดและประเมินผล และด้านการสอนจำนวน 3 ท่าน เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเครื่องมือ

3.3 ดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้กิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน 4 แผน โดยใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565

3.4 ทดสอบนักเรียนหลังเรียนโดยใช้แบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์จำนวน 8 ข้อ โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 22 คนที่ได้จากแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์หลังเรียน นำคะแนนการทำแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยการหาค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ หากได้คะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 70 ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์

ผลการวิจัย

1. ผลการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ผู้วิจัยได้ดำเนินการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เดิมมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ซึ่งผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับบริบทของนักเรียนมีทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน

ขั้นการสอน	ความหมายของแต่ละขั้น	วิธีการสอน	บทบาทผู้สอน
ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ	ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนด้วยกิจกรรม ให้ผู้เรียนได้เริ่มคิดก่อนเข้าสู่เนื้อหา และฝึกให้ผู้เรียนรู้จักบทบาทหน้าที่ของตนเอง	การนำเข้าสู่บทเรียนโดยกิจกรรมจิตศึกษา จากนั้นใช้กิจกรรมครูนักเล่าเรื่องครูอาจจะเพิ่มความน่าสนใจด้วยการแต่งกาย การแสดงท่าทางและน้ำเสียงหรืออาจจะให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมด้วยก็ได้	ครูทำหน้าที่เป็น Facilitator และ Coach
ขั้นที่ 2 ตั้งปัญหา	ครูผู้สอนทบทวนเนื้อหาเดิมหรืออธิบายเพิ่มเติมเปิดโอกาศให้ผู้เรียนได้มีการถาม-ตอบในคำถามที่สงสัย และแบ่งกลุ่มการทำงาน	ให้ผู้เรียนได้ดูวิดีโอเกี่ยวกับเนื้อหาพร้อมทั้งสอนเนื้อหาในบทเรียนร่วมกับมีสื่อการสอน การเล่านิทาน ครูนักเล่าเรื่อง และใช้คำถามเชื่อมโยงเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิดตาม และมีใจจดจ่ออยู่กับครูผู้สอน และมอบโจทย์เพื่อทำกิจกรรมต่อไป	ครูทำหน้าที่เป็น Facilitator, Co-learner และ Coach
ขั้นที่ 3 ค้นคว้าและคิด	ขั้นตอนการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมของผู้เรียนในการทำกิจกรรมเพื่อการเรียนรู้จะมีทั้งกิจกรรมกลุ่มเดี่ยว สลับกันไปกิจกรรมที่ใช้จะต้องเน้นการคิด การลงมือปฏิบัติจริงให้กับผู้เรียน	ให้ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลและออกแบบชิ้นงานตามจินตนาการ และมีการกำหนดหัวข้อผ่านการเล่าเรื่องจากครูผู้สอน เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มได้ร่วมกันระดมความคิดเพื่อช่วยกันแก้ปัญหาผ่านการสร้างชิ้นงาน	ครูทำหน้าที่เป็น นักเล่าเรื่อง Co-learner และ Coach
ขั้นที่ 4 นำเสนอและประเมินผล	การนำเสนอผลงาน เป็นการนำเสนอผลงานในขั้นที่ 3 และแชร์ประสบการณ์ในการทำงานร่วมกับเพื่อน ฝึกให้ผู้เรียนร่วมการแสดงความคิดเห็นและยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น	ผู้เรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอชิ้นรูปแบบที่แปลกใหม่ เช่น การรีวิว และประเมินเพื่อพัฒนาโดยใช้เทคนิค 2 ดาว 1 หวัง มีการให้ข้อเสนอแนะหรือแสดงความคิดเห็นในชิ้นงานของเพื่อนเพื่อนำไปปรับใช้และพัฒนาผลงานตนเองต่อไป	ครูทำหน้าที่เป็น Mentor ใช้จิตวิทยาเชิงบวก ชมจุดเด่นของแต่ละกลุ่มทำให้สมาชิกภายในกลุ่มเห็นถึงความสำเร็จของกลุ่ม

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ผู้วิจัยได้ดำเนินศึกษาผลของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 22 คน โดยนำข้อมูลจากการศึกษาและนำมาวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย (1) ความคิดริเริ่ม (2) ความคิดคล่องแคล่ว (3) ความคิดยืดหยุ่น และ (4) ความคิดละเอียดลออ ด้านละ 2 ข้อ จำนวน 8 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ให้มีคะแนนเฉลี่ยผ่านเกณฑ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70

ทักษะความคิดสร้างสรรค์	$\bar{X}$	SD	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ 70
1. คิดละเอียดลออ	3.27	0.46	81.82	ผ่าน
2. คิดคล่องแคล่ว	3.41	0.50	85.23	ผ่าน
3. คิดยืดหยุ่น	3.73	0.46	93.18	ผ่าน
4. คิดริเริ่ม	3.55	0.51	88.64	ผ่าน
เฉลี่ยรวม	3.49	0.48	87.22	ผ่านเกณฑ์

จากตารางที่ 5 ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน พบว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 4 ด้านของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน มีคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้านความคิดริเริ่มเท่ากับ 3.27 คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 81.82 คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดคล่องแคล่วเท่ากับ 3.41 คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 85.23 คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดยืดหยุ่นเท่ากับ 3.73 คิดเป็นร้อยละ 93.18 คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดละเอียดลออเท่ากับ 3.27 คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 81.82

เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยในแต่ละด้านขององค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทั้ง 4 ด้านนั้นมีคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 87.22 ซึ่งถือได้ว่าผ่านเกณฑ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า การจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เดิมมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ซึ่งผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับบริบทของนักเรียนที่ใช้เวลาในการทำกิจกรรมภายในกลุ่มร่วมเป็นเวลานาน ให้มี 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ ขั้นตอนนี้เป็นการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการตื่นตัวและกระตือรือร้นในการเรียนและพร้อมที่จะรับความรู้เป็นการทบทวนความรู้เดิมไปในตัวควบคู่กันไปด้วย ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการตั้งคำถามจากความรู้เดิมของนักเรียนให้นักเรียนฝึกในการคิดคล่องแคล่ว

ขั้นที่ 2 ตั้งปัญหา ในขั้นนี้นักเรียนจะได้ฝึกการแก้ปัญหาที่ตัวเองสงสัยด้วยการตั้งปัญหาขึ้นมาแล้วร่วมมือกับเพื่อนในกลุ่มในการหาแนวทางการแก้ไขปัญหาในหลากหลายทางไม่ว่าจะเป็นการสืบค้นจากแหล่งข้อมูลหลากหลายที่นำมาสรุปเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา

ขั้นที่ 3 ค้นคว้าและคิด คือ นักเรียนศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ของแนวทางการแก้ปัญหาด้วยตนเองและหาแนวทางการแก้ปัญหาอื่น ๆ ด้วยตนเอง โดยใช้ข้อมูลและตัดสินใจใช้ข้อมูลที่ได้เป็นของตัวเอง

ขั้นที่ 4 นำเสนอและประเมินผล คือ นักเรียนจะได้นำเสนอข้อมูลและผลงานของตัวเองเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดกับคนอื่นและผลของกิจกรรมที่ได้ทำมาเพื่อพัฒนานักเรียนในด้านความรู้ ทักษะความคิดสร้างสรรค์และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ซึ่ง

การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานจะสามารถ พัฒนาและส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้พร้อมทำให้เกิดการคิดค้นสิ่งใหม่ ๆ ขึ้นมา

ผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนและวัตถุประสงค์ และได้ยกตัวอย่างการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน โดยการเตรียมความพร้อมและกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการคิดและดึงความสนใจผู้เรียน จนนำไปสู่การออกแบบและวางแผนชิ้นงานตามที่ได้รับมอบหมาย โดยกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยการถามตอบเพื่อให้นักเรียนมีความสนใจในเนื้อหาเพื่อนำไปวางแผนออกแบบผลงานภายในกลุ่มของตนเอง ดังภาพที่ 1

(ก) กิจกรรมกระตุ้นความสนใจโดยการถามตอบ

(ข) กิจกรรมการวางแผนออกแบบผลงาน

ภาพที่ 1 การจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน

การเพิ่มระยะเวลาในขั้นที่ 3 ค้นคว้าและคิด พบว่า นักเรียนมีเวลาในการทำกิจกรรมกลุ่ม เดี่ยว ซึ่งเป็นเวลาในการคิดหาแนวทางการแก้ปัญหาด้วยตนเองโดยการใช้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดกับคนเพื่อนคนอื่น นำไปสู่การ นำเสนอและประเมินผล ในขั้นที่ 4 ส่งผลให้ นักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน มีคะแนนทักษะความคิดสรรค์ทางวิทยาศาสตร์เฉลี่ยรวม เท่ากับ 87.22 ซึ่งถือได้ว่าผ่านเกณฑ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 เนื่องจากกิจกรรมที่จัดขึ้น เป็นกิจกรรมที่กระตุ้นให้ผู้เรียนได้เกิดการคิดที่หลากหลาย กิจกรรมเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญส่งผลให้นักเรียนได้มีโอกาสค้นคว้าความรู้ และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง เน้นการมีส่วนร่วมระหว่างนักเรียนและตัวของผู้สอนซึ่งตัวผู้สอนมีการนำเทคโนโลยีมาช่วยสนับสนุนในการจัดการเรียนรู้ทำให้นักเรียนมีอิสระในการเรียนรู้ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง มีการร่วมแก้ปัญหา นักเรียนแสดงความสนใจอยากรู้อยากเห็นสังเกตได้จากการตั้งคำถาม มีการจดบันทึก ซึ่งสอดคล้องกับกับงานวิจัยของ Ruechaipanich (2015) กล่าวว่า การนำเข้าสู่บทเรียนจากครูผู้สอนสร้างขึ้นด้วยกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อดึงดูดความสนใจตรวจสอบความรู้เดิมและกระตุ้นการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ของนักเรียนซึ่งอาจเป็นการชมคลิปวีดีโอ การตั้งคำถาม การตอบคำถามการสาธิตการทดลองช่วยทำให้ นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์เพิ่มมากขึ้นมีการเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายตลอดเวลามีความกระตือรือร้นในการเรียนและในการทำกิจกรรมทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เป็นรูปแบบที่เน้นและให้ความสำคัญกับผู้เรียนเป็นอันดับแรก เน้นให้ผู้เรียนทำงานเป็นทีม และช่วยส่งเสริมผู้เรียนได้พัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kaewdok and Sawangboon (2019) พบว่า นักเรียนสามารถคิดกลั่นกรองข้อมูลและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ทำให้มีนักเรียนรู้วิธีการความคิดอย่างเป็นระบบ และแสวงหาความรู้ด้วยตนเองอยู่เสมอและถ่ายโยงความรู้ได้ สามารถจดจำได้นานและนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้ด้วย นอกจากนั้นยังเป็นการให้โอกาสผู้เรียนได้ทำกิจกรรม โดยใช้ความคิดสร้างสรรค์ของตัวผู้เรียนนำไปสู่การสร้างชิ้นงานที่ได้จากการคิดออกแบบของผู้เรียน ครูผู้สอนมีหน้าที่คอยสร้างแรงจูงใจ สร้างความกระตือรือร้นในการค้นคว้า และให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดแก่ผู้เรียน นอกจากนี้ในขั้นกิจกรรม (Activity) จึงเป็นกิจกรรมอิสระที่ทำให้ผู้เรียนนำความรู้ ความสามารถมาแก้ไขปัญหาด้วยตัวเอง ผู้เรียนสามารถพัฒนาตัวเองโดยการใช้ทักษะและประสบการณ์มาสร้างสรรค์และออกแบบผลงานด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chaikanya and Saenphandon, 2018) ที่ใช้รูปแบบการจัดการเรียนแบบความคิดสร้างสรรค์เป็นฐาน พบว่าเป็นกิจกรรมที่กระตุ้นให้ผู้เรียนได้เกิดการคิด สามารถทำให้ผู้เรียนได้มีโอกาสค้นคว้าความรู้ และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองเพื่อเป็นการทำความเข้าใจข้อมูลนั้น ๆ ก่อนนำไปสู่การสร้างชิ้นงานเพื่อให้ผู้เรียนได้แสดงถึงความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิจัยเรื่อง ผลของการจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 สรุปผลได้ดังนี้ หลังจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ให้มีคะแนนเฉลี่ยผ่านเกณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 พบว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 4 ด้านของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 นั้นมีคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้านความคิดริเริ่มเท่ากับ 3.27 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 และร้อยละเท่ากับ 81.82 คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดคล่องแคล่วเท่ากับ 3.41 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 และร้อยละเท่ากับ 85.23 คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดยืดหยุ่นเท่ากับ 3.73 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 และร้อยละเท่ากับ 93.18 คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดละเอียดลออเท่ากับ 3.27 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 และร้อยละเท่ากับ 81.82

เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยในแต่ละด้านขององค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังจัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทั้ง 4 ด้านนั้นมีคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 87.22 ซึ่งถือได้ว่าผ่านเกณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

2. ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาครั้งต่อไป ประกอบด้วย ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะการทำวิจัยครั้งต่อไป

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จัดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ครูผู้สอนต้องทำความเข้าใจและศึกษารายละเอียดของรูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เข้าใจในจุดประสงค์ของขั้นตอนต่าง ๆ และออกแบบกิจกรรมที่เหมาะสม โดยการนำสื่อการสอน รูปภาพ หรือวีดีโอ ที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้และเรื่องที่ใกล้ตัวมาประกอบการสอน ซึ่งในการออกแบบกิจกรรมนั้น ๆ กิจกรรมต้องเป็นกิจกรรมที่ผู้เรียนได้ฝึกกระบวนการคิดและฝึกให้ผู้เรียนคิดนอกกรอบ และครูผู้สอนต้องคำนึงถึงช่วงวัยของผู้เรียนในการออกแบบกิจกรรมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

ข้อเสนอแนะการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรศึกษาการวิจัยที่ใช้การจัดการเรียนการสอนด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ในรายวิชาหรือในรูปแบบอื่น ๆ เช่น ความคิดสร้างสรรค์ทางเทคโนโลยีดิจิทัล ความคิดสร้างสรรค์โมเดลจำลอง เป็นต้น และเพิ่มเติมวิธีการจัดการเรียนรู้ผสมผสานกับรูปแบบอื่นร่วมด้วย เช่น ใช้กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การสอนแบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ร่วมกับ ใช้ร่วมกับการสอนแบบระดมสมอง (Brainstorming) ใช้ร่วมกับการสอนแบบแสดงบทบาทสมมุติ (Role Playing) หรือแบบแลกเปลี่ยนความคิด (Think – Pair – Share) และแบบอื่น ๆ

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

งานวิจัยนี้เป็นโครงการเกี่ยวกับกระบวนการเรียนการสอนหรือการประเมินผลการสอน ซึ่งไม่มีการระบุตัวบุคคลทั้งทางตรงและทางอ้อมตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

References

Chaikanya, S. and Saenphandorn, S. (2018). Development of Creative Skills in Science Subject: Interaction in the Solar System. Mathayomsuksa 3 with a creative learning management model as the basis (in Thai). **Journal of Roi Et Rajabhat University**, 1(1), 157-164.

Deshakupt, P., Yingsuk, P. and Misri, R. (2013). **Teaching thinking with integrated teaching projects, skills, and learning. In the 21** (in Thai). Bangkok: The Printing House of Chulalongkorn University.

Dittacharoen, C. and Tananchaiputra, P. (2014). Creative development and academic achievement 6th grade by project-based learning management along the construction line. In programming courses Developing Applied Robotics. **Journal of Intellectual Intelligence**, 5(2), 205-216.

Guilford, J.P. (1967). **The Nature of Human Intelligence**. New York: Mc Graw-Hill Book Co.

Junthon, B., Jantarakantee, E. and Weerapaspong, T. (2015). Development of scientific creativity of 11th grade students on equilibrium using scientific inquiry approach (in Thai). **Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Education, Economics and Business Administration, Humanities and Social Sciences**; (pp. 228-229). Bangkok: Kasetsart University.

Kaewdok, P. and Sawangboon, T. (2019). A Study of the Learning Achievement and Scientific Creative Thinking of Tenth Grade Students, Using Creativity–Based Learning (CBL): Mixed–Method Research (in Thai). **Journal of Educational Measurement Mahasarakham University**, 25(1), 206-224.

Lertangkoon, C., Paewponsong, J., Wadeesirisak, S. and Koocharoenpisal, N. (2015). The development of science activity packages on food contaminant testing for the 8th grade students (in Thai). **Srinakharinwirot Science Journal**, 31(1), 65-82.

Ministry of Education, (2009). **Core Curriculum of Basic Education 2008**. Bangkok: Cooperative Assembly Printing House. Agriculture Authority of Thailand.

Nuanpong, V. (2010). Development of creativity according to the theory of knowledge creation on inventions from Thai wisdom Crafts 6th Grade (in Thai). **Master's Thesis.** Mahasarakham: Mahasarakham University.

Panmani, A. (2014). **Train to think, think creatively** (In Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Ruechaipanich, W. (2015). Creativity-Based Learning (CBL). **Journal of Learning Innovation**, 1(2), 23-37.

Boonshu, P., Phetpraphasorn, P. and khoomraksa, B. (2022). Development of science learning activities based on the concept of rat zoo study to strengthen the creative skills of elementary school students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(1), 107-123

Tidma, P. (2015). Creative development of human body systems through the process of engineering the eye. STEM Approaches (in Thai). **Master's Thesis**. Phitsanulok: Naresuan University.

Thuwawit, W. and Tharmapatip, J. (2023). Developing scientific creativity and academic achievement of 5th graders using Learning model for scientific creativity: PIEGA Model on electrochemistry (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 6(1), 135-149.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 251 - 259
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.22

Research Article

The Results of STEAM Education with the Miro application on academic achievement and problem-solving skills on purification topic of grade-8 students

Nichamon Thamthong[1], Sumalee Tientongdee[1,*], Kornkamol Chuchuoy[1], and Boonrudee Udomphol[1]
[1]General Science Division, Faculty of Education, Suansunandha Rajabhat University, Bangkok
**Email: sumalee.ti@ssru.ac.th*

Received <22 April 2023>; Revised <10 June 2023>; Accepted <13 Jul 2023>

Abstract

The classroom action research was aimed to 1) compare the academic achievement on the purification topic of grade 8 students and 2) compare their problem-solving skills after learning through STEAM education integrated with the Miro application in the science classroom at Yothinburana 2 (Suwansuttharam) School, Bangkok, Thailand. The sample group was 28 grade-8 students selected by purposive selection based on their academic achievement. The research tools were 1) STEAM education with the Miro application lesson plans, 2) an achievement test and 3) problem-solving skills test. The statistics tools used for data analysis were mean, standard deviation, and t-test for dependent samples. The results indicated that grade-8 students had significantly higher academic achievement after learning through STEAM education integrated with the Miro application at a .05 statistical level. Their problem-solving skills were significantly higher than before learning through STEAM education integrated with the Miro application at a .05 statistical level as well and they showed a high improvement in their problem-solving project on the new way of natural tie dye clothes as one of the innovations. Future study it should focus on using this STEAM education for other subject areas and at different levels.

Keywords: Academic achievement, Problem-solving skills, STEAM Education, Miro application

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง การแยกสาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ณิชมน ทำทอง[1], สุมาลี เทียนทองดี[1,*], กรกมล ชูช่วย[1] และ บุญฤดี อุดมผล[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

**Email: sumalee.ti@ssru.ac.th*

รับบทความ: 22 เมษายน 2566 แก้ไขบทความ: 10 มิถุนายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 13 กรกฎาคม 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแยกสาร และ 2) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง การแยกสาร หลังเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro สำหรับรายวิชาวิทยาศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 28 คน ซึ่งเลือกแบบเจาะจงตามเกณฑ์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนโยธินบูรณะ 2 (สุวรรณสุทธาราม) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 3) แบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหา สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบสมมติฐานแบบที ผลการวิจัยพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเท่ากับ 18.32 มีค่าสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 คะแนนทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนหลังเรียนเท่ากับ 25.29 ซึ่งสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลจากการทำชิ้นงานผ้ามัดย้อมของนักเรียนแสดงถึงพัฒนาการที่สูงขึ้นอย่างมาก และนำไปสู่นวัตกรรมการทำผ้ามัดย้อมโดยใช้วิธีการทางธรรมชาติได้ การศึกษาในอนาคตควรใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาในเนื้อหาวิชาและระดับชั้นเรียนอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะการแก้ปัญหา การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษา แอพพลิเคชัน Miro

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

จากสภาพปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของประเทศไทย ส่งผลให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการปฏิรูปการศึกษาสำหรับประชากรของประเทศ ซึ่งจะเห็นได้จากโครงการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนร่วมกับนานาชาติ (Programme for International Student Assessment หรือ PISA) ซึ่งพบว่าผลลัพธ์การประเมิน PISA ของประเทศไทย พบว่าในด้านการเรียนรู้รายวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยมีคะแนนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในระดับสากล และจากผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐานปีการศึกษา พ.ศ. 2564 พบว่า ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีคะแนนเฉลี่ย 31.45 ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 (Institute of Promoting Science and Technology Teaching , 2019)

ดังนั้นเพื่อยกระดับความสามารถทางด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทย การจัดการศึกษาต้องมีการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนและพลเมืองของประเทศให้สามารถใช้ชีวิตในยุคปัจจุบันได้ โดยมุ่งเน้นที่การพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมศักยภาพให้ผู้เรียนมีสมรรถนะในการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อพัฒนาให้เยาวชนไทยทุกคนมีสมรรถนะการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ และนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมได้ ดังนั้นกระทรวงศึกษาธิการจึงได้มีการกำหนดนโยบาย (Ministry of education, 2017) ให้มุ่งเน้นการส่งเสริมและพัฒนาทักษะการคิดแก้ปัญหาให้กับผู้เรียน โดยผู้สอนควรกำหนดสถานการณ์จริงในปัจจุบันที่พบว่าเป็นปัญหาให้ผู้เรียนได้ลงมือแก้ปัญหา ทั้งนี้แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาได้ดีอย่างหนึ่งคือ การใช้แนวคิดสะตีมศึกษา (STEAM Education) ดังปรากฏในผลงานวิจัยของ Phengnoi (2021) ซึ่งได้ศึกษาการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์และการสร้างผลงานทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษา พบว่า ผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนและทักษะการแก้ปัญหาหลักเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยแนวคิดสะตีมศึกษาเป็นการบูรณาการ 5 สาระวิชาที่นำมาเชื่อมโยงกัน ได้แก่ วิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และวิชาคณิตศาสตร์ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสงสัย นำไปสู่การหาคำตอบ และวิธีแก้ไขปัญหาด้วยการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง นำความรู้ไปสร้างสรรค์นวัตกรรมผ่านกระบวนการเชิงวิศวกรรม และสามารถแก้ไขปัญหาได้จริง

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะตีมศึกษานั้นสามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เผชิญกับสถานการณ์ปัญหาจริงในชีวิตประจำวัน และสามารถหาแนวทางการแก้ปัญหาด้วยตนเอง ผ่านการรวบรวมข้อมูล ระดมความคิด และแลกเปลี่ยนความรู้ร่วมกัน ซึ่งจะทำให้การสืบค้นข้อมูลและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้มีความน่าสนใจและเหมาะสมกับยุคปัจจุบันที่เป็นการเรียนรู้แบบผสมผสาน มีการนำสื่อและเทคโนโลยีดิจิทัลรวมทั้งแอพพลิเคชันต่าง ๆ มาบูรณาการในการจัดการเรียนการสอน ดังผลงานวิจัยของ Mussaya, Sirawan and Apunchanit (2020) ที่พบว่าผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะตีมศึกษาส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความคิดสร้างสรรค์ และเจตคติทางด้านวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ทั้งนี้แอพพลิเคชันหนึ่งที่น่าสนใจ คือ แอพพลิเคชัน Miro ซึ่งเป็นแอพพลิเคชันไวท์บอร์ดแบบออนไลน์ สำหรับใช้ในการระดมสมอง ความรู้ความคิดเห็น สามารถสร้างกระดานสนทนาได้อย่างไม่จำกัด เพื่อทำงานร่วมกันได้ทันที ซึ่งการนำแอพพลิเคชัน Miro เข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการจัดการเรียนรู้จะทำให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัญหา รวบรวมข้อมูล เพื่อช่วยกันหาแนวทางการแก้ไขปัญหา จนสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับผลงานวิจัยในต่างประเทศงานผลงานหนึ่งที่ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษา เรื่อง งานและพลังงาน บูรณาการเข้ากับแอพพลิเคชัน ซึ่งพบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาส่งผลต่อความเข้าใจที่ถูกต้องในบทเรียนของนักเรียนมากยิ่งขึ้น และนักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะตีมศึกษา (Gulbin and Unsal, 2021)

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะตีมศึกษาเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยสอดแทรกแอพพลิเคชัน Miro เข้ากับแนวทางการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ประกอบด้วยขั้นตอนจำนวน 6 ขั้นตอน เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพและบริบทของโรงเรียนขนาดเล็กในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และสภาพปัญหาที่พบในชั้นเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนโยธินบูรณะ 2 ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหาไม่สูงเท่าที่ควร โดยเฉพาะในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสสารในชีวิตประจำวัน และเพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของผู้เรียนให้สูงขึ้น ผ่านการเรียนรู้ในเนื้อหาที่อยู่ภายใต้หน่วยการเรียนรู้เรื่องสสารในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การแยกสาร โดยผู้วิจัยหวังให้ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแยกสาร ของนักเรียนก่อนและหลังเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro

2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง การแยกสาร ก่อนและหลังเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro

สมมติฐานการวิจัย

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแยกสาร หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro มีทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง การแยกสาร หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาให้กับผู้เรียน ซึ่งมีรูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยกึ่งทดลอง ผ่านการเก็บข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนโยธินบูรณะ 2 (สุวรรณสุทธาราม) ที่กำลังภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 2 ห้องเรียน รวม 53 คน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 28 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง ซึ่งพิจารณาจากการสังเกตพบสภาพปัญหาที่พบจากการเรียนการสอนในชั้นเรียน ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ระยะใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนาเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro จำนวน 5 แผน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจำนวน และแบบทดสอบวัดทักษะการคิดแก้ปัญหา เรื่อง การแยกสาร

1.1 การพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เรื่อง การแยกสาร ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 6 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นกำหนดปัญหา ขั้นรวบรวมข้อมูล ขั้นออกแบบวิธีแก้ปัญหา ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ขั้นทดสอบและปรับปรุง และขั้นนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ซึ่งมีกระบวนการสร้างและพัฒนาแผน ดังนี้ 1) ศึกษาทฤษฎีและหลักการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ 3) นำแผนการจัดการเรียนรู้ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความครอบคลุมของเนื้อหา 4) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ตรวจสอบแล้วมาแก้ไขปรับปรุง ซึ่งพบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 4.68 มีความเหมาะสมอยู่ระดับมากที่สุด

1.2 การพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดทักษะการแก้ปัญหา เป็นแบบทดสอบแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก มีขั้นตอนดังนี้ 1) ศึกษาแนวคิดและหลักการสำคัญของการสร้างและพัฒนาเครื่องวัดที่เกี่ยวข้อง 2) ดำเนินการสร้างแบบทดสอบเป็นแบบปรนัย 3) นำแบบทดสอบเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความสอดคล้อง ซึ่งได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 ทั้งสองฉบับ 4) นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ตรวจสอบแล้วมาปรับปรุงและทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แต่มีความรู้ความเข้าใจในระดับใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง 5) นำผลคะแนนมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (r) 6) ทำการคัดเลือกข้อคำถามในแบบทดสอบมาจำนวน 30 ข้อ ที่มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.60 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.44 – 0.75 และคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับได้เท่ากับ 0.92 และ 0.94 โดยได้แบบวัดทักษะการแก้ปัญหาจำนวน 32 ข้อ สำหรับ 8 สถานการณ์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ เรื่อง การแยกสาร จำนวน 30 ข้อ

1.4 การพัฒนาแบบสังเกตชิ้นงานทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เป็นแบบสังเกตเชิงพฤติกรรมและแบบสังเกตชิ้นงาน เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ผ้ามัดย้อม ซึ่งเป็นแบบประเมินตามสภาพจริงที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น และนำไปผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องจากผู้เชี่ยวชาญ โดยพิจารณาประเด็นทำการสังเกต จากนั้นมีการปรับปรุงแก้ไข ก่อนนำไปใช้จริง

ระยะที่ 2 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย ดังนี้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

2.1 ผู้วิจัยชี้แจงจุดประสงค์ของการวิจัยต่อกลุ่มตัวอย่างและให้ลงนามยินยอมในการเข้าร่วมการดำเนินงานวิจัยตามความสมัครใจตามข้อปฏิบัติของจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และชี้แจงการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนทราบถึงขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

2.2 กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบก่อนเรียน (pre-test) เรื่อง การแยกสาร โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 30 ข้อ และแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหา จำนวน 32 ข้อ

2.3 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้กับกลุ่มตัวอย่าง ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และให้นักเรียนทำกิจกรรมการพัฒนาชิ้นงาน ได้แก่ ผ้ามัดย้อมจากธรรมชาติ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาและสังเกตการทำกิจกรรมของนักเรียน และการนำเสนอชิ้นงาน

2.3 หลังเสร็จสิ้นการจัดการเรียนรู้ ตามแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การแยกสาร กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียน (post-test) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหา โดยแบบทดสอบหลังเรียนเป็นชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน

2.4 ทำการประเมินจากการสังเกตการนำเสนอชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์ ผ้ามัดย้อมจากธรรมชาติ

ระยะที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ดังนี้

3.1 วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียน โดยวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.2 ทดสอบสมมติฐานเพื่อหาความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro โดยใช้สถิติการทดสอบค่าที (t-test Dependent Sample)

3.3 การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา สำหรับผลการสังเกตการณ์นำเสอนและชิ้นงานผ้ามัดย้อมของนักเรียน นำมาสรุปประเด็นที่สำคัญเกี่ยวกับทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนที่สะท้อนจากการแก้ไขปัญหาทางวิทยาศาสตร์และในการพัฒนาชิ้นงาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแยกสาร และทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนโยธินบูรณะ 2 (สุวรรณสุทธาราม) ประกอบด้วย ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผลการวิเคราะห์ทักษะการแก้ปัญหา และผลสรุปจากชิ้นงานของนักเรียน ดังแสดงในรูปของตารางผลการวิจัย ได้แก่ ตารางที่ 1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ตารางที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหา และตารางที่ 3 ผลการสรุปจากการสังเกตชิ้นงานของผู้เรียน พร้อมภาพตัวอย่างผลงานของนักเรียน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน

การทดสอบ	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	df	t	P
ก่อนเรียน	30	8.71	2.69	27	23.66	0.00*
หลังเรียน		18.32	3.03			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 1 พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนของนักเรียนที่จะได้รับการจัดการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เรื่อง การแยกสาร สำหรับกลุ่มตัวอย่างนักเรียน 28 คน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 8.71 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.69 และคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 18.32 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.03 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้สถิติทดสอบแบบ t พบว่าค่า t เท่ากับ 23.66 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากที่นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการจัดการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เรื่อง การแยกสาร ตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Netwong (2016) ซึ่งพบว่าผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาสามารถช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และได้ผลการศึกษา

เช่นเดียวกับการวิจัยของ Tayea, Mophan, and Waedrama (2017) ซึ่งช่วยทำให้นักเรียนมีความพึงพอใจและเปิดใจที่จะเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Ozkan and Umdu Topsakal (2021) ที่พบว่าการเรียนรู้ตามแรวคิดสะตรีมศึกษาช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ดีมากยิ่งขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wongthong (2020) ที่ศึกษาพบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบบูรณาการสะตีมศึกษาช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ สามารถฝึกให้นักเรียนระบุประเด็นปัญหา รวบรวมข้อมูล และสรุปผลได้อย่างเป็นขั้นตอน อีกทั้งการประยุกต์ใช้แอพพลิเคชัน Miro เข้าไปในการจัดการเรียนรู้ทำให้นักเรียนสามารถเห็นการนำเทคโนโลยีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และช่วยในการทำงานร่วมกัน ช่วยให้เกิดความสะดวกในการระดมความคิด อภิปรายกลุ่ม แลกเปลี่ยนความรู้ และร่วมกันออกแบบวิธีการแก้ปัญหา และแอพพลิเคชัน Miro สามารถทำให้นักเรียนวิเคราะห์ปัญหาและทำให้มองเห็นแนวทางการแก้ปัญหาได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหามากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาก่อนและหลังเรียน

การทดสอบ	**คะแนนเต็ม**	$\bar{X}$	**S.D.**	df	t	P
ก่อนเรียน	32	9.21	3.18	27	22.44	0.00*
หลังเรียน		25.29	3.36			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 พบว่า คะแนนทักษะการแก้ปัญหาก่อนที่จะได้รับการจัดการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เรื่อง การแยกสาร มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 9.21 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 3.18 และคะแนนทักษะการแก้ปัญหาหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 25.29 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 3.36 เมื่อนำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าสถิติทดสอบ t พบว่าค่า t เท่ากับ 22.44 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังการจัดการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาที่ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เรื่อง การแยกสาร ตามขั้นตอนทั้งสิ้น 6 ขั้นตอน ส่งผลให้นักเรียนมีทักษะการแก้ปัญหาสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Intharaksa (2019) ที่กล่าวว่านักเรียนจะมีทักษะการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ได้จะต้องผ่านการลงมือปฏิบัติจริง และผ่านการแก้ปัญหาด้วยวิธีการที่หลากหลาย

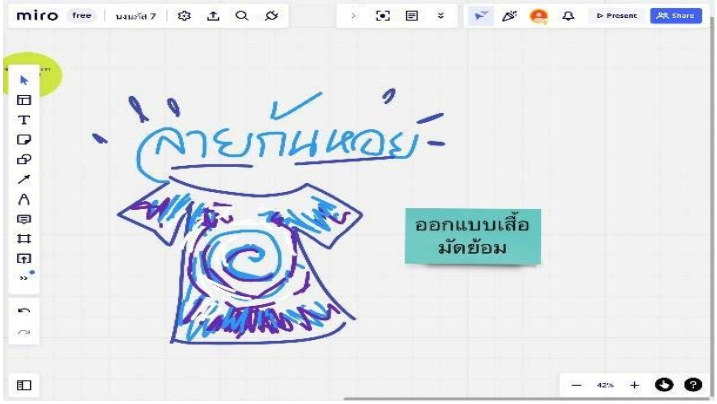
ตารางที่ 3 สรุปผลการสังเกตชิ้นงานของนักเรียน เรื่อง ผ้ามัดย้อม

ประเด็นข้อสังเกต	**สรุปการสะท้อนผลด้านความสามารถในการแก้ปัญหา**
การกำหนดปัญหา	ทุกกลุ่มสามารถกำหนดปัญหาที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหา เรื่องการทำผ้ามัดย้อมด้วยวิธีธรรมชาติได้อย่างเหมาะสมตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
การรวบรวมข้อมูล	นักเรียนส่วนใหญ่สามารถรวบรวมข้อมูล และช่วยกันระดมความคิดผ่านแอพพลิเคชัน Miro ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
การออกแบบวิธีแก้ปัญหา	ทุกกลุ่มสามารถออกแบบวิธีการย้อมสีผ้าได้อย่างเหมาะสม
การวางแผนและดำเนินการ	นักเรียนส่วนใหญ่สามารถวางแผนและดำเนินการตามแผนที่วางไว้ในการทำผ้ามัดย้อมด้วยวิธีการทางธรรมชาติได้อย่างถูกต้อง
การทดสอบและปรับปรุง	นักเรียนส่วนใหญ่สามารถทดสอบและปรับปรุงวิธีการทำผ้ามัดย้อมได้
การนำเสนอชิ้นงาน	ทุกกลุ่มสามารถนำเสนอชิ้นงานได้อย่างน่าสนใจ มีการนำแอพพลิเคชัน Miro มาช่วยในการนำเสนอได้อย่างเหมาะสม

จากตารางที่ 3 พบว่านักเรียนแสดงถึงความสามารถในการกำหนดปัญหา ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา และนำเสนอชิ้นงานได้ทุกกลุ่ม และนักเรียนส่วนใหญ่สามารถรวบรวมข้อมูล วางแผนและดำเนินการตามแผนที่วางไว้ มีการทดสอบและปรับปรุงชิ้นงานผ้ามัดย้อมได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phengnoi (2021) ที่ศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์และการสร้างผลงานทางวิทยาศาสตร์ ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะตีมศึกษา พบว่านักเรียนชั้นประถมศึกษา

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ปีที่ 5 มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tsailexthim and Jirakittayakorn (2022) ที่ใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะตรีมศึกษาพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงของนักเรียน และผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Benchapich and Pariput (2020) ที่ศึกษาทักษะในการแก้ปัญหาของเด็กปฐมวัยภายหลังจากเรียนรู้ผ่านชุดกิจกรรมการเรียนรู้สะตีมศึกษาช่วยให้ผู้เรียนแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ และการใช้แอพพลิเคชัน Miro ช่วยให้การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมีความน่าสนใจและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันได้มากยิ่งขึ้น ดังปรากฏในภาพที่ 1 สำหรับขั้นการออกแบบและวางแผนการแก้ปัญหาร่วมกัน



ภาพที่ 1 ตัวอย่างภาพการใช้แอพพลิเคชัน Micro ในขั้นออกแบบและวางแผน

ภาพตัวอย่างที่ 2 เป็นภาพส่วนหนึ่งจากกิจกรรมการทำสิ่งประดิษฐ์ชิ้นงานของนักเรียน เรื่อง ผ้ามัดย้อม ซึ่งนักเรียนได้ลงมือแก้ปัญหาจากสถานการณ์จริง

ภาพที่ 2 ตัวอย่างภาพการทำผ้ามัดย้อมของนักเรียนเพื่อสร้างชิ้นงานจากกิจกรรมการแก้ปัญหา

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะการวิจัย

จากผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง การแยกสาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัย ได้ดังนี้

1. นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เรื่อง การแยกสาร มีค่าเฉลี่ยหลังเรียน 18.32 (S.D. = 3.03) อยู่ในระดับสูง และสูงกว่าก่อนเรียนซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.71 (S.D. = 2.69) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแยกสาร ให้มีค่าสูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตามพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนนักเรียนทั้งห้องเรียนมีการเบี่ยงเบนออกจากค่าเฉลี่ยค่อนข้างมาก เนื่องจากนักเรียนในห้องเรียนชั้นดังกล่าวมีความสามารถที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามผลการวิจัยในภาพรวมเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

2. นักเรียนมีคะแนนทักษะการแก้ปัญหาโดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro เรื่อง การแยกสาร มีค่าเฉลี่ยหลังเรียน 25.29 (S.D. = 3.36) สูงกว่าค่าเฉลี่ยก่อนเรียน 9.21 (S.D. = 3.18) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และพบว่าค่าระดับคะแนนทักษะการคิดแก้ปัญหาของนักเรียนอยู่ในระดับสูง จึงสามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้

ตามแนวทางสะตีมศึกษาร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro ทำให้ทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนเพิ่มขึ้นจริง เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย อีกทั้งจากการสังเกตชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์ เรื่อง ผ้ามัดย้อม ซึ่งผลการสังเกตพฤติกรรมตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน พบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างสิ่งประดิษฐ์และแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพทุกขั้นตอน โดยเฉพาะด้านกำหนดปัญหา การออกแบบวิธีแก้ปัญหา และการนำเสนอที่ทุกกลุ่มแสดงพฤติกรรมได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

สำหรับข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยได้เสนอไว้ในประเด็นที่สำคัญ ดังนี้

1. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะตีมศึกษายังเป็นเรื่องใหม่สำหรับนักเรียน ก่อนการเริ่มจัดกิจกรรมผู้สอนจึงควรชี้แจงจุดประสงค์และขั้นตอนการทำกิจกรรมให้ชัดเจน และควรเพิ่มเติมความรู้เกี่ยวกับสะตีมศึกษาว่าเป็นอย่างไรก่อน เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจก่อนทำกิจกรรมการเรียนรู้

2. ครูควรส่งเสริมให้นักเรียนได้ออกแบบ สร้าง และนำเสนอชิ้นงานหรือผลงานอย่างมีอิสระสร้างสรรค์ด้วยตนเอง และมีความหลากหลาย รวมถึงการประเมินที่ตรงกับสภาพจริงและเหมาะสมกับธรรมชาติและบริบทของผู้เรียนให้มากที่สุด ครูควรปรับเวลาและสถานการณ์ต่าง ๆ ในการจัดกิจกรรมให้มีความเหมาะสมและยืดหยุ่น และความสอดคล้องกับเวลา

3. ควรมีการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะตีมศึกษา ร่วมกับแอพพลิเคชัน Miro ในเนื้อหาสาระเกี่ยวกับเรื่องอื่น และในระดับชั้นอื่น ๆ และนำไปปรับใช้อย่างเหมาะสม และควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับทักษะการคิดขั้นสูงด้านต่าง ๆ เพิ่มเติม เช่น ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และทักษะการคิดสร้างสรรค์

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญที่ได้กรุณาตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย พร้อมให้คำแนะนำ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการสร้างเครื่องมือและสนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณผู้บริหาร ครู และนักเรียนโรงเรียนโยธินบูรณะ 2 (สุวรรณสุทธาราม) และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามและจัดเก็บข้อมูลจนทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์

การดำเนินการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ผ่านการอบรมและได้รับวุฒิบัตรจากคณะกรรมการการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ซึ่งผู้วิจัยได้การดำเนินการวิจัยที่ไม่ขัดต่อจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ได้แก่ การได้ขอความยินยอมโดยใช้เอกสารจากผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในบุคคล (Respect for person) หลักคุณประโยชน์ ไม่ก่ออันตราย (Beneficence) และหลักความยุติธรรม (Justice)

References

Benchapich, P. and Pariput, P. (2020). The development of early childhood children's problem-solving ability through learning activity package based on STEAM education (in Thai). **Journal of Roi Et Rajabhat University**, 14(2), 87-95.

Phengnoi, D. (2021). The development of creative problem solving and scientific working creation's abilities in fifth grade students by learning activities manage education based on the concept of STEM education (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Silpakorn University.

Gulbin, O. and Unsal Umdu, T. (2021). Analysis of Turkish science education curricula's learning outcomes according to science process skills. **Mimbar Sekolah Dasar**, 8(3), 295-306.

Institute of Promoting Science and Technology Teaching. (2019). **Summary of PISA 2015 in Mathematics, Reading, and Science (Full report)** (in Thai)**.** Bangkok: Paper Prints**.**

Intharaksa, P. (2019). Active learning management for creative problem-solving (in Thai). **Udon Thani Rajabhat University Journal of GURU Education**, 1(1), 35-43.

Ministry of education. (2017). **Indicators and core learning content science learning group (revised version 2017)** (in Thai). Bangkok: The agricultural co-operative federation of Thailand, Ltd.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Mussaya, B., Sirawan, J. and Apunchanit, J. (2020). Effects of learning management by using STEAM on learning achievement, creative thinking and attitude of Prathomsuksa 4 (in Thai). **Journal of Education Studies**, 48(2), 203-224.

Netwong, T. (2016). Development of problem-solving skills by integration learning following STEM education (in Thai). Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 15(2), 1-6.

Noiwong, W. and WongthongJournal, P. (2020). Learning activity based on STEAM Education that emphasizes engineering design process in topic of hydroponics for enhancing 21st century skills of upper elementary school students (in Thai). **Journal of Science & Science Education**, 3(2), 177-189.

Ozkan, G. and Umdu Topsakal, U. (2021). Investigating the effectiveness of STEAM education on students' conceptual understanding of force and energy topics. **Research in Science & Technological Education**, 39(4), 441-460.

Wongthong, P. (2020). Integrated steam education teaching practice for improving critical thinking and problem-solving abilities of first grade students in small primary school (in Thai). **Journal of Education Khon Kaen University**, 43(2), 3-16.

Tayea, F., Mophan, N. and Waedrama, M. (2017). Effect of STEAM education on science learning achievement, creative thinking and satisfaction of grade 5 students towards the learning management (in Thai). Princess of Naradhiwas University Journal of Humanities and Social Sciences, 4(2), 1–14.

Tsailexthim, D. and Jirakittayakorn, T. (2022). The development of STEAM education model to enhance thinking skills of Srinakharinwirot University Prasarnmit demonstration school (elementary) 5th grade students. **Journal of Research and Curriculum Development**, 12(2), 32-38.

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 260 - 268
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.23

Research Article

Simulating Two-body Pursuit Problem using LibreOffice

Kan Sornbundit[1,*]
[1]*Ratchaburi Learning Center, King Mongkut's University of Technology Thonburi (Ratchaburi), Ratchaburi*
**Email: kan.sor@kmutt.ac.th*

Received <22 February 2023>; Revised <20 March 2023>; Accepted <10 April 2023>

Abstract

In this research, we propose the use of LibreOffice, which is a free spread sheet software, for simulating the two-body pursuit problem and use the GOAL SEEK function to estimate the time that one body takes to reach the other one. We found that LibreOffice can be used to simulate the motion of the system and estimate the approached time without using sophisticated programming skill. The software is suitable for self-learning of undergraduate students. Moreover, instructors can use the software to create different exercises by adjusting free parameters.

Keywords: Spread sheet, Simulation, Two-body pursuit problem

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุสองวัตถุที่เคลื่อนที่ไล่ตามกันในแนวตรงโดยใช้ลิบราออฟฟิศ

กานต์ ษรบัณฑิต[1,*]

[1]*ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี) ราชบุรี*

**Email: kan.sor@kmutt.ac.th*

รับบทความ: 22 กุมภาพันธ์ 2566 แก้ไขบทความ: 20 มีนาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 10 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอการใช้โปรแกรมตารางจัดการ (spread sheet) ชื่อ ลิบราออฟฟิศ (LibreOffice) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการจำลองเหตุการณ์ (simulation) ของปัญหาการเคลื่อนที่ในแนวตรงของวัตถุสองวัตถุที่เคลื่อนที่ไล่ตามกัน (two-body pursuit problem) และเสนอการใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป GOAL SEEK ในการหาค่าเวลาที่วัตถุต้องใช้ในการไล่ตามอีกวัตถุหนึ่งให้ทัน ผู้วิจัยพบว่าสามารถใช้โปรแกรมลิบราออฟฟิศ ในการจำลองเหตุการณ์ และสามารถใช้ประมาณค่าคำตอบของสมการการเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องใช้การเขียนโปรแกรมที่ซับซ้อน เหมาะที่จะใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการเรียนรู้ด้วยตนเองของนักศึกษา นอกจากนี้ผู้สอนยังสามารถใช้ในการสร้างแบบทดสอบที่หลากหลายได้โดยการปรับค่าตัวแปรตั้งต้น

คำสำคัญ: โปรแกรมตารางจัดการ การจำลอง ปัญหาการเคลื่อนที่ไล่ตามกันของวัตถุสองก้อน

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

การเคลื่อนที่แนวตรงเป็นเนื้อหาที่สำคัญเรื่องหนึ่งที่นักเรียนและนักศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ และวิศวกรรมศาสตร์ จำเป็นต้องศึกษาให้เข้าใจ (Pornsuriwong and Sungthong, 2020) เนื่องจากเป็นเนื้อหาพื้นฐานสำหรับศึกษาในรายวิชาขั้นสูงต่อไป แต่ในปัจจุบันผู้วิจัยพบว่านักศึกษาจำนวนมากไม่เข้าใจเนื้อหานี้ หนึ่งในรูปแบบปัญหาที่พบความผิดพลาดจากการทำแบบฝึกหัดของนักศึกษา คือปัญหาการเคลื่อนที่ไล่ตามกันของวัตถุสองวัตถุ (two-body pursuit problem) ปัญหานี้ประกอบด้วยวัตถุสองวัตถุเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงโดยวัตถุหนึ่งเคลื่อนที่ไล่ตามอีกวัตถุหนึ่ง ตัวอย่างของปัญหาในลักษณะนี้ คือการเคลื่อนที่ไล่ตามกันของรถสองคัน หรือการเคลื่อนที่ของเสือเพื่อวิ่งไล่จับเหยื่อ การแก้ปัญหานี้นักศึกษาจำเป็นต้องมองภาพให้ออกว่าวัตถุทั้งสองชนิดอยู่ที่ตำแหน่งใดในตอนเริ่มต้น จากนั้นจึงตั้งสมการการเคลื่อนที่แนวตรงขึ้นมาสองสมการ แต่ละสมการบรรยายการเคลื่อนที่ของวัตถุแต่ละก้อน แล้วแก้สมการทางคณิตศาสตร์สองสมการนี้เพื่อหาปริมาณที่สนใจ สิ่งที่ผู้วิจัยค้นพบจากการสอนนักศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่หนึ่ง คือนักศึกษาไม่สามารถตั้งสมการทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องได้ เนื่องจากไม่สามารถนึกภาพสถานการณ์ที่ถูกต้องได้ และมีนักศึกษาอีกจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถแก้สมการทางคณิตศาสตร์ได้

วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์ (simulation) คือการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณวิถีการเคลื่อนที่ของวัตถุ และใช้ซอฟต์แวร์ประเภทช่วยแก้ปัญหาทางพีชคณิต (Computer Algebra System: CAS) ในการแก้สมการคณิตศาสตร์ ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจำนวนมากที่สามารถใช้ในการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ได้ ตัวอย่างของซอฟต์แวร์ที่มีค่าใช้จ่ายเช่น แมทแลบ (MATLAB) แมทเทแมทิกา (MATHEMATICA) และเมเปิล (MAPLE) ส่วนซอฟต์แวร์ที่ไม่มีค่าใช้จ่าย (Freeware) ได้แก่ ไซน์แลป (SCILAB) จี เอ็น ยู อ็อกเตฟ (GNU-OCTAVE) และ แมกซิมา (MAXIMA) แต่ข้อด้อยของซอฟต์แวร์ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายคือมีเอกสารอ้างอิงน้อยกว่าโปรแกรมที่มีค่าใช้จ่ายดังที่ได้กล่าวข้างต้น จึงอาจทำให้เกิดความลำบากในการเริ่มต้นเรียนรู้

อีกทางเลือกหนึ่งในการจำลองสถานการณ์และแก้สมการทางคณิตศาสตร์คือการใช้โปรแกรมประเภทตารางจัดการ (spread sheet) ในปี ค.ศ. 1988 Dory (Dory, 1988) ได้เสนอให้นำโปรแกรมตารางจัดการซึ่งในขณะนั้นนิยมใช้กันมากในทางบัญชีมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาปัญหาทางฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 1997 Cooke (Cooke, 1997) ได้เสนอวิธีการสร้างตัวเลขสุ่ม (random number) โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปในโปรแกรมตารางจัดการ ตัวเลขสุ่มมีประโยชน์ในการจำลองปัญหาทางฟิสิกส์ นอกจากนี้ยังมีการใช้โปรแกรมตารางจัดการในการศึกษาระบบต่าง ๆ ทางฟิสิกส์อีกมาก ได้แก่ การจำลองการเคลื่อนที่ของระบบมวล-สปริง (Oliveira and Nápoles, 2010) วิถีการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กคงตัว (Singh, Khun, and Kaur, 2018b) ปรากฏการณ์ของแสงและคลื่น (González, 2018; Robinson and Jovanoski, 2011; Singh and Kaur, 2018; Singh, Khun, and Kaur, 2018a) การเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียง (Grigore, Miron, and Barna, 2016) การทำงานของเทอร์มอมิเตอร์ (Korsun, Kryzhanovskyi, and Monchuk, 2019) และกฎของโอห์ม (Uddin and Zaheer, 2019) เป็นต้น จากงานวิจัยข้างต้นโปรแกรมตารางจัดการที่นิยมใช้มากที่สุดคือโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ซึ่งมีจุดเด่นคือเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการเรียนรู้ เนื่องจากมีลักษณะเป็นแผ่นงาน (worksheet) และมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ในรูปแบบกราฟิก (Graphic user intrface: GUI) นักศึกษาส่วนมากมักคุ้นเคยกับโปรแกรมนี้อยู่แล้วเมื่อเทียบกับโปรแกรมเฉพาะทางดังที่ได้กล่าวข้างต้น หรือเทียบกับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยตรง ข้อดีอีกประการหนึ่งคือการมีฟังก์ชันสำเร็จรูปที่หลากหลาย แม้ว่าฟังก์ชันสำเร็จรูปส่วนมากเกี่ยวข้องกับการคำนวณทางสถิติ คณิตศาสตร์ และทางด้านการเงิน แต่บางฟังก์ชันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณทางด้านวิทยาศาสตร์ได้ ไมโครซอฟต์เอ็กเซลเป็นซอฟต์แวร์ที่มีค่าใช้จ่ายอาจทำให้เกิดอุปสรรคสำหรับนักศึกษาในการจัดหามาใช้งาน วิธีแก้ปัญหาคือเปลี่ยนไปใช้โปรแกรมตารางจัดการที่ไม่มีค่าใช้จ่าย ซึ่งมีอยู่หลายโปรแกรม เช่น โอเพ่นออฟฟิศ (OpenOffice) ลิบราออฟฟิศ (LibreOffice) และ กูเกิลชีท (Google Sheets)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการใช้ซอฟต์แวร์ลิบราออฟฟิศ แคลซี (LibreOffice Calc) ซึ่งอยู่ในชุดซอฟต์แวร์ลิบราออฟฟิศในการจำลองเหตุการณ์การเคลื่อนที่ของวัตถุสองวัตถุที่ไล่ตามกัน และใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีชื่อว่า GOAL SEEK (Guerrero and Guerrero, 2019) ในการแก้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาปริมาณที่สนใจ จากการค้นคว้าของผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่เสนอการใช้ ลิบราออฟฟิศ แคลซี ร่วมกับฟังก์ชัน GOAL SEEK ในการจำลองการเคลื่อนที่และศึกษาปัญหาการเคลื่อนที่ของวัตถุสองวัตถุที่ไล่ตามกัน

ประโยชน์ของงานวิจัยชิ้นนี้คือการสร้างเครื่องมือจากโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่ายเพื่อช่วยในการศึกษาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับวัตถุสองวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตรงไล่ตามกัน โดยเครื่องมือนี้สามารถจำลองภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ และสามารถแก้สมการเพื่อหาปริมาณที่สนใจได้โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ผู้เรียนยังสามารถปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันได้ โดยโปรแกรมจะจำลองเหตุการณ์และคำนวณโดยอิงจากค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแล้วให้โดยอัตโนมัติ ผู้เรียนจึงสามารถศึกษาด้วยตนเองได้ ผู้สอนก็สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อสร้างแบบทดสอบที่หลากหลายได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

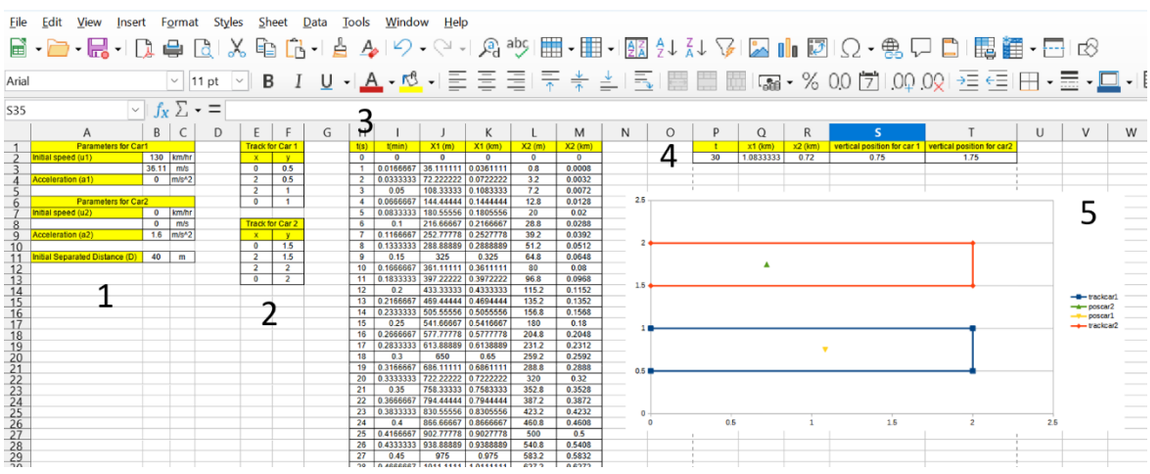
เพื่อนำเสนอการใช้โปรแกรม ลิบราออฟฟิศ แคลซี ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการจำลองเหตุการณ์ และแก้สมการเกี่ยวกับปัญหาการเคลื่อนที่ของวัตถุสองวัตถุที่ไล่ตามกัน โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป GOAL SEEK

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการจำลองเหตุการณ์การเคลื่อนที่ของวัตถุสองชนิดที่ไล่ตามกันนั้น ผู้วิจัยได้สร้างแผ่นงานขึ้นมาสองแผ่น โดยแผ่นแรกจะเป็นการคำนวณวิถีการเคลื่อนที่ในแนวตรงของวัตถุทั้งสองวัตถุ ผู้เรียนสามารถสังเกตจากการจำลองเหตุการณ์ได้โดยตรงว่าเมื่อใดที่วัตถุสองชนิดเคลื่อนที่ทันกัน จากนั้นเมื่อได้ค่าประมาณของเวลาที่เคลื่อนที่ทันกันแล้ว ผู้เรียนสามารถนำค่าเวลาที่ได้จากการสังเกตมาใช้เป็นค่าเริ่มต้นเพื่อคำนวณค่าเวลาที่แม่นยำมากขึ้นจากแผ่นงานที่สองได้โดยใช้คำสั่ง GOAL SEEK

เพื่อให้การศึกษาการใช้งานตารางจัดการมีความชัดเจนมากขึ้น จะกำหนดสถานการณ์สมมติขึ้นมาให้เป็นการเคลื่อนที่ของรถที่ขับด้วยความเร็วคงตัว 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต่อมารถตำรวจที่จอดอยู่ห่างจากรถคันแรก 40 เมตร สังเกตเห็นจึงได้เร่งเครื่องเพื่อตามให้ทันด้วยความเร่ง 1.6 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

แผ่นงานแรกประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วนดังภาพที่ 1 คือส่วนที่หนึ่งเป็นค่าเริ่มต้นของรถทั้งสองคัน ได้แก่ ความเร็วเริ่มต้น (u1 และ u2) ความเร่ง (a1 และ a2) และระยะห่างเริ่มต้นระหว่างรถทั้งสองคัน (D) ความหมายและสูตรการคำนวณแสดงในตารางที่ 1 ส่วนที่สองเป็นส่วนที่สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ (track) สำหรับรถทั้งสองคัน เพื่อความสะดวกในการสังเกต ผู้วิจัยกำหนดให้การแสดงวิถีการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคันมีลักษณะที่ไม่ซ้อนทับกันดังภาพที่ 1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคันเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยสร้างมาจากการเชื่อมต่อจุดสี่จุดโดยใช้พิกัดดังแสดงในภาพที่ 1 ส่วนที่สามเป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณการกระจัด (X1 และ X2) ของรถทั้งสองคันที่เวลาที่กำหนด ความหมายและสูตรการคำนวณแสดงในตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์จะกำหนดไว้ที่ 50 วินาที และมีช่วงขั้นเวลา (time step) ที่ 1 วินาที ส่วนที่สี่เป็นส่วนที่ใช้คำสั่ง VLOOKUP ในการค้นหาค่าตามแนวดิ่งของการกระจัดของรถทั้งสองคัน ณ เวลาที่ต้องการ เพื่อใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคัน และส่วนที่ห้าเป็นส่วนที่ใช้วาดรูป (plot) พิกัดการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคันเป็นจุด โดยอิงค่าการกระจัดตามเวลาที่กำหนดในส่วนที่สี่ ผู้เรียนสามารถปรับค่าเวลาในส่วนที่สี่เพื่อประมาณค่าระยะเวลา และระยะทางที่รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ทันกันได้ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของแผ่นงานที่หนึ่งซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก

ตารางที่ 1 ข้อมูลตำแหน่ง สัญลักษณ์ ความหมาย สมการ และสูตรคำนวณที่เกี่ยวข้องของเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณ

ตำแหน่งเซลล์	สัญลักษณ์	ความหมาย	สมการ	สูตรคำนวณ
J2	X1 (m)	การกระจัดของรถคันที่หนึ่งในหน่วยเมตร	$U_1t+\frac{1}{2}a_1t^2+D$	=$B$3*$H2+(1/2)*$B$4*($H2^2) + $B$11
K2	X1 (km)	การกระจัดของรถคันที่หนึ่งในหน่วยกิโลเมตร	$\frac{U_1t+\frac{1}{2}a_1t^2+D}{1000}$	=J2/1000
L2	X2 (m)	การกระจัดของรถคันที่สองในหน่วยเมตร	$U_2t+\frac{1}{2}a_2t^2$	=$B$8*$H2+(1/2)*$B$9*($H2^2)
M2	X2 (km)	การกระจัดของรถคันที่สองในหน่วยกิโลเมตร	$\frac{U_2t+\frac{1}{2}a_2t^2}{1000}$	=L2/1000
Q2	x1 (km)	การกระจัดของรถคันที่หนึ่งในหน่วยกิโลเมตรในเวลาที่สนใจ		=VLOOKUP(P2,H2:M52,4)
R2	x2 (km)	การกระจัดของรถคันที่สองในหน่วยกิโลเมตรในเวลาที่สนใจ		=VLOOKUP(P2,H2:M52,6)
B3	u1	ความเร็วต้นของรถคันที่หนึ่งในหน่วยเมตรต่อวินาที		=$B$2*(5/18)
B8	u2	ความเร็วต้นของรถคันที่สองในหน่วยเมตรต่อวินาที		=$B$7*(5/18)

ในแผ่นงานที่สองประกอบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการกระจัดของรถทั้งสองคันดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 3)

$$S_1+D=S_2 \tag{1}$$

$$u_1t+\frac{1}{2}a_1t^2+D=u_2t+\frac{1}{2}a_2t^2 \tag{2}$$

เมื่อ S_1และ S_2 คือ การกระจัดของรถคันที่หนึ่งและสองตามลำดับ
u_1และ u_2 คือ ความเร็วต้นของรถคันที่หนึ่งและสองตามลำดับ
a_1และ a_2 คือ ความเร่งของรถคันที่หนึ่งและสองตามลำดับ
D คือ ระยะห่างเริ่มต้นระหว่างรถทั้งสองคัน
t คือ เวลาของรถทั้งสองคันซึ่งมีค่าเท่ากัน

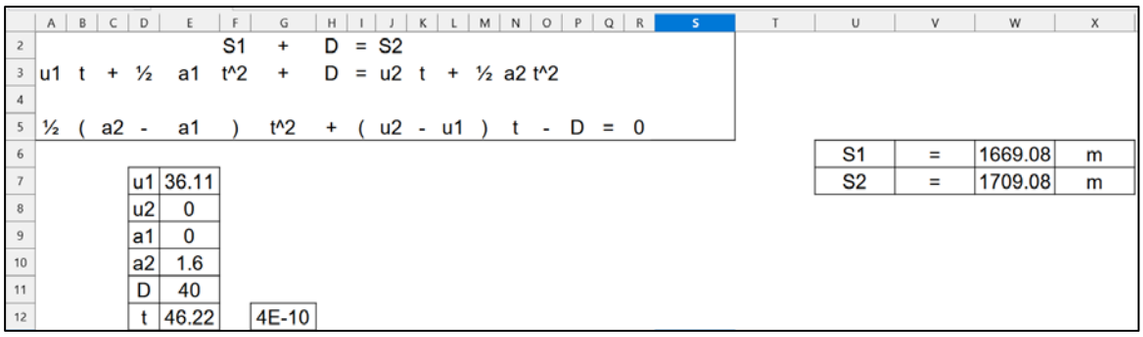
จัดรูปสมการที่ 2 ใหม่จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{1}{2}(a_2-a_1)t^2+(u_2-u_1)t-D=0 \tag{3}$$

การใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป Goal seek ในการหาค่าเวลาที่รถทั้งสองวิ่งทันกันสามารถทำได้โดยการแทนค่าพารามิเตอร์ที่โจทย์กำหนดลงไปในสมการที่ 3 จากนั้นกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์เวลา t ลงในเซลล์ E12 โดยค่านี้ควรเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งสามารถประมาณได้จากการสังเกตการจำลองเหตุการณ์ในแผนงานที่หนึ่ง (ภาพที่ 2)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ภาพที่ 2 ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคันที่เวลา 0 10 20 30 40 45 46 และ 50 วินาที



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของแผ่นงานที่สอง

การใช้งานคำสั่ง GOAL SEEK ทำได้ดังต่อไปนี้ ขั้นแรกให้ใส่สมการที่ 3 ลงไปในเซลล์ G12 จากนั้นให้เปิดหน้าต่างคำสั่ง GOAL SEEK ขึ้นมา (ไปที่ Tools > Goal Seek) ในช่อง Formula cell ให้ใส่ตำแหน่งของเซลล์เป็น G12 Target Value คือค่าของช่อง G12 ที่เราต้องการ ซึ่งเราต้องการให้ค่าของ G12 เท่ากับศูนย์ จึงใส่เลขศูนย์ลงไป Variable cell คือช่องที่เราต้องการปรับค่า ซึ่งก็คือค่าเวลา (ภาพที่ 4) ดังนั้นจึงต้องใส่เป็นเซลล์ E12 เมื่อใส่ค่าเสร็จแล้วให้กดปุ่มโอเค โปรแกรมจะทำการประมาณค่าเวลาที่ทำให้สมการที่เราตั้งไว้มีค่าเป็นศูนย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

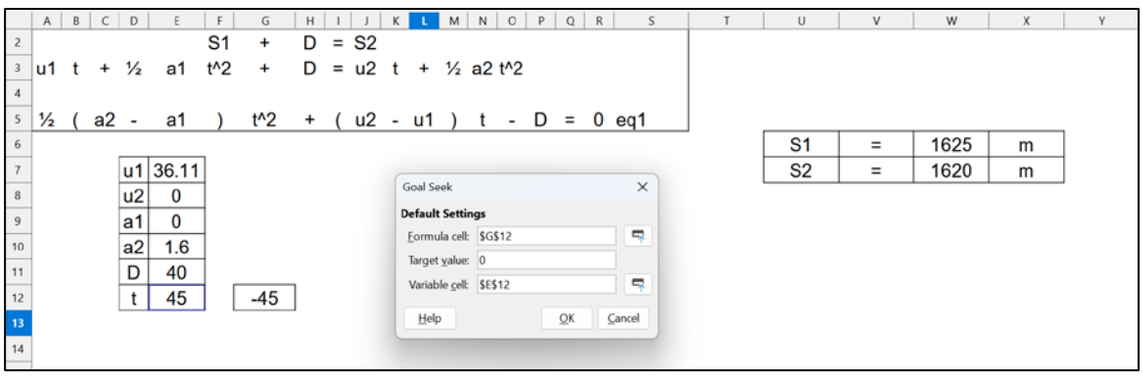
การทดสอบการใช้งานของโปรแกรมตารางจัดการที่สร้างขึ้นทำได้โดยทดสอบการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ไล่ตามกันของรถยนต์สองคัน รถยนต์คันที่หนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในตอนเริ่มต้นรถยนต์คันที่หนึ่งอยู่ห่างจากรถยนต์คันที่สองเป็นระยะทาง 40 เมตร รถยนต์คันที่สองในตอนเริ่มต้นอยู่นิ่ง จากนั้นจึงเริ่มเคลื่อนที่เพื่อไล่ตามรถคันที่หนึ่งด้วยความเร่ง 1.6 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง จากนั้นให้นำค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ใส่ลงไปในส่วนที่หนึ่งของแผ่นงานที่หนึ่ง โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนหน่วยจากหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมงให้เป็นหน่วยเมตรต่อวินาทีให้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้สอดคล้องกับระบบหน่วยระหว่างชาติ ซึ่งการแปลงหน่วยนี้ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ผู้วิจัยพบว่านักศึกษามักจะผิดพลาดในการใช้หน่วยปะปนกันระหว่างหน่วยระหว่างชาติและหน่วยอื่น จึงทำให้ผลการคำนวณออกมาผิดพลาด ดังนั้นการที่โปรแกรมมีการคำนวณในส่วนนี้ให้เห็นอย่างชัดเจนจึงเป็นการช่วยนักศึกษาให้คำนึงถึงเรื่องการแปลงหน่วยด้วย จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณระยะการกระจัดของรถทั้งสองคันที่เวลาต่าง ๆ ให้โดยอัตโนมัติ ดังแสดงในคอลัมน์ที่ J ถึง M ในการนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ช่วงการคำนวณห่างกันช่วงละหนึ่งวินาทีและสำหรับปัญหานี้เวลาที่ใช้ในการคำนวนจะอยู่ที่ห้าสิบวินาทีซึ่งเพียงพอต่อการจำลองให้เห็นการไล่ตามกันจนทันของรถทั้งสองคันนี้แล้ว

ในการที่จะจำลองการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคันนั้นจะต้องมีการวาดรูปพื้นที่การเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคัน ซึ่งสร้างโดยการวาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองอัน โดยใช้พิกัดดังแสดงในคอลัมน์ E และ F ส่วนรถแต่ละคันนั้นแสดงด้วยพิกัดที่นำมาจากช่อง Q2 R2 S2 และ T2 ระยะกระจัดของรถแต่ละคันหาได้จากการใช้คำสั่ง VLOOKUP เพื่อค้นหาระยะการกระจัดของรถแต่ละคัน ณ เวลาที่สนใจ ภาพการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคัน ณ 0 10 20 30 40 45 46 และ 50 วินาที แสดงในภาพที่ 2 จากรูปจะเห็นภาพรถคันที่สองทั้งในช่วงที่ตามหลังรถคันที่หนึ่งและช่วงที่ไล่ตามทันรถคันที่หนึ่ง จากภาพการจำลองนี้ทำให้นักศึกษาได้เห็นการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคัน และประมาณหาค่าเวลาที่รถไล่ทันกันได้

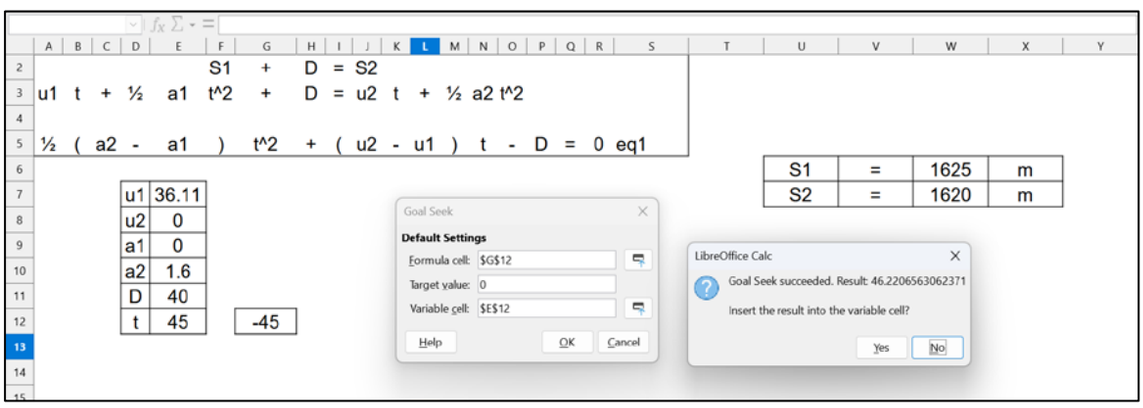
ในแผ่นงานที่สองจะเป็นการคำนวณหาระยะเวลาที่รถคันที่สองไล่ตามรถคันที่หนึ่งทัน ในแผ่นงานที่สองมีการแสดงขั้นตอนการคำนวณด้วย โดยขั้นตอนการคำนวณที่แสดงในแผนงานที่สองนี้จะเริ่มจากการตั้งสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยความจริงที่ว่าหากกำหนดให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นของรถคันที่สอง ระยะทางที่รถคันที่สองต้องวิ่งเพื่อให้ไล่ทันรถคันที่หนึ่งนั้นจะมีค่าเท่ากับระยะทางที่รถคันที่หนึ่งต้องวิ่งรวมกับระยะห่างเริ่มต้นระหว่างรถทั้งสองคัน เนื่องจากเวลาเริ่มต้นคือเวลาที่รถคันที่สองเริ่มวิ่งจากจุดเริ่มต้นและรถคันที่หนึ่งเริ่มวิ่งจากระยะห่างสี่สิบเมตร ดังนั้นเวลาที่รถแต่ละคันต้องใช้ในการเคลื่อนที่ให้ทันกันจึงเท่ากัน จากนั้นเมื่อแทนค่าระยะการกระจัดของรถทั้งสองคันโดยใช้สูตรการเคลื่อนที่ในแนวตรงแล้วจัดรูป จะได้สมการที่ 3 เมื่อพิจารณาสมการนี้จะพบว่าหากแทนค่าความเร็วต้นของรถทั้งสองคันและความเร่งของรถทั้งสองคันลงไปก็จะเหลือตัวแปรเพียงหนึ่งตัวก็คือเวลา ดังนั้นเวลาที่รถทั้งสองคันเคลื่อนที่มาทันกันจึงเป็นเวลาที่ทำให้สมการนี้เป็นจริงหรือก็คือเวลาที่เมื่อแทนค่าลงไปในสมการที่ 3 แล้วจะทำให้สมการนี้มีค่าเป็นศูนย์ ในแผ่นงานที่สองนี้จะแก้สมการในลักษณะนี้โดยการใช้คำสั่ง GOAL SEEK โดยคำสั่งนี้ทำงานโดยรับค่าเริ่มต้นจากผู้ใช้และปรับค่าไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสมการที่ 3 มีค่าเป็นศูนย์หรือมีค่าใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด ตัวแปรที่ทำให้สมการมีค่าเป็นศูนย์หรือมีค่าใกล้เคียงศูนย์มากที่สุดก็คือคำตอบของสมการ ค่าเริ่มต้น

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ที่ต้องใส่ไปในเซลล์ E12 คือค่าที่ประมาณจากการจำลองเหตุการณ์ในแผ่นงานที่หนึ่ง จากแผนงานที่หนึ่ง ณ เวลา 45 วินาที รถทั้งสองคันอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสมควรใช้ค่าเวลาเริ่มต้นเป็น 45 วินาที เมื่อใช้คำสั่ง GOAL SEEK จะได้เวลาที่ทันกันเท่ากับ 46.2205653062371 วินาที (แสดงในเซลล์ E12 ด้วยค่า 46.22 เนื่องจากกำหนดให้แสดงเพียงทศนิยมสองตำแหน่ง) โปรแกรมจะถามผู้ใช้ว่ายอมรับค่านี้หรือไม่ หากยอมรับให้กด Yes ดังภาพที่ 5 จากนั้นค่าในช่อง E12 จะเปลี่ยนจากค่าเริ่มต้นที่ใส่เข้าไป (คือ 45) เป็นค่าที่โปรแกรมคำนวณให้ (คือ 46.2206563062371) เซลล์ G12 จะมีค่าเป็น 4E-10 (หรือ 4×10^{-10}) ซึ่งคำนวณมาจากการแทนค่าเวลาที่โปรแกรมคำนวณให้ลงไปในสมการที่ 3 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับศูนย์มาก แสดงว่าคำตอบที่โปรแกรมประมาณค่าให้สามารถยอมรับได้ เมื่อได้ค่าเวลาที่รถทั้งสองวิ่งทันกันแล้วสามารถนำค่าเวลานี้ไปแทนค่าในสูตรการเคลื่อนที่แนวตรงของรถแต่ละคัน เพื่อคำนวณหาการกระจัดที่รถทั้งสองคันต้องวิ่งเพื่อที่จะทันกันได้ในช่อง W6 และ W7



ภาพที่ 4 การกำหนดค่าในการใช้คำสั่ง GOAL SEEK



ภาพที่ 5 ผลการใช้คำสั่ง GOAL SEEK ในการหาคำตอบ

จากตัวอย่างข้างต้น สามารถหาคำตอบโดยใช้การแก้สมการโดยตรงได้โดยแทนค่าพารามิเตอร์ลงไปในสมการที่ 3 แล้วแก้สมการหาค่า t จะได้

$$\frac{1}{2}(1.6)t^2 - 36.11t - 40 = 0 \tag{4}$$

$$t = \frac{1}{160}\left(3611 \pm \sqrt{14319321}\right) \tag{5}$$

$$t \approx -1.0818, 46.219$$

เลือกค่าบวกให้เป็นคำตอบ ดังนั้น เวลาที่รถทั้งสองวิ่งทันกันจะมีค่าประมาณ 46.219 วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการใช้คำสั่ง GOAL SEEK

ความคลาดเคลื่อนหาได้จาก

$$\%error = \left[\frac{46.2205653062371 - \left(\frac{1}{160}\left(3611 + \sqrt{14319321}\right)\right)}{\left(\frac{1}{160}\left(3611 + \sqrt{14319321}\right)\right)}\right] \times 100\% \approx 0.0029\%$$

จะเห็นว่าคลาดเคลื่อนจากการใช้คำสั่ง GOAL SEEK มีค่าน้อยมาก

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอการใช้โปรแกรมตารางจัดการที่ไม่มีค่าใช้จ่ายเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์การเคลื่อนที่ของปัญหาที่มีวัตถุสองวัตถุเคลื่อนที่ไล่ตามกัน และได้นำเสนอการใช้คำสั่ง GOAL SEEK ในการแก้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาเวลาที่รถคันหนึ่งใช้ในการวิ่งให้ทันรถอีกคันหนึ่ง จากสถานการณ์ตัวอย่างพบว่าคำตอบที่ได้จากการใช้คำสั่ง GOAL SEEK มีความคลาดเคลื่อนจากคำตอบแม่นตรงประมาณ 0.0029% แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือนี้มีความแม่นยำสูง ตารางจัดการนี้สามารถแสดงให้นักศึกษาเห็นภาพสถานการณ์การเคลื่อนที่ของรถทั้งสองคันได้อย่างชัดเจน จึงเป็นการช่วยให้นักศึกษามองภาพปัญหาออก และยังสามารถนำไฟล์แผ่นงานไปศึกษาด้วยตนเองได้ โดยนักศึกษาสามารถปรับค่าเริ่มต้น ได้แก่ ความเร็วต้นของรถแต่ละคันและความเร่งของรถแต่ละคันได้ สำหรับผู้สอนก็สามารถใช้ตารางจัดการนี้ช่วยในการสอนได้ และสามารถใช้ตารางจัดการนี้ในการสร้างแบบฝึกหัดที่หลากหลายเพื่อให้นักศึกษาได้ฝึกแก้โจทย์ปัญหาได้ งานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดได้โดยการนำวิธีการจำลองสถานการณ์ที่ได้เสนอแล้วไปใช้ในปัญหาฟิสิกส์อื่น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี) ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

References

Cooke, B. (1997). Some ideas for using spreadsheets in physics. **Physics Education**, 32(2), 80.

Dory, R. (1988). Spreadsheets for physics. **Computers in Physics**, 2(3), 70-74.

González, M. I. (2018). Lens ray diagrams with a spreadsheet. **Physics Education**, 53(3), 035016.

Grigore, I., Miron, C. and Barna, E. (2016). Didactic tools created with Excel spreadsheets to study motion on an inclined plane. **Romanian Reports in Physics**, 68(1), 440-454.

Guerrero, H. and Guerrero, H. (2019). Solver, Scenarios, and Goal Seek Tools. **Excel Data Analysis: Modeling and Simulation**, 311-346.

Korsun, I., Kryzhanovskyi, S. and Monchuk, M. (2019). The study of thermometers using Microsoft Excel. **Physics Education**, 54(6), 065004.

Oliveira, M. C. and Nápoles, S. (2010). Using a spreadsheet to study the oscillatory movement of a mass-spring system. **Spreadsheets in Education**, 3(3), 1-23.

Pornsuriwong, S. and Sungthong, A. (2020). The results of learning activities using STEM education of motion in physics for grade-11 students (in Thai). Journal of Science and Science Education, 3(1), 30-40.

Robinson, G. and Jovanoski, Z. (2011). The use of Microsoft Excel to illustrate wave motion and Fraunhofer diffraction in first year physics courses. **Spreadsheets in Education**, 4(3), 1-21.

Singh, I. and Kaur, B. (2018). Teaching graphical simulations of Fourier series expansion of some periodic waves using spreadsheets. **Physics Education**, 53(3), 035031.

Singh, I., Khun, K. K. and Kaur, B. (2018a). Simulating Fraunhofer diffraction of waves using Microsoft Excel spreadsheet. **Physics Education**, 53(5), 055010.

Singh, I., Khun, K. K. and Kaur, B. (2018b). Visualizing the trajectory of a charged particle in electric and magnetic fields using an Excel spreadsheet. **Physics Education**, 54(1), 015002.

Uddin, Z., and Zaheer, H.M. (2019). Simulating Physics Experiments in Spreadsheets–Experimenting with Ohm's Law. **The Physics Teacher**, 57(3), 182-183.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul – Dec. 202x): 269 - 279
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.24

Research Article

The development of problem-solving ability on addition and subtraction of Garde-4 students using Polya's problem solving process with Bar model

Manad Suranna[1] Paweena Khansila[2] and Prapaporn Nongharnpituk[2,*]
[1]*Bachelor of Education Program in Mathematics, Kalasin University*
[2]*Department of Mathematics, Faculty of Education and Educational Innovation, Kalasin University*
**Email: prapaporn.no@ksu.ac.th*

Received <17 February 2023>; Revised <24 April 2023>; Accepted <2 May 2023>

Abstract

The purposes of this research were 1) to compare the ability to solve problems on addition and subtraction before and after using Polya's problem solving process with the Bar model, 2) to compare the problem-solving ability after learning implementation with the 70% criterion, and 3) to study the satisfaction level of the students after learning implementation. The sample used in this research consisted of 24 Grade-4 students studying in the first semester of the academic year 2022 at Bankokwittayakhom School, who were selected by purposive sampling. The instruments were lesson plans, problem-solving ability tests, and satisfaction survey form. The statistics used to analyze the data were mean, percentage, standard deviation, and t-test. The findings revealed that the ability to solve mathematical problems after learning was greater than before learning, at a statistical significance level of .05. The ability to solve mathematical problems using the process was higher than the criterion of 70 percent. And the student's satisfaction after learning implementation through Polya's method with Bar model, was mostly in a high level ($\bar{x}$ = 4.50, S.D. = 0.45).

Keywords: Polya's problem solving process, Bar model, Problem-solving ability

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล

มนัด สุรันนา[1] ปวีณา ขันธ์ศิลา[2] และประภาพร หนองหารพิทักษ์[2,*]

[1]หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

[2]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

**Email: prapaporn.no@ksu.ac.th*

รับบทความ: 17 กุมภาพันธ์ 2566 แก้ไขบทความ: 24 เมษายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 2 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา การบวกและการลบ ก่อนและหลังใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล 2) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา หลังใช้กระบวนการดังกล่าว กับเกณฑ์ร้อยละ 70 และ 3) เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนบ้านกอกวิทยาคม จำนวน 24 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบความสามารถการแก้โจทย์ปัญหา และแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและการทดสอบโดยใช้สถิติ t-test ผลการวิจัยพบว่า 1) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กระบวนการสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 3) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.50, S.D. = 0.45)

คำสำคัญ: กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา บาร์โมเดล ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

การศึกษาเป็นกลไกสำคัญของสังคมปัจจุบันในการช่วยพัฒนามนุษย์ให้มีความสมบูรณ์ทั้งร่างกาย อารมณ์ จิตใจ สติปัญญา ความรู้ คุณธรรม จริยธรรมและวัฒนธรรมในการดำรงชีวิต เป็นบุคคลที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่สามารถอยู่ร่วมกับบุคคลอื่นในสังคมได้อย่างสร้างสรรค์ มีความสุขตลอดจนเป็นบุคคลที่มีความสำคัญในการพัฒนาประเทศ ซึ่งสอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 มีลักษณะเป็นหลักสูตรมาตรฐานเป็นตัวกำหนดคุณภาพผู้เรียน ซึ่งสถานศึกษามีบทบาทโดยตรงที่จะต้องจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนมีคุณภาพ และคำนึงถึงความต้องการของชุมชนตลอดจนความสามารถส่วนบุคคลและความสนใจของนักเรียน (The Ministry of Education, 2008) ซึ่งกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้ตระหนักถึงความสำคัญของคณิตศาสตร์ จึงได้กำหนดกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์เป็นการศึกษาเพื่อปวงชนที่เปิดโอกาสให้เยาวชนทุกคนได้เรียนรู้อย่างต่อเนื่องและตลอดชีวิตตามศักยภาพ โดยจัดเนื้อหาที่จำเป็นแก่ผู้เรียนให้สัมพันธ์และเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจ รู้จักคิดอย่างมีเหตุผล รู้จักแสดงความคิดออกมาอย่างมีระบบ ชัดเจนและรัดกุม สามารถนำความรู้ทักษะและกระบวนการเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนการแก้ปัญหาควรมุ่งเน้นกระบวนการคิดให้ผู้เรียนสามารถคิดเป็น แก้ปัญหาได้ตามขั้นตอนของการแก้ปัญหา เน้นการสอนที่ทำให้ผู้เรียนรู้จักคิดและมีทักษะกระบวนการ ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาวิธีคิดและทักษะการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ในชีวิตประจำวันของนักเรียนได้ (The Ministry of Education, 2008)

ผลการรายงานการเรียนการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์พบว่า การเรียนการสอนคณิตศาสตร์ไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากการประเมินผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2564 วิชาคณิตศาสตร์ภาพรวมระดับชาติ มีคะแนนเฉลี่ย 36.83 โรงเรียนบ้านกอกวิทยาคม มีคะแนนเฉลี่ย 35.85 (Bankokwittayakhom School, 2021) ซึ่งจากการสัมภาษณ์ครูประจำรายวิชาคณิตศาสตร์ ทราบว่า การจัดการเรียนการสอนในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ผลการสอบวิชาคณิตศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ และมีปัญหามากที่สุดคือ การแก้โจทย์ปัญหาเรื่อง การบวกและการลบ ซึ่งสาเหตุเนื่องมาจากนักเรียนไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้และไม่สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง

กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล มีความสำคัญในการเสริมสร้างเจตคติที่ดีของนักเรียนในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีจุดประสงค์ในการช่วยเหลือนักเรียนในการแก้ปัญหา และนำการวาดรูปบาร์โมเดลมาช่วยแสดงสถานการณ์ของโจทย์ แล้วสามารถมองเห็นแนวทางการหาคำตอบได้ง่ายขึ้น เนื่องจากในบางครั้งนักเรียนไม่สามารถแก้ปัญหาได้เอง ครูผู้สอนจะคอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำเพื่อให้นักเรียนค้นพบวิธีแก้ไขปัญหา โดยครูตั้งคำถาม ชี้แนะขั้นตอนการแก้ปัญหาเหมือน ๆ กัน ในโจทย์ปัญหาลักษณะต่าง ๆ ถือเป็นกระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์มาก เนื่องจากช่วยให้นักเรียนมีหลักคิดและสามารถแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ

การศึกษางานวิจัยพบว่ากระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนได้ เช่น งานวิจัยของ Ketprakob, Intep and Kaewkhao (2021) ได้ศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับเทคนิคบาร์โมเดลสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ผลวิจัยพบว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเศษส่วนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ งานวิจัยของ Yangyeun and Panawong (2020) ได้พัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับเทคนิคบาร์โมเดล เพื่อส่งเสริมทักษะการแก้โจทย์ปัญหาเรื่อง การบวกและการลบเศษส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเศษส่วนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับเทคนิคบาร์โมเดลอยู่ในระดับมาก งานวิจัยของ Kartphakhin, Chulniam, and Phothisarn (2022) ได้พัฒนาแบบฝึกทักษะการการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ตามแนวคิดของโพลยาและเทคนิคบาร์โมเดล เรื่องการบวก ลบ คูณ และหาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนอยู่ในระดับมาก รวมถึงงานวิจัยของ Thaneepoon and Viriyapong (2020) ซึ่งได้พัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเลขคณิตของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล พบว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

จากปัญหาและเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับเทคนิคบาร์โมเดลมาพัฒนาความสามารถการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ ให้นักเรียนได้คิดวิเคราะห์ปัญหาและดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตัวเอง ซึ่งเป็นการส่งเสริมนักเรียนให้แก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน ทำให้นักเรียนเกิดทักษะในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์

ให้ผู้เรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์สูงขึ้นและเป็นการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ก่อนและหลังใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 หลังใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล กับเกณฑ์ร้อยละ 70
3. เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบแผนการทดลอง

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยใช้แบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลัง (One Group Pre-test Post-test Design) (Saiyod, 1995) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

กลุ่ม	Pre – test	Treatment	Post – test
N	T_1	X	T_2

N แทน กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย
T_1 แทน การทดสอบก่อนการทดลอง (Pre – test)
X แทน กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล
T_2 แทน การทดสอบหลังการทดลอง (Post – test)

2. กลุ่มเป้าหมายของการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 24 คน โดยมาจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

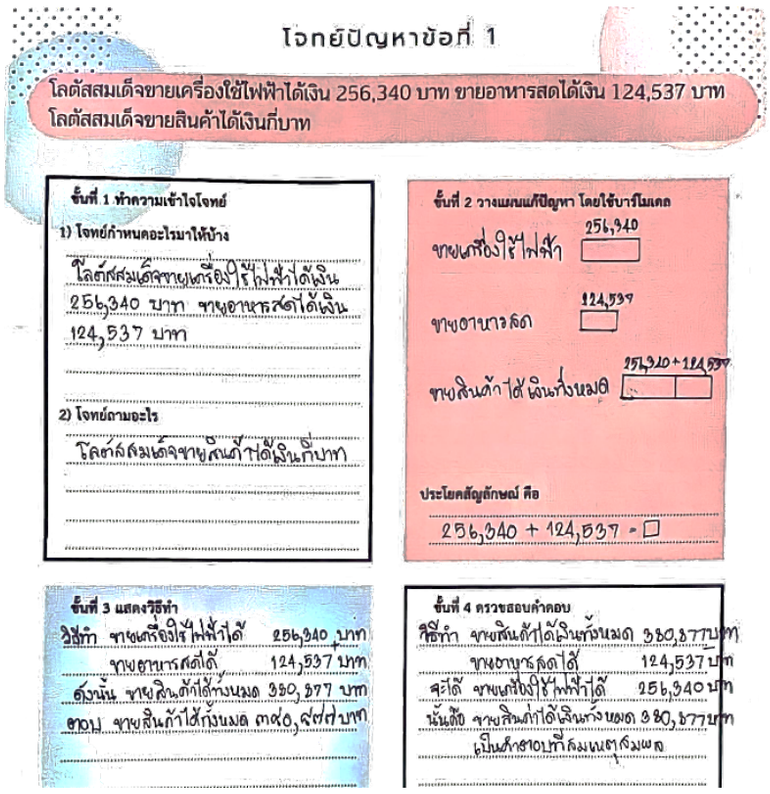
3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล จำนวน 5 แผน ๆ ละ 1 ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดแผนการจัดการเรียนรู้ ดังตารางที่ 2 และในแต่ละแผนจะมีกิจกรรมการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล ด้วยกันทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1 ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.00 เป็นแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีความเที่ยงตรง ทุกข้อ

ตารางที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ

แผนการจัดการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้	เวลา(ชั่วโมง)
1	โจทย์ปัญหาการบวก 1 ขั้นตอน	1
2	โจทย์ปัญหาการบวก 2 ขั้นตอน	1
3	โจทย์ปัญหาการลบ 1 ขั้นตอน	1
4	โจทย์ปัญหาการลบ 2 ขั้นตอน	1
5	โจทย์ปัญหาการบวก การลบ	1
รวม		**5**

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตัวอย่างกิจกรรมการแก้โจทย์ปัญหา การบวกและการลบ



ภาพที่ 1 ตัวอย่างกิจกรรมการแก้โจทย์ปัญหา การบวกและการลบ โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล

3.2 แบบทดสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเรื่อง การบวกและการลบ เป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบเท่ากับ 1.00 ทุกข้อ มีค่าความยากง่ายตั้งแต่ 0.20 – 0.70 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 – 0.80 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.90 โดยแบบทดสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบมีข้อยากง่ายสลับกันไป ตัวอย่างของข้อคำถาม แสดงดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา การบวกและการลบ

3.3 แบบสอบถามวัดความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีองค์ประกอบทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านครูผู้สอน มีข้อคำถาม 3 ข้อ ด้านสถานที่/ระยะเวลา มีข้อคำถาม 2 ข้อ ด้านการให้คำปรึกษา มีข้อคำถาม 2 ข้อ ด้านความรู้/ความเข้าใจ/และนำไปใช้ มีข้อคำถาม 3 ข้อ รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 10 ข้อ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) มีกระบวนการสร้างแบบสอบถาม จากการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ พร้อมทั้งสร้างแบบประเมินแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ เพื่อนำแบบสอบถามเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับพฤติกรรมชี้วัดด้านความพึงพอใจของนักเรียน ทุกข้อมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.00 ถือว่าแบบวัดความพึงพอใจฉบับนี้มีความน่าเชื่อถือสูง

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 ชี้แจงแนวทางการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนทราบก่อนว่าในการเรียนรู้ ผู้สอนจะทำหน้าที่อะไร นักเรียนจะต้องปฏิบัติตนอย่างไร และมีการวัดและการประเมินผลอย่างไร นักเรียนต้องเรียนรู้อะไรบ้าง และผู้วิจัยทดสอบ กลุ่มที่ใช้ในการศึกษาโดยใช้แบบทดสอบความสามารถ (Pre - Test) เรื่องโจทย์ปัญหา การบวกและการลบเป็นแบบทดสอบปรนัย (Multiple Choices) 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน รวม 20 คะแนน

4.2 ผู้วิจัยดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล เรื่อง โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ จำนวน 5 แผน แผนละ 1 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยเป็นผู้สอนเอง และมีตัวอย่างโครงสร้างกิจกรรมการเรียนรู้ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 โครงสร้างกิจกรรมการเรียนรู้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาตามแนวคิดโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล

4.3 เมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ ทั้ง 5 แผนแล้ว ผู้วิจัยทดสอบกลุ่มที่ใช้ในการศึกษาโดยใช้แบบทดสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบ (Post - Test) เป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน รวม 20 คะแนน ใช้เวลาสอบ 1 ชั่วโมงและแจกแบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้

4.4 ตรวจให้คะแนนแบบทดสอบและสรุปผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียน แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติต่อไป

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 นำข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาคณิตศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล ซึ่งการทดสอบทางสถิติ (t-test for Dependent Samples) ด้วยหลักการทางสถิติและแล้วทำการสรุปผลการทดลองวิจัย

5.2 นำข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบหลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ซึ่งการทดสอบทางสถิติ (One Samples t-test) ด้วยหลักการทางสถิติแล้วทำการสรุปผลการทดลองวิจัย

5.3 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ด้วยหลักการทางสถิติแล้วทำการสรุปผลการทดลองวิจัยตามเกณฑ์การแปลความหมาย ดังนี้ (Bhattiyathani, 2012)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

4.51 - 5.00 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด
3.51 - 4.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
2.51 - 3.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
1.51 - 2.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
1.00 – 1.50 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่องการบวกและการลบ โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล และนำไปจัดการเรียนรู้สำหรับกลุ่มเป้าหมาย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน แสดงดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 8.04 และค่าเฉลี่ยหลังเรียนมีค่า 16.08 สามารถสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล

ทำให้ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา การบวกและการลบ โดยค่าเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเท่ากับ 8.04 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนเรียนเท่ากับ 3.99 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหลังเรียนเท่ากับ 1.95 มีค่า t เท่ากับ 15.48 ทำให้ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ตารางที่ 3 ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้

คะแนน	จำนวนนักเรียน	$\bar{x}$	S.D.	df	t - test	p
ก่อนเรียน	24	8.04	3.99	23	15.48*	.000
หลังเรียน	24	16.08	1.95	23		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

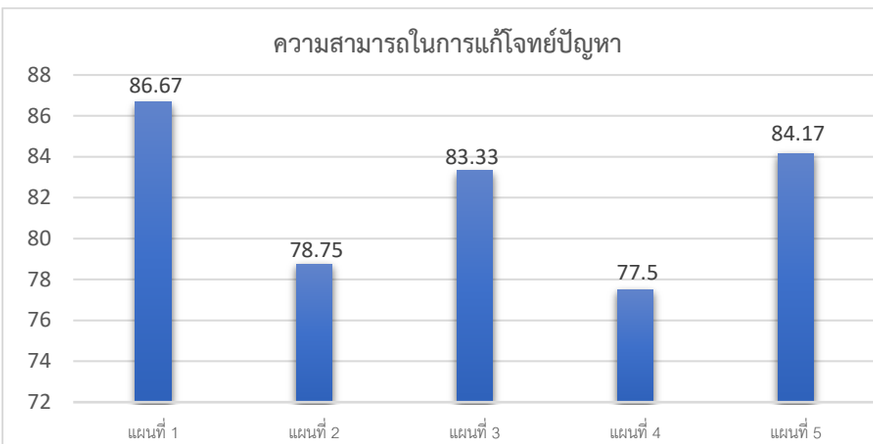
ตารางที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล คือการนำขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา 4 ขั้นตอนประยุกต์กับเทคนิคการวาดรูปบาร์โมเดล 3 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 การทำความเข้าใจปัญหา นักเรียนได้วิเคราะห์สิ่งที่โจทย์ให้มาและสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ ขั้นที่ 2 การวางแผนการแก้ปัญหา นักเรียนเชื่อมโยงข้อมูลสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบกับข้อมูลสิ่งที่โจทย์ให้มา และใช้บาร์โมเดล 3 ขั้นตอน คือ 1. วาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแทนจำนวนที่ต้องการ 2. เขียนอธิบายจำนวนสิ่งที่เกี่ยวข้องไว้บนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 3. วาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแสดงความสัมพันธ์ และเขียนประโยคสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ จากขั้นตอนบาร์โมเดลดังกล่าวนักเรียนจะได้มองเห็นภาพเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นและพิจารณาเห็นถึงขั้นตอนในการหาคำตอบของโจทย์ ขั้นที่ 3 แสดงวิธีทำ เป็นขั้นการลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้เพื่อหาคำตอบ ในขั้นตอนนี้นักเรียนจะเกิดทักษะในการคิดคำนวณ ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ นักเรียนจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบโดยการมองย้อนกลับและทบทวนวิธีการหาคำตอบ เป็นการตรวจสอบคำตอบที่ได้มานั้นว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลนั้นมีขั้นตอนที่ชัดเจน ซึ่งจะช่วยทำให้นักเรียนมีการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน เป็นระบบ อีกทั้งยังสามารถมองโจทย์ให้เป็นภาพมากขึ้น ดังภาพที่ 1 และยังค้นพบรูปแบบหรือวิธีการแก้ปัญหาด้วยตนเองได้อีกด้วย ผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karuhapan and Khamrat (2022) ได้จัดการเรียนรู้ตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาร่วมกับเทคนิคการวาดรูปบาร์โมเดลที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาและเจตคติต่อการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า การทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.46 และ 39.97 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลคะแนน พบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวฝึกให้นักเรียนใช้เหตุผลมีขั้นตอนในการแก้ปัญหาและเป็นระบบจึงส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในแก้ปัญหาสูงขึ้นกว่าเดิม เช่นเดียวกันกับ Yangyeun and Panawong (2020) ได้พัฒนาการจัดการเรียนโดยใช้กระบวนการโพลยาร่วมกับเทคนิคบาร์โมเดล เพื่อส่งเสริมทักษะการแก้โจทย์ปัญหาเรื่อง การบวกและการลบเศษส่วน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่า กระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนชัดเจนทำให้นักเรียนแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบฝึกให้นักเรียนมีวิธีการที่ดีในการแก้ปัญหามากกว่าที่จะสอนให้รู้คำตอบและยังส่งเสริมให้นักเรียนค้นพบวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยตัวเอง

2) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ หลังใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล กับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่าคะแนนระหว่างเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.47 จากคะแนนเต็ม 50 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 82.08 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

ตารางที่ 4 ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาคณิตศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้ กับเกณฑ์ร้อยละ 70

คะแนน	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้		S.D.
			$\bar{x}$	ร้อยละ	
หลังเรียน	24	50	41.47	82.08	4.80

ตารางที่ 4 พบว่า หลังใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล คะแนนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว ทำให้นักเรียนได้คิดวิเคราะห์ปัญหาและดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตัวเอง ซึ่งเป็นการส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนให้คิดแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน ทำให้นักเรียนเกิดทักษะในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลการจัดการเรียนรู้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ketprakob, Intep and Kaewkhao (2021) พบว่า ได้ศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ เรื่อง การบวกการลบโดยใช้กระบวนการตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับเทคนิคบาร์โมเดล สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 การศึกษาพบว่า ค่ามัธยฐานของคะแนนเท่ากับ 38.00 คะแนน ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 (30 คะแนน) เนื่องจากกระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาช่วยฝึกกระบวนการคิดของนักเรียนให้เป็นระบบแบบแผน และใช้เทคนิคบาร์โมเดลมาช่วยให้นักเรียนมองปัญหาออกมาเป็นรูปภาพ เช่นเดียวกันกับ Thaneepoon and Viriyapong (2020) ได้พัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเลขคณิตของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล พบว่า การจัดการเรียนรู้ดังกล่าวเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ มีกิจกรรมการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้อย่างมีระบบขั้นตอนและพัฒนาให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง



ภาพที่ 4 ความสามารถในการโจทย์ปัญหาของนักเรียน

ภาพที่ 4 พบว่า คะแนนในแต่ละแผนเต็ม 10 คะแนน นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องโจทย์ปัญหา 1 ขั้นตอนมากที่สุด มีร้อยละเท่ากับ 86.67 เนื่องจากมีเนื้อหาที่ไม่ซับซ้อนและนักเรียนมีความเคยชินในการหาคำตอบการบวก 1 ขั้นตอนอยู่ก่อนแล้ว จึงทำให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ ลำดับที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่องโจทย์ปัญหาการบวกและการลบ ซึ่งเป็นแผนลำดับสุดท้ายนักเรียนได้เรียนรู้โจทย์ปัญหาการบวกและการลบแล้วจึงทำให้นักเรียนมีความเข้าใจและสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ และลำดับที่ 3 เรื่องโจทย์ปัญหาการลบ 1 ขั้นตอน เนื่องจากมีเนื้อหาที่ไม่ซับซ้อนและมีความสามารถในการหาคำตอบการลบ 1 ขั้นตอนอยู่ก่อนแล้ว จึงสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่องโจทย์ปัญหาการลบ 2 ขั้นตอน มีคะแนนต่ำสุด เนื่องจากนักเรียนไม่เคยชินในการหาคำตอบ การลบ 2 ขั้นตอน ทำให้นักเรียนหลายคนหาคำตอบผิด

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

3) การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.50, S.D.=0.45) ซึ่งทำการประเมินความคิดเห็นหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 4 ด้าน ซึ่งแปลความความหมายได้ว่านักเรียนมีความพึงพอใจมาก และภาพรวมรายด้านพบว่า ด้านผู้สอน มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ด้านสถานที่/ระยะเวลา มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.69 ด้านการให้คำปรึกษา 4.54 และด้านความรู้/ความเข้าใจ/และนำไปใช้ 4.36 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ประเด็นความคิดเห็น	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านครูผู้สอน			
1. การเตรียมตัวและความพร้อมของครูผู้สอน	4.43	0.48	มากที่สุด
2. ผู้สอนอธิบายเนื้อหาโดยใช้กระบวนการของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลได้ชัดเจนและตรงหัวข้อที่สอน	4.33	0.47	มาก
3. ผู้สอนใช้ภาษาที่สุภาพและเข้าใจง่าย	4.42	0.49	มาก
รวม	4.46	0.48	มาก
ด้านสถานที่/ระยะเวลา			
4. ห้องเรียนสะอาดและมีความเหมาะสม	4.54	0.50	มากที่สุด
5. เวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้กระบวนการของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลมีความเหมาะสม	4.83	0.37	มากที่สุด
รวม	4.69	0.44	มากที่สุด
ด้านการให้คำปรึกษา			
6. การอำนวยความสะดวกให้กับนักเรียน	4.83	0.37	มากที่สุด
7. ผู้สอนให้คำแนะนำหรือตอบข้อซักถามแก่ผู้เรียน	4.25	0.43	มากที่สุด
รวม	4.54	0.40	มากที่สุด
ด้านความรู้/ความเข้าใจ/และนำไปใช้			
8. นักเรียนสามารถหาแนวทางแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบได้จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล	4.46	0.50	มาก
9. นักเรียนได้เห็นความก้าวหน้าของตนเองจากการจัดการเรียนโดยใช้กระบวนการของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล	4.21	0.41	มาก
10. นักเรียนสามารถนำความรู้กระบวนการของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.42	0.49	มาก
รวม	4.36	0.47	มาก
รวมเฉลี่ย	**4.50**	**0.45**	**มาก**

ตารางที่ 5 พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนสูงสุด คือ ด้านสถานที่/ระยะเวลา มีความพึงพอใจมากที่สุด เนื่องจากนักเรียนมีสภาพแวดล้อมและเวลาในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสม เนื่องจากกระบวนการโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลในการแก้โจทย์ปัญหามีขั้นตอนในการแก้โจทย์และตรวจคำตอบร่วมถึงการใช้บาร์โมเดล ที่ให้นักเรียนวาดรูปภาพแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นสัญลักษณ์แทนข้อมูลที่เราวิเคราะห์และตีความหมายจากโจทย์ปัญหา ทำให้ใช้เวลาในการเข้าใจได้เร็วขึ้น และความพึงพอใจของนักเรียนต่ำสุด คือ ด้านความรู้/ความเข้าใจ/และนำไปใช้ มีความพึงพอใจมาก เนื่องจากนักเรียนบางส่วนยังสับสนกับกระบวนการขั้นตอน และการเชื่อมโยงข้อมูลสิ่งที่โจทย์ถามกับข้อมูลหรือสิ่งที่โจทย์กำหนด ทำให้เห็นความสำคัญในการนำความรู้ที่ได้ไปใช้น้อย ครูจึงต้องคอยอธิบายเพิ่มเติมและคอยดูแลนักเรียนระหว่างการจัดการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lapawae (2016) พบว่า ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาร่วมกับเทคนิคการวาดรูปบาร์โมเดลสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 เนื่องจากเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ฝึกกระบวนการคิดแก้ปัญหา นักเรียนเกิดความสนุกสนานในการเรียนและนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่นเดียวกันกับ Kartphakhin, Chulniam and Phothisarn (2022) ได้พัฒนาแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ตามแนวคิดของ

โพลยาและเทคนิคบาร์โมเดล เรื่อง การบวก ลบ คูณ และหาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้โดยการฝึกให้นักเรียนหาความรู้อย่างเป็นขั้นตอนและทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการแก้โจทย์ปัญหา เช่นเดียวกันกับ Siriphat, Nongharnpituk and Khansila (2019) ได้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง การประยุกต์ของสมการเชิงเส้นตัวแปลเดียวของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้รูปแบบการแก้โจทย์ปัญหาตามแนวคิดของโพลยา พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก เนื่องจากนักเรียนได้ความรู้และทักษะในการแก้โจทย์ปัญหาด้วยตัวเองและมีทักษะการสื่อสารทางคณิตศาสตร์มากขึ้น เช่นเดียวกันกับ Kanachan *et al*. (2020) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การประยุกต์ของอนุพันธ์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการใช้โปรแกรม GeoGebra ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนที่ชัดเจน ยืดหยุ่นได้ ทำให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยตนเองอย่างสนุกสนาน กล้าแสดงความคิดเห็น หาเหตุผลและตัดสินใจในการแก้ปัญหาได้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล ที่มีต่อความสามารถความในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่องการบวกและการลบ สรุปผลได้ดังนี้

1. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล ($\bar{x}$ = 16.08, S.D. = 1.95) สูงกว่าก่อนเรียน ($\bar{x}$ = 8.04, S.D. = 3.99) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p = .00 < .05) ซึ่งค่าเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนอยู่ที่ 8.04 คิดเป็นร้อยละ 16.08

2. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนหลังใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล คิดเป็นร้อยละ 82.08 สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

3. ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล เรื่อง การบวกและการลบ โดยภาพรวมมีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.50, S.D. = 0.45)

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

1.1 การทำแบบฝึกหัดผู้สอนควรให้เวลาในการทำพอสมควรและเพิ่มแบบฝึกหัดระดับง่ายสำหรับนักเรียนที่อ่อนเพราะจะทำให้นักเรียนมีกำลังใจในการเรียน และอยากมีส่วนร่วมในกิจกรรมกลุ่มมากยิ่งขึ้น

1.2 ในระหว่างจัดกิจกรรม ผู้สอนควรใช้เทคนิคการเสริมแรง เช่น การให้รางวัล หรือคำชมเชย เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนความกระตือรือร้น มีแรงจูงใจ และเกิดความภูมิใจในตัวเอง

1.3 ในการจัดการเรียนรู้ค่อนข้างจะใช้เวลานานเนื่องจากนักเรียนยังไม่คุ้นชินกับกระบวนการ ในช่วงแรกอาจจะใช้เวลาพอสมควร ครูผู้สอนควรฝึกให้นักเรียนได้ใช้เทคนิคบาร์โมเดลให้คุ้นชินก่อน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดลให้ละเอียด ทำความเข้าใจในการดำเนินจัดการเรียนรู้แต่ละขั้นตอน เพื่อให้เกิดแนวคิดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

2.2 ควรศึกษาความคงทนในการเรียนรู้ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล

2.3 ควรศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาร่วมกับบาร์โมเดล กับหัวข้ออื่นและ เปรียบเทียบกระบวนการกับนวัตกรรมการสอนอื่น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข และติดตามการวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ขอขอบคุณผู้บริหารสถานศึกษาและคณะครูโรงเรียนบ้านกอกวิทยาคม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อนุญาตให้ดำเนินการทำวิจัย และขอขอบใจนักเรียนที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี ทำให้วิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

References

Bankokwittayakhom School. (2021). **Ordinary Educational test of Grade 6 students for Bankokwittayakhom School in 2021 academic year** (in Thai). Kalasin: Bankokwittayakhom School.

Bhattiyathani, S. (2012)**. Educational Research Techniques** (in Thai). Kalasin: Prasankarnpim.

Kanachan, J., Kaewkhamson, K., Nongharnpituk, P. and Khansila, P. (2020). A study of learning achievement in the applications of derivative topic for Grade-12 students taught by incorporating GeoGebra program into mathematics problem-solving based on Polya's method (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(1), 73-83.

Kartphakhin, N., Chulniam, N. and Phothisarn, P. (2022). A development of mathematics skill drills on situation problems in the line of Polya and bar model on topic 'positive minus multiply and divide' for Prathomsuksa 4 students (in Thai). **MBU Education Journal, Faculty of Education Mahamakut Buddhist University**, 10(2), 110–123.

Karuhapan, L. and Khamra, N. (2022). The Effect of Learning Management According to Polya's Problem Solving Process with Bar Model Techniques Towards Problem Solving Ability and Attitudes Towards Mathematics Learning of Matthayomsuksa 2 Students (in Thai). **Social Sciences Research and Academic Journal**, 17(2), 213–226.

Ketprakob, D., Intep, S. and Kaewkhao, A. (2021). The Study of problem solving ability on addition and subtraction using polya's problem solving concept with bar model technique for Prathomsuksa 4 students (in Thai). **Journal of Graduate School Sakon Nakhon Rajabhat University**, 18(83), 63–71.

Lapawae, N. (2016). Organizing Learning Activity for Problem Solving Development by Polyas' Problem Solving Processes Co-operate with Bar Model for Second Grade Students (in Thai). **Kasalongkham Research Journal Chiang Rai Rajabhat University**, 10(2), 55–64.

Saiyod, L. and Saiyod, A. (1995). **Techniques in Educational Research** (in Thai). Bangkok: Suweeriyasarn.

Siriphat, P., Nongharnpituk, P. and Khansila, P. (2019). The development of mathematics problem solving abilities on the application of linear equations with one variable of Grade-8 students using emphasized on Polya's problem solving methods (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 2(1), 23–33.

Thaneepoon, C. and Viriyapong, N. (2020). Development of the arithmetic problem solving abilities of Prathomsuksa 3 students using Polya's problem solving process with bar model (in Thai). **Journal Of Humanities and Social Sciences Surin Rajabhat University**, 22(1), 93–106.

The Ministry of Education. (2008). **The Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)** (in Thai). Bangkok: Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology.

Yangyeun, N. and Panawong, C. (2020). A development of learning activities by Polya's processes co-operate with bar model to promote problem solving skills of addition and subtraction of fractions for Prathomsuksa 4 students (in Thai). **Journal of Education Research**, 15(2), 67–79.

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 280 - 292
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.25

Research Article

Effect of cooperative learning using learning together technique with technology media in teaching mathematics on percentage and ratio on mathematical problem-solving ability and mathematics learning achievement of Grade-6 students

Wananda Prabpai[1,*] Nongluk Viriyapong[2] and Monchaya Chiangpradit[2]
[1]*Mathematical Education Program, Faculty of Science, Mahasarakham University*
[2]*Faculty of Science, Mahasarakham University*
**Email: 64010285003@msu.ac.th*

Received <6 April 2023>; Revised <22 May 2023>; Accepted <29 May 2023>

Abstract

The purposes of this study were: (1) to develop lesson for cooperative learning activities in mathematics using LT technique and technology media to meet the efficiency criterion of 70/70; (2) to find the Effectiveness Index of learning through cooperative learning activities in mathematics using LT technique and technology media; (3) to compare the mathematical achievement and problem-solving ability of students who after learning through cooperative learning activities in mathematics using LT technique and technology media to 70 percent of criteria. The participants in this study were sixteen students who studied in Grade-6 at Bankhunhan School in the second semester. However, they were selected by using the cluster random sampling. The research instruments were (1) mathematics learning activities cooperative learning using LT technique with technology media plan (2) the learning achievement test (3) the mathematical problem-solving ability test. The statistics for data analysis are percentage, mean, and standard deviation. Moreover, to examine the hypothesis by using a Hotelling's T^2. The results of the study were as follows: (1) The lesson plans for organization of mathematics learning activities of cooperative learning using LT technique with technology media was 77.28/72.81, respectively. (2) The effectiveness index of plans for organization of mathematics learning of cooperative learning using LT technique with technology media was 0.5953, indicating that the students' scores increased by 59.53 percent, respectively. (3) Mathematical achievement of students who studied cooperative learning using LT technique with technology accounted not over 70 percent criteria at .05 level of significance and mathematical problem-solving ability of students at over 70 percent criteria at .05 level of significance.

Keywords: Cooperative learning, Learning together technique, Technology media in teaching mathematics, Learning achievement, Mathematical problem-solving ability

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

วนันท์ดา ปราบภัย[1,*] นงลักษณ์ วิริยะพงษ์[2] และมนชยา เจียงประดิษฐ์[2]

[1]สาขาวิชาคณิตศาสตรศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

**Email: 64010285003@msu.ac.th*

รับบทความ: 6 เมษายน 2566 แก้ไขบทความ: 22 พฤษภาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย (1) เพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70 (2) เพื่อหาดัชนีประสิทธิผลของการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี (3) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีกับเกณฑ์ร้อยละ 70 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านขุนหาญ อำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 16 คน ที่ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ (1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี (2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ (3) แบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐาน โดยใช้ Hotelling's T^2 ผลการวิจัยพบว่า (1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ตามเกณฑ์ 77.28/72.81 (2) ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีเท่ากับ 0.5953 แสดงว่า นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 59.53 (3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีไม่สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค LT การใช้สื่อเทคโนโลยีการสอนคณิตศาสตร์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

บทนำ

คณิตศาสตร์มีความสำคัญต่อการพัฒนาความคิดของมนุษย์เป็นอย่างมาก ช่วยให้มนุษย์สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้ และสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และศาสตร์อื่น ๆ การศึกษาคณิตศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทันสมัยและสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคม และความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Ministry of Education, 2017)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่ผ่านมายังประสบปัญหาหลายด้าน เช่น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา จะเห็นได้จากคะแนนผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O–NET) ในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2563 และ ปีการศึกษา 2564 โรงเรียนกลุ่มน้ำตกห้วยจันทน์ มีคะแนนเฉลี่ยในรายวิชาคณิตศาสตร์ 31.16 และ 39.49 คะแนน ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน โดยคะแนนไม่ถึงร้อยละ 50 และค่าสถิติระดับโรงเรียนแยกตามมาตรฐานการเรียนรู้ มาตราฐาน ค 1.1 ได้คะแนนค่อนข้างต่ำกว่ามาตรฐานการเรียนรู้อื่น ๆ (National Institute of Educational Testing Service, 2020-2021) โดยมาตรฐาน ค 1.1 เกี่ยวข้องกับการเรียนเรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 และจากผลการประเมินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในปีการศึกษา 2563 และ ปีการศึกษา 2564 มีค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ค่อนข้างต่ำกว่าเกือบทุกกลุ่มสาระการเรียนรู้

จากการศึกษาปัญหาดังกล่าว พบว่าผู้เรียนโดยส่วนใหญ่ไม่สามารถทำแบบทดสอบที่เป็นโจทย์ปัญหาได้ โดยเฉพาะโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการประยุกต์เกี่ยวกับร้อยละและอัตราส่วน เนื่องจากเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์มีความยากต้องอาศัย การฝึกฝนเป็นอย่างมาก ทำให้นักเรียนเกิดความท้อถอย ขาดความสนใจ และไม่อยากเรียน ทั้งที่เป็นวิชาที่มีความจำเป็นทั้งในการดำรงชีวิต ส่งผลให้ผู้เรียนขาดทักษะในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ แนวทางการแก้ไขปัญหาจำเป็นต้องหาวิธีในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ การที่ครูผู้สอนมีความรู้เกี่ยวกับวิธีสอนแบบต่าง ๆ จะทำให้ครูสามารถจัดเนื้อหาสาระกิจกรรมให้สอดคล้องกับความสนใจ และความถนัดของนักเรียน และวิธีสอนใดก็ตามที่จะทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นอยากจะเรียน นับว่าเป็นวิธีการสอนที่ดี การเลือกใช้วิธีสอนวิธีใดวิธีหนึ่งนั้นขึ้นอยู่กับเนื้อหา ตัวนักเรียนและครูผู้สอน ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนเนื้อหาของบทเรียนแต่ละบท อาจจะใช้วิธีสอนที่แตกต่างกันหรือวิธีสอนหลาย ๆ วิธีผสมกัน

ในปัจจุบันการจัดการเรียนรู้มีหลากหลายวิธีที่ครูสามารถนำมาใช้ให้สอดคล้องเหมาะสมกับวัยและเนื้อหาสาระ ผู้วิจัยจึงได้เลือกการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิค LT เป็นการเรียนแบบร่วมมือกัน โดยจัดนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละประมาณ 4 คน ที่คละความสามารถทางการเรียนของนักเรียน โดยให้เรียงคะแนนจากคนที่มีคะแนนสูงสุดไปหาต่ำสุดตามลำดับ การแบ่งกลุ่มแบบนี้จะเห็นได้ว่าทุกกลุ่มจะมีผู้เรียนคละ เก่ง ปานกลาง อ่อน เหมือนกัน (Sunthornroj, 2006) เพื่อให้นักเรียนที่มีความสามารถเก่งได้ช่วยเหลือเพื่อนในกลุ่มให้บรรลุวัตถุประสงค์ไปด้วยกัน การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT จะช่วยให้นักเรียนมีความรับผิดชอบต่อตนเองและกลุ่ม มีความเอื้อเฟื้อต่อผู้อื่น เข้าใจและยอมรับในความสามารถที่แตกต่างกันของบุคคล สามารถปรับตัวเข้ากับผู้อื่นและทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดความสนุกสนานกับการเรียนรู้ และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaluyrat (2020) พบว่า นักเรียนที่เรียนโดยผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่องสมการ สูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง การสอนที่มีประสิทธิภาพนอกจากการเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสม การเลือกใช้สื่อการเรียนรู้ก็สำคัญเช่นกัน การเรียนรู้ตามความชอบและความสนใจ ซึ่งในผู้สอนคณิตศาสตร์ควรนำเทคโนโลยีมาบูรณาการในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียน ในการใช้งานแอปพลิเคชันผู้เรียนจะได้ปฏิบัติจริงทำให้เกิดการคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์และแก้ปัญหาเอง โดยสามารถใช้ได้ทั้งคอมพิวเตอร์แบบพกพา แทบเล็ตและสมาร์ทโฟน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นคว้าหาข้อมูลและกระตุ้นความสนใจให้ผู้เรียนเกิดทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลาและสามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลอย่างรวดเร็ว ทำให้ผู้เรียนเกิดการสร้างความรู้ด้วยตนเอง พัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง เรียนรู้ในการทำงานร่วมกับผู้อื่น เพื่อหาวิธีการในการแก้ปัญหาและพบกับสิ่งท้าทายในชีวิตประจำวัน ที่สำคัญคือ การให้ผู้เรียนเรียนอย่างสนุก มีความสุขกับการเรียน โดยครูผู้สอนเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการออกแบบกิจกรรมและอำนวยความสะดวกการเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพของตนเองในด้านความรู้ ด้านการสอน ด้านบูรณาการเทคโนโลยี การเป็นนวัตกร การสร้างเครือข่ายทางวิชาชีพ และการยึดมั่นในอาชีพและจรรยาบรรณแห่งวิชาชีพครู เพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนมีทักษะการแก้ปัญหา และมีการร่วมมือทำกิจกรรมร่วมกันที่เอื้อต่อการเรียนรู้ทำให้ผู้เรียนแสดงศักยภาพของตนเองได้เต็มที่ (Phooldee, 2020) ซึ่งแอปพลิเคชันในปัจจุบันทีสร้างเป็นกิจกรรมในกลุ่ม รวมไปถึงการตอบคำตอบและนำเสนอวิดีโอได้อีกด้วย หรือในขั้นของการตรวจสอบคำตอบก็มีแอปพลิเคชันที่ใช้ AI อย่าง QANDA เข้ามาช่วยผู้เรียนตรวจสอบคำตอบและวิเคราะห์หาคำตอบร่วมกันในกลุ่มได้อีกด้วย ซึ่งการเลือกใช้เทคโนโลยีมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในแต่ละขั้นตอนการ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

จัดการเรียนการสอนและจะเป็นตัวช่วยที่สำคัญสำหรับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT เพราะเมื่อผู้เรียนในแต่ละกลุ่มร่วมมือกัน ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน รวมทั้งมีการใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ร่วมกัน เกิดทักษะการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้นได้ เห็นได้จากงานวิจัยของ Kareeboon (2021) พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วน และร้อยละ ของนักเรียนหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 และมีระดับความพึงพอใจในการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับสื่อเทคโนโลยีโดยรวมอยู่ในระดับมาก

ด้วยเหตุนี้ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT จึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะเน้นการเรียนแบบลงมือด้วยตนเองตามความสามารถและการทำงานกลุ่ม ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีในการสอนคณิตศาสตร์ จะเป็นเครื่องมือถ่ายทอดความรู้ กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นในการเรียน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70

2. เพื่อหาดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีกับเกณฑ์ร้อยละ 70

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย แบบแผนที่ใช้ในการวิจัยเป็นการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนหลัง (One Group Pretest-Posttest Design)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มน้ำตกห้วยจันทน์ อำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาศรีสะเกษ เขต 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 23 โรงเรียน 24 ห้องเรียน จัดห้องเรียนแบบคละความสามารถ กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านขุนหาญ อำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาศรีสะเกษ เขต 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 1 ห้องเรียน มี 16 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีรายละเอียด ดังนี้

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 18 แผน แผนละ 1 ชั่วโมง โดยแบ่งออกเป็น 3 เรื่องย่อย ได้แก่ โจทย์ปัญหาเกี่ยวกับร้อยละ จำนวน 12 แผน อัตราส่วนและมาตราส่วน จำนวน 4 แผน และโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับอัตราส่วนและมาตราส่วน จำนวน 2 แผน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.75 อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด โดยมีขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียม หมายถึง ขั้นที่ผู้สอนทบทวนความรู้เดิมโดยใช้กิจกรรมการสอนหรือ Plickers หรือ KaHoot แล้วแบ่งนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 4 คน คละความสามารถ ผู้สอนแนะนำทักษะในการเรียนร่วมกัน บทบาทและหน้าที่ของสมาชิกในแต่ละกลุ่ม แล้วแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้

1.2 ขั้นที่ 2 ขั้นสอน หมายถึง ครูอธิบายกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียน สอนเนื้อหาใหม่ และแนะนำแหล่งข้อมูล มอบหมายภาระงานให้แต่ละกลุ่ม โดยใช้กิจกรรมการสอนหรือ Microsoft PowerPoint หรือ Math App ในการอธิบายเนื้อหาใหม่ ๆ

1.3 ขั้นที่ 3 ขั้นกิจกรรมกลุ่ม หมายถึง ขั้นที่ศึกษาเนื้อหาร่วมกันโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม หรือการค้นคว้าเรื่องที่สนใจผ่าน Internet หรือการใช้ QANDA ในการตรวจสอบและหาคำตอบ เพื่อวิเคราะห์ขั้นตอนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ร่วมกัน ซึ่งกำหนดให้แต่ละคนมีบทบาทหน้าที่ช่วยกลุ่มในการเรียนรู้

1.4 ขั้นที่ 4 ขั้นตรวจสอบและทดสอบ หมายถึง ขั้นที่ครูตรวจผลงานกลุ่มหรือกลุ่มสรุปคำตอบร่วมกันโดยใช้กิจกรรมการสอน จากนั้นให้นักเรียนทำแบบฝึกทักษะเป็นรายบุคคล เพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนแต่ละบุคคล

1.5 ขั้นที่ 5 ขั้นสรุปบทเรียนและประเมินผลการทำงานกลุ่ม หมายถึง ขั้นที่ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปบทเรียน ครูประเมินผลพฤติกรรมการทำงานกลุ่มเป็นรายบุคคล ส่วนผลงานกลุ่มได้คะแนนเท่าไร สมาชิกทุกคนในกลุ่มนั้นจะได้คะแนน

นั้นเท่ากันทุกคน ให้การเสริมแรงแก่กลุ่มที่ได้คะแนนกลุ่มมากที่สุด โดยการให้คำชมเชย และเก็บคะแนนกลุ่มสะสมไว้ เพื่อให้รางวัลตามคะแนนในแต่ละกลุ่มหลังจบการจัดการเรียนรู้

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เป็นแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ รวม 20 คะแนน โดยการสร้างตามระดับที่ Wilson (1971) ได้นิยามไว้ ผ่านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาระการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้มาตรฐานและตัวชี้วัดจากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) และจำนวนข้อสอบ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.80 - 1.00 (ตัวอย่างในตารางที่ 1) มีค่าความยาก ตั้งแต่ 0.25 – 0.63 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.22 – 0.73 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.85

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์	
1. ลูกปิงปองมีทั้งหมด 100 ลูก มีลูกปิงปองสีขาว 42 ลูก ลูกปิงปองสีส้ม 36 ลูก ที่เหลือเป็นลูกปิงปองสีเขียว ลูกปิงปองสีเขียวคิดเป็นร้อยละเท่าใดของลูกปิงปองทั้งหมด ก. ร้อยละ 22 ข. ร้อยละ 36 ค. ร้อยละ 42 ง. ร้อยละ 100	5. ร้านค้าติดราคากระเป๋าไว้ 4,500 บาท แต่ขายให้ลูกค้า 3,960 บาท ร้านค้าลดราคาร้อยละเท่าใด ก. ร้อยละ 88 ข. ร้อยละ 86 ค. ร้อยละ 12 ง. ร้อยละ 10
13. อัตราส่วนของน้ำหนักเป็นกิโลกรัมต่อความสูงเป็นเมตรเป็น 7 : 3 หมายความว่าอย่างไร ก. น้ำหนัก 7 กิโลกรัม มีความสูง 3 กิโลเมตร ข. ความสูง 7 กิโลกรัม มีน้ำหนัก 3 เมตร ค. ความสูง 7 เมตร มีน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ง. น้ำหนัก 7 กิโลกรัม มีความสูง 3 เมตร	18. ถ้าระยะทางจากกรุงเทพฯ ถึงบึงกาฬยาว 750 กิโลเมตร ถ้าเขียนแผนที่โดยใช้มาตราส่วน 1 เซนติเมตร : 500 กิโลเมตร จะได้ระยะทาง จากกรุงเทพฯ ถึง บึงกาฬ ในแผนที่ยาวเท่าใด ก. 1.5 เซนติเมตร ข. 2 เซนติเมตร ค. 2.5 เซนติเมตร ง. 3 เซนติเมตร

3. แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เป็นแบบทดสอบอัตนัย จำนวน 4 ข้อ ประกอบไปด้วย โจทย์ปัญหาเกี่ยวกับร้อยละ 2 ข้อ และโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับอัตราส่วนและมาตราส่วน 2 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.80 - 1.00 (ตัวอย่างในตารางที่ 2) มีค่าความยาก ตั้งแต่ 0.50 – 0.55 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.38 – 0.80 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.73

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	
1. เดือนมกราคม ต้นไม้ที่หยกปลูกไว้สูง 120 เซนติเมตร เดือนสิงหาคมวัดความสูงได้ 168 เซนติเมตร ต้นไม้นี้สูงเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมกี่เปอร์เซ็นต์	3. ภีมม์เปิดกระป๋องออมสิน พบว่ามีเหรียญสิบบาทและเหรียญห้าบาท โดยอัตราส่วนของจำนวนเหรียญสิบบาทต่อจำนวนเหรียญห้าบาท เป็น 6 : 13 ถ้าในกระป๋องออมสินมีเหรียญสิบบาท 66 เหรียญ ภีมม์มีเงินในกระป๋องออมสินทั้งหมดกี่บาท

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

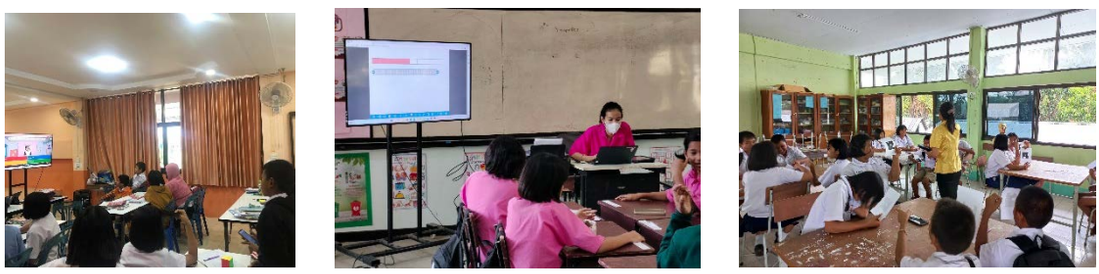
ตารางที่ 3 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

ประเด็นการประเมิน	**เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์**		
	2	1	0
1. ทำความเข้าใจปัญหา	สามารถวิเคราะห์และเขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งโจทย์ถามได้ครบถ้วน	สามารถวิเคราะห์และเขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดให้หรือสิ่งที่โจทย์ถามได้บางส่วน	ไม่มีสามารถวิเคราะห์ปัญหาสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ถามได้
2. การวางแผนแก้ปัญหา	สามารถวางแผน พร้อมเขียนวิธีการคิดแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างสมเหตุสมผล	สามารถวางแผนพร้อมเขียนวิธีการคิดแก้โจทย์ปัญหาได้ถูกต้องเพียงบางส่วน	ไม่สามารถวางแผนวิธีการคิดแก้โจทย์ปัญหาได้
3. ดำเนินการตามแผน	สามารถเขียนแสดงวิธีทำได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนและหาคำตอบได้ถูกต้อง	สามารถเขียนแสดงวิธีทำได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนหรือหาคำตอบได้ถูกต้องเพียงบางส่วน	ไม่เขียนแสดงวิธีทำได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนและหาคำตอบได้ไม่ถูกต้อง
4. การตรวจสอบย้อนกลับ	เขียนแสดงวิธีการตรวจสอบหาคำตอบได้ชัดเจน มีความสมเหตุสมผล สอดคล้องกับคำตอบของโจทย์ปัญหา	เขียนแสดงวิธีการตรวจสอบหาคำตอบได้ แต่ไม่มีความสมเหตุสมสมผลหรือสอดคล้องกับคำตอบของโจทย์ปัญหา	ไม่สามารถเขียนแสดงวิธีการตรวจสอบหาคำตอบได้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ดำเนินการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ แบบปรนัย ใช้เวลา 60 นาที

2. ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ตามแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จำนวน 18 แผน แผนละ 1 ชั่วโมง รวมใช้ระยะเวลา 18 ชั่วโมง



ภาพที่ 1 กิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี

3. ทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน แบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ใช้เวลา 60 นาที และแบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ แบบอัตนัย จำนวน 4 ข้อ ใช้เวลา 60 นาที กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

4. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์การวิจัยต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70

2. การวิเคราะห์หาค่าดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ได้รับและการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สูตร Hotelling's T^2

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยคำนวณค่าร้อยละของคะแนนรวมจากการทำใบงาน ทำแบบฝึกทักษะ และผลการประเมินพฤติกรรมระหว่างเรียน เพื่อหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และคำนวณค่าร้อยละของคะแนนรวมจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เพื่อหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) ผลปรากฏดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน

การทดสอบ	กระบวนการ (E_1)	ผลลัพธ์ (E_2)
ประสิทธิภาพ	77.28	72.81
การแปลผล	สูงกว่าเกณฑ์	สูงกว่าเกณฑ์

จากตารางที่ 4 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ตามเกณฑ์ 77.28/72.81 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 70/70 ที่กำหนดไว้ ซึ่งหมายความว่า นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี มีคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทำใบงาน แบบฝึกทักษะ และผลการประเมินพฤติกรรมระหว่างเรียนหลังจบแต่ละแผนแล้ว คิดเป็นค่าเฉลี่ย 77.28 และคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 72.81 แสดงว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด ทั้งนี้เนื่องจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ผ่านกระบวนการสร้างและตรวจสอบคุณภาพของแผนการเรียนรู้จากคณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้งยังเป็นแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ผู้เรียนต้องเรียนรู้แบบร่วมมือกัน และการทำงานเป็นกลุ่ม โดยผู้สอนนำสื่อเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในบางขั้นตอนที่เหมาะสมกับแผนการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน ทำให้แผนการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaluyrat (2020) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง สมการ ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค LT ซึ่งประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค LT และการจัดการเรียนรู้แบบปกติ วิชาคณิตศาสตร์เรื่องสมการของนักเรียนระดับประกาศวิชาชีพ มีค่าเท่ากับ 84.74/82.40 และ 79.24/76.93 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่กำหนดไว้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prasertsang (2019) ได้ศึกษาการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง สถิติ โดยใช้แอปพลิเคชัน สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง สถิติ โดยใช้แอปพลิเคชัน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่1 ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 78.42/82.22 แสดงว่า แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง สถิติ โดยใช้แอปพลิเคชัน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาค่าดัชนีประสิทธิผลของการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน จำนวน 20 ข้อ เมื่อสอนจบทั้ง 18 แผน แล้วได้ทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยแบบทดสอบคู่ขนาน ซึ่งได้ค่าดัชนีประสิทธิผลปรากฏผล ดังตารางที่ 5

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตารางที่ 5 ค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี

n	คะแนนเต็ม	ผลรวมของคะแนนทดสอบก่อนเรียน	ผลรวมของคะแนนทดสอบหลังเรียน	ดัชนีประสิทธิผล (E.I.)
16	20	105	233	0.5953

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่องร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 0.5953 หมายความว่า หลังการเรียนด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้น 0.5953 แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียน ร้อยละ 59.53 สอดคล้องกับ Phisleum (2016) ที่ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกัน (LT) กับการเรียนรู้แบบปกติ พบว่า ดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกัน (LT) กับแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ มีค่าเท่ากับ 0.6812 และ 0.6176 ตามลำดับ แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนคิดเป็นร้อยละ 68.12 และ 61.76 ตามลำดับ และสอดคล้องกับ Chaluyrat (2020) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง สมการ ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค LT ค่าดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค LT และการจัดการเรียนรู้แบบปกติ วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องสมการของนักเรียนระดับประกาศวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 เท่ากับ 0.66 และ 0.61 ตามลำดับ แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนคิดเป็นร้อยละ 66 และ 61 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกลุ่ม LT ช่วยเสริมสร้างให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์และความสามารถในการคิดวิเคราะห์การแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ เห็นได้จากการพิจารณาค่าดัชนีประสิทธิผล พบว่านักเรียนมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยก่อนเรียนค่อนข้างสูง เนื่องจากวิธีการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี จะช่วยให้นักเรียนรู้จักค้นคว้าหาแนวทางการแก้ปัญหา มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันระหว่างสมาชิกในกลุ่ม อีกทั้งการใช้สื่อเทคโนโลยีจะช่วยทำให้ผู้เรียนมีความสนใจในการเรียนรู้และความเข้าใจได้มากยิ่งขึ้นในการจัดการเรียนการสอน

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่องร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีกับเกณฑ์ร้อยละ 70

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ และแบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ปรากฏดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

รายการ	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	1	.613*
ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	.613*	1

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงนำตัวแปรไปเปรียบเทียบโดยวิธีทางสถิติ Hotelling's T^2

ตารางที่ 7 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยวิธีทางสถิติ Hotelling's T^2

ค่าสถิติทดสอบ	Value	F	Hypothesis df	Error df	p
Hotelling's Trace	3.277	22.941	2	14	.000038

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีกับเกณฑ์ร้อยละ 70 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบ Univariate Tests

ตารางที่ 8 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยวิธีทางสถิติ Univariate Tests

ผลการเรียนรู้	SOV	SS	df	MS	F	p
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	Intercept	5.063	1	5.063	2.718	.120
	Error	27.938	15	1.863		
ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	Intercept	172.923	1	172.923	40.888	.000012
	Error	63.438	15	4.229		

จากตารางที่ 8 พบว่า ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี ไม่สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ เมื่อพิจารณาคะแนนจากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เป็นรายบุคคล พบว่า คะแนนจากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์น้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ร้อยละ 70 อยู่ 9 คน คิดเป็นร้อยละ 56.25 ของนักเรียนทั้งหมด และคะแนนจากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อยู่ 7 คน คิดเป็นร้อยละ 43.75 ของนักเรียนทั้งหมด ซึ่งเมื่อแยกพิจารณาคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนที่มีคะแนนจากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์น้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ร้อยละ 70 ดังนี้

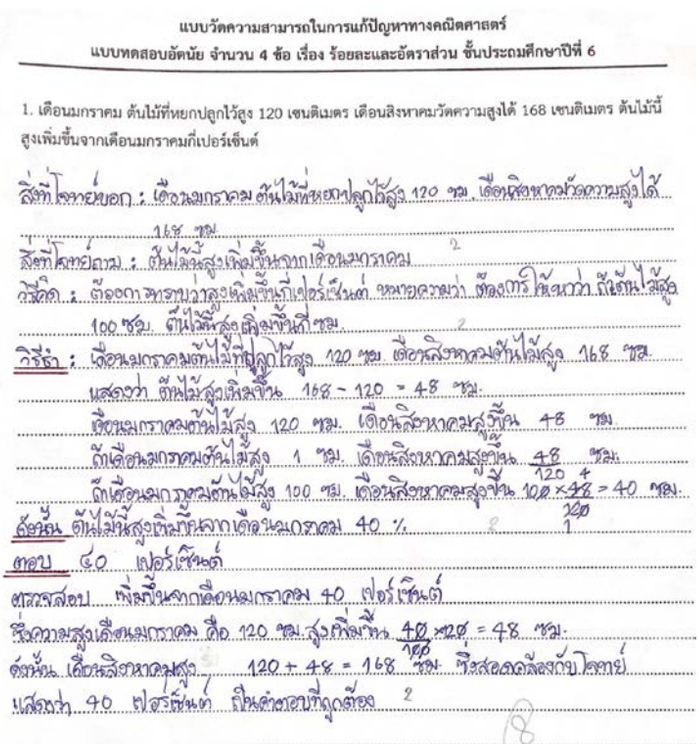
ตารางที่ 9 คะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนที่เท่ากับหรือน้อยกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

ที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
1	4	12
2	6	13
3	5	14
4	5	14
5	6	14
6	6	14
7	7	14
8	7	14
9	7	14

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่า นักเรียนมีคะแนนพัฒนาการที่ดีขึ้นจากก่อนเรียน แต่คะแนนโดยส่วนใหญ่เท่ากับ 14 คะแนนหรือเท่ากับเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์และมีบางส่วนที่คะแนนน้อยกว่า 14 คะแนนหรือน้อยกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 เมื่อพิจารณาคะแนนที่ได้จากแบบวัดผลสัมฤทธิ์แยกตามรายข้อของจุดประสงค์ พบว่า นักเรียนทำแบบทดสอบในจุดประสงค์ที่เกี่ยวกับของการแก้โจทย์ปัญหาร้อยละเกี่ยวกับการซื้อขายทำได้น้อยที่สุด โดยเฉพาะข้อการประยุกต์โจทย์ปัญหาจึงทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนน้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ที่ผู้วิจัยตั้งไว้ อีกทั้งทักษะในการคำนวณของนักเรียนกลุ่มนี้ค่อนข้างช้าซึ่งส่งผลในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Kanchanamayun, 2002) กล่าวไว้ว่า การเรียนรู้ในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในสมองของบุคคล นักเรียนแต่ละคนมีกระบวนการเรียนรู้และสร้างความรู้ความเข้าใจในความคิดรวบยอด หลักการได้แตกต่างกัน บางคนเรียนรู้ได้ดี ถ้าเรียนรู้จากสื่อที่เป็นรูปธรรม บางคนเรียนรู้ได้ดีในลักษณะนามธรรม บางคนเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการเรียนรู้ของแต่ละคนมีกระบวนการและพลังความสามารถของสมองมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน การฝึกการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์นับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ครูผู้สอนต้องเริ่มในลักษณะที่ว่าค่อย ๆ เป็นค่อย ๆ ไปตามความสามารถของนักเรียนแต่ละคน ซึ่งผู้วิจัยจะต้องหาวิธีฝึกฝนและเพิ่มเติมต่อไป

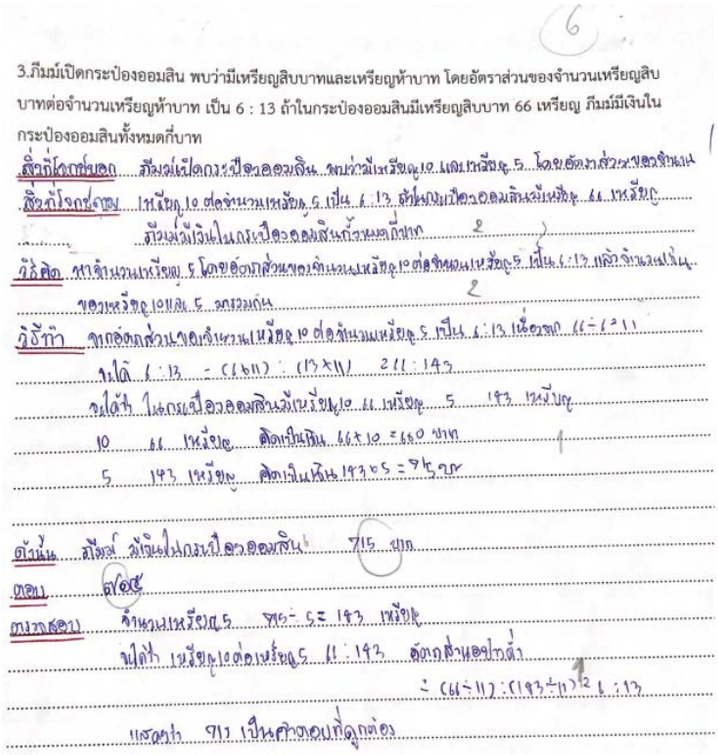
ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.69 คิดเป็นร้อยละ 80.27 สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี ให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และฝึกวิเคราะห์การแก้ปัญหาผ่านสื่อเทคโนโลยีต่าง ๆ หรือแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ร่วมกันในกลุ่มและเห็นภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT จะจัดผู้เรียนเข้ากลุ่มคละความสามารถ (เก่ง – กลาง – อ่อน) กลุ่มละ 4 คน นักเรียนแต่ละคนจะมีบทบาทหน้าที่ต้องรับผิดชอบในกลุ่ม นักเรียนจะสามารถช่วยเหลือกันและกันในกลุ่มให้เกิดความเข้าใจ ซึ่งผู้วิจัยได้นำกระบวนการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนของโพลยา ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการคิด วิเคราะห์ และสังเคราะห์จนนักเรียนสามารถสรุปแนวคิดเพื่อไปใช้ในสถานการณ์การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ในสถานการณ์อื่น ๆ ได้ ยกตัวอย่างเช่น แบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอนของนักเรียน ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3


แบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์
แบบทดสอบอัตนัย จำนวน 4 ข้อ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

1. เดือนมกราคม ต้นไม้ที่หยกปลูกไว้สูง 120 เซนติเมตร เดือนสิงหาคมวัดความสูงได้ 168 เซนติเมตร ต้นไม้นี้สูงเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมกี่เปอร์เซ็นต์

สิ่งที่โจทย์บอก : เดือนมกราคม ต้นไม้ที่หยกปลูกไว้สูง 120 ซม. เดือนสิงหาคมวัดความสูงได้ 168 ซม.
สิ่งที่โจทย์ถาม : ต้นไม้นี้สูงเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม
วิธีคิด : ต้องการทราบว่าสูงเพิ่มขึ้นกี่เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า ต้องการให้หาว่า ถ้าต้นไม้สูง 100 ซม. ต้นไม้นี้สูงเพิ่มขึ้นกี่ ซม.
วิธีทำ : เดือนมกราคมต้นไม้ที่ปลูกไว้สูง 120 ซม. เดือนสิงหาคมต้นไม้สูง 168 ซม.
แสดงว่า ต้นไม้สูงเพิ่มขึ้น 168 − 120 = 48 ซม.
เดือนมกราคมต้นไม้สูง 120 ซม. เดือนสิงหาคมสูงขึ้น 48 ซม.
ถ้าเดือนมกราคมต้นไม้สูง 1 ซม. เดือนสิงหาคมสูงขึ้น $\frac{48}{120}$ ซม.
ถ้าเดือนมกราคมต้นไม้สูง 100 ซม. เดือนสิงหาคมสูงขึ้น $\frac{100 \times 48}{120} = 40$ ซม.
ดังนั้น ต้นไม้นี้สูงเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม 40 %
ตอบ 40 เปอร์เซ็นต์
ตรวจสอบ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม 40 เปอร์เซ็นต์
ซึ่งความสูงเดือนมกราคม คือ 120 ซม. สูงเพิ่มขึ้น $\frac{40}{100} \times 120 = 48$ ซม.
ดังนั้น เดือนสิงหาคมสูง 120 + 48 = 168 ซม. ซึ่งสอดคล้องกับโจทย์
แสดงว่า 40 เปอร์เซ็นต์ คือคำตอบที่ถูกต้อง

ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องสมบูรณ์



ภาพที่ 3 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ผิดพลาด

จากผลการวิจัยดังที่กล่าวมาแล้ว วิธีการสอนของโพลยาสามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากขั้นตอนการทำกิจกรรมแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาเป็นการแก้ปัญหาที่มีรูปแบบมีขั้นตอนที่ชัดเจน ทำให้นักเรียนได้ฝึกคิดแก้ปัญหาเป็นขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจโจทย์ ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา ขั้นที่ 3 ดำเนินการตามแผน และขั้นที่ 4 ตรวจสอบผลลัพธ์ ส่งผลให้ผู้เรียนมีทักษะการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Prachuabsook (2019) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การแก้โจทย์ปัญหาอัตราส่วนและร้อยละ โดยใช้แบบฝึกทักษะขั้นตอนการแก้ปัญหาของโพลยา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนโดยใช้แบบฝึกทักษะ เรื่อง การแก้โจทย์ปัญหาอัตราส่วนและร้อยละ โดยใช้แบบฝึกทักษะขั้นตอนการแก้ปัญหาของโพลยา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 สอดคล้องกับ Thitaya (2019) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาความสามารถการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือ (TAI) ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่าผลการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์โดยใช้ กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือ TAI นักเรียนทุกคนมีคะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ผ่านเกณฑ์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phisleum (2016) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกัน (LT) กับการเรียนรู้แบบปกติ พบว่า นักเรียนที่เรียนโดย การจัดกิจกรรมที่ใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกัน (LT) การคิดวิเคราะห์ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย ผลการวิจัยสามารถสรุป ได้ดังนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ตามเกณฑ์ 77.28/72.81

2. ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 0.5953 แสดงว่า นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 59.53

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีไม่สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยีสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 การจัดการเรียนรู้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT ร่วมกับการใช้สื่อเทคโนโลยี ผู้สอนควรศึกษารายละเอียด ทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอน และออกแบบวิธีการจัดการเรียนการสอนให้ดี เนื่องจากเป็นการเรียนการสอนแบบเป็นกลุ่ม และใช้สื่อเทคโนโลยี ถ้าผู้สอนไม่วางแผนให้ดีอาจทำให้เกิดความล่าช้าได้ และเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการของผู้เรียน เช่น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เป็นต้น ควรมีความพร้อมและเพียงพอในการจัดการเรียนรู้

1.2 การจัดการเรียนรู้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT จะเป็นการจัดการเรียนรู้แบบกลุ่ม ค้นคว้าหาความรู้ และแลกเปลี่ยนกันภายในกลุ่ม โดยผู้เรียนมีบทบาทหน้าที่ตนเองรับผิดชอบ ผู้สอนต้องคอยดูแล แนะนำ และตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนแต่ละคนให้ดี เนื่องจากผู้เรียนอาจเกิดความเข้าใจในเนื้อหาความรู้ที่ไม่ถูกต้องครบถ้วนได้

1.3 ในการใช้สื่อเทคโนโลยีในการจัดการเรียนการสอนนั้น ผู้สอนควรตรวจสอบอุปกรณ์ของผู้เรียนว่ามีครบถ้วนหรือไม่ อธิบายการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ให้ละเอียด ก่อนการจัดการเรียนรู้ เพื่อไม่ให้การเกิดความล่าช้า

2. ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

2.1 ควรมีการปรับปรุงคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ให้มากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากผลสัมฤทธิ์ในการวิจัยครั้งนี้คะแนนส่วนใหญ่เท่ากับเกณฑ์ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เพื่อให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ ควรวิเคราะห์ความแตกต่างของผู้เรียน และหาวิธีการจัดการการสอนให้เหมาะสมกับผู้เรียนแต่ละบุคคล

2.2 ควรศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยศึกษาจำนวนของกลุ่มตัวอย่างที่มากขึ้น และใช้รูปแบบวิจัยอื่น เช่น การทดลองกลุ่มเดียวเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT หรือการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค LT กับกลุ่มปกติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ วิริยะพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนชยา เจียงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริหาร คณะครู และนักเรียนทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Chaluyrat, N. (2020). Development Mathematics Learning Achievement and Mathematical Problem Solving Ability on Equation of the Level 1 Vocational Certificate Students using Cooperative Learning Technique LT (in Thai). **Master's Thesis**. Mahasarakham: Mahasarakham University.

Kanchanamayun, S. (2002). Problem Solving (in Thai). **Journal of Education Mathematics Science and Technology**, 30(11), 50-52.

Kareeboon, S. (2021). A Study of Mathematics Learning Achievement and Satisfaction on Ratio, Proportion, and Percentage of Mathayomsuksa I Students by Using Active Learning Management with Information Technology Media (in Thai). **Journal of Kasetsart Education Review**, 36(3), 176-185.

Ministry of Education. (2017). **Indicators and core learning content Mathematics learning group (2017 revised edition) according to the basic core curriculum of 2008** (in Thai). Bangkok: The Agricultural co-operative federation of Thailand, Ltd Printing.

National Institute of Educational Testing Service. (2020-2021). Basic National Educational Test Report (O-NET) (in Thai). Retrieved 7 June 2022, from **NIETS**: http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/School/ReportSchoolBySchool.aspx?mi=2.

Phisleum, N. (2016). Comparisons of Analytical Thinking, Mathematics Problem-Solving and Mathematics Achievement in Preliminary data analysis of Matthayomsueksa 5 Students with Cooperative LearningTogether (LT) activities and Learning normal (in Thai). **Master's Thesis**. Mahasarakham: Mahasarakham University.

Phooldee, W. (2020). Mathematics instruction in digital age: Methods and tools (in Thai). **Journal of Science & Science Education**, 3(2), 190-199.

Prachuabsook, P. (2019). Development of achievement on ratio and percentage problems through the use of skill exercise based on Polya's problem solving procedures of grade-8 students at Kalasin College of Dramatic Arts (in Thai). **Journal of Science & Science Education**, 2(1), 12-22.

Prasertsang, P. (2019). The Development of Mathematics Learning Management plan on Statistics using Applications for Grade7, MuangMitWitthayakhom School (in Thai). **Master's Thesis**. Roi Et: Roi Et Rajabhat University.

Sunthornroj, W. (2006). **Innovation for learning** (in Thai). Bangkok: Chang-Thong

Thitaya, P. (2019). Development of Mathematics Word Problem Solving Ability Using Poly's Problem-Solving Process and Cooperative Leaning (TAI) for Grade6 Students (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Dhurakij Pundit University.

Wilson, J. W. (1971). **Evaluation of learning in secondary school mathematics**. Handbook on formative and summative evaluation of student learning. USA: MCGraw-Hil.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 293 - 302
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.26

Research Article

Development of learning activities based on creativity-based learning (CBL) to enhance mathematical creativity thinking and learning achievement on 3-dimensional geometric shapes of Grade-6 students

Suteeporn Koonkor[1,*] Nongluk Viriyapong[1] and Monchaya Chiangpradit[1]
[1]Mathematical Education Program, Faculty of science, Mahasarakham University
**Email: 64010285005@msu.ac.th*

Received <1 April 2023>; Revised <24 April 2023>; Accepted <19 May 2023>

Abstract

Creative-based learning is a learning management method that focus on the students is important encourage learners to develop thinking process skills, research, presentation, and group work. The purposes of this study were: (1) to develop plans for organization of mathematics learning activities using creativity-based learning with a require efficiency of 70/70; (2) to find out the effectiveness index of plans for the organization of mathematics learning activities using creativity-based learning; (3) to compare the mathematical achievement of student who study using creativity-based learning with 70 percent criteria; (4) to compare the mathematical creativity of student who study using creativity-based learning with 70 percent criteria. The participants in this study were nineteen students who studied in Grade-6 at Koklamwittayakarn School, Roi Et Province, in the second semester of academic 2022. However, they were selected by using the cluster random sampling technique. The instruments are used in the study were (1) the learning activity plan using creativity-based learning; (2) the mathematical learning achievement test; (3) the mathematical creativity ability test. The statistics are used for analyzing the data. It consists of percentage, mean, and standard deviation. Moreover, to examine the hypothesis by using a t-test for one sample. The results of the study were as follows: (1) The lesson plans for organization of mathematics learning activities were 73.13/77.11, respectively. (2) The effectiveness index of plans for organization of mathematics learning activities using creativity-based learning was 0.6314, or 63.14 percent, respectively. (3) Mathematical achievement of students who studied using creativity-based learning accounted for 77.11 percent at over 70 percent criteria at .05 level of significance. (4) Mathematical creativity of students who studied using creativity-based learning accounted for 73.69 percent at over 70 percent criteria at .05 level of significance.

Keywords: Learning activities based on creativity-based learning, Learning achievement, Mathematical creativity thinking

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

สุธีพร กุลค้อ[1,*] นงลักษณ์ วิริยะพงษ์[1] และมนชยา เจียงประดิษฐ์[1]

[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

**Email: 64010285005@msu.ac.th*

รับบทความ: 1 เมษายน 2566 แก้ไขบทความ: 24 เมษายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 19 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานเป็นวิธีการจัดการเรียนการรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ กระตุ้นให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการคิด การค้นคว้า การนำเสนอ และการทำงานเป็นกลุ่ม การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย (1) เพื่อพัฒนาแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70 (2) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (3) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานกับเกณฑ์ร้อยละ 70 (4) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานกับเกณฑ์ร้อยละ 70 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกล่ามวิทยาคาร อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 19 คน ที่ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ (1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (2) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ (3) แบบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐาน โดยใช้ t-test for one sample ผลการวิจัยปรากฏ ดังนี้ (1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ตามเกณฑ์ 73.13/77.11 (2) ดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เท่ากับ 0.6314 แสดงว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 63.14 (3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานคิดเป็นร้อยละ 77.11 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 (4) ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน คิดเป็นร้อยละ 73.69 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05

คำสำคัญ: กิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

ปัจจุบันหลายประเทศได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาคนในชาติของตนเอง เพื่อให้มีการแข่งขันทั้งทางด้านเศรษฐกิจ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเห็นว่าปัจจัยแห่งความสำเร็จคือ ศักยภาพของระบบการศึกษาเพื่อการส่งเสริมนวัตกรรมและความคิดสร้างสรรค์ จะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของระบบเศรษฐกิจในศตวรรษที่ 21 ระบบการศึกษาในหลายประเทศ เช่น เกาหลีใต้ สิงคโปร์ จึงได้พัฒนาหลักสูตรการศึกษาที่เน้นสร้างกระบวนการเรียนรู้ที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 โดยให้เด็กมีทักษะการเรียนรู้และความคิดสร้างสรรค์เพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมและเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืนในอนาคต (Junrat, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ มุ่งพัฒนานักเรียนทุกคนให้มีสมรรถนะสำคัญอย่างหนึ่งต่อความสามารถในการคิดเป็น ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ การคิดอย่างสร้างสรรค์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการคิดเป็นระบบนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้และสารสนเทศเพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับตนเองและสังคมได้อย่างเหมาะสม (The Ministry of Education, 2008)

จากการศึกษาสภาพการจัดการเรียนรู้รายวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มพัฒนาคุณภาพการศึกษาแวงใหญ่ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาร้อยเอ็ด เขต 3 อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด พบว่า ผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ในปีการศึกษาที่ผ่านมา สาระที่ควรเร่งพัฒนาเนื่องจากคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศ คือ สาระเรขาคณิต โดยคะแนนเฉลี่ยของโรงเรียนเท่ากับ 11.11 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยระดับประเทศที่มีค่าเท่ากับ 32.55 ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือ ความเป็นนามธรรมที่เห็นภาพไม่ชัดเจน การจัดการเรียนรู้ที่ไม่หลากหลาย และจากการประเมินคุณภาพการศึกษาภายนอก พบว่า มาตรฐานที่ 4 นักเรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ มีวิจารณญาณ มีความคิดสร้างสรรค์ คิดไตร่ตรอง และมีวิสัยทัศน์ได้คุณภาพในระดับพอใช้ และได้ระบุจุดที่ควรพัฒนาว่า ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน มีความบกพร่องทั้ง 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ความคิดริเริ่ม ความคิดคล่อง ความคิดยืดหยุ่น และความคิดละเอียดลออ ควรส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดทักษะเพิ่มมากขึ้น โดยการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เนื้อหารายวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 พบว่า เรื่องที่มีปัญหาในการเรียนรู้ของนักเรียน คือ เรื่องรูปเรขาคณิตสามมิติ ที่นักเรียนมองภาพหรือเข้าใจในเนื้อหาที่เป็นรูปธรรมได้ไม่ค่อยดีเท่าที่ควร ซึ่งจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนขึ้น

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (Creativity-based Learning : CBL) รูปแบบการสอนนี้ได้ทำการวิจัยต่อยอดมาจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning : PBL) ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางการสอนแบบนักเรียนเป็นศูนย์กลางที่ได้ผลดีในหลายประเทศ เป็นการสอนแบบ Active Learning คือการจัดการสอนให้นักเรียนตื่นตัวในการค้นคว้าแทนที่จะรอรับการบรรยายแบบเดิม วิธีการสอนแบบสร้างสรรค์เป็นฐานเป็นวิธีการสอนหรือการจัดการเรียนรู้ที่สร้างให้นักเรียนได้มีความคิด วิเคราะห์ ฝึกฝนทักษะในการสื่อสาร การทำงานเป็นทีม ทักษะในการเรียนรู้และทักษะในการคิดสร้างสรรค์ โดยเน้นกระบวนการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง (Rukchaipanit, 2015) นอกจากนี้ โลกปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในทุกมิติ ทั้งทางสังคม เศรษฐกิจ การเมืองและเทคโนโลยี มีผลทำให้ประเทศต่าง ๆ มีความเชื่อมโยงระหว่างกันและกันมากขึ้น เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่ก้าวไปไม่หยุดยั้ง ฉะนั้นเพื่อสอดคล้องกับการเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้สอนจะต้องนำเทคโนโลยีมาบูรณการกับการเรียนการสอนในเนื้อหาเพื่อลดความเป็นนามธรรมและเพิ่มความเป็นรูปธรรม อันจะนำไปสู่ความเข้าใจให้แก่นักเรียนมากขึ้น ดังนั้น การบูรณาการระหว่างเทคโนโลยี วิธีการสอนและเนื้อหาสาระเข้าด้วยกัน จึงเป็นสิ่งสำคัญมากในการจัดการเรียนการสอน (Adulyasas, 2018)

ด้วยหลักการและเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน นำมาใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ปีการศึกษา 2565 เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ทั้งนี้หากสามารถพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนได้ ก็จะก่อให้เกิดการจัดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70

2. เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70

4. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร

ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนในกลุ่มพัฒนาคุณภาพการศึกษาแวงใหญ่ อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาร้อยเอ็ด เขต 3 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 11 โรงเรียน จำนวน 11 ห้องเรียน รวมจำนวนนักเรียนทั้งสิ้น 151 คน ซึ่งจัดห้องเรียนแบบคละความสามารถ

1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกล่ามวิทยาคาร อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาร้อยเอ็ด เขต 3 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวนนักเรียน 19 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) ใช้กลุ่มโรงเรียนพัฒนาคุณภาพการศึกษาเป็นหน่วยสุ่ม

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 16 แผน แผนละ 1 คาบ คาบละ 1 ชั่วโมง ผลคะแนนมีค่าเฉลี่ยผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.81 อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด โดยมีขั้นตอนการสอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นกระตุ้นความสนใจ เป็นขั้นตอนที่ทำให้นักเรียนมีความอยากเรียน เป็นขั้นตอนที่จะต้องเลือกกิจกรรมให้สอดคล้องกับนักเรียน อาจจะใช้เหตุผลหรือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับนักเรียน การใช้สื่อมัลติมีเดีย ใช้เกม ใช้แอปพลิชัน Plickers หรือกิจกรรมเป็นการกระตุ้นความสนใจ

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตั้งปัญหาและแบ่งกลุ่มตามความสนใจ โดยใช้ปัญหาเป็นตัวนำให้นักเรียนค้นหาปัญหาที่ตนเองสงสัย และแบ่งกลุ่มตามความสนใจ จำนวนของกลุ่มนั้นตั้งตามปัญหาที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นค้นคว้าคิด เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดในการสอน โดยผู้สอนมีหน้าที่ให้คำปรึกษาตามกลุ่ม เป็นผู้ชี้แนะและตอบคำถามด้วยคำถาม เปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดเอง เพื่อให้นักเรียนได้สนุกกับการเรียนรู้และค้นคว้าความรู้ รู้จักการค้นหาข้อมูลผ่านเครื่องมือต่าง ๆ โดยการสืบค้นข้อมูลออนไลน์หรือใช้โปรแกรม GeoGebra ประกอบ

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นนำเสนอ เป็นขั้นตอนที่นักเรียนจะได้นำเสนอผลงานที่ตนเองได้ไปศึกษาค้นคว้าและคิด เมื่อจบการนำเสนอ ผู้สอนผู้สอนเปิดประเด็นให้มีการซักถามในชั้นเรียนโดยผู้สอนคอยควบคุมประเด็นคำถามให้อยู่ในเนื้อหา หรือใช้โปรแกรม GeoGebra ในการประกอบการสรุปประเด็นปัญหา

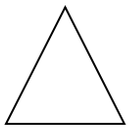
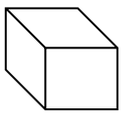
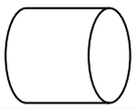
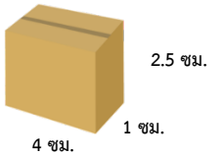
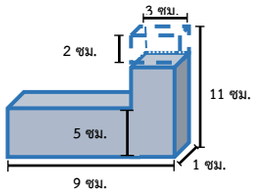
ขั้นตอนที่ 5 ขั้นประเมินผล เป็นการประเมินผลการเรียนรู้ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ว่านักเรียนมีความรู้อะไรบ้าง โดยวัดที่ความรู้ ทักษะและกระบวนการ และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

2.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน รวม 20 คะแนน ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนฉบับเดียวกัน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.60-1.00 มีค่าความยาก (p) ตั้งแต่ 0.36-0.78 มีค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 0.20-0.74 และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.73 ทั้งนี้ ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในตารางที่ 1

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

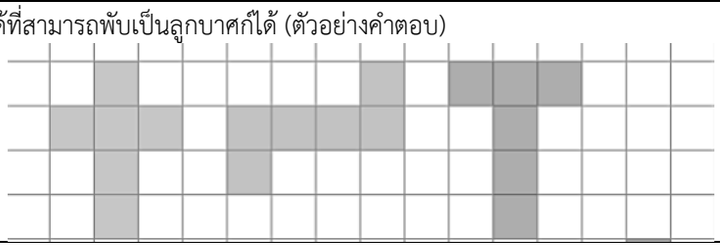
ตารางที่ 1 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์	
1. รูปเรขาคณิตในข้อใดแตกต่างจากข้ออื่น ก.  ข.  ค.  ง.	2. รูปทรงเรขาคณิตสามมิติในข้อใด ประกอบไปด้วยรูปสี่เหลี่ยม 1 รูป และรูปสามเหลี่ยม 4 รูป ก. รูปทรงกระบอก ข. รูปทรงพีระมิดฐานสามเหลี่ยม ค. รูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม ง. รูปทรงปริซึมสามเหลี่ยม
3. รูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังรูป มีปริมาตรเท่ากับเท่าใด  ก. 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ข. 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค. 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ง. 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร	4. จงหาปริมาตรน้ำ (ส่วนที่แรเงา)  ก. 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร ข. 57 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค. 75 ลูกบาศก์เซนติเมตร ง. 96 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3 แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ แบบอัตนัย จำนวน 4 ข้อ ข้อละ 12 คะแนน รวม 48 คะแนน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1.00 มีค่าความยาก (p) ตั้งแต่ 0.42-0.57 มีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.25-0.70 ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.72 ทั้งนี้ ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในตารางที่ 2 และมีรายละเอียดของเกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์
จงสร้างรูปคลี่ที่เป็นไปได้ที่สามารถพับเป็นลูกบาศก์ได้ (ตัวอย่างคำตอบ) 

ตารางที่ 3 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

ประเด็นการประเมิน	ระดับคุณภาพ			
	3 (ดีมาก)	2 (ดี)	1 (พอใช้)	0 (ปรับปรุง)
1. ความคิดริเริ่ม	วิธีการหาคำตอบไม่ซ้ำกับผู้อื่นในชั้นเรียนเลย	วิธีการหาคำตอบซ้ำกับผู้อื่นในชั้นเรียน มีความถี่น้อยกว่า 25% (1-5 คน จาก 19 คน)	วิธีการหาคำตอบซ้ำกับผู้อื่นในชั้นเรียน มีความถี่ 25%-50% (6-10 จาก 19 คน)	วิธีหาคำตอบมีความถี่ซ้ำกันในชั้นเรียนมากกว่า 50 % (ตั้งแต่ 11 คนขึ้นไป จาก 19 คน)
2. ความคิดคล่อง	แสดงวิธีการหาคำตอบและคำตอบถูกต้องครบถ้วน	แสดงวิธีการหาคำตอบได้บางส่วน ยังขาดขั้นตอนหาคำตอบ	แสดงวิธีการหาคำตอบได้บางส่วน แต่คำตอบไม่ถูกต้อง	ไม่แสดงวิธีการแก้ปัญหาและคำตอบไม่ถูกต้อง
3. ความคิดยืดหยุ่น	แสดงแนวคิดเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาได้มากกว่า 1 แนวคิด และครบถ้วนสมบูรณ์	แสดงแนวคิดเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาได้ 1 แนวคิด และครบถ้วนสมบูรณ์	แสดงแนวคิดเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาได้ 1 แนวคิด แต่ยังไม่เหมาะสมกับปัญหา	ไม่แสดงแนวคิดเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาหรือไม่ตอบ
4. ความคิดละเอียดลออ	นำเสนอวิธีการหาคำตอบ มีแนวคิดในการหาคำตอบอย่างละเอียด ใช้ตัวแบบปัญหาได้	นำเสนอแนวคิดในการหาคำตอบ มีแนวคิดในการหาคำตอบได้ครอบคลุมปัญหา	นำเสนอวิธีการหาคำตอบ มีแนวคิดในการหาคำตอบได้อย่างคร่าว ๆ แต่ยังไม่เห็นแนวคิดที่ชัดเจน	ไม่นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา หรือไม่ตอบ

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (Pre - test) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ใช้เวลา 60 นาที

3.2 ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ตามแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จำนวน 16 แผน แผนละ 1 ชั่วโมง รวมใช้ระยะเวลา 16 ชั่วโมง (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 กิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่องรูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

3.3 เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นแล้วทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (Post - test) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ใช้เวลา 60 นาที และแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ใช้เวลา 60 นาที กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

3.4 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสรุปผลการทดลองตามความมุ่งหมายวิจัยต่อไป

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยหาค่า E_1/E_2 จากการนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70 ซึ่ง 70 ตัวแรก หมายถึง สัดส่วนคะแนนพฤติกรรมในชั้นเรียน : ใบกิจกรรม : แบบทดสอบย่อย เป็น 30 : 30 : 40 คิดเป็นร้อยละ 70 ขึ้นไป และ 70 ตัวหลัง หมายถึง ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์หลังเรียน คิดเป็นร้อยละ 70 ขึ้นไป

4.2 วิเคราะห์หาดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งได้มาจากคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นก่อนเรียนและหลังเรียน

4.3 วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนและความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ทดสอบสมมติฐานโดยใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม ใช้สถิติทดสอบ t-test for one-sample

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70 ผลปรากฏดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ

การทดสอบ	กระบวนการ (E_1)	ผลลัพธ์ (E_2)
ประสิทธิภาพ	73.13	77.11
การแปลผล	สูงกว่าเกณฑ์	สูงกว่าเกณฑ์

จากตารางที่ 4 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 73.13/77.11 หมายความว่า ประสิทธิภาพด้านกระบวนการเท่ากับ 73.13 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ร้อยละ 77.11 ซึ่งประสิทธิภาพด้านกระบวนการมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพในส่วนของแบบทดสอบย่อยมาจากการทดสอบย่อยก่อนเรียน/ระหว่างเรียนโดยใช้แอปพลิเคชัน Plickers ทำให้นักเรียนได้คะแนนจากการทำแบบทดสอบย่อยน้อย อาจเกิดมาจากเวลาในการทำแบบทดสอบน้อย และการหาคำตอบที่รวดเร็ว ทำให้ไม่มีเวลาในการตรวจสอบคำตอบ และประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เท่ากับ 73.13/77.11 แสดงว่าการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ 70/70 ทั้งนี้อาจเพราะการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้ผ่านกระบวนการขั้นตอนในการจัดทำอย่างมีระบบ กล่าวคือ มีการวิเคราะห์หลักสูตรตามการศึกษาขั้นพื้นฐาน ศึกษาเอกสารด้านเนื้อหา ด้านการวิจัย การจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ การสร้างแบบทดสอบจากตำราต่าง ๆ ผ่านการทดสอบ ปรับปรุงให้มีความเหมาะสมตามหลักสถิติก่อนนำไปใช้จริงทำให้แผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานมีประสิทธิภาพ กิจกรรมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการสื่อเทคโนโลยีประกอบการจัดการเรียนรู้ ในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 ขั้นค้นคว้าคิด และขั้นตอนที่ 4 ขั้นการนำเสนอที่ได้นำโปรแกรมพลวัตทางคณิตศาสตร์ GeoGebra ที่เป็นสื่อการเรียนรู้ให้นักเรียนสามารถเรียนรู้คณิตศาสตร์อย่างเป็นรูปธรรม ในการสร้างรูปปริซึมพีระมิดต่าง ๆ รูปคลี่ของรูปเรขาคณิตสามมิติ และแอพพลิเคชั่น Plickers ช่วยให้นักเรียนสนุกสนานในการเรียน ช่วยส่งผลต่อประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นต่อนักเรียน และช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Poiyiam (2021) ที่ได้ศึกษาพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์แบบสร้างสรรค์เป็นฐานร่วมกับการบูรณาการเทคโนโลยีในการสอนเนื้อหาวิชาเฉพาะ (TPACK) เรื่อง วงกลม ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ผลการวิจัยพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานร่วมกับการบูรณาการเทคโนโลยีในการสอนเนื้อหาวิชาเฉพาะ (TPACK) มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 87.15/83.89

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน

การจัดการเรียนรู้	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	ผลรวมคะแนน		ดัชนีประสิทธิผล (E.I.)
			ทดสอบก่อนเรียน	ทดสอบหลังเรียน	
CBL	19	20	144	293	0.6314

ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 0.6314 แสดงว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 63.14 ทั้งนี้เป็นเพราะแผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่พัฒนาขึ้นได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ประสบการณ์ และกระบวนการเรียนการสอน ทำให้ได้แผนการจัดการเรียนการสอนที่มีความเหมาะสมทั้งด้านเนื้อหา กิจกรรม และสื่อประกอบการจัดการเรียนการสอน เหมาะสมกับนักเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pullarp (2020) ได้ศึกษาการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานร่วมกับการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจจากสื่อวีดีทัศน์ และคำถามซึ่งนำไปสู่การค้นหาความรู้อย่างอิสระเพื่อนำไปสร้างสรรค์ผลงาน ได้ร่วมกันแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักเรียนและผู้สอน รู้จักมีปฏิสัมพันธ์ที่ดี สนุกสนานและพอใจกับการเรียน อีกทั้งมีการบูรณาการเทคโนโลยีในการจัดการเรียนรู้ เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ นักเรียนได้ฝึกการตั้งปัญหาและศึกษาค้นคว้าหาวิธีในการแก้ปัญหา ฝึกการนำเสนอ และวิจารณ์อย่างสร้างสรรค์ วิธีการจัดการเรียนรู้ที่เริ่มต้นด้วยการใช้ปัญหาให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่างเป็นอิสระ มีทักษะในการศึกษาหาความรู้ ให้นักเรียนได้ปฏิบัติกิจกรรมผ่านการใช้สื่อเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมกับเนื้อหา ให้นักเรียนได้เรียนรู้ทั้งแบบนามธรรมและรูปธรรม ตลอดจนสะท้อน ความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ของนักเรียน จึงส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ผลปรากฏดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

แบบทดสอบ	การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL)						
	n	$\bar{x}$	ร้อยละ	S.D.	t	df	p-value
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	19	15.42	77.11	1.805	3.432	18	.0015*

* มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 คิดเป็นร้อยละ 77.11 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ทั้งนี้เป็นเพราะนักเรียนได้เรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่มีประสิทธิภาพ การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่นำสื่อเทคโนโลยีมาประกอบกับกิจกรรมการเรียนรู้ เป็นรูปแบบการจัดกิจกรรมที่ทำให้นักเรียนเกิดทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง คิดวิเคราะห์ รู้จักการแก้ปัญหา และมีความคิดสร้างสรรค์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Muhtadi *et al*. (2017) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ผสานเทคโนโลยีของผู้สอนผู้สอนคณิตศาสตร์ โดยใช้ GeoGebra ในการสอนรูปเรขาคณิตสามมิติ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคโนโลยี ถือเป็นองค์ประกอบหลักสำหรับการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในอนาคต และผลของความสามารถของผู้สอนคณิตศาสตร์ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ของนักเรียนและเพิ่มขีดความสามารถในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ของนักเรียนอีกด้วย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maneelam and Suwannasri (2021) ศึกษาการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ปริซึมแบบพลวัตผ่านสื่อนออนไลน์โดยใช้โปรแกรม GeoGebra พบว่าการเรียนผ่านชุดกิจกรรมสามารถเพิ่มความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของนักเรียน นักเรียนสามารถวาดรูปปริซึมเชื่อมโยงจากรูปได้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ผลปรากฏดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานกับเกณฑ์ร้อยละ 70

แบบทดสอบ	การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL)						
	n	$\bar{x}$	ร้อยละ	S.D.	t	df	p-value
ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์	19	35.37	73.69	2.338	3.297	18	.002*

* มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 คิดเป็นร้อยละ73.69 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ทั้งนี้เพราะรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ เน้นให้นักเรียนได้เรียนแบบร่วมมือกันเรียนรู้ การมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น และแลกเปลี่ยนเรียนรู้ บรรยากาศในการเรียนเต็มไปด้วยความกระตือรือร้น ไม่เบื่อหน่าย นักเรียนได้ใช้ความสามารถของตนได้อย่างเต็มศักยภาพ มีโอกาสได้แสดงความคิดเห็น นำเสนอผลงานของตนเองและกลุ่ม ทำให้นักเรียนเกิดความภาคภูมิใจ ได้รับการยอมรับจากกลุ่ม ทำให้ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนจากการศึกษาของผู้วิจัยเป็นไปตามสมมติฐานนั้น ยกตัวอย่างเช่น แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ดังตัวอย่าง ที่นักเรียนทำหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khor and Ali (2017) ได้ศึกษา GeoGebra สู่การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ในการเรียนคณิตศาสตร์ พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังการทดสอบของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ และนักเรียนสามารถแสดงผลงานที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการวิเคราะห์สร้างสรรค์ และ Pullarp (2020) ได้ศึกษาการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานร่วมกับการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ผลการศึกษาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานร่วมกับการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน นักเรียนมีระดับความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับสูง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ตามเกณฑ์ 73.13/77.11

2. ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 0.6314 แสดงว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 63.14

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 คิดเป็นร้อยละ 77.11 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05

4. ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เรื่อง รูปเรขาคณิตสามมิติ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 คิดเป็นร้อยละ 73.69 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

1.1 การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ในขั้นตอนของการแบ่งกลุ่มตามความสนใจ ผู้สอนควรดูตามความเหมาะสม หากนักเรียนมีการแบ่งกลุ่มที่มากหรือน้อยเกินไปสำหรับแต่ละชิ้นงาน ผู้สอนควรให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1.2 การจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เป็นวิธีการสอนที่ส่งเสริมให้นักเรียนค้นคว้า หาความรู้ คิดหาคำตอบด้วยตนเอง หากนักเรียนขาดพื้นฐานในการคิด อาจทำให้ความรู้ เนื้อหาที่ได้ไม่ถูกต้องครบถ้วน ผู้สอนผู้สอนควรตรวจสอบสิ่งที่นักเรียนได้รับอย่างถูกต้อง

1.3 ผู้สอนผู้สอนควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือศึกษาหาความรู้ด้วยตนเอง โดยผู้สอนผู้สอนคอยให้การช่วยเหลือและเสนอแนะแนวทางในการค้นคว้าหาความรู้

1.4 สำหรับการใช้สื่อเทคโนโลยีประกอบการจัดการเรียนรู้ โปรแกรม GeoGebra สถานที่ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ควรมีเครื่องมือที่สามารถใช้งานโปรแกรมได้ เช่น คอมพิวเตอร์ ทีวี เป็นต้น และสำหรับแอปพลิเคชัน Plickers เนื่องจากการตอบคำถามของนักเรียนมีเวลาจำกัด การออกแบบข้อคำถามควรสร้างให้เหมาะสมกับเวลา

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยในครั้งต่อไป

2.1 ศึกษาพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน ในเนื้อหาคณิตศาสตร์อื่น ๆ เช่น วงกลม รูปเรขาคณิตสองมิติ เส้นขนาน เป็นต้น

2.2 ศึกษาพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐานที่ส่งเสริมความสามารถทางคณิตศาสตร์ด้านอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการสื่อสาร สื่อความหมาย ความสามารถในการแก้ปัญหา เป็นต้น

2.3 ศึกษาความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน เพื่อจะได้ทราบว่านักเรียนมีความพึงพอใจในการเรียนรู้หรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่ง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ วิริยะพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนชยา เจียงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ คณาจารย์สาขาวิชาคณิตศาสตรศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริหาร คณะผู้สอน นักเรียน และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาการวิจัยครั้งนี้

References

Adulyasas, L. (2018). The effects of developing pre-service mathematics teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK) on mathematics students' achievement (in Thai). **Journal of Yala Rajabhat University**, 13(1), 115-128.

Junrat, P. (2018). Learning management for learners in the Thailand 4.0. **Journal Veridian E-Journal**. 11(2), 23-37.

Khor, M.K. and Ali, R.M. (2017). GeoGebra : Towards Realizing 21st Century Learning in Mathematics Education. **Malaysian Journal of Learning and Instruction** : Special Issues, 93-115.

Maneelam, M. and Suwannasri, P. (2021). Development of dynamic GeoGebra learning activity of prism to improve student's 3d geometry thinking (in Thai). **Journal of Science and Science Education**. 4(2), 255-263.

Muhtadi, D., Wahyudin, Kartasasmita, B. G. and Prahmana R. C. I (2017). The integration of technology in teaching mathematics. **Journal of Physics**: Conf. Series, 943, 1-8.

Polyiem, K. (2021). The development of creative mathematics-based learning activities (CBL) in conjunction with the integration of technology in teaching specific subjects (TPACK) to develop learning achievement and creative thinking in mathematics on the subject of circles of Prathomsuksa students 6 (in Thai). **Master's Thesis**. Mahasarakham: Mahasarakham University.

Pullarp, K. (2020). The promoting creative thinking by using blended with creativity-based learning for Mathayomsuksa 4 enrichment science classroom students of Phadungnaree school (in Thai). **Master's Thesis**. Mahasarakham: Rajabhat Mahasarakham University.

Rukchaipanit, V. (2015). Creativity-Based Learning (CBL) (in Thai). **Journal of Learning Innovations Walailak University**, 1(2), 23-37.

The Ministry of Education. (2008). **The Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)** (in Thai). Bangkok: The Ministry of Education.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 303 - 319
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.27

Research Article

Learning activity using board game and mathematical tasks to develop creative thinking skill on surface area and volume of Grade-8 students

Thoranin Yamsok[1,*] and Wanintorn Poonpaiboonpipat[2]
[1]*Mathematics Education, Faculty of Education, Master of Education, Naresuan University*
**Email: thoraniny64@nu.ac.th*

Received <3 May 2023>; Revised <20 May 2023>; Accepted <22 May 2023>

Abstract

The purpose of this classroom action research was to develop the creative thinking skill of Grade-8 students on the topic of surface area and volume. The target group was 1 class of 16 students in the academic year 2022 at Banchockchaipattana School in Kamphaeng Phet. This study was the classroom action research in 3 cycles. The total duration of the study was 14 hours. Research tools were lesson plans using board games and mathematical tasks, and five learning processes were 1) Classroom arrangement, 2) Explaining the game's rules, 3) Demonstration, 4) Practice, and 5) Following up, behavioral observation, activity sheets, and a mathematical creativity test. The data were analyzed by content analysis. This research found that students developed creative thinking skills in mathematics. By considering subcomponents, the students were best developed in the fluent thinking (75.00%), followed by the flexible thinking (62.50%), and the original thinking (25.00%).

Keywords: Board game, Mathematical tasks, Creative thinking skill, Surface area and volume

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ธรนินทร์ แย้มสุข[1,*] และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์[2]

[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร

**Email: thoraniny64@nu.ac.th*

รับบทความ: 3 พฤษภาคม 2566 xxxx แก้ไขบทความ: 20 พฤษภาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 22 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ปีการศึกษา 2565 ของโรงเรียนบ้านโชคชัยพัฒนาในจังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวนนักเรียน 16 คน ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน จำนวน 3 วงจรปฏิบัติการ ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 14 ชั่วโมง เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ ตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ 5 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นการจัดชั้นเรียน 2) ขั้นการอธิบายวิธีการเล่น 3) ขั้นการสาธิตการเล่น 4) ขั้นการปฏิบัติและ 5) ขั้นการติดตามผล แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ใบกิจกรรมและแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาตามองค์ประกอบย่อย ผลปรากฏว่านักเรียนร้อยละ 75.00 มีระดับการพัฒนาด้านความคิดคล่องมากที่สุด รองลงมาคือนักเรียนร้อยละ 62.50 มีระดับการพัฒนาด้านความคิดยืดหยุ่น และนักเรียนร้อยละ 25.00 มีระดับการพัฒนาด้านความคิดริเริ่ม

คำสำคัญ: เกมกระดาน งานทางคณิตศาสตร์ ทักษะความคิดสร้างสรรค์ พื้นที่ผิวและปริมาตร

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

ความคิดสร้างสรรค์เป็นทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์อย่างหนึ่งที่มีความจำเป็นต้องปลูกฝังให้เกิดกับนักเรียน เนื่องจากการคิดสร้างสรรค์เป็นความสามารถในการขยายแนวคิดที่มีอยู่เดิมหรือสร้างแนวคิดใหม่ เพื่อปรับปรุงพัฒนาองค์ความรู้ของนักเรียน (Ministry of Education, 2017) การพัฒนาทักษะความรู้ ความสามารถของคนตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560-2564) จึงมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะที่เหมาะสมในแต่ละช่วงวัยเพื่อวางรากฐานให้เป็นคนมีคุณภาพในอนาคต การพัฒนาทักษะสอดคล้องกับความต้องการในตลาดแรงงานและทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 ทักษะการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบและการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์เป็นอีกหนึ่งทักษะที่สำคัญที่เด็กควรได้รับการพัฒนา เพื่อให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์และนำไปปรับประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การสอนคณิตศาสตร์ในประเทศไทยครูส่วนใหญ่คิดว่า การสอนคือการเตรียมแผนการจัดการเรียนรู้ การตั้งคำถามและการอธิบายแบบฝึกหัด โดยครูแต่ละคนจะเริ่มต้นด้วยการอธิบายเนื้อหาใหม่ ยกตัวอย่าง แล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด จากนั้นจึงมอบหมายการบ้าน ซึ่งการสอนที่ครูเป็นผู้บรรยายหรือแสดงตัวอย่างให้นักเรียนดู เพื่อให้นักเรียนทำตามวิธีการของครู การสอนที่เน้นการท่องจำ และการสอนที่เน้นผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยเฉพาะผลสัมฤทธิ์ที่ได้จากการทดสอบ โดยไม่ได้เน้นกระบวนการเรียนรู้หรือวิธีการเรียนรู้ของนักเรียน นอกจากจะไม่ส่งเสริมการคิดอย่างมีเหตุและมีผลแล้ว ยังเป็นการทำลายความกระตือรือร้น รวมถึงทักษะการแก้ปัญหาและทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนอีกด้วย (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2021) การจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์เพื่อให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ได้นั้น จำเป็นต้องอาศัยวิธีการหรือการจัดการเรียนรู้หลาย ๆ วิธี ที่ไม่ใช่เป็นแค่แบบฝึกหัดคณิตศาสตร์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปในระบบโรงเรียน แต่จะต้องเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนแต่ละคนได้รับอิสระทางความคิด และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แก้ปัญหาเต็มตามศักยภาพ การจัดการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว ครูจำเป็นต้องจัดเตรียมบรรยากาศที่ทำให้นักเรียนรู้สึกปลอดภัย กล้าที่จะเสี่ยงทำผิดพลาด และเน้นให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น ครูต้องพยายามทำความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนให้มากที่สุด เพื่อเป็นแนวทางให้ครูได้กระตุ้นสนับสนุนและจัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้นักเรียนได้พัฒนาการเรียนรู้ของตนเองได้เต็มตามศักยภาพ รวมถึงได้พัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนอีกด้วย ครูควรให้ความสำคัญในการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์และต้องเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีมุมมองในการประยุกต์ใช้ความรู้คณิตศาสตร์ได้อย่างหลากหลาย โดยการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ให้ฝึกแก้ปัญหาด้วยตนเอง ฝึกทักษะการแสวงหาความรู้ร่วมกันเป็นกลุ่ม ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้ทั้งทฤษฎีและการปฏิบัติที่สามารถช่วยให้การจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เกมการศึกษาเป็นกิจกรรมที่มุ่งให้ผู้เล่นเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ ฝึกให้ผู้เล่นได้ใช้ทักษะต่างๆในการแก้ปัญหา อีกทั้งยังส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ด้วย โดยเฉพาะเกมจำลองสถานการณ์ ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์จริงให้ผู้เล่นได้คิดตัดสินใจจากข้อมูลที่มีโดยสวมบทบาทเป็นคนใดคนหนึ่งในสถานการณ์ (Khaemanee, 2018) สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนอย่างรอบด้าน เกมการศึกษาเกิดจากความพยายามคิดค้นหารูปแบบวิธีการสอนใหม่และสื่อการสอนใหม่ ๆ เพื่อนำมาปิดช่องโหว่ของข้อจำกัดของการเรียนรู้ การรับรู้ของนักเรียน แรงจูงใจของนักเรียน ความอยากรู้อยากเห็นของนักเรียน การใช้ทักษะและกระบวนการต่าง ๆ เพื่อนำมาแก้ปัญหา อีกทั้งฝึกให้นักเรียนเกิดทักษะความคิดสร้างสรรค์ นำความรู้มาพัฒนาต่อยอดในการแก้ปัญหาต่างๆได้อย่างหลากหลายวิธีการ หลากหลายแนวคิด เป็นความคิดแบบใหม่ ๆ การใช้เกมกระดาน (Board Game) เป็นรูปแบบหนึ่งของเกมการศึกษาที่มีลักษณะเป็นการใช้สถานการณ์จริงมาจำลองไว้ในห้องเรียน มีการกำหนดกฎ กติกาหรือเงื่อนไขสำหรับเกม ผู้เล่นจะต้องเผชิญปัญหาและร่วมกันแก้ปัญหา เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการแข่งขันกับฝ่ายตรงข้าม (Archawanuntakul, 2016) เกมกระดานจึงเป็นกิจกรรมที่ผู้เล่นมีโอกาสปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นภายใต้เรื่องราวและบริบทของเกม อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ให้นักเรียนได้มีประสบการณ์และเรียนรู้ในการปฏิสัมพันธ์ร่วมกับผู้อื่นในการทำงาน ทำให้การจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนเกิดความสนุกสนานเพลิดเพลิน และช่วยฝึกทักษะและกระบวนการต่างๆของนักเรียน หากนำเกมกระดานมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้เหมาะสมแล้ว ก็จะส่งเสริมการพัฒนาความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับนักเรียน การใช้เกมกระดานทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้จากการทำงานร่วมกัน โดยกลไกของเกมทำให้นักเรียนเกิดความสนุกสนานในการเล่นได้ฝึกกระบวนการทำงานร่วมกัน อีกทั้งยังช่วยให้นักเรียนได้ศึกษา หาความรู้จากการได้ลงมือปฏิบัติ และได้ลงมือทดลองการเล่นเกม ได้ฝึกกระบวนการคิดในการแก้ปัญหาต่าง ๆ แต่เนื่องจากการใช้เกมกระดาน

เพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถสร้างทักษะความคิดสร้างสรรค์ได้มากนัก จึงต้องมีองค์ประกอบเพิ่มเติมเข้ามาช่วยเสริมกลไกในการเล่นเกมกระดาน เพื่อจะสามารถนำมาพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ได้

Stein *et al.* (2000) กล่าวว่า งานทางคณิตศาสตร์ มีความสำคัญต่อชั้นเรียนที่เน้นให้นักเรียนได้เข้าร่วมกิจกรรมการแก้ปัญหาและกระตุ้นการเรียนรู้ของนักเรียน ดังนั้น ครูควรออกแบบงานทางคณิตศาสตร์หรือพิจารณาใช้งานทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับนักเรียนในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาที่หลากหลายตามความต้องการในการรับรู้ของนักเรียน แต่อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้ผ่านงานทางคณิตศาสตร์ จำเป็นต้องเริ่มต้นด้วยงานที่มีประสิทธิภาพเพื่อกระตุ้นความสนใจและการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาของนักเรียน ซึ่งงานทางคณิตศาสตร์จะเป็นตัวขับเคลื่อนและเป็นตัวสร้างกิจกรรมการเรียนรู้ที่สามารถกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และลงมือแก้ปัญหาได้ด้วยตัวเอง รวมทั้งเป็นสิ่งที่ดึงความสนใจและความอยากรู้อยากเห็นของนักเรียน (Cai and Lester, 2010) สามารถกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดและลงมือแก้ปัญหา ทำให้ครูได้ทราบและเข้าใจถึงความต้องการทางปัญญาของนักเรียนที่มีความแตกต่างกัน รวมถึงพัฒนาทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ พัฒนาความเข้าใจทางคณิตศาสตร์จากประสบการณ์การทำงานทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งเป็นโอกาสที่สำคัญในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ผ่านการมีส่วนร่วมในกิจกรรมในชั้นเรียน การแก้ปัญหาผ่านงานทางคณิตศาสตร์ จึงทำให้เกิดทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์หลายทักษะ (Smith and Stein, 1998)

การใช้งานทางคณิตศาสตร์สามารถทำให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดในการแก้ปัญหาและความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงสอดแทรกงานทางคณิตศาสตร์ในเกมกระดานในรูปแบบของบัตรภารกิจซึ่งเป็นงานทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน เพื่อให้นักเรียนได้ลงมือแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลาย รวมถึงแก้ปัญหาได้ตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม สามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่นักเรียนมีมาแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างแปลกใหม่แตกต่างจากผู้อื่นและสามารถนำความรู้ไปสู่การพัฒนาตนเองได้ การใช้เกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์นั้น จึงทำให้นักเรียนได้จำลองสถานการณ์และยังทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากการเล่นเกมและการทำคะแนนต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาผ่านงานทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะเป็นโจทย์ที่สอดแทรกอยู่กับเงื่อนไขของการเล่นเกมกระดาน ซึ่งจะทำให้เกิดทักษะความคิดสร้างสรรค์ ที่ให้นักเรียนเกิดความคิดคล่อง ความคิดยืดหยุ่นและความคิดริเริ่ม จากปัญหาและเหตุผลดังที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานและการใช้งานทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับระดับการคิดของนักเรียนนั้น เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยจึงจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เนื่องจากเนื้อหานี้ นักเรียนค่อนข้างจะไม่สามารถแก้ปัญหาหรือใช้ทักษะความคิดสร้างสรรค์เชื่องโยงปัญหาในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งตามหลักความเป็นจริงแล้ว เนื้อหาเรื่องนี้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในปัญหาอื่น ๆ และประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างสร้างสรรค์ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ปีการศึกษา 2565 ของโรงเรียนบ้านโชคชัยพัฒนาในจังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวนนักเรียน 16 คน โดยเลือกอย่างเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling)

2. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการ (Action Research) โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาความสามารถในการจัดการเรียนรู้ของตัวครูเอง การทำวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนจะทำซ้ำเป็นวงจร ทั้งหมด 3 วงจรปฏิบัติการ ซึ่งแต่ละวงจรประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (Kemmis and Wilkinson, 1998) ได้แก่

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ขั้นที่ 1 วางแผนการดำเนินงาน (Plan: P) เป็นขั้นที่ผู้วิจัยวางแผนการทำวิจัย พัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้และแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 2 ปฏิบัติ (Act: A) เป็นขั้นตอนการนำแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์มาใช้ในห้องเรียน

ขั้นที่ 3 สังเกต (Observe: O) เป็นขั้นตอนการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ใบกิจกรรม ซึ่งทำการเก็บข้อมูลโดยผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกต

ขั้นที่ 4 สะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect: R) เป็นขั้นตอนที่ผู้วิจัยจะต้องนำเอาข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ เพื่อปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรถัดไป

เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้เสร็จสิ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์เป็นรายบุคคล

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 4 แผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ความรู้เกี่ยวกับปริมาตร เป็นการเตรียมความรู้ของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ 2 ชั่วโมง ดังนั้นในวงจรปฏิบัติการที่ 1 จะเริ่มในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2-4 โดยจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการเล่นเกมเดียวกันทั้งหมด แต่มีการปรับกติกาและเปลี่ยนงานทางคณิตศาสตร์ในการ์ดภารกิจให้แตกต่างกันด้านความรู้ให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ในแต่ละแผน ซึ่งในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างและออกแบบเกม SA&V WAR ซึ่งมีกระดานเกมขนาด 100 x 100 เซนติเมตร มีการ์ดภารกิจและการ์ดหีบสมบัติที่เป็นสถานการณ์ปัญหาตามรูปแบบของงานทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการ์ดปัญหาที่ให้แต่ละกลุ่มได้แข่งขันกันเพื่อได้รับรางวัลตามระดับคะแนนของแต่ละกลุ่ม มีลูกเต๋าและตัวละคร 4 ตัวละคร ได้แก่ เจ้าเมือง นักทรัพยากร วิศวกร และนักรบ รวมถึงได้กำหนดกฎกติกาการเล่นที่เป็นแบบเฉพาะเพื่อนำมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ ดังภาพที่ 1 และดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน โดยทำซ้ำเป็นวงจร ทั้งหมด 3 วงจรปฏิบัติการ ประกอบด้วย

1) แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตรของปริซึม (4 ชั่วโมง)
2) แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตรของทรงกระบอก (4 ชั่วโมง)
3) แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การประยุกต์ใช้ (4 ชั่วโมง)

ภาพที่ 1 เกมกระดานสำหรับใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 4 แผนการจัดการเรียนรู้ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ศึกษา ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาทางคณิตศาสตร์และผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ในโรงเรียน เพื่อประเมินตรวจสอบความเหมาะสมในแต่ละด้าน ได้แก่ ด้านจุดประสงค์การเรียนรู้ ด้านสาระการเรียนรู้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการเรียนรู้และด้านการวัดและประเมินผล ซึ่งแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยใช้แบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ตามแบบลิเคิร์ท (Likert) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 ซึ่งถือว่าแผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมีความเหมาะสมมากและสามารถนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ และผู้วิจัยปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ แก้ไขจุดประสงค์การเรียนรู้ให้ครอบคลุมและสอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด ระบุจุดประสงค์การเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ แก้ไขการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ในขั้นการปฏิบัติให้มีความชัดเจน เพิ่มรายละเอียดของคำสั่งที่ครูต้องการให้นักเรียนปฏิบัติ และปรับสถานการณ์ปัญหาให้เข้ากับบริบทของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนสามารถใช้ประสบการณ์การเรียนรู้มาช่วยแก้ปัญหาได้ดียิ่งขึ้น

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 ใบกิจกรรม ใช้ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ โดยเป็นส่วนหนึ่งของแผนการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วยใบกิจกรรมที่ 1 สถานการณ์ “กำแพงเมือง” ใบกิจกรรมที่ 2 สถานการณ์ “บ่อน้ำชุมชน” และใบกิจกรรมที่ 3 สถานการณ์ “โรงผลิตอาวุธ” มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิด เพื่อวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ และนำใบกิจกรรมเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญชุดเดียวกับที่ตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและจากนั้นนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ ดังนี้ แก้ไขสถานการณ์ปัญหาให้มีความเหมาะสมเข้ากับบริบทของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนสามารถใช้ประสบการณ์การเรียนรู้มาช่วยแก้ปัญหาได้ดียิ่งขึ้น และเพิ่มสถานการณ์ปัญหาให้สอดคล้องกับการวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

3.2.2 แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ใช้ประกอบการสังเกตพฤติกรรมนักเรียนเกี่ยวกับทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์โดยแบ่งเป็นองค์ประกอบย่อย 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความคิดคล่อง ด้านความคิดยืดหยุ่นและด้านความริเริ่ม ระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์และนำแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ เสนอผู้เชี่ยวชาญชุดเดียวกับที่ตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 ท่าน โดยตรวจสอบความเหมาะสม โดยผลการพิจารณาและตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่า แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์สามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลได้และไม่มีข้อปรับปรุงแก้ไขใด ๆ

3.2.3 แบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ใช้ประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาทั้ง 3 แผน โดยแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ใช้รูปแบบการตอบแบบเขียนตอบอิสระ ประกอบไปด้วย 3 สถานการณ์ แต่ละสถานการณ์จะมี 3 คำถามย่อย ตามองค์ประกอบย่อยของทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ ด้านความคิดคล่อง ด้านความคิดยืดหยุ่นและด้านความคิดริเริ่ม โดยการทดสอบด้านความคิดริเริ่มจะทดสอบในสถานการณ์ที่ 3 โดยสถานการณ์ในแบบทดสอบใช้ลักษณะของงานทางคณิตศาสตร์แบบการใช้ความคิดขั้นสูงที่เน้นการลงมือทำในการแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์เสนอผู้เชี่ยวชาญชุดเดียวกับที่ตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อข้อคำถามแต่ละข้อ พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีความตรงเชิงเนื้อหามากกว่า 0.50 ซึ่งถือว่ามีความเหมาะและสามารถนำไปใช้ได้ และผู้วิจัยปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญด้วย คือ แก้ไขสถานการณ์ปัญหาให้มีความสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ และปรับเกณฑ์การประเมินให้มีความเหมาะสมและยุติธรรมกับนักเรียนทุกคน

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

4.1 ปฐมนิเทศและชี้แจงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มเป้าหมาย

4.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 14 ชั่วโมง จำนวน 3 วงจร (4 แผนการจัดการเรียนรู้) โดยมีการจัดการเรียนรู้ตามคาบเรียนปกติของวิชาคณิตศาสตร์ วันละ 1 คาบ (1 ชั่วโมง) เป็นเวลา 3 คาบต่อสัปดาห์

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

4.3 ในระหว่างทำการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยจะทำการบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนในระหว่างการทำกิจกรรมกลุ่ม เพื่อดูทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน

4.4 เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้เสร็จสิ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์เป็นรายบุคคล เพื่อวิเคราะห์การพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยใช้เวลาในการทำแบบทดสอบหลังแต่ละวงจรปฏิบัติการเป็นเวลา 1 ชั่วโมง รวมเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.5 นำผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยสามารถสรุปการดำเนินการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์เครื่องมือ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ใบกิจกรรมและแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content Analysis) และจัดระดับตามทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ตามองค์ประกอบย่อยรายด้านตามแนวคิดของ Guilford (1967) โดยแบ่งคำตอบของนักเรียนในแต่ละด้านออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีมาก (3) ดี (2) พอใช้ (1) ปรับปรุง (0) ตามลำดับ แล้วแสดงร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับ จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ใบกิจกรรมและแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์มาเปรียบเทียบกัน เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงเกณฑ์การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

รายการประเมิน	**ระดับคุณภาพ**	**เกณฑ์การพิจารณา**
ความคิดคล่อง	ดีมาก (3)	นักเรียนสามารถเขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเอง ได้ตามมโนทัศน์อย่างถูกต้องตั้งแต่ 3 วิธีขึ้นไป
	ดี (2)	นักเรียนสามารถเขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเอง ได้ตามมโนทัศน์อย่างถูกต้องเพียง 1-2 วิธี
	พอใช้ (1)	นักเรียนสามารถเขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเอง จะเขียนได้เพียง 1 วิธี และมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
	ปรับปรุง (0)	นักเรียนไม่สามารถเขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเองได้
ความคิดยืดหยุ่น	ดีมาก (3)	นักเรียนสามารถใช้มโนทัศน์ในการเขียนตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม
	ดี (2)	นักเรียนสามารถใช้มโนทัศน์ในการเขียนตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้แต่มีข้อผิดพลาดบางส่วน
	พอใช้ (1)	นักเรียนสามารถใช้มโนทัศน์ในการเขียนตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้แต่มีข้อผิดพลาดมากมาย
	ปรับปรุง (0)	นักเรียนไม่สามารถใช้มโนทัศน์ในการเขียนตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้
ความคิดริเริ่ม	ดีมาก (3)	นักเรียนสามารถใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างแปลกใหม่แตกต่างจากผู้อื่น มีความคิดอย่างหลากหลายและสามาถนำความรู้ไปสู่การพัฒนาตนเองได้
	ดี (2)	นักเรียนสามารถใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ โดยพัฒนาจากข้อมูลพื้นฐาน แล้วนำมาปรับปรุงใหม่
	พอใช้ (1)	นักเรียนสามารถใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ ตามมโนทัศน์ที่เคยเรียนรู้มา
	ปรับปรุง (0)	นักเรียนไม่ปรากฏแนวคิดในการแก้ปัญหาที่แปลกใหม่ ดัดแปลง/ประยุกต์และสามารถนำไปใช้ได้เป็นส่วนน้อยหรือนำไปใช้ไม่ได้เลย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

นักเรียนมีพัฒนาการตามองค์ประกอบของทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรม ดังตาราง 2

ตารางที่ 2 ระดับการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนจากใบกิจกรรม

วงจรปฏิบัติการที่	ทักษะความคิดสร้างสรรค์	จำนวนนักเรียนจำแนกตามระดับของเกณฑ์การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ (ร้อยละ)			
		ดีมาก (3)	ดี (2)	พอใช้ (1)	ปรับปรุง (0)
1	ความคิดคล่อง	6 (37.50)	8 (50.00)	2 (12.50)	0 (0.00)
	ความคิดยืดหยุ่น	4 (25.00)	5 (31.25)	7 (43.75)	0 (0.00)
2	ความคิดคล่อง	8 (50.00)	8 (50.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
	ความคิดยืดหยุ่น	6 (37.50)	6 (37.50)	4 (25.00)	0 (0.00)
3	ความคิดคล่อง	12 (75.00)	4 (25.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
	ความคิดยืดหยุ่น	10 (62.50)	4 (25.00)	2 (12.50)	0 (0.00)
	ความคิดริเริ่ม	4 (25.00)	6 (37.50)	6 (37.50)	0 (0.00)

ตารางที่ 2 พบว่า นักเรียนมีการพัฒนาด้านความคิดคล่องในวงจรปฏิบัติการที่ 1 จำนวน 6 คน (ร้อยละ 37.50) และเพิ่มขึ้นในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า มีนักเรียนจำนวน 12 คน (ร้อยละ 75.00) ที่มีความคิดคล่องอยู่ในระดับดีมาก มีการพัฒนาด้านความคิดยืดหยุ่นในวงจรปฏิบัติการที่ 1 จำนวน 4 คน (ร้อยละ 25.00) และเพิ่มขึ้นในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า มีนักเรียนจำนวน 10 คน (ร้อยละ 62.50) ที่มีความคิดยืดหยุ่นอยู่ในระดับดีมากและมีการพัฒนาด้านความคิดริเริ่มอยู่ในระดับดีมากในวงจรปฏิบัติการที่ 3 จำนวน 4 คน (ร้อยละ 25.00) และนักเรียนมีพัฒนาการตามองค์ประกอบของทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ดังตาราง 3

ตารางที่ 3 ระดับการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนจากแบบทดสอบวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์

วงจรปฏิบัติการที่	ทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ด้านที่ (ข้อ)	จำนวนนักเรียนจำแนกตามระดับของเกณฑ์การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ (ร้อยละ)			
		ดีมาก (3)	ดี (2)	พอใช้ (1)	ปรับปรุง (0)
1	1 (1)	6 (37.50)	8 (50.00)	2 (12.50)	0 (0.00)
	2 (2)	5 (31.25)	7 (43.75)	4 (25.00)	0 (0.00)
	2 (3)	4 (25.00)	5 (31.25)	7 (43.75)	0 (0.00)
2	1 (1)	8 (50.00)	8 (50.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
	2 (2)	10 (62.50)	4 (25.00)	2 (12.50)	0 (0.00)
	2 (3)	6 (37.50)	6 (37.50)	4 (25.00)	0 (0.00)
3	1 (1)	12 (75.00)	4 (25.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
	2 (2)	10 (62.50)	4 (25.00)	2 (12.50)	0 (0.00)
	3 (3)	4 (25.00)	6 (37.50)	6 (37.50)	0 (0.00)

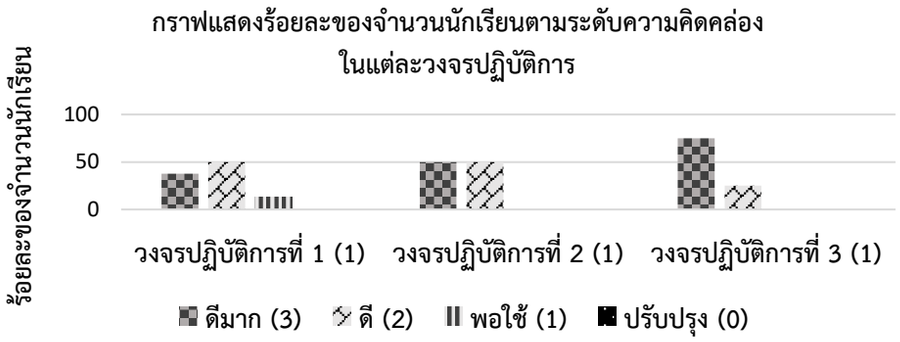
* หมายเหตุ 1 หมายถึง ความคิดคล่อง
2 หมายถึง ความคิดยืดหยุ่น
3 หมายถึง ความคิดริเริ่ม

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตารางที่ 3 พบว่า นักเรียนมีการพัฒนาด้านความคิดคล่องในวงจรปฏิบัติการที่ 1 จำนวน 6 คน (ร้อยละ 37.50) และเพิ่มขึ้นในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า มีนักเรียนจำนวน 12 คน (ร้อยละ 75.00) ที่มีความคิดคล่องอยู่ในระดับดีมาก มีการพัฒนาด้านความคิดยืดหยุ่นในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ในข้อคำถามที่ 2 จำนวน 5 คน (ร้อยละ 31.25) และข้อคำถามที่ 3 จำนวน 4 คน (ร้อยละ 25.00) โดยมีระดับความคิดยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า มีนักเรียนจำนวน 10 คน (ร้อยละ 62.50) ที่มีความคิดยืดหยุ่นอยู่ในระดับดีมากและมีการพัฒนาด้านความคิดริเริ่มอยู่ในระดับดีมากในวงจรปฏิบัติการที่ 3 จำนวน 4 คน (ร้อยละ 25.00) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความคิดคล่อง

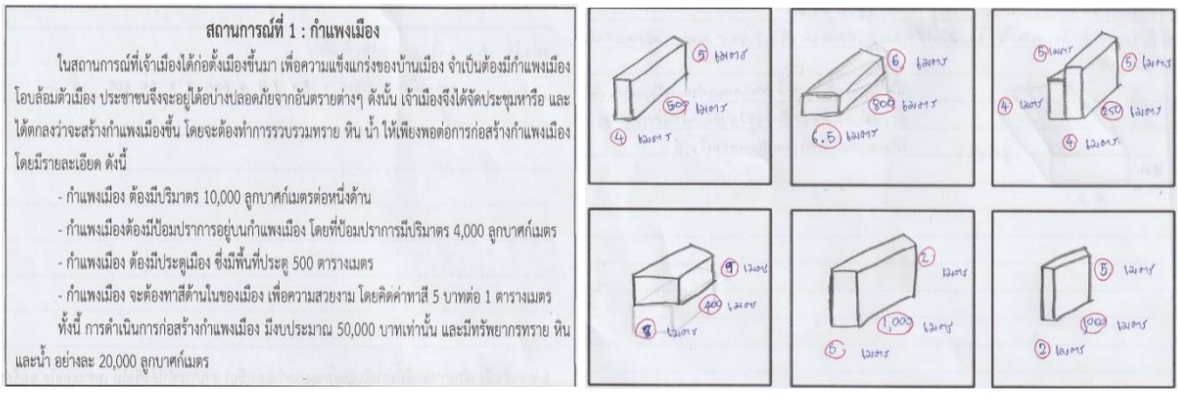
นักเรียนมีพัฒนาการด้านความคิดคล่องจากวงจรปฏิบัติการที่ 1 ไปยังวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 2



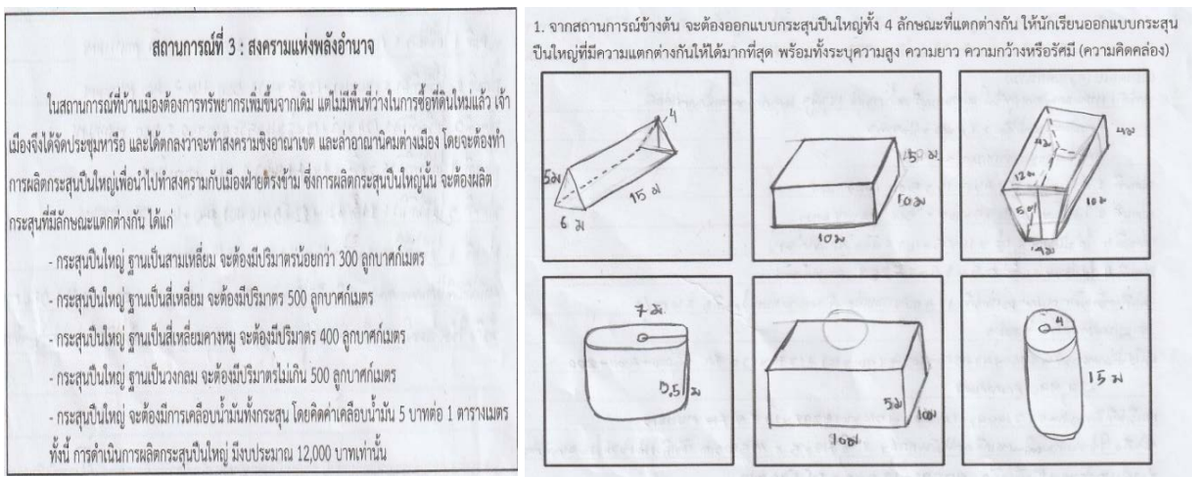
ภาพที่ 2 ระดับการพัฒนาด้านความคิดคล่องของนักเรียน ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

ภาพที่ 2 พบว่านักเรียนร้อยละ 12.50 (2 คน) จะสามารถมีความคิดคล่องได้ เมื่อมีครูคอยชี้แนะดูแลอย่างใกล้ชิด โดยนักเรียนสามารถตอบคำถามโดยการพูดได้ แต่เมื่อให้เขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเอง พบว่านักเรียนสามารถเขียนแนวคิดได้เพียง 1 วิธีและมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (ระดับพอใช้) ต่อมาในวงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่า นักเรียนร้อยละ 37.50 (6 คน) สามารถแสดงความคิดคล่องได้มากขึ้น ใช้เวลาตอบคำถามได้อย่างรวดเร็วขึ้นมากกว่าเดิม สามารถเขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเองได้อย่างถูกต้องเพียง 1-2 วิธี แต่ก็ยังคงใช้เวลาในการเขียนแสดงแนวคิดของตนค่อนข้างมาก (ระดับดี) และในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า นักเรียนร้อยละ 25.00 (4 คน) สามารถพัฒนาความคิดคล่องจากระดับดี เป็นระดับดีมาก ได้โดยการตอบคำถาม และเขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเองอย่างหลากหลายตั้งแต่ 3 วิธีขึ้นไปได้ โดยใช้ระยะเวลาในการเขียนแสดงแนวคิดอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาที่กำหนดและมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องมากขึ้น

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ใบกิจกรรม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ที่สามารถตอบ คำถามและเขียนแสดงแนวคิด เรื่องพื้นที่ผิวและปริมาตรได้ แต่ยังใช้เวลาในการเขียนแสดงแนวคิดค่อนข้างมาก โดยเริ่มต้นของการลงมือปฏิบัติยังต้องมีครูเป็นผู้แนะนำระหว่างการทำกิจกรรมและมีบางส่วนเมื่อได้ทำแบบทดสอบเพื่อวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนเป็นรายบุคคลแล้ว พบว่า นักเรียนสามารถตอบคำถามโดยการเขียนแสดงแนวคิดด้วยตนเองอย่างถูกต้องเพียง 1-2 วิธี (ภาพที่ 3) ที่นักเรียนนั้นมีความเข้าใจเรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร โดยการเขียนภาพแสดงแนวคิดที่แตกต่างกันไปตามที่โจทย์กำหนด แต่นักเรียนไม่สามารถนำความรู้เกี่ยวกับการคำนวณหาพื้นที่ผิวและปริมาตรเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่กำหนดได้ ซึ่งแสดงถึงการที่นักเรียนมีมโนทัศน์ ในการแสดงวิธีคิดเพื่อหาพื้นที่ผิวและปริมาตรไม่ถูกต้องเป็นบางรูปเท่านั้น (ระดับดี)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างของแบบทดสอบในวงจรปฏิบัติการที่ 1 แสดงการใช้มโนทัศน์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตรของปริซึมที่คลาดเคลื่อน (ระดับดี)



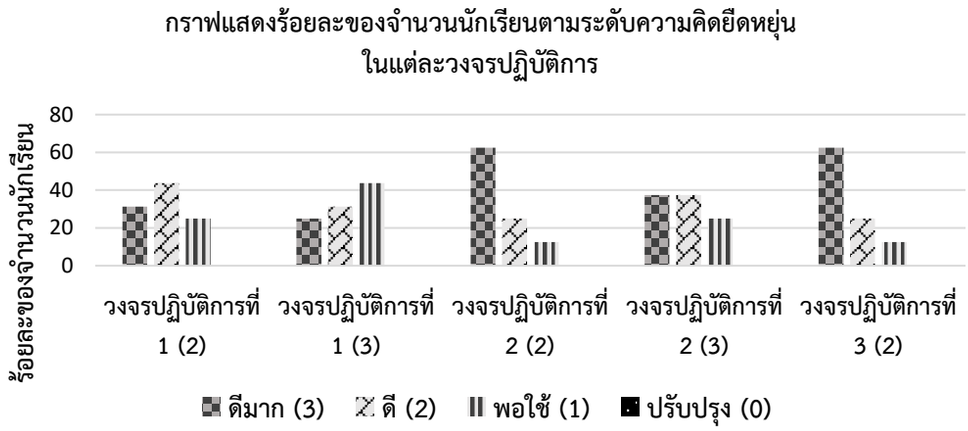
ภาพที่ 4 ตัวอย่างของแบบทดสอบในวงจรปฏิบัติการที่ 3 แสดงการใช้มโนทัศน์ เรื่อง การประยุกต์ใช้ อย่างถูกต้องตั้งแต่ 3 วิธีขึ้นไป (ระดับดีมาก)

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถวาดภาพแสดงแนวคิดเพื่อหาพื้นที่ผิวและปริมาตรของปริซึมได้ถูกต้องและหลากหลายวิธี โดยใช้การวาดภาพแสดงแนวคิดเป็นจำนวน 6 ภาพ ในเวลาที่ กำหนด ซึ่งเป็นจำนวนที่มากและถูกต้องที่สุดของชั้นเรียน แสดงถึงความคล่องแคล่วในการใช้มโนทัศน์เกี่ยวกับพื้นที่ผิวและปริมาตรได้ (ระดับดีมาก) ซึ่งผลจากการทดสอบหลังจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 2 และ 3 นี้สอดคล้องกับผลจากการสังเกตการทำกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนที่พบว่านักเรียนที่มีความคิดคล่องสูงจะสามารถนำความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องมาใช้ได้ในทันทีและมีความคล่องแคล่วในการทำกิจกรรมด้วยตนเอง และเป็นผู้นำกลุ่มในการเขียนแสดงแนวคิดต่างๆ สามารถเขียนแสดงแนวคิดเพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิวและปริมาตรได้ถูกต้อง

2. ความคิดยืดหยุ่น

นักเรียนมีพัฒนาการด้านความคิดยืดหยุ่นจากวงจรปฏิบัติการที่ 1 ไปยังวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 5

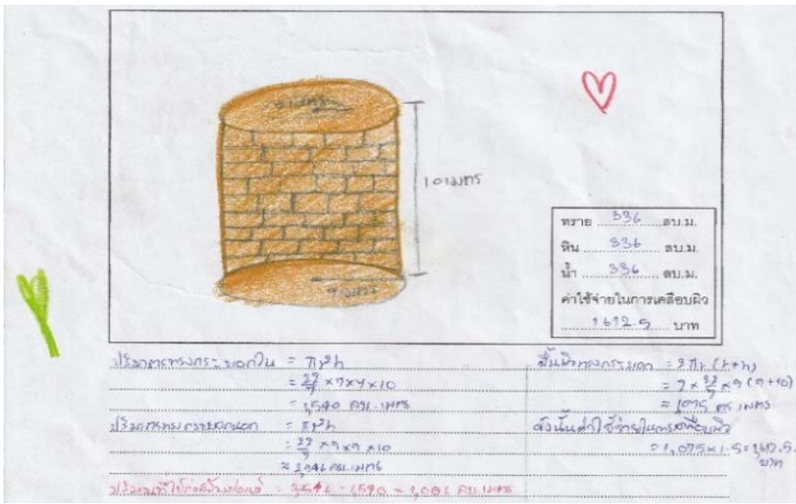
Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



ภาพที่ 5 ระดับการพัฒนาด้านความคิดยืดหยุ่นของนักเรียน ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

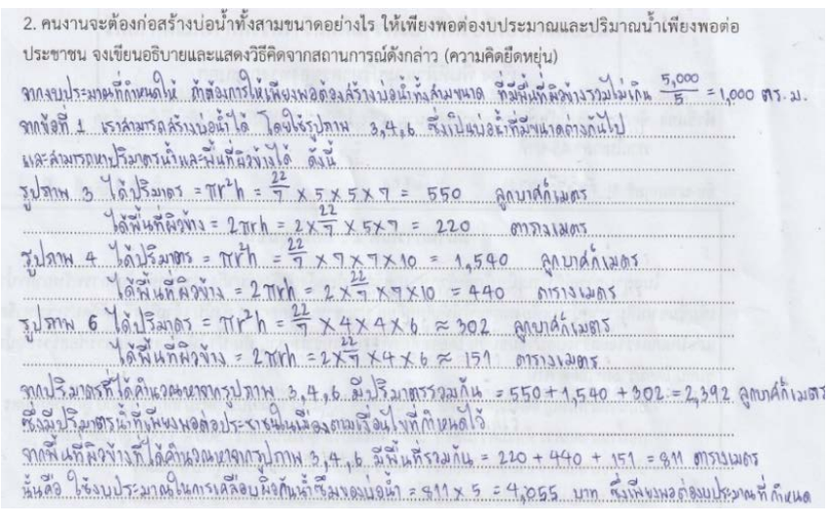
ภาพที่ 5 พบว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ข้อที่ 2 และ 3 นักเรียนร้อยละ 25 (4 คน) และร้อยละ 43.75 (7 คน) สามารถแสดงความคิดยืดหยุ่นโดยใช้มโนทัศน์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตรตามสถานการณ์ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขได้ก็ต่อเมื่อมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำและคอยดูแลอย่างใกล้ชิด แต่เมื่อให้นักเรียนคิดด้วยตนเอง พบว่านักเรียนสามารถใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ แต่มีข้อผิดพลาดมากมาย (ระดับพอใช้) มีนักเรียนร้อยละ 43.75 (7 คน) และร้อยละ 31.25 (5 คน) ที่สามารถใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ แต่มีข้อผิดพลาดบางส่วน (ระดับดี) และมีนักเรียนร้อยละ 31.25 (5 คน) และร้อยละ 25 (4 คน) ที่สามารถใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสมต่อมาในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ข้อที่ 2 และ 3 พบว่านักเรียนที่มีความคิดยืดหยุ่นระดับพอใช้ของวงจรปฏิบัติที่ 1 มีการแสดงออกถึงความคิดยืดหยุ่นที่ลดลง และมีความคิดยืดหยุ่นระดับดีและดีมากเพิ่มขึ้น ต่อมาในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า นักเรียนร้อยละ 37.50 (6 คน) มีการพัฒนาด้านความคิดยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นจากระดับดี โดยนักเรียนสามารถแสดงถึงความคิดยืดหยุ่นโดยสามารถเลือกใช้มโนทัศน์เรื่องเศษส่วนและจำนวนคละได้ตรงกับสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมด้วยตนเองได้ (ระดับดีมาก)

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ใบกิจกรรมในวงจรปฏิบัติการที่ 1 พบว่าในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นปฏิบัตินั้นนักเรียนส่วนใหญ่สามารถใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม และจากการวิเคราะห์ใบกิจกรรมในวงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่านักเรียนมีความสามารถในด้าน ความคิดยืดหยุ่นมีการลดระดับลง 2 คน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการจัดกิจกรรมในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนจะได้ปฏิบัติจริงโดยการนำความรู้เรื่องพื้นที่ผิวและปริมาตรของทรงกระบอก มาใช้ในการก่อสร้างบ่อน้ำชุมชน และในการทำแบบทดสอบเพื่อวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์นั้นใช้สถานการณ์ปัญหาเกี่ยวกับการสร้างบ่อน้ำชุมชนตามเงื่อนไขสถานการณ์ ซึ่งพบว่า นักเรียนตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ แต่มีข้อผิดพลาดบางส่วน โดยที่นักเรียนไม่ได้แสดงวิธีคิดเกี่ยวกับปริมาตรที่จะต้องนำมาใช้สร้างบ่อน้ำชุมชน ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างของใบกิจกรรมในวงจรปฏิบัติการที่ 2 แสดงการใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ แต่มีข้อผิดพลาดบางส่วน เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตรของทรงกระบอก (ระดับดี)

ส่วนนักเรียนที่มีพัฒนาการด้านความคิดยืดหยุ่นระดับดีมากนั้น ในการทำแบบทดสอบเพื่อวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ นักเรียนมีความสามารถใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม ดังภาพที่ 7



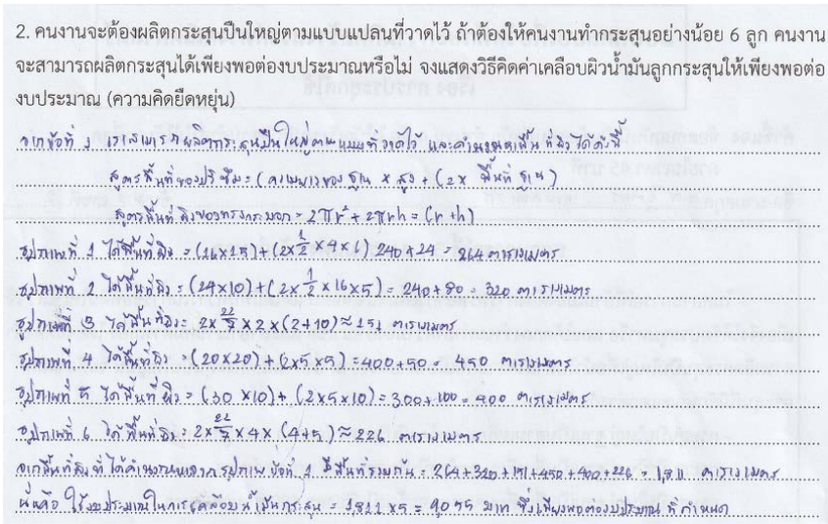
ภาพที่ 7 ตัวอย่างของแบบทดสอบในวงจรปฏิบัติการที่ 2 แสดงการใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตรของทรงกระบอก

ในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่าความสามารถในด้านความคิดยืดหยุ่นของนักเรียนที่มีพัฒนาการด้านความคิดยืดหยุ่นนั้น สามารถเลือกและให้เหตุผลในการสร้างลูกกระสุนปืนใหญ่ได้ และสามารถนำความรู้เกี่ยวกับพื้นที่ผิวและปริมาตร มาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิวและปริมาตรของลูกกระสุนปืนใหญ่ได้ โดยนักเรียนได้แสดงวิธีคิดพื้นที่ผิวและปริมาตรของลูกกระสุนปืนใหญ่ถูกต้อง แต่ยังใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเงื่อนไขของสถานการณ์ไม่ถูกต้องและยังไม่ครบถ้วน

นักเรียนที่มีความคิดยืดหยุ่นในระดับดีมาก คือสามารถทำกิจกรรมกลุ่มและร่วมมือกับสมาชิกในกลุ่มเพื่อทำงานที่ได้รับมอบหมายให้สำเร็จ อธิบายเหตุผลในการเลือกลูกกระสุนปืนใหญ่ได้หลายประเด็นและตอบคำถามตามเงื่อนไขในแต่ละสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม ส่วนในการทำแบบทดสอบเพื่อวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ในวงจรปฏิบัติที่ 3 นั้น พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ที่มีความคิดยืดหยุ่นในระดับดี พยายามใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเงื่อนไขของ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สถานการณ์ที่กำหนดให้ยังไม่ถูกต้องและยังไม่ครบถ้วนและนักเรียนที่มีความคิดยืดหยุ่นในระดับดีมาก สามารถใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม ดังภาพที่ 8


2. คนงานจะต้องผลิตกระสุนปืนใหญ่ตามแบบแปลนที่วาดไว้ ถ้าต้องให้คนงานทำกระสุนอย่างน้อย 6 ลูก คนงานจะสามารถผลิตกระสุนได้เพียงพอต่องบประมาณหรือไม่ จงแสดงวิธีคิดค่าเคลือบผิวน้ำมันลูกกระสุนให้เพียงพอต่องบประมาณ (ความคิดยืดหยุ่น)

จากข้อที่ 1 เราเห็นการผลิตกระสุนปืนใหญ่ตามแบบที่วาดไว้ และคำนวณพื้นที่ผิวได้ดังนี้

สูตรพื้นที่ของปริซึม = (ความยาวของฐาน × สูง + (2 × พื้นที่ฐาน)

สูตรพื้นที่ผิวของทรงกระบอก = $2\pi r^2 + 2\pi rh = (r + h)$

รูปภาพที่ 1 ได้พื้นที่ผิว = $(16 \times 15) + (2 \times \frac{1}{2} \times 4 \times 6)$ 240 + 24 = 264 ตารางเมตร

รูปภาพที่ 2 ได้พื้นที่ผิว = $(24 \times 10) + (2 \times \frac{1}{2} \times 16 \times 5)$ = 240 + 80 = 320 ตารางเมตร

รูปภาพที่ 3 ได้พื้นที่ผิว = $2 \times \frac{22}{7} \times 2 \times (2 + 10) \approx 151$ ตารางเมตร

รูปภาพที่ 4 ได้พื้นที่ผิว = $(20 \times 20) + (2 \times 5 \times 9)$ = 400 + 90 = 450 ตารางเมตร

รูปภาพที่ 5 ได้พื้นที่ผิว = $(30 \times 10) + (2 \times 5 \times 10)$ = 300 + 100 = 400 ตารางเมตร

รูปภาพที่ 6 ได้พื้นที่ผิว = $2 \times \frac{22}{7} \times 4 \times (4 + 5) \approx 226$ ตารางเมตร

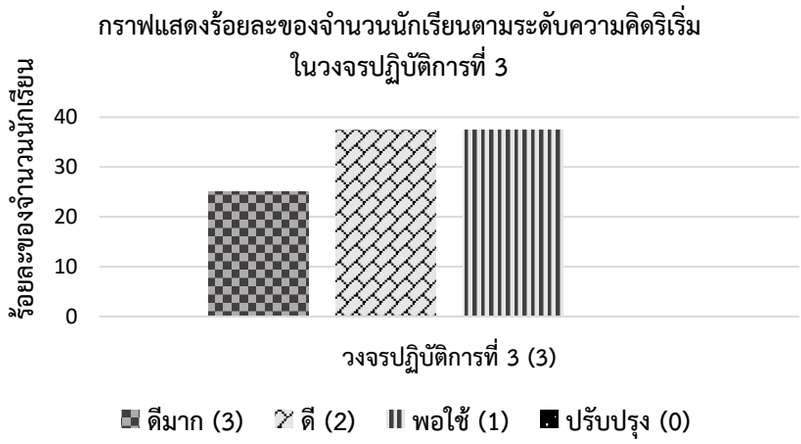
จะเห็นพื้นที่ผิวที่ได้คำนวณของรูปภาพข้อที่ 1 มีพื้นที่รวมกัน = 264 + 320 + 151 + 450 + 400 + 226 = 1811 ตารางเมตร

ดังนั้น ใช้งบประมาณในการเคลือบน้ำมันกระสุน = 1811 × 5 = 9055 บาท ซึ่งเพียงพอต่องบประมาณที่กำหนด

ภาพที่ 8 ตัวอย่างของแบบทดสอบในวงจรปฏิบัติการที่ 3 แสดงการใช้มโนทัศน์ในการตอบคำถามตามสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม เรื่อง การประยุกต์ใช้ (ระดับดีมาก)

3. ความคิดริเริ่ม

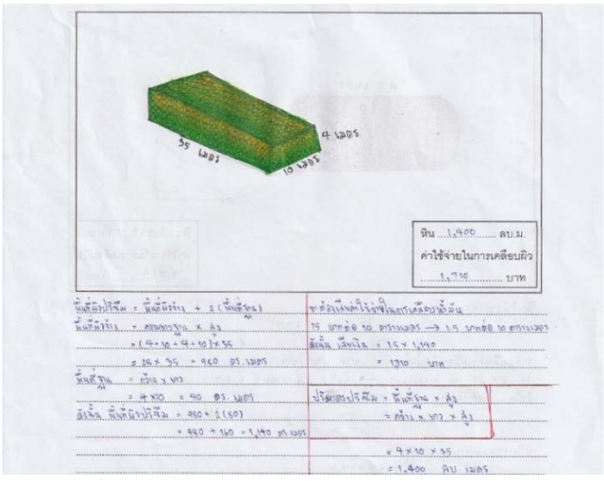
นักเรียนมีพัฒนาการด้านความคิดริเริ่มวงจรปฏิบัติการที่ 3 โดยมีรายละเอียด ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ระดับทักษะความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดริเริ่มของนักเรียน ในวงจรปฏิบัติการที่ 3

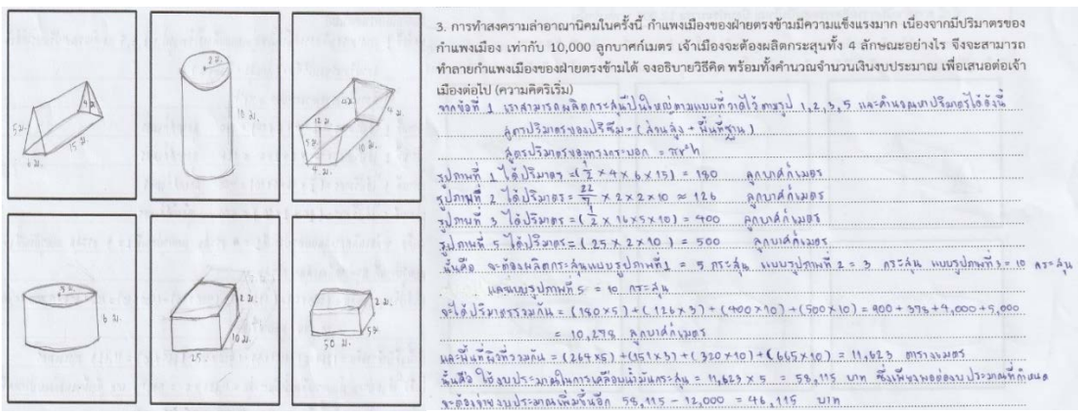
ภาพที่ 9 พบว่านักเรียนร้อยละ 37.50 (6 คน) จะสามารถมีความคิดริเริ่มได้ เมื่อมีครูคอยชี้แนะดูแลอย่างใกล้ชิด โดยนักเรียนสามารถใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ตามมโนทัศน์ที่เคยเรียนรู้มา (ระดับพอใช้) นักเรียนร้อยละ 37.50 (6 คน) นักเรียนสามารถใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ โดยพัฒนาจากข้อมูลพื้นฐาน แล้วนำมาปรับปรุงใหม่ (ระดับดี) และนักเรียนร้อยละ 25.00 (4 คน) นักเรียนสามารถใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างแปลกใหม่ แตกต่างจากผู้อื่น มีความคิดอย่างหลากหลาย และสามารถนำความรู้ไปสู่การพัฒนาตนเองได้ (ระดับดีมาก)

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ใบกิจกรรม พบว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นั้น ใบกิจกรรมที่ได้จากการปฏิบัติของนักเรียนมีลักษณะของงานที่ใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ ตามมโนทัศน์ที่เคยเรียนรู้มา และใบกิจกรรมที่ได้จากการปฏิบัติของนักเรียนมีลักษณะของงานใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ โดยพัฒนาจากข้อมูลพื้นฐาน แล้วนำมาปรับปรุงใหม่ ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตัวอย่างของใบกิจกรรมในวงจรปฏิบัติการที่ 3 แสดงการใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ โดยพัฒนาจากข้อมูลพื้นฐาน แล้วนำมาปรับปรุงใหม่ เรื่อง การประยุกต์ใช้ (ระดับดี)

จากการทดสอบเพื่อวัดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยการให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด ซึ่งนักเรียนที่มีความคิดริเริ่มระดับดีนั้นจะใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ โดยพัฒนาจากข้อมูลพื้นฐาน แล้วนำมาปรับปรุงใหม่ ส่วนนักเรียนที่มีความคิดริเริ่มในระดับดีมากนั้น จะแสดงออกถึงด้านความคิดริเริ่มผ่านการสร้างสรรค์ผลงานโดยใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างแปลกใหม่ แตกต่างจากผู้อื่น มีความคิดอย่างหลากหลาย และสามารถนำความรู้ไปสู่การพัฒนาตนเองได้ ตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ตัวอย่างของแบบทดสอบในวงจรปฏิบัติการที่ 3 แสดงการใช้ความรู้ เพื่อแก้สถานการณ์ปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างแปลกใหม่ แตกต่างจากผู้อื่น มีความคิดอย่างหลากหลาย และสามาถนำความรู้ไปสู่การพัฒนาตนเองได้ เรื่อง การประยุกต์ใช้ (ระดับดีมาก)

อภิปรายผล

เมื่อจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ นักเรียนมีการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ในเรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ที่สอดคล้องกับหลักการและงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ด้านความคิดคล่อง นักเรียนร้อยละ 12.50 ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 มีมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากพื้นฐานความรู้เดิมและพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนที่ไม่ชอบแสดงความคิดเห็นหรือแนวคิดของตนเอง ครูควรใช้คำถามกระตุ้นนักเรียนรายบุคคล เพื่อให้นักเรียนได้แสดงออกทางความคิด และหลังจากวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถอยู่ในระดับที่สามารถนำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็วขึ้น สามารถแสดงแนวคิดผ่านการตอบคำถามโดยการพูดและการเขียนได้อย่างหลากหลายขึ้น เนื่องจากนักเรียนได้ทำกิจกรรมกลุ่มในการเล่นเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ที่มีสถานการณ์ปัญหาน่าสนใจและท้าทายความสามารถของนักเรียน โดยการใช้งานทาง

คณิตศาสตร์เพื่อออกแบบการ์ดภารกิจและการ์ดหีบสมบัติ จะต้องใช้งานแบบใช้ความรู้ความจำซึ่งเป็นงานทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสำหรับการพัฒนาความคิดคล่อง ตามหลักการและแนวคิดของ Henningsen and Stein (1997) ที่ได้กล่าวว่า งานทางคณิตศาสตร์จะช่วยกระตุ้นการเข้าร่วมในการแสดงแนวคิดและทักษะเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ นำไปสู่การพัฒนาความเข้าใจและพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนและตามผลการวิจัยของ Yamkruan and Niwattanakul (2016) ที่ได้พบว่า การนำเกมเข้ามาใช้ในการจัดการเรียนการสอนนั้นสามารถจูงใจนักเรียน โดยครูสามารถนำเกมไปใช้ในการสอน เพื่อให้การสอนดำเนินไปจนบรรลุเป้าหมาย เพราะเกมเป็นกิจกรรมที่จัดสภาพแวดล้อมของนักเรียนให้เกิดการแข่งขันอย่างมีกฎเกณฑ์ และเป็นกิจกรรมเพื่อความสนุกสนาน ซึ่งทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นที่จะเรียน และสร้างบรรยากาศการเรียนการสอนที่แปลกใหม่เพื่อให้การเรียนรู้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและนักเรียนยังสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับเกมได้ตลอดระยะเวลาในการเล่นเกม ทั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ด้านความคิดคล่อง ซึ่งเห็นได้จากการตอบคำถามอย่างอิสระและการสร้างสมการได้อย่างหลากหลาย

2. ด้านความคิดยืดหยุ่น นักเรียนร้อยละ 62.50 ในวงจรปฏิบัติการที่ 3 มีความสามารถในด้านความคิดยืดหยุ่นในระดับที่สามารถเลือกแนวทางในการนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไปได้ เพราะเนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์นั้นเน้นให้นักเรียนได้ลงมือแก้สถานการณ์ปัญหาอย่างหลากหลาย จึงทำให้นักเรียนเกิดความท้าทายและต้องปรับแนวคิดให้เข้ากับสถานการณ์ตลอดเวลา ซึ่งเป็นการทำงานทางคณิตศาสตร์ที่ต้องการเชิงการรู้ในระดับสูงต้องใช้ความรู้เรื่องต่างๆ และประสบการณ์มาช่วยในการแก้ปัญหา แล้วนำการแก้ปัญหานั้นมานำเสนอหน้าชั้นเรียน ทำให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้กันในชั้นเรียน ทำให้เกิดการเรียนรู้ด้วยแนวคิดที่หลากหลายเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนสามารถปรับเปลี่ยนแนวคิดตามสถานการณ์ สามารถเลือกและนำไปใช้ได้ตรงกับสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดได้ดีขึ้น โดยการใช้งานทางคณิตศาตร์เพื่อออกแบบการ์ดภารกิจและการ์ดหีบสมบัติ จะต้องใช้งานแบบอาศัยการใช้ขั้นตอนวิธีดำเนินการและเชื่อมโยงเหมาะสำหรับการพัฒนาความคิดยืดหยุ่น ตามหลักการและแนวคิดของสมาคมครูคณิตศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกา (The National Council of Teachers of Mathematics, 2014) ที่ได้กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้งานทางคณิตศาสตร์เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาด้วยตนเอง สามารถสร้างองค์ความรู้และค้นหาวิธีการในการแก้ปัญหาที่หลากหลาย และช่วยกระตุ้นให้นักเรียนได้เกิดการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Boonchu, Phetprapatsorn and Khumraksa (2022) ที่พบว่า การระดมความคิดของนักเรียนในกลุ่มและการนำเสนอหน้าชั้นเรียน จะทำให้นักเรียนได้วิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลและนำมาใช้ในการแก้สถานการณ์ปัญหา ทำให้เกิดการส่งเสริมด้านความคิดยืดหยุ่นให้ดียิ่งขึ้นได้ แต่นักเรียนส่วนใหญ่ที่ยังไม่สามารถนำแนวคิดไปใช้ตามสถานการณ์ที่กำหนดให้ด้วยตนเองได้ อาจมีผลมาจากนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือไม่สามารถแสดงแนวคิดได้อย่างหลากหลายจึงทำให้นักเรียนไม่สามารถแก้สถานการณ์ที่มีการปรับเปลี่ยนไปได้

3. ด้านความคิดริเริ่ม นักเรียนร้อยละ 75 มีผลการพัฒนาด้านความคิดริเริ่มอยู่ในระดับดีและพอใช้ เกิดการพัฒนาด้านความคิดริเริ่มน้อย อาจเป็นผลมาจากการขาดความพร้อมของโรงเรียนขนาดเล็กที่มีครูจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์แตกต่างกัน จึงทำให้นักเรียนมีความรู้เดิมที่ไม่มากพอและมีมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน ไม่สามารถต่อยอดทางความคิดได้ ส่วนนักเรียนที่พัฒนาแล้วนั้น พบว่าแสดงแนวคิดโดยพัฒนาความรู้จากข้อมูลพื้นฐาน แล้วนำมาปรับปรุงใหม่ เพื่อใช้แก้สถานการณ์ที่กำหนดให้ เนื่องจากนักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการแก้ปัญหาในสถานการณ์ของใบกิจกรรมการ์ดภารกิจ ทำให้นักเรียนได้เกิดการเสนอแนวคิดของตนเองภายในกลุ่มและแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันในชั้นเรียน ทำให้มีแนวคิดที่หลากหลายเพิ่มขึ้น แล้วนำแนวคิดเหล่านั้นมาใช้ในการพัฒนาแนวคิดของตน รวมไปถึงนำมาพัฒนาชิ้นงานของตนให้มีความเหมาะสมและแปลกใหม่เพิ่มขึ้นได้ โดยการใช้งานทางคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบการ์ดภารกิจและการ์ดหีบสมบัติ จะต้องใช้งานแบบการใช้ความคิดขั้นสูงที่เน้นการลงมือทำซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาความคิดริเริ่ม ตามหลักการและแนวคิดของ Henningsen and Stein (1997) ที่ได้กล่าวว่า งานทางคณิตศาสตร์ที่เป็นงานที่ใช้การทำคณิตศาสตร์เป็นงานที่ต้องใช้ความคิดขั้นสูงและจะต้องออกแบบสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ และได้เกิดความคิดในการแก้ปัญหาที่จะต้องนำความรู้ ประสบการณ์ของนักเรียนมาประยุกต์ใช้ และปรับปรุงหรือสร้างแนวความคิดขึ้นมาใหม่ ที่มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำกับผู้ใด นำไปสู่การพัฒนาความคิดริเริ่มของนักเรียน และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kaewmeechai and Kijkuakul (2020) ที่พบว่า การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์อย่างสร้างสรรค์ได้นั้นจำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ดีก่อน จึงจะสามารถนำความรู้ ทักษะทางคณิตศาสตร์และประสบการณ์ของนักเรียนมาใช้แก้ไขปัญหาจนทำให้เกิดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ด้านความคิดริเริ่ม

จากการศึกษาการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ในการจัดการเรียนรู้ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ พบว่า นักเรียนมีการพัฒนาทักษะคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ด้านความคิดคล่องมากที่สุด เห็นได้จากการแสดงวิธีคิดที่หลากหลายแนวคิดทำให้ทราบถึงความคิดคล่องของนักเรียนตามด้วยทักษะความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดยืดหยุ่น เมื่อนักเรียนมีแนวคิดหลากหลายวิธีการแล้ว นักเรียนจะสามารถนำแนวคิดที่ตนเองมีมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับเงื่อนไขหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ซึ่งแสดงถึงความคิดยืดหยุ่นของนักเรียนนั่นเองและมีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้เกิดทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ด้านความคิดริเริ่มได้ เห็นได้จากการปรับใช้แนวคิดของนักเรียนที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์นั้น จะทำให้นักเรียนได้เกิดแนวคิดใหม่ๆแตกต่างจากผู้อื่น มีความคิดอย่างหลากหลายและสามารถนำความรู้ไปสู่การพัฒนาตนเองได้ การใช้งานทางคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบการ์ดภารกิจและการ์ดหีบสมบัติ จะต้องใช้งานแบบใช้ความรู้ความจำซึ่งเป็นงานทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสำหรับการพัฒนาความคิดคล่อง งานแบบอาศัยการใช้ขั้นตอนวิธีดำเนินการและเชื่อมโยงเหมาะสำหรับการพัฒนาความคิดยืดหยุ่นและงานแบบการใช้ความคิดขั้นสูงที่เน้นการลงมือทำเหมาะสำหรับการพัฒนาความคิดริเริ่ม นอกจากนี้ครูควรเลือกสถานการณ์ปัญหาที่ใช้ที่มีความสัมพันธ์กับชีวิตประจำวันและบริบทในชุมชนของนักเรียน และควรออกแบบงานทางคณิตศาสตร์ให้มีความต่อเนื่องกัน เพื่อให้นักเรียนสามารถนำประสบการณ์ของตนมาใช้ในการทำกิจกรรมได้ ควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ผ่านการนำเสนอหน้าชั้นเรียน เพื่อนำมาปรับปรุงชิ้นงานให้มีความสมบูรณ์และแปลกใหม่ยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้แสดงออกในการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์มากที่สุด การจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์สามารถพัฒนาทักษะคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ได้ เนื่องจากทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการคิดที่ซับซ้อนและต้องการองค์ประกอบเกื้อหนุนที่เหมาะสมและมีความสำคัญมากในปัจจุบัน จึงควรพัฒนาและส่งเสริมการคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ต่อไป

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

นักเรียนมีการพัฒนาด้านความคิดคล่องมากที่สุด รองลงมาคือการพัฒนาด้านความคิดยืดหยุ่นและด้านที่พัฒนาน้อยที่สุดคือด้านความคิดริเริ่ม ซึ่งการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้โดยการพัฒนาความคิดคล่องและความคิดยืดหยุ่นก่อน แล้วจะส่งผลต่อการเกิดความคิดริเริ่มตามลำดับและในการส่งเสริมให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ ได้แสดงออกถึงการคิดที่หลากหลายนั้น ครูควรใช้งานทางคณิตศาสตร์ที่มีสถานการณ์ปัญหาที่ต่อเนื่องกันและมีลักษณะที่อาศัยการใช้ขั้นตอนวิธีดำเนินการและมีการเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องในชีวิตจริงจะช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจและมีความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรมมากขึ้น และเพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดที่หลากหลายตามเป้าหมาย

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1 ครูควรสำรวจมโนทัศน์และพัฒนามในทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องในการพัฒนาต่อยอดด้านความคิดคล่องและด้านความคิดยืดหยุ่น ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาความคิดริเริ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ครูควรออกแบบสถานการณ์ปัญหาด้วยงานทางคณิตศาสตร์ที่มีความต่อเนื่อง ตามลักษณะของงานทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนพัฒนาการคิดสร้างสรรค์ได้ครบทุกองค์ประกอบภายใต้สถานการณ์ปัญหาเดียวกัน และช่วยให้นักเรียนได้นำแนวคิดที่ได้จากงานที่ใช้ความรู้ความจำและงานที่ใช้ขั้นตอนไปต่อยอดในอนาคต

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ด้วยเกมกระดานร่วมกับการใช้งานทางคณิตศาสตร์ พบว่า นักเรียนได้แสดงทักษะหลายด้านเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันเป็นทีมจนประสบความสำเร็จ ในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถศึกษาและพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีมได้ ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

2.2 เนื่องจากในการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า นักเรียนมีผลการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดริเริ่มอยู่ในระดับน้อย ในการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรพัฒนาด้านความคิดริเริ่ม ซึ่งเป็นความคิดที่จัดอยู่ระดับสูงและจำเป็นในศตวรรษที่ 21

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ คณาจารย์สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริหาร คณะผู้สอน นักเรียนและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาการวิจัยครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ขอความยินยอมโดยใช้เอกสารจากผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ และไม่ก่ออันตรายต่อผู้เข้าร่วมวิจัยและหลักความยุติธรรม

References

Archawanuntakul, S. (2016). **Board game universe, one board universe.** Bangkok: Salmon.

Boonchu, P., Phetprapatsorn, S. and Khumraksa, B. (2022). Developing of science learning activities via STEAM education approach in the topic of “Let’s Design Your Zoo” to enhance creative thinking skills of primary school students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(1), 107-123.

Cai, J. and Lester, F.K. (2010). Why is teaching with problem solving important to student learning. Retrieved June 10, 2022, from **The National Council of Teachers of Mathematics**: https://shorturl.asia/Zsw8L

Henningsen, M. and Stein, M.K. (1997). Mathematical Tasks and Student Cognition: Classroom-Based Factors That Support and Inhibit High-Level Mathematical Thinking and Reasoning. **Journal for Research in Mathematics Education.** 28(5), 524-549.

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2021). **PISA 2018 Assessment Results in Reading, Mathematics and Science.** Bangkok: IPST.

Kaewmeechai, N. and Kijkuakul, S. (2020). Hands-on Learning approach with Tasks for Grade 5 Students’ Mathematical Creativity in Fractions and Mixed Numbers (in Thai). **Journal of Kasetsart Educational Review.** 36(2), 180-190.

Kemmis and Wilkinson, M. (1998). **Participatory action research and the study of practice.** London: Routledge.

Khaemanee, T. (2018). **Teaching Science: Body of Knowledge for Effective Learning Process** (in Thai). (22nd edition). Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Ministry of Education. (2017). **Indicators and learning subjects in the core of mathematics learning subject groups. (Revised Edition B.E. 2560) According to the Core Curriculum of Basic Education B.E. 2551** (in Thai). Bangkok: Agricultural cooperative printing demonstrations of Thai co., Ltd.

Smith, M. S. and Stein, M.K. (1998). Selecting and Creating Mathematical Tasks: From Research to Practice. **Mathematics Teaching in the Middle School,** 3(5), 344-350.

Stein, M. K., Smith, M. S., Henningsen, M., and Silver, E. A. (2000). **Implementing standards - based mathematics instruction: A casebook for professional development.** New York: Teachers College Press.

The National Council of Teachers of Mathematics. (2014). **Implement Tasks That Promote Reasoning and Problem Solving,** Principles to Actions: Ensuring Mathematical Success for All Produced. VA: NCTM.

Yamkruan, L. and Niwattanakul, S. (2016). The using of game-based learning for promote mathematics process skills of 6th grade students (in Thai). **Journal of Information Science and Technology**, 7(1), 33-41.

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 320 - 332
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.28

Research Article

Effect of inquiry-based learning with GeoGebra for geometric thinking and mathematical achievement of Grade-8 students

Natthaphon Hongthong[1, *] Teerachot Lokkathat[1] and Sitthiporn Prateep[1]
[1] *Bachelor of Education Program in Mathematics, Kalasin University*
**Email: Natthaphon.ho@ksu.ac.th*

Received <5 March 2023>; Revised <31 March 2023>; Accepted <20 April 2023>

Abstract

The purposes of this research were 1) to study the geometric thinking of Mathayomsuksa 2 students using inquiry-based learning with GeoGebra, 2) to compare the learning achievements of geometric reasoning of Grade-8 students after using inquiry-based learning with GeoGebra with the criterion of 70 percent, and 3) to study student satisfaction after learning management. The simple group in this research was 20 Grade-8 students at Somdetprachanukro school in Kalasin province who were selected based on purposive sampling. The research tools instruments used lesson plans, geometric thinking tests, learning achievement tests, and satisfaction questionnaires. Data were analyzed using basic statistics and content analysis. The results showed that 1) the student's scores of geometric thinking in the test after learning were higher than 60 percent of total scores, 2) the post-Learning achievement on geometric reasoning of the Grade-8 students was higher than the 70 percent at .05 level of statistical significance, and 3) student were satisfied at high level ($\overline{x}$ = 4.45, S.D. = 0.36).

Keywords: Geometric thinking, Inquiry-based learning, GeoGebra

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ที่มีต่อการคิดเชิงเรขาคณิตและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ณัฐพล หงษ์ทอง[1,*] ธีรโชติ โลกธาตุ[1] และ สิทธิพร ประทีป[1]

[1]ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

**Email: Natthaphon.ho@ksu.ac.th*

รับบทความ: 5 มีนาคม 2566 แก้ไขบทความ: 31 มีนาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 20 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra กับเกณฑ์ร้อยละ 70 และ 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนสมเด็จประชานุเคราะห์ จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 20 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานและการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการวิจัย พบว่า 1) นักเรียนมีการคิดเชิงเรขาคณิต หลังเรียน สูงกว่าร้อยละ 60 2) นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) ความพึงพอใจของนักเรียน ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.45, S.D. = 0.36)

คำสำคัญ: การคิดเชิงเรขาคณิต การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ GeoGebra

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบมีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริง นอกจากนี้ การศึกษาคณิตศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทันสมัยและสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคม และความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในยุคโลกาภิวัตน์ (The institute for the promotion of teaching science and technology, 2017) การส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 คือการเตรียมผู้เรียนให้มีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ มีวิจารณญาณ การคิดสร้างสรรค์ การใช้เทคโนโลยี การสื่อสารและการร่วมมือ ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และคณิตศาสตร์มีส่วนสำคัญอย่างมากที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการเรียนรู้ กระบวนการคิด การตัดสินใจ สามารถเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จนั้น จะต้องเตรียมผู้เรียนให้มีความพร้อมที่จะเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ดังนั้นสถานศึกษาควรจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมตามศักยภาพของผู้เรียน (Ministry of Education, 2017) แต่ในปัจจุบันการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ยังเป็นรูปแบบเดิม คือครูผู้สอนมักจะใช้การสอนแบบบรรยายเป็นหลัก จึงทำให้ไม่เกิดความท้าท้ายต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน (Thongma, 2018) เมื่อศึกษาสภาพปัญหาในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ของโรงเรียนสมเด็จประชานุเคราะห์ พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 50 โดยเฉพาะเนื้อหาในสาระเรขาคณิต นักเรียนยังคงใช้วิธีการท่องจำทฤษฎีบทเพื่อใช้ในการสอบ ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถให้เหตุผลเชื่อมโยงกับทฤษฎีบทหรือวิธีการที่นักเรียนนำมาประกอบการทำโจทย์ได้ ทำให้การจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาการให้เหตุผลทางเรขาคณิตไม่สำเร็จเท่าที่ควร สอดคล้องกับ Hancherngchai, Inprasitha and Thinwiangthong (2017) กล่าวว่า การที่นักเรียนเน้นท่องจำเนื้อหา ไม่ได้ส่งเสริมให้นักเรียนมีประสบการณ์การคิด ที่เกี่ยวกับการคิดวิเคราะห์ พิสูจน์ให้เหตุผลและความสัมพันธ์ของมิติต่าง ๆ ซึ่งมีผลกระทบต่อการเรียนคณิตศาสตร์ในระดับสูงขึ้น และส่งผลเสียต่อการเรียนรู้ของนักเรียนสอดคล้องกับ Polya (1957) กล่าวว่า ครูคณิตศาสตร์มีโอกาสอย่างมากที่จะทำอะไรในชั้นเรียน ถ้าครูใช้เวลาที่ได้รับจัดสรรให้ด้วยการฝึกนักเรียนในการดำเนินการที่คุ้นเคย ครูกำลังทำลายความสนใจของนักเรียน ฉุดรั้งพัฒนาการทางสติปัญญาของนักเรียน และใช้โอกาสของตนเองอย่างผิดพลาด แต่ถ้าครูท้าทายความกระตือรือร้นของนักเรียน โดยการจัดเตรียมปัญหาที่เหมาะสมกับความรู้ของนักเรียน และช่วยให้นักเรียนแก้ปัญหาเหล่านั้นได้ หมายความว่าการแก้ปัญหาเป็นการฝึกให้นักเรียนคิดอย่างสร้างสรรค์ พัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหา และกระตุ้นให้เกิดการคิดเชิงวิพากษ์ หรือการให้เหตุผลเชิงวิเคราะห์ (Schoenfeld, 1992)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) หมายถึง การจัดการเรียนการเรียนการสอน โดยให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้หรือองค์ความรู้ด้วยตัวเองโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผู้สอนเป็นเพียงผู้คอยแนะนำและอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ ซึ่งรูปแบบการจัดการเรียนการรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) มี 5 ขั้น ดังนี้ ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้สถานการณ์หรือกิจกรรมบางอย่างที่น่าสนใจ โดยผู้สอนใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจอยากเรียนรู้ในหัวข้อนั้น ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นการทำความเข้าใจในประเด็นที่สนใจจะศึกษา แล้ววางแผนดำเนินการสำรวจตรวจสอบ ผ่านการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นที่ 3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบแล้วมาวิเคราะห์ แปลผลและสรุปผล รวมทั้งนำเสนอผลที่ได้ในรูปแบบต่างๆ ขั้นที่ 4 ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นการนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือข้อสรุปที่ได้ไปใช้อธิบายเหตุการณ์อื่นๆ ขั้นที่ 5 ขั้นประเมินผล (Evaluation) เป็นการประเมิน การเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อประเมินว่าผู้เรียนมีความรู้อะไรบ้าง และมากน้อยเพียงใด (U-ma *et al*., 2017) ซึ่งการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถพัฒนาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในชั้นเรียน สามารถสร้างองค์ความรู้จากการสืบเสาะด้วยตนเองได้ สอดคล้องกับ Evans and Dietrich, (2022) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) สามารถทำให้ผู้เรียนมีความคิดที่จะพัฒนาความสามารถเชิงลึก ส่งผลให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Assuah, Osei and Mantey, (2022) รายงานว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) สามารถพัฒนาให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาเรขาคณิตเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

Charnprasert (2014) กล่าวว่า ในการจัดการเรียนรู้ ครูผู้สอนคณิตศาสตร์จำเป็นต้องนำเทคโนโลยีมาบูรณาการในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนในยุคดิจิทัลที่มีลักษณะวัฒนธรรมการเรียนรู้ตามความชอบและความสนใจซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคดิจิทัล เพื่อให้ครูผู้สอนได้รู้และเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการสอนและการใช้เครื่องมือดิจิทัลเพื่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์และสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้และการบริหารชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า GeoGebra เป็นบทเรียนที่สร้างขึ้นผ่านโปรแกรมเรขาคณิตเชิงพลวัตที่ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาเรขาคณิตได้ดียิ่งขึ้น เกิดกระบวนการคิดและการให้เหตุผล Hohenwarter and Fuchs (2004) กล่าวว่า โปรแกรม GeoGebra เป็นโปรแกรมที่รวบรวบเครื่องมือในการสร้างรูปทรงเรขาคณิต พีชคณิต กราฟ สถิติ และ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

แคลคูลัสรวมไว้ในเครื่องมือเดียว ส่งผลให้ผู้เรียนใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้ แอปพลิเคชัน GeoGebra ยังให้บริการแก่ผู้ใช้ทุกคนโดยไม่เก็บค่าธรรมเนียม นอกจากนี้โปรแกรม GeoGebra สามารถช่วยให้นักเรียนเข้าใจ และมองเห็นภาพจากสื่อที่เป็นนามธรรม สามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง สามารถสนับสนุนการเรียนรู้ได้ครบทุกสาระในวิชาคณิตศาสตร์และบูรณาการวิชาอื่นเข้าด้วยกันได้ ทำให้ผู้เรียนมีโอกาสพัฒนาพหุปัญญา อันได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (Phoodee, 2020) และยังเป็นสื่อที่มีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนและสามารถนำไปใช้ได้ผ่านระบบปฏิบัติการใดก็ได้

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ที่มีต่อการคิดเชิงเรขาคณิตและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและนำไปพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้สืบต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra กับเกณฑ์ร้อยละ 70
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบแผนการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experimental Designs) โดยทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียว และทำการทดสอบหลังเรียน (One group posttest design) โดยผู้วิจัยมีระเบียบวิธีการวิจัย ดังนี้

ตารางที่ 1 แบบแผนการวิจัย

กลุ่ม	Pre - test	Treatment	Post – test
n	T_1	X	T_2

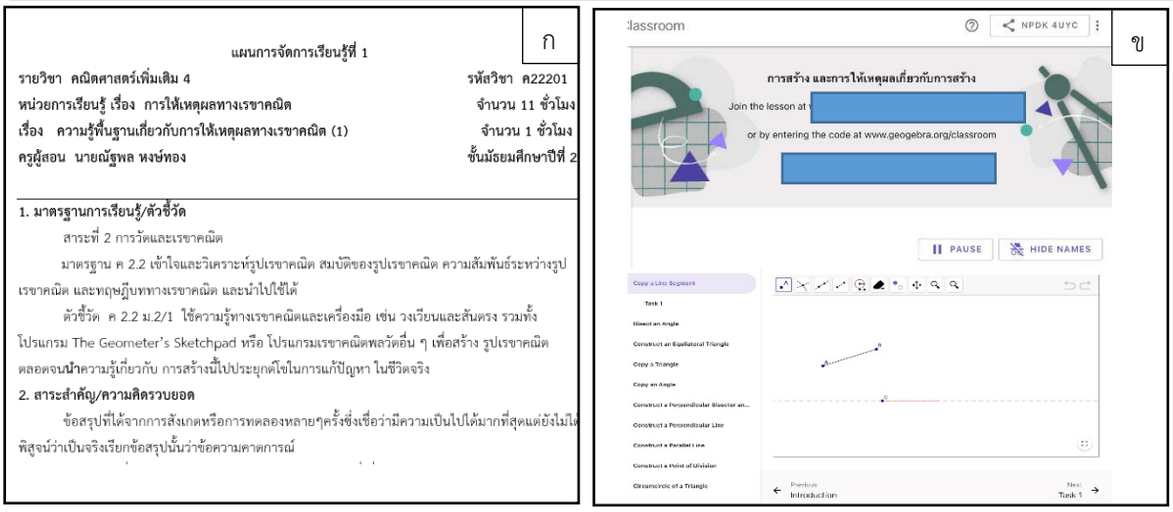
n	แทน	กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย
T_1	แทน	การทดสอบก่อนการทดลอง (Pre – test)
X	แทน	การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra
T_2	แทน	การทดสอบหลังการทดลอง (Post – test)

2. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนสมเด็จประชานุเคราะห์ จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 20 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจงนักเรียนห้องเรียนที่ผู้วิจัยสอน โดยเป็นนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 50

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra จำนวน 11 แผน แผนละ 1 คาบ รวมทั้งสิ้น 11 คาบ โดยผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 11 แผน นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาคณิตศาสตร์ จำนวน 2 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการจัดการเรียนรู้ จำนวน 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลจำนวน 1 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.23, S.D. = 0.17)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ (ก) และ GeoGebra (ข)

3.2 แบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต จำนวน 3 ชุด ประกอบด้วย

3.2.1 แบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต ฉบับย่อย เรื่อง การสร้างและการให้เหตุผลทางเรขาคณิต จำนวน 5 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวมทั้งสิ้น 20 คะแนน

3.2.2 แบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต ฉบับย่อย เรื่อง การให้เหตุผลเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยม จำนวน 5 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวมทั้งสิ้น 20 คะแนน

3.2.3 แบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 6 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวมทั้งสิ้น 24 คะแนน

โดยแบบทดสอบทุกฉบับครอบคลุมเนื้อหาการให้เหตุผลทางเรขาคณิต เพื่อวัดการคิดเชิงเรขาคณิตตามระดับการคิดทางเรขาคณิตของ Van Hiele โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนของแต่ละข้อ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนการคิดเชิงเรขาคณิตตามระดับการคิดทางเรขาคณิตของ Van Hiele

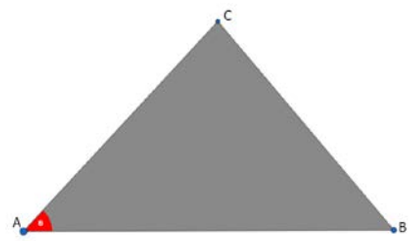
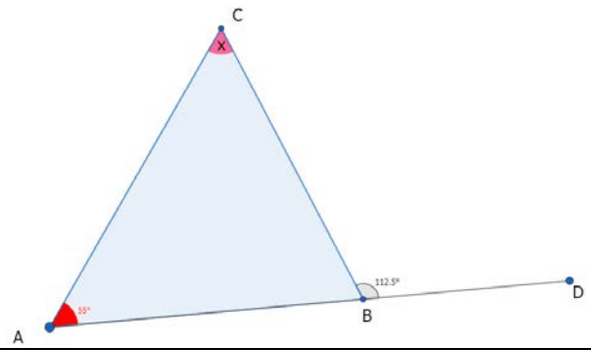
ระดับการคิด	คะแนน	การคิดเชิงเรขาคณิต
ขั้นการวิเคราะห์	0	ไม่กล่าวอ้างเหตุผลประกอบการคำตอบที่ได้
	1	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบคำตอบ โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ไม่ถูกต้อง และสื่อความหมายไม่ชัดเจน
	2	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบคำตอบ โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้องบางส่วน และสื่อความหมายไม่ชัดเจน
	3	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบคำตอบ โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้อง และสื่อความหมายไม่ชัดเจน
	4	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบคำตอบ โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้อง และสื่อความหมายชัดเจน
ขั้นการพิสูจน์แบบไม่มีแบบแผน	0	ไม่กล่าวอ้างเหตุผลประกอบการแก้ปัญหาที่ได้
	1	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบการแก้ปัญหา โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ไม่ถูกต้อง และสื่อความหมายไม่ชัดเจน
	2	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบการแก้ปัญหา โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้องบางส่วนและสื่อความหมายไม่ชัดเจน
	3	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบการแก้ปัญหา โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้อง และสื่อความหมายไม่ชัดเจน
	4	สามารถกล่าวอ้างเหตุผลประกอบการแก้ปัญหา โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้อง และสื่อความหมายชัดเจน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ระดับการคิด	คะแนน	การคิดเชิงเรขาคณิต
ขั้นการพิสูจน์แบบมีแบบแผน	0	ไม่เขียนแสดงเหตุผลประกอบการพิสูจน์
	1	เขียนพิสูจน์และให้เหตุผลโดยใช้สมบัติหรือทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องไม่ถูกต้อง ไม่เป็นขั้นตอนและไม่นำไปสู่สิ่งที่โจทย์ต้องการ
	2	เขียนพิสูจน์และให้เหตุผลโดยใช้สมบัติหรือทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องถูกต้องบางส่วน ไม่เป็นขั้นตอนและไม่นำไปสู่สิ่งที่โจทย์ต้องการ
	3	เขียนพิสูจน์และให้เหตุผลโดยใช้สมบัติหรือทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องถูกต้องบางส่วน เป็นขั้นตอนเพื่อนำไปสู่สิ่งที่โจทย์ต้องการ
	4	เขียนพิสูจน์และให้เหตุผลโดยใช้สมบัติหรือทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องถูกต้องทั้งหมด เป็นขั้นตอนเพื่อนำไปสู่สิ่งที่โจทย์ต้องการ

3.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต จำนวน 6 ข้อ ข้อละ 5 คะแนน รวมทั้งสิ้น 30 คะแนน ครอบคลุมจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ต้องการวัด และเนื้อหาที่ต้องการวัด โดยผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 10 ข้อ นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาคณิตศาสตร์ จำนวน 2 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 2 ท่าน โดยมีค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) ระหว่าง 0.67 – 1.00 จากนั้นนำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายเพื่อหาคุณภาพของแบบทดสอบ โดยคัดเลือกแบบทดสอบจำนวน 6 ข้อ ที่มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.20 – 0.80 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.20 – 1.00 ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบแบบทดสอบโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค มีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.82 (ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	จำนวน	ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์
สร้างรูปตามที่กำหนดและให้เหตุผลเกี่ยวกับการสร้าง	5	จงสร้างรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว PQR ที่มีฐาน PQ ยาวเท่ากับ AB และมุมยอดมีขนาดเท่ากับ a^{o} (มุมสีแดง) 
ใช้สมบัติหรือทฤษฎีบทที่เกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยมมาใช้ในการให้เหตุผล และนำไปใช้จริง	15	จากรูป จงหาค่ามุม X พร้อมแสดงเหตุผล 

3.4 แบบสอบถามความพึงพอใจ ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra จำนวน 4 ด้าน ด้านละ 5 ข้อ รวมทั้งสิ้น 20 ข้อ เป็นแบบประเมินค่า 5 ระดับ โดยผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามความพึงพอใจ

จำนวน 20 ข้อ นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 2 ท่าน โดยมีค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) ระหว่าง 0.67 – 1.00

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนสมเด็จประชานุเคราะห์ จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 20 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

4.1 ปฐมนิเทศนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย ชี้แจงจุดประสงค์ และขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra

4.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra กับกลุ่มเป้าหมาย สัปดาห์ละ 3 คาบ รวมทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ โดยเมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผู้วิจัยนักเรียนทดสอบความสามารถในการให้เหตุผลด้วยแบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต ฉบับย่อย

4.3 ดำเนินการทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและวัดการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียน และประเมินความพึงพอใจของนักเรียน หลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้

4.4 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และนำเสนอผลการวิจัยในลำดับต่อไป

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ผลการศึกษาการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ด้วยสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์เนื้อหา

5.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ด้วยสถิติทดสอบที (t-test for one sample)

5.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ด้วยสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นแปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับ GeoGebra ที่มีต่อการคิดเชิงเรขาคณิตและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยแบ่งการสรุปผลออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

ตอนที่ 1 การคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างรับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

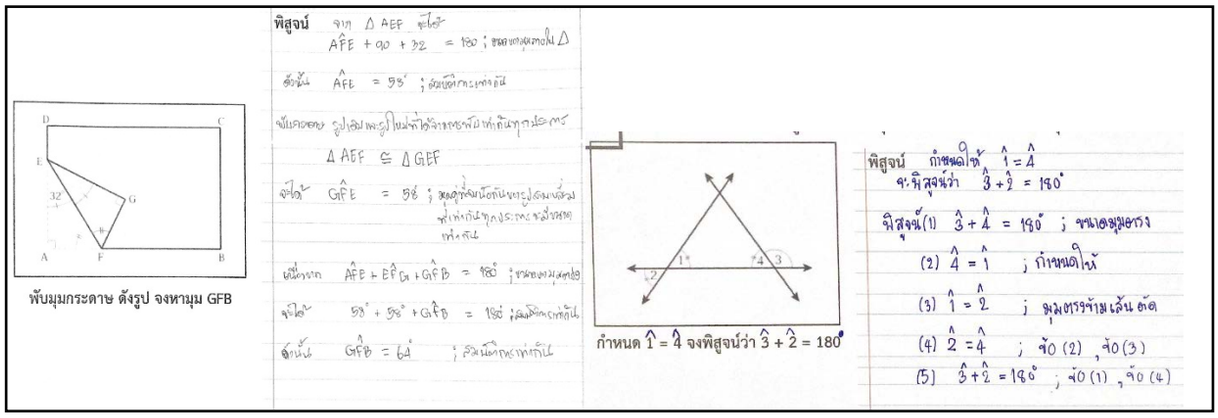
ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลการศึกษาการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างรับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra จากแบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต ฉบับย่อย ด้วยสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลปรากฏดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างรับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

เนื้อหา	การคิดเชิงเรขาคณิตตามระดับการคิดทางเรขาคณิตของ Van Hiele	คะแนนการให้เหตุผลทางเรขาคณิตของนักเรียน		
		คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	ร้อยละ
การสร้างและการให้เหตุผลทางเรขาคณิต	ขั้นการวิเคราะห์	12	10.05	83.75
	ขั้นการพิสูจน์แบบไม่มีแบบแผน	8	5.70	71.25
	ขั้นการพิสูจน์แบบมีแบบแผน	4	2.75	68.75
การให้เหตุผลเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยม	ขั้นการวิเคราะห์	12	10.50	87.50
	ขั้นการพิสูจน์แบบไม่มีแบบแผน	8	4.8	60.00
	ขั้นการพิสูจน์แบบมีแบบแผน	4	2.75	68.75

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

จากตารางที่ 4 พบว่า หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra นักเรียนสามารถทำคะแนนได้สูงกว่าร้อยละ 60 ทุกระดับขั้นการขั้นทางเรขาคณิตของ Van Hiele



ภาพที่ 2 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในการให้เหตุผลทางเรขาคณิต

จากภาพที่ 2 พบว่า นักเรียนสามารถแสดงเหตุผลประกอบคำตอบ โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้อง แต่ยังสื่อความหมายไม่ชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้จากการที่นักเรียนสามารถระบุคำตอบ และเหตุผลที่สมเหตุสมผลได้ และในขั้นการพิสูจน์แบบไม่มีแบบแผน จะเห็นว่านักเรียนสามารถวางแผนแก้ไขปัญหาและให้เหตุผลในสิ่งที่จะพิสูจน์ได้ แต่ยังมีบางส่วนที่ยังสื่อความหมายไม่ชัดเจน ซึ่งอาจนำไปสู่ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน นอกจากนี้นักเรียนยังสามารถเขียนพิสูจน์แบบมีแบบแผนโดยสามารถให้เหตุผลโดยใช้สมบัติหรือทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ และสื่อความหมายอย่างชัดเจน

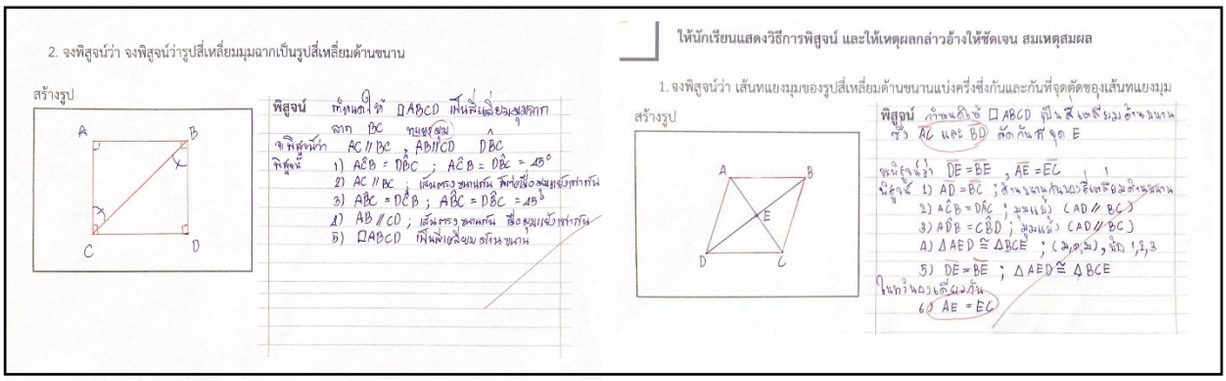
ตอนที่ 2 การคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลการศึกษาการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra จากแบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต ด้วยสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลปรากฏดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

การคิดเชิงเรขาคณิตตามระดับการคิดทางเรขาคณิตของ Van Hiele	**คะแนนการให้เหตุผลทางเรขาคณิตของนักเรียน**		
	คะแนนเต็ม	**คะแนนเฉลี่ยที่ได้**	**ร้อยละ**
ขั้นการวิเคราะห์	12	8.21	68.42
ขั้นการพิสูจน์แบบไม่มีแบบแผน	8	4.96	62.00
ขั้นการพิสูจน์แบบมีแบบแผน	4	2.42	60.5

จากตารางที่ 5 พบว่า นักเรียนมีการคิดเชิงเรขาคณิต หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra สูงกว่าร้อยละ 60 ในทุกระดับการคิดทางเรขาคณิตของ Van Hiele



ภาพที่ 3 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบทดสอบวัดการคิดเชิงเรขาคณิต

จากภาพที่ 3 เมื่อผู้วิจัยได้วิเคราะห์คำตอบของผู้เรียน พบว่า นักเรียนระบุข้อความที่สมเหตุสมผลเพื่อใช้ประกอบที่มาของคำตอบ มีการกล่าวอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าบางส่วนจะยังสื่อความหมายของเหตุผลไม่ชัดเจน แต่ยังสามารถระบุเหตุผลในขั้นตอนของการพิสูจน์ได้

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra กับเกณฑ์ร้อยละ 70

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ด้วยสถิติทดสอบที (t-test for one sample) ผลปรากฏดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

คะแนน	n	คะแนนเต็ม	$\overline{x}$	S.D.	ร้อยละ	t	p
หลังเรียน	20	30	21.23	0.21	70.77	3.27*	.00

* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 21.23 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 70.77 กล่าวคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ด้วยสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นแปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ผลปรากฏดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra

ความพึงพอใจของนักเรียน	$\overline{x}$	S.D.	แปลผล
ด้านครูผู้สอน	4.42	0.21	พึงพอใจมาก
ด้านการจัดการเรียนรู้	4.53	0.15	พึงพอใจมากที่สุด
ด้านการวัดและประเมินผล	4.37	0.37	พึงพอใจมาก
รวม	4.45	0.36	พึงพอใจมาก

จากตารางที่ 7 พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.45, S.D. = 0.36) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุดในด้านการ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

จัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.53, S.D. = 0.15) รองลงมาคือ ด้านครูผู้สอนอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.42, S.D. = 0.21) ด้านการวัดและประเมินผลอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.37, S.D. = 0.37) ตามลำดับ

อภิปรายผล

การศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับ GeoGebra ที่มีต่อการคิดเชิงเรขาคณิตและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยมีประเด็นมาอภิปรายผล ดังนี้

1. ผลการศึกษาการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra พบว่า นักเรียนมีการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra สูงกว่าร้อยละ 60 เมื่อพิจารณาจากการทำแบบทดสอบฉบับย่อย ของนักเรียน จะเห็นว่าสามารถแสดงเหตุผลประกอบคำตอบ โดยอ้างทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ถูกต้อง แต่ยังสื่อความหมายไม่ชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้จากการที่นักเรียนสามารถระบุคำตอบ และเหตุผลที่สมเหตุสมผลได้ และในขั้นการพิสูจน์ แบบไม่มีแบบแผน จะเห็นว่านักเรียนสามารถวางแผนแก้ไขปัญหาและให้เหตุผลในสิ่งที่จะพิสูจน์ได้ แต่ยังมีบางส่วนที่ยังสื่อความหมายไม่ชัดเจน ซึ่งอาจนำไปสู่ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน นอกจากนี้นักเรียนยังสามารถเขียนพิสูจน์แบบมีแบบแผนโดยสามารถให้เหตุผลโดยใช้สมบัติหรือทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องได้ และสื่อความหมายอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นได้ผ่านการประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญ ตลอดจนมีการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ อีกทั้งการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สืบเสาะหาความรู้ สามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ตลอดจนมีความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหาดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเรขาคณิต สอดคล้องกับ Korkmaz and Yilmaz (2022) รายงานว่า กิจกรรมคณิตศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้มีส่วนช่วยในทักษะการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียน โดยกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ มีการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติ สืบค้น หาข้อค้นพบด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนมีทักษะในการคิดเชิงเรขาคณิตสูงขึ้น สอดคล้องกับ Siew, Chong and Abdullah (2013) พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติจริงและแนวทางการสืบเสาะช่วยให้นักเรียนสามารถเสริมทักษะการสร้างภาพและการวิเคราะห์ และเกิดของการคิดเชิงเรขาคณิต สอดคล้องกับ Mensah-Wonkyi and Adu (2016) พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ส่งผลให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีเรขาคณิตมากยิ่งขึ้น เนื่องจาก การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจในการเรียน นักเรียนได้รับการกระตุ้นจากครูผู้สอนจนกระทั่งสามารถค้นพบข้อสรุปด้วยตนเอง ทำให้เกิดองค์ความรู้ที่คงทน ประกอบกับการจัดการเรียนรู้นี้มีการใช้ GeoGebra เข้ามามีส่วนช่วยในการสืบเสาะของนักเรียน ซึ่งถือเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนมองเห็นภาพ สามารถกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน อีกทั้งการใช้สื่อเรขาคณิตเชิงพลวัตรเข้ามาช่วยยังเป็นการลดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นกับผู้เรียนได้ ส่งผลให้นักเรียนสามารถสรุปองค์ความรู้ได้อย่างรวดเร็ว และมีระดับการคิดเชิงเรขาคณิตที่สูงขึ้น สอดคล้องกับ Vojkuvkova (2012) กล่าวว่า การพัฒนาความคิดเชิงเรขาคณิตอย่างเป็นลำดับชั้นโดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองภาพ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงนามธรรม ด้วยการค้นพบด้วยตนเอง ช่วยให้พวกนักเรียนบรรลุความเข้าใจและมีการคิดเชิงเรขาคณิตที่ดีขึ้น สอดคล้องกับ ที่รายงานว่า ผลการใช้ซอฟต์แวร์เรขาคณิต GeoGebra สามารถส่งเสริมระดับความคิดทางเรขาคณิตของ Van Hiele เนื่องจาก โปรแกรม GeoGebra เป็นโปรแกรมเชิงพลวัตที่ผู้เรียนสามารถสืบค้นและศึกษาเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนเกิดความสนใจและเข้าใจเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเรขาคณิตมากขึ้น

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra กับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 21.23 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 70.77 กล่าวคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นการดำเนินการเรียนรู้ ที่ครูผู้สอนออกแบบการเรียนรู้กระตุ้นให้นักเรียนเกิดข้อคำถาม เกิดความคิด และลงมือเสาะแสวงหาความรู้ เพื่อนำมาประมวลหาคำตอบหรือข้อสรุปด้วยตนเอง สอดคล้องกับ Jerrim, Oliver and Sims (2022) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นการสนับสนุนให้นักเรียนได้รับความรู้ทางอ้อมโดยการทดลองศึกษาเรียนรู้ด้วยตนเองแทนที่จะรับความรู้โดยตรงจากครูผู้สอน ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สนุกสนาน ไม่กดดัน สอดคล้องกับ Atoyebi and Atoyebi (2022) พบว่า การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นวิธีการสอนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง แนวทางการสอนโดยใช้ประเด็นปัญหาเป็นฐาน เพื่อให้นักเรียนค้นหาแนวทางสร้างสรรค์ และค้นพบกลยุทธ์แนวทางการแก้ปัญหาด้วยตนเอง ช่วยลดความวิตกกังวลในการเรียนคณิตศาสตร์ และสร้างสภาพแวดล้อมเชิงบวกและเป็นมิตรแก่ผู้เรียน ส่งผลให้

ผู้เรียนมีพัฒนาการในการเรียนรู้สูงขึ้น ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนสืบเสาะข้อมูลผ่าน GeoGebra ซึ่งเป็นสื่อการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์ นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายยิ่งขึ้น ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น สอดคล้องกับ Khansila *et al*. (2022) พบว่า กิจกรรมการเรียนรู้ GeoGebra นักเรียนสามารถออกแบบและวางแผนแนวทางการแก้ปัญหาทางเรขาคณิต นักเรียนรู้สึกสนุกกับการใช้ GeoGebra ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Kanachan *et al*. (2020) พบว่า การใช้สื่อคอมพิวเตอร์ โปรแกรม GeoGebra ทำให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้น ตื่นเต้นและสนุกสนานกับการแก้ปัญหา อีกทั้งผู้เรียนสามารถเขียนภาพปรับเปลี่ยนค่าและรูปร่างได้ตามจินตนาการ รวมถึงการวางแผน และการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม GeoGebra

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.45, S.D. = 0.36) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ นักเรียนเกิดอิสระในการดำเนินกิจกรรมสืบค้นด้วยตนเอง ส่งผลให้ผู้เรียนมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ Murphy, Abu-Tineh, Calder and Mansour (2021) รายงานว่า จากการศึกษาความเห็นของครูและนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เห็นได้ว่าครูและนักเรียนมีมุมมองร่วมกันว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะนั้น เป็นการค้นพบอิสระที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อตัวนักเรียนที่จะได้พัฒนาศักยภาพของตนเอง นอกจากนี้การสืบเสาะหาความรู้ผ่านบทเรียน GeoGebra ยังเป็นการอำนวยความสะดวกแก่นักเรียน ส่งผลให้นักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ Worasarn, Nongharnpituk and Khansila (2019) รายงานว่า ความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ที่ใช้โปรแกรม GeoGebra เป็นสื่อการเรียนรู้ที่มีความน่าสนใจ มีความแปลกใหม่ มีความไม่ยุ่งยากซับซ้อนของการใช้โปรแกรม GeoGebra นักเรียนสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงเกิดความสนุกสนานในเวลาเรียน สอดคล้องกับ Zafra-Gómez, Román-Martínez and Gómez-Miranda (2015) รายงานว่า ความพึงพอใจของนักเรียนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในเชิงบวกกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เนื่องจาก นักเรียนมีส่วนร่วมมากขึ้นในการเรียนรู้และได้รับความรู้เพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra พบว่า นักเรียนมีการคิดเชิงเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra สูงกว่าร้อยละ 60

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra กับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การให้เหตุผลทางเรขาคณิต หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับ GeoGebra สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับ GeoGebra ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.45, S.D. = 0.36)

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. การใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ผ่านบทเรียน GeoGebra ครูเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นและเสริมสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียน ดังนั้นครูควรจัดเตรียมกระบวนการเรียนรู้ เตรียมตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นและเสริมแรงจูงใจไว้ล่วงหน้า มีการช่วยเหลือผู้เรียนในช่วงเวลาที่เหมาะสม เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้เวลาในการสืบเสาะ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถคิดวิเคราะห์และหาแนวทางในการแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ผ่านบทเรียน GeoGebra ที่มีการพัฒนาทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ด้านอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับบริบทของครู นักเรียน และโรงเรียน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะและทางคณิตศาสตร์ในด้านต่าง ๆ

2. ควรการศึกษาถึงตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจผลต่อการเรียนของผู้เรียนหลังการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ผ่านบทเรียน GeoGebra เช่น เจตคติ ความสนใจและความคงทนในการเรียนรู้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ต้องขอขอบพระคุณอย่างสูงในความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ภัทรียา ลาสุนนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทวัญ เริ่มสูงเนิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณรัตน์ ก้วยเจริญพานิชก์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการเสนอแนะในการทำวิจัยและการพัฒนานวัตกรรมเพื่อใช้ในการทำวิจัย ตลอดจนผู้บริหาร คณะครู นักเรียนที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

References

Assuah, C. K., Osei, L. and Mantey, G. K. (2022). The Effect of Inquiry-based Learning on Senior High School Students' Achievement in Plane Geometry: Pre-test-Post-test Randomized Experimental Design. **Asian Research Journal of Mathematics**, 18(11), 320-331.

Atoyebi, S. B. and Atoyebi, O. M. (2022). The link between mathematics teaching strategies and students' anxiety. **Asian Journal of Education and Social Studies**, 33(4), 48-57.

Charnprasert, S. (2014). Active learning: Learning management in the 21stcentury. **IPST magazine**, 42(188), 3-6.

Evans, T. and Dietrich, H. (2022). Inquiry-based mathematics education: a call for reform in tertiary education seems unjustified. **arXiv preprint arXiv**, 2(3), 221-244

Hancherngchai, S., Inprasitha, M. and Thinwiangthong, S. (2017). Mathematics Teacher Education Program for 21st Century. **HRD JOURNAL**, 8(1), 55-66.

Hohenwarter, M. and Fuchs, K. (2004). Combination of dynamic geometry, algebra and calculus in the software system GeoGebra. **In Computer algebra systems and dynamic geometry systems in mathematics teaching conference**, 1-6.

Jerrim, J., Oliver, M. and Sims, S. (2022). The relationship between inquiry-based teaching and students' achievement. New evidence from a longitudinal PISA study in England. **Learning and Instruction**, 80, 101310.

Kanachan, J., Kaewkhamson, K., Nongharnpituk, P. and Khansila, P. (2020). A study of learning achievement in the applications of derivative topic for Grade-12 students taught by incorporating GeoGebra program into mathematics problem-solving based on Polya's method (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(1), 73-83.

Khansila, P., Yonwilad, W., Nongharnpituk, P. and Thienyutthakul, S. (2022). Improving Academic Performance in Geometry Using a Mastery Learning Approach through GeoGebra. **Journal of Educational Issues**, 8(2), 876-894.

Korkmaz, H. I. and Yilmaz, A. (2022). Inquiry-based mathematics activities to improve children's geometric and spatial thinking skills. **Turkish Journal of Education**, 11(3), 143-161.

Murphy, C., Abu-Tineh, A., Calder, N. and Mansour, N. (2021). Teachers and students' views prior to introducing inquiry-based learning in Qatari science and mathematics classrooms. **Teaching and teacher education**, 104, 103367.

Mensah-Wonkyi, T. and Adu, E. (2016). Effect of the inquiry-based teaching approach on students' understanding of circle theorems in plane geometry. **African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences**, 12(1), 61-74.

Ministry of Education. (2017). **Indicators and Core Content Mathematics Department (Revised Version B.E. 2560, A.D.2017) The Basic Education Care Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008).** (in Thai). The Agricultural Cooperative Federation of Thailand Limited.

Phoodee, W. (2020). Mathematics instruction in digital age: Methods and tools (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 190-199

Polya, G. (1957). **How to solve it: A new aspect of mathematical method.** Princeton N.J: Princeton University Press.

Schoenfeld, A. H. (1992). **Learning to think mathematically: problem solving, metacognition, and sense making in mathematics**, New York: Macmillan Publishing.

Siew, N. M., Chong, C. L. and Abdullah, M. R. (2013). Facilitating students' geometric thinking through van Hiele's phase-based learning using tangram. **Journal of Social Sciences**, 9(3), 101-111.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2017). A guide to using the curriculum to learn mathematics (revised version B.E. 2560) according to the core curriculum for basic education, 2008. Retrieved 1 April 2020, from **SciMath**: https://www.scimath.org/ebook-mathematics/item/8380-2560-2551-8380.Thongma, T. (2018). Mathematics learning resources for mobile learning in digital age (in Thai). **Journal of Educations studies, Chulalongkorn University**, 46(1), 251-256.

U-ma, A. Mopan, N. Lateh, A. and Saree, O. (2017) Effect of 5Es Inquiry-based Learning of Chemical Equilibrium on Mental Models, Chemistry Achievement and Satisfaction of Grade 11 Students (in Thai). **Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus**, 30(1), 181-194

Vojkuvkova, I. (2012). The van Hiele model of geometric thinking. **WDS'12 Proceedings of Contributed Papers**, 1, 72-75.

Worasarn, J., Nongharnpituk, P. and Khansila, P. (2019). Development of learning activities emphasizing mathematical processes using GeoGebra program on system of linear equations with two variables topic for grade-9 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 2(1), 34 -42.

Zafra-Gómez, J. L., Román-Martínez, I. and Gómez-Miranda, M. E. (2015). Measuring the impact of inquiry-based learning on outcomes and student satisfaction. **Assessment & Evaluation in Higher Education**, 40(8), 1050-1069.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 333 - 343
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.29

Research Article

The effect of Mathematics learning activities by using GeoGebra in topic parabola for grade-9 students

Phuwanat Nakpradit[1], Prapaporn Nongharnpituk[2] and Paweena Khansila [2,*]
[1]Bachelor of Education Program in Mathematics, Kalasin University
[2]Department of Mathematics, Faculty of Education and Educational Innovation, Kalasin University
**Email: paweena.kh@ksu.ac.th*

Received <4 February 2023>; Revised <4 April 2023>; Accepted <21 April 2023>

Abstract

The objectives of this research were to 1) develop mathematics learning achievement by using GeoGebra on Parabola of grade 9 students after receiving the learning management compared to the criteria of 70 percent, 2) compare the achievements of the students before and after implementing the learning activities, and 3) study students' satisfaction with learning activities using GeoGebra program. The sample for this research was thirty-eight students in grade 9 during the first semester of the academic year 2022. They were selected by cluster sampling. The instruments were 13 lesson plans, 30 multiple-choice learning achievement tests, and 16 questions of a satisfaction questionnaire. The statistics for data analysis are percentage, mean, standard deviation, and t-test for dependent. The research results found as follows: 1) Results of learning activities using the GeoGebra program on academic achievement had an average of 23.21, which was higher than the 70 percent criterion at a statistically significant level of .05. 2) The students' learning achievement after learning was higher than before learning at the .05 level of statistical significance. 3) Students' satisfaction with learning activities was high, with an average of 4.16.

Keywords: Mathematics learning activities, Parabola, GeoGebra program, Satisfaction

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ภูวนัตถ์ นาคประดิษฐ์[1] ประภาพร หนองหารพิทักษ์[2] และ ปวีณา ขันธ์ศิลา [2,*]

[1]หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

[2]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

**Email: paweena.kh@ksu.ac.th*

รับบทความ: 4 กุมภาพันธ์ 2566 แก้ไขบทความ: 4 เมษายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 21 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และ 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 28 คนซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 13 แผนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบปรนัย เลือกตอบชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ จำนวน 1 ฉบับ มีข้อคำถามทั้งหมด 16 ข้อ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ การทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติที (t-test) ซึ่งผลการวิจัยพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา หลังได้รับการจัดการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย 23.21 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย 4.16 ซึ่งอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: กิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ พาราโบลา โปรแกรมจีโอจีบรา ความพึงพอใจ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

คณิตศาสตร์มีความสำคัญต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เพราะช่วยให้มนุษย์คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ เป็นแบบแผน เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ อีกทั้งยังสามารถช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ และแก้ไขปัญหาในแต่ละบริบท ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในการใช้ชีวิต ประการสุดท้ายคณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการศึกษาศาสตร์อื่น ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ นิติศาสตร์และรัฐศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปศาสตร์ เป็นต้น อันเป็นรากฐานในการพัฒนามนุษย์ เศรษฐกิจและสังคมทำให้โลกมีความเจริญรุ่งเรืองอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นว่าคณิตศาสตร์มีบทบาทที่สำคัญต่อการพัฒนาในทุกด้าน (Ministry of Education, 2017)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิชาคณิตศาสตร์จะมีความสำคัญต่อการใช้ชีวิต และการประกอบอาชีพมากเพียงใด แต่ยังมีผู้เรียนอยู่จำนวนมาก ที่ยังคงไม่ชอบ เรียนวิชาคณิตศาสตร์ มีความเครียด ความเบื่อ ความไม่สบายใจ และความวิตกกังวลที่เกิดจากการเรียนคณิตศาสตร์ จนทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกท้อ ไม่ประสบความสำเร็จ และ ขาดแรงจูงใจ ในการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ซึ่งก่อให้เกิด ปัญหาระยะยาวในการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ และอาจจะส่งผลไปยังการเรียนในวิชาอื่นด้วย (Saethow, 2019; Latdasawat *et al*., 2021) กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) กำหนดการจัดการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจะต้องอาศัยความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับธรรมชาติวัยรุ่น มีความเชื่อมั่นในศักยภาพของผู้เรียน มุ่งหวังให้ผู้เรียนทุกคนมีความรู้และทักษะที่จำเป็น และเพียงพอกับการดำรง ชีวิตในโลกอนาคต ที่มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รวมถึงการศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น อีกทั้งสนับสนุนให้ทุกคนมีสิทธิ์ในการเรียนรู้และให้โอกาสในการเรียนรู้ในบริบทที่ท้าทาย (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2017)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เป็นเครื่องมือหรือสื่อจะช่วยให้การจัดกิจกรรมที่มีเนื้อหาเป็นนามธรรม ทำให้เห็นชัดเป็นรูปธรรมมากขึ้น โดยโปรแกรมจีโอจีบรามีคุณสมบัติเด่นที่สามารถเคลื่อนไหว พลิกหมุน หรือเปลี่ยนค่าของฟังก์ชัน ทำให้นักเรียนสามารถสังเกตเห็นสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างสมการและกราฟ ได้อย่างชัดเจน (Yongtangrue, 2016) ซึ่งโปรแกรมจีโอจีบรา เป็นโปรแกรมคณิตศาสตร์เชิงพลวัต ที่รวมโปรแกรมทางเรขาคณิต พีชคณิต และแคลคูลัสไว้ด้วยกัน แล้วยังสามารถสร้างชิ้นงานเปลี่ยนแปลงแบบพลวัตได้ การใช้โปรแกรมจีโอจีบราสามารถบูรณาการกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์เพิ่มช่วยพัฒนาศักยภาพของนักเรียนและครูผู้สอน อีกทั้ง ยังเป็นแนวทางในการค้นคว้าเพิ่มเติม และนำแนวคิดที่ได้ไปจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในชั้นเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองตามความสามารถของตน ส่งผลให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์มีความคิดสร้างสรรค์ มีจินตนาการ เกิดทักษะ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2017) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ ได้แก่ 1) ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 2) ขั้นทำกิจกรรมการเรียนรู้ และ 3) ขั้นสรุป (Thipraksa, 2017; Muangpathom, 2014)

จากสภาพปัญหาบริบทโรงเรียน ที่ผู้วิจัยได้ใช้ศึกษาซึ่งกลุ่มประชากรเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ข้อมูลการสัมภาษณ์ครูผู้สอนในรายวิชา คณิตศาสตร์เพิ่มเติม ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ส่วนใหญ่ยังมีปัญหาการเรียนรู้ เรื่อง พาราโบลา เนื่องจากเนื้อหาค่อนข้างเป็นนามธรรม เข้าใจยาก จึงทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ร้อยละ 70 จากการทดสอบในรายวิชาที่ผู้ให้สัมภาษณ์ทำการสอน โดยใช้แบบทดสอบในการวัด (Tewarit, 2021) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้นักเรียนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์นั้น นอกจากความยากในการเรียนรู้เนื้อหาตามที่กล่าวมาแล้วนั้น อาจมีสาเหตุเพิ่มเติมจากการที่นักเรียนไม่มีแรงจูงใจในการเรียน ส่งผลให้เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน (Saisin *et al*, 2019) มากกว่านั้นการทดสอบระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) วิชาคณิตศาสตร์ของโรงเรียน ปีการศึกษา 2562-2564 พบว่า ในวิชาคณิตศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยที่ต่ำเมื่อเทียบกับคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศ ดังนี้ ผลการทดสอบ O-Net ปี 2562 รายวิชาคณิตศาสตร์ มีคะแนนเฉลี่ย 21.32 ผลการทดสอบ O-Net ปี 2563 รายวิชาคณิตศาสตร์ มีคะแนนเฉลี่ย 23.35 และผลการทดสอบ O-Net ปี 2564 รายวิชาคณิตศาสตร์ มีคะแนนเฉลี่ย 19.96 (National Institute of Educational Testing Service, 2021)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ซึ่งมีเป้าหมาย เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนนอกจากนี้ยังได้มีการสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยหวังว่ากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบราที่พัฒนาขึ้นจะส่งผลเชิงบวกต่อการเรียนรู้ของนักเรียน ซึ่งทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนส่งผลให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครู และผู้เรียนบรรลุผลสำเร็จตามที่ได้กำหนดไว้จะเป็นแนวทางให้ครูผู้สอนสามารถนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบการสอนสำหรับสอนเนื้อหาอื่นต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา

3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง พาราโบลา โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi - Experimental Research) โดยใช้แบบแผนการทดลองเป็นแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (One Group Pre-test Post-test design) (Worakham, 2018) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลอง

group	Pre-test	Treatment	Post-test
E	O_1	X	O_2

เมื่อ E หมายถึง กลุ่มทดลอง (Experiment group)

O_1 หมายถึง การสอบก่อนการทดลอง (Observation Pre-test)

O_2 หมายถึง การสอบหลังการทดลอง (Observation Post-test)

X หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้

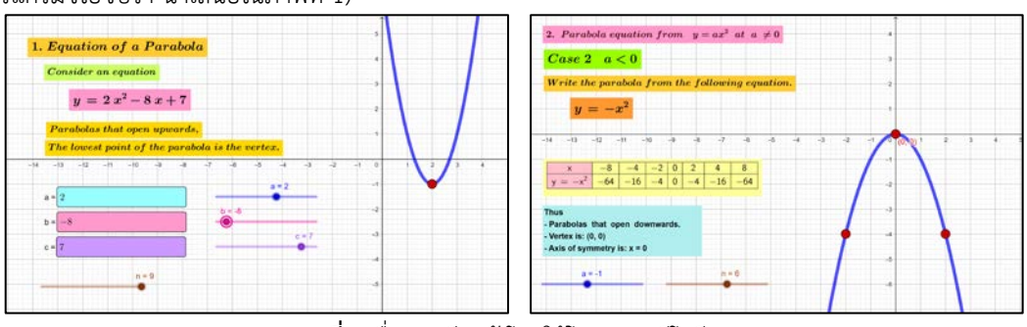
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ของโรงเรียนแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากาฬสินธุ์ จำนวน 3 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 78 คน โดยนักเรียนทั้ง 3 ห้องเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่ต่างกัน

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ของโรงเรียนแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากาฬสินธุ์ จำนวน 1 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 28 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) (Worakham, 2018)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา จำนวน 13 แผน รวม 13 ชั่วโมง มีกระบวนการสร้าง ได้แก่ ศึกษาเอกสาร ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และสื่อจีโอจีบรา นำแผนการเรียนรู้ และสื่อการเรียนรู้ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน ประเมินความเหมาะสมของแผน ซึ่งผลการประเมิน ของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่า ทุกแผนการจัดการเรียนรู้ มีความเหมาะสมดีมากทั้งหมด มีคะแนนเฉลี่ยในแต่ละแผนตั้งแต่ 4.52-4.85 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละแผนตั้งแต่ 0.42-0.75 ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ แล้วนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง (รายละเอียดแผนนำเสนอดังตารางที่ 2 และตัวอย่างสื่อการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา นำเสนอในภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 สื่อการเรียนรู้ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา

ตารางที่ 2 รายละเอียดแผนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

ลำดับแผน	เนื้อหา	หมายเหตุ
แผนที่ 1	ทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้	การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละคาบ/ชั่วโมง จะมีการใช้สื่อจีโอจีบราเข้ามาช่วยในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในขั้นทำกิจกรรมการเรียนรู้ และขั้นสรุป เพื่อที่จะให้นักเรียนได้เห็นภาพในการเรียนรู้ในเรื่อง พาราโบลา นอกจากคุณครูใช้สื่อในการนำเสนอในชั้นเรียนแล้ว นักเรียนยังได้ทดลองใช้โปรแกรมนี้เพื่อใช้ในการทำกิจกรรม เช่น การตรวจคำตอบ หาคำตอบ ตรวจสอบความถูกต้องในการวาดกราฟหรือสร้างสมการ ฯลฯ
แผนที่ 2	สมการของพาราโบลา : 1	
แผนที่ 3	สมการของพาราโบลา : 2	
แผนที่ 4	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y = ax^2$ เมื่อ $a \neq 0$: 1	
แผนที่ 5	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y = ax^2$ เมื่อ $a \neq 0$: 2	
แผนที่ 6	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y= ax^2 + k$ เมื่อ $a \neq 0, k \neq 0$: 1	
แผนที่ 7	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y= ax^2 + k$ เมื่อ $a \neq 0, k \neq 0$: 2	
แผนที่ 8	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y = a(x - h)^2 + k$ เมื่อ $a \neq 0$: 1	
แผนที่ 9	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y = a(x - h)^2 + k$ เมื่อ $a \neq 0$: 2	
แผนที่ 10	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y = a(x - h)^2 + k$ เมื่อ $a \neq 0$: 3	
แผนที่ 11	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y = a(x - h)^2 + k$ เมื่อ $a \neq 0$: 4	
แผนที่ 12	พาราโบลาที่กำหนดด้วยสมการ $y = ax^2 + bx + c$ เมื่อ $a \neq 0$	
แผนที่ 13	ทดสอบหลังเรียนการจัดการเรียนรู้	

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พาราโบลา ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบปรนัย เลือกตอบชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ มีกระบวนการสร้าง ได้แก่ ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ สร้างแบบประเมินของแบบทดสอบตาม Worakham, (2018) จากนั้นนำแบบทดสอบเสนอผู้เชี่ยวชาญชุดเดิม จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบพิจารณาหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Item-Objective Congruence Index: IOC) พบว่า มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.67 -1.00 แล้วนำแบบทดสอบ ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง (Try-Out) นำคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบมาหาความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) โดยใช้กรณีที่มีการแยกกลุ่มสูงกับกลุ่มต่ำ เทคนิคร้อยละ 27 (Worakham, 2018) แล้วคัดเลือกแบบทดสอบ จำนวน 30 ข้อ ที่มีค่าความยาก(p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยพบว่า มีค่าความยาก (p) อยู่ระหว่าง 0.25-0.75 และค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.25-0.88 และหาค่าความเชื่อมั่น ใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า มีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.84 แล้วนำแบบทดสอบไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง

รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ จำนวน 30 ข้อ เป็นแบบทดสอบวัดพฤติกรรมด้านพุทธิพิสัย สามารถแบ่งระดับ (นำเสนอดังตารางที่ 3) และตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (นำเสนอดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 โครงสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ จำแนกตามระดับของพฤติกรรมด้านพุทธิพิสัย

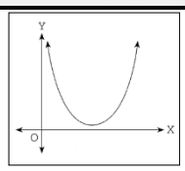
ผลการเรียนรู้ \ พฤติกรรมด้านพุทธิพิสัย	ความจำ	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	การวิเคราะห์	การสังเคราะห์	การประเมินค่า	รวม
1. อธิบายเกี่ยวกับพาราโบลา สมการ และกราฟของพาราโบลา	-	9	2	-	-	-	11
2. เขียนกราฟของพาราโบลาที่กำหนดให้	-	-	8	2	-	-	10
3. บอกลักษณะของกราฟพาราโบลาที่กำหนดให้	7	2	-	-	-	-	9
รวม	**7**	**11**	**10**	**2**	**-**	**-**	**30**

ตารางที่ 4 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง สมการของพาราโบลา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

คำชี้แจง 1. แบบทดสอบชุดนี้เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ได้แก่ ก, ข, ค, และ ง ซึ่งในแต่ละข้อมีคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว จำนวน 30 ข้อ 30 คะแนน ใช้เวลาไม่เกิน 60 นาที

2. ให้นักเรียนเลือกตัวเลือกที่ถูกต้องที่สุดในแต่ละข้อ โดยทำลงในกระดาษคำตอบที่เตรียมให้

1. 

ข้อใดอธิบายลักษณะของกราฟดังรูปได้ถูกต้อง *(ความเข้าใจ)*

ก. กราฟครึ่งวงกลม

ข. กราฟพาราโบลาคว่ำ

ค. กราฟพาราโบลาหงาย

ง. กราฟพาราโบลาขวา

2. จากสมการพาราโบลา $y = 2x^2 - 7x + 3$ ข้อใดถูกต้อง *(ความจำ)*

ก. a = 2, b = 7 และ c = 3

ข. a = 2, b = -7 และ c = 3

ค. a = 3, b = 7 และ c = 2

ง. a = 3, b = -7 และ c = 2

3.

x	-2	-1	0	1	2
y	8	2	0	2	8

จากตารางสามารถสร้างสมการพาราโบลาได้ตามข้อใด *(การวิเคราะห์)*

ก. $y = -x^2$

ข. $y = x^2$

ค. $y = -2x^2$

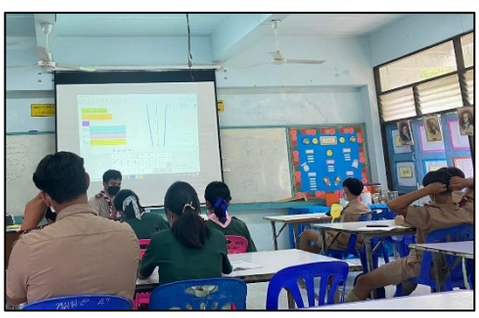
ง. $y = 2x^2$

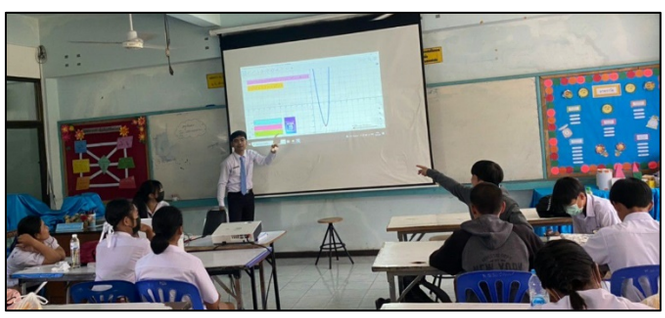
3. แบบสอบถามวัดความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีองค์ประกอบทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล รวมจำนวน 20 ข้อคำถาม เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) มีกระบวนการสร้าง ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ สร้างแบบประเมินแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ นำแบบสอบถามเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบพิจารณาหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างองค์ประกอบกับข้อคำถามที่สร้างขึ้น (Index of Congruence: IOC) พบว่า แบบสอบถามจำนวน 18 ข้อ มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.67 -1.00 จากนั้นคัดเลือกข้อคำถามในแบบสอบถามไว้ใช้ในการวิจัย จำนวนด้านละ 4 ข้อ รวมทั้งสิ้นจำนวน 16 ข้อ ซึ่งมีค่า IOC เท่ากับ 1.00 ทั้ง 16 ข้อคำถาม จากนั้นปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ แล้วพิมพ์แบบสอบถามวัดความพึงพอใจเป็นฉบับสมบูรณ์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ก่อนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยทำการวัดผลสัมฤทธิ์ ของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อเก็บข้อมูลไว้เปรียบเทียบกับคะแนนที่ได้จากการทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยเป็นผู้จัดการทดสอบด้วยตนเอง

2. ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ตามแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 13 แผน โดยสัปดาห์ละ 2 แผน แผนละ 60 นาที/คาบ เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ โดยผู้วิจัยเป็นผู้จัดการเรียนรู้ด้วยตนเอง





ภาพที่ 2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ตามแผนการเรียนรู้

3. หลังจากดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ สิ้นสุดแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอีกครั้ง โดยใช้แบบทดสอบชุดเดิม โดยผู้วิจัยเป็นผู้จัดการทดสอบด้วยตนเอง

4. นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ให้นักเรียนกลุ่มทดลองตอบ

5. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และสรุปความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แล้วนำมาวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการทางสถิติ เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ดำเนินการ ดังนี้

1. นำคะแนนของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

2. ทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นก่อน ซึ่งก็คือการตรวจสอบการแจกแจงเป็นปกติ (Normality) ของคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สถิติของโครโมโกรอฟ-สมินอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และสถิติของชาพิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk) เมื่อทราบว่าการแจกแจงของประชากรเป็นปกติแล้ว จึงทำการทดสอบสถิติที (t-test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อไปได้ (Worakham, 2018)

3. วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยการทดสอบทางสถิติทีแบบกลุ่มเดียว (One Samples t-test)

4. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังได้รับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการทดสอบทางสถิติทีแบบกลุ่มไม่อิสระต่อกัน (Dependent Samples t-test หรือ Paired Samples t-test)

5. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ก่อนที่จะทำการทดสอบสมมติฐานการวิจัย ต้องมีการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น เป็นการตรวจสอบการแจกแจงเป็นปกติ โดยใช้สถิติของโมโกรอฟ-สมินอฟ และสถิติของชาพิโร-วิลค์ เพื่อให้ทราบว่ากลุ่มตัวอย่างของข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงเป็นปกติ (ผลการวิเคราะห์นำเสนอดังตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น เป็นการตรวจสอบการแจกแจงเป็นปกติ

คะแนนทดสอบ	สถิติของโมโกรอฟ-สมินอฟ			สถิติของชาพิโร-วิลค์		
	ค่าสถิติ	df	p	ค่าสถิติ	df	p
ก่อนเรียน	.153	28	.090*	.945	28	.148*
หลังเรียน	.148	28	.121*	.943	28	.130*

* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 5 พบว่า จากผลแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ค่า p ของการทดสอบโครโมโกรอฟ-สมินอฟและสถิติของชาพิโร-วิลค์ ของตัวแปรทั้งสองมีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ของการทดสอบ จึงสรุปได้ว่ากลุ่มตัวอย่างข้อมูลของตัวแปรทดสอบก่อนเรียน และทดสอบหลังเรียน มีการแจกแจงเป็นปกติ

1. วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยการทดสอบทางสถิติทีแบบกลุ่มเดียว (One Samples t-test) (ผลการวิเคราะห์นำเสนอดังตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

ทดสอบ	*n*	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้		S.D.	df	p	t
			$\bar{x}$	ร้อยละ				
หลังเรียน	28	30	23.21	77.38	4.09	27	.004	2.87*

* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 23.21 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 77.38 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่กำหนดไว้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p = .004 < .05$)

2. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา โดยการทดสอบทางสถิติทีแบบกลุ่มไม่อิสระต่อกัน (Dependent Samples t-test หรือ Paired Samples t-test) (ผลการวิเคราะห์นำเสนอดังตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้		S.D.	df	p	t
			$\overline{X}$	ร้อยละ				
ก่อนเรียน	28	30	10.71	35.71	4.54	27	.00	11.02*
หลังเรียน			23.21	77.38	4.09			

* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ พบว่ามีคะแนนทดสอบก่อนเรียนเฉลี่ย 10.71 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 35.71 และมีคะแนนทดสอบหลังเรียนเฉลี่ยเป็น 23.21 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 77.38 ซึ่งสูงกว่าคะแนนทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p = .00 < .05$)

3. วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยการทดสอบทางสถิติทีแบบกลุ่มเดียว (One Samples t-test) (ผลการวิเคราะห์นำเสนอดังตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา	4.01	1.03	อยู่ในระดับมาก
ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	4.22	1.07	อยู่ในระดับมาก
ด้านสื่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	4.26	0.94	อยู่ในระดับมาก
ด้านการวัดและการประเมินผล	4.16	1.20	อยู่ในระดับมาก
รวมรายด้าน	**4.16**	**1.06**	**อยู่ในระดับมาก**

จากตารางที่ 8 พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา รายด้านอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมรายด้านเท่ากับ 4.16 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมรายด้านมีค่าเท่ากับ 1.06 และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านสื่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านการวัดการประเมินผล และด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.26, 4.22, 4.16 และ 4.01 ตามลำดับ และทุกด้านมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากทั้งหมด จากการสำรวจความพึงพอใจจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยด้านสื่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีค่ามากที่สุดอาจเป็นเพราะ นักเรียนเกิดความสนใจในการที่ครูนำสื่อจีโอจีบราเข้ามาใช้ประกอบในการสอน และนักเรียนได้ร่วมใช้สื่อซึ่งก่อให้เกิดการเรียนรู้ ส่วนในด้านเนื้อหามีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดอาจเป็นเพราะ เนื้อหาบางส่วนมีความซับซ้อนซึ่งทำให้นักเรียนเกิดความสับสน

อภิปรายผล

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้เมื่อเทียบกับเกณฑ์ มีค่าเฉลี่ย 23.21 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยผลที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจาก การใช้โปรแกรมจีโอจีบราในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนได้เห็นภาพ และตัวอย่างการเคลื่อนไหวของกราฟพาราโบลา ว่าสมการแต่ละสมการของพาราโบลานั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เช่น ลักษณะของกราฟเป็น กราฟคว่ำหรือกราฟหงาย เลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง จึงทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในการเรียนในเรื่องของพาราโบลามากยิ่งขึ้น รวมถึงมีการสื่อการเรียนรู้อื่น เช่น Kahoot, Quizizz, Word wall และ Vonder Go เข้ามาในการเตรียมความพร้อมก่อนการเข้าสู่บทเรียนในแต่ละครั้งด้วย ทำให้นักเรียนมีความสุขและสนุกกับการเรียนในแต่ละชั่วโมงและเพิ่มความสนใจในการเรียนรู้ในเนื้อหารายวิชาเพิ่มมากขึ้น จากที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้นักเรียนเกิดความกระตือรือร้นอยากที่จะเรียนรู้ เข้าใจในเนื้อหาที่อาจารย์ผู้สอนได้ดำเนินการสอน จึงทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านเกณฑ์ที่ผู้สอนได้กำหนดไว้ตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ โดยผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับ Lotheeraphan *et al*. (2014) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการใช้โปรแกรม GSP กับโปรแกรมจีโอจีบรา ประกอบการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ พบว่า การใช้โปรแกรม GSP และโปรแกรมจีโอจีบรา ในกระบวนการเรียนรู้นั้นเป็น

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

โปรแกรมที่ใช้งานง่าย ภาพมีความชัดเจน เข้าใจง่าย และสื่อความหมายได้ตรงตามเนื้อหา ทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้น สนใจอยากเรียนรู้ มีความสนุกกับการได้เรียนโดยใช้โปรแกรมประกอบการเรียนรู้ ยังสอดคล้องกับ Watcharothai (2022) ได้ศึกษาการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีการสอนแบบ KWDL ร่วมกับโปรแกรมจีโอจีบรา พบว่า เป็นกิจกรรมที่ช่วยให้ผู้เรียนรู้จักคิดวิเคราะห์หาทางแก้ปัญหา ทำได้ด้วยการวิเคราะห์ปัญหาทีละขั้นตอนและทำความเข้าใจให้ชัดเจน พร้อมทั้งหาทางออกต่าง ๆ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเลิกเรียนดีขึ้นเมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา สูงกว่าก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยผลที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจาก การจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรานั้น ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาที่มีความซับซ้อน จากที่เป็นนามธรรม สามารถทำให้นักเรียนเห็นภาพเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น และภายในกิจกรรมการเรียนรู้ยังประกอบไปด้วยกิจกรรม และสื่อการเรียนรู้อื่น ๆ อีกมากมาย ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่หลากหลายด้วย โดยผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับ Insiri *et al*. (2022) ได้ศึกษาการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสอนแบบเปิด เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมจีโอจีบราของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสอนแบบเปิดประกอบกับสื่อการเรียนรู้จากโปรแกรมจีโอจีบรา ซึ่งช่วยส่งเสริมให้กระบวนการเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยครูผู้สอนมีหน้าที่คอย แนะนำสนับสนุนผู้เรียน แก้ปัญหาในการเรียนรู้ไปพร้อมกับผู้เรียน สามารถตอบสนองความถนัดของผู้เรียนได้อย่างเต็มที และยังสอดคล้องกับ Sichiangha *et al*. (2021) พบว่า การใช้จีโอจีบราโปรแกรม ทำให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหา และเห็นเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น จึงทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงขึ้นกว่าก่อนเรียน และสอดคล้องกับ Kanachan *et al*. (2020) ได้ศึกษา ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง การประยุกต์ของอนุพันธุ์ พบว่า การใช้โปรแกรมจีโอจีบรา ทำให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้น ตื่นเต้น และสนุกสนานกับการแก้ปัญหา อีกทั้งผู้เรียนสามารถเขียนภาพปรับเปลี่ยนค่าและรูปร่างได้ตามจินตนาการ รวมถึงการวางแผน และ การแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมจีโอจีบราตามขั้นตอนกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา เกิดความแม่นยำในเนื้อหาและขั้นตอน ของกระบวนการแก้ปัญหา สงผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน

3. ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา อยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยผลที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา ทำให้นักเรียนเกิดสนใจที่จะเรียนรู้ เนื่องจากโปรแกรมจีโอจีบราเป็นโปรแกรมที่แปลกใหม่สำหรับนักเรียน และโปรแกรมจีโอจีบรายังสามารถช่วยให้นักเรียนเห็นภาพในการเรียนรู้ จึงส่งผลให้นักเรียนเกิดความสุขกับกิจกรรมที่เกิดขึ้น โดยผลการวิจัยนี้ผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับ Saisin *et al*. (2019) ได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการศึกษาพบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้ สำหรับนักเรียน รายด้านและรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก เพราะนักเรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทุกขั้นตอน รวมถึงมีส่วนร่วมในการใช้สื่อโปรแกรมจีโอจีบรา ยังสอดคล้องกับ Worasarn *et al*. (2019) ได้ศึกษา การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ที่เน้นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ร่วมกับการใช้โปรแกรมจีโอจีบราสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้งานได้อย่างสนุกสนาน การใช้โปรแกรมจีโอจีบรา ไม่มีความซับซ้อน ดังนั้นนักเรียนจึงสามารถนำไปปฏิบัติจริงได้ และสอดคล้องกับ Maneelam and Suwannasri (2021) ได้สร้างชุดกิจกรรม โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง ปริซึม พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ชอบเรียน โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา ทำให้สามารถมองเห็นปริซึมแบบต่าง ๆ ได้ชัดเจนได้ลงมือปฏิบัติโดยการเลื่อนรูปปริซึมแบบต่าง ๆ ทำให้การเรียนไม่น่าเบื่อ และเกิดความสนุก

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้เมื่อเทียบกับเกณฑ์ มีค่าเฉลี่ย 23.21 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา สูงกว่าก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง พาราโบลา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา อยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้สื่อจีโอจีบรานั้น เป็นการนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการเรียนการสอน เพื่อที่จะให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ จากการที่นักเรียนได้ สังเกต ทดลองใช้สื่อเอง หรือรับฟังคำอธิบายจากครูผู้สอน ซึ่งในวิจัยนี้ พบว่านักเรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาเรื่อง พาราโบลา เนื่องจากนักเรียนได้เห็นภาพการเคลื่อนไหว การเลื่อน การพลิก ของกราฟในลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดจากสมการพาราโบลา และได้ทราบขั้นตอนวิธีการในการสร้างกราฟ หรือหาสมการพาราโบลาที่เกิดจากกราฟที่กำหนดให้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้และจากการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละครั้ง ผู้สอนควรมีการเตรียมความพร้อมในเรื่องของอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำเสนอสื่อจีโอจีบราให้กับผู้เรียน เช่น อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โพรเจคเทอร์ หรือ อุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ

2. ในการออกแบบสื่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้จีโอจีบรา ผู้สอนควรที่จะศึกษาวิธีการสร้างสื่อ เพื่อให้มีความชำนาญก่อนที่จะสร้างสื่อ เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น

3. ควรศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรมจีโอจีบรา ที่มีต่อพฤติกรรมด้านอื่น ๆ เช่น ด้านความรู้ หรือด้านทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

References

Insiri, S., Tannin, S., Thongsomnuk, I. and Neammalai, P. (2022). The Development of the Open Approach Learning Management Plan to Improve the Mathematical Achievement Learning on the Topic of Two-Dimensional and Three-Dimensional Geometry Shapes Using GeoGebra Program for the First Grade Students of Khoa Yoi Witttaya School (in Thai). **SSRU Academic Journal of Education**, 6(2), 14-24.

Kanachan, J., Kaewkhamson, K., Nongharnpituk, P. and Khansila, P. (2020). A study of learning achievement in the applications of derivative topic for Grade-12 students taught by incorporating GeoGebra program into mathematics problem-solving based on Polya's method (in Thai). J**ournal of Science and Science Education (JSSE)**, 3(1), 73-83.

Latdasawat, T., Chulert, N. and Srisiriwat, T. (2021). The Study of Learning Achievement of Mathayomsuksa-1 Students at Demonstration School of Suan Sunandha Rajabhat University from Studying the Mathematics Lesson on Linear Equation of One Variable through Gamification (in Thai). **Journal of Roi Kaensarn Academi**, 6(7), 344-355.

Lotheeraphan, C., Sakpakornkan, N. and Kanchanawajee, W. (2014). Comparison Using the GSP with the GeoGebra Compounded Learning for Developing Mathematics Achievement "Transformation Geometric" of Matayomsuksa 2 Students (in Thai). **The 6th NEU National and International Conference 2019 (NEUNIC 2019)**, 3(6), 137–145.

Maneelam, M. and Suwannasri, P. (2021). Development of dynamic GeoGebra learning activity of prism to improve student's 3d geometry thinking (in Thai). **Journal of Science and Science Education (JSSE)**, 4(2), 255- 263.

Ministry of Education. (2017). **Indicators and Core Learning Strands Mathematics Learning Strand (Revised Edition 2017) based on the Core Curriculum of Basic Education 2008** (in Thai). Bankok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd. (ACFT).

Muangpathom, C. (2014). **Teaching Theory** (in Thai). Udon Thani: Udon Thani Rajabhat University.

National Institute of Educational Testing Service. (2021). **Basic Education National Test Report (O-NET): Grade 9 Academic Year 2021** (in Thai). Kalasin: Huaiphueng Pittaya School Registration Event.

Saisin, C., Tunapan, M. and Chutiman, N. (2019). Development of Mathematics Learning Activities by Using GeoGebra Program on Topic Sequences and Series for Grade 11 Students (in Thai). **Journal of Educational Measurement Mahasarakham University**, 25(2), 82-95.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Sichiangha, A., Soijit, P. and Chansaengkrachang, K. (2021). Development Of Learning Activities for Mathematical Problem-Solving Through GeoGebra Program with Problem-Based Learning Activities (in Thai). **Journal of MCU Nakhondhat**, 8(8), 31-42.

Tewarit, S. (2022). **Self-Assessment Report** (in Thai). Kalasin: Centre of Huaiphueng Pittaya School.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2017). **Course Manual Mathematics learning group (revised edition 2017) lower secondary level** (in Thai). Retrieved 3 May 2022. from SciMath: https://www.scimath.org/ebook-mathematics/item/8380-2560-2551-8380

Thipraksa, W. (2017). A Study of Understanding and Learning Retention on Parabola for Grade 9 Students by Using Learning Activities Through GeoGebra (in Thai). **Master's Thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

Watcharothai, P. (2022). The Study on Learning Achievement in Mathematics for Mathayomsuksa 4 Students of Thapsakae Wittaya School by Using Kwdl Technique with GeoGebra For Analytic Geometry (in Thai). **Master's Thesis**. Nakhon Pathom. Silpakorn University.

Worakham, P. (2018). **Educational Research (9th ed)** (in Thai). Mahasarakham: Taxila Printing.

Worasarn, J., Nongharnpituk, P. and Khansila, P. (2019). Development of learning activities emphasizing mathematical processes using GeoGebra program on system of linear equations with two variables topic for grade-9 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education (JSSE)**, 2(1), 34-42.

Yongtangrue, P. (2016). The effect of learning by discovery learning concept with GeoGebra program in topic of conic section (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.

JSSE JOURNAL OF SCIENCE & SCIENCE EDUCATION Vol. 6 No. 2 (Jul. – Dec. 2023): 344 - 352
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University http://doi.org/10.14456/jsse.2023.30

Academic Article

Software-defined networks architecture enhances the security potential of adaptive networks

Natnaree Sophakan[1,*] and Phichit Sophakan[1]
[1]Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Thailand
**Email: natnaree.s@ubu.ac.th*

Received <24 April 2023>; Revised <22 July 2023>; Accepted <4 August 2023>

Abstract

The software can have autonomous configuration and secure network operations thanks to Software-Defined Networks (SDN) architecture. The present paper aims to present a software-defined networks architecture that enhances network security. Four themes are presented: The foundation of SDN is creating a network system so that programs can be written to manage network resources effectively in terms of time and security. The second issue outlines the three layers and two links that make up the architecture of a software-defined networks. The third issue explains the importance of SDN to the network. This topic outlines and addresses the availability, reliability, security, and performance issues network explicitly described in a secure network's system design. The final section guides creating an SDN that maximizes the network's security capabilities. The research findings that help network systems in terms of security and high efficiency from the infrastructure level to reducing maintenance costs on networking are extended in the final portion provided. Thus, research into software-defined networks designs is necessary to provide a safe network appropriate for dynamic networking technologies.

Keywords: Software-defined networks, Network security, Adaptive network

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิชาการ

สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ช่วยเพิ่มศักยภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่าย

ณัฏฐ์นรี โสภากันต์[1,*] และพิชิต โสภากันต์[1]
[1]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชานี จังหวัดอุบลราชานี ประเทศไทย
**Email: natnaree.s@ubu.ac.th*

รับบทความ: 24 เมษายน 2566 แก้ไขบทความ: 22 กรกฎาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 4 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Software-Defined Networks : SDN) เป็นสถาปัตยกรรมที่ทำให้ซอฟต์แวร์สามารถกำหนดการทำงานของเครือข่ายได้อย่างมั่นคงปลอดภัยโดยอัตโนมัติ วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อนำเสนอสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ที่ช่วยเพิ่มศักยภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่าย โดยนำเสนอ 4 ประเด็นได้แก่ ประเด็นแรกคือ SDN เป็นระบบเครือข่ายที่สามารถรองรับการเขียนโปรแกรมเพื่อบริหารจัดการทรัพยากร (Resources) ของระบบเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพทั้งด้านเวลาและความมั่นคงปลอดภัย ประเด็นที่สองอธิบายถึงโครงสร้างของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ประกอบด้วยสามชั้นและสองการเชื่อมต่อ ประเด็นที่สามอธิบายถึงความสำคัญของ SDN ต่อระบบเครือข่ายโดยประเด็นนี้จะแยกให้เห็นถึง ความพร้อมใช้งาน (Availability) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ความมั่นคงปลอดภัย (Security) และ ประสิทธิภาพ (Performance) ซึ่งประเด็นดังกล่าวสรุปไว้ชัดเจนและได้กล่าวถึงการออกแบบระบบเครือข่ายที่มีความมั่นคงปลอดภัย และประเด็นสุดท้ายได้อธิบายถึงแนวทางในการพัฒนา SDN เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบเครือข่าย ซึ่งได้นำเสนอแนวทางในการวิจัยที่จะเป็นประโยชน์ต่อระบบเครือข่ายในด้านความมั่นคงปลอดภัยและการเพิ่มประสิทธิภาพ ดังนั้นการวิจัยในเรื่อง การออกแบบระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDN) จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ระบบเครือข่ายมีความมั่นคงปลอดภัย สอดรับกับเทคโนโลยีของเครือข่ายแบบไดนามิก

คำสำคัญ: ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ความมั่นคงปลอดภัยในระบบเครือข่าย เครือข่ายที่ปรับตัวได้

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

สถาปัตยกรรมที่นำมาจัดการกับข้อมูลในองค์กรในยุคปัจจุบันต้องเป็นสถาปัตยกรรมปรับตัวได้แบบอัตโนมัติในระดับโครงสร้างพื้นฐาน สามารถจัดส่งข้อมูลได้อย่างครบสมบูรณ์ รวดเร็ว มั่นคงปลอดภัย โดยอาศัยเส้นทางการส่งข้อมูลคือระบบเครือข่ายขององค์กร ควรรองรับการขยายตัวขององค์กรที่ต้องเกิดขึ้น ระบบเครือข่ายขององค์กรมีความสำคัญมากต่อองค์กรและข้อมูลขององค์กร อีกทั้งส่งผลต่อประสิทธิภาพของการประสานงานระหว่างองค์กร ถ้าข้อมูลขององค์กรถูกทำให้เสียหายหรือข้อมูลที่เป็นความลับขององค์กรถูกขโมยไปนั้น ก็ส่งผลเสียหายต่อองค์กรอย่างยิ่ง ดังนั้นความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลในองค์กรจึงมีความสำคัญมากต่อองค์กร ซึ่งเส้นทางเดียวที่ทำให้องค์กรสูญเสียความมั่นคงปลอดภัยนั้นคือการโจมตีผ่านระบบเครือข่ายขององค์กร

ดังนั้นสถาปัตยกรรมที่ทันสมัยทำให้ทุกองค์กรที่ต้องการความมั่นคงปลอดภัยต้องวางโครงสร้างพื้นฐานของระบบเครือข่ายให้ดีตั้งแต่เริ่มวางระบบเครือข่ายและต้องเป็นระบบเครือข่ายที่ปรับตัวได้เพื่อรองรับการขยายตัวขององค์กร ประกอบกับยุคปัจจุบันสถาปัตยกรรมด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้นส่งผลให้มีซอฟต์แวร์สามารถกำหนดการทำงานของระบบเครือข่ายซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ได้ สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Software Defined Networks : SDN) เป็นสถาปัตยกรรมที่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับยุคสมัย โดยสถาปัตยกรรมนี้ได้แยกส่วนควบคุม (Control Plane) ออกจากส่วนของข้อมูล (Data Plane) โดยทั้งสองส่วนจะทำงานประสานกัน ซึ่งการแยกส่วนดังกล่าวส่งผลให้ระบบเครือข่ายสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานของระบบเครือข่ายให้มีความมั่นคงปลอดภัย อีกทั้งสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ มีระบบรักษาความมั่นคงปลอดภัยในระดับโพรโทคอลโดยการเลือกใช้งาน Transport Layer Security หรือ TLS (Agborubere and Sanchez-Velazquez, 2017; Bholebawa and Dalal, 2018)

สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์มีคุณสมบัติเด่นหลายประการในการกำหนดการทำงานของเครือข่ายให้มั่นคงปลอดภัย ประกอบกับมีหลายงานวิจัยได้กล่าวไว้ซึ่งสามารถสรุปได้ 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่กลุ่มที่ 1 เป็นงานวิจัยที่มุ่งเป้าด้านการศึกษาค้นคว้าการรักษาความปลอดภัยของระบบเครือข่ายโดยใช้คุณสมบัติเด่นของ SDN ในการป้องกันการโจมตีระบบเครือข่าย (Haleplidis *et al*., 2015; Hu *et al*., 2015; Li *et al*., 2016; Priyadarshini and Barik, 2022; Sophakan and Sathitwiriyawong, 2019; Swami, Dave and Ranga, 2020; Taha, 2023; Wang *et al*., 2016; Yan *et al*., 2016; Yungaicela-Naula *et al*., 2022) และกลุ่มที่ 2 เป็นงานวิจัยมุ่งเป้าด้านกำหนดการทำงานของระบบเครือข่ายโดยทำงานประสานกันระหว่าง SDN Controller กับ OpenFlow ซึ่งการทำงานในกลุ่มนี้เป็นการบริหารจัดการด้านเส้นทางการส่งข้อมูลและเป็นการป้องกันการโจมตีจาก DDoS (Feng, Mao and Jiang, 2016; Gong *et al*., 2015; Hu *et al*., 2015; Krishnan *et al*., 2023; Li *et al*., 2016; Nguyen and Yamada, 2016; Wang *et al*., 2016)

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าว ได้แสดงให้เห็นว่า SDN มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่ายในระดับโครงสร้างพื้นฐานในปัจจุบัน และในอนาคตควรมีการศึกษาค้นคว้าหรือพัฒนาระบบที่ทำงานร่วมกับ SDN เพื่อเพิ่มศักย์ภาพในการทำงานให้ระบบเครือข่ายทั้งด้านความมั่นคงปลอดภัย และด้านการบริหารจัดการข้อมูลเข้าออกในระบบเครือข่าย

วัตถุประสงค์การวิจัย

สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDN) เกิดจากแนวคิดที่ต้องการพัฒนาระบบเครือข่ายให้สามารถรองรับการเขียนโปรแกรมเพื่อเรียกใช้งานทรัพยากร (Resources) ของเครือข่ายได้ ด้วยหลักการที่สำคัญคือการทำให้เครือข่ายมีส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface : API) ซึ่งหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ที่เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจกับบทความจนเกิดเป็นแนวคิดในการพัฒนาระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์

ความรู้พื้นฐานสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์

ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDN) เป็นซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งมาพร้อมกับอุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์ (Switch) หรือเราเตอร์ (Router) ที่ผลิตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่บริหารจัดการระบบเครือข่าย ซึ่งสวิตช์หรือเราเตอร์ที่ใช้ในระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ มีการแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนควบคุมทำหน้าที่คิดวิเคราะห์แพ็กเก็ตที่เข้าสู่เครือข่าย โดยกำหนดค่าในการใช้งานผ่านทางซอฟต์แวร์ที่ควบคุมจากศูนย์กลาง แล้วส่งต่อไปให้กับส่วนของข้อมูลทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลไปตามที่ส่วนควบคุมกำหนด โดยทั้งสองส่วนทำงานเป็นอิสระต่อกัน อุปกรณ์ทุกชิ้นในเครือข่ายต้องมีการทำงานประสานงานทั้งส่วนควบคุมและส่วนของข้อมูล

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนและ 2 จุดเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 1 ได้แก่

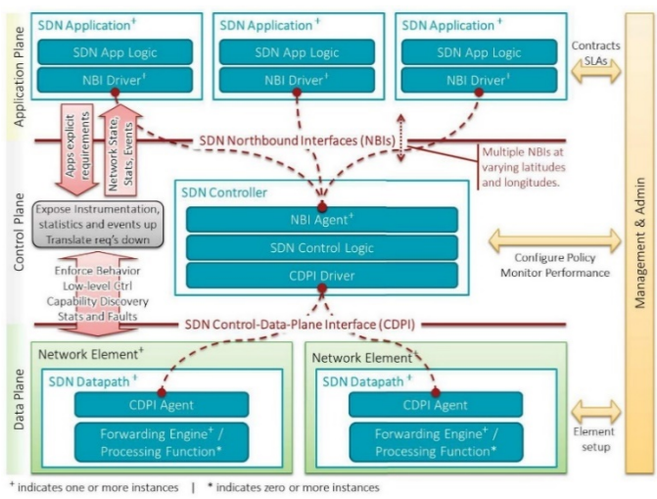
ส่วนที่ 1 ส่วนของโปรแกรม (Application Plane) ประกอบด้วย โปรแกรมประยุกต์ใช้งานบนระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDN Application : SDN App) ทำหน้าที่ควบคุมการบริการจัดการเครือข่าย สามารถเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมได้แล้วนำไปติดตั้งไว้ในส่วนนี้มี 2 ฟังก์ชันคือ SDN App Logic และ NBI Driver

ส่วนเชื่อมต่อที่ 1 อินเตอร์เฟสเชื่อมต่อส่วนบนระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDN Northbound Interfaces : NBIs) เป็นอินเตอร์เฟสที่เชื่อมต่อระหว่าง SDN App กับตัวควบคุมในระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDN Controller) ทำหน้าที่สร้างมุมมองของเครือข่ายในลักษณะนามธรรม (Abstract Network View) ส่งไป SDN App การที่ NBIs จะทำงานได้นั้นส่วนของ SDN App ต้องมีฟังก์ชัน NBI Driver และ SDN Controller ต้องมีฟังก์ชัน NBI Agent

ส่วนที่ 2 ส่วนควบคุม (Control Plan) ประกอบด้วย ตัวควบคุมในระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDN Controller) เป็นตัวกลางในการแปลงความต้องการจากส่วนของโปรแกรม ส่งต่อไปส่วนของข้อมูลมี 3 ฟังก์ชันได้แก่ NBI Agent, SDN Control Logic และ CDPI Driver

ส่วนเชื่อมต่อที่ 2 อินเตอร์เฟสเชื่อมต่อส่วนควบคุมและข้อมูล (SDN Control-Data-Plane Interface : CDPI) ทำหน้าที่เป็นอินเตอร์เฟสเชื่อมต่อส่วนควบคุมและส่วนของข้อมูล การที่ CDPI จะทำงานได้นั้นส่วนของ SDN Controller ต้องมีฟังก์ชัน CDPI Driver และ SDN Datapath ต้องมีฟังก์ชัน CDPI Agent แล้ว CDPI ทำงานภายใต้ความเป็นกลางไม่ขึ้นกับผู้ผลิตอุปกรณ์ ซึ่ง CDPI ที่เป็นที่นิยมและทำงานเข้ากันได้ดีในสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ได้แก่ โอเพนโฟลว์ (OpenFlow)

ส่วนที่ 3 ส่วนของข้อมูล (Data Plane) ประกอบด้วย องค์ประกอบของเครือข่าย (Network Element) หรือ เส้นทางการส่งข้อมูลของระบบเครือข่ายที่กำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (SDN Datapath) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบเครือข่ายเพื่อควบคุมการส่งต่อข้อมูล และการประมวลผลข้อมูล มี 2 ฟังก์ชันได้แก่ CDPI Agent และ Forwarding Engine หรือ Processing Function



ภาพที่ 1 สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Software Defined Networks Architecture) (Fernandez and Munoz, 2019)

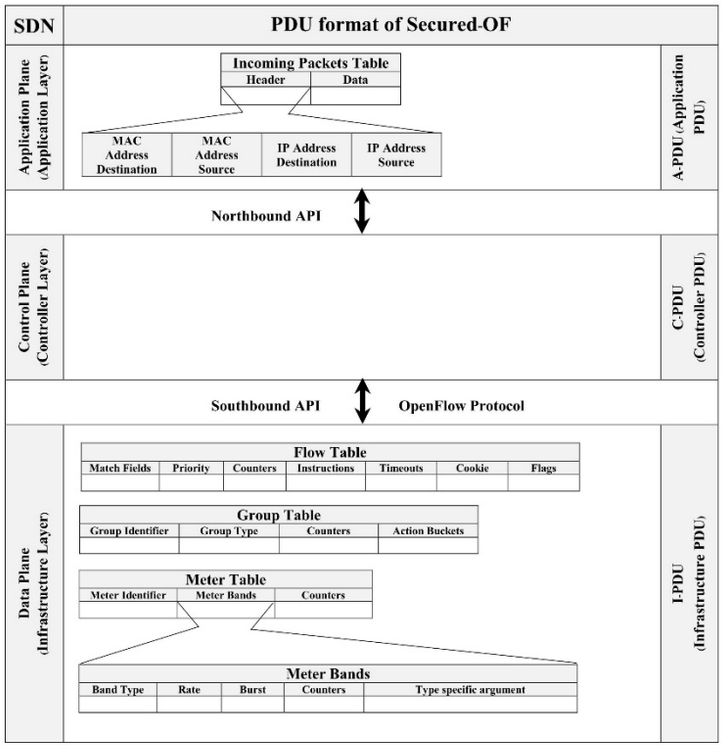
รูปแบบหน่วยข้อมูลโพรโทคอล (Protocol Data Unit : PDU) ของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ดังภาพที่ 2 ประกอบด้วย 4 เอ็นติตี้ ได้แก่

1) ตารางข้อมูลของแพ็กเก็ตขาเข้า (Incoming Packets Table) ประกอบด้วย Header และ Data

2) ตารางการไหล (Flow Table) ประกอบด้วย Match fields Priority Counter Instructions Timeouts Cookie และ Flags

3) ตารางกลุ่ม (Group Table) ประกอบด้วย Group identifier Group type Counters และ Action buckets

4) ตารางมิเตอร์ (Meter Table) ประกอบด้วย Meter identifier Meter bands และ Counters



ภาพที่ 2 รูปแบบหน่วยข้อมูลโพรโทคอลของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (PDU of SDN)

จากโครงสร้างการทำงานสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ มีการแยกส่วนการทำงานอย่างชัดเจน ทั้งส่วนควบคุมทำหน้าที่หลักในการควบคุมการทำงานของระบบเครือข่าย ซึ่งเป็นสมองของระบบเครือข่ายโดยอาศัยข้อมูลจากส่วนของข้อมูลที่ทำหน้าที่จดจำหรือเก็บเส้นทางการส่งข้อมูลหรือส่งแพ็กเก็ต (Packet) ซึ่งแตกต่างจากระบบเครือข่ายไม่รองรับสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายกำหนดโดยซอฟต์แวร์ที่รวมทั้งส่วนควบคุมและส่วนของข้อมูลไว้ที่สวิตซ์หรือเราเตอร์ ส่งผลให้ไม่สามารถเพิ่มศักยภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบเครือข่าย และไม่สามารถเพิ่มขนาดเครือข่ายได้อย่างอัตโนมัติซึ่งทุกองค์กรมีแนวโน้นที่จะต้องขยายตัวในอนาคต อีกทั้งยังไม่รองรับกับอุปกรณ์ทุกรุ่น หรือทุกผู้ผลิต

ความสำคัญของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ต่อระบบเครือข่าย

สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์มีอิทธิพลมากต่อการออกแบบโครงพื้นฐานของระบบเครือข่ายในปัจจุบัน สาเหตุหลักเกิดจากทุกองค์กรต้องการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งด้านความเร็วในการส่งข้อมูล ความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่ายขององค์กร และสามารถขยายเครือข่ายได้โดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องกำหนดค่าพื้นฐานใหม่ทุกครั้งที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เครือข่าย ซึ่งสามารถแยกความสำคัญของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ต่อระบบเครือข่าย 4 ด้าน ดังต่อไปนี้

1) ความพร้อมใช้งาน (Availability) สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ช่วยทำให้ระบบเครือข่ายพร้อมใช้งานมากยิ่งขึ้นจากคุณสมบัติดังต่อไปนี้ SDN สามารถควบคุมเครือข่ายได้โดยตรงเนื่องจาก SDN ได้มีการแบ่งส่วนการทำงานของการควบคุมออกจากส่วนของข้อมูล ผู้ดูแลระบบสามารถบริหารจัดการระบบได้ง่ายขึ้นเนื่องจากสามารถจัดการอุปกรณ์ในเครือข่าย ผ่านการกำหนดค่าโพรโทคอลโอเพนโฟลว์ และรองรับอุปกรณ์จากผู้ผลิตทุกราย SDN ใช้งานได้อย่างคล่องตัวเนื่องจากผู้ดูแลระบบสามารถบริหารจัดการการไหลของข้อมูลให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยที่สอดคล้องกับความพร้อมใช้งานของระบบเครือข่ายที่ใช้ SDN ได้แก่ งานวิจัยของ Krishnan *et al*. (2023) นำเสนอ OpenStackDP ซึ่งเป็นกรอบความปลอดภัยเครือข่ายที่ปรับขนาดได้สำหรับโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ OpenStack ในการปรับขนาดได้ของโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์นั้นส่งผลให้ ระบบเครือข่ายมีความพร้อมใช้งาน

2) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์มีการบริหารจัดการจากศูนย์กลาง (Centralized) ช่วยทำให้การควบคุมเครือข่ายเชิงตรรกะ (Logic) ใน SDN Controller สามารถดำเนินการได้ในครั้งเดียว อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบการทำงานที่ผิดปกติในระบบเครือข่ายซึ่งอาจจะบ่งชี้ถึงการถูกโจมตีในเบื้องต้นและยังมีการแจ้งเตือนไปยังระบบบริหารจัดการเครือข่าย ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบเครือข่าย (Krishnan *et al*., 2023;

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Priyadarshini and Barik, 2022; Sophakan and Sathitwiriyawong, 2019; Swami, Dave and Ranga, 2020; Taha, 2023; Yungaicela-Naula *et al*., 2022)

3) ความมั่นคงปลอดภัย (Security) สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์สามารถกำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่าย (Configuration) ซึ่งสามารถบริหารจัดการหลัก ๆ ได้ดังนี้ การจัดการระบบเครือข่าย ความมั่นคงปลอดภัยซึ่งรวมไปถึงการปรับแต่งส่วนประกอบด้านความมั่นคงปลอดภัยและการบริหารทรัพยากรเครือข่าย ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ผ่าน API ที่ควบคุมจากศูนย์กลาง อีกทั้งส่วนของกำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่ายเป็นการทำงานอัตโนมัติตามที่ได้กำหนดไว้ ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์มีระบบการรักษาความมั่นคงปลอดภัยในระดับโพรโทคอลโดยการเลือกใช้งาน Transport Layer Security หรือ TLS (Agborubere and Sanchez-Velazquez, 2017; Bholebawa and Dalal, 2018) ประกอบกับ โพรโทคอลโอเพนโฟลว์ในส่วนของตัวควบคุมโอเพนโฟลว์ (OpenFlow Controller) เขียนโปรแกรมเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบเครือข่ายใช้ควบคู่กับ TLS (Meng *et al*., 2018; Tseng, Zhang and Nait-Abdesselam, 2016) ซึ่งในด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่ายนั้น SDN ได้จัดการไว้เบื้องต้นในระดับดี เพื่อให้รองรับกับสถาปัตยกรรมที่ทันสมัยควรจะพัฒนาระบบรักษาความมั่นคงปลอดภัยของตัว SDN ซึ่งอาจจะเป็นช่องโหวในการถูกโจมตีได้ ซึ่งมีงานวิจัยที่สอดคล้องกับความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่ายที่ใช้ SDN ได้แก่ งานวิจัยของ Sophakan and Sathitwiriyawong (2019) นำเสนอสถาปัตยกรรม Secured-OF ที่มีวิธีป้องกันการโจมตีจาก DoS และ DDoS ในโพรโทคอลโอเพนโฟลว์ของ SDN ด้วยสเตทฟูลไฟร์วอลล์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Swami, Dave and Ranga (2022) นำเสนอวิธีเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้ SDN ด้วยการป้องกันการโจมตีจาก DDoS อีกทั้งงานวิจัยของ Yungaicela-Naula *et al*. (2022) ได้รวบรวมประเด็นสำคัญจากงานวิจัยหลายชิ้นแล้วนำมาสรุปประเด็นสำคัญที่ส่งผลไปสู่ระบบอัตโนมัติด้านความมั่นคงปลอดภัยใน SDN

4) ประสิทธิภาพ (Performance) ระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกับความคล่องตัวในการบริหารจัดการสามารถปรับแต่งการไหลของกระแสจราจรสำหรับเครือข่าย ตรวจสอบตำแหน่งที่ถูกโจมตีได้อย่างรวดเร็วพร้อมแจ้งเตือนและป้องกันการโจมตีได้อย่างรวดเร็ว ซึ่ง SDN ทำให้ระบบเครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเนื่องจาก SDN ลดการดำเนินงานเครือข่าย (Network Operation) โดยรวมงานในระดับเลเยอร์ 2 ถึง เลเยอร์ 4 ของ OSI Model ไว้ที่การกำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่ายส่งผลให้ระบบบริหารจัดการแบบอัตโนมัติ ทำให้ประสิทธิภาพทั้งด้านเวลาและการตรวจสอบดำเนินการได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว อีกทั้งจำนวนสวิตช์หรือเราเตอร์ ที่มี SDN ไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพในทุกด้านลดลงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านการตรวจจับการโจมตีระบบเครือข่ายได้ดียิ่งขึ้นทั้งด้านเวลาและความแม่นยำในการตรวจจับ ดังนั้นเมื่อมีการขยายเครือข่ายก็สามารถดำเนินการได้อย่างง่ายโดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพ ซึ่งประสิทธิภาพนี้ยังครอบคลุมไปถึงเรื่องงบประมาณค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบเครือข่าย ค่าใช้จ่ายในการขยายเครือข่าย และ SDN มีจุดเด่นที่สามารถรองรับอุปกรณ์จากผู้ผลิตหลาย ๆ ราย ซึ่งมีงานวิจัยที่สอดคล้องกับประสิทธิภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบเครือข่ายที่ใช้ SDN ได้แก่ งานวิจัยของ Priyadarshini and Barik (2022) นำเสนอวิธีเพิ่มประสิทธิภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยด้วยการใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning Model) เพื่อเรียนรู้รูปแบบการโจมตี DoS แล้วนำรูปแบบที่ได้ส่งกลับไปให้กฎการไหล (Flow Rule) ใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การโจมตีจาก DDoS เช่นเดียวกับงานวิจัยงานวิจัยของ Sophakan and Sathitwiriyawong (2019) นำเสนอสถาปัตยกรรม Secured-OF ที่มีวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยด้วยการใช้แบบจำลองเครือข่ายเบส์แบบไดนามิก (Dynamic Bayesian Network Model) เพื่อเรียนรู้รูปแบบการโจมตี DoS และ DDoS แล้วนำรูปแบบที่ได้ส่งกลับไปให้สเตทฟูลไฟร์วอลล์เพื่อเพิ่มกฎการกรองการโจมตีจาก DoS และ DDoS และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taha (2023) นำเสนอวิธีในการปรับการกำหนดเส้นทางตามตัวควบคุมเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่ม QoE ของบริการสตรีมมิ่งมัลติมีเดีย

สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์มีความสำคัญต่อระบบเครือข่ายทั้งที่ใช้งานในปัจจุบันและเครือข่ายที่คาดว่าจะขยายตามขนาดขององค์กรซึ่งเกิดขึ้นกับทุกองค์กร ทั้งด้านความพร้อมใช้งาน ด้านความน่าเชื่อถือ ด้านความมั่นคงปลอดภัย และ ด้านประสิทธิภาพความถูกต้องแม่นยำพร้อมทั้งใช้เวลาการประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว คุณสมบัติเด่นของระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ที่มีความสำคัญต่อระบบเครือข่ายคือ SDN แยกส่วนควบคุมออกจากส่วนของข้อมูลทำให้ SDN ซึ่งเป็น API สามารถควบคุมการทำงานของระบบเครือข่ายได้ง่ายอย่างอัตโนมัติด้วยการกำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่าย และมีส่วนที่เป็นฐานข้อมูลที่จัดเก็บลักษณะการโจมตีที่สามารถปรับปรุงพัฒนาได้ ในส่วนนี้มีหลายงานวิจัยที่พัฒนาเสร็จสิ้นและกำลังจะพัฒนา ที่มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งทั้งหมดนี้ไปช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบเครือข่าย การขยายระบบเครือข่าย ด้วยเหตุนี้ที่ทำให้ระบบเครือข่ายที่มีอุปกรณ์ที่ต่อเชื่อมในเครือข่ายที่เป็นสวิตช์หรือเราเตอร์ที่มีสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ติดมาด้วยจึงเป็นระบบเครือข่ายที่ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงกว่าระบบเครือข่ายทั่วไป

การออกแบบระบบเครือข่ายที่มีความมั่นคงปลอดภัย

การออกแบบระบบเครือข่ายให้มีความมั่นคงปลอดภัย ควรออกแบบให้เหมาะสมกับแนวโน้มของเครือข่ายเสมือนจริง สามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างอัตโนมัติ มีความยืดหยุ่นในการทำงาน ซึ่งมีหลักการในการออกแบบดังนี้

ออกแบบเครือข่ายโดยลดความซ้ำซ้อนของเครือข่ายหลัก

เลือกอุปกรณ์ที่มีสถาปัตยกรรมยืดหยุ่น มีประสิทธิภาพ ทำงานแบบอัตโนมัติ เพื่อลดความซ้ำซ้อนในการกำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่าย อีกทั้งควบคุมการทำงานของระบบเครือข่าย รวมไปถึงการเพิ่มขนาดของเครือข่ายในอนาคตได้ การออกแบบเครือข่ายโดยลดความซ้ำซ้อนของเครือข่ายหลักนั้นควรถูกดำเนินการตั้งแต่เริ่มทำการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐาน ด้วยกำหนดค่าหรือการทำคอนฟิกุเรชันบริหารจัดการเครือข่ายแบบอัตโนมัติ เมื่อระบบเครือข่ายขององค์กรถูกใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง องค์กรมีความมั่นคงของระบบเครือข่ายองค์กร ด้วยขนาดขององค์กรที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้ระบบเครือข่ายองค์กรขาดความปลอดภัย เช่น เว็บไซต์องค์กรไม่สามารถให้บริการแก่ลูกค้าจำนวนมากได้เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องแม่ข่ายที่เก็บข้อมูลเว็บไซต์มีไม่เพียงพอต่อการให้บริการลูกค้าและล้าสมัย เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อเครือข่ายองค์กรต้องมีการขยายขนาดของเครือข่ายทั้งการเพิ่มเครื่องแม่ข่าย เพิ่มเครื่องลูกข่าย เพิ่มอุปกรณ์สื่อสาร เช่น สายสัญญา สวิตช์ เราเตอร์ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ทุกชิ้นที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายเดิมขององค์กร ควรจะสามารถใช้งานระบบเครือข่ายได้ทันทีแบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องไปกำหนดค่าใหม่ การทำเช่นนี้ช่วยลดความซ้ำซ้องของเครือข่ายหลักได้ ซึ่งหลักการนี้สอดคล้องกับประโยชน์ของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Feng, Mao and Jiang, 2016; Gong *et al*., 2015)

ออกแบบเครือข่ายให้เป็นนามธรรม สามารถจัดการทรัพยากรของเครือข่ายได้ทุกชนิดทุกผู้ผลิต

ช่วยควบคุมเส้นทางของการส่งแพ็กเก็ต ตรวจสอบข้อผิดพลาดของแพ็กเก็ต ซึ่งสามารถตั้งข้อสังเกตในเบื้องต้นว่าระบบเครือข่ายกำลังถูกโจมตี อีกทั้งยังเป็นหนึ่งในกลยุทธ์การรักษาความมั่นคงปลอดภัยเครือข่าย การออกแบบเช่นนี้ช่วยลดความไม่สอดคล้องของการกำหนดค่าเครือข่ายหรือลดข้อผิดพลาด ควบคุมการส่งแพ็กเก็ตในเส้นทางที่ดีที่สุด สรุปการออกแบบเช่นนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่าย และเป็นการเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับเครือข่าย การออกแบบเครือข่ายให้เป็นนามธรรม องค์กรที่มั่นคงต้องมีการขยายขนาดขององค์กรอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ด้วยเหตุผลด้านความมั่นคงปลอดภัยขององค์กรซึ่งส่งผลให้ระบบเครือข่ายองค์กรต้องขยายขนาดเช่นกัน การเพิ่มอุปกรณ์เครือข่ายทุกชนิดนั้นไม่จำเป็นจะต้องยึดติดกับผู้ผลิต ซึ่งสถาปัตยกรรมเครือข่ายแบบเดิมทุกครั้งที่มีการเพิ่มอุปกรณ์เครือข่ายใด ๆ หรืออุปกรณ์เครือข่ายที่ต่างผู้ผลิตก็ต้องมากำหนดค่าของระบบเครือข่ายใหม่ทุกครั้งซึ่งทำให้องค์กรต้องเสียงบประมาณ เสียเวลาในการกำหนดค่าตามผู้ผลิตกำหนด ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากซับซ้อนทุกครั้งที่ต้องขยายขนาดของระบบเครือข่ายที่ต้องเกิดขึ้นกับทุกองค์กรโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการออกระบบเครือข่ายควรออกแบบเครือข่ายให้เป็นนามธรรม สามารถจัดการทรัพยากรของระบบเครือข่ายได้ทุกชนิดทุกผู้ผลิต ซึ่งสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Feng, Mao and Jiang, 2016; Gong *et al*., 2015) สามารถทำได้ ไม่ว่าจะติดตั้งอุปกรณ์เครือข่ายชนิดใด ผู้ผลิตรายใด เข้ามาในระบบเครือข่ายอุปกรณ์เครือข่ายนั้น ก็สามารถใช้งานในระบบเครือข่ายได้ทันที

ออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายโดยไม่ยึดติดกับผู้ผลิต

ควรเลือกทรัพยากรที่ใช้ในระบบเครือข่ายที่ดีที่สุดเหมาะสมกับโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายที่ออกแบบมากที่สุดและทรัพยากรนั้นควรเป็นอิสระจากผู้ผลิต สามารถใช้งานร่วมกันได้หลากหลายผู้ผลิต ซึ่งการออกแบบเช่นนี้เป็นการปลดล็อกหรือมองข้ามข้อจำกัดเรื่องทรัพยากร ส่งผลให้การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและมั่นคงปลอดภัยยิ่งขึ้น

จากหลักการทั้ง 3 ประเด็นนั้นสอดคล้องกับประโยชน์ของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Feng, Mao and Jiang, 2016; Gong *et al*., 2015) ซึ่งสามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่า สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบเครือข่ายและปรับปรุงระบบเครือข่าย

แนวทางในการพัฒนาระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ที่ช่วยเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบเครือข่าย

ในช่วงปีที่ผ่านมา ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ได้รับการยกฐานะเป็นสถาปัตยกรรมที่นิยมมากในการนำมาใช้ในระบบเครือข่ายและมีนักวิจัยสนใจพัฒนาสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์มากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและเป็นกรอบกว้าง ๆ ให้กับนักวิจัย ซึ่ง Yan *et al*. (2016) ได้สรุปแนวทางในการพัฒนาระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ที่น่าสนใจไว้ 3 แนวทางดังนี้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

1. พัฒนาระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ เพื่อบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (SDN developed to manage the Big Data)

ได้กล่าวถึงการโจมตีจาก DDoS ซึ่ง ในปัจจุบันมีการปรับปรุงรูปแบบให้มีการโจมตีแบบเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นการโจมตีแบบรุนแรงและรวดเร็ว โดยอาศัยสถาปัตยกรรมอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง มีการใช้ประโยชน์จากบอตเน็ต (Botnets) ลักษณะการเพิ่มการโจมตีที่มีการเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็ว ขนาดของข้อมูลเหล่านั้นจะมีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ (Big Data) ซึ่งการตรวจจับการโจมตี เมื่อมีการพัฒนาระบบเครือข่ายให้รองรับการรับส่งข้อมูลหรือแพ็กเก็ตขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนได้จะเป็นการแก้ปัญหาการโจมตีระบบเครือข่าย

การพัฒนาเครือข่ายให้รองรับกับข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาพัฒนาเพื่อบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน เนื่องจาก SDN สามารถตั้งค่าการบริหารจัดการเครือข่ายให้ทำงานแบบอัตโนมัติได้ จึงส่งผลถึงการขยายเครือข่ายได้โดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนค่าใด ๆ

2. พัฒนาระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ เพื่อบริหารจัดการฟังก์ชันเครือข่ายเสมือนจริง (SDN developed to manage the Network Function Virtualization : NFV)

ฟังก์ชันเครือข่ายเสมือนจริงมีการนำมาใช้ในเครือข่ายเสมือนจริง (Network Virtualization : NV) และเครือข่ายเสมือนจริงหลายเครือข่าย (Multiple Virtual Network : VNs) ส่งผลดีให้สามารถใช้ทรัพยากรเครือข่ายร่วมกันได้ตั้งแต่ระดับโครงสร้างพื้นฐาน นอกจากนี้เครือข่ายเสมือนจริงช่วยให้ควบคุมการไหลของแพ็กเก็ต และเป็นการควบคุมแบบรวมศูนย์

SDN เป็นสถาปัตยกรรมที่เหมาะสำหรับการนำมาพัฒนาเพื่อบริหารจัดการฟังก์ชันเครือข่ายเสมือนจริงเพราะ SDN มีการติดตั้งมากับสวิตช์หรือเราเตอร์ มีตรรกะควบคุมการทำงานทรัพยากรเครือข่ายและสามารถกำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่าย

3. พัฒนาระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์เพื่อเป็นศูนย์กลางข้อมูลเครือข่าย (SDN developed to Information-Centric Networking)

ศูนย์กลางข้อมูลเครือข่าย (Information-Centric Network : ICN) เป็นสถาปัตยกรรมใหม่ที่ได้รับการเสนอเป็นวิธีแก้ปัญหาสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดส่งแพ็กเก็ตและความพร้อมของแพ็กเก็ต เป็นสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่มีอิสระในเรื่องสถานที่ มีการแยกส่วนระหว่างส่วนควบคุมแพ็กเก็ตและส่วนของการส่งต่อแพ็กเก็ตซึ่งสอดคล้องกับหลักการของ SDN โดยมีโพรโทคอลโอเพนโฟลว์ (OpenFlow Protocol) เป็นตัวกลางสำหรับการย้ายแพ็กเก็ต ดังนั้นในกลุ่มงานวิจัยพัฒนาระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์เพื่อเป็นศูนย์กลางข้อมูลเครือข่าย ควรมุ่งศึกษา OpenFlow-based

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะการวิจัย

สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ เป็นสถาปัตยกรรมรูปแบบใหม่ที่ทำให้ซอฟต์แวร์กำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่ายได้ตั้งแต่ระดับโครงสร้างพื้นฐาน อีกทั้งยังสามารถขยายระบบเครือข่ายได้โดยอัตโนมัติ ไม่ต้องกำหนดค่าใหม่เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เครือข่ายเพิ่มเติม ประกอบกับคุณสมบัติเด่นของระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์สามประการได้แก่ ประการที่ 1 สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ สามารถทำให้เครือข่ายมี API ซึ่งหมายถึงระบบเครือข่ายสามารถรองรับการเขียนโปรแกรมเพื่อเรียกใช้งานทรัพยากร (Resources) ของระบบเครือข่ายได้ แบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนควบคุมและส่วนของข้อมูล ประการที่ 2 ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ สามารถกำหนดค่าบริหารจัดการระบบเครือข่ายอัตโนมัติ ซึ่งสามารถบริหารจัดการระบบเครือข่าย ความมั่นคงปลอดภัยซึ่งรวมไปถึงการปรับแต่งส่วนประกอบด้านความมั่นคงปลอดภัยและการบริหารทรัพยากรระบบเครือข่าย ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ผ่าน API ที่ควบคุมจากศูนย์กลาง และประการสุดท้าย มีส่วนของฐานข้อมูลที่เก็บลักษณะการโจมตี เส้นทางการโจมตีของอุปกรณ์ระบบเครือข่ายที่ถูกโจมตี ไว้ที่โอเพนโฟลว์ (OpenFlow)

จากคุณสมบัติเด่นสามประการของสถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ส่งผลให้ระบบเครือข่ายมั่นคงปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงตั้งแต่ระดับโครงสร้างพื้นฐาน ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครือข่าย และเป็นอีกหนึ่งสถาปัตยกรรมที่ควรนำมาวิจัยพัฒนาเพื่อให้ระบบเครือข่ายมีความมั่นคงปลอดภัยสอดรับกับสถาปัตยกรรมแบบไดนามิก

References

Agborubere, B. and Sanchez-Velazquez, E. (2017). OpenFlow communications and TLS security in software-defined networks. **Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings)**

and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData), (pp. 560–566). Exeter: IEEE.

Bholebawa, I. Z. and Dalal, U. D. (2018). Performance analysis of SDN/OpenFlow controllers: POX versus floodlight. **Wireless Personal Communications**, 98(2), 1679–1699.

Feng, M., Mao, S. and Jiang, T. (2016). Enhancing the performance of future wireless networks with software-defined networking. **Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering**, 17(7), 606–619.

Fernandez, C. and Munoz, J. L. (2019). Software Defined Networking (SDN) with OpenFlow 1.3 Open vSwitch and Ryu. Retrieved 7 May 2023, from **UPC Telematics Department:** https: / / upcommons. upc.edu/bitstream/handle/2117/77684/sdn-book.pdf.zip

Gong, Y., Huang, W., Wang, W. and Lei, Y. (2015). A survey on software defined networking and its applications. **Frontiers of Computer Science**, 9(6), 827–845.

Haleplidis, E., Hadi Salim, J., Denazis, S. and Koufopavlou, O. (2015). Towards a network abstraction model for SDN. **Journal of Network and Systems Management,** 23(2), 309–327.

Hu, Y., Wang, W., Gong, X., Que, X. and Cheng, S. (2015). On the feasibility and efficacy of control traffic protection in software defined networks. **Science China Information Sciences**, 58(12), 1–19.

Krishnan, P., Jain, K., Aldweesh, A., Prabu, P. and Buyya, R. (2023). OpenStackDP: a scalable network security framework for SDN-based OpenStack cloud infrastructure. **Journal of Cloud Computing**, 12(26), 1-42.

Li, D., Wang, S., Zhu, K. and Xia, S. (2017). A survey of network update in SDN. **Frontiers of Computer Science**, 11(1), 4–12.

Meng, W., Choo, K.-K. R., Furnell, S., Vasilakos, A. V. and Probst, C. W. (2018). Towards Bayesian-based trust management for insider attacks in healthcare software-defined networks. **IEEE Transactions on Network and Service Management**, 15(2), 761–773.

Nguyen, K. and Yamada, S. (2016). An experimental feasibility study on applying SDN technology to disaster-resilient wide area networks. **Annals of Telecommunications**, 71(11), 639–647.

Priyadarshini, R. and Barik, R. K. (2022). A deep learning based intelligent framework to mitigate DDoS attack in fog environment. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, 34(3), 825–831.

Sophakan, N. and Sathitwiriyawong, C. (2019). A Secured OpenFlow-Based Software Defined Networking Using Dynamic Bayesian Network. **Proceedings of 2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS),** (pp. 1517–1522). Exeter: IEEE.

Swami, R., Dave, M. and Ranga, V. (2020). Software-defined Networking-based DDoS Defense Mechanisms. **ACM Computing Surveys**, 52, 1–36.

Taha, M. (2023). An efficient software defined network controller based routing adaptation for enhancing QoE of multimedia streaming service. **Multimedia Tools and Applications**, 94(2), 1-24.

Tseng, Y., Zhang, Z. and Nait-Abdesselam, F. (2016). ControllerSEPA: A security-enhancing SDN controller plug-in for OpenFlow applications. **Proceedings of 2016 17th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT),** (pp. 268–273). Exeter: IEEE.

Wang, Y., Bi, J., Lin, P., Lin, Y. and Zhang, K. (2016). SDI: a multi-domain SDN mechanism for fine-grained inter-domain routing. **Annals of Telecommunications**, 71(11), 625–637.

Yan, Q., Yu, F. R., Gong, Q. and Li, J. (2016). Software-defined networking (SDN) and distributed denial of service (DDoS) attacks in cloud computing environments: A survey, some research issues, and challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 18(1), 602–622.

Yungaicela-Naula, N. M., Vargas-Rosales, C., Perez-Díaz, J. A. and Zareei, M. (2022). Towards security automation in Software Defined Networks. **Computer Communications**, 183, 64-82.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (JSSE)

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
85 ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425 โทรสาร 045-353422
Email : jsse.sci.ubu@gmail.com หรือ saksri.s@ubu.ac.th

วันที่พิมพ์ 30 กันยายน 2566