FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

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

JSSE Journal of Science and Science Education

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 (ก.ค. – ธ.ค. 2565)
Vol. 5, No. 2 (Jul. – Dec. 2022)

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 2565

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 เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน 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 ทั้งนี้วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษามีกำหนดเผยแพร่บทความปีละ 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	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรีฑา แก้วคง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธิดา รักกะเปา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัดตาวัน นาใจแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นินนาท จันทร์สูรย์	มหาวิทยาลัยทักษิณ

กองบรรณาธิการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ศาสตราจารย์ศิริพร จึงสุทธิวงษ์	ภาควิชาเคมี
รองศาสตราจารย์มะลิวรรณ อมตธงไชย	ภาควิชาเคมี
รองศาสตราจารย์สายันต์ แสงสุวรรณ	ภาควิชาเคมี
รองศาสตราจารย์วรศักดิ์ สุขบท	ภาควิชาฟิสิกส์
รองศาสตราจารย์เชิดศักดิ์ บุตรจอมชัย	ภาควิชาฟิสิกส์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กติกา สระมณีอินท	ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลย์ชิญาภัท อริยะเชาว์กุล	ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฏฐ์ ดิษเจริญ	ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ สีบุตร	ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวิน นามมั่น	ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์

กองบรรณาธิการจัดการวารสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ วุฒิพรหม	ภาควิชาฟิสิกส์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ช่อทิพย์ กัณฑโชติ	ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา	ภาควิชาเคมี

ฝ่ายประสานงานวารสาร นางสาวอมรรัตน์ วะสุรีย์ นายนัฐพงษ์ สืบสุข และนางสุกัญญา พิมพ์บุญมา

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

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 ตลอดจนสรุปผลการทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างกระชับเพื่อส่งเสริมให้ที่มาองงานวิจัยสำคัญและชัดเจนมากขึ้น (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.

ตัวอย่าง

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.

ตัวอย่างวิทยานิพนธ์ภาษาไทย

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

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษได้ดังนี้

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

ตัวอย่างเว็บไซต์ภาษาไทย

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

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ

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

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

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 5 เล่มที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งประกอบด้วยบทความทั้งหมด 15 เรื่อง จำแนกเป็นบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ 8 เรื่อง บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 5 เรื่อง และบทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 เรื่อง

กองบรรณาธิการวารสารฯ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาในการประเมินบทความและให้ข้อเสนอแนะที่มีค่าเพื่อทำให้บทความเหล่านี้มีความน่าสนใจและมีประโยชน์ต่อวงวิชาการมากขึ้น ทั้งนี้ ขอเชิญชวนนักวิจัยและนักวิชาการ ครูอาจารย์ นิสิตหรือนักศึกษา นักเรียน และผู้สนใจส่งบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิทยานิพนธ์ หรือบทความโครงงาน มาเผยแพร่ในวารสารฯ สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ จะรักษามาตรฐานคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพของวารสารฯ อย่างต่อเนื่องเท่าที่จะทำได้ และขออนุญาตปฏิเสธการเผยแพร่บทความที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือบทความมีรูปแบบต้นฉบับไม่ถูกต้องโดยไม่ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ อนึ่ง ตั้งแต่วารสารปีที่ 4 เล่มที่ 2 (มิถุนายน - ธันวาคม 2564) ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ ได้เลือกอยู่ในกลุ่มสาขาวิชาสังคมศึกษา (Main subject categories: Social Sciences) สาขาวิชาสังคมศึกษา (Subject areas: Social Sciences) และอยู่ในสาขาวิชาย่อยด้านการศึกษา (Sub-subject: Education) นอกจากนี้ ยังมีสาขาวิชาย่อยเพิ่มเติมอีก 4 สาขาวิชาย่อยในกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ (1) เคมีทั่วไป (2) คอมพิวเตอร์ทั่วไป (3) คณิตศาสตร์ทั่วไป และ (4) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ทั่วไป

นอกจากนี้ ทางวารสารฯ อยู่ระหว่างการจัดทำประกาศมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เรื่อง กำหนดอัตราค่าธรรมเนียมการพิจารณาบทความเพื่อขอรับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ในอัตรา 1,500 บาท/บทความ ทั้งนี้ กองบรรณาธิการฯ จะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมนี้ก่อนส่งต้นฉบับบทความเพื่อให้ผู้ประเมินพิจารณา โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ เพิ่มเติมจากค่าธรรมเนียมดังกล่าว ทั้งนี้ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ลงใน JSSE ตั้งแต่ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2565 เป็นต้นไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (เจ้าของวารสาร) จะดำเนินการขอรหัสตัวระบุวัตถุดิจิทัล (DOI) ให้กับทุกบทความทันที เมื่อบทความนั้นมีการเผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์เรียบร้อยแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาษร)
หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารฯ

สารบัญ

หน้า

วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร ข

กองบรรณาธิการ ค

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ ง

ถ้อยแถลงบรรณาธิการ ช

บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Research Articles in Science)

1) ผลของวัสดุปอซโซลานเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐมวลเบา 182-190
ทัศริยา กลิ่นขจร, สิรินญา กุลวงค์, จิดาภา ปัททุม, สิทธิชัย ใจขาน*, สมเจตน์ ทองดำรงธรรม, ถนัดกิจ ชารีรัตน์

2) การตรวจวัดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคแบบรวดเร็วโดยใช้อนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ซุปเปอร์พาราแมกเนติกด้วยแมกนีโตอิมพีแดนซ์เซ็นเซอร์ความไวสูง: การศึกษาเบื้องต้น 191-201
องอาจ เทียบเกาะ*, กัลย์ชิญาภัท อริยะเชาว์กุล, มะลิวรรณ อมตธงไชย, ปุริม จารุจำรัส

3) ศักยภาพด้านพลังงานของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง 202-214
พัชรวรรณ สิทธิศาสตร์*, เกวรินทร์ กะตะศิลา, วิภาดา บาททอง, ยุวธิดา มะเดื่อ, พิศาล สมบัติวงศ์

4) ผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก 215-224
พรทิพย์ ธนรติกุล*

5) ความหลากชนิด และความชุกชุมของหอยทากบก บริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จังหวัดตราด 225-235
ชุตาภา คุณสุข*, เสาวภา สุราวุธ, สรศักดิ์ นาคเอี่ยม, จินตนา นรดี

6) ผลเฉลยของสองสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} + 2^y = z^2$ และ $n^{2x} - 2^y = z^2$ 236-240
จันทนา วรรณพันธุ์, สุธน ตาดี*

7) ความน่าจะเป็นของคุณสมบัติย้อนกลับบนกรุปการหมุนรูป 241-248
กนกพร ช่างทอง, วรารัตน์ อรัญ

8) บางระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในจำนวนเต็มเกาส์เซียน 249-258
สุธน ตาดี*

บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Research Articles in Science Education)

9) การเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณและศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานวิชาวิทยาศาสตร์ 259-271
ปิยธิดา สุนทรวิภาต*, เนตรชนก จันทร์สว่าง และสมสงวน ปัสสาโก

10) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 272-284
ศุภิสรา จันทร์เพ็ง*, จักรกฤษ กลิ่นเอี่ยม, วนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์

11) การพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 285-298
เบญจรัตน์ ขวัญคง*, วนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์

12) ผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากกิจกรรมการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส 299-309
ศาสตรา บุญญาจันทร์, ประสาน มีดภา, ศิริวรรณ คลังทอง, ธนวิทย์ จีรุพันธ์, ศราวุธ แสนการุณ, สุพจน์ สีบุตร*

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

หน้า

13) ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ผ่านห้องเรียนออนไลน์เพื่อส่งเสริมทักษะ การคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 — 310-321
เจนจิรา ทิพย์ญาณ*, นันทิยา บุญศรีนุ้ย, ชุติมา สุวรรณศรี

บทความวิชาการทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Academic Articles in Science Education)

14) การจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 — 322-331
นภัทร สีเขียว*, น้ำเพชร นาสารีย์

15) การประเมินเพื่อการเรียนรู้และการประเมินเป็นการเรียนรู้: รูปแบบการประเมินการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ปรับใหม่ — 332-340
ปัญญา แจ้งสว่าง*, พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ, เอกภูมิ จันทรขันตี, เอกรัตน์ ทานาค

ดัชนีผู้เขียน — 341

บทความวิจัย

ผลของวัสดุปอซโซลานเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐมวลเบา

ทัศริยา กลิ่นขจร[1] สิรินญา กุลวงค์[1] จิดาภา ปัทฑุม[1] สิทธิชัย ใจขาน[2,*] สมเจตน์ ทองดำรงธรรม[2] และถนัดกิจ ชารีรัตน์[3]

[1]หลักสูตร วท.บ. อนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[2]กลุ่มวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

**Email: sitthichai.c@ubu.ac.th*

รับบทความ: 15 กุมภาพันธ์ 2565 แก้ไขบทความ: 30 มีนาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 30 เมษายน 2565

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุเสริมกำลังในการผลิตอิฐมวลเบาขนาดความกว้าง 20 ซม. ความยาว 60 ซม. และความหนา 7.5 ซม. (ขนาดอิฐมวลเบาตามมาตรฐานของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม) การผลิตอิฐมวลเบาที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบาร่วมในกระบวนการผลิต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด ผงอะลูมิเนียม ปูนขาว ยิปซั่ม และวัสดุเสริมกำลัง (แกลบบดละเอียด เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส สำหรับแทนที่ทราย จำนวน 3 สูตร ได้แก่ ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก) การบ่มอิฐใช้วิธีการขังน้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน การทดสอบสมบัติของอิฐมวลเบา ได้แก่ ความต้านแรงอัด อัตราการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษา พบว่า อิฐมวลเบาที่ผลิตขึ้นทั้งหมดมีความต้านแรงอัดระหว่าง 7.38 ± 0.42 ถึง 12.68 ± 1.27 เมกะพาสคัล ตัวอย่างที่ใช้เถ้าแกลบร้อยละ 10 ให้ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ย (12.68±1.27 เมกะพาสคัล) ใกล้เคียงกับชุดควบคุม (13.28 ± 0.42 เมกะพาสคัล) อัตราการดูดซึมน้ำ 15.4 ± 1.48 % ความหนาแน่น 1.47 ± 0.01 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร และมีต้นทุนการผลิตด้านวัสดุประมาณ 16.47 บาท (137.2 บาทต่อตารางเมตร) ดังนั้น เถ้าแกลบสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นด้วยการเป็นวัตถุดิบผลิตอิฐมวลเบา และสัดส่วนของเถ้าแกลบ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักสามารถใช้ในการผลิตอิฐก่อผนังหรือกั้นห้องภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้

คำสำคัญ: เถ้าแกลบ วัสดุเสริมกำลัง ปอซโซลาน อิฐมวลเบา

อ้างอิงบทความนี้
ทัศริยา กลิ่นขจร, สิรินญา กุลวงค์, จิดาภา ปัทฑุม, สิทธิชัย ใจขาน, สมเจตน์ ทองดำรงธรรม, และถนัดกิจ ชารีรัตน์. (2565). ผลของวัสดุปอซโซลานเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐมวลเบา. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 182-190. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.21

Research Article

Effect of rice husk ash used as pozzolan material on properties of lightweight bricks

Tatsariya Kinkachon[1], Sirinya Kunlawong[1], Jidapa Pattum[1], Sitthichai Chaikhan[2,*], Somjate Thongdamrongtham[2] and Thanudkij Chareerat[3]

[1]*Environmental Health Program, College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University*

[2]*College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University*

[3]*Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University*

**Email: sitthichai.c@ubu.ac.th*

Received <15 February 2022>; Revised <30 March 2022>; Accepted <30 April 2022>

Abstract

This research aimed to investigate the effect of rice husk ash as a reinforcing material (Pozzolan) in the production of lightweight bricks with dimensions of width 20 cm, length 60 cm, and thickness 7.5 cm (lightweight brick size according to the standards of the Department of Industrial Promotion). Production of non-autoclaved system type 1 uses light materials in the production process include portland cement, fine sand, aluminum powder, lime, gypsum, and reinforcing materials (finely rice husk sintered at $600^{\circ}C$ for replacing sand in the amount of 3 formulas, such as 5 wt%, 10 wt% and 15 wt%). The brick was cured with water for seven days. Testing properties of lightweight bricks include compressive strength, water absorption rate, and density. The data were analyzed using descriptive statistics such as mean and standard deviation. The results showed that all lightweight bricks had compressive strengths between 7.38 ± 0.42 to 12.68 ± 1.27 MPa. The means compressive strength of the sample with 10 wt% of rice husk ash (12.68±1.27 MPa) was approximately the same as the control unit (13.28 ± 0.42 MPa), water absorption rate 15.4 ± 1.48%, density 1.47 ± 0.01 kg/m^3, and the production cost of materials is approximately 16.47 baht (137.2 $baht/m^2$). Therefore, rice husk ash can be used as a raw material for producing lightweight bricks, and the bricks with a 10 wt% of rice husk ash can be used to produce bricks for masonry walls or indoor partitions that are not part that supports the weight of the building structure.

Keywords: Rice husk ash, Reinforcing material, Pozzolan, Lightweight Brick

Cite this article:

Kinkachon, T., Kunlawong, S., Pattum, J., Chaikhan, S., Thongdamrongtham, S. and Chareerat, T. (2022). Effect of rice husk ash used as pozzolan material on properties of lightweight bricks (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 182-190. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.21

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

อิฐมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในวงการก่อสร้าง ซึ่งเป็นที่ยอมรับในด้านคุณสมบัติที่โดดเด่นและยังเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ที่ต้องการลดต้นทุนในการผลิต (Panel hoszigeteles Co.,Ltd., 2017) แต่อิฐมวลเบายังมีข้อจำกัดในการปรับแต่งได้น้อย รับน้ำหนักได้ไม่มาก ด้วยลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนทำให้อิฐดูดซับน้ำซึ่งจะมีผลต่อความชื้น หากมีการเจาะผนังอาจทำให้เกิดความเสียหายหรือแตกร้าวได้ง่าย (Onprom, 2021) การใช้วัสดุเสริมกำลัง (Pozzolan) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้งานของอิฐช่วยทำให้อิฐมีความคงทนและแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น (Muangtong, Kongpun, and Nekhamanurak, 2014) การนำปอซโซลานจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้กับงานคอนกรีตสามารถทำได้หลากหลาย เช่น นำมาใช้ในงานคอนกรีตมวลเบา ทำเป็นสารผสมเพิ่มเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลในคอนกรีต ลดปัญหาการเกิดการเยิ้ม ลดการแยกตัว ลดการซึมผ่าน เพิ่มความทนทาน และเพิ่มกำลัง เป็นต้น วิธีการใช้งานจะนำมาใช้แทนที่ทรายหรือแทนที่ปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วน คุณสมบัติของวัสดุปอซโซลานธรรมชาติมีคุณสมบัติที่ดี คือ มีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ มีความพรุนสูง มีความแข็งแรง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปเป็นส่วนประกอบในคอนกรีต และได้คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักที่เบาลง เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสารผสมแบบแร่ธาตุ เช่น ขี้เถ้าลอย เถ้าแกลบ ขี้ตะกรันจากเตาถลุงซิลิกาฟูม และเถ้าตะกอนสลัดจ์จากโรงบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น (Sinsiri, 2014)

เถ้าแกลบเป็นวัสดุถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างหลายชนิด เช่น อิฐมวลเบา อิฐมอญ อิฐตัวหนอน เนื่องจากการมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยซิลิกาซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration reaction) ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตได้ (Chindaprasirtand Jaturapitakkul, 2013) โดยมีการศึกษาทดสอบสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบในการเป็นวัสดุเสริมกำลัง ซึ่งพบว่ามีค่าความต้านแรงอัดของการบ่มอิฐนาน 14 วัน ใกล้เคียงกับอิฐมอญที่นิยมใช้ในการก่อสร้าง (Chaichana, 2019) ในปัจจุบันการนำวัสดุเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุก่อสร้าง จึงมีความนิยมเพิ่มมากขึ้น หากมีการใช้งานในปริมาณที่เหมาะสมโดยแทนที่วัตถุดิบไม่เกินร้อยละ 20 จะทำให้ได้กำลังอัดเท่ากับปูนซีเมนต์ (Sata *et al*., 2012) งานวิจัยนี้จึงวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมวัสดุเสริมกำลังจากเถ้าแกลบที่อบภายใต้อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในการผลิตอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด ผงอะลูมิเนียม ปูนขาว และยิปซัม เพื่อเป็นแนวทางการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมวัสดุเสริมกำลังจากเถ้าแกลบ

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
2) ทรายแม่น้ำที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4
3) ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$)
4) ผงอะลูมิเนียม (Aluminum Paste)
5) ปูนขาว (CaO)
6) วัสดุทดแทน คือ เถ้าแกลบที่ผ่านการปรับสภาพ โดยผ่านกระบวนการเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ภาพที่ 1ก) คัดแยกแกลบที่เผาไหม้สมบูรณ์ (เถ้าแกลบสีเทา/ขาว) ซึ่งมีสมบัติสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ (Sirisurawong, 2015) (ภาพที่ 1ข) บดให้ละเอียดและคัดขนาดโดยการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 325

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1) แม่พิมพ์อัดอิฐขนาด 20 x 60 x 7.5 เซนติเมตร (ขนาดอิฐมวลเบาตามมาตรฐานของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม)
2) เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง (เตาเผาเซรามิก) (ภาพที่ 1ก)
3) อุปกรณ์ทั่วไปสำหรับงานก่อสร้าง ได้แก่ เกรียงโบก ถังน้ำ พลั่ว ถังผสมปูน กระบอกตวง และอ่างผสมปูน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

(ก) (ข)

ภาพที่ 1 (ก) เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง (ข) เถ้าแกลบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

การผลิตอิฐมวลเบา

การผลิตอิฐมวลเบาวิธีการผลิตโดยใช้ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ (Non-Autoclaved system) ประเภทที่ 1 โดยผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วน ได้แก่ ปูนซีเมนต์และปูนขาวในอัตราส่วน (30:9) ยิปซัมและผงอะลูมิเนียมในอัตราส่วน (9:2) ทราย และแกลบ จำนวน 3 อัตราส่วน (ตารางที่ 1) ผสมเข้าด้วยกันและใส่ลงในแบบพิมพ์ตาก (ภาพที่ 2ก) จากนั้นนำไปตากในที่ร่ม เป็นระยะเวลา 3 วัน (Sirisurawong, 2015) หลังจากเสร็จสิ้นการขึ้นรูปนำอิฐไปบ่มโดยใช้วิธีการขังน้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน (ภาพที่ 2ข) (Senaart, N. and Nonthawee, P., 2019) และทำให้แห้งเพื่อนำไปทดสอบต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนวัตถุดิบผสมในการผลิตอิฐมวลเบา

Sampler	Component (%)					
	Rice husk ash	Fine Sand	Portland Cement	Aluminum Paste	CaO	Gypsum
S0	0	50	30	2	9	9
S1	5	45	30	2	9	9
S2	10	40	30	2	9	9
S3	15	35	30	2	9	9

(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) การขึ้นรูปอิฐด้วยแม่พิมพ์ (ข) การบ่มอิฐวิธีการขังน้ำ

วิธีการทดสอบ

การทดสอบความต้านแรงอัดวิเคราะห์สมบัติเชิงกล ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) (ภาพที่ 3ก) โดยนำอิฐมวลเบาตัวอย่างที่มีอายุไม่น้อยกว่า 14 วัน (ภาพที่ 3ข) มาทดสอบการรับแรงกด แบ่งเป็นอัตราส่วนละ 2 ชิ้นงาน

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3 (ก) เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (ข) อิฐมวลเบาที่ผ่านการทดสอบการต้านแรงอัด

การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าความต้านแรงอัดของอิฐมวลเบาที่ผลิตขึ้น (P) หน่วย เมกะพาสคัล (MPa) สามารถหาได้จากสมการ (1)

$$P = \frac{F \times C}{A} \quad (1)$$

เมื่อ F คือ แรงกดสูงสุดที่คอนกรีตบล็อกตัวอย่างรับได้ หน่วยเป็น นิวตัน

C คือ ค่าตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัดของอิฐ

A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่รับแรงกดของคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง หน่วยเป็น ตารางเมตร

การประเมินชั้นคุณภาพของอิฐมวลเบาเทียบความต้านแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1505-2541) จำแนกได้ 4 ชั้นคุณภาพ (Ministry of Industry, 1998) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัด (นิวตัน/มล.^{2})		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ย (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
2	2.5	2.0	0.4	0.31 – 0.40
			0.5	0.41 – 0.50
4	5.0	4.0	0.6	0.51 -0.60
			0.7	0.61 – 0.70
			0.8	0.71 – 0.80
6	7.5	6.0	0.7	0.61 – 0.70
			0.8	0.71 – 0.80
8	10.0	8.0	0.8	0.71 – 0.80
			0.9	0.81 – 0.90
			1.0	0.91 – 1.00

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ความต้านแรงอัดและการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบความต้านแรงอัดของอิฐมวลเบาที่มีพื้นที่หน้าตัด 10,000 ตารางมิลลิเมตร ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัดของวัสดุคอนกรีตที่ไม่มีการลบมุม เท่ากับ 1.18 ด้วยการทดสอบด้วยตัวอย่างอิฐที่ไม่มีการผสมด้วยเถ้าแกลบ (S0) และอิฐที่มีการผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วนระหว่าง ร้อยละ 5.0-15.0 (S1-S3) อัตราส่วนละ 2 ก้อน จำนวนรวม 8 ก้อน พบว่า อิฐมวลเบาแต่ละการทดลอง (S0-S4) สามารถรับน้ำหนักแรงกดสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 112,502, 62,508, 107,501 และ 72,500 นิวตัน ตามลำดับ และมีความต้านแรงอัดเฉลี่ย เท่ากับ 13.28, 7.38, 12.68 และ 8.71 เมกะพาสคัล ตามลำดับ โดยอิฐที่มีการผสมเถ้า

แกลบที่มีความต้านแรงอัดมากที่สุด คือ อัตราส่วนของวัสดุเสริมกำลังจากเถ้าแกลบ ร้อยละ 10 (S2) สามารถรับน้ำหนักแรงกดสูงสุดที่ 115,002 นิวตัน และมีความต้านแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 12.28 เมกะพาสคัล (ตารางที่ 3) สำหรับผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐมวลเบาของแต่ละการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 16.0, 14.1, 15.4, และ 14.9 ตามลำดับ โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ยของแต่ละการทดลองเท่ากับ 1.45, 1.46, 1.47 และ 1.45 กก./ม.^{3} ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ความต้านแรงอัดของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมวัสดุเสริมกำลังเถ้าแกลบ

การทดลอง	วัสดุเสริมกำลัง (ร้อยละ)	แรงกดสูงสุดที่ตัวอย่างอิฐรับได้		ความต้านแรงอัดของอิฐมวลเบา (เมกะพาสคัล)	ความต้านแรงอัดเฉลี่ย (เมกะพาสคัล)
		กิโลกรัมแรง	นิวตัน		
S0	0.0	11,217	110,001	12.98	13.28 ± 0.42
		11,727	115,002	13.57	
S1	5.0	6,630	65,018	7.67	7.38 ± 0.42
		6,118	59,997	7.08	
S2	10.0	10,197	99,998	11.78	12.68 ± 1.27
		11,727	115,002	13.57	
S3	15.0	7,138	69,999	8.56	8.71 ± 0.42
		7,648	75,001	8.85	

ตารางที่ 4 การดูดซึมน้ำของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมวัสดุเสริมกำลังเถ้าแกลบ

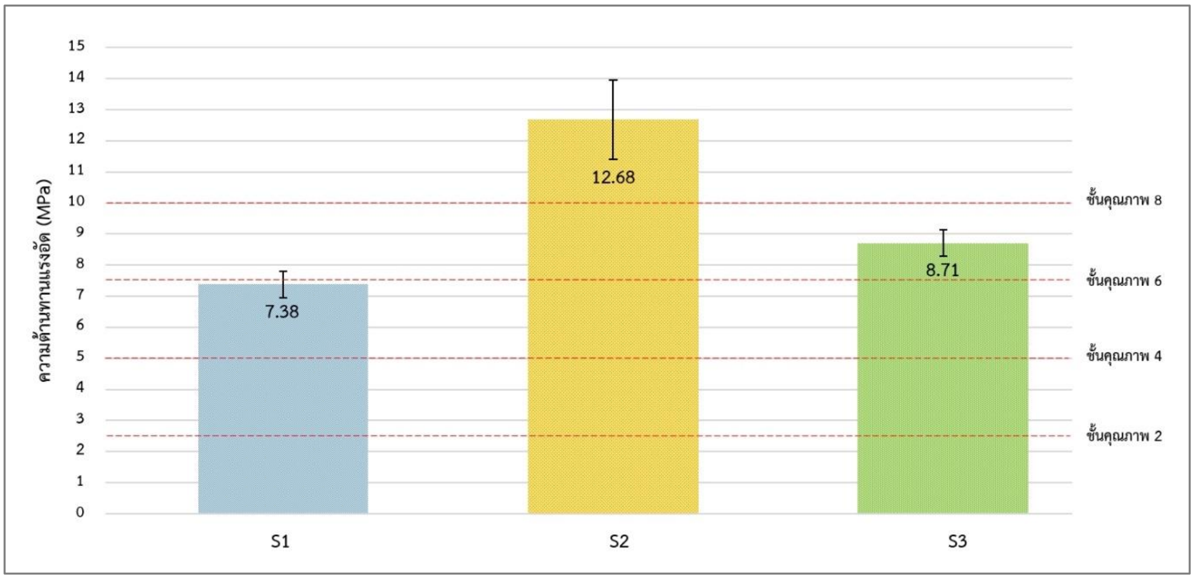
การทดลอง	วัสดุเสริมกำลัง (ร้อยละ)	W_1 น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม)	W_2 น้ำหนักเปียก (กิโลกรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ม.^{3})
S0	0.0	13.2	15.3	15.9	16.0 ± 0.14	1.45 ± 0.02
		13.0	15.1	16.1		
S1	5.0	13.3	15.1	13.5	14.1 ± 0.78	1.46 ± 0.02
		13.0	14.9	14.6		
S2	10.0	13.3	15.5	16.5	15.4 ± 1.48.	1.47 ± 0.01
		13.2	15.1	14.4		
S3	15.0	13.0	14.9	14.6	14.9 ± 0.42	1.45 ± 0.01
		13.1	15.1	15.2		

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกการผลิตอิฐมวลเบาแบบไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ ประเภทที่ 1 ผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัดของอิฐมวลเบาที่ผลิตขึ้นเป็นไปตามหลักทฤษฎีหรือแนวคิดที่ว่าปริมาณที่เหมาะสมของวัสดุเสริมกำลังโดยแทนที่วัตถุดิบไม่เกินร้อยละ 20 จะมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับซีเมนต์ (Muangtong, Kongpun, and Nekhamanurak, 2014) ดังนั้นการใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมวลเบาในครั้งนี้ จึงให้ความแข็งแรงของวัสดุได้เทียบเท่ากันกับอิฐที่ใช้ส่วนผสมทั่วไป การที่วัสดุเสริมกำลังซึ่งมีสมบัติเป็นสารปอซโซลานมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมวลเบาจะมีความต้านแรงอัดที่ดีจะต้องมีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยซิลิกาในปริมาณสูงเมื่อมีการปรับปรุงโครงสร้าง โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 500 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Sirisurawong, 2015) ทำให้เกิดสารเชื่อมประสานแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต โดยเป็นการเกิดปฏิกิริยาแบบช้า ๆ เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้คอนกรีต (Chindaprasirt *et al*., 2020) การผลิตวัสดุเสริมกำลังที่เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมวลเบาในครั้งนี้ใช้อุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส จึงมีส่วนช่วยให้อิฐที่ได้มีลักษณะที่สามารถรับแรงอัดได้สูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าทุกผลการทดสอบการดูดซึมน้ำมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 14.9-16.0 สอดคล้องกับแนวคิดลักษณะการดูดซึมน้ำ

ของอิฐที่ดีจะต้องดูดน้ำประมาณ 10 – 17 % ของน้ำหนักอิฐ (Faculty of Engineering Civil Engineering University of Phayao, 2016) การทดลองผลิตอิฐมวลเบาในครั้งนี้ทุกชุดการทดลองได้อิฐที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันระหว่าง 1.45-1.47 กก./ม.^{3} จึงยังทำให้น้ำหนักของอิฐต่อก้อนยังมีค่าค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการผลิตแบบไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ แตกต่างจากการผลิตอิฐด้วยวิธีการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง ซึ่งมีการใช้เครื่องจักรในการผลิตที่สามารถทำให้เกิดรูพรุนภายในเนื้ออิฐและทำให้มีน้ำหนักที่เบากว่าจากการใช้สารเคมีก่อฟองอากาศ (Dolah, 2009) ต้องใช้งบประมาณในการลงทุนสูง จึงนิยมใช้ในการผลิตอิฐมวลเบาระดับอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ (The securities and exchange commission, 2013)

ชั้นคุณภาพของอิฐมวลเบา

การประเมินชั้นคุณภาพของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของวัสดุเสริมกำลังจากเถ้าแกลบเมื่อเทียบกับความต้านแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1505-2541) พบว่า ตัวอย่างสูตร S1 อยู่ในชั้นคุณภาพ 4-6 สำหรับสูตร S2 อยู่ในชั้นคุณภาพ 8 และ สูตร S3 อยู่ในชั้นคุณภาพ 6 ตามลำดับ (ภาพที่ 4) โดยอิฐทั้งสามสูตรมีต้นทุนด้านการผลิตต่อก้อน เท่ากับ 14.74, 16.47 และ 18.19 บาท ตามลำดับ



ภาพที่ 4 การประเมินชั้นคุณภาพของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของวัสดุเสริมกำลังจากเถ้าแกลบ

เมื่อพิจารณาเทียบค่าความต้านแรงอัดสูงสุดของอิฐที่กับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1505-2541) พบว่า อิฐมวลเบาที่ผลิตได้ทั้ง 3สูตรการทดลองอยู่ระหว่างชั้นคุณภาพที่ 4-8 จึงมีความเป็นไปได้ในการนำสูตรอัตราส่วนผสมวัสดุเสริมกำลังจากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 (S2) นำไปใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากให้ค่าความต้านแรงอัดที่ดีกว่าสูตร S1 และ สูตร S3 โดยที่มีน้ำหนักและปริมาตรใกล้เคียงกัน ซึ่งเหมาะสำหรับงานโครงสร้างอาคารระบบไร้เสา-ไร้คาน (Load Bearing Walls) ในขณะที่สูตร S1 และ S3 เหมาะแก่การใช้งานก่อผนังที่ไม่ต้องรับน้ำหนักเนื่องจากรับแรงต้านได้ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ ในประเทศไทยอิฐมวลเบาที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย คือ ชั้นคุณภาพ 2 ตามมาตรฐาน มอก. 1505 – 2541 ชนิด 0.5 จะมีความหนาแน่น (Dry Density) ไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และกำลังแรงอัด (Compressive Strength, fc) ไม่น้อยกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Dolah, 2009) ซึ่งจากการทดลองผลิตอิฐมวลเบาในครั้งนี้โดยใช้วิธีแบบไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ (Non-Autoclaved system) ประเภทที่ 1 โดยใช้วัสดุเบากว่ามาทดแทน โดยการนำดินเหนียวมาผสมกับวัสดุธรรมชาติ ยังไม่สามารถให้สมบัติที่ดีของอิฐในด้านความหนาแน่น (โดยมวลต่อปริมาตรของอิฐ) เมื่อเทียบกับ การผลิตอิฐมวลเบาที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ (Autoclaved System) ซึ่งจะมีลักษณะของอิฐที่มีน้ำหนักเบากว่าในปริมาตรเท่ากัน แต่ต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตและต้นทุนที่สูงมากขึ้น การผลิตอิฐด้วยกระบวนการอบไอน้ำจึงใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้ได้อิฐมวลเบาถึงชั้นคุณภาพที่ 2 เมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิตพบว่า สูตรการผลิตอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ (S2) มีต้นทุนการผลิตด้านวัสดุเท่ากับ 16.47 บาท หรือ ประมาณ 137.2 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งยังไม่เกินกว่าราคาวัสดุคอนกรีตมวลเบาชั้นคุณภาพ 4 (ขนาด 20*60*7.5 เซนติเมตร) ตามบัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานประจำปี 2565 กำหนดไว้ที่ตารางเมตรละ 203 บาท (Office of the Basic Education Commission, 2021) เนื่องจากแกลบเป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่ามากกว่าทราย จึงทำให้ต้นทุนการผลิตอิฐมวลเบาต่อก้อนในการวิจัยครั้งนี้เพิ่มขึ้น หากมีการเลือกใช้เถ้าแกลบ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

แทนที่วัตถุดิบในการผลิตที่มีมูลค่ามากกว่า คือ ปูนซีเมนต์ จะสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้อิฐมวลเบาในแต่ละครั้งควรศึกษารายละเอียดตามความจำเป็น ตลอดจนพื้นที่ที่ต้องการใช้งานเพื่อสามารถเลือกอิฐได้อย่างเหมาะสมทั้งขนาด จำนวน ที่ใช้ในการก่อสร้างเพื่อให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพและประหยัด

ข้อจำกัดของงานวิจัยในครั้งนี้ คือ การบ่มอิฐที่ระยะเวลาเพียง 7 วัน ซึ่งถ้ามีการบ่มอิฐที่ระยะเวลาที่นานมากขึ้นอาจจะส่งผลให้อิฐมวลเบามีความแข็งแรงและค่าความต้านแรงอัดที่สูงขึ้นได้ ดังที่มีผู้ได้ผลการศึกษาอิทธิพลของวัสดุปอซโซลานประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร โดยใช้ระยะเวลาการบ่มอิฐระหว่าง 7, 14 และ 28 วัน พบว่า ระยะเวลาการบ่มอิฐที่ 28 วันให้ผลการทดสอบดีที่สุด (Muangtong, Kongpun, and Nekhamanurak, 2014) หากมีการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรใช้วิธีการผลิตอิฐมวลเบาชนิดอบไอน้ำ เพิ่มระยะเวลาการบ่มอิฐให้มากขึ้น และมีการศึกษาลักษณะอนุภาคของวัสดุเสริมกำลังที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในงานนำไปใช้ในงานก่อสร้างต่อไป

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ผลจากการทดสอบความความแข็งแรงอิฐมวลเบาโดยใช้เถ้าแกลบแทนที่ส่วนผสมทรายในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า ความต้านแรงอัดมีความต้านแรงอัดระหว่าง 7.38 – 13.28 เมกะพาสคัล การใช้วัสดุแทนที่ร้อยละ 10 มีค่าความต้านแรงอัดมากที่สุด เท่ากับ 12.68 ± 1.27 เมกะพาสคัล อัตราการดูดซึมน้ำ 15.4 ± 1.48 % และความหนาแน่น 1.47 ± 0.01 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จัดอยู่ในอิฐมวลเบาชั้นคุณภาพ 8 (ตาม มอก. 1505-2541) โดยมีต้นทุนการผลิตด้านวัสดุประมาณ 16.47 บาทต่อก้อน ผลจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การนำแกลบซึ่งเป็นวัสดุทางการเกษตรมาผลิตเป็นวัสดุเสริมกำลังโดยการเผาไหม้เป็นเถ้าแกลบมีความสามารถนำไปใช้ในการผลิตอิฐมวลเบาสำหรับก่อผนังหรือกั้นห้องภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้ โดยมีต้นทุนไม่เกินจากบัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานประจำปี 2565

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบความต้านแรงอัด และขอขอบพระคุณสำนักงานบริหารกายภาพและสิ่งแวดล้อมที่ได้เอื้ออำนวยสถานที่และเครื่องมือในการทดลองของการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Chaichana, V. (2019). Production of light brick using rice husk ash as an ingredient (in Thai). **Research Report**. Bangkok: Rajabhat Maha Sarakham University.

Chindaprasirt, P. and Jaturapitakkul, C. (2013). **Cement Pozzolan and Concrete, 7thedition** (in Thai). Bangkok: thailand concrete association.

Chindaprasirt, P., Songpiriyakij, S., Rattanasak, U. and Pruksanukul, S. (2020). Dimensional stability of Lightweight Concrete (in Thai). **Research Report.** Bangkok: Thailand Science Research and Innovation.

Dolah, N. (2009). Light materials used in construction Industry (in Thai). Princess of Naradhiwas University Journal, 1(3), 48-62.

Faculty of Engineering Civil Engineering University of Phayao. (2016). Determination of size, density, moisture and water absorption of bricks (in Thai). Retrieved 8 February 2022, from **Faculty of Engineering Civil Engineering University of Phayao** http://engineeringmaterialsproject.blogspot.com/2015/12/1.html

Ministry of Industry. (1998). Thai industrial standard (Tis no. 1505-2541) Autoclaved aerated lightweight concrete elements (in Thai). Retrieved 30 November 2021, from **Ministry of Industry:** http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS1505-2541.pdf

Muangtong, P., Kongpun, T. and Nekhamanurak, B. (2014). Influence of Pozzolan Materials, Agricultural Waste, on Mechanical Properties of Soil-Cement Brick (in Thai). **Research report**. Bangkok: Rajamangala University of Technology Rattanakosin.

Office of the Basic Education Commission. (2021). Accounting of construction materials and labor costs for the year 2022 (in Thai). Retrieved 28 March 2022, from **Office of the Basic Education Commission**. https://rnedu.go.th/2019/wp-content/uploads/2021/11

Onprom, P. (2021). Influence of Glass Cullet as Partial Replacement of Fine Aggregate on Concrete Block Properties (in Thai). **Vocational Education Innovation and Research Journal**, 5(1), 32-39.

Panel hoszigeteles Co., Ltd. (2017). Properties of heat-insulating bricks or lightweight bricks (in Thai). Retrieved 8 February 2022, from **Panel Hoszigeteles**: https://www.panelhoszigeteles.com/category/%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%93%E0%B8%91%E0%B9%8C/page/3

Sata, V., Tangpagasirt, J., Jaturapitakkul, C. and Chindaprasirt, P. (2012). Effect of W/B ratios on pozzolanic reaction of biomass ashes in Portland. **Cement & Concrete Composites**, 34(1), 94-100.

Sinsiri, T. (2014). High strength cellular aerated concrete (in Thai). **Research report**. Bangkok: Science and Technology Infrastructure Databank (STDB).

Sirisurawong, E. (2015). Development of the cement replacement material from water treatment sludge and rice husk ash (in Thai). **Master's Thesis.** Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology.

Senaart, N. and Nonthawee, P. (2019). Production of worm bricks from water supply sludge, Ubon Ratchathani University (in Thai). **Research report.** Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

The securities and exchange commission. (2013). Smart concrete public company limited (in Thai). Retrieved 28 April 2022, from **The Securities and Exchange Commission**: http://capital.sec.or.th/webapp/corp_fin/datafile/69/2013/132800110401012013-04-

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

JSSE Journal of Science & Science Education
https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JSSE

บทความวิจัย

การตรวจวัดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคแบบรวดเร็วโดยใช้อนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ซุปเปอร์พาราแมกเนติกด้วยแมกนีโตอิมพีแดนซ์เซ็นเซอร์ความไวสูง: การศึกษาเบื้องต้น

องอาจ เทียบเกาะ[1,*] กัลย์ชิญาภัท อริยะเชาว์กุล[2] มะลิวรรณ อมตธงไชย[3] และปุริม จารุจำรัส[3]

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[*]Email: ongard.t@ubu.ac.th

รับบทความ: 13 เมษายน 2565 แก้ไขบทความ: 8 มิถุนายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 13 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

ความก้าวหน้าล่าสุดของการตรวจวัดสนามแม่เหล็กขนาดเล็กมากในระดับพิโคเทสลาภายใต้อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการกำบังสนามแม่เหล็กภายนอกแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวิธีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการทำเครื่องหมาย การติดฉลาก และการตรวจวัดทางแม่เหล็กของเป้าหมายเอกลักษณ์ทางชีวภาพ เช่น ไวรัส ยีนส์ โปรตีน และแบคทีเรีย ในบทความนี้ผู้วิจัยนำเสนอการตรวจวัดสนามแม่เหล็กของอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ซุปเปอร์พาราแมกเนติกในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Trypticase Soy Broth, TSB) และอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ซุปเปอร์พาราแมกเนติกที่จับกับแบคทีเรียอีโคไล (*E. coli*) ในอาหารเหลว ซึ่งสนามแม่เหล็กของอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ดังกล่าวที่จับกับแบคทีเรียอีโคไลถูกตรวจวัดได้ด้วยแมกนีโตอิมพีแดนซ์เซ็นเซอร์ความไวสูง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากแมกนีโตอิมพีแดนซ์เซ็นเซอร์ของตัวอย่างที่มีแบคทีเรียอีโคไลมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ วิธีการทำให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกันก่อนการวัดและการนำสนามแม่เหล็กภายนอกขนาดประมาณ 0.2 มิลลิเทสลาไปยังตัวอย่างทำให้เกิดการปรับแต่งสัญญาณที่วัดได้เด่นชัดขึ้น และได้มีการศึกษาเบื้องต้นของการตรวจวัดอนุภาคนาโนเหล็กนาโนเหล็กออกไซด์ซุปเปอร์พาราแมกเนติกที่จับกับเชื้ออีโคไลที่ปนเปื้อนในเครื่องดื่ม เทคนิคและการตรวจวัดอย่างง่ายสำหรับอนุภาคนาโนแม่เหล็กนี้สามารถนำไปสู่การพัฒนาต่อยอดเป็นไบโอเซนเซอร์ขนาดกะทัดรัดที่สามารถพกพาได้

คำสำคัญ: อนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ซุปเปอร์พาราแมกเนติก แมกนีโตอิมพีแดนซ์เซ็นเซอร์ สนามแม่เหล็กขนาดเล็กมาก

อ้างอิงบทความนี้

องอาจ เทียบเกาะ กัลย์ชิญาภัท อริยะเชาว์กุล มะลิวรรณ อมตธงไชย และปุริม จารุจำรัส. (2565). การตรวจวัดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคแบบรวดเร็วโดยใช้อนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ซุปเปอร์พาราแมกเนติกด้วยแมกนีโตอิมพีแดนซ์เซ็นเซอร์ความไวสูง: การศึกษาเบื้องต้น. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 191-201. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.22

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Rapid detection of Pathogenic Bacteria with Superparamagnetic Iron-oxide Nanoparticles (SPIONs) using highly sensitive magneto-impedance sensor: A preliminary study

Ongard Thiabgoh[1,*], Kanchiyaphat Ariyachaokun[2], Maliwan Amatatongchai[3] and Purim Jarujamrus[3]

[1]*Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

[2]*Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

[3]*Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

[*]*Email: ongard.t@ubu.ac.th*

Received <13 April 2022>; Revised <8 June 2022>; Accepted <13 June 2022>

Abstract

Recent progress in the detection of ultra-small magnetic fields down to nano-Tesla level at room temperature and without magnetic shielding has shown potential applications in magnetic marking, labeling, and detecting for target biological entities such as viruses, genes, proteins, and bacteria. Herein, we present the detection of stray magnetic fields of superparamagnetic iron-oxide nanoparticles (SPIONs) in liquid medium (Trypticase Soy broth, TSB) and SPIONs bound to test bacteria (*Escherichia coli*). The stray magnetic fields of SPIONs captured *E. coli*, and that of the control samples were measured using a highly sensitive magneto-impedance (MI) sensor. The output voltage of MI-sensor of SPIONs-captured *E. coli* sample was significantly lower than the control samples. Homogenizing samples prior detection and the introduction of the external static magnetic field, H_{ext}, of ~ 0.2 mT to the samples showed remarkable enhancement of magnetic signals. The preliminary study of SPIONs captured*E. coli* in dairy beverages has been performed. This simple and versatile technique for detecting magnetic nanoparticles can be further developed for a portable magnetic biosensor.

Keywords: Superparamagnetic iron-oxide nanoparticles (SPIONs), magneto-impedance (MI) sensor, ultra-small magnetic fields

Cite this article:

Thiabgoh, O., Ariyachaokun, K., Amatatongchai, M., and Jarujamrus, P. (2022). Rapid detection of Pathogenic Bacteria with Superparamagnetic Iron-oxide Nanoparticles (SPIONs) using highly sensitive magneto-impedance sensor: A preliminary study. **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 191-201. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.22

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

1. Introduction

The rapid detection of magnetic nanoparticles or magnetically labeled bioanalytes has been extensively investigated due to wide ranges of biosensing and biomedical applications (Anik *et al.,* 2021; Wang *et al.*, 2017; Zhong *et al*., 2021). It has been established that a significant change in the particle's size in nanometer scales of magnetic materials such as magnetite (Fe_3O_4), cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$) (Liu *et al*., 2020), two-dimensional ferromagnetic monolayers (Bonilla et al., 2018), etc. can alter dramatically the physical and magnetic properties of the nanostructured materials (Krishnan, 2017). In particular, the emergence of magnetic nanoparticles exhibits unique magnetic properties such as the single domain, and the absence of remnant magnetization and zero coercivity of the magnetization curve of superparamagnetic nanoparticles. Recently, SPIONs have been intensively explored because of their tremendous potential applications in magnetic imaging, hyperthermia treatment, targeted drug delivery, and magnetic biosensing (Handa, 2018). To date, SPIONs can be tailored into a few nanometers via the synthesis process and used in targeted molecules or micro-organism of interest. Therefore, the rapid detection of magnetic signals from the SPIONs is highly promising for biosensor technology and medical diagnostics.

Stray magnetic fields generated from the magnetic nanoparticles are very small and not be able to detect using typical magnetic sensors. Only high sensitive magnetometers including giant magnetoresistance (GMR) sensor, superconducting quantum interference devices (SQUID), and giant magneto-impedance sensor (GMI) are capable to detect the weak magnetic fields (Makarov *et al*., 2016). Among the mentioned magnetic sensors, SQUID magnetometer is the most sensitive compared with the others; however, operating under the cryogenic environment makes it not suitable for a practical application. Recently, a highly sensitive GMI-based sensor has been employed for detecting stray magnetic fields of magnetic nanoparticles and magnetic beads tagged to pathogenic microorganism (Yang *et al*., 2015; 2016). Devkota *et al*. reported the detection of Nanomag-D beads using an acid-treated amorphous ribbon (Devkota *et al*., 2013a; Devkota *et al*., 2013b). Later, Yang *et al*. (2016) employed a giant magneto-impedance sensor on the antibodies modified with gold surface which resulted to ultrasensitive detection of injected *E. coli*-Dyabead complexes into a microfluidic device (MFD) prepared by MEM technology. Despite of high-sensitivity detection of *E. coli*-Dyabead, the fabrication of open-surface MFD is sophisticated and expensive. Hence, an alternative technique is needed in order to detect the weak field intensity from the targeting biomolecules or captured micro-organism using a contactless device or a magnetic nanoparticle-based test kit and reasonable cost.

Recently, MI-sensor developed by Nagoya University researchers has been used for the real-time measurement of biomagnetic fields in living systems (Uchiyama *et al*., 2009). This improved- magneto impedance sensor dramatically showed the weak-field detection down to nano-Tesla at a working distance of ~ 1 mm without magnetic shield (Nakayama and Uchiyama, 2015). Thus, the utility of the contactless MI-sensors and magnetic test for detecting magnetic signals from target materials with magnetic beads or functionalized magnetic nanoparticles will be an alternative technology for the development of future biosensors.

In this study, we present a new alternative technique for detecting stray magnetic field from SPIONs-captured pathogenic bacteria in TSB and contaminated beverages. A highly sensitive MI-sensor was employed to detect small magnetic fields down to nanoTesla range generated from SPIONs and SPIONs-captured *E. coli.* Moreover, versatile techniques using the application of an external static magnetic field, and homogenizing samples by vortexing showed the remarkable enhancement of magnetic signals from the samples relative to the controls.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2. Materials and Methods

2.1 Synthesis of Superparamagnetic Iron-oxide Nanoparticles (SPIONs)

In this experiment, the bottom-up approaches were employed to synthesize the magnetite nanoparticles. Thermal co-precipitation technique was used to synthesize the superparamagnetic iron-oxide nanoparticles (SPIONs), as detailed in our previous work (Sroysee *et al*., 2016). The semi-translucent samples of SPIONs were prepared for successfully transmission of electron beam through it. The sample size and shape were investigated by transmission electron microscopy (TEM, Model JEM-1230; JEOL, Tokyo, Japan) and operated under vacuum at an accelerating voltage of 20 kV. The magnetic property was investigated using vibrating-sample magnetometer (VSM). The optical images were taken using an optical camera: an Olympus CX23 with magnification of 1,000x.

2.2 Bacteria Preparation

Escherichia coli (ATCC 25922, Gram-negative bacteria) was streaked into Trypticase Soy agar (TSA) to obtain isolated colonies. After incubation at 37°C overnight, four or five colonies with an inoculating loop were selected and were transferred to a tube of Trypticase Soy broth (TSB) and then incubated for 3–5 h to standardize the culture to 1.5×10^{8} CFU/mL (corresponding to 0.5 McFarland standards). Afterward, the culture was prepared about 1.00 mL for each experiment.

2.3 MI-Sensor Calibration and Detection of *E. coli* with SPIONs

The measurement of small magnetic fields using a commercial MI-sensor developed by Aichi Micro Intelligent Corporation (Mohri et al., 2009) was performed and calibrated. The magnetic field was generated using the paired coils (N = 154 turns, radius of 0.20 m) in Helmholtz arrangement developed by PHYWE: Science Education. The coils were connected in series and set-up in the same direction as earth magnetic field. Then, small currents of 3, 5, 10, 15, and 20 μA were applied to the coils in order to generate static magnetic fields 2.08, 3.46, 6.92, 10.38, and 13.84 nT at the coil center, respectively.

The MI-sensor, which possess detecting range of magnetic change between -40 μT to +40 μT, was located at the center of the Helmholtz coils to probe the presence of a relatively uniform magnetic field. A constant voltage of 5.00 volts was supplied the MI-sensor throughout the experiment. It is worth mentioning that the developed MI-sensor is designed for the measurement of the change in a dc magnetic field with respect to the previously static field, and the corresponding field sensitivity is ~ 1 mV/nT. The standard noise of the MI-sensor is ~200 pT/$\sqrt{Hz}$. Further details and specification of the product can be found in the data sheet of the product given by Aichi Micro Intelligent Corporation (Steel, 2022). The output voltage was read through a digital multimeter (mV resolution). The experimental setup is shown in Figure 1 (a).

Firstly, the detection of weak magnetic fields generated from 5, 10, and 15 mg of SPION suspension of 1.0 mL in microcentrifuge tubes were measured at a working distance 5 mm in order to evaluate the capability of our concepts as shown in Figure 1 (b). The sample holder was controlled by a stepper motor controller and an Arduino UNO board current driver at far-off distance ~ 60.00 cm and constantly rotating toward the MI-sensor with 4.0 rpm. All samples and controls were measured at the same positions and rotating speed.

Secondly, three pairs of the sample and control were prepared for the systematic detection of SPIONs-captured *E. coli.* The prepared *E. coli* samples and only TSB were added into microcentrifuge tubes containing 5, 10, and 15 mg of SPIONs for 1.0 mL. The suspension mixtures were mixed with vortex for 10 sec. Then, the samples and controls were ready for the stray field measurement. In order to enhance the detection of the stray fields generated from the samples, sample homogenization prior detection by vortexing, and the application of an external static magnetic field, H_{ext}, of ~ 0.2 mT toward the samples were systematically performed (Moghanizadeh *et al*., 2021).

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

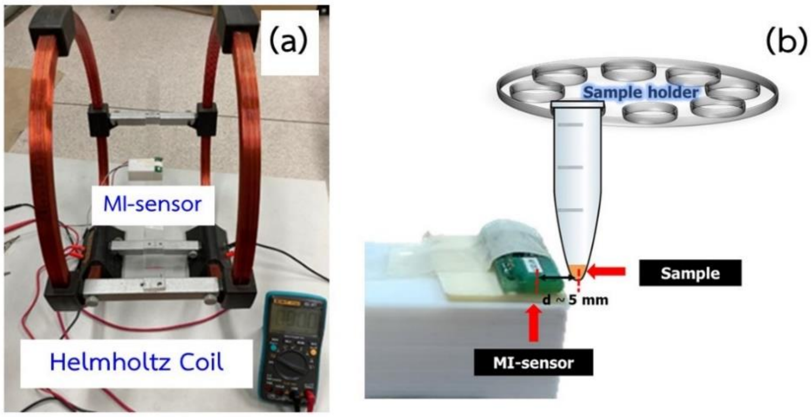


Figure 1. Experimental setup showing (a) magnetic field calibration using the Helmholtz arrangement and (b) schematic of the magnetic nanoparticles measurement.

Thirdly, the detection of *E. coli* contamination in dairy beverages purchased from our university canteen was carried out for iced coffee (S1), iced milk tea (S2), and chrysanthemum tea (S3), respectively. In the succeeding procedures, the amount of 10 mg SPIONs was selected for our further experiments because the experimental results drastically showed a large significant signal between the sample and the control. The sterilized iced coffee, iced milk tea, and chrysanthemum tea of 0.5 ml with SPIONs 10 mg were prepared for the bacterial contamination test. The amount of 0.5 ml of *E. coli* with concentration of 1.5 x 10^8 CFU/mL was added into the prepared beverages one-by-one. The controls of the sterilized iced coffee, iced milk tea, and chrysanthemum tea were added with TSB 0.5 mL, respectively. The sample preparation for the detection of *E. coli* with SPIONs is shown in Figure 2.

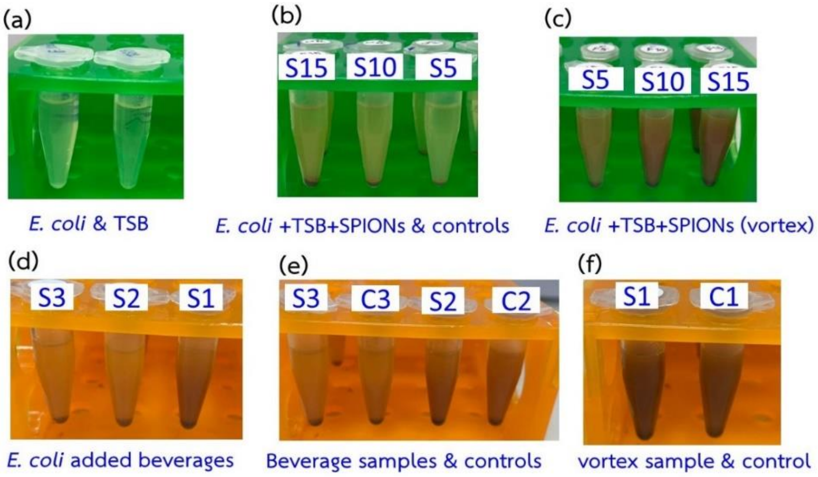


Figure 2. Experimental setup showing (a) *E. coli* suspension and only TSB, (b)-(c) *E. coli* and 5 mg (S5), 10 mg (S10), and 15 mg (S10) of SPIONs added for 1.0 ml., (d) *E. coli* spiked samples, (e) beverage samples & controls, and (d) beverage sample & control (vortex)

3. Results and Discussion

3.1 Material Characterization

When the magnetic material sizes reduce into nanoscales, the particle sizes of the materials play an essential role in physical and magnetic properties. Figure 3 (a) shows the particle size and morphology of magnetic nanoparticles synthesized by the thermal decomposition technique. The approximated size of the particles is ~ 10-15 nm and some of the nanoparticles is slightly smaller than the others. There is a slight difference in particle shape; however, their overall morphology remains similar. The size and morphology of the SPIONs play an essential role in magnetic properties. When the size of the magnetite is very small, the surface area to volume ratio becomes critical. As a results, this particle possesses only one single-domain

and exhibits superparamagnetic state. The critical diameters of the SPION are approximately few nanometers. In this state, the magnetic moments of the SPIOs will be aligned when an external magnetic field is applied (Krishnan, 2017). Furthermore, as the particle' size decreases in the ion state, the magnetic moments of SPIONs randomly flip direction under the influence of temperature because of the superparamagnetic state. The magnetization of the magnetic field curve at room temperature for the obtained ferrite nanoparticles is shown in Figure 3 (b). As can be seen in the Figure 3 (b), the absence of remnant magnetization and zero coercivity of the MH loop was observed from the samples. The maximum magnetization (M_s) of the Fe_3O_4 is ~ 9 emu/g which is in accordance with the previous works reported for small sizes of iron-oxide nanoparticles of ~15-20 nm.

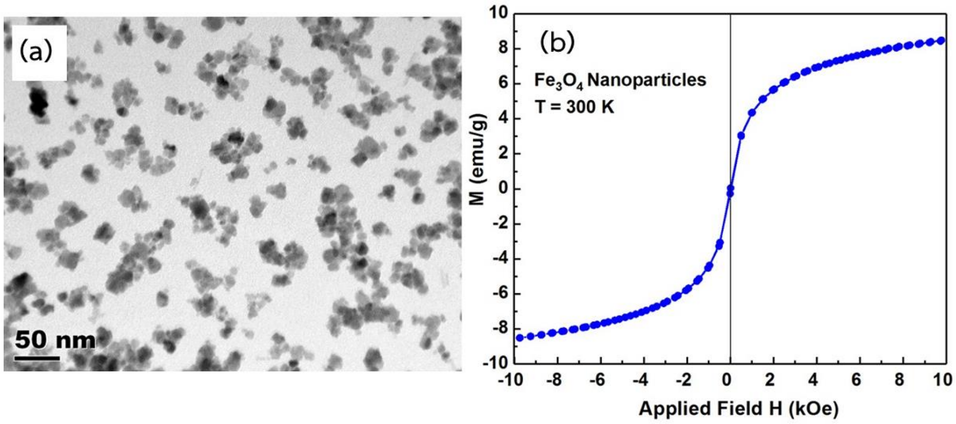


Figure 3. The sample size, shape and magnetic properties were investigated by (a) transmission electron microscopy (TEM), and (b) a vibrating-sample magnetometer (VSM), respectively.

3.2 Bacteria mixed with SPIONs

As mentioned previously, the ferrite nanoparticles are able to capture *E. coli. cells* owing to the electrostatic forces between positively charged particles of Fe_3O_4 in suspension and the negatively charged membrane of bacterial cells (Li *et al*., 2019; Quintana-Sánchez *et al.*, 2021). Figure 4(a) shows optical images of *E. coli* magnified by 1000x using an optical microscope. There is no SPION or their aggregation appears in the TSB and *E. coli* mixture. The bacteria mixed with 5, 10, and 15 mgs in TSBs (concentration ~ 1.5 x 10^8 CFU/mL) are shown in Figure 4 (b)-(d), respectively. As can be seen in the Figure 4 (b)-(d), some of SPION aggregation and *E. coli* are obviously observed under the microscope due to the typical sizes of the bacteria and SPION aggregation; however, a single SPION or finer SPIONs could not be observed through the light microscopy.

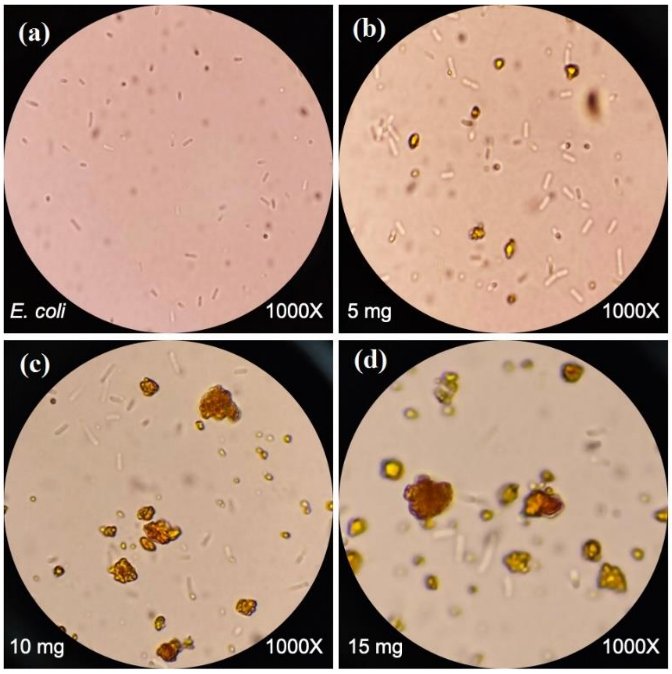


Figure 4. Optical images (1000x) of (a) *E. coli* in TSB (1.5 x 10^8 CFU/mL) (control), (b)-(d) *E. coli* mixed with various amount of SPIONs namely for 5, 10, and 15 mgs in TSB (1.5 x 10^8 CFU/mL), respectively.

3.3 Magneto-impedance Sensor Calibration

The measurement of weak magnetic fields at the center of the Helmholtz coils; 2.08, 3.46, 6.92, 10.38, and 13.84 nT was performed, respectively. The relationship between the expected magnetic fields and measured relative changes of the output potentials shows good linear characteristics. The field-detection sensitivity is approximately ~ 0.9865 mV/nT (Figure 5 (a)), which is slightly different from the given specification in the product data sheet (1.0 mV/nT). As expected, this experimental measurement of ultra-high sensitive magnetic fields was obviously reported for an amorphous wire MI sensor that are capable of sensing nT fields (Nakayama and Uchiyama, 2015). Figure 5 (b) shows the relative changes of the output potentials for the stray magnetic fields of SPIONs suspended in TSB 1.0 mL. The linear relationship between the amount of SPIONs and relative changes of the output potentials is observed. The corresponding output potentials are 3.83, 8.67, and 14.33 mV, for the solution with 5, 10 and 15 mgs, respectively. In our experiment, the stray magnetic fields of SPIONs in a powder form were investigated as well, and the detected fields are 5.83, 10.05, and 15.33 mV, respectively, which are slightly higher than the suspension one (not shown in the Figure). It is worth mentioning that there is no change in the output potentials of the MI-sensor when the *E. coli* and TSB without SPIONs was measured.

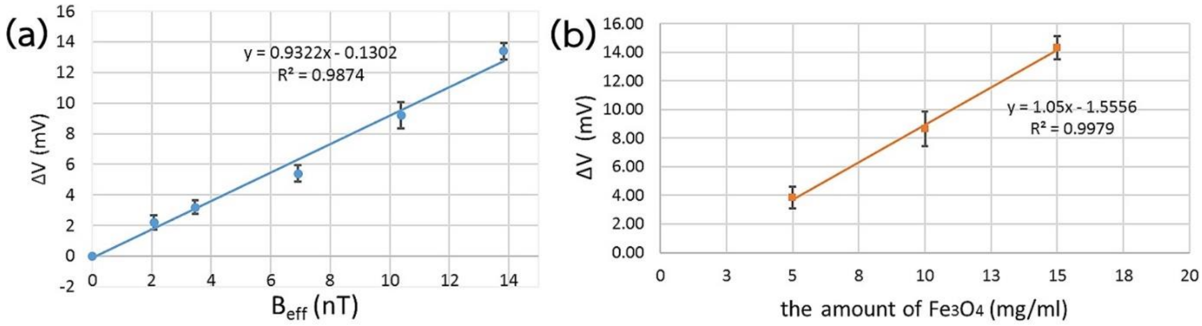


Figure 5. Relative magnetic field change for (a) each concentration of nanoparticles, the linear response for (b) the low concentration regime.

3.4 The detection of *E. coli* with SPIONs

To further investigate the stray field generated from magnetically captured bacteria by SPIONs, the comparison of the measured voltages subtracted from the blank control among various SPIONs controls was also performed. Figure 6 (a) shows the output voltages obtained from the MI-sensor from the samples and their controls at different SPION concentrations after the samples aggregated for 10 min. It is noticeable that there is a slight difference between the output voltage measured from the sample and the control for each concentration. As expected, the differences of the output voltages of the samples and controls (ΔV) are 0.67 mV (SPIONs, 5 mg), 0.67 mV (SPIONs, 10 mg), and 0.33 mV (SPIONs, 15 mg), respectively. In order to explore the larger changes of the output voltage, the method of sample homogenization prior the detection was prepared. As can be seen in Figure 6 (b), there is a significant difference between the output voltages and the controls. In particular, the change of the output voltage up to 2.67 mV was observed for the 10 mg concentration. The differences of the output voltages of the samples and controls (ΔV) are 1.00 mV (SPIONs, 5 mg), and 1.33 mV (SPIONs, 15 mg), respectively. In order to confirm the ability of the magnetically captured bacteria, the arrangement of an applied magnetic field of ~0.2 mT in downward direction was introduced toward the samples during the measurement (Moghanizadeh *et al.*, 2021). Figure 6 (c) shows the enhancement of the output-voltage changes for all samples when the samples and their controls experienced an external magnetic field. The differences of the output voltages of the samples and controls (ΔV) are 1.67 mV (SPIONs, 5 mg), 2.00 mV (SPIONs, 10 mg), and 0.67 mV (SPIONs, 15 mg), respectively. Despite the enhancement of the measured output voltages with different SPIONs concentrations, the output-voltage is further enhanced by homogenizing the sample using the suspension technique.

It is established that stray magnetic fields generated from SPIONs, and SPIONs bounded *E. coli.* depends crucially on their shape anisotropy (Wu *et al.*, 2015). If the SPIONs bounded *E. coli.* are not obviously aggregated down to the bottom caused by the gravitational field, the superimposed fields would be reduced compared with the control samples (Sandhu *et al.*, 2018; Moghanizadeh *et al.*, 2021). As expected, this process can be prevented by vortexing the mixtures before the measurement. Furthermore, the application of small static magnetic fields in downward direction try to push the SPIONs down to the bottom, which can decrease the horizontal stray magnetic fields toward the sensor. As a result, the overall output voltages decrease (see Figure 6(c)) (Mohri *et al.*, 2009; Steel, 2022).

In order to preliminary investigate the feasibility of the method in real practical application, the quasi-experiment setup of everyday contaminated beverages was simulated and explored. For proceeding experiment, only the amount of 10 mg SPIONs was selected to mix into iced coffee (S1), iced milk tea (S2), and chrysanthemum tea (S3) purchased from our university canteen. The MI-sensor was employed to measure the signal obtained from samples (namely control) and spiked samples. As mentioned in the experimental part, by employing 10 mg of SPIONs into the samples and controls (C1-C3), resulted to significant change in the outputs in comparison with the other concentrations as presented in the previous section. Figure 7 (a) shows the significant differences of the output voltages obtained from the iced coffee (ΔV~1.67 mV), iced milk tea (ΔV~2.67 mV), and chrysanthemum tea (ΔV~4.67 mV), from their controls. Furthermore, homogenization of the sample by vortexing of the mixtures for 10 seconds prior to the detection was also conducted. As with the case presented in the previous section, a significant difference of the output voltages of the samples and controls (ΔV) are detected, yielding 3.67, 4.33, and 4.67 mV, for S1, S2 and S3, respectively (see Figure 7 (b)). Similarly, there is also enhancement in the change of the output-voltage for all samples when the samples and their controls experienced the external magnetic field (H_{ext} ~0.2 mT) in downward direction (ΔV), yielding 1.33, 4.33, and 5.33 mV, for S1, S2 and S3, respectively (see Figure 7 (c)). As mentioned previously, the aggregation of SPIONs and SPIONs bounded *E. coli.* down to the bottom part plays an essential role in the differences of the output voltages of the samples and controls. As expected, similar to the results

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

of the TSB suspensions have also been observed, i.e., the sample homogenization prior detection and the application of external magnetic field enhance the magnetic signals (Handa, 2018; Moghanizadeh et al., 2021).

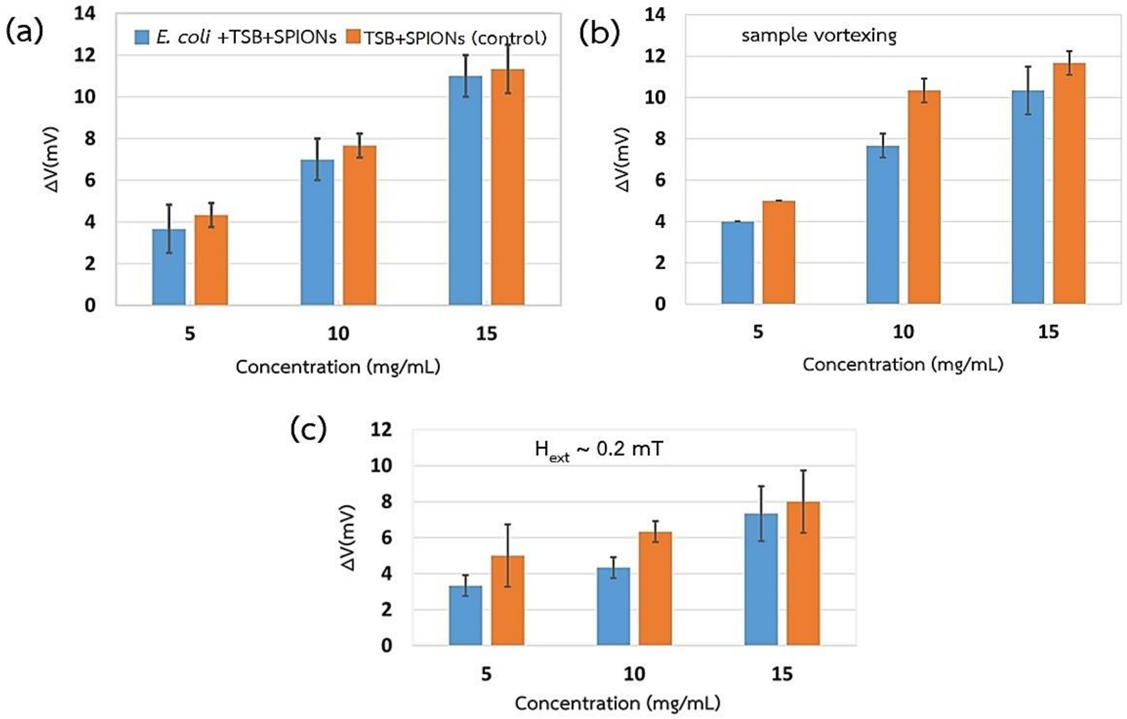


Figure 6. The output voltages of (a) the MI-sensor obtained from the samples and their controls at different SPIONs concentrations after aggregating the samples for 10 min, (b) after repeatedly homogenizing sample, and (c) when the magnetic field of ~0.2 mT was applied to the samples in downward direction.

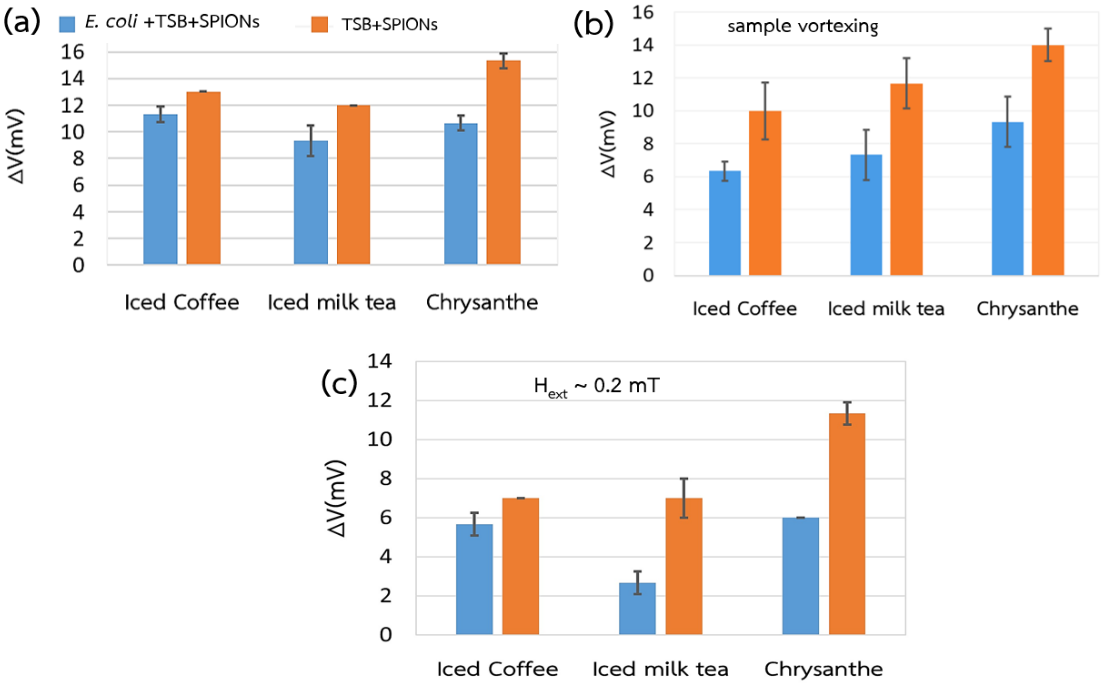


Figure 7. The output voltages (a) obtained from the MI-sensor from the iced coffee (S1), iced milk tea (S2), and chrysanthemum tea (S3) and their controls (C1-C3) after aggregating the samples for 10 min, (b) after applying a vortex mixture machine to suspend the mixtures, and (c) when changing the arrangement of the applied magnetic field H_{ext} ~0.2 mT in downward direction.

4. Conclusion

In summary, we have demonstrated the sensitivity of MI-sensor in detecting weak magnetic fields of few nanotesla without magnetic shielding. In particular, we employed the MI-sensor to detect the stray magnetic fields of SPIONs captured by *E. coli* bacteria with the concentration of 1.5 x 10^8 CFU/mL. Homogenization of the samples by vortexing the mixtures for 10 s prior to the detection and the application of the external static magnetic field (H_{ext}) ~ 0.2 mT toward the samples dramatically showed enhancement of the magnetic signals. In addition, common beverages, namely iced coffee, iced milk tea, and chrysanthemum tea were tested using the MI-sensor. Significant decreases in the corresponding output signals were observed, i.e., 1.67, 2.67, and 4.67 mV, for the iced coffee, iced milk tea, and chrysanthemum tea, respectively. Preliminary results indicated that the decrease of the magnetic moments is the result of the SPION captured by *E. coli* bacteria. These experimental results would lead to the determination of bacteria concentration and can be developed for magnetic biosensors.

Acknowledgment

This work was supported by Ubon Ratchathani University Research Fund.

References

Anik, M. I., Hossain, M. K., Hossain, I., Mahfuz, A. M. U. B., Rahman, M. T. and Ahmed, I. (2021). Recent progress of magnetic nanoparticles in biomedical applications: A review. **Nano Select**, 2(6), 1146-1186. doi:10.1002/nano.202000162

Bonilla, M., Kolekar, S., Ma, Y., Diaz, H. C., Kalappattil, V., Das, R., Eggers, T., Gutierrez R.G., Phan, M.-H. and Batzill, M. (2018). Strong room-temperature ferromagnetism in VSe2 monolayers on van der Waals substrates. **Nature Nanotechnology**, 13(4), 289-293. doi:10.1038/s41565-018-0063-9

Devkota, J., Ruiz, A., Mukherjee, P., Srikanth, H. and Phan, M.-H. (2013a). Magneto-Impedance Biosensor With Enhanced Sensitivity for Highly Sensitive Detection of Nanomag-D Beads. **IEEE Transactions on Magnetics**, 49(7), 4060-4063. doi:10.1109/tmag.2012.2235414

Devkota, J., Wang, C., Ruiz, A., Mohapatra, S., Mukherjee, P., Srikanth, H. and Phan, M. H. (2013b). Detection of low-concentration superparamagnetic nanoparticles using an integrated radio frequency magnetic biosensor. **Journal of Applied Physics**, 113(10), 104701. doi:10.1063/1.4795134

Krishnan, K. M. (2017). **Fundamentals and Applications of Magnetic Materials**. New York: Oxford University Press.

Li, Z., Ma, J., Ruan, J. and Zhuang, X. (2019). Using Positively Charged Magnetic Nanoparticles to Capture Bacteria at Ultralow Concentration. **Nanoscale Research Letters**, 14(1), 195. doi:10.1186/s11671-019-3005-z

Liu, J., Su, D., Wu, K. and Wang, J.-P. (2020). High-moment magnetic nanoparticles. **Journal of Nanoparticle Research**, 22(3). doi:10.1007/s11051-020-4758-0

Makarov, D., Melzer, M., Karnaushenko, D. and Schmidt, O. G. (2016). Shapeable magnetoelectronics. **Applied Physics Reviews**, 3(1), 011101. doi:10.1063/1.4938497

Moghanizadeh, A., Ashrafizadeh, F., Varshosaz, J. and Ferreira, A. (2021). Study the effect of static magnetic field intensity on drug delivery by magnetic nanoparticles. **Scientific Reports**, 11(1), 18056. doi:10.1038/s41598-021-97499-7

Mohri, K., Humphrey, F. B., Panina, L. V., Honkura, Y., Yamasaki, J., Uchiyama, T. and Hirami, M. (2009). Advances of amorphous wire magnetics over 27 years. **physica status solidi (a)**, 206(4), 601-607. doi:10.1002/pssa.200881252

Nakayama, S. and Uchiyama, T. (2015). Real-time measurement of biomagnetic vector fields in functional syncytium using amorphous metal. **Scientific Reports**, 5, 8837. doi:10.1038/srep08837

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Quintana-Sánchez, S., Barrios-Gumiel, A., Sánchez-Nieves, J., Copa-Patiño, J. L., de la Mata, F. J. and Gómez, R. (2021). Bacteria capture with magnetic nanoparticles modified with cationic carbosilane dendritic systems. **Materials Science and Engineering: C**, 112622. doi:10.1016/j.msec.2021.112622

Sandhu A. and Handa H. (Ed.) (2018). **Magnetic Nanoparticles for Medical Diagnostics.** Bristal: IOP Publishing.

Sroysee, W., Ponlakhet, K., Chairam, S., Jarujamrus, P. and Amatatongchai, M. (2016). A sensitive and selective on-line amperometric sulfite biosensor using sulfite oxidase immobilized on a magnetite-gold-folate nanocomposite modified carbon-paste electrode. **Talanta**, 156-157, 154-162. doi:10.1016/j.talanta.2016.04.066

Steel, A. (March, 14, 2022). Ultra-sensitive magnetic sensor. Retrieved from https://www.aichi-steel.co.jp/ENGLISH/smart/mi/products/type-dh.html

Uchiyama, T., Nakayama, S., Mohri, K. and Bushida, K. (2009). Biomagnetic field detection using very high sensitivity magnetoimpedance sensors for medical applications. **physica status solidi (a)**, 206(4), 639-643. doi:10.1002/pssa.200881251

Wang, T., Zhou, Y., Lei, C., Luo, J., Xie, S. and Pu, H. (2017). Magnetic impedance biosensor: A review. **Biosensors and Bioelectronics**, 90, 418-435. doi:10.1016/j.bios.2016.10.031

Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C. and Kim, W. S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. **Science and Technology of Advanced Materials**, 16(2), 023501. doi:10.1088/1468-6996/16/2/023501

Yang, Z., Liu, Y., Lei, C., Sun, X.-c. and Zhou, Y. (2015). A flexible giant magnetoimpedance-based biosensor for the determination of the biomarker C-reactive protein. **Microchimica Acta**, 182(15-16), 2411-2417. doi:10.1007/s00604-015-1587-4

Yang, Z., Liu, Y., Lei, C., Sun, X.-c. and Zhou, Y. (2016). Ultrasensitive detection and quantification of E. coli O157:H7 using a giant magnetoimpedance sensor in an open-surface microfluidic cavity covered with an antibody-modified gold surface. **Microchimica Acta**, 183(6), 1831-1837. doi:10.1007/s00604-016-1818-3

Zhong, J., Rosch, E. L., Viereck, T., Schilling, M. and Ludwig, F. (2021). Toward Rapid and Sensitive Detection of SARS-CoV-2 with Functionalized Magnetic Nanoparticles. **ACS Sensor**, 6(3), 976-984. doi:10.1021/acssensors.0c02160

บทความวิจัย

ศักยภาพด้านพลังงานของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

พัชรวรรณ สิทธิศาสตร์[1,*] เกวรินทร์ กะตะศิลา[1] วิภาดา บาททอง[1] ยุวธิดา มะเดื่อ[1] และพิศาล สมบัติวงศ์[2]

[1]สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ

[2]สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ

**Email: patcwan07@gmail.com*

รับบทความ: 16 กุมภาพันธ์ 2565 แก้ไขบทความ: 15 เมษายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 21 เมษายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตถ่านอัดแท่งและประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่ง (*Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf.) และฝักมะค่าโมง (*Afzelia xylocarpa* (Kurz) Craib) สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยนำฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมาเผาให้เป็นถ่าน แล้วจึงนำมาบดให้เป็นผง ผสมผงถ่านกับกาวแป้งเปียก (กิโลกรัม ต่อลิตร) 3 อัตราส่วน คือ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 แล้วอัดให้เป็นแท่ง จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งโดยใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนด้วยการทดสอบต้มน้ำ ผลการศึกษาพบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงในทุกอัตราส่วนมีค่าความชื้นและค่าความร้อนผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และพบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วน 2:1 แสดงคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงได้ดีที่สุด โดยมีค่าความชื้นและการปล่อยสารระเหยน้อยที่สุด และพบว่าให้ค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนสูงที่สุดอีก ถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน 2:1 ยังแสดงค่างานและค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงที่สุด ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ถ่านอัดแท่งทั้งสองชนิดในทุกอัตราส่วนยังติดไฟได้ดี ไม่แตก ไม่ประทุ ไม่มีควันขณะใช้งาน ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วน 2:1 จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการเลือกนำมาใช้เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากใช้กาวแป้งเปียกในปริมาณน้อย แต่ได้ปริมาณของถ่านอัดแท่งมากที่สุด อีกทั้งยังมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงไปผลิตเป็นถ่าน อัดแท่งทดแทนถ่านไม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มในครัวเรือน

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง ฝักหางนกยูงฝรั่ง ฝักมะค่าโมง ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน

อ้างอิงบทความนี้

พัชรวรรณ สิทธิศาสตร์, เกวรินทร์ กะตะศิลา, วิภาดา บาททอง, ยุวธิดา มะเดื่อ และพิศาล สมบัติวงศ์. (2565). ศักยภาพด้านพลังงานของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 202-214. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.23

Research Article

Energy Potential of Charcoal Briquette from Flamboyant and Black Rosewood Pods

Patcharawan Sittisart[1,*], Kawarin Katasila[1], Wipada Battong[1], Yuwatida Maduea[1] and Pisarn Sombatwong[2]

[1]*Division of Environmental Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University, Sisaket*

[2]*Division of Industrial Management Technology, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University, Sisaket*

**Email: patcwan07@gmail.com*

Received <16 February 2022>; Revised <15 April 2022>; Accepted <21 April 2022>

Abstract

This research aimed to produce charcoal briquettes from Flamboyant (*Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf.) and Black rosewood (*Afzelia xylocarpa* (Kurz) Craib) pods and evaluated the performance of them as an alternative fuel. Flamboyant and Black rosewood pods were burned to obtain charcoals and mashed into powders. The charcoal powders were mixed with the starch paste at the ratios of 1:1, 1.5:1, and 2:1 (kg : L) and then compressed into fuel briquettes. The fuel properties and heat utilization efficiency of charcoal briquettes were analyzed based on ASTM and Water Boiling Test (WBT), respectively. The results showed that the moisture and calorific values of all tested charcoal briquettes qualified the Community Products Standard of Charcoal Briquettes. The charcoal briquettes from Flamboyant and Black rosewood pods at the ratio of 2:1 showed the best fuel properties as evidenced by the lowest moisture values and volatile matters, but the highest fixed carbon and calorific. Charcoal briquettes at the ratio of 2:1 also showed the highest work values and heat utilization efficiency. During the combustion process, all tested charcoal briquettes were also highly flammable and produced low levels of crackling, drop shatter, and smoke emission. Due to the use of a small amount of starch paste and giving the largest number of charcoal briquettes, charcoal briquettes at the ratio of 2:1 were probably the most suitable to be selected to manufacture charcoal briquettes. In addition, the ratio of 2:1 also showed the best fuel properties and heat utilization efficiency. Overall, Flamboyant and Black rosewood pod wastes could be considered as a potential renewable raw material to produce charcoal briquette instead of wood charcoal for household cooking.

Keywords: Charcoal Briquette, Flamboyant Pod, Black Rosewood Pod, Heat Utilization Efficiency

Cite this article:

Sittisart, P., Katasila, K., Battong, W., Maduea, Y. and Sombatwong, P. (2022). Energy Potential of Charcoal Briquette from Flamboyant and Black Rosewood Pods (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 202-214. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.23

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ประเทศไทยยังคงมีการเผาถ่านจากไม้หรือการใช้ไม้ฟืนสำหรับการหุงต้มตลอดจนกิจกรรมอื่น ๆ ในครัวเรือน แต่การตัดไม้เพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงถือเป็นการทำลายทรัพยากรป่าไม้ให้ลดน้อยลง ซึ่งส่งผลต่อความสมดุลของธรรมชาติ และปัญหาควันเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ประเทศไทยขึ้นชื่อเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพสูงและเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือเศษวัสดุเหลือทิ้งอื่น ๆ ในท้องถิ่นเป็นจำนวนมาก สิ่งเหล่านี้จึงถูกนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยการผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน นั่นคือถ่านอัดแท่ง ซึ่งสามารถผลิตด้วยเทคโนโลยีการอัดแท่งแบบง่ายที่สะดวกและลงทุนไม่สูง (Tamilvanan, 2013) อีกทั้งเป็นการตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและพลังงานชีวภาพ โดยมีเป้าหมายว่าภายในปี พ.ศ. 2580 ประเทศไทยต้องเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในรูปของพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ ต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 (Ministry of Energy, 2020)

หลายงานวิจัยประสบความสำเร็จในการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ อาทิ การผลิตถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย (Anantanukulwong *et al*., 2019) เปลือกมังคุด (Chaichana *et al*., 2014) เศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม (Wirunphan *et al*., 2017) และเปลือกมะขาม (Janchaiyaphoom, 2018) เป็นต้น ซึ่งถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุดังกล่าวสามารถใช้หุงต้มในครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ปัจจุบันถ่านอัดแท่งยังสามารถสร้างรายได้ด้วยการจำหน่ายขายในท้องตลาดได้อีกด้วย ราคาขายถ่านอัดแท่งโดยเฉลี่ยอยู่ที่กิโลกรัมละ 15-20 บาท (Boonchom and Chaisompan, 2020; Wongkhamchan and Rungratanaubon, 2018) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในร้านอาหารประเภทปิ้งย่างเป็นอย่างมาก เนื่องจากลักษณะของถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีค่าความร้อนสูง สามารถใช้ได้นานกว่าถ่านไม้ธรรมดา 2-3 เท่า ไม่แตกประทุอย่างถ่านไม้ทั่วไป ไม่มีควัน เพราะค่าความชื้นน้อยมาก อีกทั้งให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ ไม่วูบวาบ เนื่องจากความหนาแน่นของถ่านเท่ากันทุกส่วน (Thai Industrial Standards Institute, 2004) ดังนั้นการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้นอกจากจะแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ยังเป็นการสร้างอาชีพและรายได้อีกด้วย

ฝักหางนกยูงฝรั่ง (*Delonix* regia (Bojer ex Hook.) Raf.) และฝักมะค่าโมง (*Afzelia xylocarpa* (Kurz) Craib) เป็นส่วนเหลือทิ้งที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ โดยพบเห็นได้มากในเขตชนบท หางนกยูงฝรั่งจะออกผลระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ฝักแก่ประมาณเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม ฝักมีลักษณะแบนแข็ง โค้งเป็นรูปดาบ ยาวประมาณ 30-60 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 3-5 เซนติเมตร ลักษณะของฝักเป็นข้อ ๆ (PlantNet, 2022) ในขณะที่มะค่าโมงจะออกดอกระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน และติดผลราวเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม ผลเป็นฝักแบน รูปขอบขนาน ผิวเปลือกเรียบไม่มีหนาม เปลือกแข็งหนาเป็นเนื้อไม้ ปลายเป็นจะงอยสั้น ๆ ฝักเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ พอแห้งแตกออกเป็น 2 ซีก มีเมล็ดแข็ง พบได้ตามป่าดิบแล้ง แนวเชื่อมต่อระหว่างป่าเต็งรังและป่าดิบแล้ง และตามริมลำธารในป่าเบญจพรรณชื้น (Homhual, 2010) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้ว่าฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ น่าจะสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้เองในครัวเรือนหรือจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้เสริมให้กับชุมชนท้องถิ่นที่มีศักยภาพการผลิตต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

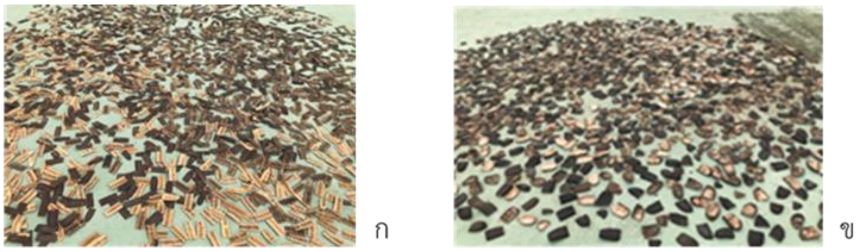
1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง
2. เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

เก็บรวบรวมฝักหางนกยูงฝรั่ง และฝักมะค่าโมงในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ สำนักงานสหกรณ์จังหวัดศรีสะเกษ และหมวดทางหลวงอุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563 นำฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมาตัดให้มีขนาดประมาณ 10-13 เซนติเมตร จากนั้นนำมาตากแดดให้แห้งสนิทประมาณ 5-6 วัน ดังแสดงในภาพที่ 1(ก) และ 1(ข)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



ภาพที่ 1 ฝักหางนกยูงฝรั่ง (ก) และฝักมะค่าโมง (ข) ที่ถูกนำมาตากแดดให้แห้ง

การเตรียมถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

ชั่งน้ำหนักฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่แห้งแล้วด้วยเครื่องชั่งสปริง จากนั้นบรรจุในเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบตั้งตามลำดับ (ภาพที่ 2ก และ 2ข) จุดไฟเตาบริเวณหน้าเตาที่ช่องเชื้อเพลิง โดยจุดที่จุดไฟอยู่บริเวณปากของช่องเชื้อเพลิง เติมฟืนเรื่อย ๆ จากนั้นสังเกตควันในการเปลี่ยนแปลงในแต่ละกระบวนการ (Provincial Energy Office of Nakhonpathom, 2018) จับเวลา บันทึกอุณหภูมิ ได้แก่ ผนังเตาช่วงบน ผนังเตาช่วงกลาง ผนังเตาช่วงล่าง และอุณหภูมิภายนอก ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Applent AT4208 Multi-channel Thermometer, UK) ดังภาพที่ 2ค เมื่อได้ถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงแล้ว ชั่งน้ำหนักถ่านที่ได้หลังจากการเผาและหาค่าร้อยละของการกลายเป็นถ่าน

นำถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมาบดหยาบด้วยครกหิน และนำไปปั่นให้ละเอียด จากนั้นร่อนผงถ่านด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช (Mesh) เพื่อให้ได้ผงถ่านที่ละเอียด และเตรียมตัวประสานถ่านอัดแท่งด้วยการใช้กาวแป้งเปียก เนื่องจากมีแรงยึดเกาะที่ดี ราคาถูก สามารถหาได้ง่าย และให้ค่าความร้อนสูง (Ngamlert *et al*., 2019) ซึ่งเตรียมได้จากการต้มแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม กับน้ำสะอาด 1 ลิตร (Jutajan, 2019) แล้วนำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันกับผงถ่าน โดยจะใช้กาวเปียก 1 ลิตรในทุกอัตราส่วน เพื่อทดสอบหาปริมาณผงถ่านที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง จึงใช้ผงถ่านตั้งแต่ปริมาณต่ำสุดไปจนถึงสูงสุด โดยมีอัตราส่วนผงถ่าน : กาวแป้งเปียก (กิโลกรัม ต่อ ลิตร) จำนวน 3 อัตราส่วน คือ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 จากนั้นอัดถ่านให้เป็นแท่งด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้เครื่องอัดถ่านแบบมือหมุน ซึ่งคณะผู้วิจัยประกอบเองจากเครื่องบดหมูสับกับท่อเหล็กทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 นิ้ว และกำหนดให้ถ่านอัดแท่งมีความยาว 2 นิ้ว (ภาพที่ 2ง) นำถ่านอัดแท่งไปอบในตู้อบลมร้อน (Memmert UN110, Germany) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 2จ)

ภาพที่ 2 บรรจุฝักหางนกยูงฝรั่งลงในเตาเผา (ก) บรรจุฝักมะค่าโมงลงในเตาเผา (ข) การเผาถ่านและวัดอุณหภูมิ (ค) การอัดถ่านให้เป็นแท่ง (ง) ลักษณะของถ่านอัดแท่งที่อบในตู้อบลมร้อน (จ)

การทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

ทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 (Thai Industrial Standards Institute, 2004) โดยวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) (American Society for Testing and Materials, 1996) คุณสมบัติที่ทดสอบได้แก่ ความชื้น (ASTM D3173) เถ้า (ASTM D3174) สารระเหย (ASTM D3175) คาร์บอนคงตัว (ASTM D3172) และค่าความร้อน

(ASTM D420) โดยค่าความร้อนได้ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (IKA C 2000, Germany)

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ทำโดยการอบถ้วยกระเบื้องครูซิเบิลเปล่าเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อน (Memmert UN110) แล้วนำไปดูดความชื้นในตู้ดูดความชื้น (Weifo, Taiwan) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเปล่าด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (T-Scale: Taiwan Scale MFG.Co., LTD., Taiwan) จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านอย่างละ 1 กรัม แล้วเติมลงในถ้วยกระเบื้องดังกล่าว อบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และดูดความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาค่าความชื้นจากสูตรนี้ $M=(W_1-W_2)/W\times100$ เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้น W_1 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ W_2 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ W คือน้ำหนักตัวอย่าง

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า ทำโดยการอบถ้วยกระเบื้องครูซิเบิลเปล่าเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อน แล้วนำไปดูดความชื้นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเปล่า จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านอย่างละ 1 กรัม แล้วเติมลงในถ้วยกระเบื้องดังกล่าว เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (Nabertherm Gambit, Germany) และดูดความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณเถ้าจากสูตรนี้ $A=(W_3-W_4)/W\times100$ เมื่อ A คือ ปริมาณเถ้า W_3 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนเผา W_4 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังเผา W คือน้ำหนักตัวอย่าง

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย ทำโดยการเผาถ้วยกระเบื้องครูซิเบิลพร้อมฝา เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ในเตาเผาอุณหภูมิสูง (Nabertherm Gambit) ตามด้วยดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเปล่า แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านอย่างละ 1 กรัม แล้วเติมลงในถ้วยกระเบื้องดังกล่าวพร้อมปิดฝา เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที และดูดความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณสารระเหยจากสูตรนี้ $V=[(W_5-W_6)/W\times100]-M$ เมื่อ V คือ ปริมาณสารระเหย W_5 คือ น้ำหนักถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนเผา W_6 คือ น้ำหนักถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างหลังเผา W คือน้ำหนักตัวอย่าง M คือปริมาณความชื้น

สำหรับปริมาณคาร์บอนคงตัว โดยคำนวณได้จากสูตรนี้ % คาร์บอนคงตัว = 100 - (% ปริมาณความชื้น + % ปริมาณสารระเหย + % ปริมาณเถ้า)

การทดสอบประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

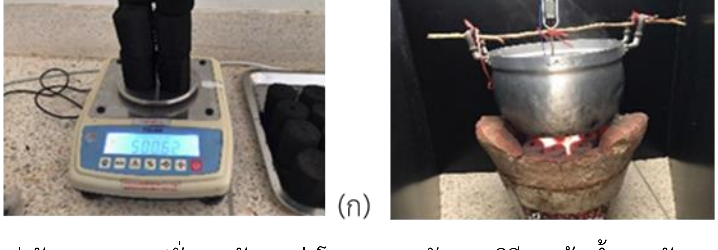
ทดสอบประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงด้วยวิธีการต้มน้ำดังนี้ ต้มน้ำ 2,000 กรัม ในหม้ออะลูมิเนียม เบอร์ 24 โดยใช้ถ่านอัดแท่งฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง 500 กรัม (ภาพที่ 3ก) ต้มน้ำ สังเกตการแตกปะทุของเชื้อเพลิง ปริมาณควันของเชื้อเพลิง ขณะติดไฟวัดอุณหภูมิของน้ำด้วยเทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอล (KT-300) (ภาพที่ 3ข) และบันทึกเวลาที่ใช้จนกระทั่งน้ำเดือด และคำนวณค่า 1) งานที่ได้ 2) อัตราการเผาไหม้ และ 3) ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่ง ดังสมการต่อไปนี้ (Sawekwiharee, 2012)

1) $\text{งานที่ได้} = \dfrac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้สุทธิ (กรัม)}}$

2) $\text{อัตราการเผาไหม้} = \dfrac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้สุทธิ (กรัม)}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาที)}}$

3) $\text{ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน } (H_u) = \dfrac{[Mc_p(T_2-T_1)+(M-M_1)L]\times100}{M_f\times H_1}$

เมื่อ Hu = ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน (%), M = น้ำหนักน้ำเริ่มต้น (กรัม), M_1 = น้ำหนักน้ำที่เหลืออยู่ (กรัม), M_f = น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม), C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำ เท่ากับ 1 แคลอรีต่อกรัม, T_1 = อุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟ (°C), L = ความร้อนแฝงของน้ำ เท่ากับ 540 แคลอรีต่อกรัม, H_1 = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และ T_2 = อุณหภูมิของน้ำเดือด (°C)



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ชั่งถ่านอัดแท่งฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง 500 กรัม (ก) วิธีการต้มน้ำและวัดอุณหภูมิของน้ำ (ข)

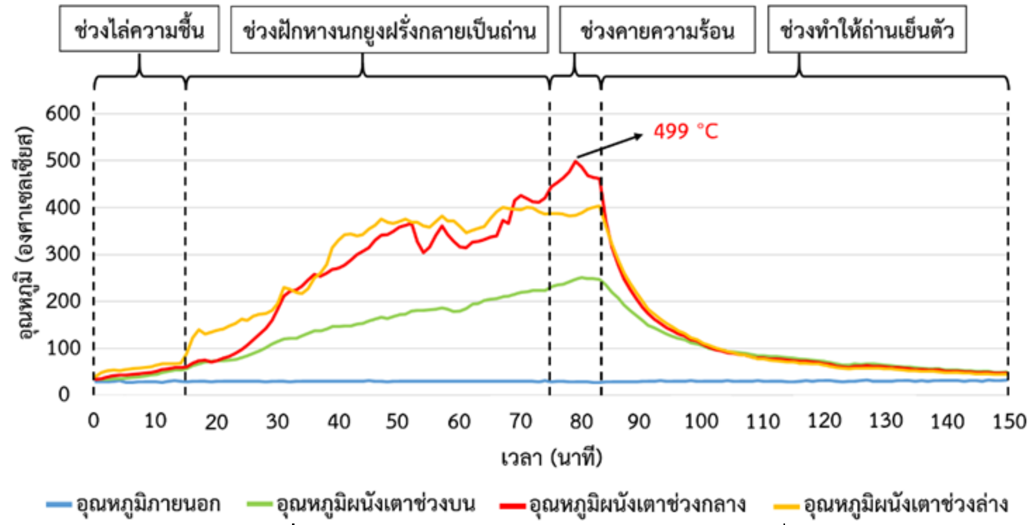
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดสอบคุณสมบัติถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และค่าคาร์บอนคงตัว จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยบวกลบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบ 3 ซ้ำ (Mean ± SD, n = 3) และเป็นตัวแทนจากการทดลอง 3 ครั้ง ด้วยสถิติ One way ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลอง ($p<0.05$) โดยการวิเคราะห์ด้วย post hoc Tukey’s ด้วยซอฟต์แวร์ SPSS เวอร์ชั่น 26

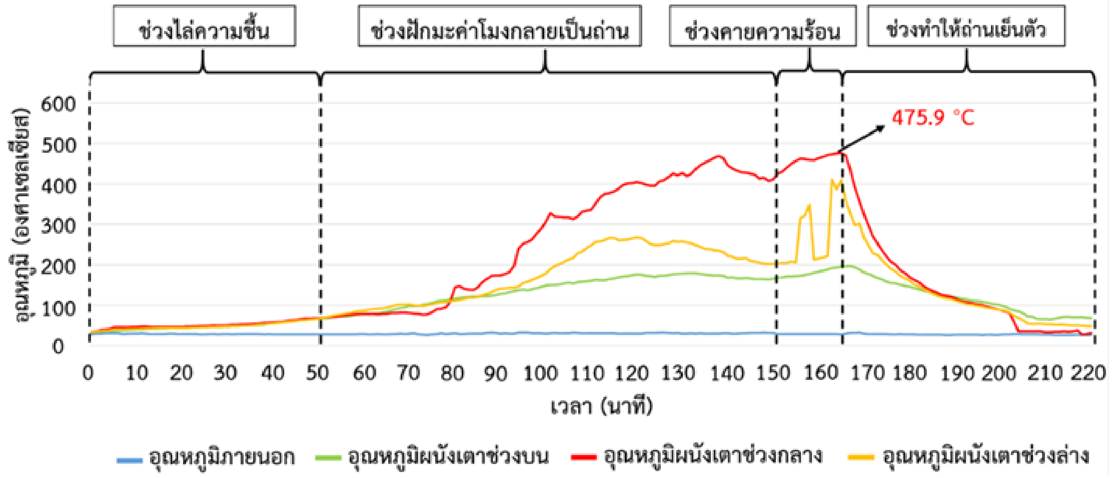
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวัดอุณหภูมิระหว่างการเผาถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

ผลอุณหภูมิในระหว่างการเผาถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงตลอดทั้งภายนอกเตา และบริเวณผนังเตาซึ่งแบ่งออกเป็นช่วงบน กลาง และช่วงล่างเตา ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเริ่มจุดไฟหน้าเตา อุณหภูมิภายในเตาจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วงแรกเป็นการไล่ความชื้นออกจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง เมื่อความชื้นใกล้หมด จะสังเกตเห็นควันมากขึ้น และพุ่งออกมาจากปากปล่องอย่างแรงจนเห็นได้ชัด เรียกว่า ควันบ้า (Provincial Energy Office of Nakhonpathom, 2018) แสดงว่าไฟในเตาติดแล้ว และหยุดเติมเชื้อเพลิงหน้าเตา สำหรับฝักหางนกยูงฝรั่งใช้เวลาประมาณ 15 นาที และฝักมะค่าโมงประมาณ 50 นาที หลังจากนั้นความร้อนจะเริ่มสะสมในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100-450 องศาเซลเซียส ซึ่งจัดเป็นกระบวนการเปลี่ยนฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงให้กลายเป็นถ่าน ซึ่งไม้จะค่อย ๆ เป็นถ่าน โดยเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนในตัวเตา ทำให้ไม่ต้องพึ่งความร้อนจากหน้าเตามากนัก จึงปิดหน้าเตาให้เหลือพื้นที่ 1 ใน 4 ของพื้นที่หน้าเตา จนพบควันปากปล่องมีสีน้ำเงินออกมา ซึ่งแสดงว่าไม้ในเตากลายเป็นถ่านหมดแล้ว (Provincial Energy Office of Nakhonpathom, 2018) สำหรับฝักหางนกยูงฝรั่ง ใช้เวลาประมาณ 60 นาที และฝักมะค่าโมงประมาณ 100 นาที จากนั้นเข้าสู่กระบวนการทำให้ถ่านบริสุทธิ์หรือช่วงคายความร้อน เมื่อควันเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน จึงเปิดหน้าเตาออกประมาณครึ่งหนึ่งของหน้าเตา เพื่อให้อากาศเข้ามากขึ้น (Provincial Energy Office of Nakhonpathom, 2018) สังเกตได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประมาณ 450-500 องศาเซลเซียส และช่วงสุดท้ายคือช่วงทำให้ถ่านเย็นตัว เมื่อถ่านไม้ในเตาบริสุทธิ์หมดแล้ว จะสังเกตเห็นควันสีฟ้าจางลงจนกลายเป็นควันใส จึงค่อย ๆ ไล่ปิดปล่องควันทีละปล่อง เมื่อปิดปล่องควันหมดแล้ว จึงปิดหน้าเตาและอุดด้วยดินเหนียวเพื่อป้องกันอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับถ่านในเตา สุดท้ายอุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนเท่ากับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้ถ่านเย็นตัว (Provincial Energy Office of Nakhonpathom, 2018)



ภาพที่ 4 อุณหภูมิระหว่างการเผาถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่ง



ภาพที่ 5 อุณหภูมิระหว่างการเผาถ่านจากฝักมะค่าโมง

ผลการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากถ่านฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

จากการเผาถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง พบว่ามีค่าร้อยละความเป็นถ่านดังแสดงในตารางที่ 1 โดยฝักมะค่าโมงให้ค่าร้อยละความเป็นถ่าน (26.55%) มากกว่าฝักหางนกยูงฝรั่ง (21.34%) และเมื่อนำถ่านไม้ทั้ง 2 ชนิดมาอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งมือหมุนอย่างง่าย ด้วยอัตราส่วนผงถ่าน : กาวแป้งเปียก (กิโลกรัม ต่อ ลิตร) จำนวน 3 อัตราส่วน คือ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ผลการอัดแท่งพบว่าถ่านทั้ง 2 ชนิด ในทุกอัตราส่วนสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งดังแสดงในภาพที่ 3ก

ตารางที่ 1 ร้อยละความเป็นถ่านจากการเผาฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

วัสดุ	น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักถ่าน (กิโลกรัม)	ร้อยละความเป็นถ่าน (%)
ฝักหางนกยูงฝรั่ง	16.4	3.5	21.34
ฝักมะค่าโมง	30.5	8.1	26.55

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

ถ่านที่ผ่านการอัดแท่งโดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน พบว่าถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วนคือ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 มีจำนวนก้อนถ่านอัดแท่งของฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงเป็น 41 - 87 ก้อน และ 38 - 98 ก้อน ตามลำดับ ซึ่งมีน้ำหนักก่อนอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เฉลี่ย 79.24 – 84.79 กรัม สำหรับถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่ง และ 67.30 – 84.51 กรัม สำหรับถ่านอัดแท่งจากฝักมะค่าโมง เมื่อหลังอบให้แห้งเพื่อลดความชื้นแล้ว มีน้ำหนักถ่านอัดแท่งเฉลี่ยต่อก้อนเป็น 41.44 – 46.02 กรัม สำหรับถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่ง และ 44.46 – 51.31 กรัม สำหรับถ่านอัดแท่งจากฝักมะค่าโมง โดยถ่านอัดแท่งของฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วน 2:1 มีจำนวนก้อนและน้ำหนักของถ่านอัดแท่งในปริมาณรวมสูงที่สุด รองลงมาเป็นอัตราส่วนที่ 1.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เนื่องจากอัตราส่วนที่ 2:1 ใช้ปริมาณของผงถ่านเริ่มต้นในปริมาณสูงที่สุด จึงส่งผลให้มีปริมาณของถ่านอัดแท่งในจำนวนที่สูงที่สุด แต่กลับใช้ปริมาณตัวประสานด้วยกาวแป้งเปียกที่เท่ากันกับอัตราส่วนที่ 1:5:1 และ 1:1 ดังนั้นอัตราส่วนที่ 2:1 นอกจากจะทำให้ได้ปริมาณของถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณมากที่สุดแล้ว ยังเป็นการประหยัดงบประมาณในการใช้กาวเปียกเปียกเป็นตัวประสานอีกด้วย ซึ่งเตาเผาถ่านแบบตั้งขนาด 200 ลิตร สามารถบรรจุฝักหางนกยูงฝรั่งที่แห้งแล้วได้สูงสุดประมาณ 21 กิโลกรัม และฝักมะค่าโมงได้ประมาณ 32 กิโลกรัม หลังจากการเผาจะได้ถ่านฝักหางนกยูงฝรั่งประมาณ 4.48 กิโลกรัม และถ่านฝักมะค่าโมงประมาณ 8.50 กิโลกรัม เมื่อนำไปแปรสภาพเป็นถ่านอัดแท่งฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง จะใช้แป้งมันสำปะหลัง 224 กรัม และ 425 กรัม ตามลำดับ และได้ถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งประมาณ 195 ก้อน (8.08 กิโลกรัม) และถ่านอัดแท่งจากฝักมะค่าโมงประมาณ 417 ก้อน (18.54 กิโลกรัม)

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

วัสดุ	ผงถ่าน:กาวแป้งเปียก (กิโลกรัม: ลิตร)	ปริมาณถ่านที่ใช้อัดแท่ง (กิโลกรัม)	จำนวนถ่านอัดแท่ง (ก้อน)	ขนาดความสูง (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนหลังอบ (กรัม)
ฝักหางนกยูงฝรั่ง	1:1	1	41	5	4	84.79	46.02
	1.5:1	1.5	59	5	4	84.12	45.93
	2:1	2	87	5	4	79.24	41.44
ฝักมะค่าโมง	1:1	1	38	5	4	82.89	51.31
	1.5:1	1.5	60	5	4	84.51	51.08
	2:1	2	98	5	4	67.30	44.46

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

ถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงทั้ง 3 อัตราส่วน ถูกนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงทั้ง 3 อัตราส่วน มีค่าความชื้นและค่าความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 ซึ่งกำหนดให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 8% และค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม (Thai Industrial Standards Institute, 2004) อย่างไรก็ตามพบว่าถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ชนิด ที่อัตราส่วน 2:1 มีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ 6,271 แคลอรีต่อกรัม สำหรับถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่ง และ 6,238 แคลอรีต่อกรัม สำหรับถ่านอัดแท่งจากฝักมะค่าโมง ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี (Thai Industrial Standards Institute, 2004) ในการวิจัยครั้งนี้พบว่ายังไม่มีข้อมูลค่าความร้อนจากถ่านของฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง ผู้วิจัยจึงนำถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงไปตรวจสอบค่าความร้อน พบว่าถ่านจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมีค่าความร้อนเท่ากับ 6,413 และ 6,453 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่ากับการนำไปอัดแท่ง แต่ถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติอย่างอื่นที่ดีกว่าถ่านไม้ธรรมดา เช่น ติดไฟทนนาน สามารถใช้ได้นานกว่าถ่านไม้ธรรมดาถึง 2-3 เท่า ไม่มีควัน และไม่แตกปะทุ เป็นต้น (Thai Industrial Standard Institute, 2004) ดังนั้นจึงควรค่าต่อการแปรรูปถ่านไม้จากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงไปเป็นถ่านอัดแท่ง และยังพบว่าถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ชนิด ก็ยังมีค่าความร้อนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 และมีค่าใกล้เคียงกับถ่านไม้อีกด้วย

เมื่อพิจารณาที่ค่าความชื้นพบว่า ถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งที่อัตราส่วน 2:1 มีปริมาณความชื้น (3.92±0.07%) น้อยกว่าอัตราส่วนที่ 1.5:1 (4.79±0.68) และ 1:1 (5.64±0.23) (ตารางที่ 3) ในขณะเดียวกันถ่านอัดแท่งจากฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วน 2:1 ก็มีปริมาณความชื้น (4.47±0.34%) น้อยกว่าอัตราส่วนที่ 1.5:1 (5.28±0.27) และ 1:1 (6.57±0.11) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความชื้นต่ำจะมีประสิทธิภาพการใช้งานสูง เนื่องจากสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยของน้ำในระหว่างการใช้งานน้อย (Phutteesakul, 2010)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่ง

อัตราส่วนของถ่านต่อกาวแป้งเปียก (กิโลกรัม : ลิตร)	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ค่าคาร์บอนคงตัว (%)
1:1	6,141	$5.64{\pm}0.23^{b}$	$9.55{\pm}0.13^{a}$	$32.41{\pm}0.43^{a}$	$52.40{\pm}0.21^{a}$
1.5:1	6,176	$4.79{\pm}0.68^{a,b}$	$10.09{\pm}0.08^{b}$	$32.04{\pm}0.89^{a}$	$53.08{\pm}0.34^{a}$
2:1	6,271	$3.92{\pm}0.07^{a}$	$11.15{\pm}0.34^{c}$	$31.27{\pm}1.10^{a}$	$53.65{\pm}1.26^{a}$
(มผช.238/2547)	ไม่น้อยกว่า 5,000	ไม่เกิน 8 %	-	-	-

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในสดมภ์เดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

เมื่อพิจารณาที่ความเป็นเถ้าพบว่า ถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและถ่านอัดแท่งจากฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วน 2:1 มีปริมาณเถ้ามากกว่า อัตราส่วนที่ 1.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ 4) เนื่องจากแนวโน้มของปริมาณเถ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อถ่านอัดแท่งมีปริมาณผงถ่านมากขึ้น (Jutajan, 2019) อีกทั้งส่วนของกาวแป้งเปียกเป็นส่วนที่ถูกเผาไหม้ได้ดีกว่าผงถ่าน ดังนั้นถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณกาวแป้งเปียกมากกว่าจึงมีเถ้าเหลือน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราส่วน 2:1 ยังมีปริมาณสารระเหยน้อยที่สุด และมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด แม้ว่าจะไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ 1:1 และ 1.5:1 ก็ตาม ซึ่งปริมาณสารระเหยจะมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของถ่าน ถ่านที่มีปริมาณสารระเหยมากจะติดไฟได้ไม่นาน มอดเร็ว ทำให้สิ้นเปลืองถ่านมากกว่า และถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะติดไฟได้นานกว่าถ่านที่มีคาร์บอนคงตัวต่ำ ทำให้สิ้นเปลืองถ่านน้อยกว่า (Phutteesakul, 2010)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากฝักมะค่าโมง

อัตราส่วนของถ่านต่อกาวแป้งเปียก (กิโลกรัม : ลิตร)	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ค่าคาร์บอนคงตัว (%)
1:1	5,935	6.57±0.11^{c}	10.99±0.36^{a}	31.38±0.88^{a}	51.07±0.78^{a}
1.5:1	6,058	5.28±0.27^{b}	11.30±0.45^{a,b}	31.29±1.00^{a}	52.13±1.13^{a}
2:1	6,238	4.47±0.34^{a}	12.21±0.51^{b}	30.11±1.90^{a}	53.21±1.62^{a}
(มผช.238/2547)	ไม่น้อยกว่า 5,000	ไม่เกิน 8 %	-	-	-

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในสดมภ์เดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงโดยการต้มน้ำ 2,000 กรัม ด้วยการใช้ถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ชนิด ปริมาณ 500 กรัม เป็นเชื้อเพลิง ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงทั้ง 3 อัตราส่วน (1:1, 1.5:1 และ 2:1) ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงในอัตราส่วนถ่านต่อกาวแป้งเปียกที่ 2:1 มีค่างานที่ทำได้และค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงที่สุด ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพในการเป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด เพราะถ่านที่ดีควรมีค่างานที่ทำได้และประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูง แต่มีอัตราการเผาไหม้ต่ำ เพราะถ่านอัดแท่งที่มีอัตราการเผาไหม้สูงจะเผาไหม้หมดไปได้เร็วกว่า ทำให้สิ้นเปลืองถ่านมากกว่า (Thai Industrial Standards Institute, 2004) เมื่อสังเกตลักษณะของถ่านในระหว่างการต้มน้ำ พบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงในทุกอัตราส่วนสามารถลุกติดไฟได้ดี ไม่มีการแตกประทุ ไม่มีควัน ไม่มีเขม่าขณะใช้งาน แสดงว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงทั้ง 3 อัตราส่วน มีคุณสมบัติที่ดีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง

ถ่านอัดแท่ง	อัตราส่วนของถ่านต่อกาวแป้งเปียก (กิโลกรัม : ลิตร)	งานที่ได้	อัตราการเผาไหม้ (กรัมต่อนาที)	ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน (%)
ฝักหางนกยูงฝรั่ง	1:1	2.17	6.78	18.64
	1.5:1	1.83	6.99	15.85
	2:1	2.35	6.95	18.73
ฝักมะค่าโมง	1:1	1.94	5.80	16.24
	1.5:1	2.02	6.26	16.66
	2:1	2.51	6.33	18.15

จากผลการทดสอบทั้งเรื่องของคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งและค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อน พบว่าอัตราส่วนที่ 2:1 มีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการใช้ความร้อนดีที่สุด และหากเพิ่มน้ำหนักของผงถ่านให้มากขึ้นอาจเห็นค่าความแตกต่างด้านคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้ความร้อนที่ดีขึ้นกว่าเดิมอีกด้วย แต่มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักถ่านกับกาวแป้งเปียกในอัตราส่วนที่สูงขึ้น คือ 2.5:1 จะไม่สามารถขึ้นรูปได้ เพราะมีปริมาณตัวประสานน้อยเกินไป ทำให้ถ่านไม่สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ (Jutajan, 2019) งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ปริมาณถ่านที่สูงที่สุดเป็นอัตราส่วน 2:1 เนื่องจากอัตราส่วน 2:1 จะได้ปริมาณของถ่านอัดแท่งที่มากและยังใช้กาวแป้งเปียกที่น้อยกว่าอัตราส่วน 1:1 และ 1.5:1 อีกทั้งมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด โดยสังเกตได้จากค่าความชื้นและปริมาณสารระเหยที่ต่ำที่สุด รวมถึงค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนที่สูงที่สุดอีกด้วย และยังพบว่าด้านประสิทธิภาพการใช้ความร้อนก็มีค่าดังกล่าวสูงที่สุด ดังนั้นอัตราส่วนของถ่านต่อกาวแป้งเปียกที่ 2:1 จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งสำหรับใช้ในครัวเรือนหรือจำหน่ายขายในท้องตลาดได้

หากคิดในแง่มุมด้านเศรษฐกิจ การผลิตถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง ก็ใช้เพียงกาวที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง และค่าอุปกรณ์เตาเผา เครื่องมืออัดแท่ง และเครื่องมือบด ต้นทุนโดยเฉลี่ยก็ตกเพียงกิโลกรัมละ 3-5 บาท ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่น้อยกว่าการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษชีวมวลหลายชนิด อาทิ การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษไม้พาเลท ซึ่งมีต้นทุนการผลิต 7.23 บาทต่อกิโลกรัม แต่เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษไม้พาเลทนี้ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงถึง 7,269.28 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่สูงกว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง (Wongkhamchan and Rungratanaubon, 2018) ในขณะที่ถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไยมีต้นทุนการผลิต 4-11 บาทต่อกิโลกรัม และให้ค่าพลังงานความร้อน 5,509.85 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมง (Boonchom and Chaisompan, 2020) โดยต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไยมีความแตกต่างกัน เพราะขึ้นอยู่กับความสามารถในการพึ่งพาตนเองของกลุ่มผู้ผลิต และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต สำหรับงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์บางอย่างที่มีในห้องปฏิบัติการ โดยไม่ได้คิดคำนวณการลงทุนเกี่ยวกับ ตู้อบลมร้อน และเครื่องชั่ง เป็นต้น จึงมีต้นทุนการผลิตที่ไม่สูง อีกทั้งฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงไม่มีต้นทุนในการซื้อ

คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากชีวมวล

จากตารางที่ 6 ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง (ความชื้น สารระเหย เถ้า คาร์บอนคงตัว และ ความร้อน) ของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วน 2:1 กับงานวิจัยการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน (Ussawarujikulchai *et al.*, 2011) โดยพบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมีปริมาณความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547 ที่กำหนดให้ไม่เกิน 8% (Thai Industrial Standards Institute, 2004) และยังมีค่าดังกล่าวน้อยกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน (Ussawarujikulchai *et al.*, 2011) นอกจากนี้ยังมีค่าปริมาณสารระเหยน้อยกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนมาก (Ussawarujikulchai *et al.*, 2011) อีกด้วย ปริมาณสารระเหยยิ่งน้อยเท่าใด จะแสดงให้เห็นถึงการติดไฟได้นานมากขึ้น และมอดช้า ทำให้ไม่สิ้นเปลืองถ่าน (Phutteesakul, 2010) เมื่อสังเกตที่ค่าคาร์บอนคงตัวพบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมีปริมาณค่าคาร์บอนคงตัวสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน (Ussawarujikulchai *et al.*, 2011) ซึ่งคาร์บอนคงตัวสูงจะแสดงคุณสมบัติทำให้ติดไฟได้นานกว่าถ่านที่มีคาร์บอนคงตัวต่ำ และทำให้สิ้นเปลืองถ่านน้อยกว่า (Phutteesakul, 2010) และเมื่อพิจารณาค่าความร้อน พบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมีค่าความร้อนมากกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนมาก อีกทั้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 ที่กำหนดไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี/กรัม (Thai Industrial Standards Institute, 2004) จากตารางที่ 6 จึงบ่งบอกว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน

ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากชีวมวล

จากตารางที่ 7 ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วน 2:1 กับงานวิจัยการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ (Raikham *et al.*, 2017) โดยพบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและมะค่าโมงมีค่างานที่ได้และค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ (Raikham *et al.*, 2017) ซึ่งบ่งบอกว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงมีประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตที่อัตราการเผาไหม้พบว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะมีอัตราการเผาไหม้ที่ดีกว่า โดย 1 นาที ใช้ถ่านไปเพียง 2.23 กรัม (Raikham *et al.*, 2017) ในขณะที่ถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงใน 1 นาที จะใช้ถ่านไป 6.95 และ 6.33 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ

ตารางที่ 6 คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากชีวมวล

วัสดุ	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ค่าคาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	อ้างอิง
ถ่านอัดแท่งฝักหางนกยูงฝรั่ง อัตราส่วนที่ 2:1	3.92	31.27	11.15	53.65	6,271	-
ถ่านอัดแท่งฝักมะค่าโมง อัตราส่วนที่ 2:1	4.47	30.11	12.21	53.21	6,238	-
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุด	5.65	86.55	5.03	2.77	4,348	Ussawarujikulchai *et al*. (2011)
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียน	6.68	88.37	4.57	0.37	3,901	Ussawarujikulchai *et al*. (2011)
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547)	ไม่เกิน 8	-	-	-	ไม่น้อยกว่า 5,000	Thai Industrial Standards Institute (2004)

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากชีวมวล

วัสดุ	งานที่ได้	อัตราการเผาไหม้ (กรัม/นาที)	ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน (%)	อ้างอิง
ถ่านอัดแท่งฝักหางนกยูงฝรั่ง อัตราส่วนที่ 2:1	2.35	6.95	18.73	-
ถ่านอัดแท่งฝักมะค่าโมง อัตราส่วนที่ 2:1	2.51	6.33	18.15	-
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุด	1.41	2.23	16.04	Raikham *et al*. (2017)
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเงาะ	1.22	2.23	15.20	Raikham *et al*. (2017)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการทดสอบคุณสมบัติพลังงานด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่ใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน และอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดมือหมุนประกอบเองอย่างง่าย พบว่าถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ชนิด ที่มีอัตราส่วนของถ่านและกาวแป้งเปียก ชนิดละ 3 อัตราส่วน คือ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 (กิโลกรัม : ลิตร) มีค่าความร้อน และปริมาณความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง โดยอัตราส่วนที่ 2:1 มีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุด ซึ่งสังเกตได้จากค่าปริมาณความชื้นและค่าสารระเหยที่ต่ำที่สุด และมีค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนที่สูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าถ่านอัดแท่งจากฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงที่อัตราส่วนที่ 2:1 ยังมีค่างานที่ได้ และค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงที่สุดอีกด้วย สามารถลุกติดไฟได้ดี ไม่มีการแตกประทุ ไม่มีควัน ไม่มีเขม่าขณะใช้งาน ด้วยเหตุนี้ฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงจึงน่าจะมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งได้ใช้ในครัวเรือนได้ และอาจสามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ที่ประกอบอาชีพนี้อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนที่ 2:1 เหมาะที่จะนำมาผลิตใช้เป็นเชื้อเพลิงมาก เพราะนอกจากจะมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงและค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนที่ดีที่สุด ยังได้ปริมาณของถ่านที่มากที่สุด ใช้ตัวประสานกาวแป้งเปียกน้อย ดังนั้นในอนาคตฝักหางนกยูงฝรั่งและฝักมะค่าโมงอาจนำมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์ได้ โดยควรศึกษาถึงข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงมากขึ้น และควรวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการผลิต อัตราผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุน ต่อไป

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ที่ให้การสนับสนุนทั้งเงินทุน สถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials. (1996). **Annual Book of American Standard Testing Method**. Vol.05.06 MD: ASTM.

Anantanukulwong, R., Chemae, R. and Sareanu, N. (2019). Production of charcoal from agricultural residues (in Thai). **YRU Journal of Science and Technology**, 4(1), 47-53.

Boonchom, K. and Chaisompan, N. (2020). Study of charcoal briquette from longan wood (in Thai). **Naresuan Phayao Journal,** 13(2): 51-56.

Chaichana, T., Waewsak, J., Kaew-On, J. and Onthong, U. (2014). Fuel properties of mangosteen pericarp charcoal (in Thai). **Thaksin University Journal**, 17(3), 29-36.

Homhual, S. (2010). Makamong (in Thai). Retrieved 19 August 2021, from **Herbal Database, Faculty of Pharmacy, Ubon Ratchathani University**: http://www.phargarden.com/main.php?action=viewpage&pid=260.

Janchaiyaphoom, H. (2018). Charcoal briquettes from tamarind shell (in Thai). In **Proceedings of 3rd Minutes and National Research Presentations, Ratchathani Academic** (pp. 288-296). Ubon Ratchathani: Ratchathani University.

Jutajan, W. (2019). A study of charcoal burning process and properties of briquetted charcoal from vetiver grass (in Thai). **Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University**, 9(2), 135-146.

Ministry of Energy. (2020). Alternative Energy Development Plan 2018-2037 (in Thai). Retrieved 10 February 2022, from **20201021_TIEB_AEDP2018.pdf**: https://www.dede.go.th/download/Plan_62/20201021_TIEB_ AEDP2018.pdf.

Ngamlert, A., Saripan, K. and Pengngiw, P. (2019). The optimum binder for the production of charcoal briquettes from eucalyptus bark (in Thai). **Thepsatre I-TECH Journal**, 14(2), 86-97.

Phutteesakul, R. (2010). The production of charcoal briquette by coconut shell and cassava rhizome (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Srinakharinwirot University.

PlantNet. (2022). *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf. Retrieved 10 April 2022, from **Invasive plants**: https://identify.plantnet.org/invasion/species/Delonix%20regia%20(Bojer%20ex%20Hook.)%20Raf./data.

Provincial Energy Office of Nakhonpathom (2018). **Manual of 200 liters charcoal kiln: Wood vinergar production** (in Thai). Nakhonpathom: Provincial Energy Office of Nakhonpathom, Ministry of Energy.

Raikham, C., Khamwan, Y., Chanthawongrit, P. and Kaewmuang, S. (2017). Study the effect of molasses ratio to fuel properties made from mangosteen and rambutan shell (in Thai). **Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal**, 9(10), 79-90.

Sawekwiharee, S. (2012). **Potential Energy of Fuel Briquettes from Mangosteen Shell** (in Thai). Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.

Tamilvanan, A. (2013). Preparation of biomass briquettes using various agro-residues and waste papers. **Journal of Biofuel,** 4(2), 47-55.

Thai Industrial Standards Institute. (2004). Community products standard of charcoal briquettes 238/2004 in Thai). Retrieved 15 December 2019, from **Thai Community Products Standards**: http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx.

Ussawarujikulchai, A., Semsayun, C., Prapakdee, N., Pieamsuwansiri, N. and Chuchat, N. (2011). Utilization of durian and mangosteen peels as briquette fuel. In **Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference** (pp. 162-168). Bangkok: Kasetsart University.

Wirunphan, K., Saiplean, T. and Jaichompoo, P. (2017). Production of compressed charcoal fuel from the waste materials collected after processing Khao-Larm (in Thai). **RMUTL Engineering Journal**, 2(1), 1-15.

Wongkhamchan, B. and Rungratanaubon, T. (2018). Briquette fuel from waste wood pallet (in Thai). **Thai Journal of Forestry,** 37(1), 143-152.

บทความวิจัย

ผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

พรทิพย์ ธนรติกุล*

สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี กรุงเทพฯ

**Email: porntip.t@dru.ac.th*

รับบทความ: 8 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ: 28 เมษายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารคาราจีแนน 5 ระดับ (0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8%) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก ผลการวิจัยพบว่าปริมาณสารคาราจีแนน มีผลต่อลักษณะเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 3 (คาราจีแนน 0.6%) มีคะแนนการยอมรับด้านความนุ่ม (คะแนน 7.13) และความชอบโดยรวม (คะแนน 6.90) สูงที่สุด มีค่าการแยกตัวของน้ำร้อยละ 6.00 ค่าความแข็ง 709.00 g force ค่าการยึดติด 71.32 g force·sec และค่าความเหนียว 589.50 g force ค่าสี L* 73.03 ค่า a* -1.05 ค่า b* 6.28 องค์ประกอบทางเคมีของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีปริมาณความชื้น 90.97%. เถ้า 0.41% ไขมัน 2.23% โปรตีน 4.06% กากใย 1.28% และคาร์โบไฮเดรต 2.33% มีค่าพลังงาน 45.68 kcal มีสารประกอบฟีนอลิก 1.84 mg GAE/g และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 9.14 μmol trolox equivalents/g

คำสำคัญ: คาราจีแนน คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางประสาทสัมผัส เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก ลักษณะเนื้อสัมผัส

อ้างอิงบทความนี้

พรทิพย์ ธนรติกุล. (2565). ผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 215-224. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.24

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Effect of Carrageenan on Quality of Germinated Soybean Jelly

Porntip Thanaratikul*

Food Industry Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University, Bangkok.

**Email: porntip.t@dru.ac.th*

Received <8 March 2022>; Revised <28 April 2022>; Accepted <29 May 2022>

Abstract

The purpose of this research was to investigate the effect of carrageenan 5 scale (0.4, 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8%) on quality of germinated soybean jelly. Results showed that level of carrageenan had a significant effect on the qualities of germinated soybean jelly. Jelly formulas 3 (carrageenan 0.6%) had the highest score of softness (score 7.13) and overall acceptance (score 6.90). The physical qualities including syneresis, hardness, adhesiveness, gumminess, L*, a* and b* were 6.00, 709.00 g force, 71.32 g force·sec, 589.50 g force, 73.03, -1.05 and 6.28, respectively. The chemical composition of germinated soybean jelly contained moisture 90.97%, ash 0.41%, crude fat 2.23%, crude protein 4.06%, crude fiber 1.28% and carbohydrate 2.33% energy 45.68 kcal, total phenolic content 1.84 mg GAE/g and antioxidant activity 9.14 μmol trolox equivalents/g.

Keywords: Carrageenan, chemical quality, sensory quality, germinated soybean jelly, texture

Cite this article:

Thanaratikul, P. (2022). Effect of Carrageenan on Quality of Germinated Soybean Jelly (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 215-224. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.24

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

ถั่วเหลืองมีสารอาหารประเภทโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 35-40 ซึ่งเป็นโปรตีนจากพืชที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในการประกอบอาหารที่ทดแทนเนื้อสัตว์ได้ โดยเฉพาะอาหารสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุและผู้รักสุขภาพ (Tanjor, Chitisankuland and Watanasuchat, 2016) โดยกระบวนการเพาะงอก (Germination) จะทำให้ได้ปริมาณสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น (Sangronis *et al*., 2006; Chumsri *et al*., 2019) เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกึ่งแข็ง เนื้อสัมผัสนุ่ม (Thai Industrial Standards Institute, 2004) เยลลี่ที่มีคุณภาพดีควรมีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน อ่อนนุ่มและลื่น มีความคงตัวดี เมื่อแกะออกจากภาชนะ สามารถตัดด้วยช้อนหรือมีดได้ง่าย โดยไม่เหนียวติดช้อนหรือมีด (Kaewruksa and Lungmann, 2018) เยลลี่เป็นอาหารเจลที่มีโครงสร้างระบบไฮโดรคอลลอยด์ ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยของเหลวจะเป็นตัวกลางและของแข็งอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างเจลจะขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมที่ใช้ ทำให้เกิดสมดุลของแรงดึงดูดกับแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลวซึ่งมีผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ (Hongsprabhas, 2002) ปัจจุบันมีการพัฒนาเยลลี่เพื่อสุขภาพ รวมถึงเป็นอาหารเพื่อช่วยผู้ที่มีปัญหาในการเคี้ยวและการกลืน (Halee, Navech and Voraaroon 2018; Ruangvicha and Panomai, 2020) เช่น เยลลี่ธัญพืช เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก เป็นต้น (Saehor *et al*., 2011; Tasiri *et al*., 2015; Tinakorn Na Ayutthaya and Putduang, 2016; Yuenyongputtakal *et al*., 2017) โดยมีการศึกษาการใช้สารทำให้เกิดเจลในการผลิตเยลลี่หลายชนิด เช่น คาราจีแนน วุ้น เพกติน กัม กลูโคแมนแนน โลคัสบีนกัม เจลาติน และบุก เป็นต้น แม้ว่างานวิจัยก่อนหน้านี้จะพบว่า การใช้คาราจีแนนเป็นสารทำให้เกิดเจลที่มีลักษณะไม่คงตัวและเปราะ แต่จากงานวิจัยของ Yuenyongputtakal, Wichienchot and Sukatta (2017) พบว่าการใช้คาราจีแนนในเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีความแข็งไม่น้อยหรือมากจนเกินไป และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและการกลืนมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าคาราจีแนนเป็นสารทำให้เกิดเจลที่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับการเคี้ยวและกลืน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก โดยศึกษาผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกให้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มและรสชาติที่เป็นที่ยอมรับ เพื่อเป็นทางเลือกการพัฒนาเยลลี่ที่สามารถเคี้ยวและกลืนได้ง่ายต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองเพาะงอก โดยใช้เมล็ดถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช จังหวัดพิษณุโลก) นำมาคัดแยกสิ่งปนเปื้อนและล้างทำความสะอาด จากนั้นนำเมล็ดถั่วเหลืองแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วทำการเพาะงอกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอกมาล้างทำความสะอาด และสะเด็ดน้ำให้แห้ง ก่อนนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาผลของการใช้สารคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก โดยดัดแปลงสูตรเยลลี่ของ Tinakorn Na Ayutthaya and Putduan (2016) ทำการแปรปริมาณสารคาราจีแนน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สูตรเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
ถั่วเหลืองเพาะงอก	22	22	22	22	22
น้ำตาล	2	2	2	2	2
น้ำมันรำข้าว	1	1	1	1	1
คาราจีแนน	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
น้ำ	74.6	74.5	74.4	74.3	74.2

การผลิตเยลลี่ นำเมล็ดถั่วเหลืองเพาะงอกและน้ำ ปั่นผสมให้ละเอียด กรองด้วยผ้าขาวบาง ผสมน้ำมันรำข้าว (ยี่ห้อหยก) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70±5 องศาเซลเซียส เติมน้ำตาลทราย (ยี่ห้อลิน) และคาราจีแนน (บริษัท ทีซี

เอส แปซิฟิค จำกัด) คนผสมให้ละลายเข้ากัน ให้ความร้อนนาน 15 นาที บรรจุในถ้วยพลาสติกโพลิโพรพิลีนขนาด 2 ออนซ์ ตั้งทิ้งไว้ให้ตัวอย่างเกิดเจลที่อุณหภูมิห้อง นานประมาณ 30 นาที ปิดฝาถ้วย แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

คุณภาพด้านกายภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ด้วยการประเมินลักษณะทั่วไป สี และลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยสายตา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (Thai Industrial Standards Institute, 2004) การแยกตัวของน้ำดัดแปลงจากวิธีของ Khouryieh *et al.* (2005) โดยชั่งน้ำหนักเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกจำนวน 20 กรัม วางบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่วางบนตะแกรง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คำนวณหาค่าการแยกตัวของน้ำจากน้ำหนักตัวอย่างที่แยกออกมาจากการทดสอบ รายงานค่าในหน่วยร้อยละ ลักษณะเนื้อสัมผัส ทดสอบด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture analyzer (Stable Micro System Ltd., U.K.) หัววัดชนิด P/100 ค่า pre-test speed 1 mm/s ค่า Test speed 1 mm/s ค่า Post-test speed 1 mm/s ค่า strain 25% ทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส รายงานผลเป็นค่า hardness adhesiveness และ gumminess การยอมรับต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รส ความนุ่ม ความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-points hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 40 คน ทำการคัดเลือกสูตรต้นแบบ จากสูตรที่มีคะแนนการยอมรับต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสมากที่สุด จากนั้นนำวิเคราะห์โดยวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ใน ระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (ยี่ห้อ Shimadzu) วัดค่าความเป็นกรดด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (ยี่ห้อ OHAUS) และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน กากใย เถ้า ตามวิธีของ AOAC (2005) และคาร์โบไฮเดรต คำนวณโดยวิธีอาศัยผลต่าง ค่าพลังงานโดยวิธีการคำนวณ รายงานค่าในหน่วยกิโลแคลอรี (Kcal) ค่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยวิธีการสกัดสารสำคัญดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2002) และ Rodriguez-Saona and Wrolstad (2001) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents) ใช้วิธี Folin Ciocalteu reagent method โดยดัดแปลงจากวิธีของ Maizura *et al.* (2011) การวิเคราะห์คุณสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ใช้วิธีของ Du *et al.* (2009) การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ หาปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ปริมาณสแตปฟิโลค็อกคัส (*Staphylococcus aureus*) ตามวิธีของ BAM (2001) ปริมาณเอสเชอริเชีย อีโคไล (*E.coli*) ตามวิธีของ BAM (2002)

การวิเคราะห์ทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล คุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และจุลินทรีย์ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การยอมรับต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส ใช้การวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของการใช้สารคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

1.1 ลักษณะปรากฏของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

การประเมินลักษณะปรากฏของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกด้วยสายตา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (Thai Industrial Standards Institute, 2004) พบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกแต่ละสูตรมีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 1 เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 มีลักษณะเยลลี่ เป็นวุ้น แต่ไม่คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ ขณะที่สูตรที่ 2 3 และ 4 เยลลี่มีลักษณะเป็นวุ้นอ่อน คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ เช่นเดียวกับสูตรที่ 5 ที่มีลักษณะเยลลี่คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ แต่มีลักษณะของวุ้นที่แข็ง ลักษณะปรากฏด้านสีของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกมีสีครีมในทุกสูตร ลักษณะปรากฏด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 2 3 และ 4 มีลักษณะนุ่มหยุ่นตัว ขณะที่เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 5 มีลักษณะแข็ง ไม่หยุ่นตัว ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อนกำหนดไว้ว่าเยลลี่อ่อนต้องมีลักษณะเป็นก้อนวุ้น คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ มีสีดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้และสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีกลิ่นแอลกอฮอล์ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องนุ่ม หยุ่นตัว ไม่แข็งกระด้าง ซึ่งจะพบว่าเยลลี่สูตรที่ 1 และ 5 ไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ดังกล่าว

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

(ก) สูตร 1 (ข) สูตร 2 (ค) สูตร 3 (ง) สูตร 4 (จ) สูตร 5

ภาพที่ 1 ลักษณะปรากฏของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต่าง ๆ

1.2 การแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

การศึกษาการแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก พบว่า เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต่าง ๆ มีค่าการแยกตัวของน้ำแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) โดยเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 2 3 4 และ 5 มีค่าการแยกตัวของน้ำ อยู่ในช่วงร้อยละ 4.48-7.06 ผลการศึกษาการแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก พบว่า ค่าการแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกแปรผกผันกับปริมาณการใช้คาราจีแนน โดยเมื่อปริมาณของคาราจีแนนเพิ่มขึ้น ค่าการแยกตัวของน้ำจะน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากสารคาราจีแนนจะเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับเยลลี่ ทำให้การหดตัวของเยลลี่ลดลง การไหลซึมแยกตัวออกของน้ำจากเยลลี่จึงลดลง (Ako, 2015) ทั้งนี้สูตรที่ 4 และ 5 มีค่าการแยกตัวของน้ำน้อย เนื่องจากปริมาณคาราจีแนนที่มากขึ้นทำให้เจลมีความแข็งแรงสูง โดยเจลที่เกิดขึ้นในระบบจากการรวมตัวกันระหว่างพันธะคู่ (double helices) ของคาราจีแนน ส่งผลให้โครงร่างตาข่ายของเจลมีความคงตัวมากขึ้น จึงทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในเจลได้ดี ค่าการแยกตัวของน้ำลดลง (Rattanapanone, 2002; Tinakorn Na Ayutthaya and Putduang, 2016) ส่งผลทำให้ลักษณะปรากฏของเยลลี่ที่ได้มีลักษณะการคงรูปที่ดีกว่า

1.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก แต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) ค่า hardness ของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีค่าอยู่ในช่วง 523-1,603 g force แสดงให้เห็นว่าค่า hardness ของเยลลี่แปรผันตามกับปริมาณการใช้คาราจีแนน (Domínguez-Courtney *et al.,* 2015; Kaya *et al.,* 2015) โดยเมื่อปริมาณคาราจีแนนน้อย ทำให้เนื้อสัมผัสไม่แข็งตัว (Esuwan *et al.*, 2012) hardness จะมีค่าน้อย เยลลี่จึงมีลักษณะนุ่มมากกว่าเยลลี่ที่มีปริมาณคาราจีแนนสูง เนื่องมาจากเมื่อปริมาณของคาราจีแนนสูงขึ้น ทำให้จำนวน junction zone เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงขึ้น (Esuwan *et al.,* 2012; Rattanapanone, 2002) จึงต้องใช้แรงกดในการทำให้เยลลี่เสียรูปมากขึ้น (Thanomwong, 2009) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณคาราจีแนน จะทำให้ค่า hardness มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นสูตรที่ 3 ซึ่งมีค่า hardness ต่ำกว่าสูตรที่ 2 ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากสูตรที่ 3 อาจมีความเป็นของไหลมากกว่า ทำให้เจลมีความหนาแน่นของโครงสร้างกิ่งก้านในระดับปานกลาง (Pereira *et al.*, 2013; Kreungngern and Chaikham, 2016) หรือคาราจีแนนอาจมีความเจือจางทำให้เกิดเจลได้ไม่ดี (วิชมณี สันทัต และอุดมลักษณ์, 2560) เจลจึงมีค่าความแข็งน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าค่า hardness สูตรที่ 5 มีค่าลดลง อาจเกิดเนื่องจากโครงสร้างของคาราจีแนนที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบ (anionic polysaccharide) และมีหมู่ซัลเฟตอยู่ภายในโมเลกุล (Apirattananusorn, Rueangwatcharin and Maicaurkaew, 2020) เมื่อปริมาณคาราจีแนนเพิ่มขึ้น ปริมาณซัลเฟตที่มีมากขึ้นทำให้เกิดส่วนหักงอในสายพอลิแซ็กคาไรด์ส่งผลให้ไปขัดขวางการสร้าง double helices ของเจลคาราจีแนน ทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง (Stanley, 1990) หรืออาจเกิดการผลักกันของประจุลบของคาราจีแนนในระบบทำให้การเจลมีลักษณะนิ่มและเปราะมากขึ้น (Treeinthong Raksakulthai and Runglerdkria, 2016) ค่า gumminess ของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีค่าอยู่ในช่วง 407.50-1,200.50 g force ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า hardness โดยค่า gumminess ยิ่งมาก แสดงถึงเจลมีความเหนียวมาก จึงต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวมากเพื่อในการเคี้ยวเพื่อให้เนื้อเยลลี่แตกตัวออก และสามารถกลืนได้ (Kreungngern and Chaikham, 2016) ค่า adhesiveness ของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีค่าอยู่ในช่วง 49.01-171.54 g force·sec จะพบว่าค่า adhesiveness มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณของคาราจีแนนเพิ่มขึ้น เนื่องจากคาราจีแนนทำให้การยึดติดกันของโครงร่างเจลมากขึ้น เยลลี่มีการยึดเกาะติดกันมากขึ้น ดังนั้นงานที่ต้องใช้การดึงหัววัดออกจากตัวอย่าง จึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (Kreungngern and Chaikham, 2016) ยกเว้นสูตรที่ 3 ซึ่งอาจเกิดจากเจลมีการสร้างร่างแหไม่สมบูรณ์ (Navasearttavisootr, Suwonsichon and Ritthiruangdej, 2002) เมื่อดึงหัววัดออกจากตัวอย่างจึงมีค่างานที่ต้องใช้น้อย ค่า adhesiveness จึงน้อยกว่า

ตารางที่ 2 ค่าการแยกตัวของน้ำและลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

สูตร	ค่าการแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
		Hardness (g force)	Gumminess (g force)	Adhesiveness (g force·sec)
1	7.06±0.66[a]	523.50±3.54[e]	407.50±3.54[e]	49.01±0.37[e]
2	6.62±0.88[a]	1,000.00±4.24[c]	747.50±3.54[c]	79.86±0.02[c]
3	6.00±0.99[ab]	709.00±5.66[d]	589.50±4.95[d]	71.32±3.75[d]
4	5.23±0.41[bc]	1,603.00±16.97[a]	1,200.50±10.61[a]	137.47±1.88[b]
5	4.48±0.24[c]	1,383.50±13.44[b]	1,060.50±0.71[b]	171.54±3.44[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษร [(a-e)] ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก พบว่า สูตรที่ 1 เป็นวุ้นอ่อนมีค่าความนุ่มมาก แต่มีลักษณะปรากฏของเยลลี่ที่เยิ้มน้ำเนื่องจากมีค่าการแยกตัวของน้ำจากเยลลี่มาก วุ้นจึงไม่คงรูป ขณะที่เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 5 วุ้นมีลักษณะค่อนข้างแข็งไม่หยุ่นตัว ดังนั้น เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 และ 5 จึงไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสูตรต้นแบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกสูตรที่ 2, 3 และ 4 นำไปประเมินความชอบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสต่อไป

1.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

คะแนนประเมินความชอบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 3) โดยทุกสูตรจะมีคะแนนการยอมรับด้านสีมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสีขาวครีม ดูน่ารับประทาน โดยสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่าสูตรที่ 2 และ 4 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 4 ขณะที่คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ความนุ่มสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านความนุ่มสูงสุด ขณะที่คะแนนความชอบโดยรวม พบว่าสูตรที่ 4 มีความชอบโดยรวมสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 3 เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ การแยกตัวของน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าสูตรที่ 3 มีลักษณะเจลที่ดี คงรูป มีความหยุ่นตัว ไม่นิ่มเละ และมีความนุ่มอยู่ในระดับที่ได้รับการยอมรับสูงสุด งานวิจัยนี้จึงคัดเลือกสูตรที่ 3 เป็นต้นแบบของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก และนำไปวิเคราะห์คุณภาพของสูตรต้นแบบต่อไป

ตารางที่ 3 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเฉลี่ยของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต่าง ๆ

สูตร	ปริมาณคาราจีแนน (ร้อยละ)	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเฉลี่ย			
		สี	กลิ่นรส[ns]	ความนุ่ม	ความชอบโดยรวม
2	0.5	7.43±0.93[b]	6.60±0.90	5.90±1.03[c]	6.38±0.90[b]
3	0.6	7.90±0.81[a]	6.68±0.92	7.13±0.82[a]	6.90±0.84[a]
4	0.7	7.80±1.04[ab]	6.78±0.77	6.55±0.96[b]	6.95±0.71[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษร [(a-c)] ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
[ns] ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกต้นแบบ

นำผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต้นแบบ มาวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและจุลินทรีย์ (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าสีของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 73.03, -1.05 และ 6.28 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดด่าง 8.76 มีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 90.97 เถ้าร้อยละ 0.41 ไขมันร้อยละ 2.23 โปรตีนร้อยละ 4.06 กากใยร้อยละ 1.28 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 2.33 มีค่าพลังงาน 45.68 กิโลแคลอรี เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต้นแบบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 1.84 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 9.14 ไมโครโมลสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัม มีคุณภาพจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.0×10^{2} CFU/g ปริมาณยีสต์ รา น้อยกว่า 10 CFU/g ปริมาณเอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) น้อยกว่า 3 MPN/g และตรวจไม่พบปริมาณสแต็ปฟิโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกต้นแบบมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (Thai Industrial Standards Institute, 2004)

ตารางที่ 4 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต้นแบบ

คุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก	ผลการทดลอง
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าสี	
L*	73.03±0.20
a*	-1.05±0.02
b*	6.28±0.06
ความเป็นกรดด่าง	8.76±0.04
องค์ประกอบทางเคมี	
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	90.97±0.13
เถ้า (ร้อยละ)	0.41±0.05
ไขมัน (ร้อยละ)	2.23±0.26
โปรตีน (ร้อยละ)	4.06±0.21
กากใย (ร้อยละ)	1.28±0.29
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	2.33±0.04
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	45.68±1.78
สารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม)	1.84
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครโมลสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัม)	9.14
คุณภาพทางจุลินทรีย์	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	1.0×10^{2}
ยีสต์และรา (CFU/g)	น้อยกว่า 10
เอสเชอริเชีย โคไล (MPN/g)	น้อยกว่า 3
สแต็ปฟิโลคอคคัส ออเรียส	ตรวจไม่พบ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 0.6 เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก เนื่องจากให้ลักษณะเนื้อเยลลี่ที่อ่อนนุ่มและรสชาติที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกต้นแบบดังกล่าวมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเยลลี่อ่อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยระหว่างปี 2560-2561 ซึ่งขณะนั้นไม่ได้มีการดำเนินการยื่นขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

Ako, K. (2015). Influence of elasticity on the syneresis properties of k-carrageenan gels. **Carbohydrate Polymers**, 115, 408-414.

AOAC. (2005). **Official methods of analysis of AOAC international**. Maryland: AOAC international.

Apirattananusorn, S., Rueangwatcharin, U. and Maicaurkaew, S. (2020). Effects of carrageenan on properties of egg white powder from by-product salted egg. **Journal of Agriculture,** 36(2), 269-278.

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001a). Chapter 3: Aerobic plate count. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-aerobic-plate-count

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001b). Chapter 12*: Staphylococcus aureus*. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-staphylococcus-aureus

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001c). Chapter 18: Yeast, molds and mycotoxins. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-yeasts-molds-and-mycotoxins

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2002). Chapter 4A: Diarrheagenic *Escherichia coli*. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-diarrheagenic-escherichia-coli

Chumsri, N., Aroonrungsawasdi, S., Sareebot, T. and Karnchaisri, K. (2019). The development of mix-germinated legumes drink. **Christian University Journal**, 25(3), 89-98.

Domínguez-Courtney M.F., López-Malo, A., Palou, E. and Jiménez-Munguía, M.T. (2015). Optimization of mechanical properties of carboxymethyl cellulose, carrageenan and/or xanthan gum gels as alternatives of gelatin softgels capsules. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology**, 2(11), 3132-3140.

Du, G., Li, M., Ma, F. and Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. **Food Chemistry**, 113(2), 557-562.

Esuwan, Y., Lambangchan, P., Suthiruk, J. and Lichanporn, I. (2012). Effect of carrageenan on quality of longkong jelly (in Thai). **Agricultural Science Journal**, 43(2)(Suppl.), 485-488.

Halee, A., Navech, N. and Voraaroon, S. (2018). Development of broken rice berry jelly fortified with *Stevia rebaudiana* Bertoni. **The Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University**, 15(2), 26-33.

Hongsprabhas, P. (2002). **Physicochemistry of foods: colloids, emulsions and gels**. Bangkok: Chulalongkorn University Press

Kaewruksa, C.K. and Lungmann, P. (2018). Product development of jelly from longkong falling grade. (Lansium domesticum, Corr.). **Burapha Science Journal**, 23(2), 767-778.

Kaya, A.O.W., Suryani, A., Santoso, J. and Rusli, M.S. (2015). The effect of gelling agent concentration on the characteristic of gel produced from the mixture of semi-refined carrageenan and glukomannan. **International Journal of Sciences: Basic and Applied Research,** 20(1), 313-324.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Khouryieh, H.A., Aramouuni, F.M. and Herald, T.J. (2005). Physical, chemical and sensory properties of sugar-free jelly. **Journal of Food Quality**, 28(2), 179-190.

Kim, D-O. and Lee, C.Y. (2002). Extraction and isolation of polyphenolics. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry,** 6(1), I1.2.1-I1.2.12.

Kreungngern, D. and Chaikham, P. (2016). Rheological physical and sensory attributes of *Chao Kuay* jelly added with gelling agents. **International Food Research Journal**, 23(4), 1474-1478.

Maizura, M., Aminah, A. and Wan Aida, W.M. (2011). Total phenolic content and antioxidant activity of kesum (*Polygonum minus*), ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) extract. **International Food Research Journal**, 18, 529-534.

Navasearttavisootr, N., Suwonsichon, T. and Ritthiruangdej, P. (2002). Effect of cassava flour on cassava dessert gel. **Proceedings of the 40th Kasetsart University Annual Conference** (pp. 479-486). Bangkok: Kasetsart University.

Pereira, P.A.P., Souza, V.R., Teixeira, T.R., Queiroz, F., Borges, S.V. and Carneiro, J.D.S. (2013). Rheological behavior of functional sugar free guava preserves: Effect of the addition of salts. **Food Hydrocolloids**, 31, 404-412.

Rattanapanone, N. (2002). **Food Chemistry** (in Thai). Bangkok: Odeon Store Publisher.

Rodriguez-Saona L.E. and Wrolstad R.E. (2001). Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry** (pp. 1-11). New York: John Wiley and sons.

Ruangvicha, T. and Panomai, N. (2020). Development of jelly appetizer recipe for the head and neck cancer patients with dysphagia. **Royal Thai Navy Medical Journal**, 47(2), 340-358.

Sangronis, E., Rodríguez, M., Cava, R. and Torres, A. (2006). Protein quality of germinated *Phaseolus vulgaris*. **European Food Research and Technology**, 222, 144–148.

Saehor, S., Vattanakrisda, N., Taiyanto, P. and Thumthanaruk, B. (2011). Development of vegetable carrageenan jellies. **Agricultural Science Journal**, 49(2)(Suppl.), 509-512.

Stanley, N.F. (1990). Carrageenans. **Food gels** (pp. 79-119). New York: Elsevier Applied Science

Tanjor,S., Chitisankuland, W.T. Watanasuchat, N. (2016). Effect of germination on in vitro iron bioaccessibility and protein digestibility of soybean. **Thai Science and Technology Journal**, 24(4), 573-586.

Tasiri, P., Suttisansanee, U., Hudthagosol, C. and Somboonpanyakul, P. (2015). Development of riceberry rice vegan jelly contains high protein and high energy for the elderly with dysphagia. **Agricultural Science Journal**, 46(3)(Suppl.), 369-372.

Thai Industrial Standards Institute. (2004). Thai community product standard of soft jelly (in Thai). Retrieved 23 June 2017, from **Thai Industrial Standards Institute**: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps519_47.pdf.

Thanomwong, C. (2009). Effect of gelatin and citric acid on sensory quality of lemongrass flavored gummy jelly (in Thai). **KKU Science Journal**, 37(3), 325-332.

Tinakorn Na Ayutthaya, K. and Putduang, N. (2016). The product development of healthy cereal jelly (in Thai). **Journal of Food Technology Siam University**, 11(1), 13-20.

Treeinthong, J., Raksakulthai, N. and Runglerdkria, J. (2016). Influence of carrageenan extracted from Solieria robusta on gel properties of freshwater fish gel. **Rajamangala University of Technoloy Tawan-ok Research Journal**, 9(2), 1-12.

Yuenyongputtakal, W., Wichienchot, S., Sukatta, U. (2017). **Development of healthy gel food product for elderly from prebiotic Thai fruit using riceberry rice jelly as prototype product** (Research report). Chonburi: Burapha University.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทความวิจัย

ความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก บริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จังหวัดตราด

ชุตาภา คุณสุข[1,*] เสาวภา สุราวุธ[2] สรศักดิ์ นาคเอี่ยม[1] และจินตนา นรดี[3]
[1]หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
[2]หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
[3]หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี
**Email: chutapa.k@rbru.ac.th*

รับบทความ: 20 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ: 8 มิถุนายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 8 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากชนิด ความชุกชุมสัมพัทธ์ และความหนาแน่นของหอยทากบก รวมทั้งศึกษาปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการ ที่ส่งผลต่อชนิดและความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จังหวัดตราด ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนพฤศจิกายน 2562 โดยการสำรวจโดยตรงจากพื้นที่สวนป่ายางพาราของเกษตรกร จำนวนทั้งสิ้น 41 แปลง ขนาดแปลงเก็บตัวอย่าง 20x20 เมตร ผลการศึกษาพบหอยทากบกทั้งสิ้น 3 อันดับ 10 วงศ์ 15 สกุล 17 ชนิด ค่าดัชนีความหลากหลายมีค่าเท่ากับ 1.886 ค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ 0.67 และพบความชุกชุมของหอยทากขัดเปลือก (*Macrochlamys* sp.) มากที่สุด จำนวนทั้งสิ้น 24 แปลง มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากับ 54.54% รองลงมาเป็นหอยทากสยาม (*Cryptozona siamensis*) และ หอยเดื่อ (*Hemiplecta distincta*) มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากับ 48.78% และ 43.90% ตามลำดับ การศึกษาความหนาแน่นของหอยทากบกในแปลงตัวอย่างทั้งหมด 41 แปลง พบว่า แปลงที่ 17 มีความหนาแน่นของหอยทากบกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.33 ตัว/ตารางเมตร และพบปัจจัยที่ส่งผลต่อความชุกชุมของหอยทากบก ได้แก่ ขนาดของต้นยางพารา และสายพันธุ์ของยางพารา

คำสำคัญ: หอยทากบก ความหลากชนิด ความชุกชุม จังหวัดตราด

อ้างอิงบทความนี้
ชุตาภา คุณสุข, เสาวภา สุราวุธ, สรศักดิ์ นาคเอี่ยม และจินตนา นรดี. (2565). ความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก บริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จังหวัดตราด. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 225-235. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.25

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Species diversity and abundance of land snail in Trat Rubber Co-operative Forest Plantation, Trat Province

Chutapa Kunsook[1,*] Saowapha Surawut[2], Sorasak Nakeim[1] and Jintana Noradee[3]

[1]*Education Biology Program, Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University*

[2]*Microbiology Program, Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University*

[3]*Biology Program, Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi Province*

**Email: chutapa.k@rbru.ac.th*

Received <20 March 2022>; Revised <8 June 2022>; Accepted <8 June 2022>

Abstract

This research aimed to investigate the species diversity, relative abundance and density of land snail including also study the effect of ecological factors to species diversity and abundance of land snail in Trat Rubber Co-operative Forest Plantation, Trat Province from June to November 2019. Sample was carried out by direct count method from 41 rubber plantation areas of the farmer. Plot sampling was 20x20m. The result found that the land snail was consist of 3 orders, 10 families 15 genera and 17 species. Diversity index (*H'*) was 1.886 whereas the eveness index was 0.67. *Macrochlamys* sp. was highest abundance and found 24 plots. The relative abundance was 54.54% and following by *Cryptozona siamensis* and *Hemiplecta distincta* which were showed 48.78% and43.90%, respectively. The density of land snail in plot 17 was high density as $0.33/m^2$. The ecological factor was correlated with the diameter breast high and the species of rubber tree.

Keywords: Land snail, species diversity, abundance, Trat Province

Cite this article:

Kunsook, C., Surawut, S., Nakeim, S. and Noradee, J. (2022). Species diversity and abundance of land snail in Trat Rubber Co-operative Forest Plantation, Trat Province (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 225-235. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.25

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

หอยทากบก (Land snail) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีวิวัฒนาการปรับตัวขึ้นมาจากน้ำ และสามารถปรับตัวอยู่บนบกได้โดยการใช้ปอดในการหายใจ มีความหลากหลายของลักษณะภายนอก รวมถึงขนาด และพบการแพร่กระจายในระบบนิเวศที่หลากหลายทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ทุ่งหญ้า ภูเขาหินปูน ถ้ำ และบริเวณพื้นที่ภูเขาไฟ (Srihata *et al*., 2010; Tumpeesuwan and Tumpeesuwan, 2010; Tanmuangpak et al., 2017) ซึ่งก็รวมถึงพื้นที่ทางเกษตรประเภทต่าง ๆ ด้วย ได้แก่ สวนผลไม้ แปลงพืชผัก สวนยางพารา (Rintarak *et al*., 2017; Buahongsang and Tanmuangpak, 2022) บทบาทของหอยทากบกนั้นจัดว่ามีความสำคัญต่อมนุษย์ โดยในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีการนำหอยทากบกมาบริโภค (Kongim, 2008) และมีความสำคัญต่อห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศ โดยหอยทากบกบางชนิดก็จะทำหน้าที่กินอินทรียสาร เช่น ซากพืชต่าง ๆ ทำให้เกิดการหมุนเวียนสารอินทรีย์ บางชนิดเป็นผู้ล่า และบางชนิดเป็นอาหารให้กับงู และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Kerny and Cameron, 1979) นอกจากนี้ยังมีการใช้หอยทากบกเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศด้วย (Panha and Burch, 2005) การศึกษาความหลากหลายของหอยทากบกในประเทศไทย โดย Panha (1996) พบว่าประเทศไทยมีหอยทากบกที่ค้นพบแล้วถึง 15 วงศ์ 50 สกุล 136 ชนิด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงถิ่นที่อยู่ของหอยทากบกตามธรรมชาติแล้วนั้น มักจะชอบอยู่อาศัยในพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้น นั่นคือ ตามพื้นดิน และตามต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้ แต่ด้วยสถานการณ์การลดลงของพื้นที่ป่าไม้ เช่น การระเบิดเขาหินปูนเพื่อนำไปใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ การจัดการท่องเที่ยวที่เน้นจำนวนนักท่องเที่ยวมากกว่าคุณภาพ และการแผ้วถางพื้นที่เพื่อการเพาะปลูกผลไม้ ก็ได้ทำให้เกิดการคุกคามความหลากหลายทางชีวภาพของหอยทากไปด้วย ทำให้เกิดการลดลงทั้งชนิดและปริมาณของหอยทากบก (Chidchua and Dumrongrojwattana, 2010)

พื้นที่ภาคตะวันออก จัดว่าเป็นภูมิภาคหนึ่งของประเทศไทย ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของพันธุ์พืชพันธุ์สัตว์นานาชนิด ซึ่งก็รวมทั้งหอยทากบกด้วย จากรายงานพบการสำรวจหอยทากบกในระบบนิเวศตามธรรมชาติหลายพื้นที่ เช่น การสำรวจความหลากชนิดของหอยทากบกในจังหวัดชลบุรี ในถิ่นที่อยู่เช่น ตามพื้นดิน และภูเขาหินปูน พบหอยทากบกทั้งสิ้นจำนวน 16 วงศ์ 29 สกุล 52 ชนิด โดยพบว่าหอยทากบก 35 ชนิด เป็นชนิดเฉพาะถิ่น (endemic species) (Boon-ngam *et al*., 2008) การสำรวจความหลากหลายของหอยทากบกในพื้นที่ภูเขาหินปูน ในบริเวณจังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี ผลการศึกษาพบหอยทากบกทั้งสิ้น 16 วงศ์ 29 สกุล 49 ชนิด ในการศึกษาครั้งนี้พบหอยทากจิ๋วสกุล *Carychium* ที่บริเวณเขาวงกต ซึ่งจัดว่าเป็นรายงานใหม่ที่พบหอยทากจิ๋วชนิดนี้ในพื้นที่ภาคตะวันออก (Chidchua and Dumrongrojwattana, 2010) และการสำรวจความหลากชนิดของหอยทากบก บริเวณภูเขาหินปูน จังหวัดสระแก้ว ผลการศึกษาพบหอยทากบกทั้งสิ้นจำนวน 12 วงศ์ 24 สกุล 42 ชนิด โดยพบหอยทากบกเกาะอยู่ตามหินปูน อาศัยบนพื้นดิน และอาศัยอยู่ตามต้นไม้ (Boon-ngam *et al*., 2010) สำหรับการศึกษาหอยทากบกในพื้นที่จังหวัดตราด พบว่ามีการศึกษาหอยทากบกในสกุล *Succinea* sp. เท่านั้น ยังไม่พบการศึกษาความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่สวนยางพาราแต่อย่างใด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบกในพื้นที่สวนป่ายางพารา สหกรณ์ตราดยางพาราจำกัด โดยในพื้นที่ภาคตะวันออกพบว่ายังมีการศึกษาในระบบนิเวศเกษตรกรรมค่อนข้างน้อย สวนป่ายางพารา มีลักษณะพื้นที่ที่มีเรือนยอดของต้นยางปกคลุม มีการปลูกพืชแซมระหว่างแถว รวมทั้งเศษซากใบไม้ที่ทับถมกันก็ก่อให้เกิดความชุ่มชื้น และมีปัจจัยกายภาพอื่นที่มีความเหมาะสม ทำให้พบความหลากหลายของหอยทากบกจำนวนมาก อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังจะได้มีการนำเอาข้อมูลความหลากหลายไปใช้ประโยชน์ในการเข้าสู่มาตรฐานผลิตภัณฑ์จากยางพารา (FSC) ซึ่งเป็นมาตรฐานการรับรองป่าไม้ที่ได้รับการยอมรับทั่วโลก ซึ่งจะทำให้เกษตรกรสวนยางพาราของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดตราด สามารถส่งไม้ยางพารา หรือผลิตภัณฑ์จากยางพาราส่งออกขายยังต่างประเทศได้มูลค่ามากขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความหลากชนิด ความชุกชุมสัมพัทธ์ และความหนาแน่นของหอยทากบกในพื้นที่สวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จังหวัดตราด

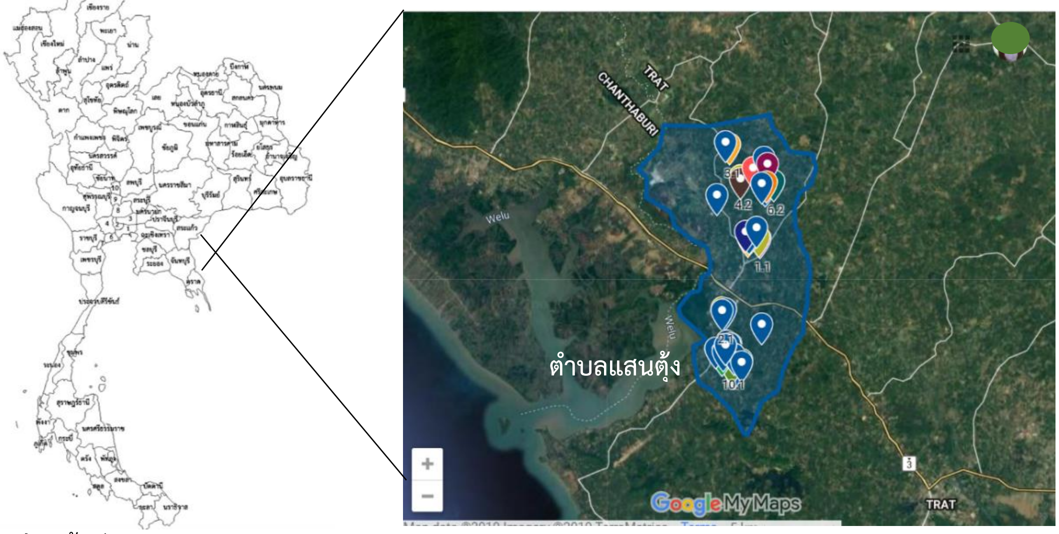
2. ศึกษาปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการ ที่ส่งผลต่อชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก ดำเนินการในพื้นที่ตำบลแสนตุ้ง อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด ซึ่งเป็นสวนยางพารา ที่เป็นสมาชิกของสหกรณ์ตราดยางพารา จำกัด จำนวน 40 แปลง มีพื้นที่ทั้งสิ้น 450.7 ไร่ และพื้นที่

ป่าชุมชนจำนวน 1 แปลง มีพื้นที่ 93.70 ไร่ รวมเป็นพื้นที่ทั้งสิ้น 544.4 ไร่ ขอบเขตพื้นที่ศึกษาดังภาพที่ 1 ลักษณะของพื้นที่แปลงส่วนใหญ่ร้อยละ 90 เป็นการปลูกพืชเชิงเดี่ยว คือ ยางพารา มีจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ BPM24 มีลักษณะทรงพุ่มปานกลางไม่หนาแน่นจนเกินไป พุ่มใบค่อนข้างทึบ แตกกิ่งมาก กิ่งมีขนาดปานกลาง และเปลือกต้นมีความแห้งปานกลาง PRIT251 มีลักษณะลำต้นตรง เรียวเล็ก แตกกิ่งช้า, PRIM600 ลักษณะลำต้นตรง กิ่งมีขนาดปานกลางและแตกกิ่งเล็กจำนวนมาก ทรงพุ่มมีขนาดปานกลาง เป็นรูปพัด เริ่มผลัดใบเร็ว PB235 ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปกลม กิ่งอยู่ในระดับสูง เริ่มผลัดใบช้าและทยอยผลัดใบ แต่มีลักษณะของเปลือกไม้ค่อนข้างแห้ง โดยแปลงปลูกมีทั้งการถางและการใช้ยาฆ่าหญ้าเพื่อให้พื้นที่โล่งเตียน แต่ก็พบว่าบางแปลงไม่มีการถางและใช้ยาฆ่าหญ้า และมีพื้นที่เกษตรแปลงปลูกแบบผสมผสานบ้างร้อยละ 10 เช่น ผลไม้ และสับปะรด



ภาพที่ 1 พื้นที่สำรวจความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก บริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จำกัด ตำบลแสนตุ้ง อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด

ที่มา: Nakeim *et al*. (2017)

การสำรวจ

ทำการสำรวจโดยตรง (Direct count methods) ในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนพฤศจิกายน 2562 โดยการเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 41 แปลง (ภาพที่ 2ก) โดยแต่ละแปลงจะวางแปลงขนาด 20x20 เมตร (Tumpeesuwan and Tumpeesuwan, 2010; Srihata *et al*. 2010; Jumlong *et al*. 2013; Sasang *et al*. 2018) ทำการบันทึกพิกัดละติจูดลองติจูดของพื้นที่แปลงสำรวจเอาไว้ด้วยเครื่องมือวัดพิกัดทางภูมิศาตร์ (จีพีเอส รุ่น Garmin etrex30) โดยสังเกตในบริเวณที่เป็นใต้ขอนไม้ กองใบไม้แห้งที่ทับถมกัน โพรงไม้ ซอกหิน ต้นไม้ ใบไม้ ฯลฯ สำรวจโดยการเดิน บันทึกภาพและเก็บตัวอย่างหอยที่มีชีวิต (ภาพที่ 2ข) โดยเก็บรักษาสภาพตัวอย่างในเอทิลแอลกอฮอล์ 70% รวมทั้งเก็บตัวอย่างหอยที่ไม่มีชีวิต (เปลือกหอย) (ภาพที่ 2ค) ใส่ถุงเก็บตัวอย่างนำไปศึกษาเพื่อจัดจำแนกในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลปัจจัยทางนิเวศวิทยาบริเวณแหล่งที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ ค่าความเข้มแสง ค่าความเป็นกรดด่างในดิน ค่าความชื้นของดิน ค่าความยาวรอบวงระดับอก (DBH) ของต้นยางพาราแต่ละสายพันธุ์ จำนวน 20 ต้น และค่าอุณหภูมิอากาศ ตัวอย่างหอยที่มีชีวิต และตัวอย่างหอยที่ไม่มีชีวิต (เปลือกหอย) นำมาทำความสะอาด ถ่ายภาพ และทำการจัดจำแนกชนิดหอยทาก (ภาพที่ 2ง) โดยเปรียบเทียบ ลักษณะและขนาดเปลือก รวมทั้งรูปร่างภายนอกโดยใช้คู่มือการจัดจำแนกชนิดของหอยทากบกในประเทศไทย ซึ่งสามารถแบ่งหอยทากบกออกเป็น 3 ชั้นย่อย ได้แก่ หอยทากบกที่มีฝาปิดเปลือก หอยทากบกมีปอด และหอยที่ไม่มีเปลือก (Panha, 1996; Sucharit and Panha, 2008; Chidchua and Dumrongrojwattana, 2010)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) ค่าดัชนีความหลากชนิด โดยใช้สูตร Shannon Weiner index ดังนี้

$$H' = \sum_{i=1}^{s} (Pi \ln Pi)$$

เมื่อ *H’* = ค่าดัชนีความหลากชนิดของ Shannon Weiner

S = จำนวนชนิดของหอยทากบกที่พบทั้งหมด

P_i = สัดส่วนจำนวนของหอยทากบกชนิด i ต่อจำนวนของหอยทากบกทั้งหมด

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

2) ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index) จากสูตร

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

เมื่อ E = ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ

H' = ค่าดัชนีความหลากชนิดของ Shannon Weiner

S = จำนวนชนิดทั้งหมด

3) ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ (Relative abundance) จากสูตรของ Pettingil (1969)

$$\text{ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์} = \frac{\text{จำนวนแปลงสำรวจที่พบทากบกชนิดนั้น ๆ}}{\text{จำนวนแปลงสำรวจทั้งหมด}} \times 100$$

โดยใช้เกณฑ์ในการแบ่งระดับความชุกชุมของหอยทากบกออกเป็น 5 ระดับ

เมื่อ หอยทากที่พบชุกชุมมาก มีค่าร้อยละความชุกชุมอยู่ระหว่าง 90-100

หอยทากที่พบบ่อย มีค่าร้อยละความชุกชุมอยู่ระหว่าง 65-89

หอยทากที่พบชุกชุมปานกลาง มีค่าร้อยละความชุกชุมอยู่ระหว่าง 31-64

หอยทากที่พบชุกชุมน้อย มีค่าร้อยละความชุกชุมอยู่ระหว่าง 10-30

หอยทากที่พบชุกชุมน้อยมาก มีค่าร้อยละความชุกชุมน้อยกว่า 10

4) ความสัมพันธ์ระหว่างความชุกชุมของหอยทากบกและปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการ

วิเคราะห์โดยใช้สถิติทดสอบของเพียร์สัน (Pearson’s correlation) ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ความชื้นของดิน ค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ค่าเฉลี่ยความยาวรอบวงของต้นยางพารา และสายพันธุ์ของยางพารา (BPM24, PRIT251, PRIM600, PB235) ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของหอยทากบก

ภาพที่ 2 วิธีการศึกษา (ก) แปลงและเส้นทางในการสำรวจหอยทากบก (ข) หอยทากบกมีชีวิตที่พบบนต้นไม้ (ค) หอยทากบกที่มีชีวิต และไม่มีชีวิตที่พบบนพื้นดิน และ (ง) การวัดขนาด และการถ่ายภาพหอยทากบกในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก

จากการศึกษาความหลากชนิด และความชุกชุมของหอยทากบกในบริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จังหวัดตราด พบตัวอย่างหอยทั้งหมด 897 ตัวอย่าง มีความหลากชนิดทั้งสิ้น 3 อันดับ 10 วงศ์ 15 สกุล 17 ชนิด ดังนี้ ได้แก่ 1) Order Architaenioglossa มี 1 Family ได้แก่ Family Cyclophoridae พบ 1 ชนิด ได้เก่ หอยหอมมาลายัน *Cyclophorus malayanus* (Benson, 1852) 2) Order Stylommatophora มี 8 Family ได้แก่ 1 Family Camaenidae พบ 5 ชนิด ได้แก่

หอยนกขมิ้นใหญ่ *Amphidromus atricallosus* (Gould, 1843) หอยนกขมิ้นน้อย *Amphidromus xiengensis* (Morlet, 1891) หอยชอกโกแลต *Amphidromus inversus annamiticus* (Cross & Fischer, 1863) หอยกระสวยใหญ่สยาม *Giardia siamensis* (Redfield, 1853) และหอยปากบาน *Chloritis* sp. Family Achatinidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยทากยักษ์แอฟริกัน *Achatina fulica* (Férussac, 1821) Family Ariophantidae พบ 4 ชนิด ได้แก่ หอยทากสยาม *Cryptozona siamensis* (L. Pfeiffer, 1856) หอยเดื่อ *Hemiplecta distincta* (Pfeiffer, 1850) หอยทากขัดเปลือก *Macrochlamys* sp. และชนิด *Sarika* sp. Family Succineidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยเล็บ *Succinea tenella* (Morelet, 1865) Family Subulinidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยข้าวสาร *Lamellaxis gracilis* (Hutton, 1834) Family Helicarionidae พบ 2 ชนิด ได้แก่ หอยหางดิ้นน้อย *Durgella levicula* (Benson, 1859) และทากเล็บมือนาง *Parmarion siamensis* (Cockerell, 1891) Family Dyakiidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยเดื่อจันทบูรณ์ *Quantula godwinausteni* (Laidlaw, 1931) 3) Order Systellommatophora มี 1 Family ได้แก่ Family Veronicellidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ ทากดินตีดฟ้า *Semperula siamensis* (E. von Martens, 1867) ดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ผลการศึกษาค่าดัชนีความหลากหลายของหอยทากบก (H') พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.886 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ 0.67

ตารางที่ 1 รายชื่อของหอยทากบกในพื้นที่สวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จำกัด อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด

ชนิดที่/ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์/ (n = จำนวนตัวอย่าง)	จำนวนแปลงที่พบ	ความชุกชุมสัมพัทธ์	สถานภาพความชุกชุม	แหล่งที่พบ
Order Architaenioglossa					
Family Cyclopholidae					
1. หอยหอมมาลายัน	*Cyclophorus malayanus* (20)	6	14.63	ความชุกชุมน้อย	บนพื้นดิน
Order Stylommatophora					
Family Camaenidae					
2. หอยนกขมิ้นใหญ่	*Amphidromus atricallosus* (23)	2	4.88	ชุกชุมน้อยมาก	บนต้นไม้
3. หอยนกขมิ้นน้อย	*Amphidromus xiengensis* (20)	2	4.88	ชุกชุมน้อยมาก	บนต้นไม้
4. หอยชอกโกแลต	*Amphidromus inversus* (2)	2	4.88	ชุกชุมน้อยมาก	บนต้นไม้
5. หอยกระสวยใหญ่สยาม	*Giadia siamensis* (1)	1	2.44	ชุกชุมน้อยมาก	บนต้นไม้
6. หอยปากบาน	*Chloritis* sp. (2)	2	4.88	ชุกชุมน้อยมาก	บนต้นไม้
Family Achatinidae					
7. หอยทากยักษ์แอฟริกัน	*Achatina fulica* (2)	1	2.44	ชุกชุมน้อยมาก	บนพื้นดิน
Family Ariophantidae					
8.หอยทากสยาม	*Cryptozona siamensis (189)*	20	48.78	ชุกชุมปานกลาง	บนพื้นดิน/ต้นไม้
9. หอยเดื่อ	*Hemiplecta distincta* (197)	18	43.90	ชุกชุมปานกลาง	บนพื้นดิน
10. หอยทากขัดเปลือก	*Macrochlamys* sp. (184)	24	58.54	ชุกชุมปานกลาง	บนพื้นดิน
11. หอยทากขัดเปลือก	*Sarika* sp. (1)	1	2.44	ชุกชุมน้อยมาก	บนพื้นดิน
Family Succineidae					
12. หอยเล็บ	*Succinea tenella* (6)	3	7.32	ชุกชุมน้อยมาก	บนใบไม้
Family Subulinidae					
13. หอยข้าวสาร	*Lamellaxis gracilis* (1)	1	2.44	ชุกชุมน้อยมาก	บนพื้นดิน
Family Helicarionidae					
14. หอยหางดิ้นน้อย	*Durgella levicula* (37)	6	14.63	ชุกชุมน้อย	บนใบไม้
15. ทากเล็บมือนาง	*Parmarion siamensis* (20)	9	21.95	ชุกชุมน้อย	บนใบไม้
Family Dyakiidae					
16. หอยเดื่อจันทบูรณ์	*Quantula godwinausteni* (1)	1	2.44	ชุกชุมน้อยมาก	บนต้นไม้
Order Systellommatophora					
Family Veronicellidae					
17. ทากดินตีดฟ้า	*Semperula siamensis* (9)	6	14.63	ชุกชุมน้อย	บนต้นไม้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

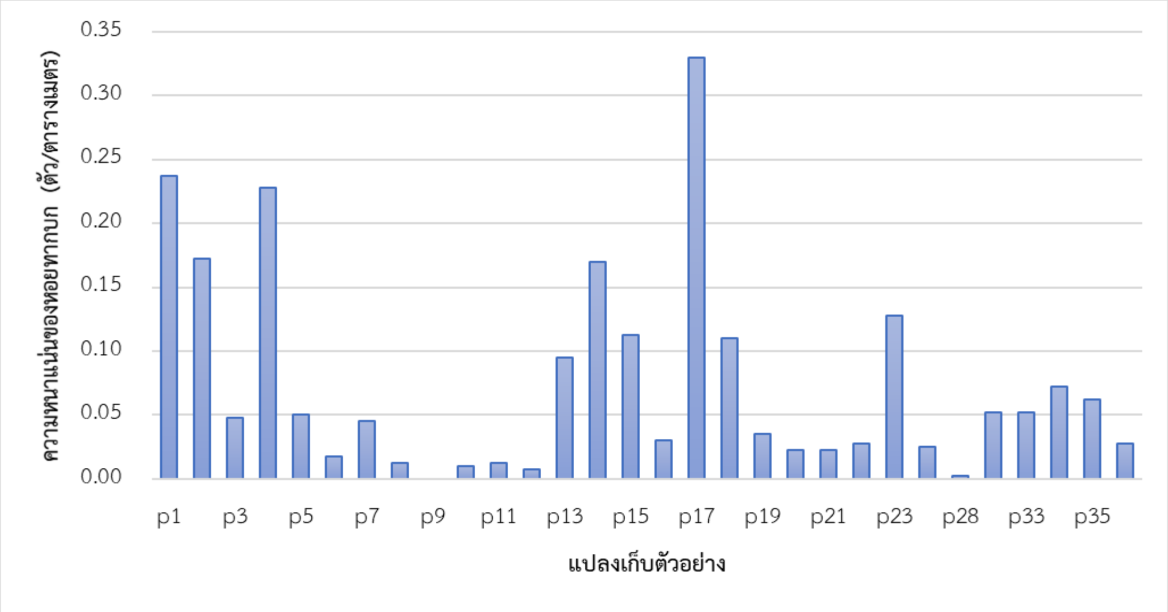
สำหรับความชุกชุมของหอยทากบกนั้น พบจำนวนตัวอย่างหอยทากบกชนิด หอยเดื่อ *H. distincta* มากที่สุด (ภาพที่ 3ก) จำนวน 197 ตัวอย่าง รองลงมา คือ หอยทากสยาม *C. siamensis* (ภาพที่ 3 ข) และ หอยทากขัดเปลือกชนิด *Macrochlamys* sp. (ภาพที่ 3ค) จำนวน 189 และ 184 ตัวอย่าง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาพบหอยทากบกชนิดหอยทากขัดเปลือก *Macrochlamys* sp. มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์มากที่สุด เท่ากับ 58.54 รองลงมาคือ หอยทากสยาม *C. siamensis* มีความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากับ 48.78 และหอยเดื่อมีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากับ 43.90 มีสถานภาพตามเกณฑ์อยู่ในระดับ ความชุกชุมปานกลาง สำหรับหอยทากบกที่มีค่าร้อยละความชุกชุมอยู่ในระดับความชุกชุมน้อย ได้แก่ หอยหางดิ้นน้อย *D. levicula* (ภาพที่ 3ง) ทากเล็บมือนาง *P. siamensis* (ภาพที่ 3จ) สำหรับหอยทากที่มีระดับความชุกชุมน้อยมาก เช่น หอยนกขมิ้นใหญ่ *A. atricallosus* (ภาพที่ 3ฉ) โดยการพบความชุกชุมของหอยทากบกในระดับต่าง ๆ บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ ในแง่ของการเป็นแหล่งอาศัย และแหล่งอาหารที่สำคัญของหอยทากบก

ภาพที่ 3 หอยทากบกที่พบในบริเวณพื้นที่สวนป่าสหกรณ์ตราดยางพารา จำกัด อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด

(ก) หอยเดื่อ (*Hemiplecta distinceta*) (ข) หอยทากสยาม (*Cryptozona siamensis*)
(ค) หอยทากขัดเปลือก (*Macrochlamys* sp.) (ง) หอยหางดิ้นน้อย (*Durgella levicula*)
(จ) หอยเล็บมือนาง (*Succinea tenella*) (ฉ) หอยนกขมิ้นใหญ่ (*Amphidromus articallosus*)

หมายเหตุ สเกลบาร์ = 1 เซนติเมตร

ผลการศึกษายังพบว่าในสวนป่ายางพารา พบชนิดของหอยทากบกโดยเฉลี่ย 2 ชนิด/แปลง และพบหอยทากบกคิดเป็นความหนาแน่นในช่วง 0.00-0.33 ตัว/ตารางเมตร โดยแปลงที่พบความหนาแน่นสูงสุดเป็นแปลงที่ 17 (p17) มีค่า 0.33 ตัว/ตารางเมตร รองลงมาคือ แปลงที่ 1 (p1) และแปลงที่ 4 (p4) มีค่าเท่ากับ 0.24 และ 0.23 ตัว/ตารางเมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 4 โดยแปลงที่พบชนิดของหอยทากบกมากที่สุด คือ แปลงที่ 1 พบ จำนวน 6 ชนิด แปลงที่ 3, 7, 15, 18 และ 32 พบ 5 ชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่สวนป่ายางพาราบางแปลงไม่พบหอยทากบกเลยแม้แต่ชนิดเดียว ได้แก่ แปลงที่ 9, 25-27, 29-31 และ 36-40 โดยแปลงของสวนยางพาราเหล่านี้ จากรายงานพบว่ามีการใช้ยาฆ่าหญ้า ในพื้นที่แปลง มีการจัดการโดยการถางพืชคลุมดินออกจากแปลง ทำให้สภาพพื้นที่มีความชื้นน้อย ค่อนข้างแห้งแล้ง นอกจากนี้ยังพบว่าแปลงเหล่านี้ส่วนใหญ่พบอยู่ใกล้กับพื้นที่สวนผลไม้ที่มีการใช้ยาฆ่าแมลงเพื่อบำรุงผลผลิต



ภาพที่ 4 ความหนาแน่นของหอยทากบกในแปลงเก็บตัวอย่าง สวนป่าสหกรณ์ตราดยางพาราจำกัด จังหวัดตราด

ปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการ ที่ส่งผลต่อชนิดและความชุกชุมของหอยทากบก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชุกชุมของหอยทากบกกับปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการ บริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพาราจำกัด จังหวัดตราด ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยความยาวรอบวงระดับอกของต้นยางพารา และสายพันธุ์ของยางพารามีความสัมพันธ์กับค่าความชุกชุมของหอยทากบกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชุกชุมของหอยทากบก และปัจจัยทางนิเวศวิทยา บริเวณสวนป่าสหกรณ์ตราดยางพาราจำกัด จังหวัดตราด

ปัจจัยทางนิเวศวิทยา	ค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน	ค่า significant
ค่าความเข้มแสง	-0.182	0.152
ค่าความเป็นกรดด่างในดิน	-0.055	0.101
ค่าความชื้นของดิน	0.181	0.217
ค่าอุณหภูมิอากาศ	-0.032	0.507
ค่าเฉลี่ยรอบวงระดับอก (DBH) ของต้นยางพารา	0.326^{*}	p<0.003
สายพันธุ์ยาง	-0.424^{**}	p<0.000

โดยจะพบความชุกชุมของหอยทากบกมีมากขึ้นในต้นยางพาราที่มีขนาดใหญ่ และจะพบความชุกชุมของหอยทากบกน้อยเมื่อต้นยางพารามีขนาดเล็ก เพราะต้นยางที่มีขนาดใหญ่ ทรงพุ่มใหญ่ จะเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย ที่มีความชื้นและอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของหอยทากบกทั้งกลุ่มที่อาศัยอยู่บนดิน ที่ได้ร่มเงาจากเรือนยอด และกลุ่มที่

อาศัยอยู่บนต้นไม้ ที่จะได้ความชุ่มชื้นจากเปลือกต้น นอกจากนี้ยังพบว่าแปลงสวนยางพาราที่ปลูกยางสายพันธุ์ BPM 24 จะมีความชุกชุมของหอยทากบกมากที่สุด รองลงมาเป็นพันธุ์ยาง PRIT 251, PRIM 600 และ PB235 โดยมีค่าเฉลี่ยความชุกชุมของหอยทากบกเท่ากับ 57.71%, 35.57%, 28.37% และ 13.88% ตามลำดับ สำหรับค่าปัจจัยทางนิเวศวิทยาอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยดังนี้ ความเข้มแสง มีค่าเท่ากับ 7,164.63±1,432.62 lux ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเท่ากับ 6.45±1.22 ค่าความชื้นดินมีค่าเท่ากับ 3.14±2.18 ค่าอุณหภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 29.87±1.66 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยรอบวงระดับอก (DBH) ของต้นยางพารา มีค่าเท่ากับ 59.83±18.17 เซนติเมตร

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าชนิดของหอยทากที่พบในแปลงสวนป่ายางพารา ส่วนใหญ่จะเป็นหอยทากที่เป็นศัตรูพืชสำคัญของประเทศไทย ดังการรายงานของงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Rintarak *et al*. (2017) ที่ทำการสำรวจความหลากชนิดของหอยทากบกศัตรูพืชในระบบนิเวศเกษตรและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย พบหอยทากสยาม (*C. siamensis*) หอยทากขัดเปลือก (*Macrochlamys* sp.) หอยทากยักษ์แอฟริกัน (*A. fulica*) และทากเล็บมือนาง (*P. siamensis*) ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากดำเนินการวิจัยในพื้นที่สวนยางพาราเช่นเดียวกัน และมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Buahongsang and Tanmuangpak (2022) ที่ศึกษาความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบกในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสาน อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย โดยพบความหลากชนิดของหอยทั้งหมด 9 ชนิด ที่พบคล้ายคลึงกับการศึกษาในครั้งนี้ มี 5 ชนิด ได้แก่ หอยทากบกที่มีฝาปิดเปลือก ได้แก่ หอยหอม (*Cyclophorus* sp.) หอยทากบกที่ไม่มีฝาปิดเปลือก ได้แก่ หอยทากสยาม (*C. siamensis*) หอยเดื่อ (*H. distinceta*) หอยทากขัดเปลือก (*Macrochlamys* sp.) และหอยทากที่ไม่มีเปลือก ได้แก่ ทากดินตีดฟ้า (*S. siamensis*) และพบการรายงานความชุกชุมของหอยทากบกชนิดเดียวกันในช่วงฤดูฝน ได้แก่ หอยทากสยาม (*C. siamensis*) หอยเดื่อ (*Hemiplecta distinceta*) และทากดินตีดฟ้า (*S. siamensis*) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของ Buahongsang and Tanmuangpak (2022) พบจำนวนชนิดของหอยทากบก รวมทั้งค่าดัชนีความหลากชนิด ค่าดัชนีความสม่ำเสมอน้อยกว่า อันเนื่องมาจากมีการสุ่มแปลงตัวอย่างน้อยกว่า คือ เพียง 18 แปลง แต่ในการศึกษาครั้งนี้ทำในแปลงเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 41 แปลง จึงทำให้พบความหลากชนิดและความชุกชุมของหอยทากบกมากกว่า นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ผลการศึกษาและเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Promkerd *et al*. (2011) พบว่าหอยทากบกที่พบในสวนป่ายางพาราเป็นศัตรูพืชมีทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ ทากเล็บมือนาง (*P. siamensis*) หอยทากสยามหรือหอยดักดาน (*C. siamensis*) หอยสาริกา (*Sarika* sp.) หอยทากยักษ์แอฟริกัน (*A. fulica*) หอยซัคซิเนีย (*Succinea* sp.) หรือหอยเล็บ ทากดินตีดฟ้า (*S. siamensis*) หอยหอม (*Cyclophorus* sp.) และหอยหางดิ้นน้อย (*D. levicula*) โดยพบว่าหอยเหล่านี้ล้วนอาศัยอยู่ในที่มีความชื้นสูง อย่างไรก็ตามเนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้มีการศึกษาในระบบนิเวศเกษตร จึงค่อนข้างพบความหลากหลายของหอยทากบกค่อนข้างน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาที่มักศึกษากันในแหล่งอาศัยของหอยทากบกตามธรรมชาติ เช่น ในป่าทุกประเภท ภูเขาหินปูน ภูเขาหินทราย ภูเขาไฟ และถ้ำหินปูน เป็นต้น (Buahongsang and Tanmuangpak, 2022) ความแตกต่างในด้านชนิด และความชุกชุมของหอยทากบกนั้น ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบนิเวศนั้น ๆ ได้แก่ ลักษณะกายภาพของพื้นที่ เช่น พื้นที่ติดแหล่งน้ำ พื้นที่ติดสวนผลไม้ พื้นที่ภูเขา และพื้นที่ราบ ตลอดจนลักษณะของการจัดการพื้นที่แปลงเกษตร การปลูกพืชเชิงเดี่ยว การปลูกพืชแบบผสมผสาน การจัดการพืชคลุมดิน วัชพืช การใช้สารเคมี ยาฆ่าหญ้า ยาฆ่าแมลง การจัดการขยะ และของเสีย เป็นต้น และขึ้นอยู่กับปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่สำคัญต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าสหสัมพันธ์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชุกชุมของหอยทากบกและปัจจัยทางนิเวศวิทยา ผลการศึกษาพบว่าขนาดของต้นยางพารา และสายพันธุ์ของยางนั้นมีผลต่อความชุกชุมของหอยทากบก อันเนื่องมาจากต้นยางนั้นเป็นที่อยู่อาศัยที่สำคัญของหอยทากบก สำหรับหอยทากต้นไม้ (tree snail) นั้นมีพฤติกรรมกินอินทรียวัตถุ ซากพืชซากสัตว์ที่ติดอยู่ตามต้นไม้ นอกจากนี้โดยอ้อมก็คือ ต้นยางพาราสายพันธุ์ BPM24 ที่ทรงพุ่มปานกลางไม่หนาแน่นจนเกินไป พุ่มใบค่อนข้างทึบ ลดการรอดผ่านของแสง อีกทั้งมีการแตกกิ่งมาก จะก่อให้เกิดร่มเงา พื้นผิวของเปลือกไม่แห้งจนเกินไป ซึ่งจะสร้างความชุ่มชื้นให้กับหอยทากบกที่อยู่ตามพื้นดิน และอาศัยหากินซากตามขอนไม้ใต้ร่มของต้นยางพารานั่นเอง ในขณะที่สายพันธุ์ PB235 นั้นมีลักษณะลำต้นตรง เรียวเล็ก แตกกิ่งช้า จึงทำให้ไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของหอยทากบก และส่งผลทำให้สำรวจพบความชุกชุมน้อยกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ (Agricultural Research Development Agency: Public Organization, 2022; Oke and Chokor, 2011)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การศึกษาความหลากชนิด และความชุกชุมของหอยทากบก ในบริเวณพื้นที่สวนป่าสหกรณ์ตราดยางพาราจำกัด จังหวัดตราด ผลการศึกษาพบหอยทากบกทั้งสิ้น 3 อันดับ 10 วงศ์ 15 สกุล 17 ชนิด ได้แก่ 1) Order Architaenioglossa มี 1 Family ได้แก่ Family Cyclophoridae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยหอมมาลายัน *Cyclophorus malayanus* 2) Order Stylommatophora มี 8 Family ได้แก่ Family Camaenidae พบมี 5 ชนิด ได้แก่ หอยนกขมิ้นใหญ่ *Amphidromus atricallosus* หอยนกขมิ้นน้อย *Amphidromus xiengensis* หอยชอกโกแลต *Amphidromus inversus annamiticus* หอย

กระสวยใหญ่สยาม *Giardia siamensis* และหอยปากบาน *Chloritis* sp. Family Achatinidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยทากยักษ์แอฟริกัน *Achatina fulica* Family Ariophantidae พบ 4 ชนิด ได้แก่ หอยทากสยาม *Cryptozona siamensis* หอยเดื่อ *Hemiplecta distincta* หอยทากขัดเปลือก *Macrochlamys* sp. และชนิด *Sarika* sp. Family Succineidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยเล็บ *Succinea tenella* Family Subulinidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยข้าวสาร *Lamellaxis gracilis* Family Helicarionidae พบ 2 ชนิด ได้แก่ หอยหางดิ้นน้อย *Durgella levicula* (Benson, 1859) และทากเล็บมือนาง *Parmarion siamensis* Family Dyakiidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ หอยเดื่อจันทบูรณ์ *Quantula godwinausteni* 3) Order Systellommatophora มี 1 Family ได้แก่ Family Veronicellidae พบ 1 ชนิด ได้แก่ ทากดินตีดฟ้า *Semperula siamensis* โดยค่าดัชนีความหลากหลาย (H') มีค่าเท่ากับ 1.886 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ 0.67 และพบความชุกชุมของหอยทากขัดเปลือก (*Macrochlamys* sp.) มากที่สุด พบทั้งสิ้นจำนวน 24 แปลง มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากับ 54.54% รองลงมาเป็นหอยทากสยาม *C. siamensis* และ หอยเดื่อ *H. distincta* มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากับ 48.78% และ 43.90% ตามลำดับ การศึกษาความหนาแน่นของหอยทากบกในแปลงตัวอย่างทั้งหมด 41 แปลง พบว่า แปลงที่ 17 มีความหนาแน่นของหอยทากบกต่อตารางเมตร มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.33 ตัว/ตารางเมตร และพบปัจจัยที่ส่งผลต่อความชุกชุมของหอยทาก ได้แก่ ขนาดของต้นยางพารา และสายพันธุ์ของยางพารา ซึ่งเกี่ยวข้องกับความชุ่มชื้นของถิ่นที่อยู่อาศัยทั้งทางตรง ได้แก่ การที่ต้นยางพาราสามารถเป็นที่อาศัยให้กับหอยทากบกได้ ในขณะเดียวกันเรือนยอดของสายพันธุ์ที่มีพุ่มหรือพื้นที่สัมผัสแสงได้กว้าง จะทำให้หอยทากบกที่อาศัยอยู่บนดินไม่ได้รับแสงมากจนเกินไป และได้รับความชุ่มชื้น การศึกษาวิจัยในครั้งนี้บ่งชี้ว่าในระบบนิเวศการทำเกษตรสวนยาง เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับหอยทากบกได้ แต่เนื่องจากความแตกต่างของปัจจัยอื่น ได้แก่ ระบบการจัดการดูแลพื้นที่สวนที่แตกต่างกัน เช่น บางสวนเป็นการปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว ไม่มีการปลูกพืชแซม มีการใช้ยาฆ่าหญ้า ไม่มีแหล่งน้ำ ความหลากชนิดและชุกชุมของหอยจะมีค่อนข้างน้อย แต่บางสวนมีการปลูกพืชแซมแบบผสมผสาน ไม่มีการใช้ยาฆ่าหญ้า ทำให้ไม่เกิดสารพิษที่อาจก่อให้เกิดอันตรายในระยะยาวกับหอยทากบกที่มีความต้านทานต่อยาเหล่านี้ค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงพบหอยทากบกค่อนข้างชุกชุม ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรมีการจัดรูปแบบของพื้นที่แปลงของเกษตรกรที่มีความคล้ายคลึงกัน เพื่อให้เป็นตัวแทนแปลงตัวอย่างในการศึกษาหอยทากบกครั้งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยปีงบประมาณ 2562 จากองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ และสหกรณ์ตราดยางพารา จำกัด จังหวัดตราด

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์

ไม่มี

เอกสารอ้างอิง

Agricultural Research Development Agency (Public Organization). (2022). Para Rubber (in Thai). Retrieved 19 March 2022, from **Agricultural Research Development Agency (Public Organization)**: https://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/controller/01-02-03.php.

Boon-ngam, P., Dumrongrojwattana, P. and Matchacheep, S. (2008). The Diversity of Land Snail Fauna in Chonburi Province, Eastern Thailand (in thai). **Proceedings of 46th Kasetsart University Research Conference** (pp. 151-160). Jan 29 -Feb 1, 2008. Bangkok: Kasetsart University.

Boon-ngam, P., Sriyarun, J., Tanamai, S. and Dumrongrojwattana, P. (2010). Preliminary taxonomic study of land snail and freshwater mollusk species in Sakaeo Province, Eastern Thailand (in Thai). **Proceedings of 48th Kasetsart University Research Conference** (pp. 151-160). Feb 3–5, 2010. Bangkok: Kasetsart University.

Buahongsang, J. and Tanmuangpak. K. (2022). Species diversity and abundance of land snail in integrated agricultural areas at Mueang Loei district, Loei Province (in Thai). **Khon Kaen Agriculture Journal**, 50(1), 76-87.

Chidchua, W. and Dumrongrojwattana, D. (2010). Taxonomy of Land Snails in Klaeng District Rayong Province and Kaenghangmaew District Chanthaburi Province, Eastern Thailand (Gastropoda:

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Prosobranchia, Pulmonata) (in Thai). **Proceedings of 48th Kasetsart University Research Conference** (pp. 161-170). Feb 3–5, 2010. Bangkok: Kasetsart University.

Jumlong, P., Tumpeesuwan, C. and Tumpeesuwan, S. (2013). Species Diversity and Abundance of Land Snails in Sandstone and Volcanic Hills in Surin Province (in Thai). **Burapha Science Journal**, 18(1), 67-81.

Kongim, B. (2008). Land snail: the invertebrate influenced to livelihood of Human. **Advance Science Journal Science and Technology**, 8(2), 1-6.

Kerny, M.P. and Cameron, R.A.D. (1979). **A Field guide to the land snails of Britain and North-west Europe**. Glasglow: William Collin Sons.

Nakeim, S., Surawut, S. and Kunsook, C. (2017). **Final report: Database of Biodiversity at Trat Rubber Plantation Co-operative Project, Trat Province**. Chanthaburi Province: Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University.

Oke, C.O. and Chokor, U.J. (2011). Land-snail species richness in a rubber plantation in Iyanomo, Edo State, Nigeria. **Bioscience Research Journal**, 23(1), 63-72.

Panha, S. (1996). A checklist and classification of the terrestrial pulmonate snail of Thailand. **Walkerana**, 8, 31-40.

Panha, S. and Burch, J.B. (2005). An Introduction to the Microsnails of Thailand. **Malacological Review**, 37/38, 1-155.

Pettingill, O.S. (1969). **A Laboratory and Field Manual of Ornithology**. United States: Bures Publishing Company.

Promkerd, P., Nookarn, P., Rintarak, D., Klakaeng, S. and Kaewta, S. (2011). Survey of snails and slugs in green house (in Thai). **Annual Report 2011**. Bangkok: Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture.

Rintarak, D., Kanjananithipat, N., Eimsuwannasuk, A. and Kaewta, S. (2017). Species diversity of terrestrial pets snails in Agricultural Ecosystem and environment in Thailand (in Thai). **Annual Report 2017**. Bangkok: Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture.

Sasang, C., Tumpeesuwan, C. and Tumpeesuwan, S. (2018). Species diversity of land snails in some small forest patches in Si Sa Ket Province (in Thai). **Science and Technology Journal Mahasakham University**, 37(1), 85-97.

Srihata, S., Tumpeesuwan, C. and Tumpeesuwan, S. (2010). Species Diversity, Abundance and Habitats of Land snails in a Square Kilometer on Phu No, Kalasin Province (in Thai). **Science and Technology Journal Mahasakham University**, 29(4), 359-371.

Tanmuangpak, K., Tadee, V., Sukongjaroen, R. and Chummak, P. (2017). Land Snail Diversity in Limestone Caves at Pha Ngam Forest Park, Loei Province (in Thai). **Proceedings of 4th Kampangpetch Rajabhat University Research Conference** (pp. 1195-1204). December 22, 2017. Kampangpetch Province: Kampangpetch Rajabhat University.

Tumpeesuwan, C. and Tumpeesuwan, S. (2010). Species diversity and abundance of land snails in Phu Thok Noi, Nong Kai Province (in Thai). **Science and Technology Journal Mahasakham University**, 29(3), 298-307.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทความวิจัย

ผลเฉลยของสองสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} + 2^y = z^2$ และ $n^{2x} - 2^y = z^2$

จันทนา วรรณพันธุ์ และสุธน ตาดี*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี

**Email: suton.t@lawasri.tru.ac.th*

รับบทความ: 4 มิถุนายน 2565 แก้ไขบทความ: 1 กรกฎาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 13 กรกฎาคม 2565

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ แสดงว่า ผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} + 2^y = z^2$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ อยู่ในรูป

$$(n,x,y,z) \in \{(1,a,3,3) | a \in \mathbb{Z}, a \geq 0\} \cup \{(b,0,3,3) | b \in \mathbb{Z}, b > 1\} \cup \{(2^{c-2}-1,1,c,2^{c-2}+1) \ | c \in \mathbb{Z}, c > 3\}$$

และผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} - 2^y = z^2$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ อยู่ในรูป

$$(n,x,y,z) \in \{(1,d,0,0) | \ d \in \mathbb{Z}, d \geq 0\} \cup \{(e,0,0,0) | \ e \in \mathbb{Z}, e > 1\} \cup \left\{\left(2^{f-2}+1,1,f,2^{f-2}-1\right) \ \middle| \ f \in \mathbb{Z}, f > 3\right\} \cup \{(3,1,3,1),(3,2,5,7)\}$$

คำสำคัญ: สมการไดโอแฟนไทน์ ผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

อ้างอิงบทความนี้

จันทนา วรรณพันธุ์ และสุธน ตาดี. (2565). ผลเฉลยของสองสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} + 2^y = z^2$ และ $n^{2x} - 2^y = z^2$. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 236-240. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.27

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

On the Solutions of Two Diophantine Equations $n^{2x} + 2^y = z^2$ and $n^{2x} - 2^y = z^2$

Chantana Wannaphan and Suton Tadee*

Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi

**Email: suton.t@lawasri.tru.ac.th*

Received <4 June 2022>; Revised <1 July 2022>; Accepted <13 July 2022>

Abstract

In this paper, we show that all non-negative integer solutions of the Diophantine equation $n^{2x} + 2^y = z^2$ where n is an odd positive integer, are of the following form

$$(n,x,y,z) \in \{(1,a,3,3) | a \in \mathbb{Z}, a \geq 0\} \cup \{(b,0,3,3) | b \in \mathbb{Z}, b > 1\} \cup \{(2^{c-2}-1, 1, c, 2^{c-2}+1) \ | c \in \mathbb{Z}, c > 3\}.$$

All non-negative integer solutions of the Diophantine equation $n^{2x} - 2^y = z^2$ where n is an odd positive integer, are of the following form

$$(n,x,y,z) \in \{(1,d,0,0) | \ d \in \mathbb{Z}, d \geq 0\} \cup \{(e,0,0,0) | \ e \in \mathbb{Z}, e > 1\} \cup \{\left(2^{f-2}+1, 1, f, 2^{f-2}-1\right) \ \middle| \ f \in \mathbb{Z}, f > 3\} \cup \{(3,1,3,1), (3,2,5,7)\}.$$

Keywords: Diophantine equation, non-negative integer solution

Cite this article:

Wannaphan, C. and Tadee, S. (2022). On the Solutions of Two Diophantine Equations $n^{2x} + 2^y = z^2$ and $n^{2x} - 2^y = z^2$ (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 236-240. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.27

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

สมการไดโอแฟนไทน์ (Diophantine Equation) เป็นอีกสมการหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาต่างๆ ได้ (Dhurga, 2021; Anbuselvi and Sivasankari, 2019; Kaur and Sambhor, 2017) โดยสมการไดโอแฟนไทน์เป็นสมการพหุนาม (Polynomial Equation) ประเภทหนึ่งที่พิจารณาหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น และสมการไดโอแฟนไทน์รูปแบบหนึ่งที่ได้รับความสนใจ คือ

$$a^x + b^y = z^2 \tag{1}$$

เมื่อ a, b เป็นจำนวนเต็มบวก และ $x, y, z,$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 2007 Acu (2007) ได้พบว่าผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 5^y = z^2$ มีเพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(x, y, z) \in \{(3,0,3), (2,1,3)\}$ และในปี ค.ศ. 2011 Suvarnamani *et al.* (2011) ได้พบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $4^x + 7^y = z^2$ และ $4^x + 11^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ต่อมา Chotchaisthit (2012) ได้แสดงว่าผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $4^x + p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ อยู่ในรูป $(x, p, y, z) \in \{(2,3,2,5)\} \cup \{(r, 2^{r+1} + 1, 1, 2^r + 1) \mid r \in \mathbb{N} \cup \{0\}\} \cup \{(r, 2, 2r + 3, 3 \cdot 2^r) \mid r \in \mathbb{N} \cup \{0\}\}$ และในปีถัดมา Chotchaisthit (2013) ได้แสดงว่า $(x, y, z) = (3, 0, 3)$ เป็นผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 11^y = z^2$ และ Sroysang (2013) ได้พิสูจน์ว่า ผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 3^y = z^2$ มีเพียงสามผลเฉลยเท่านั้น คือ $(x, y, z) \in \{(0,1,2), (3,0,3), (4,2,5)\}$ หลังจากนั้น Tanakan (2014) ได้พบว่า $(x, y, z) = (0, 3, 3)$ เป็นผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $19^x + 2^y = z^2$ และ Qi and Li (2015) ได้ศึกษาผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $8^x + p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ และในปี ค.ศ. 2016 Khan *et al.* (2016) ได้พบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 9^y = z^2$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(3,0,3), (4,1,5)\}$ และ Rabago (2016) ได้พบว่า $(x, y, z) \in \{(3,1,5), (5,1,7), (6,1,9), (7,3,71), (9,1,23)\}$ เป็นผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 17^y = z^2$ นอกจากนี้ Puangjumpa (2016) ได้พบว่า $(x, y, z) \in \{(3,0,3), (1,1,7)\}$ เป็นผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 47^y = z^2$ และเมื่อไม่นานมานี้ Burshtein (2018a) ได้ศึกษาสมการไดโอแฟนไทน์ $2^{2x+1} + 7^{2n} = z^2$ เมื่อ x, n เป็นจำนวนเต็มบวก และ z เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ พบว่าสมการดังกล่าวมีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(x, n, z) = (2, 1, 9)$ และ Burshtein (2018b) ได้ศึกษาผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + p^y = z^2$เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ

ผลงานวิจัยที่ได้ยกตัวอย่างมาข้างต้น สังเกตได้ว่าจะกำหนดให้ a และ b ในสมการ (1) อยู่ในรูป p^k เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ และ k เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะขยายผลให้กว้างขึ้น โดยที่ a ไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปดังกล่าว นอกจากนี้จะศึกษาหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ในรูปผลต่างด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} + 2^y = z^2$ และ $n^{2x} - 2^y = z^2$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการนำเสนอ 2 ทฤษฎีบทที่มีบทบาทสำคัญในการพิสูจน์ทฤษฎีบทหลักของงานวิจัย หลังจากนั้นจะศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} + 2^y = z^2$ และ $n^{2x} - 2^y = z^2$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ ตามลำดับ

ทฤษฎีบท 1 (Mihailescu, 2004) สมการไดโอแฟนไทน์

$$a^x - b^y = 1 \tag{2}$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(a, b, x, y) = (3, 2, 2, 3)$ เมื่อ a, b, x, y เป็นจำนวนเต็ม โดยที่ $\min\{a, b, x, y\} > 1$

ทฤษฎีบท 2 (Tanakan, 2014) สมการไดโอแฟนไทน์

$$1 + 2^y = z^2 \tag{3}$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(y, z) = (3, 3)$

ทฤษฎีบท 3 ถ้า n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ แล้ว สมการไดโอแฟนไทน์

$$n^{2x} + 2^y = z^2 \tag{4}$$

มีผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ คือ $(n, x, y, z) \in A \cup B \cup C$
เมื่อ $A = \{(1, a, 3, 3) | a \in \mathbb{Z}, a \geq 0\}, B = \{(b, 0, 3, 3) | b \in \mathbb{Z}, b > 1\}$
และ $C = \{(2^{c-2} - 1, 1, c, 2^{c-2} + 1) \ | c \in \mathbb{Z}, c > 3\}$

พิสูจน์ สมมติว่า x, y, z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบและเป็นผลเฉลยของ (4) ถ้า $n = 1$ จาก (4) และทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า $(n, x, y, z) \in A$ และถ้า $x = 0$ จาก (4) และทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า $(n, x, y, z) \in B$ ดังนั้นเหลือพิจารณากรณีที่ $n > 1$ และ $x > 0$ จาก (4) จะได้ว่า

$$2^y = z^2 - n^{2x} = (z - n^x)(z + n^x) \tag{5}$$

ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ u ที่ทำให้

$$z - n^x = 2^u \tag{6}$$

และ

$$z + n^x = 2^{y-u} \tag{7}$$

จาก (6) และ (7) จะได้ว่า $y > 2u$ และ

$$2n^x = 2^u(2^{y-2u} - 1) \tag{8}$$

จาก (8) และ n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ ดังนั้น $u = 1$ ทำให้

$$2^{y-2} - n^x = 1 \tag{9}$$

จาก (9) จะได้ว่า $y > 2$ และถ้า $y = 3$ จาก (9) จะได้ว่า $n^x = 1$ และจาก $n > 1$ ดังนั้น $x = 0$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $x > 0$ เพราะฉะนั้น $y > 3$ และจาก $n > 1$ ดังนั้น ถ้า $x > 1$ แล้ว $\min\{2, n, y - 2, x\} > 1$ และจากทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า (9) ไม่มีผลเฉลย ดังนั้น $x \leq 1$ และจาก $x > 0$ จะได้ว่า $x = 1$ และจาก (9) ทำให้ $n = 2^{y-2} - 1$ และจาก (6) จะได้ว่า $z = 2^{y-2} + 1$ เพราะฉะนั้น $(n, x, y, z) \in C$ ■

ทฤษฎีบท 4 ถ้า n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ แล้ว สมการไดโอแฟนไทน์

$$n^{2x} - 2^y = z^2 \tag{10}$$

มีผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ คือ $(n, x, y, z) \in D \cup E \cup F \cup G$
เมื่อ $D = \{(1, d, 0, 0) | \ d \in \mathbb{Z}, d \geq 0\}, E = \{(e, 0, 0, 0) | \ e \in \mathbb{Z}, e > 1\}$
$F = \{(2^{f-2} + 1, 1, f, 2^{f-2} - 1) \ | \ f \in \mathbb{Z}, f > 3\}$ และ $G = \{(3,1,3,1), (3,2,5,7)\}$

พิสูจน์ สมมติว่า x, y, z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบและเป็นผลเฉลยของ (10) ถ้า $n = 1$ จาก (10) จะได้ว่า $y = z = 0$ ดังนั้น $(n, x, y, z) \in D$ และถ้า $x = 0$ จาก (10) จะได้ว่า $y = z = 0$ ดังนั้น $(n, x, y, z) \in E$ เพราะฉะนั้นเหลือพิจารณากรณีที่ $n > 1$ และ $x > 0$ จาก (10) จะได้ว่า

$$2^y = n^{2x} - z^2 = (n^x - z)(n^x + z) \tag{11}$$

ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ v ที่ทำให้

$$n^x - z = 2^v \tag{12}$$

และ

$$n^x + z = 2^{y-v} \tag{13}$$

จาก (12) และ (13) จะได้ว่า $y > 2v$ และ

$$2n^x = 2^v(2^{y-2v} + 1) \tag{14}$$

จาก (14) และ n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ ดังนั้น $v = 1$ ทำให้

$$n^x - 2^{y-2} = 1 \tag{15}$$

จาก (15) จะได้ว่า $y > 2$ และถ้า $y = 3$ จาก (15) จะได้ว่า $n^x = 3$ ดังนั้น $n = 3$ และ $x = 1$ และจาก (12) จะได้ว่า $z = 1$ เพราะฉะนั้น $(n, x, y, z) \in G$ ต่อไปจะพิจารณากรณีที่ $y > 3$ ถ้า $x = 1$ จาก (15) จะได้ว่า $n = 2^{y-2} + 1$ และจาก (12) จะได้ว่า $z = 2^{y-2} - 1$ เพราะฉะนั้น $(n, x, y, z) \in F$ และถ้า $x > 1$ จาก $y > 3$, $n > 1$ และ (15) ดังนั้นโดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า $n = 3$, $x = 2$, $y = 5$ และจาก (12) จะได้ว่า $z = 7$ ดังนั้น $(n, x, y, z) \in G$ ■

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^{2x} + 2^y = z^2$ และ $n^{2x} - 2^y = z^2$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ ดังปรากฏในทฤษฎีบท 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า n ไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูป p^k เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ และ k เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้นจึงเป็นการขยายผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ให้กว้างขึ้น และสิ่งที่น่าสนใจต่อไปคือการหาผลเฉลยของสองสมการดังกล่าวในกรณีที่ n เป็นจำนวนเต็มบวกคู่ และที่น่าสนใจยิ่งไปกว่านั้นคือ การหาแสดงผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^x + 2^y = z^2$ และ $n^x - 2^y = z^2$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Acu, D. (2007). On a Diophantine equation $2^x + 5^y = z^2$. **General Mathematics,** 15(4), 145-148.

Anbuselvi, R. and Sivasankari, J. (2019). Applications of Diophantine equations in chemical equations. **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research,** 6(6), 371-373.

Burshtein, N. (2018a). On the Diophantine equation $2^{2x+1} + 7^y = z^2$. **Annals of Pure and Applied Mathematics,** 16(1), 177-179. doi: 10.22457/apam.v16n1a19

Burshtein, N. (2018b). Solutions of the Diophantine equation $2^x + p^y = z^2$ when p is prime. **Annals of Pure and Applied Mathematics,** 16(2), 471-477. doi: 10.22457/apam.v16n2a25

Chotchaisthit, S. (2012). On the Diophantine equation $4^x + p^y = z^2$ where p is a prime number. **American. Jr. of Mathematics and Sciences,** 1(1), 191-193.

Chotchaisthit, S. (2013). On the Diophantine equation $2^x + 11^y = z^2$. **Maejo International Journal of Science and Technology,** 7(2), 291-293.

Dhurga, C.K. (2021). A linear Diophantine equation and its real life applications. **Advances and Applications in Mathematical Sciences,** 20(8), 1389-1394.

Kaur, D. and Sambhor, M. (2017). Diophantine equations and its applications in real life. **International Journal of Mathematics and its applications**, 5(2), 217-222.

Khan, M.A.A., Rashid, A. and Uddin, M.S. (2016). Non-negative integer solutions of two Diophantine equations $2^x + 9^y = z^2$ and $5^x + 9^y = z^2$. **Journal of Applied Mathematics and Physics,** 4, 762-765. doi: 10.4236//jamp.2016.44086

Mihailescu, P. (2004). Primary cyclotomic units and a proof of Catalan's conjecture. **Journal für die Reine und Angewante Mathematik,** 27, 167-195.

Puangjumpa, P. (2016). Possible solution of the Diophantine equation $2^x + 47^y = z^2$. **Academic Journal URU,** 11(3S), 36-42.

Qi, L. and Li, X. (2015). The Diophantine equation $8^x + p^y = z^2$. **The Scientific World Journal**, Article ID 306590, 3 pages. doi: 10.1155/2015/306590

Rabago, J.F.T. (2016). On the Diophantine equation $2^x + 17^y = z^2$. **Journal of the Indonesian Mathematical Society,** 22(2), 177-181.

Sroysang, B. (2013). More on the Diophantine equation $2^x + 3^y = z^2$. **International Journal of Pure and Applied Mathematics,** 84(2), 133-137. doi: 10.12732/ijpam.v84i2.11

Suvarnamani, A., Singta, A. and Chotchaisthit, S. (2011). On two Diophantine equations $4^x + 7^y = z^2$ and $4^x + 11^y = z^2$. **Science and Technology RMUTT Journal**, 1(1), 25-28.

Tanakan, S. (2014). On the Diophantine equation $19^x + 2^y = z^2$. **International Journal of Contemporary Mathematical Sciences**, 9(4), 159-162. doi: 10.12988/ijcms.2014.418

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ความน่าจะเป็นของคุณสมบัติย้อนกลับบนกรุปการหมุนรูป

กนกพร ช่างทอง[1,*] และวรารัตน์ อรัญ[2]
[1]ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
**Email: kanokporn.c@ubu.ac.th*

รับบทความ: 31 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ: 30 เมษายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 9 พฤษภาคม 2565

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีว่า คุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญของกรุปคือ คุณสมบัติการสลับที่ เราสนใจว่ากรุปไม่สลับที่บางกรุปนั้นห่างไกลจากคุณสมบัติการสลับที่เพียงใด Gallian (2010) ได้อธิบายวิธีที่จะวัดค่าการสลับที่ของกรุปจำกัด โดยใช้แนวคิดของความน่าจะเป็น และกำหนดให้ $P_2(G)$ แทนความน่าจะเป็นที่สองสมาชิกที่ถูกเลือกมาแบบสุ่มนั้นสลับที่ได้ในกรุปจำกัด G ต่อมา Clifton, Guichard และ Keef (2011) ได้ศึกษาความน่าจะเป็นดังกล่าวบนกรุปการหมุนรูป D_n เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวก และพบรูปทั่วไปของ $P_2(D_n)$ งานวิจัยของ Langley, Levitt และ Rower (2011) ขยายความคิดไปสู่ $P_n(G)$ ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่ผลคูณของสมาชิก n ตัวในกรุปจำกัด G มีคุณสมบัติย้อนกลับ งานวิจัยนี้ ศึกษาความน่าจะเป็นดังกล่าวและพบรูปทั่วไปของความน่าจะเป็นที่ผลคูณของสมาชิก 3 ตัวในกรุปการหมุนรูปที่มีคุณสมบัติย้อนกลับ นั่นคือ $P_3(D_n)$

คำสำคัญ: ความน่าจะเป็น กรุปการหมุนรูป คุณสมบัติย้อนกลับ

อ้างอิงบทความนี้
กนกพร ช่างทอง และวรารัตน์ อรัญ. (2565). ความน่าจะเป็นของคุณสมบัติย้อนกลับบนกรุปการหมุนรูป. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 241-248. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.28

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Probabilities of Reverse Property on Dihedral Groups

Kanokporn Changtong[1,*] and Wararat Arun[2]

[1]*Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

[2]*Bachelor of Science Program in Mathematics, Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

**Email: kanokporn.c@ubu.ac.th*

Received <31 March 2022>; Revised <30 April 2022>; Accepted <9 May 2022>

Abstract

It is well-known that one of the important group properties is commutativity. We are investigating how far a non-abelian group from commutativity. Gallian (2010) described a way to measure the commutativity of a finite group G by using probability concept. The $P_2(G)$ is defined as the probability that two randomly selected elements of the group actually commute. Later, Clifton, Guichard and Keef (2011) studied this probability on the dihedral group D_n where n is a positive integer, and found the general form of $P_2(D_n)$. Langley, Levitt and Rower (2011) generalized $P_2(G)$ to $P_n(G)$, where $P_n(G)$ is the probability that a product of n group elements equal to its reverse. The objectives of this research is to understand these probabilities and we found the general form of the probability that a product of 3 group elements in Dihedral groups D_n equal to its reverse, namely $P_3(D_n)$.

Keywords: Probability, dihedral group, reverse property

Cite this article:

Changtong, K. and Arun, W. (2022). Probabilities of Reverse Property on Dihedral Groups. **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 241-248. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.28

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Introduction

One of the important group properties is commutativity. An abelian group G is a group with the property that $ab = ba$ for all a, b in G. Some groups fail for this property, for example, a group of all invertible 2×2 matrices under the multiplication with real entries, $M_2(\mathbb{R})$. The readers can find the contents on group theory in, for example, Rotman (1996), Nicholson (2012), and Gallian (2010) describes a way to measure the commutativity of a finite group G. Define $P_2(G)$ be the probability that two randomly selected elements of the group actually commute as follows.

$$P_2(G) = \frac{Comm(G)}{|G|^2}$$

where $Comm(G) = |\{(a, b) \in G \times G | ab = ba\}|$.

Clifton, Guichard and Keef (2011) studied such probability on the dihedral group D_n where n is a positive integer. A **dihedral group** is the group of symmetries of a regular polygon which includes rotations and reflections. A **regular polygon** with n sides has n different symmetries, where $n \geq 3$ consisting of rotational symmetries and reflection symmetries. For $n = 4$, the dihedral group D_4 consists of 8 elements as presented in Figure 1.

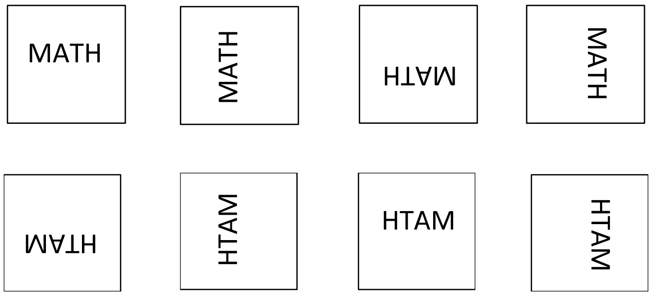


Figure 1 All elements in Dihedral group D_4

In other words, the dihedral group D_n is generated by two elements, r_n (for "rotation") and f_n (for "flip"), subject to the relation

$$r_n^n = f_n^2 = e_n \text{ and } f_n r_n = r_n^{-1} f_n,$$

where e_n is the identity of D_n. It follows that the elements of D_n can be written as

$$e_n, r_n, r_n^2, r_n^3, \dots, r_n^{n-1}, f_n, r_n f_n, r_n^2 f_n, \dots, r_n^{n-1} f_n.$$

Notice that the order of D_n denoted by $|D_n|$ is $2n$.

The following chart shows the commutativity of D_4, where a 1 indicates that the corresponding pair of elements commute, Sherman (1997).

	e_4	r_4	r_4^2	r_4^3	f_4	r_4f_4	$r_4^2f_4$	$r_4^3f_4$
e_4	1	1	1	1	1	1	1	1
r_4	1	1	1	1	0	0	0	0

r_4^2	1	1	1	1	1	1	1	1
r_4^3	1	1	1	1	0	0	0	0
f_4	1	0	1	0	1	0	1	0
r_4f_4	1	0	1	0	0	1	0	1
$r_4^2f_4$	1	0	1	0	1	0	1	0
$r_4^3f_4$	1	0	1	0	0	1	0	1

The chart produces forty 1s which means that there are forty pairs of the group elements commute. The set of these pairs is considered as the event, and the set of all ordered pairs of group elements as the sample space. So the probability $P_2(\ D_4) = 40/64 = 5/8$.

Clifton, Guichard and Keef (2011) found the general form of $P_2(D_n)$ as follows.

Theorem 1. If n is a positive integer, then

$$P_2(D_n) = \begin{cases} \dfrac{n+3}{4n}, & \text{if } n \text{ is odd;} \\ \\ \dfrac{n+6}{4n}, & \text{if } n \text{ is even.} \end{cases}$$

Langley, Levitt and Rower (2011) generalized $P_2(G)$ to $P_n(G)$, where $P_n(G)$ is the probability that a product of n group elements equal to its reverse. Namely,

$$P_n(G) = \frac{Comm_n(G)}{|G|^n}$$

where $Comm_n(G) = |\{(a_1, a_2, \dots, a_n) \in G^n \mid a_1a_2 \cdots a_n = a_na_{n-1} \cdots a_2a_1\}|$.

Objectives

The objectives of this research are to understand these probabilities on dihedral groups and to find the general form of the probability that a product of 3 group elements in Dihedral groups D_n equal to its reverse, namely $P_3(D_n)$.

Main Theorem

For the dihedral group D_n,

$$P_3(D_n) = \frac{Comm_3(D_n)}{|D_n|^3}$$

where $Comm_3(G) = |\{(a, b, c) \in D_n^3 \mid abc = cba\}|$. The triple $(a, b, c) \in D_n^3$ satisfies the **reverse property** if $abc = cba$.

Note that, on the dihedral group D_n, when n is even, the (rotate) element $r_n^{\frac{n}{2}}$ is itself inverse, that is $r_n^{-\frac{n}{2}} = \left(r_n^{\frac{n}{2}}\right)^{-1} = r_n^{\frac{n}{2}}$. For the convenience, we write the elements of D_n as

$$r, r^2, r^3, \dots, r^{n-1}, r^n = e, f, rf, r^2f, \dots, r^{n-1}f.$$

Theorem 2. If n is a positive integer, then

$$P_3(D_n) = \begin{cases} \frac{n+3}{4n}, & \text{if } n \text{ is odd;} \\ \frac{n+6}{4n}, & \text{if } n \text{ is even.} \end{cases}$$

Proof Let $\mathcal{A} = \{(a,b,c) \in D_n^3 | abc = cba\}$ and $\mathcal{B} = \{(a,b,c) \in D_n^3 | (a,b,c)$ are of the following forms

1. (r^i, r^j, r^k), where$0 \le i,j,k < n$,
2. $(r^i, r^{-i}, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$,
3. $(r^i, r^j f, r^i)$, where $0 \le i,j < n$,
4. $(r^j f, r^i, r^{-i})$, where $0 \le i,j < n$,
5. $(r^i, r^j f, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$,
6. $(r^j f, r^i, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$,
7. $(r^j f, r^j f, r^i)$, where $0 \le i,j < n$,
8. $(r^i f, r^j f, r^k f)$, where $0 \le i,j,k < n$,
9. $(r^i, r^{-i+\frac{n}{2}}, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even,
10. $(r^i, r^j f, r^{i+\frac{n}{2}})$, where $0 \le i,j < n$ and n is even,
11. $(r^j f, r^i, r^{-i+\frac{n}{2}})$, where $0 \le i,j < n$ and n is even,
12. $(r^i, r^j f, r^{j+\frac{n}{2}} f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even,
13. $(r^j f, r^i, r^{j+\frac{n}{2}} f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even,
14. $(r^j f, r^{j+\frac{n}{2}} f, r^i)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even}.

To show that $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{B}$, let $(a,b,c) \in \mathcal{A}$. Then a, b and c are either in the form r^i or $r^j f$ where $0 \le i,j < n$. There are all 8 patterns as follows.

Pattern 1. $(a,b,c) = (r^i, r^j, r^k)$, $0 \le i,j,k < n$.
Pattern 2. $(a,b,c) = (r^i, r^j, r^k f)$, $0 \le i,j,k < n$.
Pattern 3. $(a,b,c) = (r^i, r^j f, r^k)$, $0 \le i,j,k < n$.
Pattern 4. $(a,b,c) = (r^i f, r^j, r^k)$, $0 \le i,j,k < n$.
Pattern 5. $(a,b,c) = (r^i, r^j f, r^k f)$, $0 \le i,j,k < n$.
Pattern 6. $(a,b,c) = (r^i f, r^j, r^k f)$, $0 \le i,j,k < n$.
Pattern 7. $(a,b,c) = (r^i f, r^j f, r^k)$, $0 \le i,j,k < n$.
Pattern 8. $(a,b,c) = (r^i f, r^j f, r^k f)$, $0 \le i,j,k < n$.

In Pattern 1 and Pattern 8, it is obvious that $(a,b,c) = (r^i, r^j, r^k) \in \mathcal{B}$, and $(a,b,c) = (r^i f, r^j f, r^k f) \in \mathcal{B}$ for $0 \le i,j,k < n$.

Pattern 2. $(a,b,c) = (r^i, r^j, r^k f)$, $0 \le i,j,k < n$. It satisfies $abc = cba$ that is $r^i r^j r^k f = r^k f r^j r^i$. Then

$$\begin{aligned} r^i r^j r^k f = r^k f r^j r^i &\leftrightarrow r^{i+j+k} = r^{k-j-i} \\ &\leftrightarrow i + j + k \equiv k - j - i \pmod{n} \\ &\leftrightarrow 2i \equiv -2j \pmod{n} \qquad (*) \end{aligned}$$

If n is odd, then $(2,n)=1$. Equation (*) becomes $\equiv -i \pmod{n}$. If n is even, then $(2,n)=2$. Equation (*) becomes $j \equiv -i \pmod{\frac{n}{2}}$. Hence $j=-i+\frac{n}{2}q,\ q\in\mathbb{Z}$. If q is even, then $q=2t, t\in\mathbb{Z}$. We have $j\equiv -i+\frac{n}{2}q \equiv -i+\frac{n}{2}(2t)\equiv -i+nt\equiv -i \pmod{n}$. If q is odd, then $q\equiv 1 \pmod{2}$. Thus $nq\equiv n \pmod{2n}$. Since $(2,2n)=2, \frac{n}{2}q\equiv\frac{n}{2} \pmod{n}$. It implies that

$$j\equiv -i+\frac{n}{2}q\equiv -i+\frac{n}{2} \pmod{n}$$

Therefore, in case n is even, we have either $j\equiv -i \pmod{n}$ or $j\equiv -i+\frac{n}{2} \pmod{n}$

Hence, in Pattern 2, for $n\in\mathbb{N}$ and $0\le i,j,k<n$, $(a,b,c)=\left(r^i,r^j,r^kf\right)=\left(r^i,r^{-i},r^kf\right)\in\mathcal{B}$.

In addition, when n is even, (a,b,c) can be in another form which

$$(a,b,c)=\left(r^i,r^j,r^kf\right)=\left(r^i,r^{-i+\frac{n}{2}},r^kf\right)\in\mathcal{B}.$$

For Pattern 3.-7., they can be proved in similar fashion.

Now, we show that $\mathcal{B}\subseteq\mathcal{A}$. Let $(a,b,c)\in\mathcal{B}$. It runs through each form. To show that $(a,b,c)\in\mathcal{A}$, we prove that $abc=cba$.

Case 1. (a,b,c) is of the form (r^i,r^j,r^k), where $0\le i,j,k<n$. The commutativity holds among the rotate elements. Then done.

Case 2. (a,b,c) is of the form (r^i,r^{-i},r^jf), where $0\le i,j<n$. Then

$$r^ir^{-i}r^jf=r^jf=r^jfr^{-i}r^i.$$

Case 3. (a,b,c) is of the form (r^i,r^jf,r^i), where $0\le i,j<n$. It is obvious.

Case 4. (a,b,c) is of the form (r^jf,r^i,r^{-i}), where $0\le i,j<n$. Then

$$r^jfr^ir^{-i}=r^jf=r^{-i}r^ir^jf.$$

Case 5. (a,b,c) is of the form (r^i,r^jf,r^jf), where $0\le i,j<n$. Then

$$r^ir^jfr^jf=r^ir^jr^{-j}f^2=r^i=r^jr^{-j}f^2r^i=r^jr^{-j}ffr^i=r^jfr^jfr^i.$$

Case 6. (a,b,c) is of the form (r^jf,r^i,r^jf), where $0\le i,j<n$. It is obvious.

Case 7. (a,b,c) is of the form (r^jf,r^jf,r^i), where $0\le i,j<n$. Then

$$r^jfr^jfr^i=r^jr^{-j}f^2r^i=r^i=r^ir^jr^{-j}f^2=r^ir^jr^{-j}ff=r^ir^jfr^jf.$$

Case 8. (a,b,c) is of the form (r^if,r^jf,r^kf), where $0\le i,j,k<n$.

$$r^ifr^jfr^kf=r^{i-j+k}f^3=r^{k-j+i}f=r^kf^2r^{-j}r^if=r^kffr^{-j}r^if=r^kfr^jfr^if.$$

Case 9. (a,b,c) is of the form $(r^i,r^{-i+\frac{n}{2}},r^jf)$, where $0\le i,j<n$ and n is even. Then

$$\begin{aligned}(r^i)\left(r^{-i+\frac{n}{2}}\right)(r^jf)&=r^{\frac{n}{2}+j}f\\&=r^{\frac{n}{2}+j}fr^{-i+i}\\&=r^j(r^n)^{\frac{1}{2}}(f^2)^{\frac{1}{2}}r^{-i+i}\\&=r^j(f^2)^{\frac{1}{2}}(r^n)^{\frac{1}{2}}r^{-i+i}\end{aligned}$$

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

$$= (r^j f)\left(r^{-i+\frac{n}{2}}\right)(r^i).$$

Case 10. (a,b,c) is of the form $(r^i, r^j f, r^{i+\frac{n}{2}})$, where $0 \le i,j < n$ and n is even. Since the (rotate) element $r^{\frac{n}{2}}$ is itself inverse, we obtain that

$$(r^i)(r^j f)\left(r^{i+\frac{n}{2}}\right) = r^{i+j-i-\frac{n}{2}} f = r^{i-\frac{n}{2}} r^j r^{-i} f = \left(r^{i+\frac{n}{2}}\right)(r^j f)(r^i).$$

Case 11. (a,b,c) is of the form $(r^j f, r^i, r^{-i+\frac{n}{2}})$, where $0 \le i,j < n$ and n is even. By the same argument of case 10, we obtain that

$$(r^j f)(r^i)\left(r^{-i+\frac{n}{2}}\right) = \left(r^{-i+\frac{n}{2}}\right)(r^i)(r^j f).$$

Case 12. (a,b,c) is of the form $(r^i, r^j f, r^{j+\frac{n}{2}} f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even. Since the (rotate) element $r^{\frac{n}{2}}$ is itself inverse, we obtain that

$$(r^i)(r^j f)\left(r^{j+\frac{n}{2}} f\right) = r^{i+j-j-\frac{n}{2}} f^2 = r^{j-\frac{n}{2}} r^{i-j} = r^{j+\frac{n}{2}} f^2 r^{-j} r^i = \left(r^{j+\frac{n}{2}} f\right)(r^j f)(r^i).$$

By the same argument of case 12, we obtain cases 13 and 14 which are as follows.

Case 13. (a,b,c) is of the form $(r^j f, r^i, r^{j+\frac{n}{2}} f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even.

Case 14. (a,b,c) is of the form $(r^j f, r^{j+\frac{n}{2}} f, r^i)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even.

Now, we count how many triples for each case.

1. The pattern (r^i, r^j, r^k), where $0 \le i,j,k < n$, gives different n^3 triples.
2. The pattern $(r^i, r^{-i}, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$, gives different n^2 triples.
3. The pattern $(r^i, r^j f, r^i)$, where $0 \le i,j < n$, gives different n^2 triples.
4. The pattern $(r^j f, r^i, r^{-i})$, where $0 \le i,j < n$, gives different n^2 triples.
5. The pattern $(r^i, r^j f, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$, gives different n^2 triples.
6. The pattern $(r^j f, r^i, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$, gives different n^2 triples.
7. The pattern $(r^j f, r^j f, r^i)$, where $0 \le i,j < n$, gives different n^2 triples.
8. The pattern $(r^i f, r^j f, r^k f)$, where $0 \le i,j,k < n$, gives different n^3 triples.
9. The pattern $(r^i, r^{-i+\frac{n}{2}}, r^j f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even, gives different n^2 triples.
10. The pattern $(r^i, r^j f, r^{i+\frac{n}{2}})$, where $0 \le i,j < n$ and n is even, gives different n^2 triples.
11. The pattern $(r^j f, r^i, r^{-i+\frac{n}{2}})$, where $0 \le i,j < n$ and n is even, gives different n^2 triples.
12. The pattern $(r^i, r^j f, r^{j+\frac{n}{2}} f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even, gives different n^2 triples.
13. The pattern $(r^j f, r^i, r^{j+\frac{n}{2}} f)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even, gives different n^2 triples.
14. The pattern $(r^j f, r^{j+\frac{n}{2}} f, r^i)$, where $0 \le i,j < n$ and n is even, gives different n^2 triples.

For n is odd, the triples formed by 3 group elements in Dihedral groups D_n where its product equal to its reverse satisfy case 1-8. Whereas, for n is even, the triples satisfy case 1-14. Hence, for calculating the event, there are $2n^3 + 6n^2$ triples when n is odd and there are $2n^3 + 12n^2$ triples when n is even. The sample space $|D_n|^3 = 8n^3$.

When n is odd, the probability

$$P_3(D_n) = \frac{Comm_3(D_n)}{|D_n|^3} = \frac{2n^3+6n^2}{8n^3} = \frac{n+3}{4n}.$$

When n is even, the probability

$$P_3(D_n) = \frac{Comm_3(D_n)}{|D_n|^3} = \frac{2n^3+12n^2}{8n^3} = \frac{n+6}{4n}.$$

Conclusion and Discussion

It turns out that the general forms for $P_2(D_n)$ and $P_3(D_n)$ are the same, but the proofs show that they both have different cases which lead to different counting. The counting on $P_3(D_n)$ is more complicated. The further work that could be done is to find the general form for $P_n(D_n)$ but it may need more advance counting. Other works are to investigate the probability on other properties which are, for a, b, c in a group G,

$$abc = acb, abc = bac, abc = bca \text{ and } abc = cab.$$

Acknowledgements

The author is very grateful to the Department of Mathematics, Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University for all the facilities' support.

References

Clifton, C., Guichard, D. and Keef, P. (2011). How commutative are direct products of Dihedral groups. **Mathematics Magazine**, 84, 137-140.

Gallian, J. (2010). **Contemporary Abstract Algebra (7th ed)**. Belmont, CA: Brooks Cole.

Langley, T., Levitt, D. and Rower, J. (2011). Two generalizations of 5/8 bound on commutativity in nonabelian finite groups. **Mathematics Magazine**, 84, 128-136.

Nicholson, W. K., (2012). **Introduction to Abstract Algebra (4th ed)**. New Jersey: Wiley.

Rotman, J. J. (1996). **A first Course in Abstract Algebra**. New Jersey: Prentice Hall.

Sherman, G.J. (1997). Trying to do group theory with undergraduates and computers. **Journal of Symbolic Computation**.23, 577-587.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

บางระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในจำนวนเต็มเกาส์เซียน

สุธน ตาดี*
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี
*Email: suton.t@lawasri.tru.ac.th

รับบทความ: 29 พฤษภาคม 2565 แก้ไขบทความ: 1 กรกฎาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 13 กรกฎาคม 2565

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาบางระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในจำนวนเต็มเกาส์เซียน โดยที่ระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ มอดุโล γ เมื่อ $\gamma \neq 0$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์เซียน ในที่นี้ จะเขียนย่อด้วย $\mathrm{CRS}(\gamma)$ ผลการวิจัยพบว่า สำหรับจำนวนเต็มบวก n

1) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y\in\mathbb{Z}, -\frac{n}{2}\le x<\frac{n}{2}, -\frac{n}{2}\le y<\frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=n)$
2) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y\in\mathbb{Z}, -\frac{n}{2}< x\le\frac{n}{2}, -\frac{n}{2}< y\le\frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=-n)$
3) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y\in\mathbb{Z}, -\frac{n}{2}< x\le\frac{n}{2}, -\frac{n}{2}\le y<\frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=ni)$
4) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y\in\mathbb{Z}, -\frac{n}{2}\le x<\frac{n}{2}, -\frac{n}{2}< y\le\frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=-ni)$
5) $\{x+yi \mid x,y\in\mathbb{Z}, -n<x<n, |x|-n\le y<-|x|+n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=n+ni)$
6) $\{x+yi \mid x,y\in\mathbb{Z}, -n<x<n, |x|-n< y\le-|x|+n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=-n-ni)$
7) $\{x+yi \mid x,y\in\mathbb{Z}, -n<y<n, |y|-n< x\le-|y|+n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=-n+ni)$
8) $\{x+yi \mid x,y\in\mathbb{Z}, -n<y<n, |y|-n\le x<-|y|+n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma=n-ni)$

คำสำคัญ: ระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ จำนวนเต็มเกาส์เซียน

อ้างอิงบทความนี้
สุธน ตาดี. (2565). บางระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในจำนวนเต็มเกาส์เซียน. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 249-258. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.26

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Some Complete Residue Systems in the Gaussian Integers

Suton Tadee*

Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi

**Email: suton.t@lawasri.tru.ac.th*

Received <29 May 2022>; Revised <1 July 2022>; Accepted <13 July 2022>

Abstract

In this paper, we study some complete residue systems in the Gaussian integers. By a complete residue system modulo γ where $\gamma \neq 0$ is a Gaussian integer, abbreviated by $\mathrm{CRS}(\gamma)$. The research results showed that for a positive integer n,

1) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} \leq x < \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} \leq y < \frac{n}{2}\right\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = n)$,
2) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} < x \leq \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} < y \leq \frac{n}{2}\right\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = -n)$,
3) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} < x \leq \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} \leq y < \frac{n}{2}\right\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = ni)$,
4) $\left\{x+yi \,\middle|\, x,y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} \leq x < \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} < y \leq \frac{n}{2}\right\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = -ni)$,
5) $\{x+yi \mid x,y \in \mathbb{Z}, -n < x < n, |x| - n \leq y < -|x| + n\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = n+ni)$,
6) $\{x+yi \mid x,y \in \mathbb{Z}, -n < x < n, |x| - n < y \leq -|x| + n\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = -n-ni)$,
7) $\{x+yi \mid x,y \in \mathbb{Z}, -n < y < n, |y| - n < x \leq -|y| + n\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = -n+ni)$,
8) $\{x+yi \mid x,y \in \mathbb{Z}, -n < y < n, |y| - n \leq x < -|y| + n\}$ is a $\mathrm{CRS}(\gamma = n-ni)$.

Keywords: Complete Residue Systems, Gaussian Integers

Cite this article:

Tadee, S. (2022). Some Complete Residue Systems in the Gaussian Integers (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 249-258. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.26

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

จำนวนเต็มเกาส์เซียน (Gaussian Integer) คือ จำนวนที่สามารถเขียนให้อยู่ในรูป $a+bi$ เมื่อ a,b เป็นจำนวนเต็ม และ $i=\sqrt{-1}$ ซึ่งสามารถนิยามการหารลงตัว (Divisibility) และ คอนกรูเอนซ์ (Congruence) ได้เช่นเดียวกับจำนวนเต็ม กล่าวคือ ให้ α,β และ γ เป็นจำนวนเต็มเกาส์เซียน จะกล่าวว่า α หาร β ลงตัว เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\alpha|\beta$ ถ้ามีจำนวนเต็มเกาส์เซียน δ ซึ่งทำให้ $\beta=\alpha\delta$ และกล่าวว่า α คอนกรูเอนซ์กับ β มอดุโล γ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\alpha\equiv\beta(\operatorname{mod}\gamma)$ ถ้า $\gamma|(\alpha-\beta)$ ดังนั้นจึงสามารถหาระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ (Complete Residue System) ของจำนวนเต็มเกาส์เซียนได้

บทนิยาม 1 (Pollard and Diamond, 1975) ให้ $\gamma\neq 0,\alpha_1,\alpha_2,\dots,\alpha_n$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์เซียน จะกล่าวว่า $\{\alpha_1,\alpha_2,\dots,\alpha_n\}$ เป็นระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ มอดุโล γ เมื่อ 2 เงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

1. สำหรับทุกจำนวนเต็มเกาส์เซียน β จะมี $\alpha_i\in\{\alpha_1,\alpha_2,\dots,\alpha_n\}$ ซึ่งทำให้ $\beta\equiv\alpha_i(\operatorname{mod}\gamma)$
2. สำหรับทุก $\alpha_i,\alpha_j\in\{\alpha_1,\alpha_2,\dots,\alpha_n\}$ ถ้า $\alpha_i\equiv\alpha_j(\operatorname{mod}\gamma)$ แล้ว $\alpha_i=\alpha_j$

ระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ของจำนวนเต็มเกาส์เซียนเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาความรู้ต่างๆ อาทิ ระบบจำนวน (Number System) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยระบบจำนวนในที่นี้ถูกนิยามดังนี้

บทนิยาม 2 (Katai and Szabo, 1975) ให้ $\gamma\neq 0$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์เซียน และ U เป็นระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ มอดุโล γ จะเรียก (γ,U) ว่าระบบจำนวน เมื่อทุกจำนวนเต็มเกาส์เซียน α สามารถเขียนอยู่ในรูป $\alpha=u_0+u_1\gamma+u_2\gamma^2+\cdots+u_k\gamma^k$ ได้เพียงแบบเดียวเท่านั้น โดยที่ $u_0,u_1,\dots,u_k\in U$

ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้สนใจศึกษาสมบัติและลักษณะของสมาชิกที่อยู่ในระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ของจำนวนเต็มเกาส์เซียน เช่น Jordan and Potratz (1965) ได้ค้นพบ 4 ตัวแทน (Representation) ของระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ของจำนวนเต็มเกาส์เซียน ต่อมา Hardman and Jordan (1967) ได้ค้นพบระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ของจำนวนเต็มเกาส์เซียนที่มีขนาดเล็กที่สุด และ Tadee *et al.* (2017) ได้ศึกษาระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในฟีลด์กำลังสอง (Quadratic Field) ซึ่งครอบคลุมจำนวนเต็มเกาส์เซียนด้วย (โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในจำนวนเต็มเกาส์เซียน) และได้ค้นพบ 3 ตัวแทนของระบบดังกล่าวซึ่งแตกต่างจากที่ Jordan and Potratz (1965) ค้นพบ ดังนี้

กำหนดสัญลักษณ์

$\mathrm{CRS}(\gamma)$ แทน ระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ (Complete Residue System) มอดุโล γ

$\mathbb{Z}=\{\dots,-3,-2,-1,0,1,2,3,\dots\}$ เป็นเซตของจำนวนเต็ม

$\mathbb{Z}[i]=\{x+yi|\ x,y\in\mathbb{Z}\}$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์เซียน

(x,y) จะเรียกว่า จุดแลตทิซ (Lattice Point) เมื่อ $x+yi\in\mathbb{Z}[i]$

ทฤษฎีบท 1 (Tadee *et al.* , 2017) ให้ $\gamma=a+bi\in\mathbb{Z}[i]-\{0\}$ จะได้ว่า
ถ้า $d=\gcd(a,b)$ ซึ่งทำให้ $\gamma=d(a_1+b_1i)$ เมื่อ $a_1,b_1\in\mathbb{Z}$ และ $\gcd(a_1,b_1)=1$
แล้ว $\{x+yi\ \big|\ x,y\in\mathbb{Z},0\le x\le d(a_1^2+b_1^2)-1,0\le y\le d-1\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

ทฤษฎีบท 2 (Tadee *et al.* , 2017) ให้ $\gamma\in\mathbb{Z}[i]-\{0\}$ และ V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A=\frac{\gamma}{2}(1+i),\qquad B=\frac{\gamma}{2}(1-i),\qquad C=\frac{\gamma}{2}(-1-i),\qquad D=\frac{\gamma}{2}(-1+i)$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C\in\mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V=V_1\cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

ทฤษฎีบท 3 (Tadee *et al.* , 2017) ให้ $\gamma\in\mathbb{Z}[i]-\{0\}$ และ W_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $EFGH$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$E=\frac{\gamma}{2},\qquad F=\gamma\left(\frac{1}{2}+i\right),\qquad G=-\frac{\gamma}{2},\qquad H=\gamma\left(-\frac{1}{2}-i\right)$$

และให้ W_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง GH และ EH ที่ไม่ใช่จุดยอด E และ G แต่อาจจะมีจุด H ถ้า $H \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $W = W_1 \cup W_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

จะเห็นได้ว่าในทฤษฎีบท 1 เราสามารถหาสมาชิกของระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ได้ไม่ยากนัก แต่ในทฤษฎีบท 2 และ 3 มีความยากในการหาสมาชิกของระบบดังกล่าว ดังนั้น Tadee (2021) ได้ศึกษาและหารูปแบบสมาชิกของระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในทฤษฎีบท 3 พบว่า

ทฤษฎีบท 4 (Tadee, 2021) ให้ $\gamma = a + bi \in \mathbb{Z}[i] - \{0\}$ และ n เป็นจำนวนเต็มบวก จะได้ว่า

1.1 ถ้า $a = 2n$ และ $b = 0$ แล้ว $\{(n-k) + (l-k-1)i \mid k, l \in \{1,2,3,\dots,2n\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.2 ถ้า $a = -2n$ และ $b = 0$ แล้ว $\{(n-k+1) + (l-k+1)i \mid k, l \in \{1,2,3,\dots,2n\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.3 ถ้า $a = 2n-1$ และ $b = 0$ แล้ว $\{(n-k) + (l-k)i \mid k, l \in \{1,2,3,\dots,2n-1\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.4 ถ้า $a = -2n+1$ และ $b = 0$ แล้ว $\{(n-k) + (l-k)i \mid k, l \in \{1,2,3,\dots,2n-1\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.5 ถ้า $a = 2n$ และ $b = 2n$ แล้ว
$\{(n-k+1) + (l+k-3n-2)i \mid k \in \{1,2,3,\dots,2n\}, l \in \{1,2,3,\dots,4n\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.6 ถ้า $a = -2n$ และ $b = -2n$ แล้ว
$\{(n-k) + (l+k-3n)i \mid k \in \{1,2,3,\dots,2n\}, l \in \{1,2,3,\dots,4n\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.7 ถ้า $a = 2n-1$ และ $b = 2n-1$ แล้ว
$\{(n-k) + (l+k-3n)i \mid k \in \{1,2,3,\dots,2n-1\}, l \in \{1,2,3,\dots,4n-2\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.8 ถ้า $a = -2n+1$ และ $b = -2n+1$ แล้ว
$\{(n-k) + (l+k-3n+1)i \mid k \in \{1,2,3,\dots,2n-1\}, l \in \{1,2,3,\dots,4n-2\}\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาสมาชิกในระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ของจำนวนเต็มเกาส์เซียนในทฤษฎีบท 2

วิธีดำเนินการวิจัย

การหาสมาชิกของระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ในทฤษฎีบท 2 ซึ่งหมายถึงการหาสมาชิกของเซต V ในทฤษฎีบท 2 นั้นเอง โดยหาได้ดังนี้

ทฤษฎีบท 5 ให้ $\gamma = a + bi \in \mathbb{Z}[i] - \{0\}$ และ n เป็นจำนวนเต็มบวก จะได้ว่า

1.1 ถ้า $a = n$ และ $b = 0$ แล้ว $\left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} \le x < \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} \le y < \frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.2 ถ้า $a = -n$ และ $b = 0$ แล้ว $\left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} < x \le \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} < y \le \frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.3 ถ้า $a = 0$ และ $b = n$ แล้ว $\left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} < x \le \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} \le y < \frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.4 ถ้า $a = 0$ และ $b = -n$ แล้ว $\left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} \le x < \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} < y \le \frac{n}{2}\right\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.5 ถ้า $a = n$ และ $b = n$ แล้ว $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -n < x < n, |x| - n \le y < -|x| + n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.6 ถ้า $a = -n$ และ $b = -n$ แล้ว $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -n < x < n, |x| - n < y \le -|x| + n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.7 ถ้า $a = -n$ และ $b = n$ แล้ว $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -n < y < n, |y| - n < x \le -|y| + n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

1.8 ถ้า $a = n$ และ $b = -n$ แล้ว $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -n < y < n, |y| - n \le x < -|y| + n\}$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

พิสูจน์ ให้ $\gamma = a + bi \in \mathbb{Z}[i] - \{0\}$ และจากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า

$$A = \frac{\gamma}{2}(1+i) = \left(\frac{a-b}{2}\right) + \left(\frac{a+b}{2}\right)i, \qquad B = \frac{\gamma}{2}(1-i) = \left(\frac{a+b}{2}\right) + \left(\frac{-a+b}{2}\right)i,$$

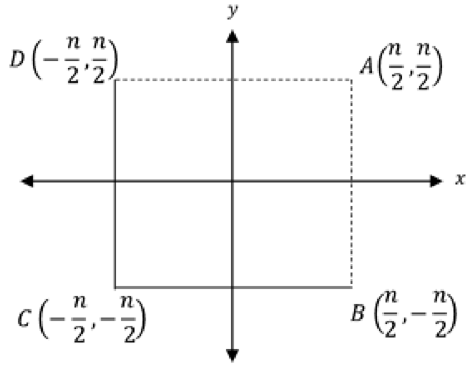
$$C = \frac{\gamma}{2}(-1-i) = \left(\frac{-a+b}{2}\right) + \left(\frac{-a-b}{2}\right)i, \qquad D = \frac{\gamma}{2}(-1+i) = \left(\frac{-a-b}{2}\right) + \left(\frac{a-b}{2}\right)i$$

1.1 ให้ $a = n$ และ $b = 0$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A = \frac{n}{2} + \frac{n}{2}i, \qquad B = \frac{n}{2} - \frac{n}{2}i, \qquad C = -\frac{n}{2} - \frac{n}{2}i, \qquad D = -\frac{n}{2} + \frac{n}{2}i$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$



ภาพที่ 1 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a = n$ และ $b = 0$)

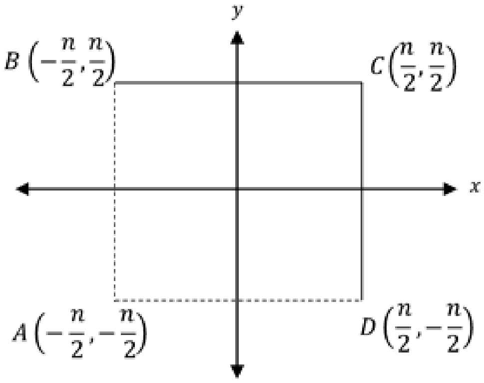
เพราะฉะนั้น $V = \left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} \le x < \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} \le y < \frac{n}{2}\right\}$

1.2 ให้ $a = -n$ และ $b = 0$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A = -\frac{n}{2} - \frac{n}{2}i, \qquad B = -\frac{n}{2} + \frac{n}{2}i, \qquad C = \frac{n}{2} + \frac{n}{2}i, \qquad D = \frac{n}{2} - \frac{n}{2}i$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$



ภาพที่ 2 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a = -n$ และ $b = 0$)

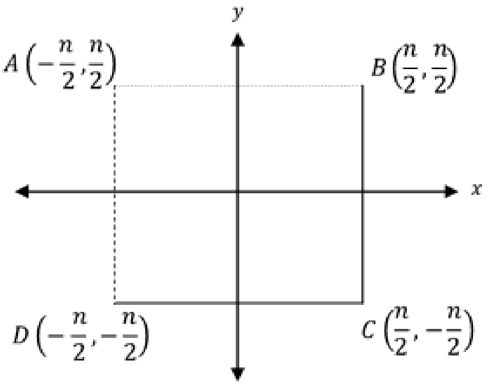
เพราะฉะนั้น $V = \left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} < x \le \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} < y \le \frac{n}{2}\right\}$

1.3 ให้ $a = 0$ และ $b = n$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A = -\frac{n}{2} + \frac{n}{2}i, \qquad B = \frac{n}{2} + \frac{n}{2}i, \qquad C = \frac{n}{2} - \frac{n}{2}i, \qquad D = -\frac{n}{2} - \frac{n}{2}i$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$



ภาพที่ 3 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a = 0$ และ $b = n$)

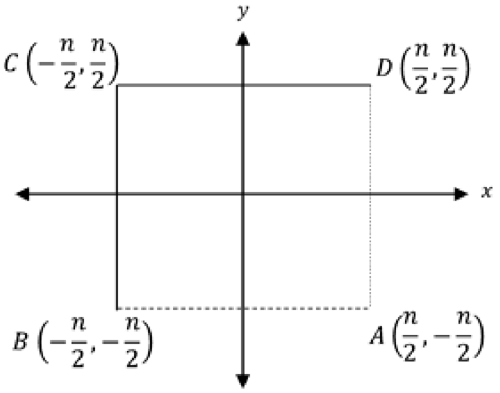
เพราะฉะนั้น $V = \left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} < x \leq \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} \leq y < \frac{n}{2}\right\}$

1.4 ให้ $a = 0$ และ $b = -n$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A = \frac{n}{2} - \frac{n}{2}i, \qquad B = -\frac{n}{2} - \frac{n}{2}i, \qquad C = -\frac{n}{2} + \frac{n}{2}i, \qquad D = \frac{n}{2} + \frac{n}{2}i$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$



ภาพที่ 4 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a = 0$ และ $b = -n$)

เพราะฉะนั้น $V = \left\{x + yi \,\middle|\, x, y \in \mathbb{Z}, -\frac{n}{2} \leq x < \frac{n}{2}, -\frac{n}{2} < y \leq \frac{n}{2}\right\}$

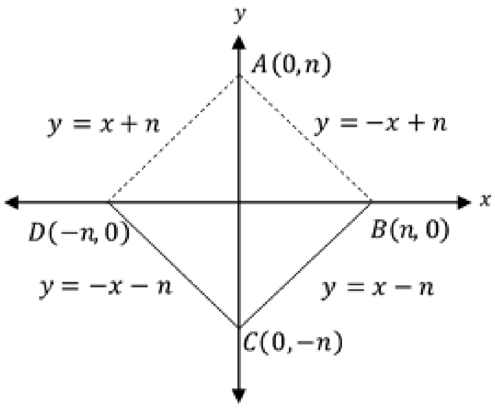
1.5 ให้ $a = n$ และ $b = n$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A = ni, \qquad B = n, \qquad C = -ni, \qquad D = -n$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$

พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



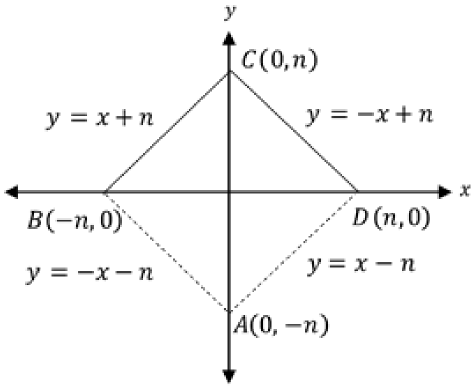
ภาพที่ 5 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a=n$ และ $b=n$)

จะได้ว่า ถ้า $0 \leq x < n$ แล้ว $x-n \leq y < -x+n$ และ ถ้า $-n < x < 0$ แล้ว $-x-n \leq y < x+n$
เพราะฉะนั้น $V = \{x+yi \mid x,y \in \mathbb{Z}, -n < x < n, |x|-n \leq y < -|x|+n\}$

1.6 ให้ $a=-n$ และ $b=-n$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A=-ni, \quad B=-n, \quad C=ni, \quad D=n$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$
พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$



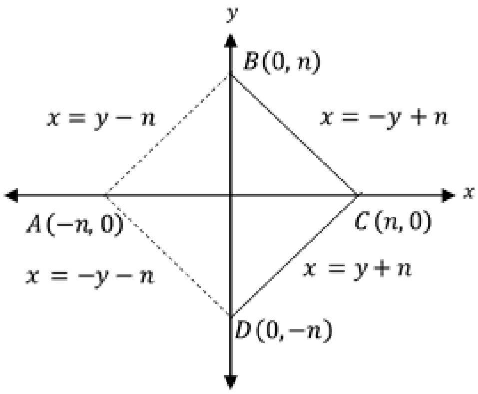
ภาพที่ 6 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a=-n$ และ $b=-n$)

จะได้ว่า ถ้า $0 \leq x < n$ แล้ว $x-n < y \leq -x+n$ และ ถ้า $-n < x < 0$ แล้ว $-x-n < y \leq x+n$
เพราะฉะนั้น $V = \{x+yi \mid x,y \in \mathbb{Z}, -n < x < n, |x|-n < y \leq -|x|+n\}$

1.7 ให้ $a=-n$ และ $b=n$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A=-n, \quad B=ni, \quad C=n, \quad D=-ni$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\mathrm{CRS}(\gamma)$
พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$



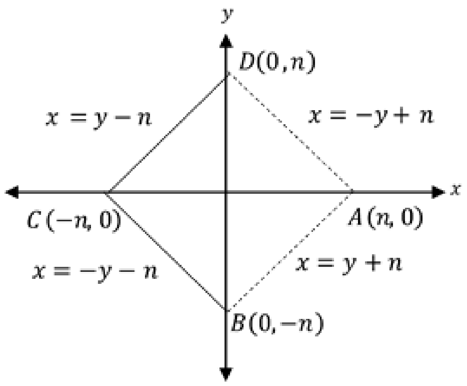
ภาพที่ 7 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a = -n$ และ $b = n$)

จะได้ว่า ถ้า $0 \leq y < n$ แล้ว $y - n < x \leq -y + n$ และ ถ้า $-n < y < 0$ แล้ว $-y - n < x \leq y + n$
เพราะฉะนั้น $V = \{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -n < y < n, |y| - n < x \leq -|y| + n\}$

1.8 ให้ $a = n$ และ $b = -n$ จากทฤษฎีบท 2 จะได้ว่า V_1 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ โดยมีจุดยอดดังนี้

$$A = n, \quad B = -ni, \quad C = -n, \quad D = ni$$

และให้ V_2 เป็นเซตของจุดแลตทิซที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง BC และ CD ที่ไม่ใช่จุดยอด B และ D แต่อาจจะมีจุด C ถ้า $C \in \mathbb{Z}[i]$ จะได้ว่า $V = V_1 \cup V_2$ เป็น $\text{CRS}(\gamma)$
พิจารณารูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$



ภาพที่ 8 รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน $ABCD$ (กรณีที่ $a = n$ และ $b = -n$)

จะได้ว่า ถ้า $0 \leq y < n$ แล้ว $y - n \leq x < -y + n$ และ ถ้า $-n < y < 0$ แล้ว $-y - n \leq x < y + n$
เพราะฉะนั้น $V = \{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -n < y < n, |y| - n \leq x < -|y| + n\}$

ตัวอย่าง 1 ให้ $a = 4$ และ $b = 0$ จากทฤษฎีบท 5 (1.1) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 \leq x < 2, -2 \leq y < 2\}$ ซึ่งเป็น $\text{CRS}(\gamma = 4)$ ได้ตามตารางนี้

x	y			
	-2	-1	0	1
-2	$-2-2i$	$-2-i$	-2	$-2+i$
-1	$-1-2i$	$-1-i$	-1	$-1+i$
0	$-2i$	$-i$	0	i
1	$1-2i$	$1-i$	1	$1+i$

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตัวอย่าง 2 ให้ $a = -4$ และ $b = 0$ จากทฤษฎีบท 5 (1.2) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 < x \leq 2, -2 < y \leq 2\}$ ซึ่งเป็น $\mathrm{CRS}(\gamma = -4)$ ได้ตามตารางนี้

x	y			
	-1	0	1	2
-1	$-1-i$	-1	$-1+i$	$-1+2i$
0	$-i$	0	i	$2i$
1	$1-i$	1	$1+i$	$1+2i$
2	$2-i$	2	$2+i$	$2+2i$

ตัวอย่าง 3 ให้ $a = 0$ และ $b = 4$ จากทฤษฎีบท 5 (1.3) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 < x \leq 2, -2 \leq y < 2\}$ ซึ่งเป็น $\mathrm{CRS}(\gamma = 4i)$ ได้ตามตารางนี้

x	y			
	-2	-1	0	1
-1	$-1-2i$	$-1-i$	-1	$-1+i$
0	$-2i$	$-i$	0	i
1	$1-2i$	$1-i$	1	$1+i$
2	$2-2i$	$2-i$	2	$2+i$

ตัวอย่าง 4 ให้ $a = 0$ และ $b = -4$ จากทฤษฎีบท 5 (1.4) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 \leq x < 2, -2 < y \leq 2\}$ ซึ่งเป็น $\mathrm{CRS}(\gamma = -4i)$ ได้ตามตารางนี้

x	y			
	-1	0	1	2
-2	$-2-i$	-2	$-2+i$	$-2+2i$
-1	$-1-i$	-1	$-1+i$	$-1+2i$
0	$-i$	0	i	$2i$
1	$1-i$	1	$1+i$	$1+2i$

ตัวอย่าง 5 ให้ $a = 2$ และ $b = 2$ จากทฤษฎีบท 5 (1.5) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 < x < 2, |x| - 2 \leq y < -|x| + 2\}$ ซึ่งเป็น $\mathrm{CRS}(\gamma = 2 + 2i)$ ได้ตามตารางนี้

x	y			
	-2	-1	0	1
-1		$-1-i$	-1	
0	$-2i$	$-i$	0	i
1		$1-i$	1	

ตัวอย่าง 6 ให้ $a = -2$ และ $b = -2$ จากทฤษฎีบท 5 (1.6) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 < x < 2, |x| - 2 < y \leq -|x| + 2\}$ ซึ่งเป็น $\mathrm{CRS}(\gamma = -2 - 2i)$ ได้ตามตารางนี้

x	y			
	-1	0	1	2
-1		-1	$-1+i$	
0	$-i$	0	i	$2i$
1		1	$1+i$	

ตัวอย่าง 7 ให้ $a = -2$ และ $b = 2$ จากทฤษฎีบท 5 (1.7) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 < y < 2, |y| - 2 < x \leq -|y| + 2\}$ ซึ่งเป็น $\mathrm{CRS}(\gamma = -2 + 2i)$ ได้ตามตารางนี้

x	y		
	-1	0	1
-1		-1	
0	$-i$	0	i
1	$1-i$	1	$1+i$
2		2	

ตัวอย่าง 8 ให้ $a = 2$ และ $b = -2$ จากทฤษฎีบท 5 (1.8) สามารถเขียนแจกแจงสมาชิกทั้งหมดของ $\{x + yi \mid x, y \in \mathbb{Z}, -2 < y < 2, |y| - 2 \leq x < -|y| + 2\}$ ซึ่งเป็น $\mathrm{CRS}(\gamma = 2 - 2i)$ ได้ตามตารางนี้

x	y		
	-1	0	1
-2		-2	
-1	$-1-i$	-1	$-1+i$
0	$-i$	0	i
1		1	

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ของจำนวนเต็มเกาส์เซียนในทฤษฎีบท 2 ดังปรากฏในทฤษฎีบท 5 แต่อย่างไรก็ตามระบบส่วนตกค้างบริบูรณ์ที่พบยังไม่ใช่ระบบทั้งหมดในทฤษฎีบท 2 เพราะยังขาดบางกรณี เช่น กรณีที่ $a \neq 0$, $b \neq 0$ และ $|a| \neq |b|$ เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Hardman, N.R. and Jordan, J.H. (1967). A minimum problem connected with complete residue systems in Gaussian integers. **The American Mathematical Monthly**, 74(5), 559-561.

Jordan, J.H. and Potratz, C.J. (1965). Complete residue systems in the Gaussian integers. **Mathematics Magazine**, 38(1), 1-12.

Katai, I. and Szabo, J. (1975). Canonical number systems for complex integers. **Acta Scientiarum Mathematicarum**, 37, 255-260.

Pollard, H. and Diamond, H.G. (1975). **The theory of algebraic numbers**. New York: The Mathematical Association of America.

Tadee, S. (2021). Complete residue systems in the Gaussian integers (in Thai). **Proceedings of 11st National Conference of Sri-Ayutthaya Rajabhat University Group** (pp. 138-148). July 15, 2021. Chachoengsao: Rajabhat Rajanagarindra University.

Tadee, S., Laohakosol, V. and Damkaew, S. (2017). Explicit complete residue systems in a general quadratic field. **Divulgaciones Matematicas**, 18(2), 1-17.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณและศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน วิชาวิทยาศาสตร์

ปิยธิดา สุนทรวิภาต[1,*] เนตรชนก จันทร์สว่าง[2] และสมสงวน ปัสสาโก[3]

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตรศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

[3]คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

**Email: Piyatida.Suntonwipat@gmail.com*

รับบทความ: 22 เมษายน 2565 แก้ไขบทความ: 30 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 7 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบผลการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย กับเกณฑ์ร้อยละ 70 และ 2) เพื่อศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/3 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 35 คน ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบยกกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย จำนวน 7 แผน ใช้เวลา 13 ชั่วโมง 2) แบบทดสอบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณ จำนวน 28 ข้อ แบบปรนัย 4 ตัวเลือก มีค่าความตรงเชิงเนื้อหา (IOC) เท่ากับ 0.80-1.00 ค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.30-0.80 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.29–0.73 และค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.87 และ 3) แบบสอบถามวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ จำนวน 18 ข้อ มีความตรงเชิงเนื้อหา IOC เท่ากับ 0.80-1.00 ค่าอำนาจจำแนกเท่ากับ 0.31-0.81 ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.93 สถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบทีแบบกลุ่มเดียว ผลการวิจัยพบว่า 1) คะแนนเฉลี่ยการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังได้รับจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน คิดเป็นร้อยละ 79.82 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ($\bar{x}$ = 22.35, S.D. = 1.29) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) นักเรียนมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับมากทั้ง 6 ด้าน ได้แก่ ด้านความรับผิดชอบต่อตนเอง ($\bar{x}$ = 4.41, S.D. = 0.84) ด้านความกระตือรือร้น ($\bar{x}$ = 4.35, S.D. = 0.82) ด้านความกล้าเสี่ยง ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.88) ด้านความมีเอกลักษณ์ ($\bar{x}$ = 4.31, S.D. = 0.83) ด้านรู้จักวางแผน ($\bar{x}$ = 4.20, S.D. = 0.84) และด้านความทะเยอทะยาน ($\bar{x}$ = 4.13, S.D. = 0.82) แสดงใหเห็นวาการจัดการเรียนรูโดยใชเกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย สามารถพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณและแรงจูงใจใฝสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน การคิดอย่างมีวิจารณญาณ แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์

อ้างอิงบทความนี้

ปิยธิดา สุนทรวิภาต, เนตรชนก จันทร์สว่าง และสมสงวน ปัสสาโก. (2565). การเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณและศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน วิชาวิทยาศาสตร์. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 259-271. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.29

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

The critical thinking comparison and achievement motivation study of grade-8 students by using game-based learning on sciences subject

Piyatida Suntonwipat [1,*], Natchanok Jansawang[2] and Somsanguan Passago[3]

[1]Science Education Program, Faculty of Education, Rajabhat Maha Sarakham University

[2]Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University

[3]Faculty of Education, Rajabhat Maha Sarakham University

**Email: Piyatida.Suntonwipat@gmail.com*

Received <22 April 2022>; Revised <30 May 2022>; Accepted <7 June 2022>

Abstract

This study is an experimental research design. The aims of this research were 1) to compare critical thinking scores of the students with the criteria of 70 percent, and 2) to study achievement motivation after the game-based learning on organ systems. The sample group was grade-8 students, total 35 students from the 1st classroom of the academic year 2021 at Rajabhat Maha Sarakham University Demonstration School. They were obtained by Cluster Random sampling technique. There were three research tools used in this study. The first tool was seven learning management learning plans for 13 hours. The second tool was critical thinking test, 28 items of four multiple choices. The index of item objective congruence (IOC) was between 0.80-1.00, difficulty was between 0.30 - 0.80, discrimination was between 0.29-0.73 and confidence was between 0.87. The last tool was the questionnaire achievement motivation for 18 items. The index of IOC was between 0.80-1.00, discrimination was between 0.31-0.81 and confidence was between 0.93. The data analysis statistics were mean, percentage, standard deviation and t-test for one-sample. The research found that, 1) the students' critical thinking score was statistically higher than the 70 percent criteria at .05 significance level ($\bar{x}$ = 22.35, S.D. = 1.29). 2) Students had a high level of learning achievement motivation in all six domains ($\bar{x}$= 4.29, S.D. = 0.84) included individual responsibility, ($\bar{x}$ = 4.41, S.D. = 0.84) energetic, ($\bar{x}$ = 4.35, S.D. = 0.82) moderate risk taking, ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.88) unique of characteristic, ($\bar{x}$ = 4.31, S.D. = 0.83) planning ($\bar{x}$ = 4.20, S.D. = 0.84) and aspiration ($\bar{x}$ = 4.13, S.D. = 0.82). A game-based learning on organ systems has been shown to effectively improve of critical thinking and high-level achievement motivation.

Keywords: Game-based learning, critical thinking, achievement motivation

Cite this article:

Suntonwipat, P., Jansawang, N. and Passago, S. (2022). The critical thinking comparison and achievement motivation study of grade-8 students by using game-based learning on sciences subject (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 259-271. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.29

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มุ่งพัฒนานักเรียนให้มีคุณภาพตามมาตรฐานการเรียนรู้ สามารถถ่ายทอดความรู้ความคิดความเข้าใจ เลือกรับข้อมูลข่าวสารด้วยหลักการ เหตุผล และความถูกต้อง สามารถคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีวิจารณญาณและคิดอย่างเป็นระบบ เพื่อตัดสินใจเกี่ยวกับตนเองและสังคมได้อย่างเหมาะสม (The Ministry of Education, 2008) นักเรียนต้องมีทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 เพื่อให้สามารถใช้ชีวิตอยู่ในโลกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย 3Rs + 8Cs สำหรับ 8Cs ประกอบด้วย ทักษะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและทักษะในการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) ทักษะด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (Collaboration, Teamwork and Leadership) ทักษะด้านความเข้าใจต่างวัฒนธรรม ต่างกระบวนทัศน์ (Cross-cultural Understanding) ทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศและรู้เท่าทันสื่อ (Communications, Information and Media Literacy) ทักษะด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Computing and Media Literacy) ทักษะอาชีพและทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Career and Learning Self-reliance) และทักษะสุดท้าย คือ ความมีเมตตากรุณา มีวินัย คุณธรรม และจริยธรรม (Compassion) (Panich, 2012a) สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ต้องการพัฒนาการคิดของนักเรียนทั้งคิดอย่างมีเหตุผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ พัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อนำความรู้ไปใช้อย่างสร้างสรรค์และมีคุณธรรม (The Ministry of Education, 2017) กระบวนการคิดจึงมีความสำคัญในการเรียนวิทยาศาสตร์ให้ประสบผลสำเร็จ

ปัจจุบันเทคโนโลยีและสารสนเทศเจริญเติบโตไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เต็มไปด้วยข้อมูลข่าวสารทั้งที่เป็นจริงและไม่เป็นจริง ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาตามมา ผู้รับข้อมูลต้องใช้การคิดอย่างมีวิจารณญาณในการรับข้อมูลข่าวสาร โดยเฉพาะนักเรียนต้องได้รับการฝึกให้มีการคิดอย่างมีวิจารณญาณเพราะการคิดอย่างมีวิจารณญาณมีเป้าหมายเพื่อให้คิดอย่างสมเหตุสมผล รอบคอบ กว้างขวางและลึกซึ้ง ซึ่งเป็นการคิดที่สามารถนำไปปรับใช้กับทุกสถานการณ์ได้ เพราะการกระทำใด ๆ ก็ควรต้องผ่านการคิดอย่างรอบคอบก่อน (Chularut, 2020) การคิดอย่างมีวิจารณญาณจึงมีความสำคัญมากต่อการดำรงชีวิตเพราะช่วยให้ตัดสินใจได้ว่าควรเชื่อหรือไม่ควรเชื่อ ควรกระทำหรือไม่ควรกระทำตามข้อมูลข่าวสารที่ได้รับมา (Udomkaew, 2015) สอดคล้องกับรายงานของ World Economic Forum ที่กล่าวไว้ว่า ในปี พ.ศ. 2568 มีทักษะจำเป็น 10 อย่างที่ต้องมี หนึ่งในนั้น คือ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (World Economic Forum, 2020) การคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นการคิดอย่างมีวัตถุประสงค์ เป็นการตัดสินใจด้วยตนเอง โดยมีปัจจัยประกอบการตัดสินใจ ได้แก่ หลักฐาน เนื้อหา แนวคิด วิธีการและกฎเกณฑ์ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะของนักเรียนในสังคมแห่งการเรียนรู้ (Udomkaew, 2015) การคิดอย่างมีวิจารณญาณมีองค์ประกอบ 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ด้านการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล ด้านการระบุสมมติฐาน ด้านการสรุปอ้างอิงแบบนิรนัย และด้านการสรุปอ้างอิงแบบอุปนัย (Ennis, 2011) การส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถทางการคิดระดับสูงหรือคิดวิจารณญาณนั้นเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากความสามารถทางการคิดวิจารณญาณเป็นฐานของการกรองความคิดกรองข้อมูลและเป็นหลักสำคัญที่จะทำให้เกิดการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง ความสามารถทางการคิดวิจารณญาณเป็นทักษะสำคัญสำหรับการเป็นมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 ที่ครูจะต้องแสวงหาวิธีการออกแบบการเรียนการสอนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ศิษย์พัฒนาความสามารถการคิดวิจารณญาณ (Panich, 2012b) นักเรียนที่มีการคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นนักเรียนที่สามารถรู้วิธีการหาข้อมูลที่ถูกต้อง รู้วิธีการนำข้อมูลหรือข้อเท็จจริงที่มีไปแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ (Amornchewin, 2013)

แม้ว่าการคิดอย่างมีวิจารณญาณจะมีความสำคัญและเป็นจุดเน้นในการเรียนการสอนที่หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ระบุ และมีการประเมินผลในระดับโรงเรียนอย่างเข้มข้น แต่จากการรายงานของ Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) หรือการศึกษาขององค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา พบว่าความสามารถในการรับมือกับข้อมูลข่าวสารอันเป็นเท็จ (Fake News) ของเด็กไทยอายุ 15 ปี มีศักยภาพในการรับมือกับข้อมูลข่าวสารอันเป็นเท็จระดับต่ำมาก โดยอยู่ลำดับที่ 76 จาก 77 ประเทศ ซึ่งถือว่าเป็นลำดับเกือบสุดท้าย (Organization for Economic Cooperation and Development, 2021) สอดคล้องกับรายงานของ World Economic Forum ในปี พ.ศ. 2562 ที่พบว่า ความสามารถทางการแข่งขันของประเทศไทยลดลงจากอันดับ 38 มาอันดับที่ 40 จากทั้งหมด 141 ประเทศ ส่วนหนึ่งที่ทำให้อันดับลดลงเป็นเพราะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้คะแนนเพียง 37 คะแนน จาก 100 คะแนน (Schwab, 2019) สอดคล้องกับผลการประเมินของโปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (Programme for International Student Assessment หรือ PISA) โดยประเมินความฉลาดรู้ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความฉลาดรู้ด้านการอ่าน ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ และความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ สำหรับการวัดความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์เป็นการวัดความสามารถในการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ เข้ากับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีวิจารณญาณ สามารถสื่อสาร

เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล อธิบายปรากฏการณ์ในทางวิทยาศาสตร์ได้ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ สามารถแปลความหมายข้อมูลและใช้ประจักษ์พยานเชิงวิทยาศาสตร์ ในปี 2018 ผลการประเมินความฉลาดรู้ทั้ง 3 ด้าน พบว่า ประเทศไทยอยู่ลำดับที่ 66 จากทั้งหมด 79 ประเทศ สำหรับความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ พบว่า ประเทศไทยอยู่ลำดับที่ 52 จากทั้งหมด 79 ประเทศ คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 426 คะแนน ขณะที่ค่าเฉลี่ย OECD เท่ากับ 489 คะแนน (PISA Center Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2021) ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่าครูจำเป็นต้องให้ความสนใจเพื่อฝึกฝนให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างมีวิจารณญาณ สอดคล้องกับรายงานการประเมินตนเอง ประจำปีการศึกษา 2563 ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่ระบุว่า ควรมีการวัดและประเมินความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณและนำไปประยุกต์ใช้ที่เป็นการประเมินตามสภาพจริง ขณะที่ผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) รายวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2562 ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ที่พบว่าเมื่อพิจารณาผลคะแนนระดับโรงเรียนมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 27.58 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยระดับประเทศ ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 30.07 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน (Academic Affairs Rajabhat Maha Sarakham University Demonstration School, 2021)

ปัญหาดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากปัญหาที่นักเรียนแต่ละคนมีความแตกต่างกันในด้านการเรียนรู้ กล่าวคือ นักเรียนบางคนมีความกระตือรือร้นสูง แต่นักเรียนบางคนกระตือรือร้นต่ำมากหรือไม่กระตือรือร้น (Sariwat, 2014) แสดงถึงแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ที่แตกต่างกัน แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์เป็นแรงขับเคลื่อนให้นักเรียนอยากเรียนรู้ อยากประสบความสำเร็จ อยากพัฒนาตนเองให้เป็นเลิศโดยยึดมั่นถึงมาตรฐานที่ดีที่สุดไม่ว่าจะเป็นด้านการศึกษา อาชีพ และทำกิจกรรมด้านต่าง ๆ ชอบเรียนรู้สิ่งที่ท้าทายความสามารถ มุ่งเรียนให้ดีมากกว่าที่เคยเรียนมา ไม่ชอบการเปรียบเทียบผลการเรียนกับผู้อื่น แต่จะเปรียบเทียบผลการเรียนปัจจุบันกับผลการเรียนในอดีตของตนเอง องค์ประกอบของแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มี 6 ด้านสำคัญ คือ ด้านความทะเยอทะยาน (Aspiration) ด้านความกระตือรือร้น (Energetic) ด้านความกล้าเสี่ยง (Moderate Risk Taking) ด้านความรับผิดชอบต่อตนเอง (Individual Responsibility) ด้านการรู้จักวางแผน (Planning) และด้านความมีเอกลักษณ์ (Unique of Characteristic) (Kuha, 2018) นักเรียนที่มีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์เป็นผู้ที่มีความรับผิดชอบ มีการตั้งมาตรฐานการเรียนรู้ มีความพยายามในการเรียน มีการวางแผนระยะยาว รู้จักพิจารณาข่าวสารที่ได้รับอย่างรอบคอบ ต้องการทราบผลลัพธ์หลังเรียนรู้และผลลัพธ์ที่ได้มาจากความสามารถของตนเองไม่ใช่เพราะโชคช่วย (Phosopa, 2015) นอกจากนี้นักเรียนที่มีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มักกล้าเสี่ยง ขยันขันแข็งมุ่งมั่นในการทำงาน มีความละเอียดอ่อนในการทำงานและคาดการณ์สิ่งที่อาจเกิดขึ้นไว้ล่วงหน้า (Tangkittipapron, 2018)

การจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ในการเรียนสามารถได้หลายวิธี เช่น รูปแบบผสมผสานตามวิธีวิทยาศาสตร์ รูปแบบผสมผสานตามวิธีปัญหาเป็นฐาน (Chaichuai and Srivilai, 2015) การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานร่วมกับแนวคิดเกมิฟิเคชัน (Chaisiri, 2020) การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกม (Partovi and Razavi, 2019; Charles-Ogan and Williams, 2021) เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนการสอนที่พัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนที่พบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานช่วยดึงดูดความสนใจของนักเรียนที่เบื่อกับการเรียนให้หันมาสนใจเรียนได้ เพราะเกมทำให้เกิดความสนุกสนาน (Sintapanon *et al.*, 2019) และท้าทายความสามารถของนักเรียน ทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนมากขึ้น (Ekkapim, 2017) การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานเป็นการจัดการเรียนการสอนที่ต้องการให้นักเรียนได้รับความรู้จากการเล่นเกม ที่มีข้อตกลงร่วมกัน เกิดการเรียนรู้ที่สนุกสนาน น่าสนใจ นอกจากนักเรียนจะได้รับความรู้แล้วยังช่วยพัฒนาด้านความคิด เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างนักเรียน กระตุ้นให้นักเรียนแสดงออกและเชื่อมั่นในตนเอง (Sintapanon *et al.*, 2019) จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้เกมเพื่อพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Yang and Chang, 2013; Cicchino, 2015; Indriani *et al.*, 2019) พบจุดเน้นร่วมกันในการออกแบบให้นักเรียนเล่นเกมซ้ำ ฝึกการทำซ้ำจนกระทั่งเกิดการพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Sriudomkij *et al.*, 2020; Anukoolrangsan, 2011) และใช้เกมหลายเกมในกิจกรรม ทั้งนี้เกมที่มีความหลากหลายและน่าสนใจสามารถพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้ เช่น หนึ่งเกมให้เล่น 3-4 ครั้ง แล้วเปลี่ยนไปเล่นเกมใหม่ (Saechia, 2017) การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานมี 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นแนะนำเกม โดยครูแนะนำเกม กฎ กติกา และวิธีการเล่นเกม ขั้นเล่นเกม นักเรียนเล่นเกมโดยยึดหลักตามกฎกติกา ขั้นอภิปรายผลหลังเล่นเกม และขั้นประเมินผลการเรียนรู้ (Khammani, 2018) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานมีแรงจูงใจในการเรียนมากกว่าการเรียนที่เน้นการบรรยาย (Juan and Chao, 2015) ส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะการสะท้อนคิด (Reflection) และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Shaffer *et al.*, 2005) ฝึกให้เกิดความคิดรวบยอดและพัฒนาการคิดของนักเรียนโดยไม่รู้ตัว (Srisinthon, 2016) นอกจากนี้เกมยังทำให้นักเรียนมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าวิธีการสอนโดยเน้นการบรรยายเป็นหลัก (Kulvanich and Phaibulpanich, 2018)

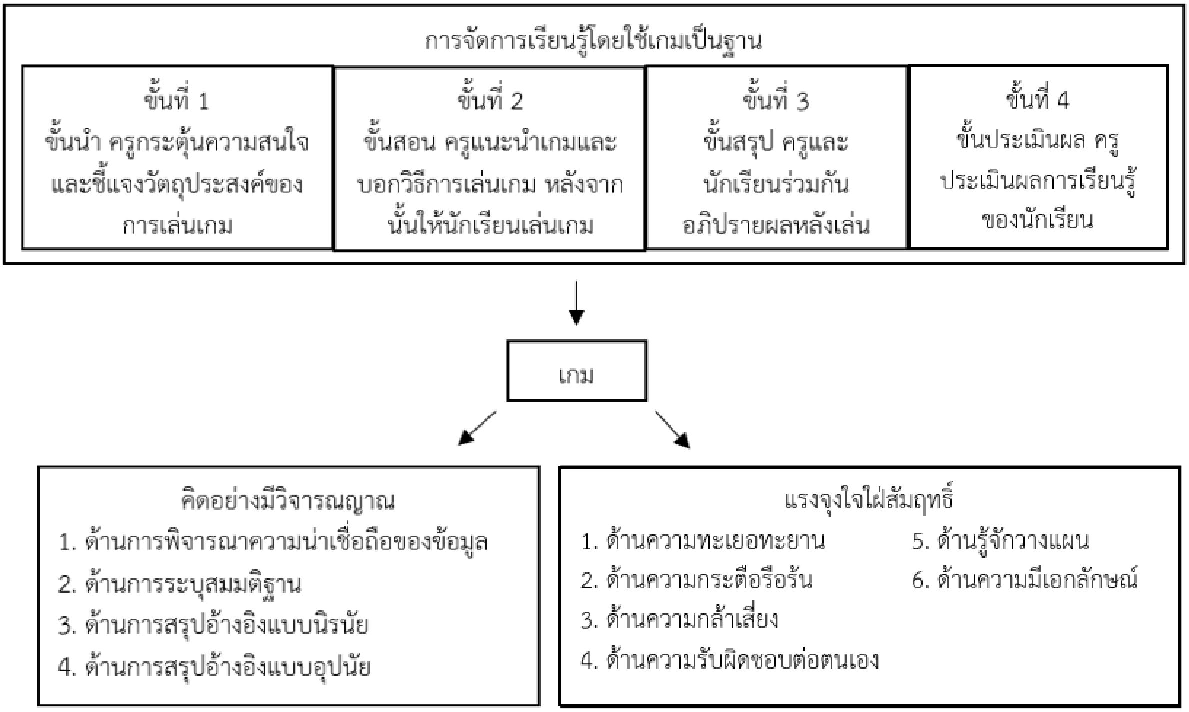
จากเหตุผลและความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิจัย เรื่อง การเปรียบเทียบการคิดอย่างมี

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

วิจารณญาณและศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน วิชาวิทยาศาสตร์ ผ่านเกมหลาย ๆ เกม ที่มีหลากหลายรูปแบบ เพื่อให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างมีวิจารณญาณและแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ในการเรียน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กับเกณฑ์ร้อยละ 70
2. เพื่อศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย มีการคิดอย่างมีวิจารณญาณสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ประเภทแบบแผนกลุ่มเดียวทดสอบหลัง (One Group Posttest Only Design) (Worakham, 2019) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

การสุ่ม	กลุ่มทดลอง	ทดสอบก่อน	การทดลอง	ทดสอบหลัง
-	E	-	X	O

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 3 ห้องเรียน รวม 95 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/3 จำนวน 1 ห้อง รวม 35 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) (Worakham, 2019)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียน คือ แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย จำนวน 7 แผนการเรียนรู้ รวม 13 ชั่วโมง เกมที่ใช้มีทั้งหมด 7 เกม แบ่งเป็นเกมแผนภาพที่มีป้ายกำกับ จำนวน 3 เกม ในแผนการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ระบบหมุนเวียนเลือด แผนการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง ระบบหายใจ แผนการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง ระบบขับถ่าย และเกมจับคู่ จำนวน 4 เกม ในแผนการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง อัตราการเต้นของหัวใจ แผนการเรียนรู้ที่ 3 การดูแลรักษาอวัยวะในระบบหมุนเวียนเลือด แผนการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การดูแลรักษาอวัยวะในระบบหายใจ แผนการเรียนรู้ที่ 7 เรื่อง การดูแลรักษาอวัยวะในระบบขับถ่าย กิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผนมีความคล้ายกัน ผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นนำ (30 นาที) ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยแสดงภาพระบบหมุนเวียนเลือดให้นักเรียนสังเกต หลังจากนั้นตั้งคำถามกับนักเรียนว่า “อวัยวะในระบบหมุนเวียนเลือดมีอะไรบ้าง” ครูเพิ่มคำถามอีกว่า “ระบบหมุนเวียนเลือดมีการไหลเวียนอย่างไร” ต่อมาครูอธิบายวิธีการเข้าเล่นเกมและกติกาในการเล่นเกม ดังนี้

1) ครูเปิดเกมพักและวิ่งจากหน้าเว็บไซต์ Wordwall เพื่อแนะนำเกม ดังภาพที่ 2a เกมพักและวิ่ง

2) นักเรียนเข้าเล่นเกมผ่านลิงค์ https://wordwall.net/play/19372/359/983 หลังจากนั้นให้นักเรียนกรอกชื่อ เลขที่และกดเริ่มเพื่อเล่นเกม ดังภาพที่ 2b กรอกชื่อ เลขที่และกดเริ่ม

3) ให้นักเรียนพิจารณาแผนป้ายและข้อความ หลังจากนั้นลากแผนป้ายวางไว้หน้าข้อความ ดังภาพที่ 2c พิจารณาแผนป้ายและข้อความ

4) เมื่อนักเรียนเล่นครบทุกข้อแล้วจะปรากฏคะแนน ระยะเวลา และลำดับที่ได้ ดังภาพที่ 2d คะแนน ระยะเวลาและลำดับที่ได้

(a) เกมพักและวิ่ง (b) กรอกชื่อ เลขที่และกดเริ่ม (c) พิจารณาแผนป้ายและข้อความ (d) คะแนน ระยะเวลา และลำดับที่ได้

ภาพที่ 2 แนะนำเกมและอธิบายขั้นตอนการเล่นเกม

5) ครูอธิบายกติกาเพิ่มเติมว่า นักเรียนคนใดที่สามารถโยงเส้นได้ถูกทุกข้อจะได้รับรางวัลพิเศษ ถ้าเล่นครั้งแรกยังไม่ได้คะแนนเต็ม นักเรียนสามารถเล่นเกมซ้ำได้ โดยการกดปุ่ม “เริ่มใหม่”

ขั้นที่ 2 ขั้นสอน (40 นาที) นักเรียนเล่นเกมโดยเข้าเกมและเล่นเกมตามกติกา

ขั้นที่ 3 ขั้นสรุป (30 นาที) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปผลหลังเล่นเกม โดยครูเปิดประเด็นเพื่อให้นักเรียนเริ่มอภิปรายผลในประเด็นต่าง ๆ เช่น อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและออกกำลังกาย การทำงานของร่างกายขณะออกกำลังกาย คำศัพท์เกี่ยวกับความดันเลือดและค่าความดันเลือด

ขั้นที่ 4 ขั้นประเมินผล (20 นาที) ครูประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนหลังเล่นเกม โดยพิจารณาจากการอภิปรายหลังเล่นเกมและใบกิจกรรม เรื่อง อัตราการเต้นของหัวใจ ตัวอย่างผลการเล่นเกมของนักเรียน ดังภาพที่ 3

ผลลัพธ์ตามนักเรียน จัดเรียงตาม ◉ การส่ง ○ ชื่อ ○ ถูกต้อง + เวลา

	นักเรียน	ส่ง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	เวลา
▸	ม.2/3เลขที่33	13:24 - 11 ส.ค. 2021	10	0	1:49
▸		13:30 - 11 ส.ค. 2021	8	2	3:02
▸	ม.2/3 เลขที่12	13:39 - 11 ส.ค. 2021	7	3	1:36
▸	เลขที่14	14:11 - 11 ส.ค. 2021	10	0	1:23

ภาพที่ 3 ตัวอย่างผลการเล่นเกมของนักเรียน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1) แบบทดสอบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก วัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนโดยกำหนดสถานการณ์ทั้งหมด 7 สถานการณ์ แต่ละสถานการณ์วัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณครบทั้ง 4 ด้าน ซึ่งสอดคล้องกับเรื่องระบบต่าง ๆ ในร่างกาย จำนวน 28 ข้อ มีค่าความตรงเชิงเนื้อหา IOC เท่ากับ 0.80-1.00 ค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.30-0.80 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.29–0.73 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.87 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ดังภาพที่ 4

การออกกำลังกายช่วยให้ร่างกายแข็งแรง ขณะที่นั่งพักอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ที่ 60-100 ครั้งต่อนาที แต่เมื่อออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 100-135 ครั้งต่อนาที การออกกำลังกายที่ดีต้อง “นานพอ” (ประมาณ 15 นาที) เพราะทำให้ร่างกายเกิดการเผาพลาญไขมันส่วนเกิน และช่วยให้หัวใจแข็งแรงขึ้น แต่ถ้าออกกำลังกาย “นานไป” ก็อาจเป็นอันตรายได้

ความดันเลือดสูงมีสาเหตุหลักมาจากหลอดเลือดหัวใจตีบ เนื่องจากไขมันสะสม ผู้ที่มีความดันเลือดสูง คือ มีความดันเลือดมากกว่าหรือเท่ากับ 140/90 มิลลิเมตรปรอท

5. ข้อใดต่อไปนี้เป็นความจริง (ด้านการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล)
   ก. การออกกำลังกายทำให้กล้ามเนื้อหัวใจทำงานหนักเกินไป
   ข. การออกกำลังกายทำให้หัวใจทำงานหนักเกินไป
   ค. การออกกำลังกายที่ดีต้องออกกำลังกายให้นานพอ
   ง. การออกกำลังกายเป็นเวลานานเกินไปอาจส่งผลดีต่อร่างกาย

6. ข้อใดต่อไปนี้เป็นความจริง (ด้านการระบุสมมติฐาน)
   ก. ถ้าออกกำลังกายเป็นเวลานานเกินไปจะส่งผลดีต่อร่างกาย
   ข. ถ้าออกกำลังกายอย่างนานพอ จะช่วยให้ร่างกายแข็งแรง
   ค. ถ้ากินหมูกระทะเป็นประจำ ทำให้ร่างกายแข็งแรง
   ง. ถ้าออกกำลังกายวันละ 15 นาทีเป็นประจำทำให้ร่างกายทำงานหนัก

7. “การออกกำลังกายที่ดีต้องออกกำลังกายให้ นานพอ หรือประมาณ 15 นาที” จากข้อความข้างต้น ข้อใดต่อไปนี้สรุปได้ถูกต้อง (ด้านการสรุปอ้างอิงแบบนิรนัย)
   ก. การออกกำลังกายอย่าง นานพอ ทำให้หัวใจแข็งแรง
   ข. การออกกำลังกายอย่างนานพอ ไม่ช่วยเผาพลาญไขมัน
   ค. การออกกำลังกายแต่ละครั้งไม่ควรเกิน 15 นาที
   ง. การออกกำลังกายประมาณ 15 นาทีเป็นอันตรายต่อร่างกาย

8. “นายกิตติมักรับประทาน หมูกระทะ หมูปิ้ง เนื้อย่าง เป็นประจำ” จากข้อความข้างต้น สิ่งใดที่อาจเกิดขึ้นกับนายกิตติ (ด้านการสรุปอ้างอิงแบบอุปนัย)
   ก. นายกิตติเป็นโรคความดันเลือดต่ำ
   ข. นายกิตติไม่มีไขมันสะสมในร่างกาย
   ค. นายกิตติมีความดันเลือด 110/70
   ง. นายกิตติเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ

ภาพที่ 4 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

2) แบบสอบถามวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ โดยใช้แบบมาตรประเมินค่า 5 ระดับ จากเห็นด้วยมากที่สุด เห็นด้วยมาก เห็นด้วยปานกลาง เห็นด้วยน้อย ไปจนถึงเห็นด้วยน้อยที่สุด จำนวน 18 ข้อ มีความตรงเชิงเนื้อหา IOC เท่ากับ 0.80-1.00 ค่าอำนาจจำแนกเท่ากับ 0.31-0.81 ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.93 ตัวอย่างแบบสอบถามวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ ดังภาพที่ 5

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. จัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 7 แผน เวลา 13 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกการจัดการเรียนรู้ทุกครั้งหลังจัดกิจกรรม โดยจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ เนื่องจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรน่า 2019

2. เมื่อสอนครบ 1 ระบบ ให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนทันที ประกอบด้วย ระบบหมุนเวียนเลือด จำนวน 12 ข้อ ระบบหายใจ จำนวน 8 ข้อ และระบบขับถ่าย จำนวน 8 ข้อ รวม 28 ข้อ และเมื่อสอนครบทั้ง 3 ระบบ ให้นักเรียนทำแบบสอบถามวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ จำนวน 18 ข้อ

3. นำผลที่ได้จากแบบทดสอบการคิดอย่างมีวิจารณญาณและแบบสอบถามวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มาตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด และนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ

ข้อความ	ระดับความตรง				
	เห็นด้วย ระดับ มากที่สุด	เห็นด้วย ระดับ มาก	เห็นด้วย ระดับ ปานกลาง	เห็นด้วย ระดับ น้อย	เห็นด้วย ระดับ น้อยที่สุด
ด้านความทะเยอทะยาน					
1. ฉันอยากเรียนวิทยาศาสตร์ แม้จะเป็นวิชาที่เข้าใจยาก					
2. ฉันไม่เคยท้อแท้ เมื่อตอบคำถามไม่ได้ แต่จะมุ่งมั่นหาวิธีการแก้ปัญหานั้นให้สำเร็จ					
3. ฉันพยายามที่จะแก้ปัญหาที่ยากๆ ให้สำเร็จ					
ด้านความกระตือรือร้น					
4. ฉันพยายามทุ่มเทเวลาให้มากขึ้นสำหรับแบบฝึกทักษะวิชาวิทยาศาสตร์ข้อที่ยากๆ					
5. เมื่อได้ลงมือทำแล้ว ฉันจะพยายามทำให้ถูกต้องทุกข้อ					
6. ฉันจะทำงานที่ได้รับหมอบหมายให้เสร็จตามเวลาที่กำหนด					

ภาพที่ 5 ตัวอย่างแบบสอบถามวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์การคิดอย่างมีวิจารณญาณ โดยเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติ One-Sample t-test (Workham, 2019)

2. การวิเคราะห์แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ โดยนำผลการวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มาตรวจให้คะแนน หาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และนำไปเทียบกับเกณฑ์ (Srisa-ard, 2010) ดังนี้

4.50 - 5.00 หมายถึง แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับมากที่สุด
3.50 - 4.49 หมายถึง แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับมาก
2.50 - 3.49 หมายถึง แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับปานกลาง
1.50 - 2.49 หมายถึง แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับน้อย
1.00 - 1.49 หมายถึง แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 รายละเอียด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กับเกณฑ์ร้อยละ 70

n	คะแนนเต็ม	คะแนนเกณฑ์ร้อยละ 70	$\bar{x}$	S.D.	df	t	Sig.
35	28	20	22.35	1.29	34	11.24*	.000

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 35 คน กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้แบบทดสอบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณจำนวน 28 ข้อ เป็นแบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก พบว่า คะแนนเฉลี่ยการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนเท่ากับ 22.35 จากคะแนนเต็ม 28 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 79.82 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติ One-Sample t-test พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ซึ่งผู้วิจัยได้นำคะแนนมาวิเคราะห์เป็นรายด้าน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกายเป็นรายด้าน

การคิดอย่างมีวิจารณญาณ	$\bar{x}$	S.D.	df	t	Sig.
1. ด้านการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล	23.17	1.04	34	17.99*	.000
2. ด้านการระบุสมมติฐาน	22.60	1.44	34	10.69*	.000
3. ด้านการสรุปอ้างอิงแบบนิรนัย	21.77	1.42	34	7.40*	.000
4. ด้านการสรุปอ้างอิงแบบอุปนัย	21.86	1.24	34	8.86*	.000

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นรายด้าน นักเรียนมีค่าเฉลี่ยของคะแนนการคิดอย่างมีวิจารณญาณมากที่สุด คือ ด้านที่ 1 ด้านการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล ($\bar{x}$ = 23.17, S.D. = 1.04) รองลงมา คือ ด้านที่ 2 ด้านการระบุสมมติฐาน ($\bar{x}$ = 22.60, S.D. = 1.44) รองลงมา คือ ด้านที่ 4 ด้านการสรุปอ้างอิงแบบอุปนัย ($\bar{x}$ = 21.86, S.D. = 1.24) และด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ด้านที่ 3 ด้านการสรุปอ้างอิงแบบนิรนัย ($\bar{x}$ = 21.77, S.D. = 1.42) เมื่อวิเคราะห์สถิติที่ใช้ตรวจสอบสมมติฐานการทดสอบทีแบบกลุ่มเดียว (One-Sample t-test) พบว่า ค่าเฉลี่ยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณทั้ง 4 ด้าน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย กับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณเท่ากับ 22.35 (S.D. = 1.29) คิดเป็นร้อยละ 79.82 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการวิจัยที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจาก การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานเป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนอย่างหนึ่งที่สามารถปรับให้เข้ากับเนื้อหาวิชาที่เรียน ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ในขั้นที่ 2 ขั้นสอน นักเรียนจะได้พิจารณาภาพและข้อความที่กำหนดมาให้อย่างรอบด้านโดยใช้เหตุผล และตัดสินใจหาข้อสรุป เมื่อเกมจบลงนักเรียนจะทราบคะแนนของตนเองทันที หากผลคะแนนยังไม่เป็นที่พอใจนักเรียนสามารถเล่นเกมเดิมซ้ำได้ ซึ่งการเล่นเกมเดิมซ้ำทำให้นักเรียนเกิดการลองผิดลองถูก เป็นไปตามทฤษฎีของธอร์นไดส์ (Chomchid, 2019) ที่กล่าวว่า เมื่อประสบกับปัญหาจะแสดงพฤติกรรมตอบสนองต่อปัญหาหลายรูปแบบในลักษณะลองผิดลองถูก จนกว่าจะพบวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา และการให้นักเรียนเล่นเกมเดิมซ้ำเป็นไปตามทฤษฎีของวัตสัน (Chomchid, 2019) ที่กล่าวว่า บุคคลจะเกิดการเรียนรู้ได้เพราะมีการวางเงื่อนไขและผลจากการวางเงื่อนไขจะสร้างพฤติกรรมการเรียนรู้ให้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอกับบุคคลจนกลายเป็นพฤติกรรมความเคยชิน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนได้โดยการฝึกหัด ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าใดสิ่งเร้าหนึ่งซ้ำ ๆ เพื่อให้จำได้อย่างคงทน โดยใช้ความเข้าใจไม่ใช่การท่องจำ ในงานวิจัยนี้มีเกมจำนวน 7 เกม แต่ละเกมมีรูปแบบหลากหลาย อาทิเช่น รูปแบบของเกม การมีภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียง สีสัน ปรับเกมให้สอดคล้องกับเนื้อหาและจุดประสงค์ของการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนสนใจกิจกรรมการเรียนการสอนมากขึ้น ระหว่างเล่นเกมนักเรียนจะได้ลงมือทำกิจกรรมด้วยตนเอง ฝึกการตัดสินใจด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนเกิดความรู้สึกที่เป็นอิสระ เชื่อมั่นในตนเอง ซึ่งการส่งเสริมให้นักเรียนตัดสินใจด้วยตนเองเป็นการพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Sintapanon *et al.*, 2019) แต่ละเกมประกอบด้วยคำถามหลายข้อที่สร้างมาจากองค์ประกอบของการคิดอย่างมีวิจารณญาณครบทั้ง 4 ด้าน ดังนั้นระหว่างที่นักเรียนเล่นเกมนักเรียนจะได้รับการฝึกการคิดอย่างมีวิจารณญาณครบทั้ง 4 ด้าน ระหว่างเล่นเกมนักเรียนต้องนำข้อมูลพื้นฐานที่มีมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนตัดสินใจ ซึ่งช่วยให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้ (Sintapanon *et al.*, 2019) สอดคล้องกับ Amornchewin (2013) ที่กล่าวว่าการสอนที่ส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณนั้น ระหว่างสอนครูควรตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นการเรียนรู้ของนักเรียนและคำถามที่ใช้ถามนักเรียนควรเป็นคำถามที่กระตุ้นการคิด ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sriudomkij *et al.* (2020) ที่ศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนผ่านเกมคอมพิวเตอร์โดยใช้สถานการณ์จำลองรวมกับกระบวนการแก้ปัญหาเพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างมีวิจารณญาณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนผ่านเกมคอมพิวเตอร์โดยใช้สถานการณ์จำลองรวมกับกระบวนการแก้ปัญหามีคะแนนการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การจัดการเรียนการสอนผ่านเกมคอมพิวเตอร์โดยใช้สถานการณ์จำลองรวมกับกระบวนการแก้ปัญหา นักเรียนสามารถฝึกแก้ปัญหาซ้ำ ๆ ทำให้เกิดการแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผล เกิดการพัฒนาการคิดอย่างมี

วิจารณญาณ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Anugulrungsa (2011) ที่ศึกษาผลของมินิเกมที่มีการกำกับตนเองที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ในการอ่านภาษาอังกฤษอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ผลการศึกษา พบว่า นักเรียนที่ใช้เกมคอมพิวเตอร์ประเภทมินิเกมที่มีการกำกับตนเองมีผลสัมฤทธิ์ในการอ่านภาษาอังกฤษอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน การใช้มินิเกมที่มีการกำกับตนเองส่งผลให้ผู้เรียนมีการอ่านภาษาอังกฤษอย่างมีวิจารณญาณ เนื่องจากการกำกับตนเองในมินิเกมที่ใช้เวลาในการเล่นช่วงสั้น ๆ มีการออกแบบที่กระตุ้นพฤติกรรมการเล่นเกมซ้ำ จึงทำให้เกิดการฝึกทำซ้ำ จนกระทั่งเกิดผลสัมฤทธิ์ในการอ่านภาษาอังกฤษอย่างมีวิจารณญาณได้

2. ผลการศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์	ข้อคำถาม	$\bar{x}$	S.D.	ระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์
1. ด้านความทะเยอทะยาน		**4.13**	**0.82**	**มาก**
	1. ฉันอยากเรียนวิทยาศาสตร์ แม้จะเข้าใจยาก	4.00	0.76	มาก
	2. ฉันไม่เคยท้อแท้ เมื่อตอบคำถามไม่ได้ แต่จะหาวิธีการแก้ปัญหานั้นให้สำเร็จ	4.04	0.89	มาก
	3. ฉันพยายามที่จะแก้ปัญหาที่ยาก ๆ ให้สำเร็จ	4.36	0.81	มาก
2. ด้านความกระตือรือร้น		**4.35**	**0.82**	**มาก**
	4. ฉันพยายามทุ่มเทเวลาให้มากขึ้นสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ยาก ๆ	4.36	0.81	มาก
	5. เมื่อลงมือทำแล้ว ฉันจะพยายามทำให้ถูกต้องทุกข้อ	4.36	0.86	มาก
	6. ฉันมักจะทำงานให้เสร็จตามเวลาที่กำหนด	4.32	0.80	มาก
3. ด้านความกล้าเสี่ยง		**4.33**	**0.88**	**มาก**
	7. ฉันอยากทำงานที่ใคร ๆ ก็บอกว่ายาก	4.20	0.96	มาก
	8. เมื่อฉันทำงานไม่สำเร็จ ฉันจะพยายามแก้ปัญหา	4.44	0.82	มาก
	9. ฉันมีความพยายามอย่างยิ่งที่จะทำงานที่ได้รับมอบหมายให้ดีกว่าเพื่อน ๆ	4.36	0.86	มาก
4. ด้านความรับผิดชอบต่อตนเอง		**4.41**	**0.84**	**มาก**
	10. ฉันตั้งใจทำงานจนสำเร็จ แม้จะมีอุปสรรคก็ตาม	4.60	0.65	มากที่สุด
	11. ฉันเอาใจใส่งานที่ได้รับมอบหมาย	4.40	0.91	มาก
	12. ฉันรู้ตัวว่าฉันเป็นคนมีความรับผิดชอบ	4.24	0.97	มาก
5. ด้านรู้จักวางแผน		**4.20**	**0.84**	**มาก**
	13. ในการสอบแต่ละครั้ง ฉันจะเตรียมตัวเป็นอย่างดี	4.24	0.78	มาก
	14. ฉันตั้งเป้าหมายความสำเร็จในการทำแบบฝึกทักษะทุกครั้ง	4.28	0.84	มาก
	15. ฉันทำตารางเวลาสำหรับทบทวนและการทำการบ้านไว้อย่างชัดเจน	4.08	0.91	มาก
6. ด้านความมีเอกลักษณ์		**4.31**	**0.83**	**มาก**
	16. ฉันคิดว่างานจะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีขึ้นอยู่กับความพยายามและกำลังใจ	4.80	0.50	มากที่สุด
	17. ฉันชอบทำงานที่ใช้ความมุ่งมั่นและความทะเยอะทะยาน	4.28	0.94	มาก
	18. เพื่อนมักกล่าวว่าฉันทำงานออกมาได้ดี	3.84	1.07	มาก
เฉลี่ยรวม		**4.29**	**0.32**	**มาก**

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทั้ง 6 ด้าน พบว่า ระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.29, S.D. = 0.32) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยของแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มากที่สุด คือ ด้านที่ 4 ด้านความรับผิดชอบต่อตนเอง ($\bar{x}$ = 4.41, S.D. = 0.84) อยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ด้านที่ 2 ด้านความกระตือรือร้น ($\bar{x}$ = 4.35, S.D. = 0.82) อยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ด้านที่ 3 ด้านความกล้าเสี่ยง ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.88) อยู่ในระดับมาก รองลงมา ด้านที่ 6 ด้านความมีเอกลักษณ์ ($\bar{x}$ = 4.31, S = 0.83) อยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ด้านที่ 5 ด้านรู้จักวางแผน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

($\bar{x}$ = 4.31, S.D. = 0.83) และด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ด้านที่ 1 ด้านความทะเยอทะยาน ($\bar{x}$ = 4.13, S.D. = 0.82) อยู่ในระดับมาก

ผลการศึกษาแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย สามารถอภิปรายผลได้ พบว่า นักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย มีระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 4.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32 จากผลการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานสามารถส่งเสริมแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ โดยนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับมากทั้ง 6 ด้าน จากการสังเกตพฤติกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานมีพฤติกรรมที่บ่งชี้ถึงแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียน คือ ขั้นที่ 2 ขั้นสอน นักเรียนต้องการเล่นเกมให้ได้คะแนนดีกว่าเดิมและต้องการเล่นเกมให้ได้คะแนนเต็ม แม้ตนเองจะรู้สึกว่ายากและต้องเล่นซ้ำหลายครั้ง นักเรียนต้องการทราบลำดับคะแนนของตนเอง การให้คะแนนพิเศษสำหรับนักเรียนที่เล่นเกมจนได้คะแนนเต็มเป็นการเสริมแรงให้นักเรียนแข่งกับตัวเองไม่ได้เปรียบเทียบกับนักเรียนคนอื่น ซึ่งสามารถส่งเสริมแรงจูงใจของนักเรียนได้ (Sariwat, 2014; Phosopa, 2015; Ekgatus, 2015) การประกาศคะแนนและลำดับของนักเรียนทันทีหลังเล่นเกม เป็นการให้ข้อมูลย้อนกลับทำให้นักเรียนทราบผลจากการเล่นเกมของตนเอง ทั้งที่เป็นความสำเร็จและความล้มเหลว ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนมีความพยายามมากขึ้น แรงจูงใจเพิ่มขึ้น (Intuyod, 2010; Kowtragul, 2013; Ekgatus, 2015) การสอนที่ให้เด็กปฏิบัติจริงอย่างการเล่นเกมช่วยส่งเสริมความสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนและช่วยให้เข้าใจบทเรียนได้ดีขึ้น ทำให้นักเรียนมีแรงจูงใจมากขึ้น (Ekgatus, 2015) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Partovi and Razavi (2019) ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมต่อแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมมีระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเดิม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Charles-Ogan, and Williams (2021) ศึกษาผลของการใช้เกมต่อแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ผลการศึกษา พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับมาก นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มากกว่านักเรียนที่ไม่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกม และหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมนักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ไม่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 และมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

2. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เรื่อง ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย มีระดับแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ระดับมากทั้ง 6 ด้าน โดยมีค่าเฉลี่ย 4.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานในขั้นที่ 2 ขั้นสอน ครูควรชี้แจงระยะเวลาที่นักเรียนใช้ในการเล่นเกมให้ชัดเจน เช่น 15 หรือ 20 นาที เพื่อให้นักเรียนทราบระยะเวลาที่ต้องใช้ในการเล่นเกมและเพื่อควบคุมไม่ให้นักเรียนเล่นเกมนานเกินไปจนหมดเวลา เพราะขั้นที่ 3 ขั้นสรุปเป็นขั้นตอนสำคัญที่ครูและนักเรียนจะได้ร่วมกันสรุปความรู้ที่ได้จากการเล่นเกม

2. ความพร้อมของนักเรียนมีผลต่อความสนใจเข้าร่วมกิจกรรม ครูควรตรวจสอบความพร้อมของนักเรียนก่อนเริ่มเล่นเกม ได้แก่ อุปกรณ์ สัญญาณอินเตอร์เน็ต ความพร้อมด้านสถานที่ ให้แน่ใจก่อนว่าพร้อมใช้งาน หรือกรณีที่เรียนออนไลน์อาจมีนักเรียนบางคนไม่สามารถพูดโต้ตอบกับครูได้อย่างเต็มที่เพราะสถานที่ที่นักเรียนพักอาศัยมีเสียงรบกวน ครูควรแนะนำให้นักเรียนพิมพ์โต้ตอบทางข้อความแชทแทน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำหลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขและติดตามการวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้อำนวยการและคณะครูโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อนุญาตให้ดำเนินการทำวิจัย และขอขอบใจนักเรียนที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี ทำให้วิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

Academic Affairs Rajabhat Maha Sarakham University Demonstration School. (2021). **Self-assessment report: SAR of the academic year 2020 .** Maha Sarakham: Rajabhat Maha Sarakham University Demonstration School.

Amornchewin, B. (2013). **Critical thinking** (in Thai). Bangkok: Parbpim Limited Partnership.

Anugulrungsa, S. (2011) Effects of minigames with self-regulation toward english critical reading achievement of twelfth grade students (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Chulalongkorn University.

Anukoolrangsan, S. (2011). Effects of Minigames with Self-Regulation Toward English Critical Reading Achievement of Twelfth Grade Students (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Chulalongkorn University.

Chaichuai, Y. and Srivilai, P. (2015). A comparison of argumentative and critical thinking abilities from learning socioscientific issues using the mixed methods based on the scientific method and problem–based learning method of grade 9 students with different learning achievement motivations (in Thai). **Valaya Alongkorn Review**, 5(1), 99-114.

Chaisiri, D. (2020). The Enhancement of learning motivation by using Blended learning with Gamification for Matthayomsueksa 4 students of Phudungnaree School (in Thai). **Master's Thesis**. Maha Sarakham: Rajabhat Maha Sarakham University.

Charles-Ogan, G. I. and Williams, C. (2021). Educational Games and Grade 11 Students' Motivation and Achievement in Algebra: The Sudoku Experience**. International Journal of Progressive Sciences and Technology.** 25(2). 377-381.

Chomchid, P. (2019). **Teaching behavior in science** (in Thai). Maha Sarakham: Taksila.

Chularut, P. (2020). **Cognitive psychology** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Cicchino, M. I. (2015). Using Game-Based Learning to Foster Critical Thinking in Student. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, 9(2), 1-18.

Ekgatus, P. (2015). **Psychology for Teacher** (in Thai). Maha Sarakham: Rajabhat Mahasarakham University Printing.

Ekkapim, S. (2017). Learning Environment and Classroom Management (in Thai). Maha Sarakham: Taksila.

Ennis, R. (2011). Critical thinking: reflection and perspective part I. **Inquiry Critical Thinking Across the Discipline**, 26(1), 10.

Indriani, M. N., Isnarto, I. and Mariani, S. (2019). The Implementation of PBL (Problem Based Learning) Model Assisted by Monopoly Game Media in Improving Critical Thinking Ability and Self Confidence. **Journal of Primary Education**, 8(2), 200-208.

Intuyod, N. (2010). **Educational psychology** (in Thai). Phetchabun: Institute of Physical Education.

Juan, Y. K. and Chao, T. W. (2015). Settings Game-Based Learning for Green Building Education. **MDPI Proceedings Journals**, 7(5), 5592-5608.

Khammani, T. (2018). **Assisted Instruction: Cognition for efficiency teaching** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University.

Kowtragul, S. (2013). Educational psychology (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University.

Kuha, A. (2018). **Psychology for Daily Life** (in Thai). Pattani: Saudarapress Pattani.

Kulvanich, N. and Phaibulpanich, A. (2018). "Sue-hirokari Sukoroko" (Binomial Distribution Learning Achievement and Satisfaction in Teaching Binomial Distribution using "Sue-hirokari Sukoroko" Board Game (in Thai). **KKU Science Journal**, 46(3), 572-584.

Organization for Economic Cooperation and Development. (2021). Are 15-year-olds prepared to deal with fake news and misinformation? Retrieved 15October 2021, from **GoToKnow:** https://shorturl.asia/ROcJS

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Panich, V. (2012a). **How to create learning for students in the 21st century** (in Thai). Bangkok: Sodsri-Saritwong Foundation.

Panich, V. (2012b). **Way of learning for students in the 21st century** (in Thai). Bangkok: Tathata Publication.

Partovi, T. and RezaRazavi, M.R. (2019). The effect of game-based learning on academic achievement motivation of elementary school students. **Learning and Motivation**, 68, 101592.

Phosopa, J. (2015). **Psychology and Guidance** (in Thai). Maha Sarakham: Taksila.

PISA Center Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2021). Assessment results PISA 2018 Reading literacy Mathematical and Literacy Scientific Literacy (in Thai). Retrieved 27 March 2022, from **GoToKnow:** https://shorturl.asia/vaMuI.

Saechia, T. (2017). Using strategy-based board games to develop the critical thinking skills of 9th grade students in large-sized schools of the basic education commission of Pathumthani (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Thammasat University.

Sariwat, L. (2014). **Psychology for teachers** (in Thai). Bangkok: O.S. Printing House CO., LTD.

Schwab, K. (2019). The Global Competitiveness Report 2019. Retrieved 15 October 2021, from **GoToKnow:** https://shorturl.asia/JM8v2

Shaffer D. W., Halverson R., Squire K. and Gee J. P. (2005). Video games and the future of learning. Retrieved 20 May 2022, from **GoToKnow:** https://shorturl.asia/uyYw2.

Sintapanon, S., Sukying, F., Weerakietsoontorn, J. and Naparat, P. (2019). **Teaching method...to develop youth Thai** (in Thai). Bangkok: 9119 Technic Printing LTD., Part.

Srisa-ard, B. (2010). **Basic research** (in Thai). Bangkok: Suriyasan.

Srisinthon, P. (2016). Integrating Learning Activities in Chinese Grammar Course A Study of Game Teaching. **Journal of Education Innovation and Research**, 2(1), 65-79.

Sriudomkij, T., Tanamai, S. and Soopeerak, S. (2020). The development of computer game-based instructional model using simulation and problem-solving process to enhance critical thinking of grade 6 students (in Thai). **Journal of Social Science and Buddhistic Anthropology**, 5(9), 381-396.

Tangkittipapron, J. (2018). **General psychology** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University.

The Ministry of Education. (2008). **The basic education core curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)** (in Thai). Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand Limited.

The Ministry of Education. (2017). **Learning standards and indicators mathematics science department and geography in social studies, religion and culture department (adjust B.E. 2560) the basic education core curriculum B.E. 2551** (in Thai). Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand.

Udomkaew, A. (2015). **Thinking skills** (in Thai). Nonthaburi: Something To Read Co.,Ltd.

Worakham, P. (2019). **Education research** (in Thai). Maha Sarakham: Taksila.

World Economic Forum. (2020). These are the top 10 job skills of tomorrow–and how long it takes to learn them. Retrieved 15 October 2021, from **GoToKnow:** https://shorturl.asia/XcwdU.

Yang, Y. T. C. and Chang, C. H. (2013). Empowering students through digital game authorship: Enhancing concentration, critical thinking, and academic achievement. **Computers and Education**, 68, 334-344.

บทความวิจัย

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ศุภิสรา จันทร์เพ็ง[1,*] จักรกฤษ กลิ่นเอี่ยม[1] และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์[1]
[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
**Email: supisaraj63@nu.ac.th*

รับบทความ: 15 พฤษภาคม 2565 แก้ไขบทความ: 31 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 1 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยผู้เข้าร่วมวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 โรงเรียนประจำจังหวัดแห่งหนึ่ง จำนวน 37 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 และใช้รูปแบบวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม และแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จะนำมาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการวิจัย พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีพัฒนาการทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยรวมอยู่ในระดับดี เมื่อพิจารณาตามองค์ประกอบย่อยทั้ง 4 ด้าน พบว่า ด้านที่นักเรียนพัฒนามากที่สุด คือ ด้านการทำความเข้าใจปัญหา รองลงมา คือ ด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์และด้านการตรวจสอบคำตอบ และด้านที่นักเรียนพัฒนาน้อยที่สุด คือ ด้านการดำเนินการแก้ปัญหา

คำสำคัญ: ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เกมมิฟิเคชัน ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น

อ้างอิงบทความนี้
ศุภิสรา จันทร์เพ็ง, จักรกฤษ กลิ่นเอี่ยม และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์. (2565). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 272-284. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.30

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

The development of learning activity based on mathematical modeling and gamification technique to promote mathematical problem-solving skill on graph and linear relations for grade-7 students

Supisara Janpeng[1,*], Chakkrid Klin-eam[1] and Wanintorn Poonpaiboonpipat[1]

[1]Mathematics Education, Master of Education, Faculty of Education, Naresuan University

**Email: supisaraj63@nu.ac.th*

Received <15 May 2022>; Revised <31 May 2022>; Accepted <1 June 2022>

Abstract

The purposes of this research were to study the effect of learning implementation using mathematical modeling and gamification techniques towards mathematical problem-solving skills on graphs and linear relationship for students in grade-7. The research participants were 37 students in grade-7, classroom 1/1 at a provincial school for the second semester of the academic year 2021. The methodology of this research was classroom action research. The research instruments were three lesson plans, worksheets, and a mathematical problem-solving skill test. The data were analyzed by content analysis. The results revealed that most students developed in good level of mathematical problem-solving skills. When considering four subcomponents of problem solving, problem comprehension is the most developed, followed by mathematical modeling and answer verification and problem solving is the least developed.

Keywords: Mathematical Modelling, Gamification, Mathematical problem-solving skills, Graphs and linear relationships

Cite this article:

Janpeng, S., Klin-eam, C. and Poonpaiboonpipat, W. (2022). The development of learning activity based on mathematical modeling and gamification technique to promote mathematical problem-solving skill on graph and linear relations for grade-7 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 272-284. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.30

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทต่อความเจริญก้าวหน้าของสังคมยุคใหม่ที่ใช้คณิตศาสตร์เป็นพื้นฐานในการศึกษาวิทยาศาสตร์วิวัฒนาการ เทคโนโลยีและศาสตร์อื่น ๆ และคณิตศาสตร์ยังมีส่วนช่วยในการพัฒนาทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 ได้ด้วย เช่น ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะการแก้ปัญหา เป็นต้น เนื่องจากคณิตศาสตร์ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และศาสตร์อื่น ๆ อันเป็นรากฐานในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลของชาติให้มีคุณภาพและพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศให้ทัดเทียมกับนานาชาติ การศึกษาคณิตศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทันสมัยและสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคม และความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในยุคโลกาภิวัตน์ (Ministry of Education, 2017)

การแก้ปัญหาเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนคณิตศาสตร์และมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวัน เนื่องจากในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์นักเรียนต้องใช้ความคิด ทักษะการคิดคำนวณ หลักการ กฎ หรือสูตรต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา และการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ช่วยทำให้นักเรียนมีความเข้าใจด้านเนื้อหา สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ด้วยเหตุนี้การแก้ปัญหาจึงมีความจำเป็นและเป็นสิ่งที่มีความสำคัญซึ่งจะช่วยให้นักเรียนพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทั้งในห้องเรียนและในชีวิตจริง (Isoda and Katagin, 2012) ซึ่งครูควรส่งเสริมและพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนให้สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและหลากหลาย ซึ่งทักษะการแก้ปัญหานั้นไม่ได้มุ่งเน้นที่คำตอบเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงการให้ความสำคัญกับกระบวนการหรือวิธีการที่ทำให้ได้มาซึ่งคำตอบ

แม้ว่าความสามารถในการแก้ปัญหาจะมีความจำเป็นต่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์ แต่ในปัจจุบันพบว่าความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เห็นได้จากผลการประเมินของโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ หรือ PISA ซึ่งจากผลการประเมิน PISA 2018 พบว่า คะแนนเฉลี่ยคณิตศาสตร์ของนักเรียนไทยอยู่ที่ 419 คะแนน เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของ OECD ซึ่งมีคะแนนมาตรฐานอยู่ที่ 489 คะแนน พบว่า ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอยู่ 70 คะแนน แต่มากกว่า PISA 2015 อยู่ 4 คะแนน (IPST, 2019) เนื่องจากผลการประเมินจาก PISA สามารถสะท้อนคุณภาพการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของเด็กไทยถึงกระบวนการเรียนการสอนในห้องเรียนที่ยังล้าหลัง เนื่องจากการประเมินผลของ PISA เน้นการคิดเชิงวิเคราะห์และแก้ปัญหา ดังนั้นการเรียนการสอนของไทยที่ล้าหลังจึงไม่สร้างการเรียนรู้ให้เด็กเกิดกระบวนการคิด เมื่อมีการวัดผลด้วยข้อสอบดังกล่าว พบว่า เด็กไทยทำข้อสอบที่เป็นอัตนัยและข้อสอบที่เป็นการอธิบายความไม่ค่อยได้ สะท้อนให้เห็นปัญหาการเรียนการสอนของไทยที่ส่วนใหญ่ ยังเน้นการสอนเนื้อหาวิชาและการท่องจำมากกว่าการพัฒนาความคิด ความสามารถในการคิดแก้ปัญหา เรียบเรียงและสื่อสารความคิด สอดคล้องกับข้อมูลโครงการ TIMSS 2015 (IPST, 2016) ที่พบว่านักเรียนไทยทำข้อสอบที่ต้องใช้ความสามารถในการคิดเชิงวิเคราะห์ การแก้ปัญหา ยกเหตุผลประกอบ หรือเขียนข้อความยาว ๆ ไม่ได้ ซึ่งเป็นผลทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ

สาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในวิชาคณิตศาสตร์ที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ครูจะเป็นผู้บรรยายอธิบายความรู้ให้นักเรียนฟังเพียงฝ่ายเดียว และมีการยกตัวอย่างให้นักเรียนดูบนกระดานเพียง 2 – 3 ตัวอย่าง หลังจากนั้นครูก็ให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดหรือแบบฝึกทักษะในหนังสือเรียน โดยที่นักเรียนต่างคนก็ต่างทำงานของตัวเอง ไม่ได้มีการฝึกให้นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม นักเรียนจึงมีวิธีการแก้ปัญหาเพียงวิธีเดียว คือ วิธีแก้ปัญหาที่ครูสอนตามตัวอย่าง เพราะนักเรียนไม่กล้าคิดแก้ปัญหาในวิธีการที่แตกต่างจากครู จึงทำให้นักเรียนมีวิธีการคิดที่ไม่หลากหลาย กิจกรรมการเรียนการสอนไม่ได้ส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกคิดหรือแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ นักเรียนไม่กล้าแสดงออกตามศักยภาพจึงทำให้เกิดความเบื่อหน่าย ไม่สนใจเรียน และมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ เช่นเดียวกับ Khunsri (2009) กล่าวว่า ครูขาดวิธีการสอนที่ถูกต้อง มักสอนด้วยวิธีเน้นแบบบรรยายให้นักเรียนฟังแล้วให้ทำแบบฝึกหัด สอนโดยมุ่งเน้นที่เนื้อหามากกว่ากระบวนการทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนน้อยจนไม่เกิดการคิดแก้ปัญหาด้วยตนเอง ซึ่งการจัดการเรียนการสอนในลักษณะดังที่กล่าวมาข้างต้นคล้ายกับการจัดการเรียนรู้ของโรงเรียนประจำจังหวัดแห่งหนึ่งที่ผู้วิจัยสอนอยู่ ที่นักเรียนมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ นักเรียนมองว่าการเรียนวิชาคณิตศาสตร์เป็นวิชาที่น่าเบื่อ ยาก ไม่ดึงดูดความสนใจ และไม่สนุกถึงแม้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาสาระเป็นอย่างดี แต่นักเรียนจำนวนไม่น้อยยังด้อยความสามารถเกี่ยวกับการแก้ปัญหา การแสดงหรืออ้างเหตุผล การสื่อสารหรือการนำเสนอแนวคิดทางคณิตศาสตร์ การเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาคณิตศาสตร์กับสถานการณ์ต่าง ๆ และความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียน ให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ อันจะเป็นพื้นฐานของการพัฒนาทักษะอื่น ๆ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

การจัดกิจกรรมคณิตศาสตร์ที่เน้นรูปธรรมให้นักเรียนได้ฝึกการคิดและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มีหลากหลายกระบวนการหนึ่งที่นักคณิตศาสตร์นำมาใช้ในการแก้ปัญหา คือ การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) ที่เป็นการเปลี่ยนปัญหาจากโลกแห่งความเป็นจริง (real world) ให้เป็นโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ จากนั้นใช้ความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์แก้โจทย์ปัญหา แล้วตีความผลเฉลยนำไปอธิบายคำตอบของปัญหาเหล่านั้น ดังนั้นการเรียนรู้ในห้องเรียนควรฝึกให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนสามารถจัดการกับปัญหาทั่วไปที่ไม่จำเป็นต้องเป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ (Saijam and Seebut, 2017) คือ การให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ปรับปรุงการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นตัวแทนและแก้ปัญหาสถานการณ์จริง ซึ่งนักเรียนควรเรียนรู้เลือกใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม และเครื่องมือในการแก้ปัญหาในสถานการณ์จริง การให้นักเรียนแสดงถึงความคล่องแคล่วด้านความคิดทางคณิตศาสตร์ในการสร้างคำอธิบายทางคณิตศาสตร์ในบริบทของปัญหาและข้อมูล เมื่อนักเรียนสามารถถอดความ อธิบาย วาดแผนภาพ จำแนกประเภท ค้นหาความสัมพันธ์ ค้นหาจำนวน หรือสร้างข้อความคาดการณ์ผ่านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของ GAIMME (2016) เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้มีกระบวนการในการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์และนำไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง และในการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จะมีการทำซ้ำและการแก้ไขจำนวนหลายครั้งทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจ และยังเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 ระบุปัญหา ขั้นตอนที่ 2 สร้างสมมติฐานและระบุตัวแปร ขั้นตอนที่ 3 ลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์ ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำ และขั้นตอนที่ 6 ใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

นอกจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงแล้ว การพัฒนาทักษะของนักเรียนในศตวรรษที่ 21 ที่จะให้นักเรียนสามารถเรียนรู้และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้นั้น ต้องใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้นักเรียนมีแรงจูงใจในการเรียน สนุก มีส่วนร่วมในกระบวนการจัดการเรียนรู้และทำให้นักเรียนเกิดความท้าทาย (Panich, 2012) ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดและกลไกของเกมมิฟิเคชันมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียน โดยอาศัยหลักการเล่นที่มีความสนุกสนาน บันเทิง ตื่นเต้น และท้าทายมาผสมเข้าด้วยกัน เพื่อให้นักเรียนเกิดความกระตือรือร้นในการเรียน เรียนอย่างมีความสุข สนุกสนาน และยังได้มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมต่าง ๆ จนเกิดพฤติกรรมที่พึงประสงค์ มีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ และยังส่งเสริมการเรียนรู้ การแก้ปัญหา และสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ให้กับนักเรียนจนสามารถทำงานได้อย่างสำเร็จและมีประสิทธิภาพ ซึ่งเกมมิฟิเคชัน คือ กระบวนการในกิจกรรมต่าง ๆ ที่นำแนวคิด รูปแบบกลไกของเกมมาประยุกต์ใช้กับการจัดการเรียนรู้เพื่อกระตุ้นความสนใจ ส่งเสริมการเรียนรู้ การแก้ปัญหา และสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ให้กับนักเรียน ทำให้นักเรียนเกิดพฤติกรรมในการเรียนที่เหมาะสม จนสามารถทำงานได้อย่างสำเร็จและมีประสิทธิภาพ ซึ่งองค์ประกอบของเกมมิฟิเคชัน คือ 1) คะแนน (Points) นักเรียนสามารถสะสมคะแนนได้จากการมีส่วนร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้ โดยจำนวนคะแนนที่มอบให้นักเรียนขึ้นอยู่กับข้อตกลงหรือกติกาที่ได้กำหนดไว้ 2) ระดับขั้น (Levels) นักเรียนจะต้องมีความพยายามในการมีส่วนร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสะสมคะแนนให้ครบตามที่กำหนดจึงจะสามารถเลื่อนระดับขั้นของตนเองให้สูงขึ้นได้ตามลำดับ 3) เหรียญตราสัญลักษณ์ (Badges) นักเรียนที่ทำภารกิจที่ได้รับมอบหมายสำเร็จหรือสะสมคะแนนครบตามที่กำหนด จะได้รับเหรียญตราสัญลักษณ์ซึ่งอาจเป็นรางวัลหรือสิทธิพิเศษขึ้นอยู่กับดวงของนักเรียนในการเปิดการ์ด 4) กระดานจัดอันดับ (Leaderboards) นักเรียนแต่ละคนสามารถตรวจสอบคะแนนสะสมของตนเองในแต่ละวันได้จากโปรแกรม Class123 และ 5) ความท้าทาย (Challenge) นักเรียนจะต้องทำใบกิจกรรมที่มีความท้าทายโดยการร่วมกันคิดหาวิธีในการแก้ปัญหาภายในกลุ่มของตนเองจนสามารถแก้ปัญหาที่กำหนดให้จนสำเร็จ แนวคิดนี้ได้เริ่มนำมาปรับใช้ทางการศึกษามากขึ้น จึงทำให้นักเรียนมีความสนใจในการเรียนมากขึ้น และมีแรงกระตุ้นในการเรียนรู้แก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ สอดคล้องกับ Glover (2013) ที่กล่าวว่า เกมมิฟิเคชันเป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่ทำให้นักเรียนมีแรงจูงใจในการเรียน เป็นการเรียนการสอนที่สนุกสนานเน้นนักเรียนเป็นสำคัญ มีบทบาทและส่วนร่วมในการดำเนินการเรียนการสอนใช้แนวคิดของเกมเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการเรียนการสอน กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ โดยเป้าหมายหลักเพื่อต้องการกระตุ้นความสนใจ สร้างความผูกพัน และส่งเสริมให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมเกิดพฤติกรรมใด ๆ ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสนใจในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 โรงเรียนประจำจังหวัดแห่งหนึ่ง จำนวน 37 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชัน เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ใช้เวลาทั้งหมด 9 ชั่วโมง ประกอบด้วย

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง คู่อันดับและกราฟของคู่อันดับ จำนวน 3 ชั่วโมง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง กราฟและการนำไปใช้ จำนวน 3 ชั่วโมง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง ความสัมพันธ์เชิงเส้น จำนวน 3 ชั่วโมง

ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ และครูวิทยฐานะชำนาญการพิเศษวิชาคณิตศาสตร์ เพื่อประเมินตรวจสอบความเหมาะสมในแต่ละด้าน ได้แก่ ด้านจุดประสงค์การเรียนรู้ ด้านสาระการเรียนรู้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ซึ่งแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยใช้แบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ตามแบบลิเคิร์ท (Likert) โดยมีค่าเฉลี่ยทุกด้านเท่ากับ 4.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.44 ซึ่งถือว่าแผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมีความเหมาะสมมากและสามารถนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ และผู้วิจัยปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ ปรับแก้กิจกรรมการเรียนรู้ขั้นการสอนในแผนการจัดการเรียนรู้ให้ตรงกับนิยามศัพท์เฉพาะที่ได้กำหนดไว้

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 ใบกิจกรรม เป็นส่วนหนึ่งของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการของทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ สถานการณ์ปัญหาในแต่ละใบกิจกรรมจะต้องดำเนินการตามกระบวนการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ทั้ง 6 ขั้นตอน และใบกิจกรรมเป็นรูปแบบอัตนัย จำนวน 3 ใบกิจกรรม เป็นการเขียนตอบแบบอิสระ โดยใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง แผนที่ของฉัน ใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง รายงานผ่านกราฟ และใบกิจกรรมที่ 3 เรื่อง นักค้นหา ซึ่งข้อคำถามย่อยในแต่ละใบกิจกรรมจะส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามองค์ประกอบย่อย คือ การทำความเข้าใจปัญหา การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ การดำเนินการแก้ปัญหา และการตรวจสอบคำตอบ และผู้วิจัยปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญด้วย คือ ปรับแก้สถานการณ์ในใบกิจกรรมให้เป็นสถานการณ์ที่อยู่ในชีวิตจริง ท้าทาย เนื่องจากกิจกรรมที่ออกแบบมายังไม่ค่อยท้าทายผู้เรียนเท่าที่ควร

2.2.2 แบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น ใช้ประเมินทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาทั้ง 3 แผน คือ ข้อคำถามที่ 1 สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ข้อคำถามที่ 2 สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 และข้อคำถามที่ 3 สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 โดยแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วย 3 ข้อคำถาม แต่ละคำถามจะมี 5 คำถามย่อย คำถามย่อยที่ 1 วัดการทำความเข้าใจปัญหา คำถามย่อยที่ 2 วัดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ คำถามย่อยที่ 3 วัดการดำเนินการแก้ปัญหา คำถามย่อยที่ 4 วัดการตรวจสอบคำตอบ และคำถามย่อยที่ 5 เป็นคำถามที่ให้นักเรียนยกตัวอย่างสถานการณ์ในชีวิตจริง และใช้รูปแบบการตอบแบบเขียนตอบอิสระ ผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เสนอผู้เชี่ยวชาญชุดเดียวกับที่ตรวจแผนการจัดการเรียนรู้และใบกิจกรรม จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อข้อคำถามแต่ละข้อ พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีความตรงเชิงเนื้อหา เท่ากับ 1.00 ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ และผู้วิจัยปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญด้วย คือ ปรับแก้สถานการณ์ในแบบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ให้มีความแตกต่างกับสถานการณ์ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ปฐมนิเทศและชี้แจงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียน

2. ดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น จำนวน 3 แผน ใช้เวลาทั้งหมด 9 ชั่วโมง ในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผน นักเรียนจะทำใบกิจกรรมแบบรายบุคคล

3. เมื่อดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบประเมินแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. นำผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากการตอบคำถามของนักเรียนใบกิจกรรมและแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content Analysis) และจัดระดับตามทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามองค์ประกอบย่อยรายด้าน โดยแบ่งคำตอบของนักเรียนในแต่ละด้านออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ดี (2) พอใช้ (1) ปรับปรุง (0) ตามลำดับ แล้วแสดงร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับ จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรมและแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มาเปรียบเทียบกัน เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงเกณฑ์การประเมินทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 1 และเกณฑ์ระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยรวม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ	เกณฑ์การพิจารณา
1. การทำความเข้าใจปัญหา	2 (ดี)	- นักเรียนสามารถระบุประเด็นปัญหา สามารถเขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดและสิ่งที่โจทย์ต้องการหาได้อย่างถูกต้อง
	1 (พอใช้)	- นักเรียนสามารถระบุประเด็นปัญหา สามารถเขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดและสิ่งที่โจทย์ต้องการหาได้ถูกต้องบางส่วน
	0 (ปรับปรุง)	- นักเรียนไม่สามารถระบุประเด็นปัญหา และเขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดและสิ่งที่โจทย์ต้องการหาได้
2. การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์	2 (ดี)	- นักเรียนสามารถกำหนดตัวแปรให้กับสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการหา และสามารถสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จากสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ได้ เพื่อสร้างออกมาเป็นคู่อันดับหรือกราฟหรือสมการที่สอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ได้ถูกต้อง
	1 (พอใช้)	- นักเรียนสามารถกำหนดตัวแปรให้กับสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการหา และสามารถสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จากสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ได้ เพื่อสร้างออกมาเป็นคู่อันดับหรือกราฟหรือสมการที่สอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ได้เพียงบางส่วน
	0 (ปรับปรุง)	- นักเรียนไม่สามารถกำหนดตัวแปรให้กับสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการหา และไม่สามารถสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จากสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ได้
3. การดำเนินการแก้ปัญหา	2 (ดี)	- นักเรียนสามารถดำเนินการตามขั้นตอนกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง
	1 (พอใช้)	- นักเรียนสามารถดำเนินการตามขั้นตอนกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง แต่หาผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้อง หรือ - นักเรียนสามารถดำเนินการตามขั้นตอนกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องเพียงบางส่วน
	0 (ปรับปรุง)	- นักเรียนไม่สามารถดำเนินการตามขั้นตอนกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้
4. การตรวจสอบคำตอบ	2 (ดี)	- นักเรียนสามารถตรวจสอบคำตอบหรือผลลัพธ์ให้สอดคล้องกับข้อมูลและเงื่อนไขที่กำหนดในปัญหา และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ได้ครบทุกประเด็นปัญหา
	1 (พอใช้)	- นักเรียนสามารถตรวจสอบคำตอบหรือผลลัพธ์ให้สอดคล้องกับข้อมูลและเงื่อนไขที่กำหนดในปัญหา และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ได้เพียงบางประเด็นปัญหา
	0 (ปรับปรุง)	- นักเรียนไม่สามารถตรวจสอบคำตอบหรือผลลัพธ์

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ตารางที่ 2 เกณฑ์ระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยรวม

ช่วงคะแนน	ระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์
6 – 8	ดี
3 – 5	พอใช้
0 – 2	ปรับปรุง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ระหว่างการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชัน เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น

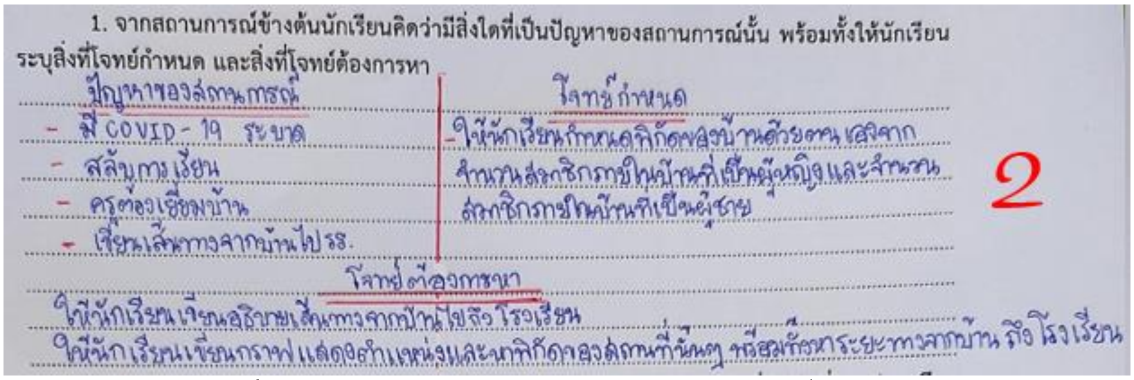
ผลการวิเคราะห์ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้ใบกิจกรรมในแต่ละแผน ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามองค์ประกอบรายด้าน จากใบกิจกรรมที่ 1 – 3

ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	ใบกิจกรรมที่	ระดับความสามารถ	จำนวน	ร้อยละ
การทำความเข้าใจปัญหา	1	ดี	19	51.35
	2	ดี	25	67.57
	3	ดี	23	62.16
การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์	1	ดี	20	54.05
	2	ดี	21	56.76
	3	ดี	19	51.35
การดำเนินการแก้ปัญหา	1	พอใช้	24	64.86
	2	ดี	20	54.05
	3	ดี	19	51.35
การตรวจสอบคำตอบ	1	พอใช้	27	72.97
	2	พอใช้	19	51.35
	3	ดี	21	56.76
ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยรวม	1	พอใช้	19	51.35
	2	ดี	22	59.46
	3	ดี	24	64.86

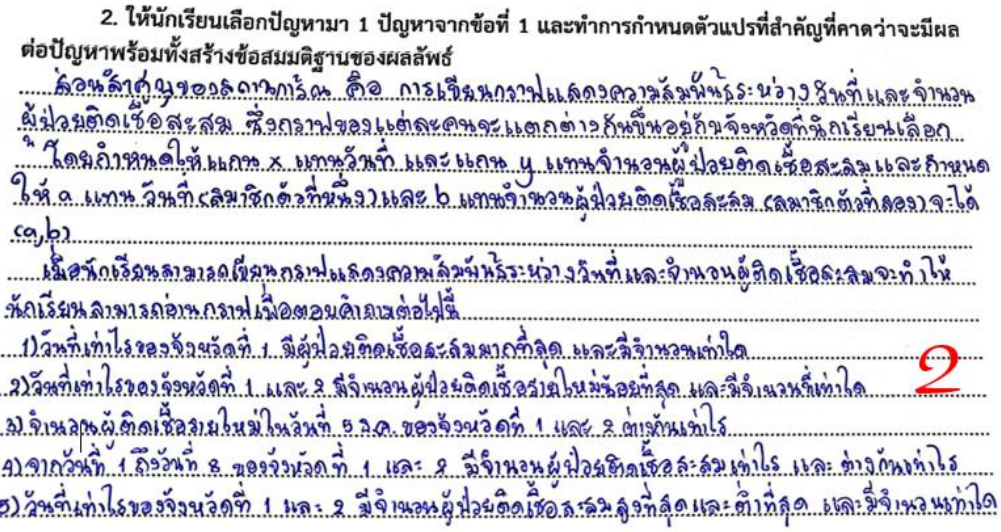
ตารางที่ 3 ในใบกิจกรรมที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการทำความเข้าใจปัญหา ด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์อยู่ในระดับดี ด้านการดำเนินการแก้ปัญหา และด้านการตรวจสอบคำตอบอยู่ในระดับพอใช้ ในใบกิจกรรมข้อที่ 2 นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการทำความเข้าใจปัญหา ด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ด้านการดำเนินการแก้ปัญหาอยู่ในระดับดี และด้านการตรวจสอบคำตอบอยู่ในระดับพอใช้ ในคำถามข้อที่ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการทำความเข้าใจปัญหา ด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ด้านการดำเนินการแก้ปัญหา และด้านการตรวจสอบคำตอบอยู่ในระดับดี ทั้งนี้ผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างการเขียนตอบของนักเรียนที่มีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ในแต่ละด้าน ดังภาพที่ 1 – 4

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลงานนักเรียนด้านการทำความเข้าใจปัญหาที่อยู่ในระดับดี
จากใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง แผนที่ของฉัน

ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถระบุปัญหาของสถานการณ์ได้ คือ สามารถเขียนปัญหาของสถานการณ์ เขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดและสิ่งที่โจทย์ต้องการหาได้อย่างครบถ้วนและถูกต้อง จัดอยู่ในระดับดี

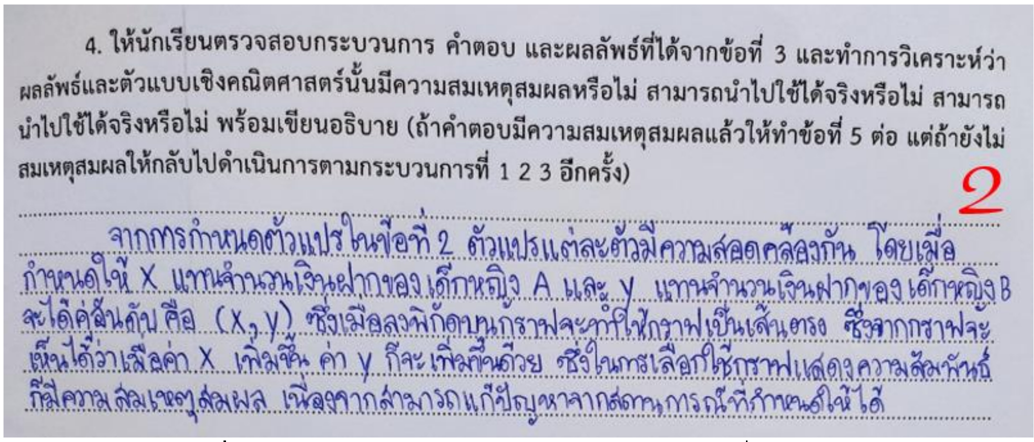


ภาพที่ 2 ตัวอย่างผลงานนักเรียนด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่อยู่ในระดับดี
จากใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง รายงานผ่านกราฟ

ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้ โดยนักเรียนสามารถกำหนดตัวแปรให้กับสถานการณ์ปัญหาได้อย่างถูกต้องและมีความสอดคล้องกับสถานการณ์ จัดอยู่ในระดับดี

ภาพที่ 3 ตัวอย่างผลงานนักเรียนด้านการดำเนินการแก้ปัญหาที่อยู่ในระดับดี
จากใบกิจกรรมที่ 3 เรื่อง นักค้นหา

ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถดำเนินการแก้ปัญหาได้ โดยนักเรียนสามารถลงมือดำเนินการตามกระบวนการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและละเอียด ครบถ้วน จัดอยู่ในระดับดี


4. ให้นักเรียนตรวจสอบกระบวนการ คำตอบ และผลลัพธ์ที่ได้จากข้อที่ 3 และทำการวิเคราะห์ว่าผลลัพธ์และตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์นั้นมีความสมเหตุสมผลหรือไม่ สามารถนำไปใช้ได้จริงหรือไม่ สามารถนำไปใช้ได้จริงหรือไม่ พร้อมเขียนอธิบาย (ถ้าคำตอบมีความสมเหตุสมผลแล้วให้ทำข้อที่ 5 ต่อ แต่ถ้ายังไม่สมเหตุสมผลให้กลับไปดำเนินการตามกระบวนการที่ 1 2 3 อีกครั้ง)

2

จากการกำหนดตัวแปรในข้อที่ 2 ตัวแปรแต่ละตัวมีความสอดคล้องกัน โดยเมื่อกำหนดให้ x แทนจำนวนเงินฝากของเด็กหญิง A และ y แทนจำนวนเงินฝากของเด็กหญิง B จะได้คู่อันดับ คือ (x, y) ซึ่งเมื่อลงพิกัดบนกราฟจะทำให้กราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อค่า x เพิ่มขึ้น ค่า y ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในการเลือกใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ก็มีความสมเหตุสมผล เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้

ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลงานนักเรียนด้านการตรวจสอบคำตอบที่อยู่ในระดับดี
จากใบกิจกรรมที่ 3 เรื่อง นักค้นหา

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถตรวจสอบกระบวนการ คำตอบ และผลลัพธ์ได้ โดยนักเรียนสามารถอธิบายการวิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจนและละเอียด จัดอยู่ในระดับดี

2. ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชัน เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น

หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชัน เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งมีทั้งหมด 3 ข้อ ผลดังตางรางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามองค์ประกอบรายด้าน จากแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้นข้อที่ 1 – 3

ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	ข้อที่	ระดับความสามารถ	จำนวน	ร้อยละ
การทำความเข้าใจปัญหา	1	ดี	26	70.27
	2	ดี	28	75.68
	3	ดี	31	83.78
การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์	1	ดี	22	59.46
	2	ดี	21	56.76
	3	ดี	24	64.86
การดำเนินการแก้ปัญหา	1	พอใช้	19	51.35
	2	ดี	22	59.46
	3	ดี	23	62.16
การตรวจสอบคำตอบ	1	ดี	21	56.76
	2	ดี	19	51.35
	3	ดี	27	72.97
ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยรวม	1	ดี	20	54.05
	2	ดี	23	62.16
	3	ดี	26	70.27

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่มีระดับทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยรวมทั้ง 3 ข้อ จากแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มสูงขึ้น เริ่มจากข้อที่ 1 มีนักเรียนจำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 54.05 มีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี ข้อที่ 2 มีนักเรียนจำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 62.16 มีระดับความสามารถ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

อยู่ในระดับดี และข้อที่ 3 มีนักเรียนจำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 70.27 มีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี ซึ่งจำนวนนักเรียนที่อยู่ในระดับดีมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนได้วิเคราะห์จนสามารถทำความเข้าใจปัญหาและสามารถระบุปัญหาได้จนทำให้ในข้อคำถามแต่ละข้อมีจำนวนนักเรียนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และมีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์นักเรียนส่วนใหญ่สามารถกำหนดตัวแปรได้ถึงแม้จะมีนักเรียนบางส่วนอาจจะกำหนดไม่ถูกต้องจึงทำให้ข้อคำถามข้อที่ 2 มีจำนวนนักเรียนลดลงจากข้อคำถามข้อที่ 1 แต่ทั้งสองข้อคำถามยังคงอยู่ในระดับดี และในข้อคำถามข้อที่ 3 มีจำนวนนักเรียนเพิ่มมากขึ้นจากข้อคำถามข้อที่ 1 และ 2 การดำเนินการแก้ปัญหานักเรียนส่วนใหญ่มีพัฒนาการที่ดีขึ้นตามลำดับ โดยนักเรียนสามารถเขียนขั้นตอนการแก้ปัญหาได้แต่มีนักเรียนบางส่วนที่ยังเขียนขั้นตอนการแก้ปัญหายังไม่ละเอียดจึงทำให้ข้อคำถามข้อที่ 1 มีระดับความสามารถอยู่ในระดับพอใช้ และในข้อคำถามข้อที่ 2 และ 3 นักเรียนสามารถดำเนินการแก้ปัญหาได้อย่างละเอียดมากขึ้น จึงทำให้มีจำนวนนักเรียนเพิ่มมากขึ้น และมีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี และการตรวจสอบคำตอบนักเรียนส่วนใหญ่สามารถเขียนอธิบายความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ และตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้ถึงแม้ว่าจะมีนักเรียนบางส่วนยังเขียนอธิบายยังไม่ครบถ้วน ชัดเจน จึงทำให้ข้อคำถามข้อที่ 2 มีจำนวนนักเรียนลดลงจากข้อคำถามข้อที่ 1 แต่ทั้งสองข้อคำถามยังคงอยู่ในระดับดี และในข้อคำถามข้อที่ 3 มีจำนวนนักเรียนเพิ่มมากขึ้นจากข้อคำถามข้อที่ 1 และ 2

อภิปรายผล

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชัน เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สามารถช่วยส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ ซึ่งทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการทำความเข้าใจปัญหานั้นนักเรียนมีพัฒนาการที่ดีขึ้นสังเกตได้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ในขั้นตอนที่ 1 ระบุปัญหา พบว่า นักเรียนสามารถทำความเข้าใจ วิเคราะห์ ตีความสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ได้จนสามารถเขียนปัญหาของสถานการณ์ เขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดและสิ่งที่โจทย์ต้องการหาออกมาได้ ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนน คือถ้านักเรียนคนใดสามารถเขียนระบุปัญหาได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนจะได้รับคะแนน 2 คะแนน ถ้าเขียนระบุปัญหาไม่ครบถ้วนจะได้รับคะแนน 1 คะแนน และถ้าไม่สามารถเขียนระบุปัญหาได้จะได้รับคะแนน 0 คะแนน และความท้าทายการออกแบบสถานการณ์ในใบกิจกรรมและการร่วมกันแก้ปัญหาเป็นกลุ่มเข้ามาช่วยเพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนมีความกระตือรือร้น ดึงดูดความสนใจในการทำกิจกรรมของนักเรียน และทำให้การเรียนมีความสนุกสนานไม่น่าเบื่อ จากผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการทำความเข้าใจปัญหาโดยรวมอยู่ในระดับดี ส่วนทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์นั้นนักเรียนมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นจากเดิมสังเกตได้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ในขั้นตอนที่ 2 สร้างสมมติฐานและระบุตัวแปร พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถเลือกส่วนสำคัญของปัญหาจากการทำกิจกรรมในขั้นตอนที่ 1 เพื่อนำปัญหาเหล่านั้นมากำหนดตัวแปรและแปลงให้เป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ในรูปของคู่อันดับ กราฟ สมการ เป็นต้น ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนน คือถ้านักเรียนคนใดสามารถกำหนดตัวแปรและตั้งสมมติฐานจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้จะได้รับคะแนน 2 คะแนน ถ้ากำหนดตัวแปรหรือตั้งสมมติฐานจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งจะได้รับคะแนน 1 คะแนน และถ้าไม่สามารถกำหนดตัวแปรและตั้งสมมติฐานจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้จะได้รับคะแนน 0 คะแนน เข้ามาช่วยเพื่อให้นักเรียนสนใจ ใส่ใจในการเลือกปัญหาและการกำหนดตัวแปร และยังทำให้บรรยากาศในการเรียนสนุกไม่น่าเบื่ออีกต่อไป จากผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยรวมอยู่ในระดับดี ส่วนทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการดำเนินการแก้ปัญหานั้นนักเรียนมีพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นสังเกตได้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ในขั้นตอนที่ 3 ลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ สามารถลงจุดบนระบบพิกัดฉาก เขียนและอ่านกราฟ รวมถึงแก้สมการได้ แต่อาจจะมีเขียนไม่ละเอียดบ้าง ข้ามขั้นตอนบ้าง แต่ก็ถือว่าโดยรวมนักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้ ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนน คือถ้านักเรียนคนใดสามารถลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์จะได้รับคะแนน 2 คะแนน ถ้าขั้นตอนถูกแต่คำตอบผิดหรือขั้นตอนผิดคำตอบถูกจะได้รับคะแนน 1 คะแนน และถ้าทำไม่ถูกเลยจะได้รับคะแนน 0 คะแนน และความท้าทายการออกแบบสถานการณ์ในใบกิจกรรมและการร่วมกันแก้ปัญหาเป็นกลุ่มเข้ามาช่วยเพื่อเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างละเอียด ครบถ้วน และถูกต้อง และยังสามารถทำให้นักเรียนตระหนักถึงการเขียนขั้นตอนในการแก้ปัญหา จากผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการดำเนินการแก้ปัญหาโดยรวมอยู่ในระดับดี และส่วนทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการตรวจสอบคำตอบนั้นนักเรียนมีพัฒนาการชัดเจนขึ้นสังเกตได้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ในขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถวิเคราะห์ ตีความสถานการณ์ปัญหา อภิปรายกระบวนการในการแก้ปัญหา สามารถพิจารณา

ความสมเหตุสมผล และสามารถเขียนอธิบายถึงการได้มาของคำตอบหรือผลลัพธ์และตัวแปรต่าง ๆ ได้ ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนน คือถ้านักเรียนคนใดสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดจากตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ได้ครบถ้วนและถูกต้องจะได้รับคะแนน 2 คะแนน ถ้านักเรียนคนใดสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดจากตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ได้เพียงบางส่วนจะได้รับคะแนน 1 คะแนน และถ้านักเรียนคนใดไม่สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดจากตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้จะได้รับคะแนน 0 คะแนน ส่วนเหรียญตราสัญลักษณ์คือเมื่อนักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาในขั้นตอนนี้ได้สำเร็จนักเรียนจะได้ เปิดการ์ด และความท้าทายการออกแบบสถานการณ์ในใบกิจกรรมและการร่วมกันแก้ปัญหาเป็นกลุ่มเข้ามาช่วยเพื่อเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างละเอียด ครบถ้วน และถูกต้อง และยังสามารถทำให้นักเรียนตระหนักถึงการเขียนขั้นตอนในการแก้ปัญหา จากผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้านการตรวจสอบคำตอบโดยรวมอยู่ในระดับดี ทั้งนี้โดยภาพรวมพบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้าง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันสามารถส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของ Meesuk (2015) ได้ศึกษากิจกรรมการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างพฤติกรรมการมีส่วนร่วมของนักเรียนโดยใช้เทคนิคเกมมิฟิเคชัน สำหรับนักเรียนห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนอนุกูลนารี พบว่า 1) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคเกมมิฟิเคชัน ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน เป็นกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจมีความสนุกสนาน มีความสุขกับการเรียนและการได้ลงมือปฏิบัติค้นคว้าความรู้ต่าง ๆ ด้วยตนเอง ได้ร่วมอภิปรายกับครูและนักเรียนในชั้นเรียนส่งผลให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชามากขึ้น 2) นักเรียนมีพฤติกรรมการมีส่วนร่วมกับการเรียนอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง 3) มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสูง 4) มีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มากที่สุด สอดคล้องกับข้อสรุปของ Kanthawat (2018) พบว่าแนวทางในการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ควรให้ความสำคัญกับการเลือกสถานการณ์ที่มีความน่าสนใจหรือใกล้เคียงกับประสบการณ์ของนักเรียน ร่วมกับการใช้คำถามปลายเปิด และการอภิปรายในชั้นเรียนเพื่อส่งเสริมการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น วิเคราะห์ ตีความประเมินผลลัพธ์ และความรอบคอบในการทำงานของนักเรียน สำหรับผลของการประเมินการรู้เรื่องคณิตศาสตร์พบว่า นักเรียนมีระดับการรู้เรื่องคณิตศาสตร์ในระดับ 3-4 นั่นคือ นักเรียนสามารถระบุประเด็นปัญหาจากสถานการณ์ได้เหมาะสมและสอดคล้อง สามารถสร้างตัวแปรเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา ในการทำกระบวนการเชิงคณิตศาสตร์ เลือกใช้หลักการ กลยุทธ์ได้อย่างถูกต้อง และสามารถเลือกสถานการณ์พร้อมอธิบายการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับข้อสรุปของ Hayamin (2015) ได้ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การแปรผันสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่าความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังจากได้รับการจัดการเรียนโดยใช้กระบวนการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับข้อสรุปของ Yuangklang (2017) ได้ศึกษาองค์ประกอบและผลการใช้ระบบการเรียนการสอนแบบผสมผสานโดยใช้เกมมิฟิเคชันเป็นฐานเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาและทักษะการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์สู่ชีวิตจริงระดับประถมศึกษา ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบการเรียนการสอนที่พัฒนา มี 5 องค์ประกอบ คือ (1) ปัจจัยนำเข้า (2) กระบวนการ (3) การควบคุม (4) ผลลัพธ์ (5) ข้อมูลป้อนกลับ การจัดกระบวนการเรียนการสอน แบ่งออก 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นการเตรียมก่อนการเรียนการสอน และขั้นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมี 6 ขั้น ได้แก่ ขั้นนำเสนอสถานการณ์ปัญหา ขั้นสอน มี 4 กิจกรรม ได้แก่ (1) ค้นหาปัญหา (2) วางแผน (3) ดำเนินการแก้ปัญหา (4) การนำเสนอผลและตรวจสอบการแก้ปัญหา ขั้นสรุปความคิดรวบยอด ขั้นฝึกทักษะ ขั้นประยุกต์ใช้ และขั้นประเมินผล กระบวนการเกมมิฟิเคชัน ประกอบด้วย (1) แต้มสะสม (2) เหรียญตราสัญลักษณ์ (3) ลำดับขั้น (4) ตารางอันดับ (5) ความท้าทาย 2) นักเรียนมีทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ทักษะการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์สู่ชีวิตจริงและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อระบบการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับมาก

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชัน เรื่อง กราฟและความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบย่อย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การทำความเข้าใจปัญหา ผลจากใบกิจกรรมแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี โดยเห็นได้จากนักเรียนสามารถวิเคราะห์และทำความเข้าใจในสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ จึงสามารถระบุปัญหาของสถานการณ์ สามารถเขียนสิ่งที่โจทย์กำหนดและสิ่งที่โจทย์ต้องการหาได้ และยังมีการนำเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

และความท้าทายเข้ามาช่วยเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนได้คิด และดึงดูดความสนใจของนักเรียนในการทำกิจกรรม ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยนักเรียนสามารถทำคะแนนได้ดีในการทำความเข้าใจปัญหา และมีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันช่วยส่งเสริมการทำความเข้าใจปัญหาได้

2. การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ผลจากใบกิจกรรมแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี โดยเห็นได้จากนักเรียนสามารถเลือกส่วนสำคัญของปัญหาจากข้อที่ 1 เพื่อนำปัญหามาแปลงให้เป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ในรูปของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน และยังมีการนำเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนนและความท้าทายเข้ามากระตุ้นให้นักเรียนเกิดความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรม และมีการใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการคิดแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยนักเรียนสามารถกำหนดตัวแปรให้กับสถานการณ์และแปลงปัญหาในชีวิตจริงให้เป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ และมีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันช่วยส่งเสริมการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้

3. การดำเนินการแก้ปัญหา ผลจากใบกิจกรรมแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี โดยเห็นได้จากนักเรียนสามารถนำตัวแปรทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดไว้จากข้อที่ 2 มาสร้างเป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และมีการดำเนินการแก้ปัญหาตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ และยังมีการนำเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนนและความท้าทายเข้ามากระตุ้นให้นักเรียนสามารถดำเนินการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้น ละเอียด ครบถ้วน และถูกต้องได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยนักเรียนสามารถเลือกวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมและลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ และมีระดับความสามารถอยู่ในระดับดี ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันช่วยส่งเสริมการดำเนินการแก้ปัญหาได้

4. การตรวจสอบคำตอบ ผลจากใบกิจกรรมแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีพัฒนาการดีขึ้น โดยเห็นได้จากนักเรียนสามารถเขียนอธิบายการวิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์ได้ดีขึ้นจากเดิม สามารถตรวจสอบความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์และตรวจสอบตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น และยังมีการนำเสนอผลงานของนักเรียนเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง จากนั้นยังมีการนำเทคนิคเกมมิฟิเคชันในส่วนของคะแนน เหรียญตราสัญลักษณ์ และความท้าทายเข้ามาช่วยเป็นตัวกระตุ้นคิดและเป็นรางวัลให้กับนักเรียนที่ทำใบกิจกรรมครบถ้วนตามที่กำหนด ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยนักเรียนสามารถเลือกวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมและลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ และนักเรียนมีพัฒนาการที่ดีขึ้น ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันช่วยส่งเสริมการตรวจสอบคำตอบได้

จากการวิจัยพบว่า เกมมิฟิเคชันช่วยให้สามารถพัฒนาการเรียนการสอนให้มีศักยภาพและประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ สามารถสร้างแรงแรงจูงใจในการเรียนให้นักเรียน การมีส่วนร่วมในห้องเรียน ความสนใจและใส่ใจในการเรียน การกระตุ้นการอยากเรียนรู้ด้วยการให้รางวัลกับนักเรียน ทำให้นักเรียนมีความสนุกสนานในการเรียน สามารถเรียนรู้ จดจำ เข้าใจ และนำไปใช้ได้ และเกมมิฟิเคชันยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเรื่องอื่น ๆ ได้ เนื่องจากสามารถส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการคิดแก้ปัญหาของนักเรียนได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1 ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยการแปลงปัญหาทั่วไปให้เป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นครูควรสร้างสถานการณ์ปัญหาที่ให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลาย และสถานการณ์จะต้องมีความเหมาะสม น่าสนใจ เพื่อจะเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนมีความสนใจในการทำกิจกรรมมากขึ้น และเป็นสถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง

1.2 การออกแบบเกมเพื่อใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้วิจัยควรออกแบบเกมที่ให้นักเรียนสามารถพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้ เพื่อดึงดูดความสนใจของนักเรียนและกระตุ้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และควรคำนึงถึงความสนใจของนักเรียนในปัจจุบันหรืออาจจะเป็นรูปแบบของเกมที่นักเรียนเลือกเล่นผ่าน Smart phone, Computer และ Tablet เพื่อสร้างเกมที่สอดคล้องกับความต้องการ ความสนใจของนักเรียนในขณะนั้น และยังสามารถสร้างแรงจูงใจในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ ซึ่งถ้าผู้วิจัยได้ออกแบบเกมตามที่กล่าวมาข้างต้นอาจจะช่วยดึงดูดความสนใจของนักเรียนเพิ่มมากขึ้นได้

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเพื่อส่งเสริมทักษะการให้เหตุผล เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับเทคนิคเกมมิฟิเคชันเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนแก้ปัญหาสถานการณ์ในชีวิตจริงโดยการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่าง ๆ และยังมีการวิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์ เพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบและตรวจสอบตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ตลอดจนมีการนำเสนอผลงานโดยการอธิบายถึงการได้มาของคำตอบหรือผลลัพธ์และตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งอาจจะช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวมาได้

เอกสารอ้างอิง

GAIMME. (2016). **Guidelines for Assessment & Instruction in Mathematical Modeling Education**. United States of America: Printed and bound in the United States of America.

Glover, I. (2013). Play as You Learn: Gamification as a Technique for Motivating Learners. In: Herrington, J., Couros, A. and Irvine, V., Eds., **Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications AACE**. Sheffield Hallam: Sheffield Hallam University.

Hayamin, S. (2015). The Effect of using mathematical models to develop of mathematical problem solving on variation for grade 8 students. **Master's thesis**. Phitsanulok: Naresuan University.

Isoda, M. and Katagin, S. (2012). Mathematical thinking, how to develop it in classroom**. In Stacey, Tall, Isoda, & Inprasluta (Ed.), Monographs on lesson study for teaching mathematics and sciences - Vol. 1**. World Scientific: Singapore.

Meesuk, J. (2015). Organization of learning activities to enhance student participation behavior by using gamification techniques for students in science special classrooms, Mathayomsueksa 4 Anukulnaree. **Master's thesis**. Mahasarakham: Mahasarakham Rajabhat University.

Kanthawat, C. (2018). An action research on developing grade 11 students' mathematical literacy through mathematical modeling in topic of sequences and series (in thai). **Master's Thesis.** Phitsanulok: Naresuan University.

Khunsri, W. (2009). Teaching English to Children. **Academic Journal**, 12(3), 60-75.

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 (2008)**. Bangkok: Agricultural cooperative printing demonstrations of Thai co., Ltd.

Panich, V. (2012). **21st Century Skills: Learning for Life in Our Times**. Bangkok: Printing House Tathata Publication Co., Ltd.

Saijam, P. and Seebut, S. (2017). Using problem approach to design mathematical modeling-based learning for promoting grade 8 students mathematical modeling competency. **Proceedings of the 22nd Annual Meeting in Mathematics (AMM2017)**. Chiangmai: Chiangmai University.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2016). Summary of research results of the TIMSS 2015 project. Retrieved 7 June 2021, from **TIMMS Thailand:** http://timssthailand.ipst.ac.th/timss/reports/TIMSS2015summary.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2019). PISA 2018 Results: Executive Summary. Retrieved 7 June 2021, from **PISA Thailand:** https://pisathailand.ipst.ac.th/pisa2018-summary-result/.

Yuangklang, S. (2017). The development of blended learning system by using gamification-based learning to enhance the mathematics problem solving skills and connection skills to real life for Primary Schools. **Doctoral Dissertation**. Maha Sarakham: Maha Sarakham University.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

เบญจรัตน์ ขวัญคง[1,*] และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์[1]

[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

**Email: bencharatk63@nu.ac.th*

รับบทความ: 10 พฤษภาคม 2565 แก้ไขบทความ: 31 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 1 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ด้วยจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผู้เข้าร่วมการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 44 คน ของโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดพิจิตร ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน จำนวน 3 วงจร โดยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 9 ชั่วโมง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน จำนวน 3 แผน ใบกิจกรรม และแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์อยู่ในระดับดีเยี่ยม เมื่อพิจารณาตามกระบวนการทั้ง 3 กระบวนการ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถพัฒนาการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ การใช้หลักการ ข้อเท็จจริง กระบวนการและเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา และกระบวนการที่พัฒนาน้อยที่สุด คือ การตีความประยุกต์ใช้และประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ กล่าวได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ช่วยพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ได้ โดยนักเรียนได้เรียนรู้จากการวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาที่ใกล้เคียงกับชีวิตจริงของนักเรียน การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้สู่สถานการณ์อื่น ๆ จนสามารถระบุประเด็นปัญหา ใช้หลักการและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหา และสามารถอธิบายความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ได้

คำสำคัญ: ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ อัตราส่วน

อ้างอิงบทความนี้

เบญจรัตน์ ขวัญคง และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์. (2565). การพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 285-298. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.31

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Developing grade-7 student's mathematical literacy through mathematical modeling in the topic of ratio

Bencharat Khwankhong[1,*] and Wanintorn Poonpaiboonpipat[1]
[1]*Mathematics Education, Master of Education, Faculty of Education, Naresuan University*
**Email: bencharatk63@nu.ac.th*

Received <10 May 2022>; Revised <31 May 2022>; Accepted <1 June 2022>

Abstract

This research aimed to develop mathematical literacy by using mathematical modeling in the topic of ratio of grade 7 students. The participants were 44 students in grade 7 of high school in Phichit Province. This study was in the second semester of 2021 academic year. The research methodology was the classroom action research comprising of 3 cycles and took totally 9 hours. The instruments used in the research were three lesson plans based on mathematical modeling in the topic of ratio, activity sheets and mathematical literacy ability test. Data were analyzed by content analysis. The results revealed that, most of students were in excellent level of mathematical literacy ability. For considering three processes of mathematical literacy, the most developed process was formulating situations mathematically, followed by employing mathematical concepts, facts, procedures, and reasoning and the least developed process was interpreting, applying and evaluating mathematical outcomes. In conclusion, learning implementation based on mathematical modeling can improve mathematical literacy. The students learned through analyzing problem situation that is close students' real life, creating mathematical model, and connect knowledge to another situation, consequently, they can identify problems, select appropriate and relevant mathematical principles and processes and explain the reasonableness of the solution.

Keywords: Mathematical modeling, Mathematical literacy, Ratio

Cite this article:
Khwankhong, B. and Poonpaiboonpipat, W. (2022). Developing grade-7 student's mathematical literacy through mathematical modeling in the topic of ratio (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 285-298. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.31

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากคณิตศาสตร์ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหา ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ministry of Education, 2015) และสำหรับการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์นั้น ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำงานและการใช้ชีวิตประจำวัน โดยความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ถูกบรรจุอยู่ในโครงการประเมินผลนักเรียนร่วมกับนานาชาติ (Programme for International Student Assessment หรือ PISA) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพระบบการศึกษาในการเตรียมความพร้อมให้ประชาชนมีศักยภาพหรือความสามารถพื้นฐานที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในโลกที่มีการเปลี่ยนแปลง เน้นการประเมินสมรรถนะของนักเรียนเกี่ยวกับการใช้ความรู้ทางทักษะในชีวิตจริงมากกว่าการเรียนรู้ตามหลักสูตรโรงเรียน โดยกรอบการประเมินคณิตศาสตร์ของ PISA 2022 คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตมากขึ้น และการพัฒนาทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 จึงทำให้มีการเน้นความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking) ซึ่งเป็นกระบวนการในการแก้ปัญหา การคิดวิเคราะห์อย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอน รวมถึงบริบทที่สอดคล้องกับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของกรอบการประเมินนี้ โดยผนวกการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์เข้ากับกระบวนการแก้ปัญหาโดยใช้หลักการ กระบวนการ และเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ไว้ด้วยกัน (IPST, 2020) ที่ผ่านมาผลการประเมิน PISA พบว่า ประเทศไทยมีผลการประเมินอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศสมาชิก OECD แนวโน้มผลการประเมินคณิตศาสตร์ของนักเรียนไทยนับตั้งแต่การประเมินครั้งแรกใน PISA 2000 จนถึงผลการประเมินครั้งล่าสุดใน PISA 2018 ตลอดระยะเวลาเกือบ 20 ปี ความรู้และทักษะด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนไทยไม่ได้มีการพัฒนาขึ้นเท่าที่ควร และมีแนวโน้มที่จะต่ำลงเรื่อย ๆ (IPST, 2020)

การสอนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผู้วิจัย พบว่า นักเรียนไม่สามารถ นำความรู้จากเนื้อหาที่เรียนในชั้นเรียนมาใช้ในการแก้ปัญหาในบริบทที่ท้าทายหรือปัญหาที่พบเจอในโลกชีวิตจริงได้ โดยเมื่อผู้วิจัยยกตัวอย่างสถานการณ์ปัญหาในชีวิตจริง นักเรียนไม่สามารถระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาได้ นักเรียนอ่านสถานการณ์ปัญหาแล้วไม่สามารถแปลงให้อยู่ในรูปอย่างง่ายหรือแยกย่อยสถานการณ์ หรือระบุตัวแปรได้ พร้อมทั้งไม่สามารถดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ โดยไม่สามารถนำตัวแปรทางคณิตศาสตร์มาจัดทำเป็นรูปแบบที่มีความสัมพันธ์กัน หรือเรียกว่าตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งเลือกวิธีการในการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม และดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์ได้ รวมไปถึงนักเรียนไม่สามารถประเมินความเป็นเหตุเป็นผลของวิธีการแก้ปัญหา และไม่สามารถตีความผลลัพธ์ที่ได้กลับไปสู่ชีวิตจริงได้ ซึ่งจากปัญหาที่พบในชั้นเรียนเหล่านี้สอดคล้องกับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์

การจัดการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่สอดคล้องกับปัญหาที่ผู้วิจัยกล่าวไว้ข้างต้นนั้น คือ การจัดการเรียนรู้ที่ใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (COMAP and SIAM, 2016) โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ คือ กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้มีกระบวนการในการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และนำไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 ระบุปัญหา

ครูให้สถานการณ์ปัญหาในชีวิตจริง ซึ่งเป็นปัญหาที่นักเรียนพบเจอหรือใกล้เคียงกับชีวิตจริงและเป็นปัญหาที่มีความน่าสนใจ โดยครูมีบทบาทเป็นผู้ถามคำถามเกี่ยวกับปัญหาเพื่อกระตุ้นความสนใจ และดึงดูดความสนใจของนักเรียน ซึ่งนักเรียนจะต้องระบุสิ่งที่อยู่ในชีวิตจริงที่ต้องการจะรู้ ต้องการจะทำ หรือต้องการจะเข้าใจที่สัมพันธ์กับสถานการณ์ที่กำหนดให้ แล้วนำไปสู่การสร้างข้อคำถามของนักเรียน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสมมติฐานและระบุตัวแปร

นักเรียนเลือกส่วนสำคัญในสถานการณ์แล้วกำหนดความสัมพันธ์ และเลือกความสัมพันธ์ที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งแปลงสถานการณ์ในชีวิตจริงให้อยู่ในรูปอย่างง่ายหรือย่อยสถานการณ์หรือปัญหา โดยแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปของตัวแปรทางคณิตศาสตร์ที่สัมพันธ์

ขั้นตอนที่ 3 ลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์

นักเรียนนำตัวแปรทางคณิตศาสตร์มาจัดทำเป็นรูปแบบที่มีความสัมพันธ์กัน หรือเรียกว่าตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งเลือกวิธีการในการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม และดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์

นักเรียนพิจารณาถึงความสมเหตุสมผลและความเป็นไปได้ของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และกระบวนการหรือขั้นตอนในการแก้ปัญหา พร้อมทั้งอธิบายและโต้แย้งการให้เหตุผล เมื่อนำกลับมาอธิบายเหตุการณ์ในชีวิตจริง

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำ

นักเรียนลงมือทำกระบวนการใหม่ตั้งแต่ต้นอีกครั้ง เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดของประเด็นปัญหาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และกระบวนการหรือขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหา

ขั้นตอนที่ 6 ใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

นักเรียนอธิบายการได้มาซึ่งผลลัพธ์และตัวแปรที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ และนักเรียนนำตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์

ดังนั้น ผู้วิจัยสนใจศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ซึ่งตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้จะอยู่ในรูปของอัตราส่วนที่เท่ากันโดยหลักการคูณ และหลักการหาร สมการ แผนภาพ บาร์โมเดล สัดส่วน และร้อยละ

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ด้วยจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เรื่อง อัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ผู้เข้าร่วมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 ห้อง ม. 1/10 ประกอบด้วย นักเรียนชาย 21 คน และนักเรียนหญิง 23 คน รวม 44 คน ของโรงเรียนมัธยมแห่งหนึ่งในจังหวัดพิจิตร

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) ตามแนวคิดของ Kemmis and Mc Taggart (2000) ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนใน 1 วงจร ได้แก่ ขั้นวางแผน (P) ขั้นปฏิบัติการ (A) ขั้นสังเกตการณ์ (O) และขั้นสะท้อนผล (R) โดยมีลักษณะทำซ้ำเป็นวงจรทั้งหมด 3 วงจรตามจำนวนของแผนการจัดการเรียนรู้ แบ่งได้ดังนี้ วงจรที่ 1 ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง อัตราส่วนของจำนวนหลาย ๆ จำนวน วงจรที่ 2 ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง สัดส่วน และวงจรที่ 3 ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง การนำความรู้เกี่ยวกับอัตราส่วน สัดส่วน และร้อยละไปใช้ในการแก้ปัญหา

ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ทั้ง 3 แผน ที่พัฒนาขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์หรือคณิตศาสตรศึกษา และครูวิทยฐานะชำนาญการพิเศษวิชาคณิตศาสตร์ เพื่อตรวจสอบความเหมาะสม ด้านสาระสำคัญ ด้านจุดประสงค์การเรียนรู้ ด้านสาระการเรียนรู้ ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการเรียนรู้และแหล่งเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล โดยใช้แบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ตามแบบลิเคิร์ท (Likert) ผลการประเมินที่ได้มีค่าเฉลี่ย ทุกด้านเท่ากับ 4.49 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.12 ซึ่งถือว่าแผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมีความเหมาะสมมากและสามารถนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตาม

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ คือ ปรับสถานการณ์ในแผนการจัดการเรียนรู้ ให้เอื้อต่อนักเรียนในการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และดำเนินการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลายและปรับการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีความกระชับ

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 ใบกิจกรรม เป็นส่วนหนึ่งของแผนการจัดการเรียนรู้และใช้ประเมินความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ระหว่างการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน ประกอบด้วย ใบกิจกรรมที่ 1 บาริสต้าผู้สร้างสรรค์ ใบกิจกรรมที่ 2 สร้างรายได้ ขายเจลแอลกอฮอล์ และใบกิจกรรมที่ 3 คุ้มค่าคุ้มราคา โดยใบกิจกรรมประกอบด้วย 3 สถานการณ์ที่ครอบคลุมความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ 1) การคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ 2) การใช้หลักการ ข้อเท็จจริง กระบวนการและเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา 3) การตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใน 3 กระบวนการจะมีกระบวนย่อย แสดงดังตารางที่ 1 ผู้วิจัยนำใบกิจกรรมเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญพร้อมกับแผนการจัดการเรียนรู้ และปรับปรุงแก้ไขใบกิจกรรมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ คือ ปรับข้อคำถาม ในใบกิจกรรมให้สอดคล้องกับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ และปรับแก้เกณฑ์การประเมินให้มีความครอบคลุมมากขึ้น

ตารางที่ 1 กระบวนการของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์

กระบวนการหลัก ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์	**กระบวนการย่อยของฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์**
1. การคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์	1.1 ระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในชีวิตจริง 1.2 ทำสถานการณ์หรือปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่ายหรือแยกย่อยสถานการณ์ เพื่อทำให้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้น 1.3 ระบุตัวแปรที่สำคัญ พร้อมทั้งแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปของการนำเสนอทางคณิตศาสตร์หรือการแสดงแทน 1.4 ให้เหตุผลสำหรับการระบุประเด็น ระบุตัวแปรที่สำคัญ หรือนำเสนอปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ และสำหรับการแสดงแทนสถานการณ์ในโลกจริง
2. การใช้หลักการ ข้อเท็จจริง กระบวนการและเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา	2.1 คิดและนำกลยุทธ์ในการหาวิธีแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ไปใช้ 2.2 นำกฎเกณฑ์ ขั้นตอนวิธี กระบวนการที่หลากหลาย และโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหา 2.3 ให้เหตุผลสำหรับกระบวนการและขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนดผลลัพธ์หรือวิธีแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์
3. การตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์	3.1 ตีความผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้ให้อยู่ในบริบทโลกชีวิตจริง 3.2 ประเมินความเป็นเหตุเป็นผลของวิธีแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ในบริบทชีวิตจริง 3.3 อธิบายและให้เหตุผลว่าเหตุใดผลลัพธ์หรือข้อสรุปทางคณิตศาสตร์จึงสมเหตุสมผลหรือไม่สมเหตุสมผลกับบริบทของปัญหา

2.2 แบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน ใช้ประเมินความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์หลังจากการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 แผน เป็นแบบเขียนตอบอิสระ ประกอบด้วย 3 คำถาม แต่ละคำถามจะมี 6 คำถามย่อย ข้อคำถามย่อยที่ 1, 2 และ 3 จะใช้ประเมินการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ คำถามย่อยที่ 4 จะใช้ประเมินการใช้หลักการ ข้อเท็จจริง กระบวนการและเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา และคำถามย่อยที่ 5 คำถามย่อยที่ 6 จะใช้ประเมินการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญชุดเดียวกับที่ตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้และใบกิจกรรม เพื่อประเมินความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อข้อคำถามแต่ละข้อ ซึ่งข้อคำถามทุกข้อมีความตรงเชิงเนื้อหา เท่ากับ 1.00 ถือว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้ และผู้วิจัยได้

ปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ คือ ปรับข้อคำถามให้เป็นภาษาที่เข้าใจง่าย และครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ปฐมนิเทศและชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ให้กับนักเรียนที่เป็นผู้เข้าร่วมการวิจัย

2. ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง อัตราส่วน จำนวน 3 แผน ตามชั่วโมงเรียนของโรงเรียนโดยใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 9 ชั่วโมง ระหว่างการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนนักเรียนแต่ละกลุ่มจะได้ทำใบกิจกรรม โดยผู้วิจัยแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มละ 5 คน จำนวน 4 กลุ่ม และกลุ่มละ 6 คน จำนวน 4 กลุ่ม รวมทั้งหมด 8 กลุ่ม ซึ่งภายในกลุ่มจะมีนักเรียนเก่ง กลาง อ่อน

3. เมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน ผู้วิจัยเก็บรวบรวมใบกิจกรรม และนำผลที่ได้มาทำการสะท้อนผลเพื่อปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ครั้งต่อไป

4. เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบทั้ง 3 แผน ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5. นำผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลจากการตอบคำถามของนักเรียนในใบกิจกรรม และแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) และจัดระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์โดยรวมตามกระบวนการทั้ง 3 กระบวนการ โดยใช้เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น ซึ่งแบ่งคำตอบของนักเรียนในแต่ละกระบวนการออกเป็น 3 ระดับ คือ ดีเยี่ยม ดี ปรับปรุง ตามลำดับ แล้วแสดงร้อยละของจำนวนนักเรียนในแต่ละกระบวนการ จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรมและแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์มาเปรียบเทียบกัน เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างเกณฑ์การประเมินด้านการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินด้านการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ และตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ในกระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์โดยรวม

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินด้านการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์

การคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์	ระดับคุณภาพ	เกณฑ์การพิจารณา
1. ระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในชีวิตจริง	ดีเยี่ยม (2)	ระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในชีวิตจริงได้ถูกต้อง สมบูรณ์
	ดี (1)	ระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในชีวิตจริงได้ถูกต้องบางส่วน
	ปรับปรุง (0)	ไม่สามารถระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในชีวิตจริงได้
2. ทำสถานการณ์หรือปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่ายหรือแยกย่อยสถานการณ์เพื่อทำให้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้น	ดีเยี่ยม (2)	ทำสถานการณ์หรือปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่ายหรือแยกย่อยสถานการณ์เพื่อทำให้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้นได้ถูกต้อง ครบถ้วน
	ดี (1)	ทำสถานการณ์หรือปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่ายหรือแยกย่อยสถานการณ์เพื่อทำให้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้นได้อย่างถูกต้อง แต่ไม่ครบถ้วน
	ปรับปรุง (0)	ไม่สามารถทำสถานการณ์หรือปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่ายหรือแยกย่อยสถานการณ์เพื่อทำให้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้นได้
3. ระบุตัวแปรที่สำคัญพร้อมทั้งแปลงปัญหาให้อยู่	ดีเยี่ยม (2)	ระบุตัวแปรที่สำคัญ พร้อมทั้งแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปของการนำเสนอทางคณิตศาสตร์หรือการแสดงแทนได้ถูกต้อง ครบถ้วน

การคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์	ระดับคุณภาพ	เกณฑ์การพิจารณา
ในรูปของการนำเสนอทางคณิตศาสตร์หรือการแสดงแทน	ดี (1)	ระบุตัวแปรที่สำคัญ พร้อมทั้งแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปของการนำเสนอทางคณิตศาสตร์หรือการแสดงแทนได้อย่างถูกต้องบางส่วน
	ปรับปรุง (0)	ไม่สามารถระบุตัวแปรที่สำคัญ พร้อมทั้งแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปของการนำเสนอทางคณิตศาสตร์หรือการแสดงแทนได้
4. ให้เหตุผลสำหรับการระบุประเด็น ระบุตัวแปรที่สำคัญ หรือนำเสนอปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ และสำหรับการแสดงแทนสถานการณ์ในโลกจริง	ดีเยี่ยม (2)	ให้เหตุผลสำหรับการระบุประเด็น ระบุตัวแปรที่สำคัญ หรือนำเสนอปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ และสำหรับการแสดงแทนสถานการณ์ในโลกจริงได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล
	ดี (1)	ให้เหตุผลสำหรับการระบุประเด็น ระบุตัวแปรที่สำคัญ หรือนำเสนอปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ และสำหรับการแสดงแทนสถานการณ์ในโลกจริงได้ไม่ครบถ้วนและสมเหตุสมผลบางส่วน
	ปรับปรุง (0)	ไม่สามารถให้เหตุผลสำหรับการระบุประเด็น ระบุตัวแปรที่สำคัญหรือนำเสนอปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ และสำหรับการแสดงแทนสถานการณ์ในโลกจริงได้

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ในกระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์โดยรวม

กระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์	
ช่วงคะแนน	**ระดับคุณภาพ**
6 - 8	ดีเยี่ยม
3 - 5	ดี
0 - 2	ปรับปรุง

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ด้วยจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วนสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากใบกิจกรรมในแต่ละแผนระหว่างการจัดการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยแสดงจำนวนกลุ่มนักเรียนตามเกณฑ์การจัดระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์จากใบกิจกรรมในแต่ละแผน ดังตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 กระบวนการของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ นักเรียนสามารถพัฒนาอยู่ในระดับดีเยี่ยมและดีรวมกัน เรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ กระบวนการใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา กระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ และกระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ ตามลำดับ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กระบวนการของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ นักเรียนสามารถพัฒนาอยู่ในระดับดีเยี่ยมและดีรวมกันมากที่สุด คือ กระบวนการใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา รองลงมาที่ระดับดีเยี่ยมและดีรวมกันแล้วมีจำนวนเท่ากัน คือ กระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ และกระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์

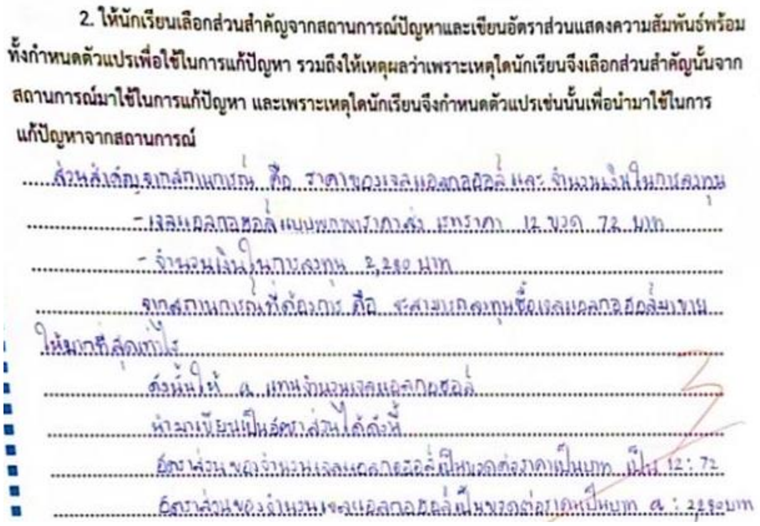
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 กระบวนการของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ที่อยู่ในระดับดีเยี่ยมเรียงจากมากไปน้อย คือ กระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ กระบวนการใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา และกระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์มีสัดส่วนของระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์อยู่ในระดับดีเยี่ยมและดีใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4 จำนวนกลุ่มนักเรียนตามเกณฑ์การจัดระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์จากใบกิจกรรมในแต่ละแผน

ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์	ระดับคุณภาพ	จำนวนกลุ่มนักเรียน (ร้อยละ) ตามแผนการจัดการเรียนรู้		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
การคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์	ดีเยี่ยม	2 (25.00)	4 (50.00)	7 (87.50)
	ดี	2 (25.00)	2 (25.00)	1 (12.50)
	ปรับปรุง	4 (50.00)	2 (25.00)	0 (0.00)
การใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา	ดีเยี่ยม	3 (37.50)	5 (62.50)	6 (75.00)
	ดี	3 (37.50)	2 (25.00)	1 (12.50)
	ปรับปรุง	2 (25.00)	1 (12.50)	1 (12.50)
การตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์	ดีเยี่ยม	1 (12.50)	2 (25.00)	4 (50.00)
	ดี	4 (50.00)	4 (50.00)	3 (37.50)
	ปรับปรุง	3 (37.50)	2 (25.00)	1 (12.50)

โดยภาพรวมพบว่า ทั้ง 3 กระบวนการของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์มีพัฒนาการขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนใน แต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ โดยกระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการที่นักเรียนมีพัฒนาการมากที่สุด ซึ่งนักเรียนสามารถวิเคราะห์สถานการณ์ ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนด สิ่งที่โจทย์ต้องการ รวมถึงสามารถเลือกส่วนสำคัญที่นำไปใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง รองลงมา คือ กระบวนการใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา โดยนักเรียนสามารถเลือกกระบวนการหรือขั้นตอนเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหา ได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์ รวมถึงการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งหาผลลัพธ์จากสถานการณ์ได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่กระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ เป็นกระบวนการที่นักเรียนมีพัฒนาการที่น้อยที่สุด แต่กลุ่มนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์อยู่ที่ระดับดีเยี่ยม โดยนักเรียนสามารถตีความผลลัพธ์ที่ได้ให้อยู่ในบริบทโลกชีวิตจริง เชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้สู่สถานการณ์อื่น ๆ พร้อมทั้งอธิบายความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหา ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างการเขียนตอบและการแสดงแนวคิดที่แสดงให้เห็นถึงความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ในแต่ละกระบวนการ ดังภาพที่ 1-3

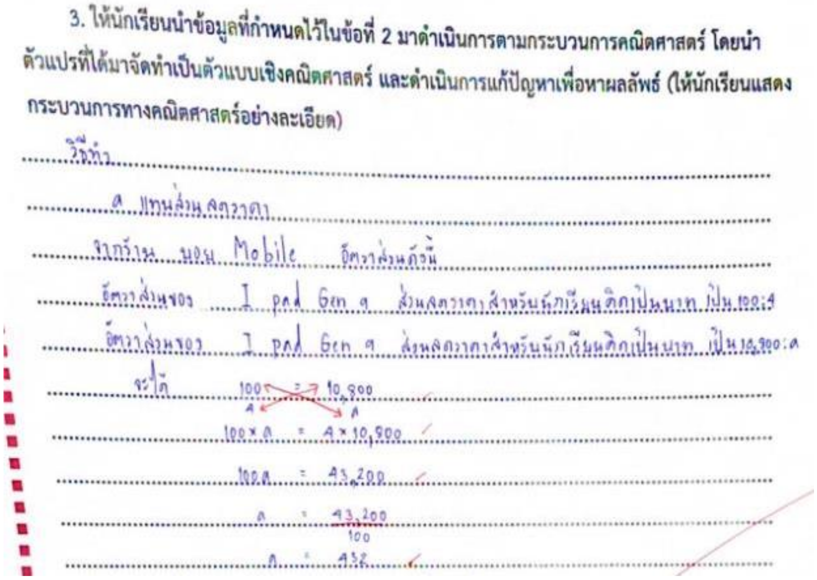
Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



2. ให้นักเรียนเลือกส่วนสำคัญจากสถานการณ์ปัญหาและเขียนอัตราส่วนแสดงความสัมพันธ์พร้อมทั้งกำหนดตัวแปรเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา รวมถึงให้เหตุผลว่าเพราะเหตุใดนักเรียนจึงเลือกส่วนสำคัญนั้นจากสถานการณ์มาใช้ในการแก้ปัญหา และเพราะเหตุใดนักเรียนจึงกำหนดตัวแปรเช่นนั้นเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์

ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลงานนักเรียนในกระบวนย่อยการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ ที่อยู่ในระดับดีเยี่ยม จากใบกิจกรรมที่ 2 สร้างรายได้ ขายเจลแอลกอฮอล์

ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถเลือกส่วนสำคัญได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน และสอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหา รวมถึงสามารถกำหนดตัวแปรเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาและเขียนอัตราส่วนแสดงความสัมพันธ์ที่แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสองปริมาณได้อย่างถูกต้อง จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม



3. ให้นักเรียนนำข้อมูลที่กำหนดไว้ในข้อที่ 2 มาดำเนินการตามกระบวนการคณิตศาสตร์ โดยนำตัวแปรที่ได้มาจัดทำเป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และดำเนินการแก้ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์ (ให้นักเรียนแสดงกระบวนการทางคณิตศาสตร์อย่างละเอียด)

วิธีทำ

a แทนส่วนลดราคา

100 × a = 4 × 10,800

100a = 43,200

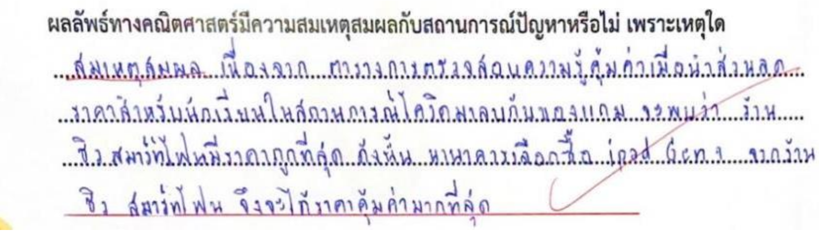
a = 43,200/100

a = 432

ภาพที่ 2 ตัวอย่างผลงานนักเรียนในกระบวนการย่อยการใช้หลักการข้อเท็จจริงกระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ที่อยู่ในระดับดีเยี่ยม จากใบกิจกรรมที่ 3 คุ้มค่าคุ้มราคา

ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์ และใช้การคูณไขว้และแก้สมการเพื่อหาผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง และมีความสอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหา จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



ภาพที่ 3 ตัวอย่างผลงานนักเรียนในกระบวนการย่อยการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในระดับดีเยี่ยม จากใบกิจกรรมที่ 3 คุ้มค่าคุ้มราคา

ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถอธิบายและให้เหตุผลของผลลัพธ์หรือข้อสรุปทางคณิตศาสตร์ได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหา จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม

2. ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ผู้วิจัยทำการประเมินความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนรายบุคคล โดยใช้แบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน โดยแสดงจำนวนนักเรียนตามเกณฑ์การจัดระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์จากแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ทั้ง 3 สถานการณ์ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนนักเรียนตามเกณฑ์การจัดระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์จากแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ทั้ง 3 สถานการณ์

ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์	ระดับคุณภาพ	จำนวนนักเรียนรายบุคคล (ร้อยละ)		
		สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3
การคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์	ดีเยี่ยม	22 (50.00)	28 (63.63)	31 (70.45)
	ดี	15 (34.09)	11 (25.01)	9 (20.45)
	ปรับปรุง	7 (15.91)	5 (11.36)	4 (9.10)
การใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา	ดีเยี่ยม	24 (54.55)	22 (50.00)	30 (68.19)
	ดี	14 (31.82)	17 (38.64)	9 (20.45)
	ปรับปรุง	6 (13.63)	5 (11.36)	5 (11.36)
การตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์	ดีเยี่ยม	21 (47.72)	21 (47.72)	22 (50.00)
	ดี	16 (36.37)	19 (43.18)	18 (40.90)
	ปรับปรุง	7 (15.91)	4 (9.10)	4 (9.10)

ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ในกระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ทั้งสามสถานการณ์จากแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เริ่มจากสถานการณ์ที่ 1 มีนักเรียนจำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 มีระดับความฉลาดรู้ดีเยี่ยม สถานการณ์ที่ 2 มีนักเรียนจำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 63.63 และสถานการณ์ที่ 3 มีนักเรียนจำนวน 31 คน คิดเป็นร้อยละ 70.45 ซึ่งจำนวนนักเรียนที่อยู่ในระดับดีเยี่ยมมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาเป็นคำถามที่เริ่มมีความซับซ้อน และมีระดับความยากในแง่ของการให้เหตุผลและการดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ของสถานการณ์ที่ 2 เพิ่มขึ้นจึงทำให้สถานการณ์ที่ 2 มีจำนวนนักเรียนลดลงจากสถานการณ์ที่ 1 แต่ทั้งสองสถานการณ์นักเรียนยังคงอยู่ในระดับดีเยี่ยม และในสถานการณ์ที่ 3 จำนวนนักเรียนเพิ่มขึ้น จากสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2 และสุดท้ายการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ เป็นการอธิบายความ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สมเหตุสมผลของผลลัพธ์ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ถึงแม้ว่าจำนวนนักเรียนจะเพิ่มขึ้นในแต่ละสถานการณ์ค่อนข้างน้อยแต่แนวโน้มของจำนวนนักเรียนในทั้งสามสถานการณ์มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามลำดับ และอยู่ที่ระดับดีเยี่ยม

อภิปรายผล

ผู้วิจัยอภิปรายการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ตามกระบวนการของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ทั้ง 3 กระบวนการ ดังนี้

นักเรียนพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน ในกระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาใน เชิงคณิตศาสตร์ จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นที่ 1 ระบุปัญหา และขั้นที่ 2 สร้างสมมติฐานและระบุตัวแปรเป็นหลัก การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ในขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 เน้นให้นักเรียนได้วิเคราะห์สถานการณ์ปัญหา ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนด และสิ่งที่โจทย์ต้องการ พร้อมทั้งเลือกส่วนสำคัญที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาได้ และแปลงสถานการณ์ให้อยู่ในรูปการนำเสนอทางคณิตศาสตร์หรือการแสดงแทนที่สัมพันธ์พร้อมทั้งระบุตัวแปร จากนั้นเขียนเป็นอัตราส่วนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสองปริมาณเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา โดยนักเรียนได้ร่วมกันระดมความคิด อภิปรายแลกเปลี่ยนเรียนรู้กัน รู้จักการทำงานเป็นทีม และการทำงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับ Kanthawat (2018) กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เป็นตัวช่วยเสริมนักเรียนให้สามารถพัฒนาการรู้เรื่องคณิตศาสตร์ได้ โดยเฉพาะกระบวนการย่อยการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ สามารถทำให้นักเรียนเข้าใจสถานการณ์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี รวมถึงการระบุประเด็นปัญหาและการสร้างตัวแปร สมมติฐาน ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ต่าง ๆ

นักเรียนพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน ในกระบวนการใช้หลักการข้อเท็จจริงกระบวนการและเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา จากการจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 3 ลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยให้นักเรียนได้เลือกใช้กระบวนการแก้ปัญหาที่เหมาะสม ไม่ปิดกั้นโดยเลือกวิธีการแก้ปัญหาให้กับนักเรียน และขั้นที่ 5 ทำซ้ำ เป็นขั้นที่นักเรียนแต่ละกลุ่มได้ตรวจสอบกระบวนการหรือขั้นตอนในการแก้ปัญหารวมถึงผลลัพธ์ ซึ่งเมื่อนักเรียนเจอข้อผิดพลาด นักเรียนจะดำเนินการแก้ไขเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้อง และสอดคล้องกับสถานการณ์ โดยขั้นที่ 5 เป็นขั้นที่คอยแก้ไขข้อผิดพลาดจากขั้นที่ 1-3 ซึ่งในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 การดำเนินการในขั้นที่ 5 นักเรียนจะแก้ไขข้อผิดพลาดค่อนข้างมาก แต่เมื่อเข้าสู่แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เมื่อนักเรียนดำเนินการในขั้นตอนที่ 1-3 ถูกต้องแล้ว จึงทำให้ในขั้นที่ 5 มีนักเรียนแก้ไขข้อผิดพลาดที่ค่อนข้างน้อย และจากผลแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ ในส่วนของคำถามข้อที่ 4 ซึ่งเป็นกระบวนการที่ส่งเสริมให้นักเรียนใช้หลักการข้อเท็จจริงกระบวนการและเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ทั้ง 3 สถานการณ์ พบว่า นักเรียนมีคะแนนที่ดีขึ้นในแต่ละสถานการณ์ตามลำดับและอยู่ในระดับดีเยี่ยม ขณะจัดกิจกรรม พบว่า นักเรียนสามารถนำตัวแปรทางคณิตศาสตร์มาจัดทำเป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งเลือกวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมและดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตจริงของนักเรียน เช่น สถานการณ์เกี่ยวกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 สถานการณ์ซีรี่ย์ดัง ใน Netflix สถานการณ์อาชีพต่าง ๆ สถานการณ์ในโรงเรียน เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับ Dickinson *et al.* (2010) ที่กล่าวว่า การนำแนวการศึกษาคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับชีวิตจริงมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน ช่วยพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนและพัฒนาความรู้เนื้อหาวิชาแก่นักเรียนและสอดคล้องกับ Pluempitiwiriyawej (2016) ที่กล่าวว่า กระบวนการเรียนการสอนตามแนวคิดการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โดยนำเอาสถานการณ์ในชีวิตจริงและความรู้ทางคณิตศาสตร์มาบูรณาการเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำให้นักเรียนสามารถดำเนินการแก้ปัญหาตามที่วางไว้ สามารถสรุปคำตอบได้อย่างถูกต้อง และนักเรียนมีพัฒนาการความสามารถในการแก้ปัญหาในทิศทางที่ดีขึ้น

นักเรียนพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน ในกระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นจากการจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 4 วิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์และขั้นที่ 6 ใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โดยนักเรียนได้ร่วมกันระดมความคิด แสดงความคิดเห็น และโต้แย้งกัน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้แสดงความคิดเห็นต่าง ๆ ซึ่งกันและกัน โดยกระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์

ทางคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการที่นักเรียนมีพัฒนาการน้อยที่สุด เนื่องมาจากนักเรียนไม่สามารถเขียนอธิบายการได้มาซึ่งผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจน โดยนักเรียนจะอธิบายเพียงสั้น ๆ แต่ถึงแม้ว่าจะเป็นกระบวนการที่นักเรียนมีพัฒนาการน้อยที่สุด นักเรียนก็ยังคงสามารถตีความผลลัพธ์กลับสู่ชีวิตจริงได้ พร้อมทั้งสามารถอธิบายความสมเหตุสมผลได้เป็นอย่างดี และยังพบว่า นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ในเรื่องที่เรียนไปประยุกต์กับชีวิตประจำวันได้ นักเรียนเห็นความสำคัญของวิชาคณิตศาสตร์มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Srithi *et al.* (2018) ที่พบว่า กิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้สถานการณ์ในบริบทใกล้กับชีวิตจริงของนักเรียน และให้นักเรียนในกลุ่มมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ ลงมือปฏิบัติกิจกรรมเพื่อค้นพบข้อสรุป นำความรู้ ทักษะประสบการณ์ที่มีอยู่มาใช้ในการอภิปราย และแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ทำให้นักเรียนสามารถบอกความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์และความสมเหตุสมผลของวิธีการแก้ปัญหาได้ รวมถึงนักเรียนสามารถตีความผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์กลับไปสู่บริบทของปัญหาได้และสอดคล้องกับ Kanthawat (2018) ที่กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์กระบวนการตีความ และประเมินผลลัพธ์เป็นกระบวนการที่นักเรียนพัฒนาได้น้อย แต่มีแนวโน้มไปในทางที่ดีขึ้น เนื่องด้วยข้อมูลจากใบกิจกรรมนักเรียนไม่เขียนบันทึกอย่างละเอียดเพียงพอ

สรุปผลการวิจัย

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สามารถพัฒนาความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ได้เป็นอย่างดี ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ 3 กระบวนการ ดังนี้

1. การคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ ผลจากใบกิจกรรมแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ช่วยส่งเสริมการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ได้ โดยเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของกลุ่มนักเรียน ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยจะเห็นได้ว่าการระบุปัญหา การสร้างสมมติฐานและระบุตัวแปรของนักเรียนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้มีคะแนนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยนักเรียนสามารถทำคะแนนได้ดีในกระบวนการคิดสถานการณ์ของปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์และมีระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์อยู่ที่ระดับดีเยี่ยม

2. การใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ผลจากใบกิจกรรมแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถดำเนินการตามการใช้หลักการข้อเท็จจริง กระบวนการ และเหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี โดยนักเรียนสามารถลงมือดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องตามลำดับ โดยจากการจัดการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนจะยังไม่สามารถดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้เท่าที่ควร แต่ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 และในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 นักเรียนสามารถดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและอยู่ในระดับดีเยี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน ของนักเรียน โดยนักเรียนสามารถนำตัวแปรทางคณิตศาสตร์มาจัดทำเป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งเลือกวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมและดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ ทั้ง 3 สถานการณ์ นักเรียนมีคะแนนเพิ่มในแต่ละสถานการณ์ตามลำดับ และระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์อยู่ที่ระดับดีเยี่ยม

3. การตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ ผลจากใบกิจกรรมแสดงให้เห็นว่าการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนดีขึ้นตามลำดับ โดยจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนในช่วงแรกนักเรียนยังตีความผลลัพธ์และอธิบายการได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่ค่อนข้างสั้น นักเรียนไม่อธิบายรายละเอียดเพิ่มเติม โดยผู้วิจัยจะต้องเป็นผู้ใช้คำถามกระตุ้นนักเรียนเพื่อให้นักเรียนอธิบายเหตุผลเพิ่มเติมมากยิ่งขึ้น และผลจากใบกิจกรรมที่ 1 และใบกิจกรรมที่ 2 นักเรียนยังไม่สามารถยกตัวอย่างสถานการณ์ที่มีความหลากหลายได้ โดยนักเรียนจะยกตัวอย่างสถานการณ์ที่มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่ครูกำหนด แต่ในใบกิจกรรมที่ 3 นักเรียนสามารถยกตัวอย่างสถานการณ์ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วนของนักเรียน โดยจากสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนอธิบายการได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่ค่อนข้างสั้น ไม่อธิบายเหตุผลเพิ่มเติม แต่เมื่อสถานการณ์ที่ 3 นักเรียนสามารถยกตัวอย่างสถานการณ์ดีขึ้นตามลำดับ แต่ยังคงมีนักเรียนที่ไม่สามารถ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ยกตัวอย่างสถานการณ์ได้ แต่เป็นกลุ่มนักเรียนเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ซึ่งผลจากใบกิจกรรมและผลจากแบบทดสอบวัดความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน นักเรียนมีระดับคะแนนและระดับความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์อยู่ที่ระดับดีเยี่ยม

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้

1.1 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้มีกระบวนการในการสร้าง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และนำไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น ครูควรเลือกสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับชีวิตจริง เป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน มีความแปลกใหม่น่าสนใจและเหมาะสมกับระดับความสามารถของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงสถานการณ์ในชีวิตจริงกับการเรียนรู้ได้ และนักเรียนมองว่าวิชาคณิตศาสตร์เป็นเรื่องที่ใกล้ตัว

1.2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ครูควรมุ่งเน้นไปที่กระบวนการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยควรใช้คำถามกระตุ้นที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดและเป็นคำถามปลายเปิด เพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่หลากหลาย และอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ผู้วิจัยควรศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมหรือพัฒนากระบวนการทางคณิตศาสตร์ด้านความสามารถในการให้เหตุผล ความสามารถในการเชื่อมโยง เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เป็นการเน้นการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ในชีวิตจริง ผ่านการสร้างเป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ถือเป็นการเชื่อมโยงและประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์กับสถานการณ์ในชีวิตจริง และการอธิบายความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์

2.2 ผู้วิจัยควรศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ร่วมกับสื่อเทคนิคอื่น ๆ ที่ส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ด้านกระบวนการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากถึงแม้ว่านักเรียนมีพัฒนาการตามกระบวนการนี้เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่จำนวนนักเรียนที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อย เพราะการตีความ การประยุกต์ใช้และการประเมินผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ ถือว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญและเป็นทักษะของการเรียนรู้คณิตศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

Consortium for Mathematics and Its Applications (COMAP) and Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM). (2016). **Guidelines for Assessment and Instruction in Mathematical Modeling Education.** Bedford: Consortium for Mathematics and Its Applications.

Dickinson, P., Eade, F., Gough, S. and Hough, S. (2010). Using realistic mathematics education with low to middle attaining pupils in secondary schools. **Proceedings of the British Congress for Mathematics Education** (pp. 73-80). Manchester: University of Manchester.

Kanthawat, C. (2018). An action research on developing grade 11 students' mathematical literacy through mathematical modeling in topic of sequences and series (in Thai). **Master's Thesis.** Phitsanulok: Naresuan University.

Kemmis, A. and Mc Taggart, R. (2000). **The Action Research Planer (3rd ed).** Victoria: Dekin University.

Ministry of Education. (2015). **The basic education core curriculum 2551** (in Thai). BangKok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand.

Pluempitiwiriyawej, K. (2016). Development of an instructional process based on mathematical modeling and scaffolding approaches to enhance mathematical problem solving and representation abilities of lower secondary school students (in Thai). **Journal of Education Studies**, 47(4), 86-107.

Srithi, K., Supap, W. and Wiriyapong, R. (2018). An action research on developing problem-based learning activities to enhance mathematical literacy in conic section topic of students in grade 10 (in Thai). **Social Sciences Research and Academic Journal**, 13(37), 105-118.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2020). Mathematical literacy (in Thai). Retrieved 25 August 2020, From **PISA Thailand:** https://pisathailand.ipst.ac.th/about-pisa/mathematical-literacy/.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2020). Mathematical literacy about PISA (in Thai). Retrieved 1 September 2020, From **PISA Thailand:** https://pisathailand.ipst.ac.th/.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

ผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากกิจกรรมการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส

ศาสตรา บุญญาจันทร์[1] ประสาน มืดภา[2] ศิริวรรณ คลังทอง[2]
ธนวิทย์ จีรุพันธ์[3] ศราวุธ แสนการุณ[3] และสุพจน์ สีบุตร[3,*]
[1]ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002 ประเทศไทย
[2]โรงเรียนลือคำหาญวารินชำราบ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาอุบลราชธานี อำนาจเจริญ 34190 ประเทศไทย.
[3]ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190 ประเทศไทย.
[*]อีเมล: supot.s@ubu.ac.th

รับบทความ: 1 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ: 23 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 3 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การออกแบบกิจกรรมให้นักเรียนเรียนรู้การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์มีความสำคัญ เนื่องจากการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริง ดังนั้นเป้าหมายทางการศึกษาจึงคาดหวังว่านักเรียนจะสามารถบรรลุความสามารถนี้ อย่างไรก็ตามกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับนักเรียนในการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์นั้นไม่ค่อยได้รับการออกแบบในโรงเรียนโดยเฉพาะในประเทศไทย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสนับสนุนกระบวนการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในเรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส โดยมีนักเรียนร่วมวิจัยจำนวน 36 คน ได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมทั้งหมดจำนวน 6 กิจกรรม เพื่อสะท้อนผลการสร้างตัวแบบ มีการวิเคราะห์โปรโตคอลการทำกิจกรรมกลุ่มของนักเรียน และเพื่อสะท้อนผลของกิจกรรมต่อผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนมีการทดสอบปรนัยเกี่ยวกับเนื้อหาก่อนเรียนและหลังเรียนจำนวน 20 ข้อ ผลจากการวิเคราะห์โปรโตคอลที่ได้นำเสนอแสดงถึงการบรรลุเป้าหมายของการวิจัยที่ต้องการให้เกิดกระบวนการสร้างตัวแบบในชั้นเรียน และจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์พบว่าการผนวกกิจกรรมการสร้างตัวแบบเข้าไปในห้องเรียนมีผลเชิงบวกต่อผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน ผลการวิจัยนี้นำไปสู่แนวทางที่ครูผู้ซึ่งสนใจจะนำไปต่อยอดปรับปรุงเพื่อใช้ออกแบบกิจกรรมการสร้างตัวแบบสำหรับพัฒนานักเรียนในบริบทดังกล่าว

คำสำคัญ: การเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมเป็นฐาน ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

อ้างอิงบทความนี้
ศาสตรา บุญญาจันทร์, ประสาน มืดภา, ศิริวรรณ คลังทอง, ธนวิทย์ จีรุพันธ์, ศราวุธ แสนการุณ และสุพจน์ สีบุตร. (2565). ผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากกิจกรรมการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 289-299. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.32

Research Article

Learning outcomes of students from mathematical modeling activities on the Pythagorean theorem

Sastra Boonyachan[1], Prasan Muedpa[2], Siriwan Klangtong[2], Thanawit Jeeruphan[3], Sarawut Saenkarun[3] and Supot Seebut[3, *]

[1]*Department of Mathematics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

[2]*Luekhamhan Warin Chamrap School, the Secondary Education Service Area Office Ubon Ratchathani Amnat Charoen 34190, Thailand*

[3]*Department of Mathematics Statistics and Computers, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand*

[*]*Email: supot.s@ubu.ac.th*

Received <1 March 2022>; Revised <23 May 2022>; Accepted <3 June 2022>

Abstract

It is essential to design activities that teach students how to construct mathematical models. This is due to the fact that mathematical modeling is an important tool for addressing real-world issues. Therefore, the educational objective is for pupils to attain this competency. In schools, particularly in Thailand, however, it is uncommon for pupils to engage in the creation of mathematical models. This study intends to design learning activities to help the mathematical modeling process for Mathayomsuksa 2 students in relation to the Pythagorean theorem. There was a total of 36 participants in the study learning modeling via six exercises. To represent the modeling findings, the student group activity was examined using the protocol technique, and 20 multiple-choice tests of pre- and post-learning material were administered to indicate the influence of the activities on student accomplishment. Incorporating modeling activities into the classroom was proven to have a favorable influence on student accomplishment, as shown by the achievement test scores. This study resulted in a methodology that interested educators may utilize to enhance and build modeling activities for student growth in this setting.

Keywords: Activity-based learning, Mathematical model, Mathematical modelling

Cite this article:

Boonyachan, S., Muedpa, P., Klangtong, S., Jeeruphan, T., Saenkarun, S. and Seebut, S. (2022). Learning outcomes of students from mathematical modeling activities on the Pythagorean theorem (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 289-299. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.32

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Introduction

One of an ultimate goal of learning mathematics is the teachers could prepare students to function confidently in real-world situations. Mathematical modeling is a form of real-world problem solving. A modeling approach to solve problem focuses a variety of mathematical skills on finding a solution and help students to see mathematics in a broad spectrum of applications (Cheng, 2001; Eric, 2009; Seebut, 2012).

Mathematical modeling could be defined as translating encountered problems into mathematical forms by seeing mathematics as a tool for solving problems. In fact, all mathematical concepts have roots in the real-world situations that could be translated into the mathematical models in order to use appropriate mathematical methods to find solution for those problems and classical mathematical modelling process can be showed as followed in Figure 1 (Ferri, 2017; Kang and Noh, 2012; Lingefjard, 2012; Seebut, 2012).

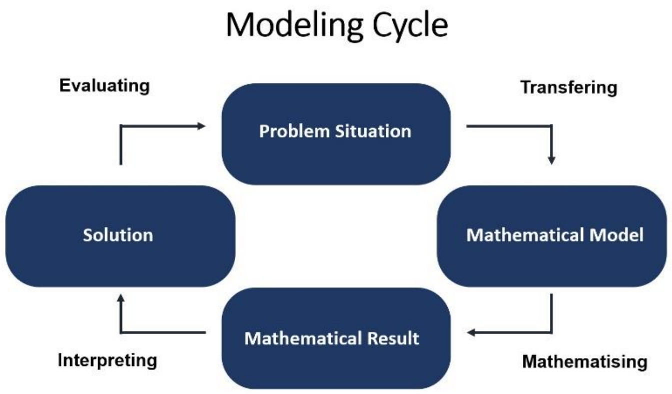


Figure 1. mathematical modeling cycle

The process of mathematical modeling consists of four main stages:

1. Observing a phenomenon, delineating the problem situation inherent in the phenomenon, and discerning the important factors that affect the problem

2. Conjecturing the relationships among factors and interpreting them mathematically to obtain a model for the phenomenon

3. Applying appropriate mathematical analysis to the model

4. Obtaining results and reinterpreting them in the context of the phenomenon under study and drawing conclusions.

This process could be repeated until mathematical model is appropriate to make prediction and conclusion of observed real world situations.

However, when contemplating the administration of mathematical model learning. The original mathematical modeling cycle has been improved to facilitate the creation of mathematical models by pupils (Blum, 2009; Ferri, 2017; Seebut, 2012). Figure 2 illustrates the mathematical modeling cycle for classroom activities.

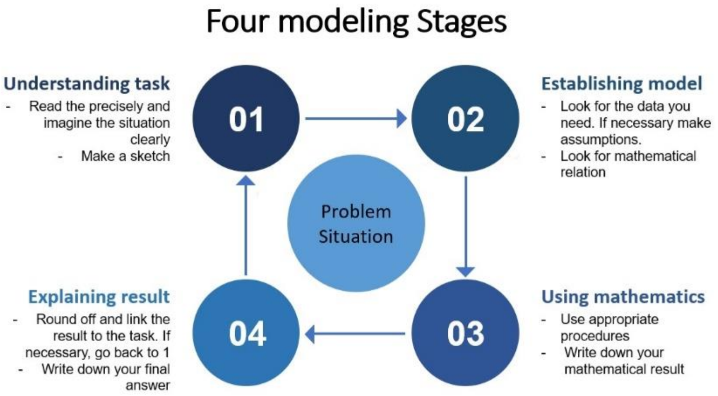


Figure 2. Mathematical Modeling Cycle for Classroom Activities

As seen in Figure 2, the mathematical modeling cycle for classroom activities is regarded to be centered on the actions that students exhibit through the mathematical modeling process. The circuit is analyzed in further depth and separated into six stages in which the behavior of the mathematical modeling process may be characterized (Blum, 2009; Chan,2009; Ferri, 2017), with a summary of the stages shown in Figure 3.

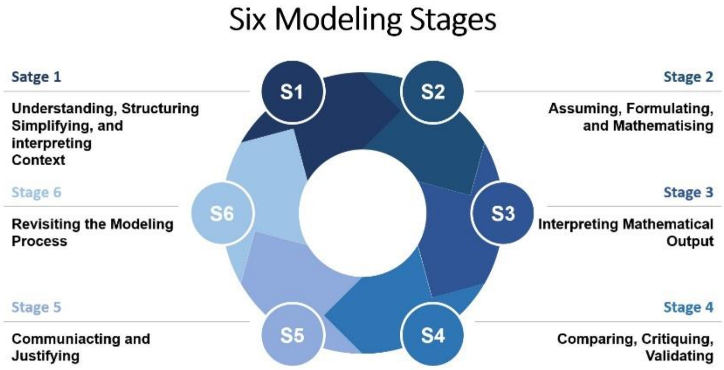


Figure 3. Mathematical modeling cycle with an emphasis on the behavior of students in performing activities

For this study, a mathematical modeling exercise on the Pythagorean Theorem was created for students to practice. The mathematical modeling cycle is then applied to the behavior of students completing activities, using video recording of the students executing the mathematical modeling task. The findings will indicate the effectiveness of a classroom where modeling activities are employed to improve pupils. In addition, this research focus on the outcomes of learning about the Pythagorean theorem in the context of learning management via mathematical modeling exercises.

Designing Learning Activities

Lesson plans for learning activities to provide fundamental information on mathematical modeling, two learning activities employing two hours of practice time were prepared and are presented in Table 1.

Table1. Activities that provide essential knowledge about mathematical modeling

Lesson Plan No.	Activity title	amount of usage hours
1	Which store to purchase?	1
2	largest pig stall	1

Lesson plans for learning activities centered on mathematical modeling and the four learning activities listed in Table 2 allocate four hours to all teaching activities. The generated lesson plan for Mathyomsuksa 2 addresses the Pythagorean Theorem.

Table 2. Lesson plans for mathematical modeling-centered learning activities

Lesson Plan No.	Activity title	amount of usage hours
1	square puzzle	1
2	right triangle puzzle	1
3	half circle puzzle	1
4	Pythagorean Theorem	1

According to Table 3, there are two plans for operational learning activities. The time spent on all instructional activities was two hours in order to evaluate the students' skills in the mathematical modeling procedure via the collection of group activities.

Table 3. Activities using operational learning in mathematical modeling

Lesson Plan No.	Activity title	amount of usage hours
1	Rim Bueng Chicken Coop	1
2	your home my home	1

Research Methodology

Research objectives

To develop learning activities to support the process of mathematical modelling for grade 8 students in Pythagoras' theorem and to assess student performance in the six stages of mathematical modelling through these learning activities.

Participants

The sample are 36 students from Lukhamhanwarinchamlab school, Warinchamlab District, the Secondary Education Office Service Area 29, Thailand, in the first academic year 2564. The

sample was obtained using cluster random sampling and was divided into 12 classroom-based cluster from a total student population of 510.

Tools

Research tools include 6 lesson plans about mathematical modelling activities on the Pythagorean theorem and related pre-posttests multiple choice test, 4 options, 20 items.

Procedures

First, students were given by pretest, and then used the lesson plans for 36 students by starting with activity to build background knowledge based on mathematical modeling process after that used the Pythagoras' theorem activities to promote students performing mathematical models, and finally students would evaluated again by posttest.

Second, by using results from test, students would be grouped with mild, moderate as well as the mix ability using. Data about group activities were collected using video record to illustrate performing and interacting of students during doing mathematical modeling activities by focusing phenomena on six modelling stages including with;

- *Understanding, Structuring, Simplifying, and Interpreting Context*
- *Assuming, Formulating, and Mathematising*
- *Interpreting Mathematical Output*
- *Comparing, Critiquing, Validating*
- *Communicating and Justifying*
- *Revisiting the Modelling Process*

Data analysis

Data from video record would be organized to illustrate students' performance about the modeling stages using protocol analysis and data from the pre-posttest would be analyzed using pair-t-test statistics.

Results and Discussions

Mathematical model constructed by students would be presented to illustrate some focusing phenomena on mathematical modeling based on modelling stages and then pair t-test statistics would be presented.

Stage1: Understanding, Structuring, Simplifying, and Interpreting Context

Teacher: How to find out if the triangle is right-angled?

The student No. 1: measuring the angles.

The student No. 1, 2, and 3: to measure the angles within a triangle.

Teacher: let the students measure the width of lines in the 3 square shapes that form a right-angled triangle.

Teacher: Ask the students how long it is after measuring the width of each side in a square shape?

The first student: answers 9 centimeters

Teacher: How long it is after measuring each side in the square shape?

The student No.1: They all are equal.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Teacher: Asks the question, what type of the square shape that consists of right-angled in every angle?

Student No. 1: answers it's the square shape?

Figure 4 depicts an image of the atmosphere created by what teachers and students discuss at this stage.

Figure 4. Student performing in the modelling stage about understanding, structuring, simplifying, and interpreting context in classroom

Stage2: Assuming, Formulating, and Mathematising

Teacher: Let students write the length of square shapes that measured.

Student No. 1, 2, 3, 4: Students write the length of square shapes that are measured.

Student No. 4: Set the square shapes to be right-angled triangle.

Student No. 3: Use ruler to measure the length of square shapes.

Student No. 1: Write text that shows how the length of each side in square shapes is long.

Figure 5 depicts the results of the teacher and students working together to create a mathematical model at this stage.

.

Figure 5. Student working through the modelling stage about assuming, formulating, and mathematising

Stage3: Interpreting Mathematical Output

Teacher: Ask, after everybody writes the length of each side in square shapes, what shape it is after set of square shapes?

Students No. 1, 2, 3, and 4: It's a right-angled triangle.

Teacher: What shape is on each sides of right-angled triangle?

Students No. 1, 2, 3, and 4: They are square shapes.

Teacher: Let students draw what you understand on your paper.

Students No. 1, 2, 3, and 4: Draw on paper what you understand.

The results of the modeling process that have been produced up to this point are shown in Figure 6.

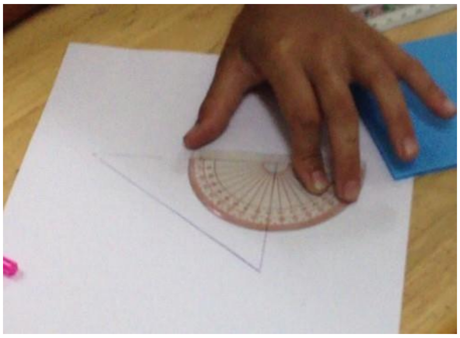


Figure 6. Student performing in mathematical modelling stage about interpreting mathematical output

Stage4: ***Comparing, Critiquing, Validating***

Teacher: Let students take the picture to find out relation between square shapes and right-angled triangle.

Students No. 1, 2, 3, and 4: take the picture to compare.

Teacher: Students try to find out square shapes area that are on the length of sides of right-angled triangle.

Students No. 1, 2, 3, and 4: Calculate to find out square shapes area that is on the length of sides in right-angled triangle.

Teacher: Ask what the relation of three-square shapes area is.

Students No. 1: One of square shapes area is equal double right-angled triangle.

Students No. 2: Calculation to find out relation of square shapes.

Students No. 3: To show how to calculate relation of square shapes.

Figure 7 depicts how the individual student works are analyzed, compared, and revised in order to arrive at a group consensus, which is depicted as the work of two students.

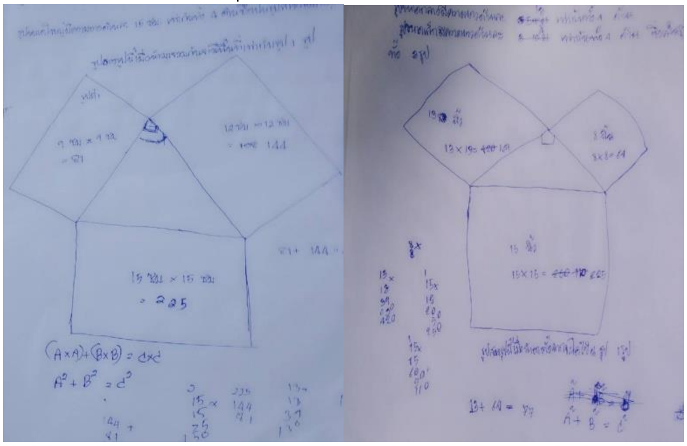


Figure 7. Mathematical models from two students

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Stage5: Communicating and Justifying

Teacher: What do you conclude the relation of square shapes on right-angled triangle.

Students No. 1, 2, 3, and 4: write the conclusion on paper and discuss about each conclude.

Figure 8 provides a glimpse into the ambiance of the modeling carried out up to this point.

Figure 8. Student presenting, communicating, and justifying in mathematical models

Stage6: Revisiting the Modelling Process

Teacher: If square shapes don't give the length of sides and measurement instrument as ruler, how will you use symbol?

Students No. 2: Using the A B C

Teacher: Then, how do you write relation of length of sides in square shapes?

Students No. 1: Answer, A power two is B power two plus C powers two.

Figure 9 depicts the outcomes that were reached after carrying out the mathematical modeling processes up to this point.

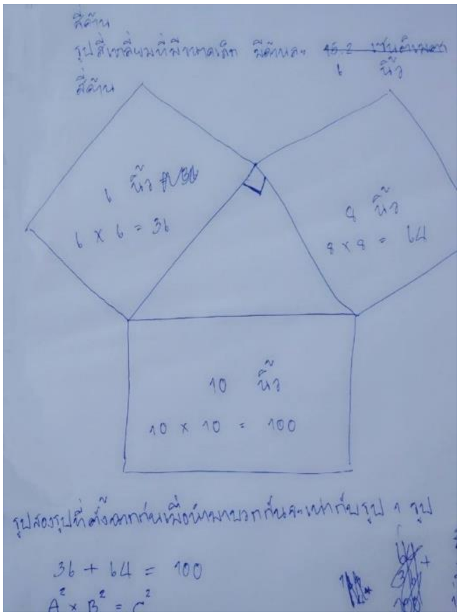


Figure 9. Revising the modelling process if model is inappropriate

Pre-Test and Post-Test Scores

Result from comparison of pretest and posttest by using paired sample t-test statistics (Table 4). The test revealed that the post-test scores higher than pre-test score at statistically significant level of 0.05.

Table 4. A comparison of academic achievement on the Pythagorean Theorem before and after learning activities

Test	Number of students	mean	S.D.	df	t
pretest	36	6.97	1.92	35	124.35*
posttest	36	14.81	1.99	-	-

* Significant statistically at the .05 level

Scaffoldings Strategies for preplanning anticipate what obstacles students will face in the mathematical modeling process has a great effect on encouraging students to achieve their goals in mathematical modeling activities on the Pythagorean theorem. The design of mathematical modeling activities in this research considers and operates in accordance with this principle. Research has outlined the importance of Scaffolding strategies for success in promoting mathematical modeling (Geiger *et al*., 2021; Greefrath and Vorhölter 2016; Schukajlow *et al*., 2015).

Conclusions

Learning through mathematical modeling activities on Pythagoras' theorem takes a lot of benefit for students. Students are motivated to perform skills about constructing mathematical models that their experiences can apply for solving problems in any area. Moreover, from observations of students' learning in Pythagoras' theorem via developed activities, the result revealed that these activities have a positive effect on students' achievement. For educators who are interested in using these findings to educate kids. Activities should be regarded contextually suitable. Begin with exercises to prepare fundamental modeling knowledge, then prepare to know about the subject, and lastly employ modeling activities on subject to grow pupils as required.

References

Blum, W. (2009). Mathematical modeling: can it be taught and learn? **Journal of Mathematical Modeling and Application,** 1(1), 45-58.

Chan, C.M.E. (2009). Mathematical modelling as problem solving for children in the Singapore mathematics classroom. **Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia,** 32(1), 36-61.

Cheng, A.K. (2001). Teaching mathematical modelling in Singapore schools. **Mathematics Education,** 6(1), 63-75.

Eric, C.C.M. (2009). Mathematical modelling as problem solving for children in the Singapore mathematics classrooms. **Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia**, 33(1), 36-61.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Ferri, R.B. (2017). **Learning how to teach mathematical modeling in school and teacher education**. Cham: Springer.

Geiger, V., Galbraith, P., Niss, M., and Delzoppo, C. (2021). Developing a task design and implementation framework for fostering mathematical modelling competencies. **Educational Studies in Mathematics**, 109(2), 1-24.

Greefrath, G., and Vorhölter, K. (2016). **Teaching and learning mathematical modelling: Approaches and developments from German speaking countries. Cham:** Springer.

Kang, O-K. and Noh, J. (2012). Teaching mathematical modelling in school mathematics. **Proceedings of 12th International congress on Mathematics Education** (pp. 8-15). July 8-15, 2012. Seoul: Seoul National University.

Lingefjärd, T. (2012). Learning mathematics through mathematical modelling. **Journal of Mathematical Modelling and Application**, 1(5), 41-49.

Schukajlow, S., Kolter, J., and Blum, W. (2015). Scaffolding mathematical modelling with a solution plan. **ZDM Mathematics Education**, 47(7), 1241-1254.

Seebut, S. (2012). An example of hands-on activities to learn mathematical models for middle grade students. **Far East Journal of Mathematical Education**, 9(2), 141-149.

บทความวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ผ่านห้องเรียนออนไลน์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2

เจนจิรา ทิพย์ญาณ[1,*] นันทิยา บุญศรีนุ้ย[1] และชุติมา สุวรรณศรี[1]
[1]โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาสุราษฎร์ธานี ชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี
**Email: tip.jenjira@st2.ac.th*

รับบทความ: 28 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ: 24 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 10 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย (RBL) และศึกษาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 ที่เรียนในรายวิชาการศึกษาค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ ภาคเรียนที่ 1/2564 และรายวิชาการสื่อสารและการนำเสนอ ภาคเรียนที่ 2/2564 จำนวน 19 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง รูปแบบการวิจัยคือการวิจัยกึ่งทดลอง เครื่องมือที่ใช้คือ 1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยในรายวิชาการศึกษาค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ และรายวิชาการสื่อสารและการนำเสนอ 2) แบบวัดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และ 3) แบบประเมินคุณภาพงานวิจัย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พบว่า นักเรียนจัดทำงานวิจัยทั้งหมดจำนวน 4 เรื่อง ผลการประเมินงานวิจัยอยู่ในระดับดีมาก จำนวน 2 เรื่อง และอยู่ในระดับดี จำนวน 2 เรื่อง และผลการวัดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนหลังการจัดการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ: โครงงานฐานวิจัย ห้องเรียนออนไลน์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ

อ้างอิงบทความนี้
เจนจิรา ทิพย์ญาณ, นันทิยา บุญศรีนุ้ย และชุติมา สุวรรณศรี. (2565). ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ผ่านห้องเรียนออนไลน์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 310-321. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.33

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Results of learning management in research-based learning through online classrooms to promote critical thinking skills of grade-10 students at Suratthani 2 School

Jenjira Tipyan[1,*] Nanthiya Boonsrinui[1] and Chutima Suwanasri[1]
[1]Suratthani 2 School, Suratthani Chumphon Secondary Educational Service Area Office, Suratthani Province
**Email: tip.jenjira@st2.ac.th*

Received <28 March 2022>; Revised <24 May 2022>; Accepted <10 June 2022>

Abstract

The objectives of this research were to study the results of research-based learning management, and to study critical thinking skills through research-based learning in online classrooms of grade-10 students. The target group of this research was 19 grade-10 students at Suratthani 2 School studying in the research and knowledge formation course semester 1/2564 and the communication and presentation course in semester 2/2564 obtained by purposive sampling. The research model was quasi-experimental research. The research instruments included 1) the lesson plan for the research and knowledge formation course and the communication and presentation course, 2) the critical thinking skill test, and 3) the research assessment form. The statistics used in the data analysis were percentage, arithmetic mean, standard deviation, and t-test. The results of learning management in research-based learning through online classrooms in the situation of the Coronavirus 2019 epidemic showed that the students conducted a total of 4 research studies, in which two studies were at a very good and the other two studies were at a good level. The results of the assessment of critical thinking skills of students after research-based learning management was significantly higher than that before the activity at the .05 level.

Keywords: Research–based learning, online classroom, critical thinking

Cite this article:
Tipyan, J., Boonsrinui, N. and Suwanasri, C. (2022). Results of learning management in research-based learning through online classrooms to promote critical thinking skills of grade-10 students at Suratthani 2 School (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 310-321. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.33

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ได้ส่งผลกระทบต่อประชากรโลกเป็นวงกว้าง โดยมีจำนวนผู้ป่วยติดเชื้อและผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในระยะเวลาอันรวดเร็ว องค์การอนามัยโลกจึงได้ประกาศให้โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เป็นโรคระบาดใหญ่ (Pandemic) ในวันที่ 11 มีนาคม พุทธศักราช 2563 (WHO, 2020) อีกทั้งการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนายังทำให้พฤติกรรมมนุษย์ พฤติกรรมการบริโภคและการบริการเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในหลายๆ ด้าน ส่งผลให้ในหลายภาคส่วนเกิดผลกระทบ เช่น เศรษฐกิจ สังคม การท่องเที่ยว เทคโนโลยี และการศึกษา นอกจากนี้ยังส่งผลให้สถานศึกษาไม่สามารถจัดการเรียนการสอนได้ตามปกติ

ปัจจุบันการเรียนออนไลน์ (Online Learning) เป็นประเด็นที่ถูกกล่าวถึงอย่างแพร่หลายในงานวิชาการและการวิจัย อันเนื่องจากการเข้าสู่ยุคแห่งการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ที่ผู้สอนและผู้เรียนสามารถเข้าถึงความรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา ขณะเดียวกันประเด็นที่พูดถึงอย่างแพร่หลายและมีความสำคัญมาก คือ จัดการเรียนการสอนออนไลน์อย่างไรให้นักเรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ที่ดี ซึ่งถือเป็นประเด็นที่ทำได้ยาก (Jinpon and Jueboon, 2021) การใช้สื่อ และเทคโนโลยีทางการศึกษาเป็นการเชื่อมต่อช่องว่างระหว่างครูผู้สอนและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ซึ่งมีการเว้นระยะห่างทางสังคม การนำเอาสื่อและเทคโนโลยีทางการศึกษามาใช้นั้นทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้จากที่บ้านและครูผู้สอนสามารถมอบหมายงาน ตรวจงานและสร้างแบบวัดผลและประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนได้ทุกที่ทุกเวลา New normal หรือความปกติใหม่นี้ส่งผลให้สถานศึกษาเกิดการปรับตัวและมีการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ครูผู้สอน นักเรียนและสถานศึกษาต้องปรับตัวอย่างเร่งด่วน ผู้พัฒนาระบบทางด้านสารสนเทศได้เร่งพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการศึกษาและการประชุมทางไกล จึงเกิด เครื่องมือที่ช่วยในการจัดการเรียนการสอนและการประชุมทางไกลขึ้นมากมาย เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ เช่น Zoom, Google Hangouts, Skype, Line, Facetime, Facebook, Messenger, Microsoft Teams, True Visual World, Google Meet, Vroom, WebX เป็นต้น (Boonphak, 2020)

โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 จังหวัดสุราษฎร์ธานีได้รับคำสั่งให้ปิดสถานศึกษาชั่วคราวและให้ครูผู้สอนจัดการเรียนการสอนตามตารางปกติ โดยประยุกต์ไปตามความถนัดและความสะดวกในการจัดการเรียนการสอนของครูผู้สอนและนักเรียน เช่น ใช้การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ผ่านแอพลิเคชันต่าง ๆ เช่น Line, Facebook, Zoom, Google Classroom หรือช่องทางใดก็ได้ จากความท้าทายที่จะต้องจัดการเรียนการสอนท่ามกลางสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้โรงเรียนต่าง ๆ ต้องหาวิธีการแนวทางในการจัดการเรียนการสอนที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถดำเนินการเรียนการสอนต่อไปได้ ผู้วิจัยในฐานะครูผู้สอนโรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 ซึ่งได้รับมอบหมายให้จัดการเรียนสอนรายวิชาการศึกษาค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ (Research and Knowledge Formation : IS1) ภาคเรียนที่ 1 และรายวิชาการสื่อสารและการนำเสนอ (Communication and Presentation : IS2) ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 ได้เล็งเห็นถึงปัญหาข้างต้นจึงมีความสนใจในการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย (Research-Based Learning : RBL) ผ่านห้องเรียนออนไลน์ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย เป็นการศึกษาที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางโดยการสร้างโจทย์วิจัยจากการทำโครงงานที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการค้นหาคำตอบจริงที่ใช้หลักการวิจัยเป็นเครื่องมือ (Namwong *et al.*, 2018) เริ่มจากการสงสัยวางแผนและเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และสังเคราะห์ความรู้ใหม่ของตนเองโดยเอาทฤษฎีบทพื้นฐานมารวมอธิบายจนได้เป็นความเข้าใจในความสัมพันธ์แบบเหตุและผลและสิ่งที่ได้มากกว่าความรู้คือ “ทักษะ” ที่พึงมีในศตวรรษที่ 21 ผู้เรียนได้มีโอกาสคิดอย่างเป็นระบบ คิดใช้เหตุผล ยอมรับฟังและพิจารณาความคิดเห็นของผู้อื่น มีกระบวนการคิดไตร่ตรองอย่างรอบคอบ เพื่อฝึกให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ความเข้าใจไปใช้ในการคิดวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกแนวทางในการแก้ปัญหาพิจารณาสิ่งต่าง ๆ ได้ โดยใช้หลักการคิดด้วยวิจารณญาณ (Phoodok *et al.*, 2019) และนำองค์ความรู้ที่ได้ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2
2. เพื่อศึกษาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ผ่านห้องเรียนออนไลน์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง ซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 ที่เลือกเรียนรายวิชาการศึกษาและสร้างองค์ความรู้ (Research and Knowledge Formation : IS1) และวิชาการสื่อสารและการนำเสนอ(Communication and Presentation : IS2) ปีการศึกษา 2564 จำนวน 19 คน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย

2.1 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยในรายวิชาการศึกษาค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ (IS1) และรายวิชาการสื่อสารและการนำเสนอ (IS2) ในห้องเรียนออนไลน์นั้น ผู้วิจัยได้นำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ของ Rattanaprom (2018) มาดัดแปลงเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอบแบบออนไลน์ผ่าน Google Meet ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา โดยจัดการเรียนรู้ 2 ภาคเรียน ปีการศึกษา 2564

2.2 แบบวัดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Critical Thinking Test) เป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก มีจำนวน 25 ข้อ 5 ด้าน แบบออนไลน์ (Google Form) โดยปรับใช้ของ Thitumanowong *et al.* (2019) โดยใช้แบบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณมาตรฐานทั่วไป Cornell Critical Thinking Leve Z ใช้สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.3 แบบประเมินคุณภาพงานวิจัยของนักเรียนหลังจากการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย จำนวน 12 ข้อ ซึ่งประกอบด้วยคำถามที่มีลักษณะการตอบแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแบบของลิเคิร์ท จำนวน 12 ข้อ พบว่าแบบประเมินมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.89

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามลำดับ ดังนี้

3.1 ก่อนการจัดกิจกรรมผู้วิจัยประเมินทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยโดยปรับใช้ของ Thitumanowong *et al.* (2019) โดยใช้แบบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณมาตรฐานทั่วไป Cornell Critical Thinking Leve Z ใช้สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 25 ข้อ โดยใช้เกณฑ์ประเมินแบบรูบริค (Rubric score) 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด

3.2 การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ภาคเรียนที่ 1/2564 จัดกิจกรรมดังตารางที่ 1 ใช้เวลาสัปดาห์ละ 1 ชั่วโมง 50 นาที รวมระยะเวลา 20 สัปดาห์

ตารางที่ 1 กำหนดการสอนโครงงานฐานวิจัย ภาคเรียนที่ 1/2564

สัปดาห์	หน่วยการเรียนรู้	กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน	กิจกรรม	เครื่องมือดิจิทัล
1	การเตรียมความพร้อมของผู้เรียน	จัดกิจกรรมจิตตปัญญา เพื่อ - สร้างความไว้วางใจ (Trust) ซึ่งกันและกัน - ฝึกทักษะการฟังอย่างตั้งใจ (Deep Listening) - ฝึกทักษะการใช้สุนทรียสนทนา (Dialogue)	คิดสะท้อน(Reflective Thinking) สรุปบทเรียนจากกิจกรรมจิตตปัญญาศึกษา	- ฝึกทักษะการฟังอย่างตั้งใจ (Deep Listening) ความหลังที่ฝังใจ - ฝึกทักษะการใช้สุนทรียสนทนา (Dialogue) : พูดจาภาษาดอกไม้	YouTube Google Meet Zoom Cloud Meetings
2	การเตรียมความพร้อมของผู้เรียน	จัดกิจกรรมการฝึกทักษะที่จำเป็น - การสังเกต การตั้งคำถาม - การบันทึกข้อมูลการเขียนผัง เหตุ – ผล	ฝึกกิจกรรมการสังเกต การตั้งคำถาม การบันทึกข้อมูล วิเคราะห์ความเป็นเหตุ เป็นผล สะท้อนคิด ความรู้สึก	โจทย์สถานการณ์ (Scenario) และเงื่อนไขเพิ่มเติม (Ticker) : ฟ้าประธาน	YouTube Google Meet Zoom Cloud Meetings
3	อบรมความรู้การวิจัยเชิงคุณภาพ	จัดกิจกรรมการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการวิจัยเชิงคุณภาพ	เข้าร่วมการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการวิจัยเชิงคุณภาพ และสะท้อนคิด	- การอบรมการวิจัยเชิงคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญภายนอก - Deep Listening	Zoom Cloud Meetings

สัปดาห์	หน่วยการเรียนรู้	กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน	กิจกรรม	เครื่องมือดิจิทัล
4 – 5	การสร้างประเด็น (Research Theme) วิจัย	แบ่งนักเรียนเป็นกลุ่ม ให้นักเรียนตั้งประเด็นการสังเกต การตั้งคำถาม การบันทึกข้อมูล	- แต่ละกลุ่มระดมสมอง ตั้งประเด็นการสังเกต การตั้งคำถาม การบันทึกข้อมูล - นำเสนอ แลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกลุ่ม - สรุปประเด็น การสังเกต การตั้งคำถาม การบันทึกข้อมูล	กิจกรรมระดมสมอง	Zoom Cloud Meetings
6	การกำหนดประเด็น การวิจัย – หาความสัมพันธ์ของข้อมูล	- จัดกิจกรรมให้นักเรียนนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล / ตัวแปร (ผังเหตุ – ผล) - ให้ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม	- หาความสัมพันธ์ของข้อมูล (+/-) - กำหนดประเด็นวิจัย ตั้งสมมติฐาน	- Deep Listening - ผังเหตุ-ผล	Google Meet
7 – 8	กำหนดโจทย์ (Research Title) วิจัย	- ให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับประเด็นวิจัยที่เกี่ยวข้อง - จัดกิจกรรมให้นักเรียนค้นคว้าเพิ่มเติม / เชิญผู้เชี่ยวชาญให้ความรู้ - สรุปโจทย์วิจัยช่วยให้นักเรียนกำหนดโจทย์วิจัยให้เห็นตัวแปรต้น และตัวแปรตาม	- กำหนดโจทย์วิจัย - ปรับสมมติฐาน ตามข้อมูลทางวิชาการ	- Deep Listening	Google Meet
9 – 10	การตั้งคำถามวิจัย	จัดกิจกรรมการตั้งคำถามของงานวิจัย โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญให้ความรู้	ตั้งคำถามวิจัยในหัวข้องานวิจัยในแต่ละกลุ่ม	-การอบรมการตั้งคำถามวิจัยเชิงคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญภายนอก -Deep Listening	Zoom Cloud Meetings
11 – 12	การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	มอบหมายให้นักเรียนศึกษาค้นคว้า ด้วยตนเองเพิ่มเติมเพื่อทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ศึกษาค้นคว้า ด้วยตนเองเพิ่มเติมเพื่อทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ศึกษา ค้นคว้า ด้วยตนเอง	Google Meet
13 – 14	การสร้างแบบสัมภาษณ์เชิงลึก	จัดกิจกรรมการการสร้างแบบสัมภาษณ์เชิงลึก โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญให้ความรู้	สร้างแบบสัมภาษณ์เชิงลึก	กิจกรรมระดมสมอง	Zoom Cloud Meetings
15 – 16	การออกแบบการวิจัย	ให้นักเรียนออกแบบการวิจัย วางแผนการเก็บข้อมูล / ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม	ออกแบบการวิจัย วางแผน การเก็บข้อมูล การวิจัย	ระดมสมอง และอภิปรายกลุ่ม	Google Meet
17 – 18	การจัดทำโครงร่างโครงงานฐานวิจัย (Research – Based	- ให้ความรู้แก่นักเรียนในการเขียน โครงร่างโครงงานฐานวิจัย	ฝึกเขียนโครงร่างโครงงานฐานวิจัย	ศึกษา ค้นคว้า ด้วยตนเอง การฝึกปฏิบัติ	Google Meet

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สัปดาห์	หน่วยการเรียนรู้	กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน	กิจกรรม	เครื่องมือดิจิทัล
	Project Proposal)	- ให้นักเรียนฝึกเขียนโครงร่างโครงงานฐานวิจัย			
19	ต่อเติมความรู้ตามโครงร่างโครงงานฐานวิจัย	จัดกิจกรรมฝึกปฏิบัติการการออกแบบการวิจัยตามประเด็นโครงงานฐานวิจัยของนักเรียน เช่น การวิจัยเชิงคุณภาพ การวิจัยเชิงปริมาณควรดำเนินการอย่างไร การออกแบบวิธีการบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น	ฝึกปฏิบัติการการออกแบบการวิจัยตามประเด็นโครงงานฐานวิจัยของนักเรียน การวิจัยเชิงคุณภาพ การวิจัยเชิงปริมาณควรดำเนินการอย่างไร การออกแบบวิธีการบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น	กรณีศึกษา : การวิจัยเชิงคุณภาพ และ / หรือการวิจัยเชิงปริมาณ	Google Meet
20	สรุปประเด็นวิจัย	- ให้นักเรียนนำเสนอโครงร่างโครงงานฐานวิจัย เพื่อทวนสอบความรู้ ด้วยกระบวนการถามคือสอน - ประเมินและให้ข้อมูลย้อนกลับ	- นำเสนอโครงร่างโครงงานฐานวิจัยต่อครูที่ปรึกษา และคณะ - ปรับปรุงโครงร่างโครงงานฐานวิจัย	นำเสนอผลงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แผ่นพับ โปสเตอร์ และ/หรือ นำเสนอปากเปล่า	Zoom Cloud Meetings

ภาคเรียนที่ 2/2564 จัดกิจกรรมสัปดาห์ละ 2 ชั่วโมง 45 นาที รวมระยะเวลา 20 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กำหนดการสอนโครงงานฐานวิจัย ภาคเรียนที่ 2/2564

สัปดาห์	หน่วยการเรียนรู้	กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน	กิจกรรม	เครื่องมือดิจิทัล
1	การเตรียมความพร้อมสำหรับการดำเนินการวิจัย	- สนับสนุนให้นักเรียนทำวิจัยตามโครงร่างโครงงานฐานวิจัยแต่ละกลุ่ม - จัดหาอุปกรณ์ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยตามโครงร่างโครงงานฐานวิจัย	เตรียมเครื่องมือ/อุปกรณ์ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยของกลุ่มตนเอง	ศึกษา ค้นคว้า ด้วยตนเอง การฝึกปฏิบัติ	Google Meet
2	เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึก	จัดกิจกรรมการเทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญให้ความรู้	ฝึกการสัมภาษณ์เชิงลึกและการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์	กิจกรรมระดมสมอง	Zoom Cloud Meetings
3 – 7	ทำวิจัย	สนับสนุนให้นักเรียนทำวิจัยตามโครงร่างโครงงานฐานวิจัยแต่ละกลุ่ม	ปฏิบัติการเก็บข้อมูลการวิจัยตามโครงร่างโครงงานฐานวิจัยแต่ละกลุ่ม	ศึกษา ค้นคว้า ด้วยตนเอง การฝึกปฏิบัติ	Google Meet
8	รายงานความก้าวหน้า	จัดกิจกรรมรายงานความก้าวหน้า แบ่งนักเรียนแต่ละกลุ่มเป็นฐานการเรียนรู้ ครูหมุนเวียนไปรับฟังความก้าวหน้า / ปัญหาอุปสรรคของการเก็บข้อมูลตามแผนที่นักเรียนวางแผนไว้	รายงาความก้าวหน้าตามฐานความรู้	การนำเสนอปากเปล่า	Zoom Cloud Meetings

สัปดาห์	หน่วยการเรียนรู้	กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน	กิจกรรม	เครื่องมือดิจิทัล
9 - 13	ทำวิจัย	สนับสนุนให้นักเรียนทำวิจัยตามโครงร่างโครงงานฐานวิจัยแต่ละกลุ่ม อำนวยความสะดวกให้กับนักเรียนในการลงพื้นที่สัมภาษณ์เชิงลึก	ปฏิบัติการเก็บข้อมูลการวิจัยตามโครงร่างโครงงานฐานวิจัยแต่ละกลุ่ม สัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มเป้าหมาย	ศึกษา ค้นคว้า ด้วยตนเอง การฝึกปฏิบัติ	Google Meet
14 – 15	ปฏิบัติการวิเคราะห์สังเคราะห์ข้อมูล	จัดกิจกรรมเชิงปฏิบัติการการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์	ฝึกปฏิบัติการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์	การฝึกปฏิบัติ	Google Meet
16 – 18	ปฏิบัติการเขียนสังเคราะห์งานวิจัย	สนับสนุนให้นักเรียนสังเคราะห์ข้อมูลเขียนรายงานการวิจัยโครงงานฐานวิจัยแต่ละกลุ่ม	ปฏิบัติการสังเคราะห์ข้อมูลเขียนรายงานการวิจัยโครงงานฐานวิจัยแต่ละกลุ่ม	การฝึกปฏิบัติ	Google Meet
19	นำเสนอผลการวิจัย	- อำนวยความสะดวกในการนำเสนอผลการวิจัยและสะท้อนการเรียนรู้ของนักเรียน - สอบทวนความรู้ โดยการใช้เทคนิคการการตั้งคำถามให้นักเรียนได้อธิบายในสิ่งที่ทำอย่างเป็นเหตุเป็นผล 3.สรุปองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้อง	เช่น infographic โปสเตอร์ สไลด์ PPT และ / หรือ VDO Presentation 2.นำเสนอผลการวิจัย 3.สะท้อนการเรียนรู้		
20	นิทรรศการ / เผยแพร่ต่อสาธารณชนโดยการเปิดชั้นเรียนออนไลน์ (Online Open Class)	อำนวยความสะดวกในการจัดนิทรรศการและนำเสนอโครงงานของนักเรียน โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญมาให้กำลังใจและแนะนำ	- จัดนิทรรศการ - นำเสนอผลงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แผ่นพับ โปสเตอร์ และ/หรือ นำเสนอปากเปล่า	การเปิดชั้นเรียนออนไลน์ (Online Open Class)	Zoom Cloud Meetings

3.2 ประเมินคุณภาพงานวิจัยของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยจากการจัดการเปิดบ้านชั้นเรียนแบบออนไลน์ (Online Open Class) โดยใช้แบบประเมินการนำเสนองานวิจัย ซึ่งพิจารณาความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

3.3 หลังจากสิ้นสุดการสอนผู้วิจัยประเมินทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย โดยปรับใช้ของ Thitumanowong *et al.* (2019) โดยใช้แบบวัดการคิดอย่างมีวิจารณญาณมาตรฐานทั่วไป Cornell Critical Thinking Leve Z ใช้สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 25 ข้อ โดยใช้เกณฑ์ประเมินแบบรูบริค (Rubric score) 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย โดยหาค่าสถิติพื้นฐาน ดังนี้

4.1 การประเมินคุณภาพงานวิจัยของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยโดยใช้การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

4.2 การประเมินทักษะทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย โดยการทดสอบค่าที (t-test for Dependent Samples)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 สรุปผลวิจัยได้ดังต่อไปดังนี้

ตอนที่ 1 ผลศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์

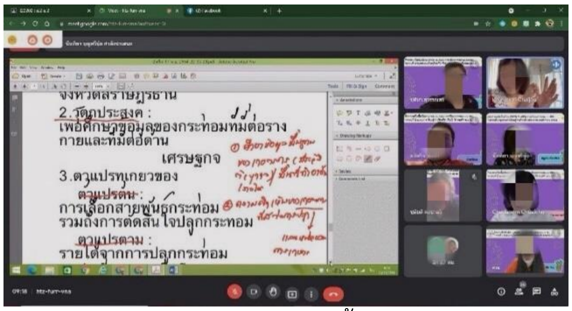
งานวิจัยของนักเรียนที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยมีทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 การตัดสินในเลือกฉีดวัคซีน COVID 19 ของประชาชนในเขตอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี กลุ่มที่ 2 การศึกษาผลกระทบจากสถานการณ์แพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ของประชาชนที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมในเขตอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี กลุ่มที่ 3 อาการข้างเคียงหลังจากการได้รับวัคซีนโควิด 19 (COVID-19) ของประชาชนในเขตอำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี และกลุ่มที่ 4 ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 ทั้งนี้ การประเมินงานวิจัยของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 ทั้ง 4 กลุ่ม ปรากฏผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพงานวิจัย

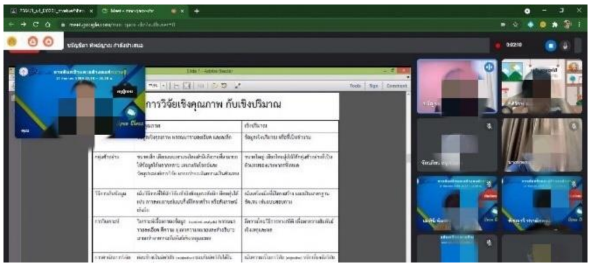
รายการประเมิน	**ค่าเฉลี่ยระดับคุณภาพงานวิจัย**			
	กลุ่มที่ 1	**กลุ่มที่ 2**	**กลุ่มที่ 3**	**กลุ่มที่ 4**
1. ระบุที่มาและความสำคัญของปัญหาได้ชัดเจน	4.67	4.67	4.67	4.67
2. วัตถุประสงค์การศึกษาชัดเจน	5.00	5.00	5.00	5.00
3. สมมติฐานการวิจัยถูกต้อง	5.00	4.67	4.67	5.00
4. ขอบเขตของการศึกษาเหมาะสม	5.00	4.00	4.00	5.00
5. นิยามศัพท์ในการศึกษาได้ชัดเจน ครบถ้วน	5.00	4.00	3.67	5.00
6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีการระบุถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสิ่งที่ศึกษามาแล้ว	5.00	3.33	3.33	4.67
7. รูปแบบการวิจัยเหมาะสมกับปัญหาที่ศึกษา	5.00	5.00	5.00	5.00
8. ขั้นตอนของกระบวนการในการวิจัยชัดเจน	5.00	5.00	5.00	4.67
9. เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเหมาะสม	5.00	5.00	5.00	5.00
10. การเลือกใช้สถิติ/การวิเคราะห์ข้อมูลถูกต้อง	5.00	5.00	5.00	5.00
11. ความเหมาะสมของรูปแบบที่ใช้นำเสนอ	4.00	3.67	3.33	4.33
12. ข้อสรุปของวิจัยบรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้	5.00	4.33	5.00	5.00
Mean$\pm$S.D.	4.81$\pm$0.07	4.47$\pm$0.22	4.47$\pm$0.22	4.86$\pm$0.20
แปลผล	ดีมาก	ดี	ดี	ดีมาก
Mean$\pm$S.D.	**4.65$\pm$0.18**			
แปลผล	**ดีมาก**			

จากตารางที่ 3 พบว่างานวิจัยของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้จัดทำมีทั้งหมดจำนวน 4 เรื่อง โดยภาพรวมผลการประเมินคุณภาพงานวิจัยอยู่ในระดับดีมาก (mean = 4.65) เมื่อพิจารณาแต่ละงานวิจัยพบว่า มีงานวิจัยจำนวน 2 เรื่องมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก คือ การตัดสินใจเลือกฉีดวัคซีน COVID 19 ของประชาชนในเขตอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี (mean = 4.81) และ ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 (mean = 4.86) และมีงานวิจัยจำนวน 2 เรื่องมีผลการประเมินอยู่ในระดับดี

กิจกรรมความหลังที่ฝังใจ



กิจกรรมการอบรมการตั้งคำถามวิจัย



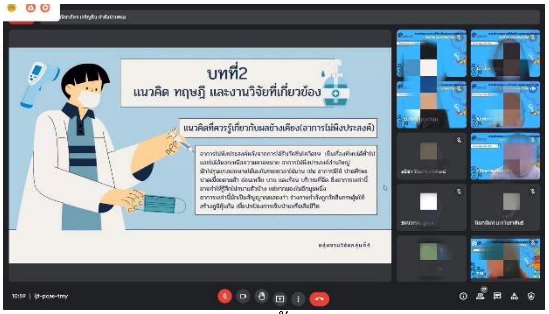
กิจกรรมการอบรมการวิจัยเชิงคุณภาพ

กิจกรรมการตั้งคำถามวิจัย

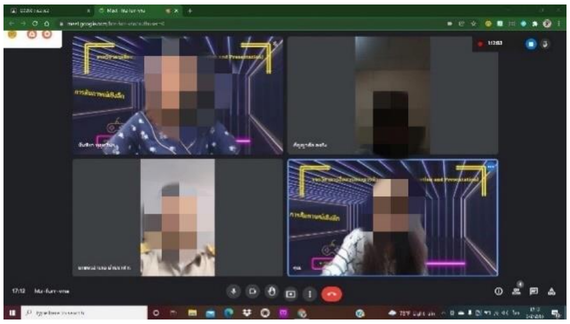
กิจกรรมวิเคราะห์ประเด็นหัวข้อวิจัย

กิจกรรมการเขียนผังเหตุ – ผล

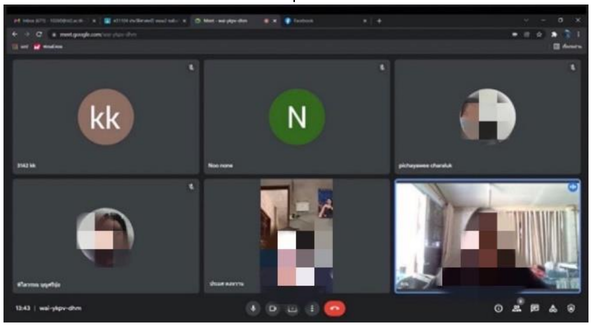
กิจกรรมสัมภาษณ์เชิงลึกแบบออนไซต์



กิจกรรมการเปิดชั้นเรียนออนไลน์
(Online Open Class)



กิจกรรมสัมภาษณ์เชิงลึกแบบออนไลน์



กิจกรรมสัมภาษณ์เชิงลึกแบบออนไลน์

ภาพที่ 1 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ผ่านห้องเรียนออนไลน์ในภาคเรียนที่ 1 การลงพื้นที่สัมภาษณ์เชิงลึกทั้งแบบออนไลน์และออนไซต์ และการนำเสนอผลงานวิจัยของนักเรียนในภาคเรียนที่ 2

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2

ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังและก่อนการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ โดยใช้การจัดกิจกรรมตลอดปีการศึกษา 2564 และได้ใช้เครื่องมือเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนและก่อนเรียน ประกอบไปด้วย 5 ด้าน 25 ข้อ ได้ข้อมูลปรากฏ ดังตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังและก่อนการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย (Research-Based Learning : RBL)

แบบทดสอบ	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	mean	S.D.	t - test	Sig.
หลังเรียน	19	25	17.58	2.43	7.18*	.000
ก่อนเรียน	19	25	13.89	1.63		

*คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4 พบว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนและก่อนเรียนด้วยจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีการคิดอย่างมีวิจารณญาณก่อนเรียน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต เท่ากับ 13.89 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 1.63 และการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 17.58 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 2.43 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบการคิดอย่างมีวิจารณญาณรายด้านหลังและก่อนการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย (RBL)

การคิดอย่างมีวิจารณญาณ	ค่าเฉลี่ย	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ด้านที่ 1 ความสามารถในการระบุปัญหา	1.84	2.68
ด้านที่ 2 ความสามารถในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลและการสังเกต	3.42	4.37
ด้านที่ 3 ความสามารถในการอุปนัย	2.79	3.89
ด้านที่ 4 ความสามารถในการนิรนัย	1.95	2.68
ด้านที่ 5 ความสามารถในการระบุข้อตกลงเบื้องต้น	3.84	4.05

จากตารางที่ 5 พบว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นรายด้านหลังเรียนและก่อนเรียนด้วยจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่าผู้เรียนมีการคิดวิจารณญาณ ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านที่ 1 ความสามารถในการระบุปัญหา ด้านที่ 2 ความสามารถในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลและการสังเกต ด้านที่ 3 ความสามารถในการอุปนัย ด้านที่ 4 ความสามารถในการนิรนัย และด้านที่ 5 ความสามารถในการระบุข้อตกลงเบื้องต้น มีค่าเฉลี่ยการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

อภิปรายผล

ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 ผู้วิจัยได้แยกการอภิปรายเป็นประเด็นต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้

1.ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ โดยภาพรวมพบว่าผลการประเมินคุณภาพงานวิจัยอยู่ในระดับดีมาก ที่ผลการวิจัยเป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย เป็นงานที่เกิดจากการศึกษาค้นคว้าที่นักเรียนคิดและทำอย่างอิสระในประเด็นที่ตนเองสนใจ โดยนักเรียนสามารถวางแผนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เริ่มตั้งแต่การเลือกหัวข้อ การวางแผน การเขียนรายงาน ตลอดจนการนำเสนองานวิจัย โดยทุกขั้นตอนจะมีผู้เชี่ยวชาญและครูที่ปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด คอยให้คำชี้แนะจนเสร็จสิ้นงานวิจัยซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ Khumraksa (2021) กิจกรรมการจัดการเรียนการสอนแบบ RBL จะทำให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะ

การใช้วิจัยในการแสวงหาความรู้ และทักษะการคิดระดับสูงที่เป็นการคิดที่สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่หรือข้อค้นพบใหม่ขึ้นมา อันเป็นการบ่มเพาะวิธีการคิดอย่างมีเหตุผล คิดอย่างมีวิจารณญาณ และคิดอย่างมีนวัตกรรม นอกจากนี้นักเรียนสามารถนำเสนองานวิจัยปากเปล่า โดยใช้ภาษาในการสื่อสารอธิบายโครงสร้างการจัดทำวิจัยชัดเจน และตอบข้อซักถามเกี่ยวกับรายละเอียดการดำเนินการจัดทำงานวิจัยได้เป็นอย่างดี มีความชื่นชมในผลงานของตนเองที่ช่วยกันจัดทำส่งผลให้คุณภาพของงานวิจัยอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Phoodok *et al.* (2019) ที่ศึกษาเรื่อง การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานบนฐานวิจัย เพื่อสร้างเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับ Phakhaphamongkholchai and Sirisamphan (2018) ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง เศรษฐศาสตร์มหภาค ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องเศรษฐศาสตร์มหภาค ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลการศึกษาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์ มีการคิดอย่างมีวิจารณญาณก่อนเรียน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.89 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 1.63 และการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.58 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 2.43 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนทีส่งเสริมและช่วยให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาการคิดขั้นสูง โดยส่งเสริมให้เกิดกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบตั้งแต่การวิเคราะห์ สังเคราะห์ ตัดสินใจด้วยเหตุผล ตลอดจนการประเมินแนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ หรือตอบคำถามที่กำหนดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอนมีความชัดเจนด้วยตรรกะที่สามารถพิสูจน์ข้อความจริงให้ประจักษ์ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับ Phakhaphamongkholchai and Sirisamphan (2018) ที่ศึกษาการพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง เศรษฐศาสตร์มหภาค ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการวิจัยพบว่าทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับ Phoodok *et al.* (2019) ได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานบนฐานวิจัย เพื่อสร้างเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า นักเรียนมีการคิดอย่างมีวิจารณญาณจากการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานบนฐานวิจัยเพื่อสร้างเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยเรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัยผ่านห้องเรียนออนไลน์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 ผู้วิจัยมีข้อค้นพบและข้อเสนอแนะ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

1. ครูผู้สอนควรมีความรู้ด้านการจัดการเรียนโดยโครงงานฐานวิจัยเป็นอย่างดี และพร้อมที่จะชี้แนะให้ความรู้แก่นักเรียนได้เป็นอย่างดี
2. ก่อนให้นักเรียนทำวิจัย ครูผู้สอนควรให้ความรู้เกี่ยวกับหลักการและแนวคิดทางทฤษฎีโครงงานฐานวิจัยแก่นักเรียนก่อน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. การจัดการเรียนโดยโครงงานฐานวิจัยนั้นต้องอาศัยระยะเวลาในการทำวิจัยค่อนข้างมาก ดังนั้นผู้สอนควรจัดตารางเวลาให้เหมาะสม และมีเวลาที่จะคอยดูแลชี้แนะให้คำปรึกษาตลอดเวลา

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้โดยโครงงานฐานวิจัยไปใช้ในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรม ทักษะการแก้ปัญหาอนาคต เป็นต้น
2. ควรมีการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้โดยโครงงานฐานวิจัยไปใช้ร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้อื่น ๆ เช่น การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (Participatory Learning : PL) เป็นต้น
3. การจัดการเรียนโดยโครงงานฐานวิจัย ควรให้ผู้เรียนได้ลงพื้นที่ และมีการปฏิบัติจริง จะทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะการวิจัยได้ดีกว่าห้องเรียนออนไลน์

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชนัญชิดา ทิพย์ญาณ อาจารย์คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และนางกัญญารินทร์ ไชยจันทร์ นักวิจัยชำนาญการ สถาบันไทยคดีศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการให้ความรู้ ตลอดจนตรวจสอบปรับปรุงแก้ไขรูปเล่มรายงานการวิจัยของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสุราษฎร์ธานี 2 เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

Boonphak, K. (2020). Learning in New Normal (in Thai). **Journal of Industrial Education**, 19(2), A1-A6.

Jinpon, P., and Jueboon, M. (2021). Aiming for Effective Management of Online Learning in the Era of Global Changes amidst Covid-19 Crisis: A Case Study of Tantiwatra School Thung Song District Nakkno Si Thammarat (in Thai). **Journal of Southern Technology**, 14(2), 1-14.

Khumraksa, B. (2021). The Use of Research – Based Learning to Promote an Active Learning in Science Learning (in Thai). **CMU Journal of Education**, 5(1), 58-74.

Namwong, R., Hiranpongsin, S., and Ditcharoen, N. (2018). Development of web application to support project proposal management for research-based learning (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 1-16.

Phakhaphamongkholchai, W., and Sirisamphan, O. (2018). The Development of Critical Thinking Skills Using Research – Based Learning of Matthayomssuksa 5 Students (in Thai). **Silpakorn Education Research Journal**, 10(2), 241-254.

Phoodok, S., Jaiman, P., and Sitthirak, H. (2019). The Development of Research – Base Project Learning Management Model to Enhance Critical Thinking for Lower Secondary School Students. **Journal of Education Thaksin Universify,** 19(2), 46-55.

Rattanaprom, W. (2018). Research – Based Learning; RBL (in Thai). **Suratthani Rajabhat Journal**, 5(2), 37-60.

Thitumanowong, N., Jansawang, N., and Santiboon, T. (2019). Learning management through Flipped classroom approach to promote critical thinking entitle: Soil, Rock, Mineral and Geochemis try of grade 12 students Princess Chulabhorn's College Science School, Buriram. **Journal of Research and Development Buriram Rajabhat Universify,** 14(1), 91-99.

WHO. (2020). Archived: WHO Timeline – COVID-19. (in Thai). Retrieved 17 January 2022, from **GoToKnow**: https://www.who.int/news-room/detail/27-04-2020-who-timeline---covid-19.

บทความวิชาการ

การจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

นภัทร สีเขียว[1,*] และน้ำเพชร นาสารีย์[1]
[1]*ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง*
**Email: s.terdsak@hotmail.com*

รับบทความ: 26 มกราคม 2565 แก้ไขบทความ: 24 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 3 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรก (Infusion) โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นกระบวนการเรียนรู้หนึ่งที่สามารถสอดแทรกเนื้อหาอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน สามารถนำมาใช้ได้ผลในวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งทำให้นักเรียนมีโอกาสได้สังเกต ทดลอง และสรุปผลเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และปรับประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ด้วยตนเอง ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอตัวอย่างแนวทางการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ตามแนวทางของ Llewelly (2005) ได้แก่ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นการสำรวจและค้นหา 3) ขั้นการอธิบายและลงข้อสรุป 4) ขั้นการขยายผลความรู้ และ 5) ขั้นการประเมินผล ผ่านกิจกรรม “ไข่เยี่ยวม้าทองคำ” โดยใช้คำถามต่อไปนี้ (1) ไข่เยี่ยวม้าที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาดมีสีดำและมีความเค็มแตกต่างกันออกไปหรือไม่ (2) ความเค็มนั้นถูกลำเลียงเข้าไปในไข่ได้อย่างไร (3) มีปัจจัยใดบ้างที่ทำให้ไข่เค็มไม่เท่ากัน (4) ถ้าต้องการให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีเหลืองทองสามารถทำได้อย่างไร ใช้หลักการใดบ้าง และ (5) จงอธิบายเทคนิคหรือวิธีการที่คุณใช้ จากรูปแบบของกิจกรรมเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการสังเกต สืบค้น รวบรวมข้อมูล ทำงานร่วมกันเป็นทีม ปฏิบัติการทดลอง เพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายและเชื่อมโยงสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้แล้วนำเสนอผลจากการเรียนรู้อย่างมีเหตุผลจากหลักฐานเชิงประจักษ์ และจากกิจกรรมการจัดการเรียนรู้จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการแพร่ของสารมากขึ้นจากการได้ลงมือปฏิบัติและค้นพบคำตอบด้วยตนเอง นอกจากนี้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ยังทำให้นักเรียนเกิดทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ การทำงานร่วมกันเป็นทีม ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับครูผู้สอนในการนำแนวทางการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียนหรือสามารถนำไปปรับใช้ในการจัดการเรียนการสอนภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เพื่อพัฒนานักเรียนต่อไป

คำสำคัญ: การบูรณาการสอดแทรก การสืบเสาะหาความรู้ การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ กระบวนการแพร่ ไข่เยี่ยวม้าทองคำ

อ้างอิงบทความนี้
นภัทร สีเขียว และน้ำเพชร นาสารีย์. (2565). การจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 322-331. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.34

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Academic Article

Infused integrated learning management by using an inquiry method entitled “cell transportation” for grade-7 students

Naphat Seekeaw[1,*] **and Namphet Nasaree**[1]

[1]*Master of Education in Science and Technology Learning Management, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University*

**Email: s.terdsak@hotmail.com*

Received <26 January 2022>; Revised <24 May 2022>; Accepted <3 June 2022>

Abstract

Infused integrated learning management by using inquiry method is a learning technique that entails interlacing related concepts by employing a learning approach to seek knowledge. It can be used effectively in a science subject. Students can observe, experiment, and form conclusions about scientific ideas, which they can then apply in real life. This article shows an example of infused integrated learning management by using an inquiry method entitled “cell transportation” for grade 7 students. The process of scientific inquiry in this classroom according to Llewelly (2005) consists of 1) engagement, 2) exploration, 3) explanation, 4) elaboration, and 5) evaluation through the “golden century eggs” activity. The questions are as follows: 1) Are the darkness and saltiness of each century eggs sold in markets different? (2) How does the saltiness get into the eggs? (3) Which factors influence the saltiness of the eggs? (4) How do you make the century eggs golden yellow? and (5) Explain what techniques you use. In this exercise, students will be able to participate in observation, research, information gathering, teamwork, and experimentation, allowing them to explain and link what they have learned and present the discoveries of their learning rationally based on empirical data. This learning activity will also help students gain a better understanding of the diffusion process by allowing them to complete the work and discover the answer on their own. In addition, the process of pursuing knowledge equips students with the abilities they will require in the 21^{st} century. Some examples of the skills are communication skills, information and media literacy, and teamwork. This will be useful for teachers to implement an infused integrated learning management by using an inquiry method entitled “cell transportation” for grade 7 students that can be applied in teaching management in the classroom or can be applied under the Covid-19 situation to further develop students.

Keywords: Infused integration, inquiry method, cell transportation, diffusion, golden century eggs

Cite this article:

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. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.34

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วจึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านวิถีชีวิตของมนุษย์ การรับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ที่แพร่กระจายไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีอิทธิพลต่อการพัฒนาประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรม การเมืองการปกครอง และการศึกษา นักเรียนซึ่งเป็นเยาวชนที่อยู่ท่ามกลางสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ จะต้องมีความรู้เท่าทันกระแสของการเปลี่ยนแปลง และครูในบทบาทที่ทำหน้าที่ในการจัดการเรียนการสอน ต้องพัฒนานักเรียนให้มีทักษะที่เหมาะสมกับยุคสมัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Office of the Education Council, 2017; Noppakornsettakul, 2018) ดังที่ Panich (2012) กล่าวว่าครูต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการสอนแบบเดิม ๆ ที่คอยป้อนความรู้ให้กับนักเรียนเพียงอย่างเดียว ไปเป็นครูที่เป็นผู้ฝึก (Coach) หรือผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (Learning facilitator) ครูต้องเปลี่ยนเป้าหมายการเรียนรู้ของนักเรียนจากเน้นเรียนวิชาเพื่อได้ความรู้ให้ไปสู่การพัฒนาทักษะที่สำคัญต่อชีวิตในยุคใหม่หรือยุคศตวรรษที่ 21

การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะสำหรับนักเรียนในศตวรรษที่ 21 เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ต้องให้นักเรียนได้เรียนและฝึกทักษะที่หลากหลายผ่านการเรียนการสอนโดยการลงมือทำ (Learning by doing) หรือเรียนแบบ Active Learning โดยครูผู้สอนทำหน้าที่เป็นนักออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกทักษะและซึมซับทักษะต่าง ๆ ผ่านกิจกรรมที่ผู้สอนจัดขึ้น วิธีการนี้เป็นวิธีการที่จะช่วยปลูกฝังให้นักเรียนรู้จักแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง และก่อให้เกิดทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต กระบวนการนี้สามารถจัดการเรียนการสอนในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการด้วย ทำให้สามารถเข้าถึงความรู้ ความเข้าใจ ทักษะและประสบการณ์ต่าง ๆ ของนักเรียน ช่วยให้นักเรียนมีพัฒนาการที่สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 ที่ได้ให้ความสำคัญกับนักเรียนและการจัดการเรียนรู้โดยเน้นการสอนแบบบูรณาการ ซึ่งการสอนแบบบูรณาการนั้นต้องเน้นให้ความสำคัญทั้งด้านความรู้ คุณภาพ และการบูรณาการตามความเหมาะสมของแต่ละรายวิชา ดังนั้นสถานศึกษา ครู และบุคลากรทางการศึกษาจึงควรให้ความสำคัญอย่างยิ่ง ในการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการดังจะเห็นได้จากข้อบัญญัติตามมาตรา 23 การจัดการศึกษา ทั้งการศึกษาในระบบ การศึกษานอกระบบ และ การศึกษาตามอัธยาศัย ต้องเน้นความสำคัญทั้งความรู้ คุณธรรม กระบวนการเรียนรู้ และการบูรณาการ ตามความเหมาะสมของแต่ละระดับการศึกษา (Tachoochat and Biasiri, 2020)

การจัดการเรียนรู้ควรมีการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีและกระบวนการที่หลากหลาย ซึ่งครูผู้สอนต้องคำนึงถึงระดับความรู้ ความสามารถ สติปัญญา ความสนใจ วิธีการเรียนรู้ รวมถึงพัฒนาการทางด้านร่างกายของนักเรียน และอื่น ๆ ที่จำเป็น ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้ควรใช้รูปแบบและวิธีการที่เน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง และเชื่อมโยงเนื้อหารายวิชาให้สอดคล้องผสมผสานกันเพื่อให้นักเรียนเกิดทักษะการเรียนรู้ซึ่งรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีการเชื่อมโยงเนื้อหาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ต่าง ๆ หลายแขนง ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมโยงเนื้อหาความรู้ในรายวิชาเดียวกัน หรือต่างรายวิชากัน เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจอย่างเป็นระบบและเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม สามารถนำความรู้ ทักษะ และ เจตคติไปสร้างงาน แก้ปัญหาและใช้ในชีวิตประจำวันได้ด้วยตนเอง (Umudee, 2016) ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการช่วยให้นักเรียนมองเห็นประโยชน์และคุณค่าของสิ่งที่เรียนไปและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนจึงควรเน้นการบูรณาการและหากจะให้ผลดียิ่งขึ้นควรจัดทำหลักสูตรบูรณาการหรือหน่วยการเรียนรู้แบบบูรณาการด้วย (Dechakhup, 2014) การจัดการเรียนรู้บูรณาการมีหลากหลายรูปแบบ รูปแบบที่ครูผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์และปรับใช้ในชั้นเรียนได้ง่ายคือ การจัดการเรียนการสอนบูรณาการแบบสอดแทรก (Infusion Instruction) เป็นการจัดการเรียนรู้โดยครูผู้สอนจะวางแผนและกำหนดหัวเรื่องโดยสอดแทรกเนื้อหาสาระอื่น ๆ ใหเขากับหัวข้อเรื่องหรือสาระที่กำหนดขึ้นมา ทำใหนักเรียนได้ใชทักษะกระบวนการเรียนรูไปแสวงหาความรูเพิ่มเติมจากเนื้อหาสาระที่กำหนด (Suthasinobon, 2002 : Udom, 2005) การสอนบูรณาการแบบสอดแทรกสามารถทำได้โดย 1. เลือกหัวเรื่องโดยเน้นให้สอดคล้องกับชีวิตจริง 2. พัฒนาหัวเรื่องให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และความรู้ที่ต้องการจะให้เกิดกับนักเรียนสอดคล้องกับเวลาในการสอน 3. ระบุทรัพยากรที่ต้องการโดยคำนึงถึงสิ่งที่มีอยู่ในท้องถิ่น หาง่ายและประหยัด 4. พัฒนากิจกรรมการเรียนการสอนและดำเนินกิจกรรมตามที่วางไว้ 5. ประเมินความก้าวหน้าของนักเรียน (Chinnawong อ้างอิงใน Suthasinobon, 2002)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (inquiry-based learning) เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ มีกิจกรรมที่กระตุ้น ส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนากระบวนการคิด จนสามารถค้นคว้าหาความรู้และสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง โดยอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยมีครูเป็นผู้ชี้แนะแนวทาง และอำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียน (Taweeboot, 2017) ซึ่งมี 5 ขั้นตอนดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียน ซึ่งอาจเกิดขึ้นเองจากความสงสัย ความสนใจของนักเรียน หรือครูผู้สอนเป็นตัวกระตุ้นหรือเสนอประเด็นที่จะศึกษาขึ้นมาก่อน 2) ขั้นการสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นขั้นที่นักเรียนจะต้องมีการวางแผน กำหนดแนวทางการสำรวจ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตรวจสอบ ตั้งสมมติฐาน กำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ ลงมือปฏิบัติเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อสนเทศ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ 3) ขั้นการอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) นักเรียนนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ แปลผล สรุปผล และนำเสนอผลที่ได้ในรูปต่างๆ เพื่อสรุปความรู้ร่วมกัน 4) ขั้นการขยายผลความรู้ (Elaboration) เป็นการนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิม เพื่อให้นักเรียนสามารถคิดพิจารณา ใคร่ครวญอย่างมีเหตุผล เพื่อตัดสินใจและนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน 5) ขั้นการประเมินผล (Evaluation) เป็นการประเมินการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมและแบบทดสอบ เพื่อประเมินผลว่านักเรียนมีความรู้อะไรบ้าง อย่างไร และมากน้อยเพียงใด (BSCS, 2006) จากขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แสดงให้เห็นว่าเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ควบคู่ไปกับทักษะ กระบวนการต่าง ๆ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, (2017) Wongsriphuak (2020) ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือพบว่ากิจกรรมช่วยส่งเสริมให้นักเรียนทำงานร่วมกัน รับผิดชอบต่องาน และสามารถพัฒนาทักษะการทำงานกลุ่มได้ Polnak, et al. (2020) พบว่าการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และนักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ Tingsa et al. (2018) พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะผสมผสานกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและมีความสามารถในการแก้ปัญหาดีมาก Sopa (2018) พบว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นและเกม สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียน นอกจากนี้ Taweeboot (2017) ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับผังกราฟิก พบว่ากิจกรรมการจัดการเรียนรู้ช่วยพัฒนาผู้เรียนในด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้น Noiwong (2021) ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียน หลักสูตรทวิภาษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า การจัดการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจ มีจิตวิทยาศาสตร์ ทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21

การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ เป็นกระบวนการที่สำคัญและสามารถพบได้ในชีวิตประจำวันโดยทั่วไป สามารถนำมาปรับประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิต ดังนั้นสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จึงได้บรรจุเนื้อหาเรื่องการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในรายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน สาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ มาตรฐาน ว 1.2 เข้าใจสมบัติของสิ่งมีชีวิต หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์และมนุษย์ที่ทำงานสัมพันธ์กัน ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ ของพืชที่ทำงานสัมพันธ์กัน รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ ตัวชี้วัด ม.1/5 อธิบายกระบวนการแพร่และการออสโมซิสจากหลักฐานเชิงประจักษ์ และยกตัวอย่างการแพร่และออสโมซิสในชีวิตประจำวัน (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2017) ในตัวชี้วัดนี้เนื้อหาที่สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวัน เช่น การแช่ผักในน้ำ การทำไข่เค็ม การทำไข่เยี่ยวม้า เป็นต้น ไข่เยี่ยวม้าเป็นผลิตภัณฑ์จากการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง โดยชาวจีนโบราณนำไข่เป็ดมาเก็บรักษาโดยวิธีการดองเค็มในสภาวะที่เป็นด่าง (Vanmontree, 2016) วัตถุดิบที่ทำให้เกิดสภาวะด่าง เช่น ขี้เถ้า ปูนขาว โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต มาเตรียมให้เป็นสารละลายด่างผสมกับน้ำชาและเกลือ แล้วนำไข่ไปดองหรือพอกไว้ ประมาณ 30-60 วัน สารที่เป็นด่างหรือน้ำด่างจะค่อย ๆ ซึมผ่านรูพรุนเล็ก ๆ ของเปลือกไข่เข้าไปข้างใน ทำให้ไข่ขาวและไข่แดงเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโปรตีนในไข่ขาวและไข่แดงจะเกิดการเปลี่ยนสภาพ กลายเป็นของแข็งคล้าย ๆ วุ้น และการเติมน้ำชาจะทำให้ไข่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Sujarit et al., 2014) ซึ่งสามารถบูรณาการสอดแทรกสาระการเรียนรู้การงานอาชีพ สาระที่ 2 การอาชีพ มาตรฐาน ง 2.1 เข้าใจ มีทักษะที่จำเป็น มีประสบการณ์ เห็นแนวทางในงานอาชีพ ใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาอาชีพ มีคุณธรรม และมีเจตคติที่ดีต่ออาชีพ ตัวชี้วัด ม.1/2 มีเจตคติที่ดีต่อการประกอบอาชีพและตัวชี้วัด ม.1/3 เห็นความสำคัญของการสร้างอาชีพได้ (Office of the Basic Education Commission, 2008)

จากความสำคัญข้างต้น ผู้เขียนจึงมุ่งนำเสนอแนวการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยเน้นให้นักเรียนใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาคำตอบด้วยการปฏิบัติด้วยตนเอง ด้วยประเด็นคำถามที่ว่า “ไข่เยี่ยวม้าที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาดมีสีดำและมีความเค็มแตกต่างกันออกไปหรือไม่ และความเค็มนั้นถูกลำเลียงเข้าไปในไข่ได้อย่างไร มีปัจจัยใดบ้างที่ทำให้ไข่เค็มไม่เท่ากัน แล้วถ้านักเรียนจะทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีเหลืองทองนักเรียนจะทำอย่างไร”

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่กิจกรรมการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ประโยชน์ที่ได้รับ

ครูผู้สอนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 สามารถนำแนวทางการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ ไปประยุกต์ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนานักเรียนทั้งในห้องเรียนหรือภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และนำไปต่อยอดในการวิจัยในชั้นเรียนต่อไปได้

แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

แนวทางการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ใช้เวลาจัดกิจกรรม 3 ชั่วโมง โดยวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ดังแสดงในภาพที่ 1 และสามารถศึกษาใบกิจกรรมได้ โดยสแกน QR Code ในภาพที่ 1 มุมล่างขวา

ภาพที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์ในการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรก
โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้มี 5 ขั้นตอน ตามแนวทางของ Llewelly (2005) ดังนี้

1. **ขั้นสร้างความสนใจ** (Engagement) เป็นขั้นที่ครูต้องสร้างความสนใจ หรืออยากรู้อยากเห็นให้กับนักเรียนด้วยการให้นักเรียนดูวิดีทัศน์ เรื่อง การแพร่ของด่างทับทิม แล้วกระตุ้นนักเรียนโดยใช้คำถามต่อไปนี้
    - จากวิดีทัศน์นักเรียนสังเกตเห็นอะไรบ้าง
    - หลังจากที่ใส่ด่างทับทิมลงไปในน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง
    - ด่างทับทิมมีการเคลื่อนที่จากบริเวณใดไปยังบริเวณใด

   จากนั้นครูเปิดรูปภาพไข่เยี่ยวม้าให้นักเรียนสังเกตแล้วครูกระตุ้นนักเรียนโดยใช้คำถามและกำหนดประเด็นที่จะศึกษาร่วมกันดังนี้

ภาพที่ 2 ไข่เยี่ยวม้า

- สิ่งที่เห็นในภาพที่ 2 เรียกว่าอะไร (ไข่เยี่ยวม้า)
- นักเรียนเคยรับประทานไข่เยี่ยวม้าหรือไม่ (เคย/ไม่เคย)
- ไข่เยี่ยวม้ามีรสชาติอย่างไร (รสเค็ม)
- นักเรียนคิดว่ารสเค็มในไข่เยี่ยวม้าเกิดขึ้นได้อย่างไร (นักเรียนตอบตามความเข้าใจของนักเรียน)
- ไข่เยี่ยวม้าที่นักเรียนเห็นมีสีอะไรบ้าง (นักเรียนตอบตามสีที่นักเรียนสังเกตได้)
- นักเรียนอยากให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีอะไรบ้าง (นักเรียนตอบสีต่าง ๆ)
- ถ้าต้องการให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีเหลืองทองสามารถทำได้อย่างไร จะใช้หลักการใดในการอธิบายการทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีเหลืองทอง (นักเรียนเสนอแนวทางต่าง ๆ)

จากนั้นครูเชื่อมโยงความสงสัยว่าความเค็มและสีของไข่เยี่ยวม้าที่เกิดขึ้น รวมทั้งวิธีการการทำไข่เยี่ยวม้าว่าทำอย่างไร และทำอย่างไรให้เป็นสีเหลืองทอง สู่การทำกิจกรรมไข่เยี่ยวม้าทองคำ

2. **ขั้นสำรวจและค้นหา** (Exploration) เป็นขั้นที่ครูจะต้องส่งเสริมให้นักเรียนสำรวจและค้นหาคำตอบร่วมกันเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ด้วยการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เช่น สืบค้น สังเกต ทดลอง หรือสร้างแบบจำลอง เพื่อนำหลักฐานเชิงประจักษ์ต่าง ๆ มาอธิบายปรากฏการณ์ที่สนใจ โดยครูคอยสังเกต ให้คำปรึกษาและคำแนะนำแก่นักเรียน ซึ่งในกิจกรรมนี้ครูเตรียมวัสดุ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้เรียบร้อยแล้ว โดยให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 3-4 คน ค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับการลำเลียงของสารเข้าและออกจากเซลล์ แล้วบันทึกข้อมูลที่ได้พร้อมกับแหล่งข้อมูลที่สืบค้นแล้วบันทึกลงในใบบันทึกผลการสืบค้น หลังจากนั้นร่วมกันอภิปรายในประเด็นต่อไปนี้

- กระบวนการแพร่หมายถึงอะไร (การเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อย)
- ให้นักเรียนยกตัวอย่างการแพร่ของสาร (นักเรียนตอบตามความคิดเห็นของนักเรียน โดยแนวคำตอบ มีดังนี้ การแพร่ของสี การแพร่ของเกลือในการทำไข่เค็ม การเติมน้ำตาลลงในกาแฟ การฟุ้งกระจายของกลิ่นน้ำหอม การฉีดพ่นยากันยุง การแช่อิ่มผลไม้ หรือแม้แต่การจุดธูปบูชาพระ เป็นต้น)

จากนั้นครูเชื่อมโยงสอดแทรกการทำไข่เยี่ยวม้ากับเรื่องกระบวนการแพร่ โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสืบค้นข้อมูลการทำไข่เยี่ยวม้า และนำเสนอผลการสืบค้นข้อมูลการทำไข่เยี่ยวม้า โดยมีครูเป็นผู้คอยแนะนำ หลังจากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาใบกิจกรรมที่ครูแจกให้ หลังจากนั้นร่วมกันอภิปรายในประเด็นต่อไปนี้

- นักเรียนคิดว่ากิจกรรมไข่เยี่ยวม้าทองคำทำเพื่ออะไร มีจุดประสงค์อะไร (1. เพื่อสังเกต และอธิบายการแพร่ของเกลือและสีของดอกคำฝอยในไข่เยี่ยวม้าได้ 2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของไข่เยี่ยวม้าที่มีการเติมเกลือและดอกคำฝอยได้ 3. เพื่อให้รู้วิธีการและสามารถทำไข่เยี่ยวม้าทองคำได้)
- วัสดุ – อุปกรณ์มีอะไรบ้าง (ไข่เป็ด ดอกคำฝอย เกลือป่น ปูนขาว เบกกิงโซดา น้ำเปล่า เครื่องชั่ง ผ้าขาวบาง บีกเกอร์ เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ชามผสม ช้อน ขวดโหลแก้ว)
- นักเรียนจะตั้งสมมติฐานของกิจกรรมนี้ว่าอย่างไร (1. ถ้าความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อการแพร่ดังนั้นไข่เยี่ยวม้าที่แช่ในสารละลายที่มีความเค็มมากกว่าจะทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีรสชาติเค็มมากกว่า 2. ถ้าความเข้มข้นของสีของดอกคำฝอยมีผลต่อการแพร่ดังนั้นไข่เยี่ยวม้าที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของสีของดอกคำฝอยมากจะทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีเหลือง)
- ตัวแปรต้นของการกิจกรรมการทดลองนี้คืออะไร (ความเข้มข้นของเกลือ และ ความเข้มข้นสีของดอกคำฝอย)
- ตัวแปรตามของกิจกรรมการทดลองนี้คืออะไร (การแพร่ของเกลือและสีของดอกคำฝอย)
- ตัวแปรที่ต้องควบคุมของกิจกรรมการทดลองนี้คืออะไร (ปริมาณน้ำ เบกกิงโซดา ปูนขาว จำนวนไข่เป็ด น้ำหนักของไข่เป็ด ระยะเวลาในการแช่)

- จงอธิบายขั้นตอนการทำกิจกรรมการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน (สูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) เตรียมสารละลายน้ำเกลือโดยละลายเกลือ 100 กรัม ในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนจนละลาย หลังจากนั้นเติมปูนขาว 150 กรัม และเบกกิ้งโซดา 150 กรัม นำไปต้มไฟอ่อน เป็นเวลา 15 นาที แล้วเทลงในขวดโหลแก้ว พักทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไข่เป็ดที่ล้างด้วยน้ำอุ่นและเช็ดให้สะอาดแล้วนำจุ่มลงในขวดโหลแก้ว แล้วปิดฝาให้สนิท เป็นระยะเวลา 25 วัน สูตรที่ 2 (สูตรทดลอง โดยเพิ่มปริมาณเกลือ) ทำคล้าย ๆ กับสูตรที่ 1 แต่น้ำที่ใช้แช่ไข่ให้ใส่เกลือ 150 กรัม จากนั้นนำไข่เป็ดที่ล้างด้วยน้ำอุ่นและเช็ดให้สะอาดแล้วนำจุ่มลงในขวดโหลแก้ว แล้วปิดฝาให้สนิท เป็นระยะเวลา 25 วัน สูตรที่ 3 (สูตรทดลอง โดยเติมสีของดอกคำฝอย) ทำคล้าย ๆ กับสูตรที่ 1 แต่น้ำที่ใช้แช่ไข่ให้ใช้น้ำต้มดอกคำฝอยโดยใช้ดอกคำฝอย 50 กรัม จากนั้นนำไข่เป็ดที่ล้างด้วยน้ำอุ่นและเช็ดให้สะอาดแล้วนำจุ่มลงในขวดโหลแก้ว แล้วปิดฝาให้สนิท เป็นระยะเวลา 25 วัน สูตรที่ 4 (สูตรทดลอง โดยเติมสีของดอกคำฝอย) ทำคล้าย ๆ กับสูตรที่ 1 แต่ใช้ดอกคำฝอย 10 กรัม จากนั้นนำไข่เป็ดที่ล้างด้วยน้ำอุ่นและเช็ดให้สะอาดแล้วนำจุ่มลงในขวดโหลแก้ว แล้วปิดฝาให้สนิท เป็นระยะเวลา 25 วัน เมื่อครบ 25 วันให้นำไข่เยี่ยวม้าที่ได้นำมาล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง ผ่าไข่เยี่ยวม้าแล้วสังเกตสี และความเค็ม แล้วบันทึกผลการทดลอง)
- ถ้านักเรียนจำเป็นต้องทำการทดลองที่บ้านนักเรียน เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 นักเรียนจะเลือกใช้อุปกรณ์ใดทดแทนได้บ้าง (น้ำเปล่าขวด 1,500 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด ทดแทนการใช้บีกเกอร์หรือกระบอกตวง ใช้เตาแก๊สแทนการใช้เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ใช้เกลือป่นถุงเล็กขนาด 70 กรัม โดยในสูตรที่ 1และ 3 ใช้เกลือป่นถุงเล็กประมาณ 2 ถุง สูตรที่ 2 ใช้เกลือป่นถุงเล็กประมาณ 3 ถุง ใช้ใบชาหรือพืชที่ให้สีเหลืองหรือสีส้มทดแทนการใช้ดอกคำฝอย ในกรณีที่ไม่มีเครื่องชั่งปูนขาวและเบกกิ้งโซดา ให้ใช้การตวงเป็นช้อนโต๊ะแทนการชั่ง โดยใส่ในสูตรทั้ง 3 สูตรเท่ากัน ใส่ 15 ช้อนโต๊ะ เป็นต้น)
- นักเรียนทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ระบุไว้ในใบกิจกรรม พร้อมบันทึกผลการทดลอง และตอบคำถามท้ายการทดลอง

ครูให้คำแนะนำเพิ่มเติมและข้อระวังในการใช้ เครื่องให้ความร้อน (hot plate) และอุปกรณ์ต่าง ๆ จากนั้นให้นักเรียนดำเนินการทำกิจกรรมตามที่ระบุไว้ในใบกิจกรรม โดยในระหว่างการทำกิจกรรมครูเดินสังเกตการทำกิจกรรมของนักเรียนเพื่อให้คำแนะนำหากเกิดข้อผิดพลาดในขณะทำกิจกรรม รวมทั้งนำข้อมูลที่ควรจะปรับปรุงและแก้ไขมาใช้ประกอบในการอภิปรายหลังทำกิจกรรม

3. **ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป** (Explanation) เป็นขั้นที่ส่งเสริมให้นักเรียนอธิบายความคิดรวบยอดหรือแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ด้วยคำพูดของนักเรียนเองจากหลักฐานเชิงประจักษ์ด้วยเหตุผล สามารถเปรียบเทียบ วิเคราะห์ แปลผลและลงข้อสรุปได้ ในกิจกรรมนี้นักเรียนได้ค้นพบว่า การแพร่ของสาร คือ การเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อย ในกิจกรรมนี้นักเรียนจะต้องสามารถอธิบายและยกตัวอย่างกระบวนการแพร่ที่พบเจอในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งนักเรียนได้ทำกิจกรรมไข่เยี่ยวม้าทองคำ โดยในการทดลองมีการเปรียบเทียบความเข้มข้นของเกลือ และสีของดอกคำฝอยที่ใช้ หลังจากที่ทำกิจกรรมการทดลองนักเรียนได้ค้นพบและสามารถอธิบายได้ว่า (1) ความเข้มข้นของเกลือที่ต่างกันทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีระดับความเค็มต่างกัน ความเข้มข้นของเกลือภายนอกไข่มีมากกว่าภายในไข่จึงทำให้เกิดการแพร่ของเกลือจากภายนอกไข่เข้าไปภายในไข่ และ (2) ความเข้มข้นของสีของดอกคำฝอยที่ต่างกันทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีต่างกัน ความเข้มข้นของสีของดอกคำฝอยจากภายนอกไข่มีมากกว่าภายในไข่จึงทำให้เกิดการแพร่ของสีดอกคำฝอยจากภายนอกไข่เข้าไปภายในไข่
4. **ขั้นขยายความรู้** (Elaboration) เป็นขั้นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ส่งเสริมให้นักเรียนนำสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน จากกิจกรรมนี้ครูให้นักเรียนนำความรู้ที่สรุปได้จากกิจกรรมไปเชื่อมโยงกับคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซึ่งครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้ที่น่าเชื่อถือได้ นอกจากนี้ครูอาจใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิดเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้ เช่น
    - จากกิจกรรมไข่เยี่ยวม้าทองคำ นักเรียนจะนำไปปรับประยุกต์ในชีวิตประจำวันได้อย่างไรบ้าง (นำหลักการกระบวนการแพร่ของสารไปปรับใช้ในการถนอมอาหารชนิดอื่น เช่น การทำไข่เค็ม การแช่อิ่ม การดองอาหาร)
    - ถ้าต้องการให้ไข่เยี่ยวม้ามีสีอื่นสามารถทำได้อย่างไร (สามารถทำได้โดยการใช้พืชที่ให้สีชนิดอื่น เช่น สีเขียวจากใบเตย สีม่วงจากอัญชัน สีแดงจากดอกกระเจี๊ยบ สีส้มจากมะตูม เป็นต้น)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

- ไข่เยี่ยวม้าที่ทำเสร็จแล้วสามารถนำไปใช้ต่อยอดอย่างไรได้บ้าง (สามารถนำไปจำหน่าย หรือนำไปใช้ในการประกอบอาหารหลาย ๆ เมนู)
- ถ้าไม่มีปูนขาว นักเรียนสามารถเลือกใช้สิ่งใดมาทดแทนปูนขาวได้บ้าง (ใช้เปลือกหอยต่าง ๆ เช่น เปลือกหอยตลับ (Sujarit et al., 2014) เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เป็นต้น)

5. **ขั้นประเมิน** (Evaluation) เป็นขั้นการประเมินความรู้ ทักษะของนักเรียนโดยการสังเกตจากพฤติกรรมการเรียนรู้ การตอบคำถาม การอธิบายที่ให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ การแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์หรือทักษะต่าง ๆ โดยครูสามารถประเมินความรู้ ทักษะต่าง ๆ ของนักเรียนได้จาก การสังเกต การตอบคำถามในชั้นเรียน การตอบจดบันทึกในใบกิจกรรม การอภิปรายตอบข้อซักถามต่าง ๆ รวมถึงการแสดงความคิดเห็นและให้ข้อเสนอแนะ

แนวทางการวัดและการประเมิน

จากตัวชี้วัด ม.1/5 อธิบายกระบวนการแพร่และการออสโมซิสจากหลักฐานเชิงประจักษ์ และยกตัวอย่างการแพร่และออสโมซิสในชีวิตประจำวัน (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2017) และวิธีการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สามารถออกแบบเทคนิคหรือวิธีการวัดและการประเมินนักเรียนให้สอดคล้องกับเทคนิคการประเมินผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (Sirum et al., 2020) ได้ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ ด้านทักษะและกระบวนการ และด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แนวทางการวัดและการประเมิน (Chanamee, 2014)

สิ่งที่ต้องการประเมิน	วิธีการวัด	พฤติกรรมที่สังเกตได้	เครื่องมือ	เกณฑ์การประเมิน
ด้านความรู้				
- อธิบายความหมายและยกตัวอย่างกระบวนการแพร่ได้	ตรวจใบบันทึกกิจกรรม	- นักเรียนเขียนอธิบายความหมายของกระบวนการแพร่และยกตัวอย่างได้ถูกต้อง	- ใบบันทึกกิจกรรม	ถูกต้องร้อยละ 70 ขึ้นไป
ด้านทักษะและกระบวนการ				
- ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	สังเกตพฤติกรรมจากการทำกิจกรรม	- นักเรียนสามารถใช้ประสาทสัมผัสในการสังเกต ระบุความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น สามารถปฏิบัติการทดลองและเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ แปลผลและสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	- แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ - แบบประเมินทักษะการทำงานร่วมกันเป็นทีม	ระดับดีขึ้นไป
- การทำงานร่วมกันเป็นทีม		- นักเรียนร่วมกันวางแผนการทดลองและแบ่งหน้าที่กันทำงาน	- แบบประมินทักษะการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	
- การสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ		- นักเรียนสืบค้นข้อมูลและเลือกใช้แหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ และนำเสนอข้อมูลที่สืบค้น		
ด้านจิตวิทยาศาสตร์				
- ความรอบคอบ	สังเกตพฤติกรรมจากการทำกิจกรรม	- นักเรียนทดลองตามขั้นตอนและจดบันทึกผลที่ได้จากการทดลองอย่างละเอียดรอบคอบ รวบรวมหลักฐานหรือข้อมูลที่เชื่อถือได้ให้เพียงพอก่อนการตัดสินใจหรือสรุปสิ่งต่าง ๆ ไม่ตัดสินใจง่าย โดยไม่พิจารณาข้อมูล	- แบบสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม	ระดับดีขึ้นไป
- ความอยากรู้อยากเห็น		- นักเรียนมีความกระตือรือร้น สนใจในการทดลองเพื่อหาเหตุผลของปัญหา พร้อมที่จะค้นคว้าหาความรู้ใหม่ ๆ มีการซักถามคำถามต่าง ๆ อยากรู้ข้อมูลและค้นหาข้อมูลเพิ่มเติม		
- การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น		- นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและยอมรับฟังความคิดเห็นของเพื่อน ๆ ในกลุ่ม รับฟังการวิพากษ์วิจารณ์หรือข้อโต้แย้ง ข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของเพื่อนในกลุ่ม		

สรุป

การจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ เป็นกิจกรรมที่มีการรสอดแทรกเนื้อหาการทำไข่เยี่ยวม้าในรายวิชาการงานอาชีพ ในขั้นสำรวจและค้นหา และในขั้นขยายความรู้ กิจกรรมนี้ส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ ค้นหาคำตอบด้วยการปฏิบัติด้วยตนเองผ่านกิจกรรมไข่เยี่ยวม้าทองคำ การทำกิจกรรมนี้เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการสังเกต สืบค้นรวบรวมข้อมูล ทำงานร่วมกันเป็นทีม ปฏิบัติการทดลอง เพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายและเชื่อมโยงสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้แล้วนำเสนอผลจากการเรียนรู้อย่างมีเหตุผลจากหลักฐานเชิงประจักษ์ จากกิจกรรมการจัดการเรียนรู้จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการแพร่ของสารมากขึ้นจากการได้ลงมือปฏิบัติและค้นพบคำตอบด้วยตนเอง กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ยังทำให้นักเรียนเกิดทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ การทำงานร่วมกันเป็นทีม นอกจากนี้การทำไข่เยี่ยวม้ายังทำให้นักเรียนมีทักษะ ประสบการณ์ และสามารถนำไปประกอบอาชีพได้ ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการประเมินความรู้ ทักษะและกระบวนการต่าง ๆ ในศตวรรษที่ 21 รวมทั้งจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับครูผู้สอนในการนำแนวทางการจัดการเรียนรู้บูรณาการสอดแทรกโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ นอกจากนี้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนยังสามารถนำไปปรับหรือประยุกต์ใช้กับเนื้อหาอื่น ๆ ได้เช่น การสอดแทรกการทำผลไม้แช่อิ่มในเรื่องการออสโมซิส การสอดแทรกเนื้อหากรด – เบส กับการเสียสภาพของโปรตีนในไข่เยี่ยวม้า เป็นต้น หรือสามารถนำไปปรับใช้ในการจัดการเรียนการสอนภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เพื่อพัฒนาผู้เรียนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

BSCS. (2006). The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness. Retrieved 15 February 2022, from https://media.bscs.org/bscsmw/5es/bscs_5e_full_report.pdf.

Office of the Basic Education Commission, Ministry of Education. (2008). Manual for Learning standard and indicators of occupations and technology according to the basic education core curriculum, B.E. 2551 (A.D. 2008) (in Thai). Retrieved 13 December 2021, from: https://drive.google.com/file/d/0B9t56k6dmUe5em9mOEFXaU5vRjg/view?resourcekey=0-8UYYTngHO6XEYwKLSYa5tQ.

Chanamee, C. (2014). The multi-level analysis of factors related to scientific mind of senior high school students under the secondary educational service area office, area 36 (in Thai). **Master's Thesis**. Chiangmai: Chiangmai University.

Chinnawong, W. (2001). Integrated teaching and learning management (in Thai). **Academic Journal**, 4(10), 27-33.

Dechakhup, P. (2014). **Learning management in 21th century**. Bangkok: Chulalongkorn University Printery.

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2017). Manual for basic science subject (revised edition 2017) according to the basic education core curriculum, B.E. 2551 (A.D.2008) for junior high school student (in Thai). Retrieved 13 December 2021, from **SciMath**: https://www.scimath.org/ebook-science/item/8923-2018-10-01-01-59-16.

Llewelly, D. (2005). **Teaching high school science trough inquiry**. California: Wadsworth.

Noiwong, W. (2021). Learning activity in topic of super absorbent polymers for senior high school students of bilingual program (in Thai). **Journal of Science & Science Education**, 4(1), 118-129.

Noppakornsettakul, S. (2018). 21st Century teaching skills of teachers in secondary school at Rayong Province under the Secondary Educational Service Area Office 18 (in Thai). **Master's thesis**. Chonburi: Burapha University.

Office of the Education Council. (2017). **National Education Plan 2017–2036** (in Thai). Bangkok: Prickwan Graphic.

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

Polnak, P., Chauvatcharin, N. and Sirisawat, C. (2020). The study of ability in analytical thinking, biology learning achievement and attitudes toward biology of 11th grade students using the inquiry cycle (5E) instructional model with storyline (in Thai). **Journal of Education Naresuan University**, 22(4), 160-170.

Sirum, U., Chaiso, P., Ekwarangkul, P. and Ugsonkid, S. (2020). Strategies of assessment for learning for learners in the 21st century (in Thai). **Sripatum Review of Humanities and Social Sciences**, 20(1), 193-206.

Sopa, P. (2018). The development of critical thinking through inquiry cycles (5es) and games entitled human and animal body systems, in learning area of science for matthayomsuksa 2 (in Thai). **Master's Thesis**. Sakon Nakorn: Sakon Nakorn Rajabhat University.

Sujarit, C., Sawain, A., Rittirut, W. and Kapun, K. (2014). The Production of Chinese Preserved Egg using Lime from Enamel Venus Shell (in Thai). **Proceeding of International Conference on Sustainable Community Development**, 396-401.

Suthasinobon, A. (2002). Integration learning. **Academic Journal**. 5 (12): 20-26.

Tachoochat, M. and Biasiri, S. (2020). The result of interdisciplinary integrated learning management on nature and environment topic for grade 1 students (in Thai). **Proceeding of NEU National Conference**, 243 – 251.

Taweeboot, C. (2017). Development of critical thinking ability using inquiry method and graphic organizers entitled "photosynthesis" for Mathayomsuksa 5 students. (in Thai). **Master's Thesis**. Sakon Nakorn: Sakon Nakorn Rajabhat University.

Tingsa, C., Jaigla, A., Tamuang, S. and Supasorn, S. (2018). Twelfth Grade students' achievement and problem-solving ability on properties and reactions of organic compounds from learning by using inquiry incorporated with problem-based learning (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 97-108.

Udom, P. (2005). Integrated Instruction (in Thai). **Journal of Thaksin**, 8(2), 66-75.

Umudee, N. (2016). Effect of integration of Islamic and science learning on science achievement, science process skills and instructional satisfaction of grade 9 Students (in Thai). **Master's thesis**. Songkhla: Songkhla University.

Vanmontree, B. (2016). Evaluation of internal change of century egg under hydrostatic conditions (in Thai). **Master's Thesis**. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology.

Wongsriphuak, V. (2020). The development of group working skills for grade IV students in the learning unit of "good citizen duty actions" through Inquiry-based learning with cooperative learning (in Thai). **Kasetsart Educational Review**, 35(2), 181-191.

บทความวิชาการ

การประเมินเพื่อการเรียนรู้และการประเมินเป็นการเรียนรู้: รูปแบบการประเมินการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ปรับใหม่

ปัญญา แจ้งสว่าง[1,*] พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ[1] เอกภูมิ จันทรขันตี[1] และเอกรัตน์ ทานาค[1]
[1]สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
**Email: Panya.g@ku.th*

รับบทความ: 9 กุมภาพันธ์ 2565 แก้ไขบทความ: 6 พฤษภาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 18 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การประเมินกับการเรียนรู้เป็นสิ่งที่เกิดไปควบคู่กัน ดังนั้นการประเมินเพื่อการเรียนรู้ และ การประเมินเป็นการเรียนรู้จึงถูกนำมาใช้เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการเรียนรู้แบบผู้เรียนเป็นสำคัญที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 รวมทั้งเป็นกำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่จะเปลี่ยนแปลงในอนาคต เนื่องจากการประเมินทั้งสองรูปแบบนี้ให้ข้อมูลสารสนเทศในการปรับปรุงการเรียนรู้ของผู้เรียนและทราบข้อบกพร่องของครูที่เกิดขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการจัดการเรียนสอน ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้และเรียนรู้ดีขึ้นเมื่อได้ประเมินตนเอง การประเมินเพื่อการเรียนรู้เป็นการรวบรวมสารสนเทศระหว่างการจัดการเรียนรู้ เพื่อนำไปปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ของครูและการเรียนรู้ของผู้เรียน และการประเมินเป็นการเรียนรู้ เป็นการสะท้อนการคิดเกี่ยวกับการเรียนรู้ของผู้เรียนเองซึ่งช่วยในการปรับปรุงการเรียนรู้ของตนเองและของเพื่อน ซึ่งต่างจากการแนวทางการประเมินผลการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นเพียงตัดสินผลการเรียนเมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอนเท่านั้น

คำสำคัญ: การประเมินการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ การประเมินเป็นการเรียนรู้ การประเมินเพื่อการเรียนรู้ รูปแบบการประเมินการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์

อ้างอิงบทความนี้
ปัญญา แจ้งสว่าง, พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ, เอกภูมิ จันทรขันตี และเอกรัตน์ ทานาค. (2565). การประเมินเพื่อการเรียนรู้และการประเมินเป็นการเรียนรู้: รูปแบบการประเมินการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ปรับใหม่. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 5(2), 332-340. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.35

Academic Article

Assessment for learning and assessment as learning: Revised assessment in science learning model

Panya Jangsawang[1,*], Pongprapan Pongsophon[1], Ekgapoom Jantarakantee[1] and Akarat Tanak[1]

[1]Science Education, Faculty of Education, Kasetsart University

**Email: Panya.g@ku.th*

Received <9 February 2022>; Revised <9 May 2022>; Accepted <18 June 2022>

Abstract

Assessment and learning go hand in hand. As a result, assessment for learning and assessment as learning are used as learning management approaches that emphasize learner-centered learning, with the goal of developing learners to have the skills needed to live in the twenty-first century as well as future manpower in science and technology. This is because both types of assessments provide information to improve learners' learning and identify teacher deficiencies that occur throughout the teaching period. It also gives learners the motivation to learn and learn better when they are self-assessed. Assessment for learning is the gathering of data during the learning management process in order to improve teachers' and learners' learning management. Assessment as learning reflects the learner's own thinking about learning and supports in the development of one's own and peers' learning. This is in contrast to the traditional method of assessing learning, which focuses solely on grade at the end of the semester.

Keywords: Assessment in science learning, Assessment as Learning, Assessment for Learning, science learning assessment model

Cite this article:

Jangsawang, P., Pongsophon, P., Jantarakantee, E. and Tanak, A. (2022). Assessment for learning and assessment as learning: Revised assessment in science learning model (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(2), 332-340. http://doi.org/10.14456/jsse.2022.35

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

นับตั้งแต่มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 เป็นต้นมา เป้าหมายและแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีจุดเน้นเปลี่ยนไปจากเดิมอย่างมาก โดยมุ่งการเตรียมกำลังคนและการเสริมศักยภาพของประชากรในทุกช่วงวัย โดยพัฒนาคนให้มีทักษะความสามารถที่สอดคล้องกับตลาดแรงงานและทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 รวมทั้งการเตรียมความพร้อมของกำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่จะเปลี่ยนแปลงในอนาคต (Ministry of Education, 2017) ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เพื่อลดความซ้ำซ้อนของเนื้อหาวิชาและปรับให้สอดคล้องกับบริบทในปัจจุบัน โดยมีการจัดกลุ่มความรู้ใหม่และนำทักษะกระบวนการไปบูรณาการกับตัวชี้วัด เน้นให้ผู้เรียนเกิดการคิดวิเคราะห์ คิดแก้ปัญหา และมีทักษะในศตวรรษที่ 21 รวมทั้งได้เพิ่มสาระเทคโนโลยีเพื่อเอื้อต่อการจัดการเรียนรู้บูรณาการสาระทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี กับกระบวนการเชิงวิศวกรรม ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

การกำหนดเป้าหมายและแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เปลี่ยนแปลงไปดังกล่าวส่งผลกระทบต่อแนวทางการประเมินผู้เรียนด้วย เพื่อให้ผู้เรียนเกิดพฤติกรรมการเรียนรู้ ความสามารถและคุณลักษณะ ตามจุดหมายเมื่อจบการศึกษาขั้นพื้นฐาน ครูผู้สอนจึงมีหน้าที่จัดประสบการณ์การเรียนรู้ที่ส่งเสริมการเรียนรู้ให้เกิดขึ้นกับผู้เรียน ทั้งนี้การจะทราบว่าผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเรียนรู้หรือไม่ ครูผู้สอนต้องเป็นผู้ประเมินติดตามผล แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของผู้เรียนซึ่งได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการที่ครอบคลุมตัวชี้วัดในหลักสูตร (Office of the National Education Commission, 2000) และสอดคล้องกับมาตรฐานครูวิทยาศาสตร์ มาตรฐานที่ 9 การประเมินผลเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ โดยใช้วิธีการประเมินผลตามสภาพจริงและนำผลการประเมินไปใช้เพื่อยืนยันถึงพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างต่อเนื่องทั้งทางสติปัญญา สังคม และร่างกาย (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology Ministry of Education, 2003) ดังนั้นการประเมินผลการเรียนรู้ (Assessment of learning) ของผู้เรียนในปัจจุบันจึงไม่ใช่แค่เพียงเพื่อแสดงผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร แต่เป็นการประเมินผลที่ให้สารสนเทศที่แสดงถึงความรู้ ความสามารถและการปฏิบัติของผู้เรียนซึ่งได้รับการรวบรวมขึ้นมาด้วยวิธีการต่างๆ สารสนเทศเหล่านี้ครูจะให้ผลย้อนกลับ (feedback) กับผู้เรียนเพื่อที่จะนำมาสู่การปรับปรุงการเรียนการสอนของครูที่จะช่วยให้ครูปรับปรุงการเรียนรู้ของผู้เรียนให้ดียิ่งขึ้น การนำการประเมินมาใช้ประโยชน์สำหรับการช่วยการเรียนรู้ของผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีจุดเน้นที่เป็นการประเมินเพื่อการพัฒนาหรือปรับปรุง (formative) เป็นสำคัญหรือที่เรียกว่า การประเมินเพื่อการเรียนรู้ (Assessment for Learning, AfL) นอกจากนี้ยังมีการประเมินอีกรูปแบบหนึ่งที่ทำให้นักเรียนสามารถประเมินตนเองเป็น และมีการนำผลการประเมินไปใช้ในการพัฒนาวิธีการเรียนของตนเองใหม่จนเกิดการเรียนรู้ได้ หรือที่เรียกว่า การประเมินเป็นการเรียนรู้ (assessment as learning) โดย Khamanee (2015) ได้กล่าวถึงพีระมิดการประเมินที่ปรับใหม่ที่กำหนดให้การประเมินเป็นการเรียนรู้เป็นรูปแบบการประเมินที่สำคัญที่สุด รองลงมาคือการประเมินเพื่อการเรียนรู้และการประเมินผลการเรียนรู้ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการตระหนักรู้ถึงความก้าวหน้าของตนในการเรียนรู้จากการประเมินเป็นเรียนรู้ เป็นแรงจูงใจภายในที่มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนมากกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Black & William, 1998)

ดังนั้นบทความนี้ จึงเป็นการนำเสนอการประเมินเป็นการเรียนรู้ร่วมกับการประเมินเพื่อการเรียนรู้ ที่มีลักษณะสำคัญคือ เป็นการประเมินตามสภาพจริงที่เน้นการให้ข้อมูลป้อนกลับ พร้อมทั้งนำเสนอลักษณะของการประเมิน เป้าหมายของการประเมิน วิธีการประเมินหรือเครื่องมือ และตัวอย่างการประเมิน ที่ต่างจากการประเมินรูปแบบเดิมที่มุ่งประเมินผลการเรียนรู้ ตัดสินผลการเรียนหลังสิ้นสุดการเรียนการสอนเพียงอย่างเดียว

การประเมินเป็นการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์

การประเมินเป็นการเรียนรู้ เป็นกระบวนการรวบรวมสารสนเทศเกี่ยวกับการเรียนรู้และกระบวนการคิดด้วยตัวผู้เรียนเองระหว่างการเรียนรู้ ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการประเมิน พัฒนา การคิดวิจารณญาณ การแก้ปัญหา กำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ด้วยตนเอง และดูความก้าวหน้าของตนเองและของเพื่อน แล้วสะท้อนการเรียนรู้ นำไปสู่การวางแผนปรับปรุงการเรียนรู้ของตนเองให้ดีขึ้น ทำให้ผู้เรียนสามารถพัฒนา แผนการเรียนรู้ด้วยตัวเอง สอดคล้องกับ Mayer & Hillman (1996) ที่กล่าวว่า การประเมินเป็นการเรียนรู้ เป็นการเขียนบันทึกการเรียนรู้เป็นเครื่องมือที่ใช้ประกอบการเรียนการสอน ช่วยให้นักเรียนได้สะท้อนสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ และครูจะเขียนโดยให้ข้อเสนอแนะลงในงานเขียนของนักเรียนเอง ซึ่งจะไม่เขียนคำกล่าวที่ทำให้ผู้เรียนรู้สึกผิด กลัว หรือท้อแท้ แต่จะเขียนชมเชยในสิ่งทีนักเรียนเขียนถูกต้อง

เป้าหมายที่สำคัญของการประเมินเป็นการเรียนรู้ คือ การสะท้อนการคิดเกี่ยวกับการเรียนรู้ของผู้เรียนเองและวิธีการที่ให้ผู้เรียนนำมาใช้เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงการเรียนรู้ทั้งของตนเองและของเพื่อน มีรากฐานแนวคิดมาจากทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับการเรียนรู้ ของมนุษย์ที่ว่า การเรียนรู้ไม่ได้เป็นเพียงกระบวนการรับความรู้จากผู้รู้ตามความเชื่อเดิมเท่านั้น แต่เป็นกระบวนการทางปัญญาหรือกระบวนการทางสมองที่ผู้เรียนต้องเป็นผู้ดำเนินการเอง โดยนำความรู้หรือ ข้อมูลที่รับเข้ามา ไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือไปจัดกระทำและสร้างความหมายให้เกิดขึ้น โดยอาศัย ทักษะกระบวนการทางปัญญาหรือทักษะกระบวนการคิดของตน จนเกิดเป็นความเข้าใจที่มี

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ความหมายต่อตนเอง (Khamanee, 2015) และเป็นการลดบทบาทของครูลงและเพิ่มบทบาทให้นักเรียนเป็นผู้ที่เชื่อมโยงระหว่างการประเมินกับการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Chumkaew and Thirawitthayalert, 2021)

เครื่องมือที่ใช้และวิธีการประเมินที่ใช้ในการประเมินรูปแบบนี้มักเป็นแบบไม่เป็นทางการ เช่น การให้เพื่อนประเมินหรือประเมินตนเอง สารสนเทศตรงกับลักษณะของผู้เรียน ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลสารสนเทศการเรียนรู้ของผู้เรียนจึงมักโดยใช้แบบรายงานตนเอง แบบตรวจสอบรายงาน แบบสะท้อนผลการเรียนรู้ แบบประเมินตนเอง (Khetjaturad, 2017) การตั้งคำถามตรวจสอบการเรียนรู้ของตนเอง การเขียนข้อความสั้นๆ สะท้อนความคิด ความรู้สึกตามหัวข้อที่กำหนด การเขียนบันทึกการเรียนรู้ การประเมินตนเองจากแฟ้มผลงาน เป็นต้น ดังตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างวิธีการประเมินหรือเครื่องมือประเมิน และภาพที่ 1 เป็นตัวอย่างแบบประเมินเป็นการเรียนรู้ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทำให้ผู้เรียนเข้าใจตนเอง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างวิธีการและเครื่องมือการประเมินเป็นการเรียนรู้ (Khamanee, 2015)

วิธีการประเมินหรือเครื่องมือประเมิน	รายละเอียด
การตั้งคำถามตรวจสอบการเรียนรู้ของตนเอง	ตัวอย่างคำถามเพื่อเข้าใจตนเอง - การเรียนรู้เรื่องนี้มีวัตถุประสงค์อย่างไร - ฉันรู้อะไรในเรื่องที่เรียนนี้บ้าง - ฉันไม่รู้อะไร - ฉันอยากรู้อะไร - มีกลยุทธ์อะไรบ้างที่ฉันรู้ และจะนำมาใช้ในการเรียนรู้นี้อย่างไร
การเขียนข้อความสั้นๆ สะท้อนความคิดตามหัวข้อที่กำหนด	ผู้เรียนเขียนข้อความสั้นๆ ดังนี้ - วันนี้ฉันรู้สึก... - เมื่อเห็นงานที่ฉันต้องทำฉันรู้สึก... - สิ่งที่ทำให้ฉันหนักใจคือ... - ฉันต้องการความช่วยเหลือในด้าน... - ฉันควรศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่อง...
การเขียนบันทึกการเรียนรู้	ผู้เรียนเขียนบันทึกการเรียนรู้หลังการเรียนรู้บทเรียน หลังจากการทำชิ้นงาน หลังจากทำงานกลุ่มกับเพื่อน โดยการคิดสะท้อน ประสบการณ์เรียนรู้ต่างๆ ที่ได้รับ วิเคราะห์ประเด็นที่ต้องการทำความเข้าใจ วิเคราะห์กระบวนการคิดและประเมินการเรียนรู้ของตนเอง แล้วกำหนดประเด็นเป้าหมายในการพัฒนาตนเองต่อไป
การประเมินตนเองจากแฟ้มผลงาน	ผู้เรียนเลือกผลงานของตนเองเพื่อบรรจุในแฟ้มสะสมผลงานของตนเอง ผู้เรียนสามารถประเมินตนเองโดยใช้คำถาม - ชิ้นงานที่เลือกดีกว่าชิ้นงานอื่นอย่างไร - ฉันทำชิ้นงานนี้อย่างไร - ฉันได้พบอุปสรรคหรือปัญหาอะไรในการทำงานชิ้นนี้ - ฉันแก้ปัญหานั้นอย่างไร - ฉันตั้งใจทำอะไรต่อไป - ฉันจะทำสิ่งนั้นอย่างไร

ตาราง PMI: เป็นตารางบ่งชี้ให้ตัวผู้เรียนทราบว่า งานที่เขาทำในส่วนที่เป็นบวกมีอะไรบ้าง งานที่เขาไม่ได้ทำในส่วนที่เป็นลบมีอะไร และงานในส่วนที่เขาสนใจมีอะไรบ้าง ทำความเข้าใจตนเองแล้วเขียนระบุลงในตาราง

Plus (สิ่งที่ทำได้ดี)	Minus (สิ่งที่ต้องปรับปรุง)	Interesting (สิ่งที่สนใจทำ)

ตาราง KWHL: เป็นตารางที่ให้ผู้เรียนตรวจสอบหรือประเมินตนเองถึงการเรียนรู้ของผู้เรียนเอง โดยตอบลงในตาราง

K What do I know? (ผู้เรียนเรียนรู้อะไร)	W What do I want to know? (อะไรคือสิ่งที่ผู้เรียนต้องการรู้)	H How will I learn? (จะเรียนรู้ได้อย่างไร)	L What have I learn? (เขาได้เรียนรู้อะไรแล้ว) ....

ภาพที่ 1 ตัวอย่างแบบประเมินเป็นการเรียนรู้ (Chaiso, 2017)

จากตารางที่ 1 และ ภาพที่ 1 ตัวอย่างวิธีการและเครื่องมือการประเมินเป็นการเรียนรู้ เป็นเพียงบางส่วนของเครื่องมือหรือวิธีการที่ครูผู้สอนสามารถนำมาปรับใช้ให้สอดคล้องกับสภาพผู้เรียน ซึ่งส่วนสำคัญคือครูผู้สอนต้องเข้าใจบทบาทของตนเองและทำให้ผู้เรียนเข้าใจบทบาทของตนเองและบทบาทของเพื่อนร่วมชั้นเรียนด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เมื่อทุกคนทราบบทบาทที่ชัดเจน การดำเนินการจัดการเรียนการสอนก็จะราบรื่นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ และเพื่อให้ได้ข้อมูลหลักฐานจากการเรียนรู้ สารสนเทศที่สำคัญ แล้วนำไปเทียบกับเกณฑ์สำหรับตรวจสอบพัฒนาการของผู้เรียนในลำดับต่อไป

เกณฑ์สำหรับการประเมินมีความยืดหยุ่น ครูผู้สอนให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดการสร้างและการใช้รูบริกส์ (Rubric Score) ในการประเมินด้วยตัวผู้เรียนเอง สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ เนื่องจากเป็นการเน้นประเมินความก้าวหน้าของผู้เรียนที่เกิดขึ้นจริงในห้องเรียนระหว่างเรียน ข้อมูลที่รวบรวมได้อาจมีทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณประกอบกัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกในการสะท้อนกลับไปสู่ผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ

บทบาทผู้เรียนในการประเมินเป็นการเรียนรู้

1. ผู้เรียนทราบวิธีการและบทบาทของตนเองในการประเมินเป็นการเรียนรู้
2. ผู้เรียนรวบรวมข้อมูลการเรียนรู้ของผู้เรียนและของเพื่อนๆ ด้วยวิธีการและเครื่องมือที่หลากหลาย เช่น การพูดคุย การถามคำถาม การสัมภาษณ์ การประเมินชิ้นงาน การสะท้อนตนเองและสะท้อนเพื่อน เป็นต้น
3. ผู้เรียนนำผลจากการสะท้อนหรือที่สารสนเทศที่รวบรวมได้จากการประเมิน มาวางแผนกำกับตนเอง สร้างเป้าหมายในการเรียนรู้
4. ผู้เรียนปฏิบัติตามแผนของตนเองในการพัฒนาการเรียนรู้ตามเป้าหมาย ติดตามผล และสะท้อนตนเอง

บทบาทครูผู้สอนในการประเมินเป็นการเรียนรู้

บทบาทของครูผู้สอนในการประเมินเป็นการเรียนรู้ สามารถสรุปตามภาพที่ 2 ได้ดังนี้

ภาพที่ 2 บทบาทของครูผู้สอนในการประเมินเป็นการเรียนรู้
(Catholic Curriculum Corporation–Central and Western Region, 2016)

จากภาพ สามารถอธิบายได้ว่า ครูผู้สอนมีการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีการกำหนดเป้าหมาย (learning goals) ในการเรียนรู้ กำหนดเกณฑ์การประเมินความสำเร็จในการเรียนรู้ (success criteria) ของตนเองและของเพื่อนๆ ร่วมกัน จากนั้นจึงออกแบบการประเมินให้ผู้เรียนมีการประเมินตนเองและประเมินเพื่อนร่วมชั้นเรียน โดยใช้วิธีการและเครื่องมือที่หลากหลายครอบคลุมพฤติกรรมการเรียนรู้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศสำหรับที่นำไปเป็นข้อมูลย้อนกลับ (Descriptive Feedback) จากนั้นผู้เรียนประเมินตนเองและประเมินเพื่อน (Self and Peer Assessment) แล้วนำข้อมูลสารสนเทศที่ได้ไปกำหนดเป้าหมายเฉพาะตน (Individual Goal Setting) ซึ่งตลอดระยะเวลาการจัดการเรียนการสอน ครูผู้สอนจะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลหลักฐานการเรียนรู้ของผู้เรียน และติดตามตรวจสอบการเรียนรู้ผ่านการพูดคุย ซักถาม และการทำงานของผู้เรียนควบคู่ไปด้วย

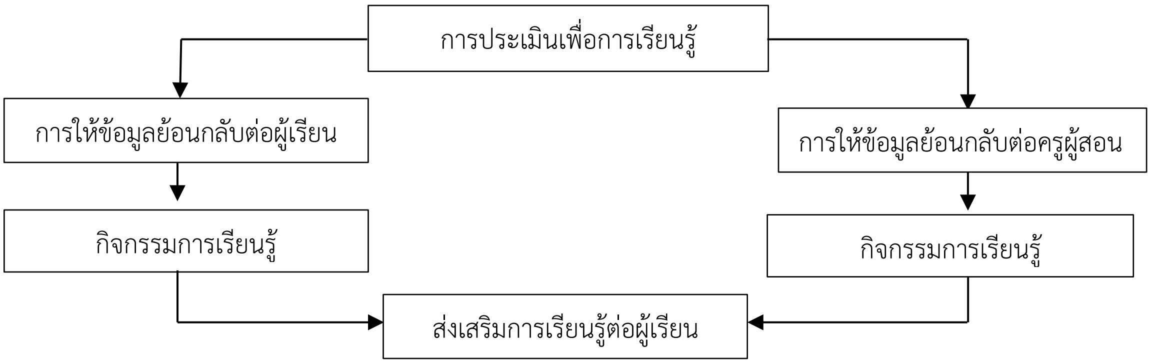
การประเมินเพื่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

การประเมินเพื่อการเรียนรู้ (Assessment for Learning, AfL) เป็นรูปแบบการประเมินที่ครูผู้สอนได้ข้อมูลสารสนเทศที่ครอบคลุมพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนมากขึ้นกว่าการประเมินผลการเรียนรู้ โดยรูปแบบการประเมินนี้ครู เป็นผู้สอนเป็นผู้รวบรวมสารสนเทศระหว่างจัดการเรียนรู้เพื่อทำการตัดสินใจถึงแนวทางการปฏิบัติที่ต้องการช่วยให้เกิดการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ของครูและการเรียนรู้ของผู้เรียนทำหน้าที่สร้างความเข้าใจในการเรียนรู้ติดตามผลความก้าวหน้าของผู้เรียนในระหว่างจัดการเรียนรู้ และทำการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ โดยการใช้สารสนเทศที่รวบรวมมาอย่างต่อเนื่อง ช่วยให้ผู้เรียนสามารถปรับปรุงการเรียนรู้ของตนเองให้ดีขึ้นผ่านกระบวนการให้ข้อมูลย้อนกลับ สอดคล้องกับแนวคิดของ Chaiso (2017) ที่กล่าวถึงการประเมินเพื่อการเรียนรู้ เน้นความก้าวหน้าและความต้องการในการเรียนรู้ของผู้เรียน มีความเกี่ยวข้องกับผลการเรียนรู้ที่กำหนดไว้ในหลักสูตร เช่น การสอบย่อย เพื่อวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน ในการเรียนรู้ของผู้เรียนในบทเรียน ทั้งนี้ Stiggins (2005) ได้กล่าวถึงการประเมินเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ว่าเป็นการประเมิน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ที่เน้นการให้ข้อมูลย้อนกลับเกี่ยวกับการเรียนรู้แก่ผู้เรียน รวมทั้งการให้ข้อมูลป้อนกลับแก่ครูเกี่ยวกับการเรียนรู้ของผู้เรียนและการจัดการเรียนรู้ของครู เพื่อนำไปสู่การพัฒนานักเรียนให้บรรลุเป้าหมายการเรียนรู้ที่กำหนดไว้

การให้ข้อมูลย้อนกลับ (feedback) เป็นเทคนิคหรือวิธีการที่สำคัญในการสะท้อนสารสนเทศที่รวบได้ ช่วยให้ผู้เรียนทราบจุดเด่นและจุดด้อยของตนเอง ควรปรับปรุงหรือส่งเสริมในด้านใด เข้าใจในความเป็นตัวเองมากขึ้น ทั้งนี้ Brown, Bull and Pendlebury (1997) กล่าวว่า การให้ข้อมูลย้อนกลับในทางจิตวิทยาถือเป็นสิ่งที่ดีที่สุด และจะมีประสิทธิภาพมากเมื่อให้ในเวลาที่เหมาะสม ทันเวลาตามการรับรู้ มีความหมาย ให้กำลังใจ และให้ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงตามความเข้าใจของผู้เรียน ทั้งนี้ Black, Harrison and William (2002) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของครูผู้สอนและผู้เรียนในการประเมินเพื่อการเรียนรู้ที่เน้นการให้ข้อมูลป้อนกลับว่า กิจกรรมการประเมินจะส่งเสริมการเรียนรู้ผู้เรียนก็ต่อเมื่อมีข้อมูลมากพอสำหรับการให้ผู้สอนได้เสนอแนะแก่ผู้เรียน ผู้สอนและผู้เรียนต้องมีการปรับเปลี่ยนกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกัน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของครูผู้สอนและผู้เรียนในการประเมินเพื่อการเรียนรู้ที่เน้นการให้ข้อมูลย้อนกลับ (Black, Harrison and William, 2002)

วิธีการให้ข้อมูลย้อนกลับ สามารถทำได้หลากหลายแนวทาง โดย Berry (2005) ได้กล่าวว่า การให้ข้อมูลย้อนกลับสามารถทำได้โดย 1) การสร้างแรงจูงใจ (Motivational feedback) เป็นการสร้างแรงจูงใจทางบวก เช่น การให้คำชม การให้ของรางวัล คำพูดเชิงบวก เป็นต้น 2) การให้ผลการประเมิน (Evaluative feedback) เช่น การให้เกรด คะแนน ระดับคุณภาพของงาน เป็นต้น 3) การให้ผลการเรียนรู้ (Learning feedback) เช่น ครูผู้สอนให้คำแนะนำแก่ผู้เรียน การอธิบายข้อสังเกตต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ การกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในการเรียนรู้ และติดตามความคืบหน้าของผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ สอดคล้องกับ David and Debra (2006) ที่กล่าวถึงการให้ข้อมูลย้อนกลับที่ดี ในการฝึกปฏิบัติ ประกอบด้วย 1) ให้ความกระจ่างในสิ่งที่เป็นผลงานที่ดี ตรงวัตถุประสงค์ สอดคล้องกับภาระงานของผู้เรียน 2) ให้สิ่งอำนวยความสะดวกในการพัฒนาการเรียนรู้ 3) ส่งข้อมูลที่มีคุณภาพไปยังผู้เรียน 4) สนับสนุนให้ผู้เรียนเรียนรู้จากการให้ข้อมูลย้อนกลับ 5) การส่งเสริมให้กำลังใจ สร้างทัศนคติที่ดีในการเรียนรู้ 6) การเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีส่วนร่วม เปิดเวทีสำหรับแสดงออก 7) การให้ข้อมูลแก่ครูผู้สอนเพื่อช่วยในการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ ทั้งนี้รูปแบบในการสะท้อนกลับของผู้สอนแต่ละคนอาจมีความแตกต่างกันไปตามบริบท แต่มีจุดมุ่งหมายเดียวกัน คือเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน

การให้ข้อมูลย้อนกลับมีแนวคิดที่ผู้สอนควรตอบคำถามเหล่านี้

1. ผู้สอนจะทราบได้อย่างไรว่าหลังจากผู้เรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับแล้วจะนำไปใช้?
2. การให้ข้อมูลป้อนกลับควรนำมาใช้ในขั้นตอนใดในการจัดการเรียนรู้?
3. มีรูปแบบเฉพาะในการให้ข้อมูลป้อนกลับหรือไม่?

<u>คำถามที่</u> 1. ผู้สอนจะทราบได้อย่างไรว่าหลังจากผู้เรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับแล้วจะนำไปใช้
<u>คำตอบ</u> การให้ผู้เรียนส่งงานที่ได้รับการแก้ไขเรียบร้อยแล้ว โดยนำผลงานเดิมที่ผู้เรียนได้จัดทำมาให้ผู้สอนพิจารณาร่วมด้วย การให้คะแนนผลงานจะเพิ่มขึ้นจากการแก้ไขงาน ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการให้ผู้เรียนได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขหลังจากได้รับข้อมูลป้อนกลับแล้ว

<u>คำถามที่ 2</u>. การให้ข้อมูลป้อนกลับควรนำมาใช้ในขั้นตอนใดในการจัดการเรียนรู้
<u>คำตอบ</u> การให้ข้อมูลป้อนกลับควรให้ทันทีหลังจากการดำเนินงานของผู้เรียนเสร็จสิ้น ผู้เรียนจำเป็นต้องได้ข้อมูล คำแนะนำในการนำไปปรับปรุงผลงานหรือช่วยพัฒนาการปฏิบัติ สามารถดำเนินการทั้งในส่วนย่อยของการปฏิบัติและภาพรวมของผลงานในเชิงบวก ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมีแรงจูงใจและรู้ถึงแนวทางที่ดำเนินการต่อไป

<u>คำถามที่ 3</u>. มีรูปแบบเฉพาะในการให้ข้อมูลป้อนกลับหรือไม่
<u>คำตอบ</u> สำหรับประเด็นนี้ผู้สอนสามารถปรับได้ตามบริบทในชั้นเรียน แต่มีข้อแนะนำสำหรับครูผู้สอนว่า ครูผู้สอนควรใช้การเขียนเป็นตัวอักษรที่เป็นภาษา สื่อสารกับผู้เรียนให้เกิดความเข้าใจว่าจะแก้ไขหรือปรับปรุงงานของตนเองอย่างไร การใช้ภาษาที่ผู้เรียนยากที่จะตีความและนำไปใช้ ควรหลีกเลี่ยงประเด็น เช่น ควรวิเคราะห์ประเด็นสำคัญให้ลึกซึ้งขึ้น หรือการวิเคราะห์วิจารณ์มีคุณภาพดี หรือให้บ่งชี้และพัฒนาถึงการนำไปใช้ หรือให้เชื่อมโยงแนวคิดเชิงทฤษฎีกับการปฏิบัติ เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยการให้ตัวอย่างงานเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเปรียบเทียบกับตัวอย่างของงานที่มีรูปแบบที่ดีหรือคำตอบที่ดี และนำไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติของตนเอง ทั้งนี้ควรเน้นย้ำกับผู้เรียนว่า ไม่ใช่การลอกเลียนแบบผลงาน แต่เป็นกระบวนการที่ให้แนวคิด เพื่อให้ผู้เรียนทราบถึงจุดแข็ง จุดอ่อนที่ผู้เรียนจะได้รับการพัฒนาต่อไป

เครื่องมือและวิธีการสำหรับการประเมินมีทั้งแบบเป็นทางการและไม่เป็นทางการ ซึ่งสารสนเทศได้มาจากการรวบรวมข้อมูลแสดงถึงการเรียนรู้ของผู้เรียนในลักษณะต่างๆ การออกแบบงาน ผู้เรียนปฏิบัติให้สารสนเทศเพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับการเรียนรู้ของผู้เรียนที่มีความแม่นยำ ผลการประเมินที่ได้ นำไปสู่การปรับการสอนของครูเพื่อช่วยเหลือนักเรียน ให้นักเรียนมีผลการเรียนรู้ที่ดีขึ้น อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การประเมินระหว่างการจัดการเรียนรู้ (formative assessment) ใช้วิเคราะห์จุดอ่อนจุดแข็งของผู้เรียนระหว่างการจัดการเรียนรู้ ตัวอย่างเครื่องมือ เช่น การสังเกต (Observation) การสัมภาษณ์ (Interview) การใช้คำถาม (Questioning) การสอบถาม (Questionnaire) การประเมินภาคปฏิบัติ (Performance Assessment) การเขียนสะท้อนการเรียนรู้ (Journals) (Khetjaturad, 2017) ดังตารางที่ 2 เป็นตัวอย่างแบบประเมินเพื่อการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ที่เน้นการให้ข้อมูลย้อนกลับ และภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างแบบประเมินเจตคติต่อสะเต็ม

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบประเมินเพื่อการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ที่เน้นการให้ข้อมูลย้อนกลับ (Chinsin, 2015)
คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความเป็นจริง

รายการประเมิน	ปฏิบัติ	ไม่ปฏิบัติ	หมายเหตุ
1. มีส่วนร่วมในการวางแผนการประเมินเพื่อการเรียนรู้			
2. มีส่วนร่วมในการกำหนดวิธีการประเมินเพื่อการเรียนรู้			
3. มีส่วนร่วมในการกำหนดเกณฑ์การประเมินเพื่อการเรียนรู้			
4. มีการแสดงความคิดเห็นร่วมกับครูผู้สอนในการพัฒนา/ปรับปรุง/แก้ไขข้อบกพร่องของงาน			
5. มีการนำข้อมูลป้อนกลับจากครูผู้สอนไปพัฒนา/ปรับปรุงข้อแก้ไขข้อบกพร่องของงาน			
6. มีการพัฒนา/ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของงานทุกครั้ง			
7. มีการติดตามการพัฒนา/ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของงานอย่างต่อเนื่อง			
8. นำผลจากการให้ข้อมูลป้อนกลับไปพัฒนาการเรียนรู้			

ด้านความคิด: กระบวนการทางสะเต็มส่งเสริมให้เกิดความสามารถในการคิดวิเคราะห์
☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย ☐ น้อยที่สุด
ด้านพฤติกรรม: การสร้างสิ่งประดิษฐ์จากกิจกรรมสะเต็มทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกภูมิใจในผลงานและอยากพัฒนาผลงานให้ดีขึ้น
☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย ☐ น้อยที่สุด
ด้านความรู้สึก: การจัดกิจกรรมสะเต็มทำให้ข้าพเจ้ามองเห็นโครงสร้างการทำงานของสิ่งต่างๆอย่างเป็นระบบและสัมพันธ์
☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย ☐ น้อยที่สุด

ภาพที่ 4 ตัวอย่างแบบประเมินเจตคติต่อสะเต็ม (Sangchum, 2020)

เกณฑ์สำหรับการประเมินเพื่อการเรียนรู้มีความยืดหยุ่น ครูผู้สอนสามารถกำหนดไว้ตั้งแต่ช่วงแรก ที่รับรู้ทั้งของผู้สอนและผู้เรียนเปิดเผยให้เห็นถึงที่มาที่ไปของเกณฑ์การให้คะแนนหรือการสร้าง Scoring rubrics สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ เนื่องจากเป็นการเน้นประเมินความก้าวหน้าของผู้เรียนที่เกิดขึ้นจริงในห้องเรียน ข้อมูลที่รวบรวมได้อาจมีทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณประกอบกัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกในการสะท้อนกลับไปสู่ผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นเมื่อนำการประเมินการเรียนรู้ทั้ง 3 รูปแบบมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่าการประเมินการเรียนรู้ปรับใหม่เน้นการประเมินการเรียนรู้ระหว่างเรียน ประเมินโดยครู ตนเองและเพื่อนร่วมชั้นเรียน ด้วยเครื่องมือที่หลากหลายครอบคลุม มีทั้งแบบเป็นทางการและไม่

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

เป็นทางการ เกณฑ์การประเมินมีความยืดหยุ่น เพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศที่ย้อนกลับไปหาผู้เรียนสำหรับการพัฒนาการเรียนรู้ของตนเอง โดยไม่ได้มุ่งเฉพาะตัดสินผลการเรียนหลังสิ้นสุดการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการประเมินการเรียนรู้ (Education Standards Authority , 2017)

การประเมิน	**การประเมินผลการเรียนรู้ (AoL)**	**การประเมินเพื่อการเรียนรู้ (AfL)**	**การประเมินเป็นการเรียนรู้ (AsL)**
ช่วงเวลา	สิ้นสุดการเรียน	ระหว่างเรียน	ระหว่างเรียน
ลักษณะ	ครูพิจารณาความก้าวหน้าของผู้เรียนหรือการประยุกต์ใช้ความรู้หรือทักษะที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน	ครูและเพื่อนตรวจสอบความก้าวหน้าและการเรียนรู้ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนพิจารณาว่าจะพัฒนาอย่างไร	ผู้เรียนมีความรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตนเอง เกิดคำถามเกี่ยวกับการเรียนรู้กระบวนการเรียนรู้ของตนเอง และสำรวจว่าควรจะปรับปรุงอย่างไร
ผู้มีบทบาท	ครู	ครูและเพื่อน	ตนเองและเพื่อน
วิธีการ/ เครื่องมือ	ใช้การประเมินอย่างเป็นทางการ เพื่อรวบรวมหลักฐานความก้าวหน้าของนักเรียนและใช้สำหรับการตัดสินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	ใช้การประเมินที่เป็นทางการและไม่เป็นทางการเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้และให้ข้อมูลเพื่อนำมาวางแผนการเรียนรู้ครั้งต่อไป	ผู้เรียนใช้ผลย้อนกลับที่เป็นทางการและไม่เป็นทางการและการประเมินตนเองเพื่อช่วยให้เข้าใจการเรียนรู้ในขั้นต่อไป
เวลาที่ใช้	ตรวจสอบรายครั้ง	ให้ข้อเสนอแนะอย่างต่อเนื่อง	สะท้อนอย่างต่อเนื่อง
เป้าหมาย	จัดอันดับและรายงานผล	ปรับปรุงการเรียนรู้	การเรียนรู้ที่ลึกซึ้งและเรียนรู้วิธีการเรียนรู้
จุดเน้น	คะแนน เกรด ระดับ	การให้ข้อมูลย้อนกลับ การสนับสนุน การทำงานร่วมกัน	การทำงานร่วมกัน การสะท้อนคิด การประเมินตนเอง

บทสรุป

การประเมินผลของการเรียนรู้ (Assessment of Learning: AoL) เป็นกระบวนการประเมินการเรียนรู้เมื่อจบสิ้นการเรียนการสอนหรือการตัดสินสรุปผลการเรียนรู้ (Summative assessment) ของผู้เรียน การประเมินเพื่อการเรียนรู้ (Assessment for Learning: AfL) และ การประเมินเป็นการเรียนรู้ (Assessment as Learning: AsL) เป็นกระบวนการประเมินการเรียนรู้ทั้งสามแนวทางมีความสัมพันธ์กันตั้งแต่ ก่อนเรียน ระหว่างเรียน และหลังสิ้นสุดการเรียนการสอน ทั้งนี้แนวคิดใหม่ปรับให้การประเมินเป็นการเรียนรู้สำคัญที่สุด รองลงมาคือการประเมินเพื่อการเรียนรู้และการประเมินผลการเรียนรู้ ตามลำดับ ครูผู้สอนจึงควรเน้นการประเมินเป็นการเรียนรู้ (Assessment as Learning: AsL) เป็นสำคัญ เพราะแรงจูงใจภายในที่มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนมากกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยผู้เรียนเป็นผู้ประเมินตนเองและประเมินเพื่อน และใช้ผลการประเมินในการกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ของตน วางแผนการพัฒนา เลือกกลยุทธ์ในการพัฒนา ดำเนินการพัฒนา และควบคุมกำกับตนเองในการเรียนรู้ให้ก้าวหน้าไปสู่เป้าหมายที่ต้องการ ดังนั้นการประเมินการเรียนรู้จึงมีจุดมุ่งหมายสำคัญที่ไม่ใช่เพียงการประเมินผลเพื่อตัดสินและทราบผลการเรียนเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อให้ได้สารสนเทศที่ครอบคลุมพฤติกรรม ดำเนินการควบคู่ไปกับการจัดการเรียนรู้อย่างกลมกลืน ผลที่ได้นำมาใช้ในการปรับปรุงการเรียนรู้ของผู้เรียน จึงจำเป็นต้องมีวิธีการรวบรวมและเครื่องมือวัดที่หลากหลาย ในขณะที่ครูผู้สอนต้องกำหนดวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ให้ชัดเจน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาว่าการเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ จึงเป็นสิ่งสำคัญ ที่ครูผู้สอนต้องแจ้งและรับฟังความคิดเห็นของผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้ การให้ข้อมูลป้อนกลับกับผู้เรียนถือเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผู้เรียนทราบแนวทางในการปรับปรุงตัวเอง ส่งเสริมการประเมินตนเอง ทำให้เกิดการเรียนรู้และยอมรับในตัวตนซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตามการประเมินการเรียนรู้ของผู้เรียนจะบรรลุวัตถุประสงค์ที่สำคัญไม่ได้ หากการประเมินไม่ได้รับการยอมรับจากผู้เกี่ยวข้อง นั่นคือครูผู้สอนและผู้เรียนที่จะนำผลการประเมินไปใช้และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นในการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

Berry, R, (2005). Functional Significance of Feedback Learning. **Proceedings of Australia Association for Research in Education Annual Conference** (pp. BER05533). Retrieved 31 January 2022, from **Australia Association for Research in Education**: https://www.aare.edu.au/data/publications/2005/ber05533.pdf**.**

Black, P., & William, D. (1998). Inside the black box: raising standards through classroom assessment. **Phi Delta Kappan**, 8(2), 139-148.

Black, P. Harrison, C., Lee, C. and D. William. (2002). Working inside the black box: Assessment for Learning in the classroom. London: King's College London.

Brown, G., Bull, J. and Pendlebury. (1997). Assessing student learning in higher education. London: **Routledge**.

Catholic Curriculum Corporation–Central and Western Region. (2016). Growing Successfully in assessment, evaluation and reporting. Retrieved 31 January 2022, from **Catholic Curriculum Corporation**: http://catholiccurriculumcorp.org/wp-content/uploads/Growing_Successfully.pdf.

Chaiso P. (2017). **Assessment of learning of learners. An important process for the teaching profession** (in Thai). Educational research and assessment. Department of Education. Kasetsart University.

Chinsin K. (2015). Developing an Assessment Model for Learning Science with an Emphasis on Giving Feedback to lower secondary school students (in Thai). **Doctor's Thesis**. Bangkok: Kasetsart University.

Chumkaew S. and Thirawitthayalert P. (2021). Performance in the measurement and evaluation of modern teachers (in Thai). **Journal of teacher professional development**, 2(2), 1-15.

David, Nicol and Debra, Macfarlane-Dick, (2006). Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. **Studies in Higher Education**, 31 (2), 199–218

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2017). Indicators and core learning content Science learning subject group (Revised Edition B.E. 2017) according to the core curriculum Basic Education, B.E. 2008 (in Thai). Bangkok: Ministry of Education.

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2003). Science Teacher Standards and technology (in Thai). Bangkok: Teachers Council of Thailand Printing House.

Khamanee T. (2015). Assessment as learning (in Thai). **Journal of the Royal Institute**, 40(3), 155-173.

Khetjaturad C. (2017). **Methods and tools to assess the learning of learners** (in Thai). Khon Kaen: Faculty of Education, Khon Kaen University.

Ministry of Education. (2017). Core Curriculum of Basic Education Year 2008 (Revised Edition B.E. 2017) (in Thai). Bangkok: Agricultural Cooperative Community Printing House of Thailand Limited.

Mayer, J. and Hillman, S. (1996). Assessing student thinking through writing. **Mathematics Teacher**, 89(5), 428-432.

Office of the National Education Commission. (2000). Minutes of the seminar for consideration Research Report on Teacher Production and Development Policy (in Thai). Bangkok: Office of Teacher Professional Reform.

Sangchum J. (2020). Development of STEM - style learning management with an emphasis on problem - solving to develop skills in Analytical thinking and good attitudes towards STEM of Grade 4 students in relation to quantity (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: The King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Stiggins, R. (2005). Form Formative Assessment to Assessment for Learning: Pat to success in standards-based school. **Phi Delta Kappan**, 87(4), 324-328.

The New South Wales (Australia) Education Standards Authority. (2017). Summary of assessment for, as, and of learning. Retrieved 31 January 2022, from **Learner's Mindset**: https://www.learnersmindset.com/blog/assessment-of-for-as-learning.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

ชื่อ-สกุล	หน้า	Name-Surname	Page
เกวรินทร์ กะตะศิลา	202	Akarat Tanak	323
เจนจิรา ทิพย์ญาณ	310	Bencharat Khwankhong	286
เนตรชนก จันทร์สว่าง	259	Chakkrid Klin-eam	273
เบญจรัตน์ ขวัญคง	285	Chantana Wannaphan	250
เสาวภา สุราวุธ	225	Chutapa Kunsook	226
เอกภูมิ จันทรขันตี	332	Chutima Suwanasri	311
เอกรัตน์ ทานาค	332	Ekgapoom Jantarakantee	323
กนกพร ช่างทอง	241	Jenjira Tipyan	311
กัลย์ชิญาภัท อริยะเชาว์กุล	191	Jidapa Pattum	183
จักรกฤษ กลิ่นเอี่ยม	272	Jintana Noradee	226
จันทนา วรรณพันธุ์	236	Kanchiyaphat Ariyachaokun	192
จิดาภา ปัททุม	182	Kanokporn Changtong	242
จินตนา นรดี	225	Kawarin Katasila	203
ชุตาภา คุณสุข	225	Maliwan Amatatongchai	192
ชุติมา สุวรรณศรี	310	Namphet Nasaree	313
ถนัดกิจ ชารีรัตน์	182	Nanthiya Boonsrinui	311
ทัศริยา กลิ่นขจร	182	Naphat Seekeaw	313
ธนวิทย์ จีรุพันธ์	299	Natchanok Jansawang	260
นภัทร สีเขียว	322	Ongard Thiabgoh	192
นันทิยา บุญศรีนุ้ย	310	Panya Jangsawang	323
น้ำเพชร นาสารีย์	332	Patcharawan Sittisart	203
ประสาน มีดภา	299	Pisarn Sombatwong	203
ปัญญา แจ้งสว่าง	332	Piyatida Suntonwipat	260
ปิยธิดา สุนทรวิภาต	259	Pongprapan Pongsophon	323
ปุริม จารุจำรัส	191	Porntip Thanaratikul	216
พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ	332	Prasan Muedpa	290
พรทิพย์ ธนรติกุล	215	Purim Jarujamrus	192
พัชรวรรณ สิทธิศาสตร์	202	Saowapha Surawut2,	226
พิศาล สมบัติวงศ์	202	Sarawut Saenkarun	290
มะลิวรรณ อมตธงไชย	191	Sastra Boonyachan	290
ยุวธิดา มะเดื่อ	202	Sirinya Kunlawong	183
วนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์	272, 285	Siriwan Klangtong	290
วรารัตน์ อรัญ	241	Sitthichai Chaikhan	183
วิภาดา บาททอง	202	Somjate Thongdamrongtham	183
ศราวุธ แสนการุณ	299	Somsanguan Passago	260
ศาสตรา บุญญาจันทร์	299	Sorasak Nakeim	226
ศิริวรรณ คลังทอง	299	Supisara Janpeng	273
ศุภิสรา จันทร์เพ็ง	272	Supot Seebut	290

ชื่อ-สกุล	หน้า	Name-Surname	Page
สมเจตน์ ทองดำรงธรรม	182	Suton Tadee	237, 250
สมสงวน ปัสสาโก	259	Tatsariya Kinkachon	183
สรศักดิ์ นาคเอี่ยม	225	Thanawit Jeeruphan	290
สิทธิชัย ใจขาน	182	Thanudkij Chareerat	183
สิรินญา กุลวงค์	182	Wanintorn Poonpaiboonpipat	273, 286
สุธน ตาดี	236, 249	Wararat Arun2	242
สุพจน์ สีบุตร	299	Wipada Battong	203
องอาจ เทียบเกาะ	191	Yuwatida Maduea	203

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 2565