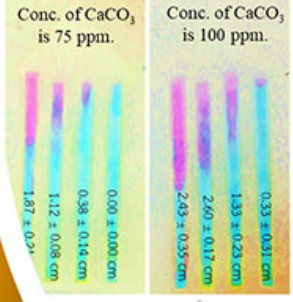
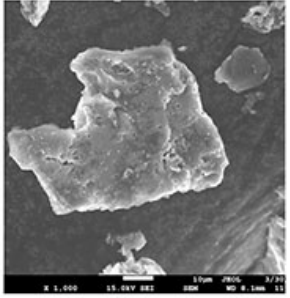
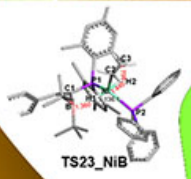
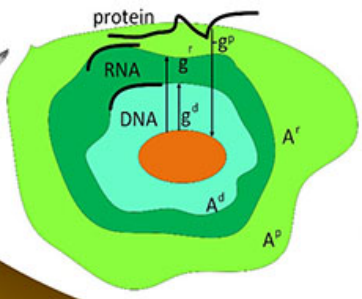








มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

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

JSSE Journal of Science and Science Education

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 (ม.ค. – มิ.ย. 2564)
Vol. 4, No. 1 (Jan. – Jun. 2021)

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

พิมพ์ที่
โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
85 ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
วันที่พิมพ์ 24 มิถุนายน 2564

ข้อคิดเห็นในบทความของวารสารนี้เป็นทัศนะของผู้เขียน
กองบรรณาธิการของวารสารฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (Journal of Science and Science Education: JSSE) หมายเลข ISSN 2586-9256 เป็นวารสารที่จัดทำโดยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่บทความวิจัย (Research articles) หรือบทความวิชาการ (Review articles) ทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ทุกสาขา (เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา จุลชีววิทยา วัสดุศาสตร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณิตศาสตร์ สถิติ คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ) และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา ซึ่งหมายรวมถึงเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ศึกษา และคณิตศาสตร์ศึกษา ทั้งบทความภาษาไทยและบทความภาษาอังกฤษ โดยลักษณะของบทความที่จะนำเสนอเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และทุกบทความจะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในแต่ละสาขาวิชา (Peer Review) อย่างน้อย 2 ท่าน ผลงานที่ได้รับการพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระน่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน ทั้งนี้ วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษามีกำหนดเผยแพร่บทความปีละ 2 ฉบับหรือเล่ม โดยเล่มที่ 1 เป็นเผยแพร่บทความระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน และเล่มที่ 2 เผยแพร่บทความระหว่าง กรกฎาคม – ธันวาคม ในกรณีที่มีกิจกรรมหรือโอกาสพิเศษของคณะวิทยาศาสตร์และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทางกองบรรณาธิการอาจจะมีการพิจารณาเผยแพร่ฉบับเพิ่มเติม (Supplementary Issue) นอกเหนือจากฉบับปกติเป็นรายกรณีไป

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความผลงานวิจัย (Research Articles) เป็นผลงานที่เตรียมจากข้อมูลที่ผู้เขียนหรือคณะผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตัวเอง

2. บทความวิชาการ (Academic Articles) อาจแยกเป็นบทความปริทัศน์ (Review articles) บทความทางเทคนิค (Technical articles) บทความกิจกรรมในชั้นเรียน 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
รองคณบดีฝ่ายวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ศักดิ์ศรี สุภาษร บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปุริม 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
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นินนาท์ 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

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ

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

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

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

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ยาวจนตกบรรทัดเอง (ใช้การเคาะ space bar ตามความหมาะสม) **แต่ห้ามเคาะ enter เพื่อตัดบรรทัด** 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>

สุภาพร พรไตร และโรสลีนา อาแวหามะ. (2561). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 1(1), 38-48.

<u>เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษเป็น</u>

Porntrai, S. and Awaehama, S. (2018). Developing learning achievement on sex-linked gene inheritance using a science inquiry-based hands-on activity (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 38-48.

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. ใน **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). In **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 สำหรับในระบบการศึกษานั้น การเผยแพร่และการอ่านผลงานวิชาการนับเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาของประเทศ ในกรณีที่อ่านบทความแล้วเกิดความเห็นที่คล้อยตามหรือเกิดแนวคิดในการทำวิจัยที่คล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกัน ผู้อ่านก็จะนำบทความนั้นไปอ้างอิงเพื่อต่อยอดหรือใช้เป็นฐานในการทำวิจัยของตนเองต่อไป ในกรณีที่อ่านแล้วเกิดความคิดเห็นที่แตกต่างหรือมีแนวคิดว่าสามารถทำวิจัยในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปน่าจะได้ผลที่ดีขึ้นหรือได้ผลวิจัยที่น่าสนใจเช่นกัน ผู้อ่านก็จะนำบทความวิจัยนั้นมาเป็นแนวคิดในการประยุกต์งานวิจัยของตนเองให้มีความน่าสนใจและมีประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการมากขึ้น ทั้งนี้ ผู้เขียนต้องพึงระวังว่า การอ้างอิงผลงานวิชาการเป็นเรื่องที่ต้องใส่ใจเป็นอย่างยิ่งและต้องอ้างอิงอย่างมีวิจารณญาณและมีจริยธรรม ทั้งนี้ ผู้เขียนจะต้องพิจารณาประเด็นเหล่านี้อย่างถี่ถ้วนก่อนส่งมารับการพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฯ เพื่อป้องกันการคัดลอกผลงานวิชาการ (plagiarism) ทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจได้ ทั้งนี้ กองบรรณาธิการของวารสารฯ ได้มีการตรวจสอบบทความอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนจากหลักวิชาการ การคัดลอกผลงานวิชาการ หรือการกระทำที่ผิดต่อจริยธรรมการวิจัย

ทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เล็งเห็นความสำคัญข้างต้น จึงได้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ขึ้นมาเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งวารสารด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาโดยตรงในประเทศไทยยังมีจำนวนที่จำกัด ทางกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฯ นี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการเผยแพร่ผลงานวิชาการของผู้เขียนทุกท่าน โดยวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 4 เล่มที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2564 ซึ่งประกอบด้วยบทความทั้งหมด 11 เรื่อง จำแนกเป็นบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ 5 เรื่อง บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 5 เรื่อง และบทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 เรื่อง

กองบรรณาธิการวารสารฯ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาในการประเมินบทความและให้ข้อเสนอแนะที่มีค่าเพื่อทำให้บทความเหล่านี้มีความน่าสนใจและมีประโยชน์ต่อวงวิชาการมากขึ้น ทั้งนี้ ขอเชิญชวนนักวิจัยและนักวิชาการ ครูอาจารย์ นิสิตหรือนักศึกษา นักเรียน และผู้สนใจส่งบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิทยานิพนธ์ หรือบทความโครงงาน มาเผยแพร่ในวารสารฯ สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ จะรักษามาตรฐานคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพของวารสารฯ อย่างต่อเนื่องเท่าที่จะทำได้ และขออนุญาตปฏิเสธการเผยแพร่บทความที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือบทความมีรูปแบบต้นฉบับไม่ถูกต้องโดยไม่ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ

อนึ่ง ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ ขอแจ้งว่าทางวารสารได้ปรับรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษตามระบบ APA ทั้งหมด (รายการที่เป็นภาษาไทยก็ต้องเขียนอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ) ตั้งแต่วารสารปีที่ 2 เล่มที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2562) เป็นต้นมา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาษร)
หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารฯ

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร	ข
กองบรรณาธิการ	ค
คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ	ง
ถ้อยแถลงบรรณาธิการ	ช
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Research Articles – Science)	
1) การสร้างแก้วสีเขียวมรกตจากทรายทะเลจังหวัดกระบี่ อ้อฤทัย ใจบุญ*, สมคิด เพ็ญชารี, นวลละออง สระแก้ว, จินตนา เหล่าไพบูลย์ และเรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์	1 - 10
2) การศึกษาสารเชิงซ้อนของโลหะกับกรดลิวอิส Pt(PB) และ Pt(PAl) สำหรับการสลายพันธะของไฮโดรเจนและการเติมไฮโดรเจนแก่เอทิลีนด้วยวิธีทางทฤษฎีฟังก์ชันนัลความหนาแน่น มูฮัมหมัด ดซูลฟามี รามาดฮัน และพนิดา สุรวัฒนาวงศ์*	11 - 21
3) การดูดซับสีโรดาห์มีนบีด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว จักรกฤษณ์ อัมพุช*, ชวลิต สีโสภา, พุทธิพล หนองเสนา, จิราธิวัฒน์ ตุรงค์เมือง และชาญณรงค์ ภุชงควาริน	22 - 37
4) สมการกรอบเคลื่อนที่ของเฟรชเนท์-เซอเรอท์ บนระนาบของระบบพิกัด ดี อาร์ พี ของการบิดตัวบนเส้นโค้งของโครงสร้างโปรตีน กบิล กาญจมาภรณ์กุล, ธัญญดา รุ่งโรจน์มงคล และสุพจน์ หารหนองบัว*	38 - 50
5) เซนเซอร์กระดาษที่มีลักษณะคล้ายบาร์โค้ดสำหรับการตรวจวัดน้ำกระด้าง พุทธรักษา นาคเสน, ปลายฟ้า สายสุ้ย, ธนพร ชมภู, วิภาค อนุตรศักดา และปุริม จารุจำรัส*	51 - 61
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Research Articles – Science Education)	
6) การพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา เดชมณี เนาวโรจน์ และสุภาวดี หิรัญพงศ์สิน*	62 - 71
7) การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เอกราช ตาแก้ว*	72 - 83
8) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ระวิวรรณ อุปถัมภ์* และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์	84 - 95
9) การจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปรางทิพย์ แป้นวงษ์* และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์	96 - 106
10) การศึกษาแบบจำลองความคิดจากการวาดภาพ เรื่อง ระบบสุริยะ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 สุวรรณี โลมกลาง, โชคศิลป์ ธนเฮือง, กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา และสุระ วุฒิพรหม*	107 - 117
บทความวิชาการทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Academic Articles – Science Education)	
11) การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย วันชัย น้อยวงค์*	118 - 129
ดัชนีผู้เขียน	130

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การสร้างแก้วสีเขียวมรกตจากทรายทะเลจังหวัดกระบี่

อ้อฤทัย ใจบุญ[1,*] สมคิด เพ็ญชารี[1] นวลละออง สระแก้ว[2] จินตนา เหล่าไพบูลย์[1] และเรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์[1]

[1]ภาคฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

**Email: oruethai.j@ubu.ac.th*

รับบทความ: 25 กันยายน 2563 แก้ไขบทความ: 18 พฤศจิกายน 2563 ยอมรับตีพิมพ์: 3 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นความร่วมมือระหว่างเทศบาลนครกระบี่ และศูนย์ความเชี่ยวชาญเทคโนโลยีแก้ว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ทรายทะเล จากเกาะปอดะ จังหวัดกระบี่ เพื่อผลิตแก้วคล้ายอัญมณี โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของทรายทะเลกระบี่ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทรายทะเลนี้มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา และมีอลูมิเนียมออกไซต์เป็นสารเจือปนอยู่เล็กน้อย ทรายทะเลที่มีสารเจือปนอยู่เล็กน้อยนี้สามารถนำมาสร้างแก้วสีเขียวมรกตในระบบ (52-x)KS-17Na_2O-4Al_2O_3-6CaO-7K_2O-xCr_2O_3 เมื่อ KS คือ ทรายกระบี่ และ x เท่ากับ 0.00 0.10 0.30 0.50 และ 0.70 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ซึ่ง Cr_2O_3 ถูกเติมเข้าไปเพื่อทำให้แก้วเป็นสีเขียว และได้ทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของแก้ว ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเติม Cr_2O_3 ตัวอย่างแก้วที่ได้เปลี่ยนจากแก้วใสไปเป็นสีเขียวคล้ายกับอัญมณีมรกต และมีสีเขียวเข้มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณของ Cr_2O_3 เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นและปริมาตรโดยโมลของตัวอย่างแก้วที่ได้ก็เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของ Cr_2O_3 ด้วย ดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าของอัญมณีมรกตในธรรมชาติประมาณ 9-20% ขึ้นกับปริมาณของ Cr_2O_3 และเมื่อศึกษาสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วพบว่าแถบช่องว่างพลังงานมีค่าลดลงจาก 2.66 eV ไปยัง 2.31 eV ตามปริมาณของ Cr_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างแก้วที่ได้ทั้งหมดมีความเป็นฉนวน และเมื่อศึกษาตัวอย่างแก้วโดยใช้เทคนิคอัลตร้าโซนิก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ Cr_2O_3 โมดูลัสตามยาวของตัวอย่างแก้วจะลดลง และการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Cr_2O_3 ยังส่งผลให้ความแข็งวิกเกอร์ของแก้วเปลี่ยนแปลงด้วย สมบัติต่าง ๆ ของแก้วที่เปลี่ยนไปนี้สามารถอธิบายได้จากการแตกของโครงข่ายแก้วเนื่องจากการแทนที่ของโครเมียมไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่าและหนักกว่าที่ตำแหน่งของซิลิกอนไอออนที่เป็นโครงข่ายหลัก ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ทรายทะเลจากจังหวัดกระบี่ สามารถนำมาทำเป็นแก้วสีเขียวที่มีสมบัติคล้ายอัญมณีมรกตในธรรมชาติและสามารถนำไปขึ้นรูปต่อเป็นลูกปัดแก้วได้

คำสำคัญ: แก้วสีเขียวมรกต ลูกปัดแก้วโบราณ โมดูลัสยืดหยุ่น สมบัติทางแสง

อ้างอิงบทความนี้

อ้อฤทัย ใจบุญ สมคิด เพ็ญชารี นวลละออง สระแก้ว จินตนา เหล่าไพบูลย์ และเรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์. (2564). การสร้างแก้วสีเขียวมรกตจากทรายทะเลจังหวัดกระบี่. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 1-10.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Fabrication of emerald green glass from Krabi sand

Oruethai Jaiboon[1,*] Somkid Pencharee[1] Nuanla-ong Srakaew[2] Jintana Laopaiboon[1] and Raewat Laopaiboon[1]

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

[2] Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

**Email: oruethai.j@ubu.ac.th*

Received <25 September 2020>; Revised <18 November 2020>; Accepted <3 December 2020>

Abstract

The possibility to use sea sand in Koh Poda, Krabi Province as raw material for fabricating synthetic glass jewelry was conducted in cooperation between municipal administration of Krabi and Glass Technology Excellent Center (GTEC), Faculty of Science, Ubon Ratchthani university. Firstly, composition analysis by EDS technique showed that the main constituent of Krabi sand was silica with the existence of low alumina impurity. This low impurity sand was then used to fabricate green emerald glass in system of (52-x)KS-17Na_2O-4Al_2O_3-6CaO-7K_2O-xCr_2O_3, where KS stands for Krabi sand and x = 0.00, 0.10, 0.30, 0.50 and 0.70 wt%. The Cr_2O_3 was added as a green-coloring agent and its effects on glass properties were evaluated. Many properties of the glass samples were then studied. The glass samples showed that an addition of Cr_2O_3 turned white clear glass to emerald green color and with increasing Cr_2O_3 content, the green color became darker. The density and molar volume of the glass sample were found to varied with Cr_2O_3 content. The reflection index of the glass sample was found to be 9-20% lower than that of natural emerald jewelry. Absorption spectra of the glass samples was used to calculate their band gaps and it was found to reduce from 2.66 to 2.31 eV with increasing Cr_2O_3 content. By means of these calculated band gap, the glass samples were insulator. By using ultrasonic technique, a decrease of longitudinal modulus with increasing Cr_2O_3 content was observed. On the other hand, their Vicker hardness varied with Cr_2O_3 content. The changes of glass properties could be explained by a breakdown of the network structure due to a substitution of larger and heavier chromium ions for silicon-network forming ions. The results report here show that Krabi sand can be used as raw material for fabricating green glass that look like natural emerald jewelry. Moreover, this glass system can be a potential material for making glass beads.

Keywords: Emerald green glass, ancient glass beads, elastic moduli, optical properties

Cite this article:

Jaiboon, C., Pencharee, S., Srakaew, N., Laopaiboon, J. and Laopaiboon, R. (2021). Fabrication of emerald green glass from Krabi sand. **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 1-10.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Introduction

Glass is one type of ceramic materials that exhibits many outstanding properties such as transparency, transmission of light and water proofing. Therefore, it has been widely used in many applications. In former times, ancient human used the natural glass to make hunting weapons. Later, glass had become widespread in household and decorative applications as many ancient glass beads were found around the world. This indicates that human had acquired knowledge on glass making since ancient time. In Thailand, a historical evidence of ancient glass melting furnace and many antique beads were found in Amphoe Klong Tom, Krabi Province in southern part of Thailand. Therefore, municipal administration of Krabi had an idea to duplicate ancient beads as a means of preserving them. Glass technology excellent center (GTEC) at Physics department, Faculty of sciences, Ubon Ratchatani University, established in 2006, made a research on the use of local river sand in Ubonratchatani Province such as Mun River sand, Mekong River sand and Chi River sand in manufacturing of colored glass. GTEC also has studied on ancient Andaman glass-making process by a grant from national research council of Thailand. Currently, GTEC has passed on this knowledge to municipal administration of Krabi. With cooperation between GTEC and municipal administration of Krabi, our research studied the properties of emerald green glass made from sea sand in Krabi Province. The glass in system (52-x)KS-17Na_2O-4Al_2O_3-6CaO-7K_2O-XCr_2O_3, where KS stands for Krabi sand and x = 0.00, 0.10, 0.30, 0.50 and 0.70 wt% were prepared by melted quenching technique. In order to obtain emerald green color, Cr_2O_3 were also added as coloring-agent. Effect of Cr_2O_3 content on many properties of emerald green glass was evaluated such as coloring, density, refractive index, elastic modulus, and hardness. This emerald green glass from Krabi sand was then used in fabrication of antiques glass beads.

Objective

In this research various tests were carried out to consider the effect of Cr_2O_3 content on properties of emerald green glass made from Krabi sand, which is sea sand from Koh Poda, Khao Phanom district, Krabi Province in southern part of Thailand. Eventually, fabricated glasses from this research was used for making ancient glass beads.

Materials and Methods

(1) Elemental analysis of the sea sand

National Metal and Materials Technology Center (MTEC) of Thailand conducted an elemental analysis of Krabi sand using Energy-dispersive X-ray fluorescence technique. Prior to this analysis, the sand was washed and dried in oven at 100°C for 4h.

(2) Preparation of Glass sample

Glass samples in system of (52-x)KS-17Na_2O-4Al_2O_3-6CaO-7K_2O-XCr_2O_3, where KS stands for Krabi sand and x = 0.00, 0.10, 0.30, 0.50 and 0.70 wt% were prepared by melted quenching technique. Good purity grade Na_2O, Al_2O_3, CaO and K_2O were added to lower the melting point and viscosity of the glass, as well as to modify the glass properties. Green color of the glass was achieved by adding Cr_2O_3. All chemicals were mixed thoroughly and melted in alumina crucible with electric furnace at around 1250 ℃ for 4 h. The melt was poured into warmed stainless-steel molds and annealed in another furnace at around 550 ℃ for 2 h. It was naturally cooled to room temperature to remove its thermal stress. After that, properties of prepared glass samples according to amount of added Cr_2O_3 were investigated.

(3) Density and Molar volume

Density (ρ) of glass samples was obtained using Archimedes' principle and calculated by using the following relation (Gaafar and Marzonk, 2007):

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

where ρ_l is the density of n-hexane. W_a and W_b are weight of glass samples, using an electronic balance with sensitivity of 0.0001 g, in air and n-hexane, respectively. The experiments were repeated 3 times for more accurate value. The estimated errors in these measuring were approximately 0.0001 g/cm^3.

Molar volume (V_a) of glass, which can be defined as the volume occupied by the unit mass of the glass, was obtained by following equation (Laopaiboon et al., 2011):

$$V_a = \frac{M_w}{\rho} \tag{2}$$

where M_w is the molar mass of the glass samples.

(4) Refractive index

The refractive index of glass samples with different content of Cr_2O_3 has been measured using refractometer (Abbe Refractometer, ATAGO) with an accuracy of ±0.0002.

(5) Ultrasonic velocities and longitudinal modulus

Measurement of longitudinal ultrasonic velocity in the prepared glass samples was conducted by using an ultrasonic flaw detector, (SONATEST Sitescan 230). The ultrasonic waves were originated from a ceramic transducer (Probe model: SLG4-10 for longitudinal velocity) with a resonant frequency of 4 MHz. This transducer can be used as a transmitter and a receiver at the same time. This technique was calibrated with calibration block V1 and Ultragel II (MAGNAFLUX) as couplant. The longitudinal ultrasonic velocity (v_L) was estimated by the following equation (El-Mallawany El-Khoshkhany and Afifi, 2006; Marzouk and Gaafar, 2007):

$$v_L = \frac{2x}{\Delta t} \tag{3}$$

where Δt is the time interval (s), x is the samples thickness (cm). The measurements were repeated 3 times for more accuracy. Then, the longitudinal modulus (L) was estimated using the following equations (Afifi and Marzonk, 2003):

$$L = {v_L}^2 \rho \tag{4}$$

(6) Optical Absorption measurement

Optical absorption measurements are widely used to characterize the electronic properties of materials, through the determination of parameters describing the electronic transitions such as band gap. The optical absorption measurement of glass samples was carried out on Perkin Elmer lambda-25 UV/Vis spectrometer system, in the wavelength range 200 nm to 800 nm. As the optical absorption relates to the optical transition of the electrons from valence band to conduction band, band gap of the prepared glass samples was also evaluated using this UV-Vis study. The band gap values for glass samples were estimated based on the following equation:

$$(\alpha h\nu)^m = C\left(h\nu - E_g\right) \tag{5}$$

where α is the optical absorption coefficient, E_g is optical band gap of the glass samples and C is a constant. The parameter m depends on the characteristics of the band gap as $m = 2$ for direct band gap and $m = 1/2$ for indirect band gap. From the equation (5), the direct and indirect band gap of the glass samples can be obtained by the plots of variation of $(\alpha h\nu)^2$ versus photon energy ($h\nu$) and $(\alpha h\nu)^{1/2}$ versus photon energy ($h\nu$), respectively. Band gap could be evaluated using the extrapolation of the linear section of the plot. The intercept on $h\nu$-axis, where $(\alpha h\nu)^2 = 0$ or $(\alpha h\nu)^{1/2} = 0$, gives the value of band gap energy. In order to determine category of optical band gap (direct or indirect) of our glass samples, R-squared value of the linear extrapolation must be considered (Srinivasa Reddy Murali Krishna Veeraiah, 2006; Novatski et al., 2008, Chauhan, 2015; Govindasamy Murungasen and Sagadevan, 2017;)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

(7) Vicker micro-hardness

For Vickers microhardness measurements, indentations were made on the glass using indentation loads of 9.8 N. Then Indentation diagonal lengths (d_1,d_2) in meter were measured for each impressions. Vickers micro-hardness was calculated using the following equation:

$$HV = \frac{F}{Area} = \frac{2Fsin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854F}{d^2} \quad (6)$$

where HV is the Vickers microhardness in Pascal, F is the applied load in Newton, and $d = \frac{d_1+d_2}{2}$.

Results and Discussion

(1) Elemental Analysis of Krabi sand

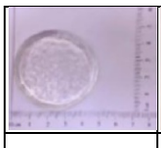
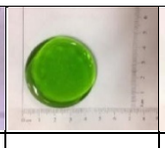
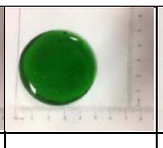
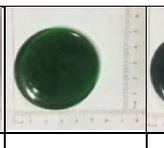
The Krabi sand was collected from Koh Poda, Krabi Province in southern part of Thailand. This sand is almost white in color as in figure 1. The result by EDS analysis reveals silicon (49.75 wt%) and oxygen (49.46 wt%) as main component with small amount of aluminum (0.78 wt%). Therefore, the major constituent of this sand could be Quartz (SiO_2). Moreover, the significantly low amount of alumina (Al_2O_3) appearing in the sand insures that this sea sand is low-impurity sand which is suitable to be a raw material for glass-making process.

Figure 1: Krabi Sand

(2) Coloring of prepared glass sample

Glass samples were prepared and their color was analyzed and compared. It is found that glass sample without addition of Cr_2O_3 exhibits clear white. However, the addition of Cr_2O_3 turns the glass into transparent green color as can be seen in Table 1. With higher Cr_2O_3 content, glass samples become darker green tone.

Table 1: Comparison of prepared glass samples with different Cr_2O_3 content.

				
0.0 wt%	0.1wt%	0.3 wt%	0.5 wt%	0.7 wt%

(3) Density and Molar Volume

Variation of density and molar volume of glass samples with content of Cr_2O_3 is shown in figure 2. The density of prepared glass samples increases with increasing content of Cr_2O_3. As density of Cr_2O_3 (5.22 g/cm^3) is higher than that of SiO_2 (2.196 g/cm^3), the increase of glass density with increasing Cr_2O_3 content implied the substitution of Cr_2O_3 in the place of SiO_2, which is the main structure of the glass system. Figure 2 also shows that the molar volume of glass samples without addition of Cr_2O_3 is 14.4498 cm^3/mol and with an addition of 0.1 wt% Cr_2O_3, the molar volume drops to 14.3845 cm^3/mol. A drop of molar volume with a rise of density may be mainly caused by an increase of molecular weight of the glass system. However,

further increase in content of Cr_2O_3 leads to an increase of molar volume of the glass as well as an increase of its density. This reveals a less compact glass structure due to partial replacement of SiO_2 by Cr_2O_3 in the glass network. This result could be explained by the fact that ionic radius of Cr^{3+} (0.80 Å) are larger than that of Si^{4+} (0.54 Å) which are main network structure interstices. The larger Cr^{3+} ions modify the interstices and form the larger one, leading to the increase in molar volume of the glass. Moreover, the Cr-O bond is more ionic and as well much weaker bond than Si-O bonds. This implied the insertion of Cr^{3+} ions in the glass network could rupture the glass network and form non-bridging oxygen (NBOs) atoms (Venkateswara Rao and Shashikala, 2014). Therefore, the addition of Cr_2O_3 in the glass samples could be responsible for increasing the number of NBOs and this leads to an expansion of the glass network.

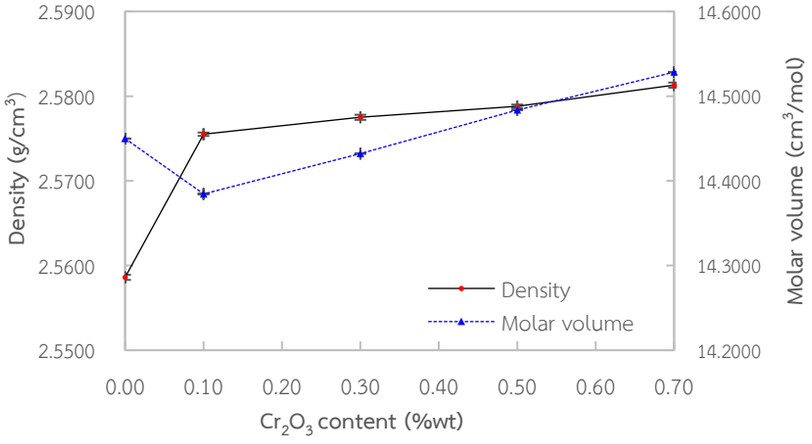


Figure 2: Variation of density and molar volume of glass samples as a function of Cr_2O_3 content.

(4) Refractive index

From refractometer, glass samples with Cr_2O_3 addition of 0.00, 0.10, 0.30, 0.50 and 0.70 wt% have refractive indexes of 1.2119, 1.3221, 1.3377, 1.3519 and 1.3559, respectively. It can be seen in figure 3 that the refractive index of glass increases with increasing Cr_2O_3 content. As NBOs are more polarizable than bridging oxygen (BOs), NBOs can cause the refractive index of the glass samples to increase significantly. Therefore, the increase in refractive index support the formation of NBOs due to the addition of Cr_2O_3 into the glass system (Seo et al., 2014). Moreover, the refractive indexes of all glass samples are found to be lower by 9-20% than that of emerald jewelry, which is in a range of 1.568 to 1.590. This could be possibly explained by the absence of Fe_2O_3, which is one of green coloring-agents, in Krabi sand.

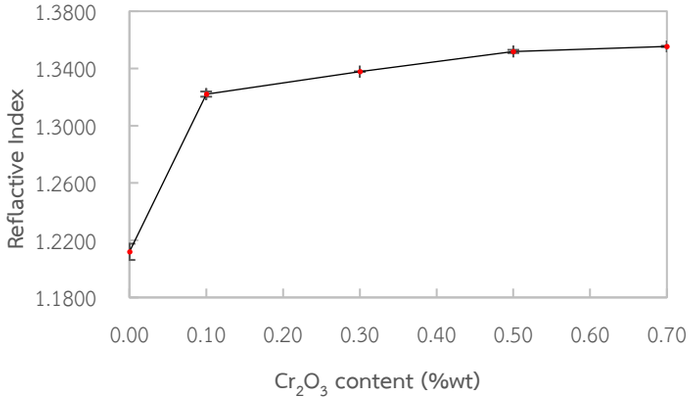


Figure 3: Variation of reflective index of glass samples as a function of Cr_2O_3 content.

(5) longitudinal ultrasonic velocity and modulus

It is found in figure 4 that an increase in concentration of Cr_2O_3 results in a reduction in ultrasonic velocity in the glass samples, and consequently reduction in their longitudinal modulus from 102.19 to 89.59

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

GPa. Generally, a reduction of ultrasonic velocity is related to the formation of a greater number of non-bridging oxygens (NBOs) and consequently, the decrease in connectivity of the glass network (Gilman, 2009). Thus, the substitution of Cr_2O_3 to the main glass network structure break the glass network and consequently reduce an energy transformation of oxygen, resulting in a reduction in longitudinal ultrasonic velocity and modulus of the glass samples.

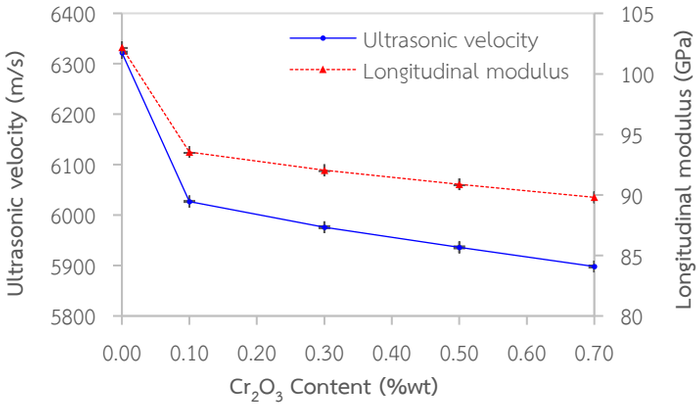


Figure 4: Variation of ultrasonic velocities and longitudinal modulus of the glass samples with different Cr_2O_3 content.

(6) Optical Absorption

Optical absorption spectra of the glass samples measured at room temperature by UV- Vis spectrophotometer over the wavelength of 200- 800 nm is shown in figure 5. For the glass sample without the addition of Cr_2O_3, absorption occurs at below 350 nm and no absorption of visible light occur, therefore it appears white or colorless. On the other hand, the color of glass sample with the addition of Cr_2O_3 become green since no absorption of visible light occur only at around 500- 600 nm. With increasing Cr_2O_3 content, the absorbance increases, as the glass samples become darker green tone.

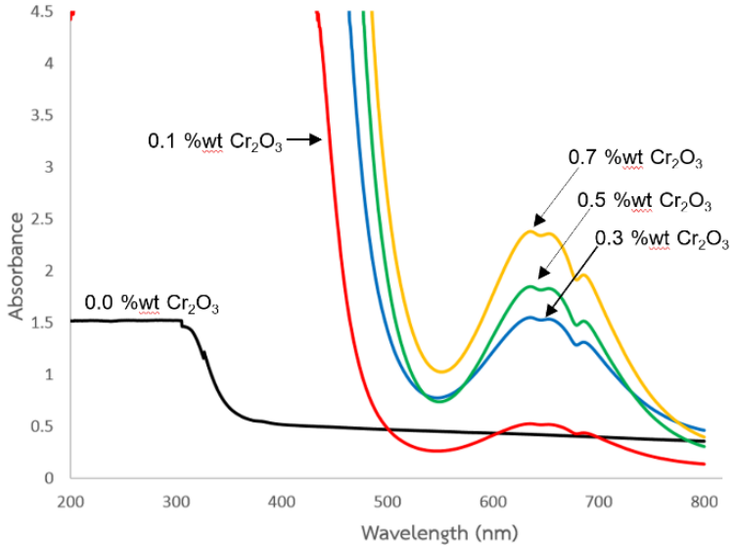


Figure 5: UV-Vis absorption spectra of prepared glass samples

(7) Optical Band gap

The measured absorption spectra were then further used to calculate optical band gap of glass samples. Plots of $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ and $(\alpha h\nu)^{1/2}$ versus photon energy ($h\nu$) were conducted and their R-square values were compared. From the results, R-squared value for direct transition is closer to 1 than the indirect. Hence, it could be concluded that our glass samples could be direct band gap material. The direct

band gap for all glass samples are obtained and shown in figure 6. As the calculated direct band gap is higher than 2 eV, our glass samples are all insulators. The direct band gap gradually decreases from 2.69 eV to 2.31 eV, indicating a modification of band gap by addition of Cr_2O_3 in the glass system (Hammad and Abdelghany, 2016; Govindasamy Murungasen and Sagadevan, 2017). The decrease of the band gap could be explained by the formation of NBOs. It is known that, in the glass network, BOs are bonded to two cations, while NBOs are bonded to only one network cation. The formation of the NBOs leads to the reduction in network connectivity of the glass. Therefore, the increase in the Cr_2O_3 content leads to the formation NBOs, and consequently decreases the optical band gap of the glass (Bale et al., 2008).

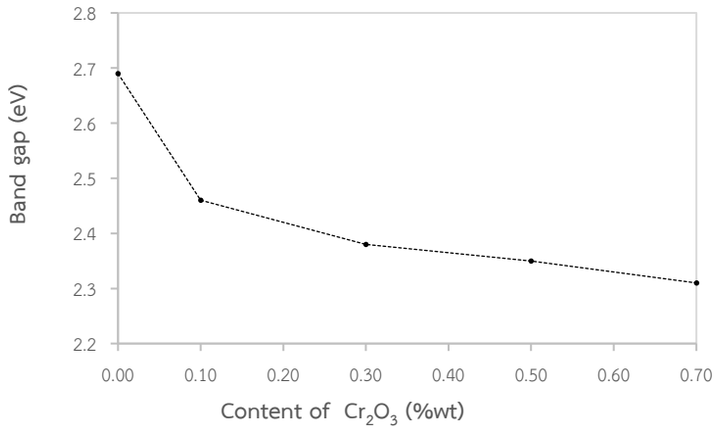


Figure 6: Direct band gap of glass samples with different content of Cr_2O_3

(8) Miro-Hardness Testing

Micro-hardness testing of the glass samples was carried out using Vickers micro-hardness and the result is shown in figure 7. It can be seen that the Vickers hardness decreases abruptly from 23.18 GPa for glass sample without addition of Cr_2O_3 to 14.56 GPa for the glass sample with addition of 0.10 wt% Cr_2O_3. However, with further increasing in addition of Cr_2O_3, the hardness increases slowly. The drop at the beginning of this hardness is due to that fact that chromium ion is larger than silicon ion which is the main network structure atom of the glass. The substitution of chromium ion for silicon leads to a breakdown of the network structure and consequently, resulting in a loose packed structure. The drops to the lowest micro-hardness can be supported by ultrasonic velocity in the glass samples (Gunhakoon, 2020). However, when the addition of Cr_2O_3 is higher than 0.10 wt%, the hardness of the glass samples increases with an increase of Cr_2O_3 content. This could be explained by the effect of higher densities of Cr_2O_3 (5.22 g/cm^3) than SiO_2 (2.196 g/cm^3). Moreover, the correlation between micro-hardness and molar volume support the substitution of larger radius Cr^{3+} ions for Si^{4+}network forming ions due to partial replacement of SiO_2 by higher density Cr_2O_3 in the glass system (Laopaiboon et al., 2020).

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

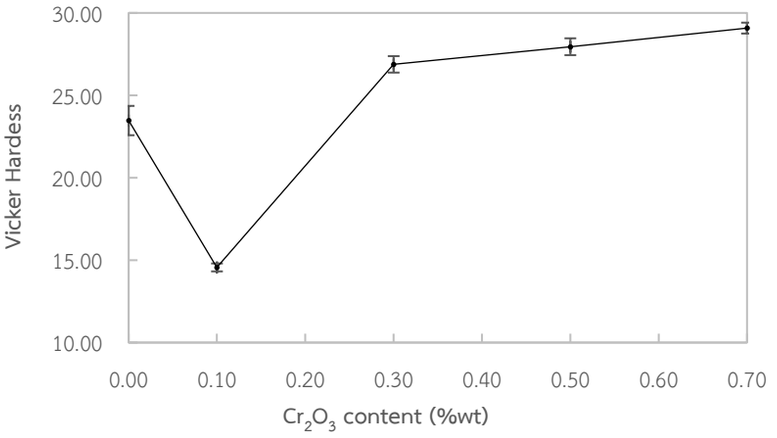


Figure 7: Variation of Vickers hardness of glass samples with different Cr_2O_3 Content.

(9) Glass bead-making testing

To test the possible use of the glass derived from Krabi sand for fabrication of ancient glass beads, glass rods from this emerald green glass were prepared as seen in figure 8 (left). Then these emerald green glass rods were used for making beads. During the bead-making process, the glass was heated, stretched, and cooled, however, no crack and bubble was observed on a beaded necklace as seen in figure 8 (right). Therefore the glass in system (52-x)KS-17Na_2O-4Al_2O_3-6CaO-7K_2O-XCr_2O_3, where KS stands for Krabi Sand and x = 0.00, 0.10, 0.30, 0.50 and 0.70 wt% can be a potential candidate for glass bead-making process.

Figure 8: (Left) emerald green glass rods from Krabi sand and (right) beaded necklace made from the emerald green glass rods.

Conclusion

The Cr_2O_3 green coloring agent was added to the glass system. Then, the properties of the prepared glass samples were examined and found to varied according to Cr_2O_3 content. Refractive index of the glass samples increased while their longitudinal modulus and optical band gap decreased with increasing Cr_2O_3 content. These results indicate that the added Cr_2O_3 caused the formation of NBOs and also the decrease of BOs in the glass network structure. The observed changes support the role of Cr_2O_3 as network modifier. The correlation between the results from molar volume and microhardness as well indicates a breakdown of the network structure due to a substitution of larger and heavier chromium ions for silicon-network forming ions. Moreover, this study shows the possible use of Krabi sand as raw material for glass bead-making process.

Acknowledgement

The authors wish to thank Dr. Ussadawut Patakum from MTEC for analysis of sand by EDS technique.

References

Afifi, H. and Marzouk, S. (2003). Ultrasonic velocity and elastic moduli of heavy metal tellurite glasses. **Materials Chemistry and Physics**, 80(2), 517–523.

Bale, S., Rahman, S., Awasthi, A.M. and Sathe, V. (2008). Role of Bi2O3 content on physical, optical and vibrational studies in Bi2O3-ZnO-B2O3 glasses. **Journal of Alloys and Compounds**, 460, 699-703.

Chauhan, R. (2015). Determination of Optical Transition Nature using R^2 value. **International Archive of Applied Sciences and Technology**, 6(3), 28-30.

El-Mallawany, R., El-Khoshkhany, N. and Afifi, H. (2006). Ultrasonic studies of $(TeO_2)_{50}$–$(V_2O_5)_{50-x}$ $(TiO_2)_x$ glasses. **Materials Chemtry and Physics**, 95(2-3), 321–327.

Gaafar, M.S. and Marzouk, S.Y. (2007). Mechanical and structural studies on sodium borosilicate glasses doped with Er_2O_3 using ultrasonic velocity and FTIR spectroscopy. **Physica B: Condensed Matter**, 388(1-2), 294–302.

Gunhakoon, P., Thongklom, T., Sopapan, P., Laopaiboon, J., Laopaiboon, R. and Jaiboon, O.(2020) Influence of WO3 on elastic and structural properties of barium-borate bagasse-casava rhizome glass system. Materials Chemistry and Physics, 243, 122587-122587-6.

Gilman, J.J. (2009). **Chemistry and Physics of Mechanical Hardess**. New Jersey: John Wiley & Sons.

Govindasamy, G., Murungasen, P. and Sagadevan, S. (2017). Optical and Electrical Properties of Chemical Bath Deposited Cobalt Sulphide Thin Films. **Material Research**, 20(1), 62-77.

Hammad A.H. and Abdelghany A.M. (2016). Optical and structureal investigations of zinc phosphate glass containing vanadium ions. **Journal of Non-Crystaline Solids**, 433, 14-19.

Laopaiboon, R., Bootjomchai, C., Chanphet, M. and Laopaiboon, J. (2011). Elastic properties investigation of gamma-radiated barium lead borosilicate glasses using ultrasonic technique. **Annals of Nuclear Energy**, 38(11), 2333–2337.

Laopaiboon, R., Wichaiyut, K., Khottham, S., Laopaiboon, J. and Jaiboon, O. (2020). Investigation on elastic properties and radiation shielding of lead-recycled cathode ray tube glass system. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, 42(4), 739-746.

Marzouk, S.Y. and Gaafar, M.S. (2007). Ultrasonic study on some borosilicate glasses doped with different transition metal oxides. **Solid State Communication**, 144(10-11), 478–483.

Novatski, A., Steimacher, A. Medina, A.N., Bento, A.C., Baesso, M.L., Andrade, L.H.C., Lima, S.M., Guyot, Y. and Boulon, G. (2008). Relations among nonbridging oxygen, optical properties, optical basicity, and color center formation in CaO-MgO aluminosilicates glass. **Journal of Applied Physics,** 104(9), 094910-094910-7.

Seo, J. Kim, S. Kim, Y. Iqbal, F. and Kim, H. (2014). Effect of Glass Refractive Index on Light Extraction Efficiency of Light-Emitting Diodes. Journal of the American Ceramics Society, 97(9), 2789-2793

Srinivasa Reddy, M., Murali Krishna, G. and Veeraiah, N. (2006) Spectroscopic and magnetic studies of manganese ions in ZnO-Sb_2O_3-B_2O_3 glass system. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, 67, 789-795.

Venkateswara Rao, G. and Shashikala, H.D. (2014). Optical and mechanical properties of calcium phosphate glasses. **Glass Physics and Chemistry**, 40, 303-309.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การศึกษาสารเชิงซ้อนของโลหะกับกรดลิวอิส Pt(PB) และ Pt(PAl) สำหรับการสลายพันธะของไฮโดรเจนและการเติมไฮโดรเจนแก่เอทิลีนด้วยวิธีทางทฤษฎีฟังก์ชันนัลความหนาแน่น

มูฮัมหมัด ดซูลฟามี รามาดฮัน[1] และพนิดา สุรวัฒนาวงศ์[1, 2*]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย

[2]หน่วยวิจัยพลังงานยั่งยืนและวัสดุสีเขียว มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170 ประเทศไทย

**Email: panida.sur@mahidol.ac.th*

รับบทความ: 27 เมษายน 2564 แก้ไขบทความ: 23 พฤษภาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 23 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

โลหะทรานซิชันหมู่ 10 (M = Pt, Ni) สามารถทำงานร่วมกับกรดลิวอิส (Z = B, Al) เพื่อสลายพันธะของไฮโดรเจนได้ การศึกษาด้วยวิธีทางทฤษฎีฟังก์ชันนัลความหนาแน่นแสดงให้เห็นว่า สารเชิงซ้อน **1Pt(PAl)** ซึ่งประกอบด้วยลิแกนด์ $Mes_2PC(=CHPh)Al^tBu_2$ (**PAl**) เกาะกับโลหะแพลตตินัมสามารถทำงานร่วมกันในการสลายพันธะของไฮโดรเจนผ่านทรานซิชันสเตท **TS12_PtAl** ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบตัวที ด้วยพลังงานกระตุ้นอิสระเท่ากับ 31.6 kcal/mol สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า สารเชิงซ้อนนี้สามารถสลายพันธะของไฮโดรเจนได้ที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นเราได้แทนที่อลูมิเนียมซึ่งทำหน้าที่ของกรดลิวอิสด้วยโบรอน โดย **1Pt(PB)** ต่างจาก **1Pt(PAl)** ตรงที่ไม่พบอันตรกิริยาระหว่าง Pt—B (3.154 Å) **1Pt(PB)** จึงมีความไวต่อการสลายพันธะของไฮโดรเจนมากขึ้น ด้วยพลังงานกระตุ้นอิสระลดลงเป็น 21.8 kcal/mol เมื่อมีการใช้โลหะนิกเกิลซึ่งมีความเป็นอิเล็กโตรโพสิทีฟแทนที่แพลตตินัมสำหรับ **1Ni(PB)** แทนที่ **1Pt(PB)** พบว่า มีความไวต่อปฏิกิริยาการสลายพันธะของไฮโดรเจนมากขึ้นอีก ด้วยพลังงานกระตุ้นอิสระเพียง 9.7 kcal/mol ในขณะที่ทรานซิชันสเตท **TS12_PtB** ของสารเชิงซ้อนแพลตตินัมมีโครงสร้างแบบตัวที ทรานซิชันสเตท **TS12_NiB** ของสารเชิงซ้อนนิกเกิลมีโครงสร้างใกล้กับเตตระฮีดรอน เราได้ทำการวิเคราะห์พลังงานกระตุ้นอิสระด้วยการแยกพิจารณาเป็นส่วนของพลังงานอันตรกิริยาระหว่างสารเชิงซ้อนกับไฮโดรเจน และส่วนของพลังงานที่ใช้การปรับโครงสร้างจากสารเชิงซ้อนในรูปอิสระไปเป็นโครงสร้างสารเชิงซ้อนในรูปที่มีไฮโดรเจนกำลังแตกพันธะที่ทรานซิชันสเตท สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายพันธะของไฮโดรเจนสามารถเติมไฮโดรเจนแก่เอทิลีนได้ โดยขั้นกำหนดปฏิกิริยา คือ ขั้นตอนที่มีการถ่ายโอนไฮโดรเจนครั้งที่หนึ่งจาก **2M(PZ)** ไปยังคาร์บอนของเอทิลีนผ่านทรานซิชันสเตท **TS23_MZ** ในขั้นการเติมไฮโดรเจนแก่เอทิลีนนี้ **1Ni(PB)** อาศัยพลังงานกระตุ้นอิสระเท่ากับ 26.3 kcal/mol ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุดเทียบกับสารเชิงซ้อนโลหะอื่นในการศึกษานี้ แผนภูมิพลังงานจากการศึกษาด้วยวิธีทางคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาสารเชิงซ้อนของโลหะกับกรดลิวอิสที่มีความไวต่อปฏิกิริยาได้ต่อไป

คำสำคัญ: การสลายพันธะของไฮโดรเจน การเติมไฮโดรเจนแก่เอทิลีน ทฤษฎีฟังก์ชันนัลความหนาแน่น แพลตตินัม นิกเกิล กรดลิวอิส

อ้างอิงบทความนี้

มูฮัมหมัด ดซูลฟามี รามาดฮัน และพนิดา สุรวัฒนาวงศ์. (2564). การศึกษาสารเชิงซ้อนของโลหะกับกรดลิวอิส Pt(PB) และ Pt(PAl) สำหรับการสลายพันธะของไฮโดรเจนและการเติมไฮโดรเจนแก่เอทิลีนด้วยวิธีทางทฤษฎีฟังก์ชันนัลความหนาแน่น. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 11-21.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Density functional study of metal Lewis acid complexes Pt(PB) and Pt(PAl) for H_2 activation and ethylene hydrogenation

Muhammad Dzulfahmi Ramadhan[1] and Panida Surawatanawong[1,2*]

[1] Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

[2] Center of Sustainable Energy and Green Materials, Mahidol University, Salaya, Nakhon Pathom 73170, Thailand

**Email: panida.sur@mahidol.ac.th*

Received <27 April 2021>; Revised <23 May 2021>; Accepted <23 May 2021>

Abstract

The transition metal group 10 (M = Pt, Ni) can work cooperatively with the Lewis acid (Z = B, Al) towards heterolytic H_2 activation. Our density functional study showed that **1Pt(PAl)**, the $Mes_2PC(=CHPh)Al^tBu_2$ (**PAl**) ligand in combination with platinum metal, enables cooperative dihydrogen activation via T-shaped transition state **TS12_PtAl** (31.6 kcal/mol), which is in accordance with the experimentally observed hydrogen activation at 80 °C. We then explored the possibility of using boron instead of aluminum Lewis acid. Unlike **1Pt(PAl)**, **1Pt(PB)** has no interaction between Pt—B (3.154 Å). This allows more facile activation of dihydrogen substrate, which leads to a lower energy barrier of 21.8 kcal/mol for **1Pt(PB)**. With the use of electropositive Ni in place of Pt, **1Ni(PB)** exhibited even higher reactivity towards H_2 with energy barrier of 9.7 kcal/mol. While the Pt complexes proceeded with the T-shape geometries in the formation of **TS12_PtB,** nickel complex bears the tetrahedral-like transition state, **TS12_NiB**. The distortion-interaction analysis was performed to evaluate the contribution that affects the height of energy barrier. Furthermore, the H_2 activation product was used to perform ethylene hydrogenation. The rate determining step was achieved through the first transfer of terminal hydrogen from **2M(PZ)** to the carbon of ethylene via transition state **TS23_MZ**. The energy required to proceed ethylene hydrogenation by **1Ni(PB)** was found to be most favorable among all metal complexes (26.3 kcal/mol). The energetic profile from this computational study can be used as a guide for potential reactivity of metal Lewis acid complexes.

Keywords: H_2 activation, ethylene hydrogenation, density functional theory, platinum, nickel, Lewis acid

Cite this article:

Ramadhan, M.D. and Surawatanawong, P. (2021). Density functional study of metal Lewis acid complexes Pt(PB) and Pt(PAl) for H_2 activation and ethylene hydrogenation. **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 11-21.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Introduction

The H_2 bond cleavage has been a crucial step in the transformation of dihydrogen for the application in H_2 fuel cell energy storage, hydrogenation and dehydrogenation processes (Karunananda & Mankad, 2017; Khusnutdinova & Milstein, 2015). The H_2 activation can proceed through two possible pathways: (i) homolytic cleavage involving electron donation from **σ**-orbital of H_2 to an empty d-orbital of transition metal and the back electron-donation from a filled d-orbital of metal to **σ***-orbital of H_2 (Figure 1a) and (ii) heterolytic cleavage with the assistance of Lewis acid and/or base. While the H_2 activation by transition metal-free frustrated Lewis pairs (FLPs) (Holschumacher, Bannenberg, Hrib, Jones, & Tamm, 2008; Rokob & Pápai, 2013; Skara, De Vleeschouwer, Geerlings, De Proft, & Pinter, 2017; Spies et al., 2007; Welch, Juan, Masuda, & Stephan, 2006; Welch & Stephan, 2007) (Figure 1b) and by cooperative metal-Lewis base (M-LB) (Figure 1c) have been widely studied (Morris, 2015; Noyori, Yamakawa, & Hashiguchi, 2001), the H_2 activation by metal-Lewis acid (M-LA) complexes still remains a challenge (Tsoureas, Kuo, Haddow, & Owen, 2011; Zeng & Sakaki, 2013) (Figure 1d).

The heterolytic H-H bond cleavage by transition metal with the assistance of Lewis acid is achieved by electron donation from σ_{HH} to unoccupied *p*-orbital of Lewis acid, and the back electron-donation from d-orbital of metal to σ^*_{HH} orbital (Karunananda & Mankad, 2017). In addition to H_2 activation, the Lewis acidic ligand can assist the electron-rich transition metal for further catalytic hydrogenation (Devillard et al., 2016; Karunananda & Mankad, 2017; Zeng & Sakaki, 2013).

In 2011, Appelt and co-workers reported that $Mes_2PC(=CHPh)Al^tBu_2$ (**PAl**), the geminal frustrated Lewis pair, can undergo CO_2 addition at room temperature but cannot activate H_2 under ambient condition (Appelt et al., 2011). In 2016, Bourissou and co-workers reported that Pt supported by **PAl** as a ligand, $Pt(PPh_3)(Mes_2PC(=CHPh)Al^tBu_2)$, **1Pt(PAl)**, can proceed to CO_2 addition under ambient condition and can also enable the activation of H_2 at 80 °C (Devillard et al., 2016). The introduction of transition metal group 10 in cooperative with aluminum Lewis acid enhances the reactivity towards H_2.

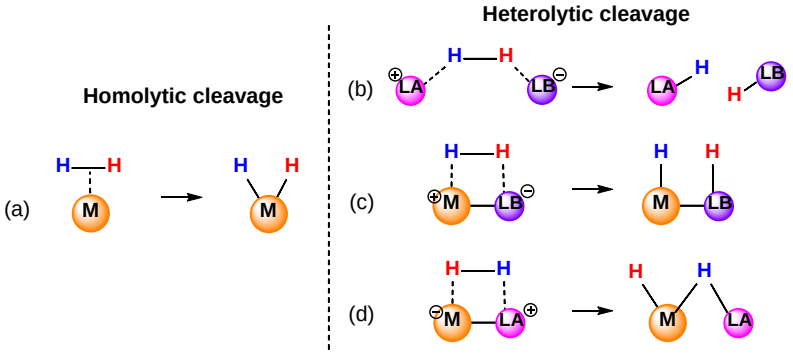


Figure 1. Catalytic H_2 activation: (a) single-site transition metal (M), (b) frustrated Lewis pair (LA-LB), (c) cooperative metal-Lewis base (M-LB), and (d) cooperative metal-Lewis acid (M-LA)

Apart from the Pt/Al complex, Ni/B complex for H_2 activation was also reported in 2012 by Peters and co-workers (Harman & Peters, 2012). The nickel complex with diphosphine borane, $ArB(o\text{-}Ph_2PC_6H_4)_2$ ($^{Ph}DPB^{Ar}$) ligand invoked the role of boron Lewis acid acting cooperatively with Ni for H_2 activation and alkene hydrogenation (Harman & Peters, 2012). Although $Ni(^{Ph}DPB^{Ph})(THF)$ cannot react with H_2 at 60 °C, when using mesityl substituent on the B, $Ni(^{Ph}DPB^{Mes})$ can activate H_2 at room temperature, and further being used to catalyze hydrogenation of styrene (Harman, Lin, & Peters, 2014; Zeng & Sakaki, 2013). In general, Ni is more

electropositive than Pt, which can potentially facilitate the oxidative addition processes with a lower energy barrier (Tasker, Standley, & Jamison, 2014).

Herein, we investigated the electronic structures and mechanistic studies of complexes **1Pt(PZ)**, $Pt(PPh_3)(Mes_2PC(=CHPh)Z^tBu_2)$ (Z = B, Al) for H_2 activation with the potential utilization of hydrogenation of ethylene. The corresponding mechanism using **1Ni(PB)** complex was also explored. This computational study will elucidate the key features and provide insight into the reactivity of cooperative metal-Lewis acid complexes.

Methodology

Mechanisms of H_2 activation and ethylene hydrogenation as shown in Figure 2 for **1Pt(PAl)**, **1Pt(PB)** and **1Ni(PB)** were carried out using **ω**B97XD functional (Chai & Head-Gordon, 2008a, 2008b). All geometry optimizations and frequency calculations were performed in gas phase with singlet spin state geometries using Gaussian 09 program (Frisch, 2016). The basis set 1 (BS1) was used. BS1 includes def2-TZVP for Pt and Ni, (Bergner, Dolg, Küchle, Stoll, & Preuß, 1993; Weigend & Ahlrichs, 2005; Xu & Truhlar, 2011) 6-31++G(d,p) (Hariharan & Pople, 1973; Petersson & Al-Laham, 1991; Petersson et al., 1988) for C and H on the substrates involved in the reactions and for P, Al, B, and O, while 6-31G(d) is for all other atoms. Frequency calculation was carried out to verify that all intermediates contain no imaginary frequency and transition states (TS) have only one imaginary frequency. Solvent correction was performed with SMD continuum solvation model (Marenich, Cramer, & Truhlar, 2009) with dichloromethane solvent parameters on the optimized geometry from the gas phase using **ω**B97XD functional with basis set 2 (BS2) (Chai & Head-Gordon, 2008a, 2008b). For BS2, def2-TZVP is used for Pt and Ni (Bergner et al., 1993; Weigend & Ahlrichs, 2005; Xu & Truhlar, 2011), and 6-31++G(d,p) for all other atoms (Hariharan & Pople, 1973; Petersson & Al-Laham, 1991; Petersson et al., 1988). Unless otherwise specified, the relative energies mentioned throughout the article are referred to the solvent-corrected relative free energies by **ω**B97XD/BS2 performed on the gas-phase optimization geometry by **ω**B97XD/BS1.

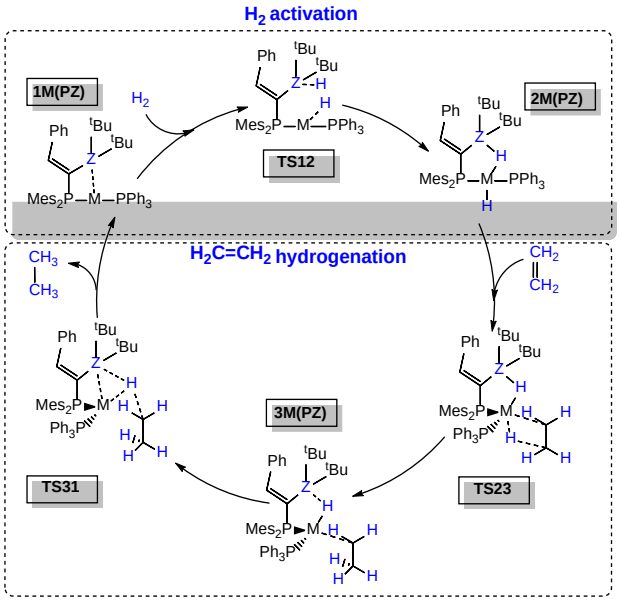


Figure 2. Catalytic cycle of ethylene hydrogenation by cooperative metal-Lewis acid **1M(PZ)** complexes (M = Pt and Ni; Z = B and Al).

Results and Discussion

A. Hydrogen Activation by 1Pt(PAl), 1Pt(PB), and 1Ni(PB)

While $Mes_2PC(=CHPh)Al^tBu_2$ (**PAl**) does not react with H_2,(Appelt et al., 2011) Uhl and co-workers reported that **1Pt(PAl)** activates H_2 at 80.0 °C (Devillard et al., 2016). Our calculation showed that the H_2 activation by **1Pt(PAl)** proceeds via **TS12_PtAl** with a relatively high energy barrier of 31.6 kcal/mol (Figure 3). The trans-dihydride product **2Pt(PAl)** is obtained with slightly exergonic reaction energy of -0.1 kcal/mol.

We further explored the dihydrogen activation by **1Pt(PB)**. With boron in place of aluminum, Pt/B combination shows relatively lower energy barrier of 21.8 kcal/mol for H_2 activation. Correspondingly, the formation of product **2Pt(PB)** is also more favorable thermodynamically with reaction energy of -6.1 kcal/mol.

The interaction between Al and Pt in **1Pt(PAl)** is significant as shown by a rather short distance of 2.624 Å (Figure 4), which leads to rather energy demanding insertion of H_2 to break the stabilizing interaction between metal-Lewis acid. This is in agreement with the X-ray crystal structure reported in the experiment (2.561 Å) (Devillard et al., 2016). In contrast, **1Pt(PB)** shows more elongated bond distance of Pt—B (3.154 Å). With less stabilizing interaction between metal-Lewis acid, the insertion of incoming dihydrogen substrate into Pt/B moiety is more facile.

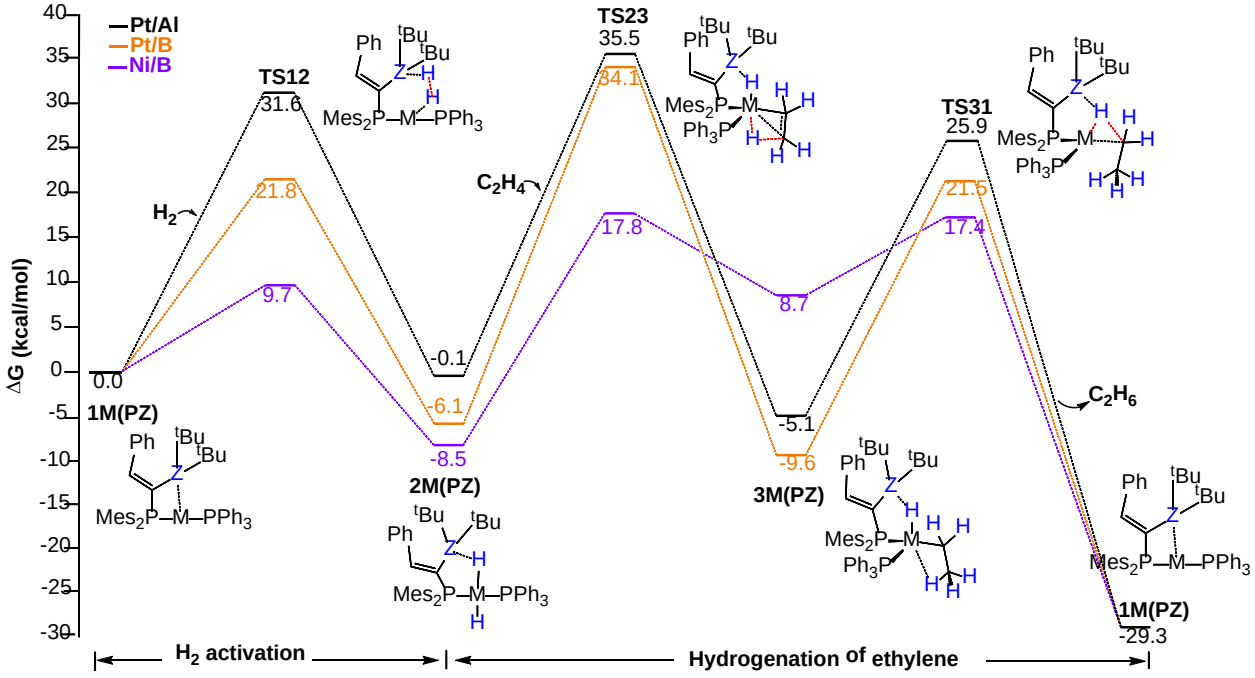


Figure 3. Relative free energy profiles for (i) H_2 activation and (ii) hydrogenation of ethylene by **1Pt(PAl)**, **1Pt(PB)**, and **1Ni(PB)**.

Furthermore, using distortion-interaction analysis of **TS12_MZ**, we are able to gain insights into the energy contributions behind the energy barrier. The energy barrier ($\Delta E^{\ddagger}$) is a sum up of two main contributions: (i) the distortion energy (ΔE_{dist}), which represents the energy for the deformation of reactant/catalyst fragments in the transition state from their free structures, and (ii) the interaction energy (ΔE_{int}), which corresponds to the interfragmental stabilizing interaction between deformed reactant/catalysts (Phipps, Fox, Tautermann, & Skylaris, 2015; Yepes, Jaque, & Fernández, 2018). The interaction energy (ΔE_{int}) of H_2 with **1Pt(PAl)** fragment is

considerably more negative (more stabilized) than that with **1Pt(PB)** due to the stronger Lewis acidity of Al than B. In fact, the distortion energy from H_2 fragment (ΔE_{dist_HH}) and **1Pt(PAl)** fragment ($\Delta E_{dist_M(PZ)}$) of **TS12_PtAl** mainly contribute to the higher destabilization and the higher energy barrier ($\Delta E^{\ddagger}$) for **TS12_PtAl** than that for **TS12_PtB** (Table 1).

Table 1. Distortion-interaction analysis of H_2 activation transition state **TS12_MZ** for **Pt/Al** and **Pt/B** complexes

TS	$\Delta E^{\ddagger}$	$\Delta E_{dist_M(PZ)}$	ΔE_{dist_HH}	ΔE_{int}
TS12_PtAl	26.0	41.2	92.4	-107.6
TS12_PtB	15.8	28.5	53.3	-66.0

When platinum in **1Pt(PB)** is replaced by nickel, the nickel complex is more reactive towards H_2 than the platinum counterpart. The dihydrogen activation by **1Ni(PB)** is more feasible with the energy barrier of 9.7 kcal/mol (Figure 3) and the formation of product **2Ni(PB)** is also more exergonic with reaction energy of -8.5 kcal/mol.

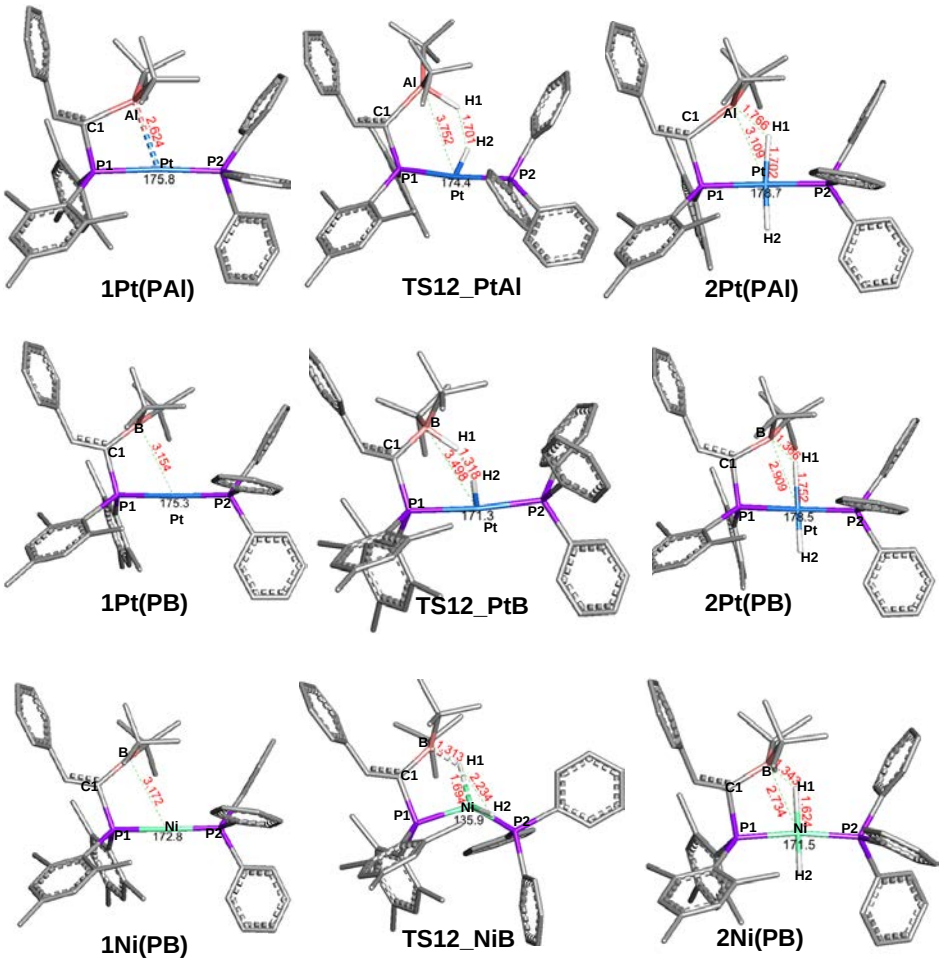


Figure 4. Optimized intermediates and transition states in H_2 activation by **1Pt(PAl)**, **1Pt(PB)**, and **1Ni(PB)**. Selected bond distances are shown in Å. Hydrogen atoms are omitted for clarity except for those from H_2.

The transition state of H_2 activation by Pt complex **TS12_PtB** has the H-H distance of 1.701 Å (Figure 4). The H1 interacts with B while the H2 interacts with Pt. The P1-Pt-P2 remains as linear with the T-shaped geometry. In contrast, the transition state **TS12_NiB** has rather extended H-H distance of 2.234 Å. Notably, the bridging H1 interacts with both B and Ni while the terminal H_2 interacts with only Ni. The P1-Ni-P2 is bent (135.9°) with the tetrahedral-like geometry. This also can be confirmed from the angle between H1-Ni-H2 and P1-Ni-P2 plane by 85.35°. While the H_2 is activated by both Pt and B in **TS12_PtB**, it is mainly activated by Ni with an assistance from B in **TS12_NiB**.

Our calculation elucidated that having $Mes_2PC(=CHPh)Z^tBu_2$ (**PZ**) architecture, the **PB** compound can serve as a ligand in complex with Pt or Ni to display a higher reactivity towards H_2 than the **PAl** compound. In addition, **1Ni(PB)** was found to be more reactive towards H_2 than **1Pt(PB)**.

B. Hydrogenation of ethylene by 2Pt(PAl), 2Pt(PB), and 2Ni(PB)

We then explored the addition of ethylene to the H_2-complex to obtain ethane and regeneration of **1M(PZ)**. Firstly, the terminal H2 is transferred from metal in **2M(PZ)** to C3 of ethylene via transition state **TS23_MZ** (Figure 5). Then, the H2—C3 bond is formed in intermediate **3M(PZ)**. Secondly, the bridging H1 is transferred to form the C2—H1 bond via transition state **TS31_MZ**. Noticeably, this second hydrogen transfer is more facile than the first hydrogen transfer (Figure 3). Finally, the ethane is released and **1M(PZ)** is regenerated. Note that several attempts have been made to locate the sigma-complex of ethane to metal as a stable intermediate structure, but they were not successful. The ethane was found to dissociate away from metal center with no energy barrier. That is the desorption step of ethane is facile. Similar circumstance was reported by Sakaki and Zeng in the styrene hydrogenation by nickel borane complex, where the ethylbenzene product can be immediately released (Zeng & Sakaki, 2013).

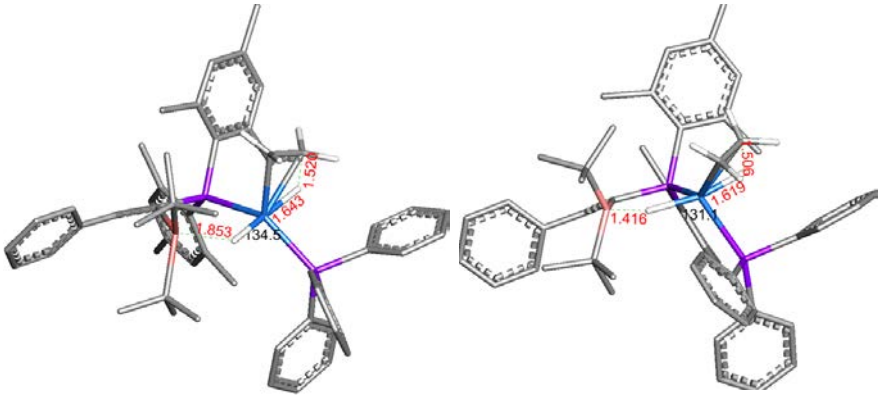


Figure 5. Optimized geometries of the first hydrogen transfer transition state **TS23_PtAl** and **TS23_PtB** in hydrogenation of ethylene. Selected bond distances are shown in Å. Hydrogen atoms are omitted for clarity except for those from H_2.

For the first hydrogen transfer from Pt to C3 of ethylene substrate via **TS23_PtAl**, the energy barrier is relatively high at 35.6 kcal/mol (Figure 3). Upon the binding of ethylene, the P1-Pt-P2 angle is bent from rather linear in **2M(PZ)** to 134.5° to adopt the trigonal-bipyramidal structure (Figure 5). On the other hand, the hydrogen transfer via **TS23_PtB** proceeds with an even higher energy barrier of 40.2 kcal/mol (Figure 3). The forming H2—C3 distance in **TS23_PtAl** is longer than that in **TS23_PtB** (1.520 Å and 1.506 Å, respectively)

(Figure 5). This indicates that the former is considered as an earlier transition state. Subsequently, the H2—C3 bond is established in intermediate **3Pt(PZ)**. For the second hydrogen transfer from bridging hydrogen H1 to C2, the energy barriers for both **TS31_PtAl** (31.0 kcal/mol) and **TS31_PtB** (31.1 kcal/mol) are similar.

We further investigated **1Ni(PB)** to compare with **1Pt(PB)** in hydrogenation of ethylene. Not only **1Ni(PB)** is more reactive towards H_2 activation, its ethylene hydrogenation by H_2-complex also proceeds with lower energy barriers. The energy barrier for the transfer of terminal hydrogen H2 from Ni to C3 of ethylene via **TS23_NiB** was found more favorable (26.3 kcal/mol) (Figure 3); the H2—C3 distance in **TS23_NiB** is 1.798 Å. Subsequently, H2—C3 bond is formed in intermediate **3Ni(PB)** (1.163 Å) (Figure 6). The **3Ni(PB)** formed can easily proceed to the second hydrogen transfer. The bridging hydrogen H1 is transferred to C2 to form the H1—C2 bond via **TS31_NiB** with the energy barrier of only 8.7 kcal/mol relative to **3Ni(PB)**. The H1—C2 distance is shortened from **3Ni(PB)** to **TS31_NiB** (2.516 Å to 1.712 Å) while the H1—B distance is elongated from 1.394 Å to 2.402 Å. Finally, ethane is eliminated as a product and **1Ni(PB)** is regenerated with the reaction energy of -29.3 kcal/mol (Figure 3).

From the overall mechanism of ethylene hydrogenation by **2M(PZ)**, the rate-determining step is the first hydrogen transfer from terminal H on Ni to form the C-H bond with C of ethylene. The energies required to overcome this step are prohibitively high for **2Pt(PAl)** and **2Pt(PAl)**. Interestingly, this process is feasible for **2Ni(PB)** (26.3 kcal/mol) (Figure 3). Thus, **Ni(PB)** complex can be potentially utilized as a catalyst for hydrogenation of ethylene.

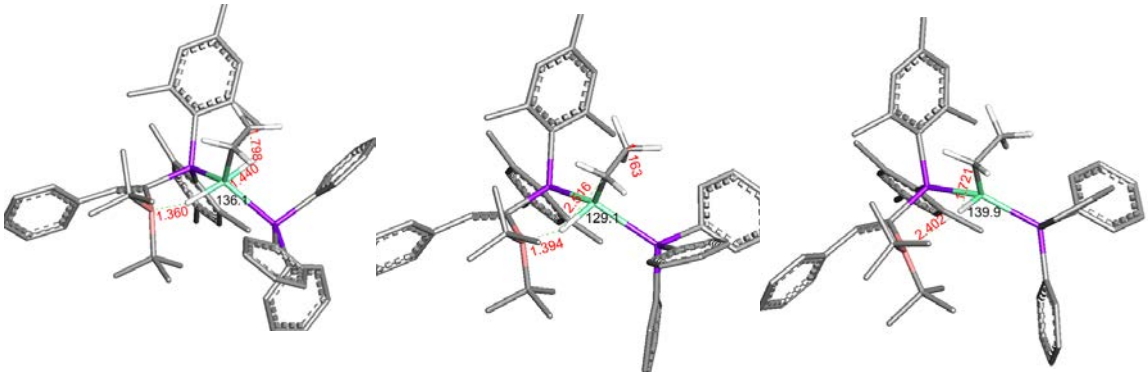


Figure 6. Optimized geometries of all species involved in hydrogenation of ethylene by **2Ni(PB)**. Selected bond distances are shown in Å. Hydrogen atoms are omitted for clarity except for those from H_2.

Conclusions

We investigated the reactivity of cooperative transition metal group 10 complex supported by frustrated Lewis pair $Mes_2PC(=CHPh)Z^tBu_2$ **PZ** (Z = B, Al) compounds towards H_2 activation and ethylene hydrogenation. The use of boron instead of aluminum in ligand architecture in complex **1Pt(PZ)** showed a higher reactivity towards H_2 activation due to the extended Pt—B bond distance compared to Pt—Al. This leads to less energy demanding for insertion of dihydrogen into Pt—B moiety than that into Pt—Al (21.8 kcal/mol and 31.6 kcal/mol, respectively). Furthermore, with more electropositive metal Ni in place of Pt, the energy barrier of dihydrogen activation by **1Ni(PB)** becomes much lower (9.7 kcal/mol). In addition, the reaction energy to form H_2 activation product **2Ni(PB)** is exergonic by -8.5 kcal/mol. This indicates that **1Ni(PB)** has a potential to be used for more feasible reaction towards H_2 activation.

For the reactivity towards ethylene hydrogenation, the first hydrogen transfer from metal to C on ethylene is the rate-determining step of the reaction. Both Pt/Al and Pt/B complexes proceed with relatively high energy barriers (35.6 kcal/mol and 40.2 kcal/mol, respectively). In contrast, the H_2 activation product **2Ni(PB)** can further proceed with a higher reactivity; the first hydrogen transfer rate-determining step has the energy barrier of only 26.3 kcal/mol. From density functional study of metal Lewis acid complexes, the potential application for ethylene hydrogenation could be suggested from the calculated energy required to complete the catalytic cycle. Our calculation suggested that **1Ni(PB)** complex can potentially be served as a catalyst for H_2 activation and ethylene hydrogenation.

Acknowledgments

Financial supports from the Thailand Research Fund (grant no. RSA6280041) and the Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC) are gratefully acknowledged. This research project was supported by the Faculty of Science, Mahidol University.

References

Appelt, C., Westenberg, H., Bertini, F., Ehlers, A. W., Slootweg, J. C., Lammertsma, K., & Uhl, W. (2011). Geminal Phosphorus/Aluminum-Based Frustrated Lewis Pairs: C-H versus C-C Activation and CO_2 Fixation. ***Angewandte Chemie International Edition,*** *50*(17), 3925-3928. doi:10.1002/anie.201006901

Bergner, A., Dolg, M., Küchle, W., Stoll, H., & Preuß, H. (1993). Ab initio energy-adjusted pseudopotentials for elements of groups 13–17. ***Molecular Physics,*** *80*(6), 1431-1441. doi:10.1080/00268979300103121

Chai, J.-D., & Head-Gordon, M. (2008a). Long-range corrected hybrid density functionals with damped atom–atom dispersion corrections. ***Physical Chemistry Chemical Physics,*** *10*(44), 6615-6620. doi:10.1039/B810189B

Chai, J.-D., & Head-Gordon, M. (2008b). Systematic optimization of long-range corrected hybrid density functionals. ***The Journal of Chemical Physics,*** *128*(8), 084106. doi:10.1063/1.2834918

Devillard, M., Declercq, R., Nicolas, E., Ehlers, A. W., Backs, J., Saffon-Merceron, N., . . . Bourissou, D. (2016). A Significant but Constrained Geometry Pt⟶Al Interaction: Fixation of CO_2 and CS_2, Activation of H_2 and $PhCONH_2$. ***Journal of the American Chemical Society,*** *138*(14), 4917-4926. doi:10.1021/jacs.6b01320

Hariharan, P. C., & Pople, J. A. (1973). The influence of polarization functions on molecular orbital hydrogenation energies. ***Theoretica chimica acta,*** *28*(3), 213-222. doi:10.1007/bf00533485

Harman, W. H., Lin, T.-P., & Peters, J. C. (2014). A d10 Ni–(H2) Adduct as an Intermediate in H-H Oxidative Addition across a Ni-B Bond. ***Angewandte Chemie International Edition,*** *53*(4), 1081-1086. doi:10.1002/anie.201308175

Harman, W. H., & Peters, J. C. (2012). Reversible H2 Addition across a Nickel–Borane Unit as a Promising Strategy for Catalysis. ***Journal of the American Chemical Society,*** *134*(11), 5080-5082. doi:10.1021/ja211419t

Holschumacher, D., Bannenberg, T., Hrib, C. G., Jones, P. G., & Tamm, M. (2008). Heterolytic Dihydrogen Activation by a Frustrated Carbene–Borane Lewis Pair. ***Angewandte Chemie International Edition,*** *47*(39), 7428-7432. doi:10.1002/anie.200802705

Karunananda, M. K., & Mankad, N. P. (2017). Cooperative Strategies for Catalytic Hydrogenation of Unsaturated Hydrocarbons. ***ACS Catalysis,*** *7*(9), 6110-6119. doi:10.1021/acscatal.7b02203

Khusnutdinova, J. R., & Milstein, D. (2015). Metal–Ligand Cooperation. *Angewandte Chemie International Edition, 54*(42), 12236-12273. doi:10.1002/anie.201503873

M. J. Frisch, G. W. T., H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, G. A. Petersson, H. Nakatsuji, X. Li, M. Caricato, A. Marenich, J. Bloino, B. G. Janesko, R. Gomperts, B. Mennucci, H. P. Hratchian, J. V. Ortiz, A. F. Izmaylov, J. L. Sonnenberg, D. Williams-Young, F. Ding, F. Lipparini, F. Egidi, J. Goings, B. Peng, A. Petrone, T. Henderson, D. Ranasinghe, V. G. Zakrzewski, J. Gao, N. Rega, G. Zheng, W. Liang, M. Hada, M. Ehara, K. Toyota, R. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ishida, T. Nakajima, Y. Honda, O. Kitao, H. Nakai, T. Vreven, K. Throssell, J. A. Montgomery, Jr., J. E. Peralta, F. Ogliaro, M. Bearpark, J. J. Heyd, E. Brothers, K. N. Kudin, V. N. Staroverov, T. Keith, R. Kobayashi, J. Normand, K. Raghavachari, A. Rendell, J. C. Burant, S. S. Iyengar, J. Tomasi, M. Cossi, J. M. Millam, M. Klene, C. Adamo, R. Cammi, J. W. Ochterski, R. L. Martin, K. Morokuma, O. Farkas, J. B. Foresman, and D. J. Fox. (2016). **Gaussian 09**, (Revision B.01.) [computer software] Wallingford, CT: Gaussian, Inc.

Marenich, A. V., Cramer, C. J., & Truhlar, D. G. (2009). Universal Solvation Model Based on Solute Electron Density and on a Continuum Model of the Solvent Defined by the Bulk Dielectric Constant and Atomic Surface Tensions. ***The Journal of Physical Chemistry B,*** *113*(18), 6378-6396. doi:10.1021/jp810292n

Morris, R. H. (2015). Exploiting Metal–Ligand Bifunctional Reactions in the Design of Iron Asymmetric Hydrogenation Catalysts. ***Accounts of Chemical Research,*** *48*(5), 1494-1502. doi:10.1021/acs.accounts.5b00045

Noyori, R., Yamakawa, M., & Hashiguchi, S. (2001). Metal–Ligand Bifunctional Catalysis: A Nonclassical Mechanism for Asymmetric Hydrogen Transfer between Alcohols and Carbonyl Compounds. ***The Journal of Organic Chemistry,*** *66*(24), 7931-7944. doi:10.1021/jo010721w

Petersson, G. A., & Al-Laham, M. A. (1991). A complete basis set model chemistry. II. Open-shell systems and the total energies of the first-row atoms. ***The Journal of Chemical Physics,*** *94*(9), 6081-6090. doi:10.1063/1.460447

Petersson, G. A., Bennett, A., Tensfeldt, T. G., Al-Laham, M. A., Shirley, W. A., & Mantzaris, J. (1988). A complete basis set model chemistry. I. The total energies of closed-shell atoms and hydrides of the first-row elements. ***The Journal of Chemical Physics,*** *89*(4), 2193-2218. doi:10.1063/1.455064

Phipps, M. J. S., Fox, T., Tautermann, C. S., & Skylaris, C.-K. (2015). Energy decomposition analysis approaches and their evaluation on prototypical protein–drug interaction patterns. ***Chemical Society Reviews,*** *44*(10), 3177-3211. doi:10.1039/C4CS00375F

Rokob, T. A., & Pápai, I. (2013). Hydrogen Activation by Frustrated Lewis Pairs: Insights from Computational Studies. In G. Erker & D. W. Stephan (Eds.), ***Frustrated Lewis Pairs I: Uncovering and Understanding*** (pp. 157-211). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Skara, G., De Vleeschouwer, F., Geerlings, P., De Proft, F., & Pinter, B. (2017). Heterolytic Splitting of Molecular Hydrogen by Frustrated and Classical Lewis Pairs: A Unified Reactivity Concept. ***Scientific Reports,*** *7*(1), 16024. doi:10.1038/s41598-017-16244-1

Spies, P., Erker, G., Kehr, G., Bergander, K., Fröhlich, R., Grimme, S., & Stephan, D. W. (2007). Rapid intramolecular heterolytic dihydrogen activation by a four-membered heterocyclic phosphane–borane adduct. ***Chemical Communications*** (47), 5072-5074. doi:10.1039/B710475H

Tasker, S. Z., Standley, E. A., & Jamison, T. F. (2014). Recent advances in homogeneous nickel catalysis. ***Nature,*** *509*(7500), 299-309. doi:10.1038/nature13274

Tsoureas, N., Kuo, Y.-Y., Haddow, M. F., & Owen, G. R. (2011). Double addition of H_2 to transition metal–borane complexes: a 'hydride shuttle' process between boron and transition metal centres. ***Chemical Communications,*** *47*(1), 484-486. doi:10.1039/C0CC02245D

Weigend, F., & Ahlrichs, R. (2005). Balanced basis sets of split valence, triple zeta valence and quadruple zeta valence quality for H to Rn: Design and assessment of accuracy. ***Physical Chemistry Chemical Physics,*** *7*(18), 3297-3305. doi:10.1039/B508541A

Welch, G. C., Juan, R. R. S., Masuda, J. D., & Stephan, D. W. (2006). Reversible, Metal-Free Hydrogen Activation. ***Science,*** *314*(5802), 1124-1126. doi:10.1126/science.1134230

Welch, G. C., & Stephan, D. W. (2007). Facile Heterolytic Cleavage of Dihydrogen by Phosphines and Boranes. ***Journal of the American Chemical Society,*** *129*(7), 1880-1881. doi:10.1021/ja067961j

Xu, X., & Truhlar, D. G. (2011). Accuracy of Effective Core Potentials and Basis Sets for Density Functional Calculations, Including Relativistic Effects, As Illustrated by Calculations on Arsenic Compounds. ***Journal of Chemical Theory and Computation,*** *7*(9), 2766-2779. doi:10.1021/ct200234r

Yepes, D., Jaque, P., & Fernández, I. (2018). Hydrogenation of Multiple Bonds by Geminal Aminoborane-Based Frustrated Lewis Pairs. ***Chemistry – A European Journal,*** *24*(35), 8833-8840. doi:10.1002/chem.201800864

Zeng, G., & Sakaki, S. (2013). Unexpected Electronic Process of H_2 Activation by a New Nickel Borane Complex: Comparison with the Usual Homolytic and Heterolytic Activations. ***Inorganic Chemistry,*** *52*(6), 2844-2853. doi:10.1021/ic301733r

บทความวิจัย

การดูดซับสีโรดาห์มีนบีด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จักรกฤษณ์ อัมพุช[1,*] ชวลิต สีโสภา[1] พุทธิพล หนองเสนา[1] จิราธิวัฒน์ ตุรงค์เมือง[1] และชาญณรงค์ ภุชงควาริน[1]

[1]สังกัดภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

**Email: chakkrit.u@ubu.ac.th*

รับบทความ: 23 พฤษภาคม 2564 แก้ไขบทความ: 14 มิถุนายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 14 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับสีย้อมโรดาห์มีนบีโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว เตรียมถ่านโดยนำกะลามะพร้าวบดละเอียดไปคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะอับอากาศ จากนั้นนำถ่านไปกระตุ้นโดยผสมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนโดยมวล 1:3 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะอับอากาศ วิเคราะห์คุณสมบัติของตัวดูดซับด้วยเทคนิคการดูดซับและการคายซับด้วยแก๊สไนโตรเจนที่ 77 เคลวิน เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และเทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ตัวดูดซับมีพื้นผิวจำเพาะเท่ากับ 1,091 ตารางเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 1.17 นาโนเมตร มีการปรากฏของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลบนตัวดูดซับ และการกระจายของรูพรุนทั่วทั้งพื้นผิว การทดลองแบบกะแบ่งเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับ พบว่า การดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก และเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที ส่วนที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสียอมต่อการดูดซับ พบว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสีย้อม ส่วนที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ พบว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อการดูดซับ พบว่า ปริมาณการดูดซับลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่วนสุดท้ายการศึกษาการคายซับ พบว่า สีย้อมเกิดการคายซับในน้ำกลั่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และสารอะซิโตนไนไตร์ท ปริมาณการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 19.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งพบภายใต้สภาวะเวลาสัมผัส 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 300 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และค่าพีเอช 2.0 ผลการทดลองสอดคล้องกับแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (k_2 เท่ากับ 9.16×10^{-3} กรัมต่อมิลลิกรัมต่อนาที) และสมการไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิช ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับการดูดซับสีย้อมโรดาห์มีน

คำสำคัญ: สีย้อมโรดาห์มีนบี ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว การดูดซับ การคายซับ

อ้างอิงบทความนี้

จักรกฤษณ์ อัมพุช, ชวลิต สีโสภา, พุทธิพล หนองเสนา, จิราธิวัฒน์ ตุรงค์เมือง และชาญณรงค์ ภุชงควาริน. (2564). การดูดซับสีโรดาห์มีนบีด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 22-37.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Adsorption of rhodamine B dye onto activated carbon from coconut shell

Chakkrit Umpuch[1,*], Chawalit Leesopha[1], Putipon Nongsena[1], Jirathiwat Turongruang[1] and Channarong Puchongkawrin[1]

[1]Department of Chemical Engineering, Ubon Ratchathani University

**Email: chakkrit.u@ubu.ac.th*

Received <23 May 2021>; Revised <14 June 2021>; Accepted <14 June 2021>

Abstract

The purpose of this research is to study the adsorption of rhodamine B dye using activated carbon from coconut shell. Char was prepared by carbonizing finely ground coconut shell at the temperature of 450 ℃ for 1 hour in a confined environment. The char was activated by mixing the char and KOH at a mass ratio of 1:3 and then burnt at 500 ℃ for 1 hour in a confined environment. The activated carbon was characterized by N_2 adsorption-desorption isotherm at 77 K, Fourier transforms infrared spectroscopy, and scanning electron microscope techniques. It was found that the adsorbent had a specific surface area of 1,091 m^2/g and an average pore size of 1.17 nm. There was a carboxyl group on the adsorbent. The porous surface of the absorbent was observed. The batch experiment was divided into 5 parts. Firstly, the effect of contact time on the adsorption was investigated. It was found that the dye uptake increases rapidly in the first 10 min and then equilibrated within 60 min. Secondly, the influence of initial dye concentration on the adsorption was studied. It was found that the amount of dye adsorbed increased with the initial dye concentration. Thirdly, the influence of temperature was conducted. An increase in the temperature caused an increase in dye uptake. Fourthly, the effect of the initial pH on the adsorption was investigated. The result exhibits that the amount of dye adsorbed decreased with an increase in the initial pH. Finally, the desorption was studied. It reveals that desorption occurred in the distilled water, 0.1 M NaOH and acetonitrile. The highest adsorption capacity of 19.75 mg/g was taken placed under contact time of 60 min, initial dye concentration of 300 mg/L, temperature of 50 ℃ and pH of 2.0. The experimental results followed the pseudo-second order kinetic model (k_2 = 9.16x10^{-3} g/(mg·min)) and the Freundlich isotherm equation. From the results, it is obvious that the activated carbon from the coconut shell can be used as an effective adsorbent for the adsorption of rhodamine B dye.

Keywords: Rhodamine B dye, Activated carbon from coconut shell, Adsorption, Desorption

Cite this article:

Umpuch, C., Leesopha, C., Nongsena, P. Turongruang, J. and Puchongkawrin C. (2021). Adsorption of rhodamine B dye onto activated carbon from coconut shell (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 22-37.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

สีโรดาห์มีนบี (rhodamine B) หรือสีย้อมฝ้าย นิยมนำมาใช้ในการย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยโดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมชนิดนี้มีหมู่อะโซและหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้สีสามารถละลายน้ำได้ดี สีย้อมมีประจุบวก (Dahri et al, 2016) การปนเปื้อนของสีโรดาห์มีนบีที่ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอในแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เนื่องจากเป็นสารเคมีสังเคราะห์ทำให้เกิดการระคายเคือง เป็นสารก่อมะเร็งหรือทำให้กลายพันธุ์ได้เนื่องจากในโครงสร้างของสีย้อมส่วนใหญ่มีวงแหวนแอโรมาติกอยู่ในโมเลกุล (Jinisha et al., 2018) นอกจากนี้สีโรดาห์มีนบียังปิดกั้นแสงไม่ให้ส่องลงไปในน้ำทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและทำให้เสียทัศนียภาพ สีโรดาห์มีนบีละลายน้ำได้ดี แต่ย่อยสลายยากเนื่องจากทนทานต่อแสงและความเป็นกรดด่าง ทำให้ยากต่อการบำบัด (Kooh et al., 2016) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้โดยตรงจะต้องมีการบำบัดเสียก่อน

โดยปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการกำจัดสีโรดาห์มีนบีหลายวิธี เช่น โอโซเนชัน การใช้จุลินทรีย์ที่เหมาะสมย่อยโมเลกุลสี หรือการใช้คลื่นความถี่สูง สลายโมเลกุล การตกตะกอน การย่อยสลายด้วยสารเคมีเฟนตัน (Fenton’s reagent) การกรองผ่านเมมเบรน การแลกเปลี่ยนประจุ เป็นต้น (Katheresan et al., 2018) วิธีการต่าง ๆ ข้างต้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูง แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการเช่น สารเคมีที่ต้องใช้มีราคาสูง จำเป็นต้องควบคุมสภาวะการย่อยสลายอย่างเคร่งครัด และการเกิดสารเมตาบอไลซ์ทุติยภูมิ (secondary metabolize) เป็นต้น ท่ามกลางวิธีการบำบัดข้างต้น การดูดซับเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่รวดเร็ว มีต้นทุนต่ำ และไม่ซับซ้อน ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมใช้กันมาก คือ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) (Lacerda et al., 2015)

กะลามะพร้าว เป็นวัสดุธรรมชาติที่มีลักษณะแข็ง มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวสูง ซึ่งจะแปรสภาพไปเป็นคาร์บอนหลังเสร็จสิ้นกระบวนการคาร์บอไนเซชันได้สูง ได้มีการรายงานการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวของกะลามะพร้าวจาก 21.38% ไปเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวเท่ากับ 69.49% (Mohd Iqbaldin et al., 2013) ในอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีผลผลิตของมะพร้าวเป็นจำนวนมาก และมีการบริโภคตลอดทั้งปี โดยเฉพาะมะพร้าวพันธุ์มะพร้าวกะทิ ส่วนใหญ่จะถูกนำมาคั้นน้ำกะทิ และเศษกะลามะพร้าวจะถูกทิ้งเป็นของเสีย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเอาเศษกะลามะพร้าวเหลือทิ้งเหล่านี้ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐศาสตร์ และนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมโรดาห์มีนบี ได้มีรายงานวิจัย การแปรรูปชีวมวลไปเป็นถ่านจะทำภายใต้สภาวะของการคาร์บอไนซ์ (การเผาที่ไม่มีออกซิเจน) ในช่วง 400-500 องศาเซลเซียส (Gratuito et al., 2008) และการกระตุ้นถ่านไปเป็นถ่านกัมมันต์สามารถทำได้ 2 วิธี คือการกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี ข้อดีของการกระตุ้นทางเคมีคือการช่วยลดอุณหภูมิในกระตุ้นแต่ยังคงรักษาให้คุณลักษณะที่ดีของถ่านกัมมันต์ไว้ ซึ่งการกระตุ้นถ่านจากกะลามะพร้าวจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 394 - 750 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดฟอสฟอริก และ ซิงค์ (II) คลอไรด์ เป็นต้น (Mohd Iqbaldin et al., 2013; Saputro et al., 2020) นอกจากนี้ อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และระยะเวลาในการเผา เป็นปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ได้ด้วย

ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ การนำไปดูดซับโลหะหนักเช่น ตะกั่ว (II) (Song et al., 2013) และ บิสมัท (III) (Sartape et al., 2012) จากน้ำเสีย การนำไปดูดซับสีย้อมจากสารละลาย เช่น สีเมทิลออเร้นท์ (Md Shariful et al., 2016) และสีเมทิลลีนบลู (Edokpayi et al., 2018) การนำไปดูดซับสารฟีนอล (2-nitrophenol) (Sarswat and Mohan, 2016) การนำไปดูดซับแก๊สไนโตรเจนมอนนอกไซด์ (Gao et al., 2018) และการนำไปดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Tangsathikulchai et al., 2016) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการวิจัยที่นำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมาใช้ในการดูดซับสีโรดาห์มีนบีซึ่งเป็นสีย้อมที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่กว่าสีย้อมที่กล่าวไว้ข้างต้น มีเพียงงานวิจัยที่ใกล้เคียงได้แก่ การนำถ่านกัมมันต์จากกาบมะพร้าวมาดูดซับสีโรดาห์มีนบีเท่านั้น (Bello et al., 2019)

คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ดีควรมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมสูง มีขนาดรูพรุนเฉลี่ยอยู่ในช่วงของรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ซึ่งมีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 2 nm และมีหมู่ฟังก์ชันที่จำเพาะต่อตัวถูกดูดซับปรากฏอยู่บนพื้นผิว (Mojoudi et al., 2019) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับสีย้อมในน้ำสีสังเคราะห์ ได้แก่ เวลาสัมผัส ความเข้มข้นของเริ่มต้นของสีย้อม ค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม อุณหภูมิ และขนาดของอนุภาค เป็นต้น (Pagketanang et al., 2015) การทราบแนวโน้มของปัจจัยดังกล่าวจะทำให้สามารถวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะที่สุดของกระบวนการดูดซับได้ การควบคุมระบบให้อยู่ภายใต้สภาวะดังกล่าวจะช่วยให้ประสิทธิภาพการดูดซับเกิดขึ้นสูงสุด และสามารถลดระยะเวลาและต้นทุนในการดำเนินการได้ด้วย นอกจากนี้ การนำแบบจำลองการดูดซับมาใช้ในการศึกษา เช่น แบบจำลองเชิงจลนศาสตร์จะช่วยให้สามารถทำนายกลไกการดูดซับ และวิเคราะห์ขั้นตอนที่เกิดขึ้นช้าที่สุดได้ นอกจากนี้ แบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับจะช่วยให้สามารถทำนาย

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

พฤติกรรมการดูดซับได้ว่าการจัดเรียงตัวของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียว หรือหลายชั้น ค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองเหล่านี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบหน่วยปฏิบัติการดูดซับ เพื่อขยายขนาดของระบบให้ใหญ่ขึ้นได้ (Katheresan et al., 2018)

วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การศึกษาคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีโรดาห์มีนบี และการศึกษาแบบจำลองการดูดซับ ได้แก่ แบบจำลองเชิงจลนพลศาสตร์ และแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับ

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

เศษกะลามะพร้าวแก่ พันธุ์มะพร้าวกะทิ เก็บรวบรวมจากร้านคั้นน้ำกะทิแห่งหนึ่งในตลาดเจริญศรี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี สีย้อมโรดาห์มีนบี (C.I. 45170, LOBA Chemie, India) น้ำหนักโมเลกุลของสีย้อมเท่ากับ 479.01 กรัมต่อโมล สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารอะซิโตนไนไตร์ท กรดไฮโดรคลอริก สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เตาเผาอุณหภูมิสูง ถังปฏิกรณ์เหล็กกล้าไร้สนิมทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน (inner diameter) 113 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร สูง 66 มิลลิเมตร มีท่อระบายของไหลอยู่ด้านบนมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 10 มิลลิเมตร

การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำเศษกะลามะพร้าวแก่มาตัดและบดละเอียดให้ได้ขนาดประมาณ 1 - 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่) นำกะลามะพร้าวบดละเอียดจำนวน 150 กรัม มาบรรจุในถังปฏิกรณ์ ติดตั้งถังปฏิกรณ์ในเตาเผาอุณหภูมิสูงและเชื่อมต่อระบบระบายควันเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะอับอากาศ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 450 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำถ่านไปบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน จากนั้นนำถ่านกะลามะพร้าวผสมกับสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วนโดยมวล 1: 3 (Mistar et al., 2020) นำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปบดละเอียดแล้วล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งค่าพีเอชของน้ำล้างเท่ากับค่าพีเอชของน้ำกลั่น นำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่) นำถ่านกัมมันต์ไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

การวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคการดูดซับ-คายซับถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 77 K เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ด้วยวิธี BET (Brunauer, Emmett and Teller) วิเคราะห์ปริมาตรรูพรุนรวมโดยวัดปริมาตรการดูดซับที่ P/P_0 เท่ากับ 0.99 และขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยวิธี BJH (Barrett, Joyner and Halenda) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยแสกนเลขคลื่นในช่วง 400-4,000 เซนติเมตร$^{-1}$ โดยนำถ่านกัมมันต์ไปหุ้มด้วยโพแทสเซียมโบรไมด์ในอัตราส่วน 1:20 และวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) รุ่น JEOL/JSM-7610F เตรียมตัวอย่างด้วยการเคลือบโลหะทอง กำหนดค่าแรงดันเร่ง (Acceleration voltage) ที่ 15.0 kV และกำลังขยายในช่วง 1,000 - 5,000 เท่า

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการคายซับ

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการคายซับ แบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ได้แก่

การทดลองแรก การศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับ เตรียมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมมาเจือจาง 15 เท่า จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเริ่มต้นด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร เติมถ่านกัมมันต์หนัก 0.4 กรัม นำไปเขย่า 200 รอบต่อนาที ด้วย เครื่องตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่า (shaking incubator) ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปการย้อมสีผ้าจะนิยมย้อมในน้ำเดือด จึงทำให้น้ำทิ้งมีอุณหภูมิสูง เก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมที่เวลา 10 30 60 และ 90 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร (100/PK) (Whatman) แล้วเจือจาง 15 เท่า จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้นต่อการดูดซับ เตรียมสารละลายสีย้อมปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด แต่ละขวดมีความเข้มข้นของสีย้อม เท่ากับ 50 100 150 200 250 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมถ่านกัมมันต์ขวดละ 0.1 กรัม เขย่าด้วยเครื่องตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่า ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างสารละลายสีย้อมไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีย้อมด้วยวิธีการเดียวกับการทดลองแรก

การทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชของสารละลายต่อการดูดซับ เตรียมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด แต่ละขวดมีค่าพีเอชของสารละลาย เท่ากับ 2 4 6 8 และ 10 ปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ และ/หรือสารละลายไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เติมถ่านกัมมันต์หนัก 0.1 กรัม เขย่าด้วยเครื่องตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างสารละลายสีย้อมไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีย้อมด้วยวิธีการเดียวกับการทดลองแรก

การทดลองที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ เตรียมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมถ่านกัมมันต์หนัก 0.1 กรัม เขย่าด้วยเครื่องตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างสารละลายสีย้อมไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีย้อมด้วยวิธีการเดียวกับการทดลองแรก

การทดลองที่ 5 การศึกษาการคายซับ เริ่มจากการดูดซับโดยเตรียมสารละลายเข้มข้นเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ 4 ขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น เติมถ่านกัมมันต์ ขวดละ 0.1 กรัม ปิดฝาขวด เขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง วัดความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม กรองเพื่อแยกถ่านกัมมันต์ออกจากของเหลว นำถ่านไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ จากนั้น ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์หลังการอบแห้งทั้ง 4 ชุด แล้วบันทึกผลการทดลอง เตรียมสารชะละลายจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และสารอะซิโตนไนไตร์ท ในขวดรูปชมพู่ ขวดละ 50 มิลลิมิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของสารชะละลาย บันทึกผล เติมถ่านกัมมันต์อบแห้งทั้ง 4 ชุด ใส่ลงในสารชะละลาย ปิดฝาแล้วเขย่า 1 ชั่วโมง กรองแยกถ่านกัมมันต์ แล้วนำสารชะละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงหลังการคายซับ

แบบจำลองการดูดซับเชิงจลนศาสตร์

เพื่อศึกษากลไกการดูดซับสีย้อมโรดาห์มีนบีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองจะถูกนำมาหาความสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงจลนศาสตร์ 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (pseudo-first order reaction model) และแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (pseudo-second order reaction model) (Simonin, 2016) แบบจำลองทั้งสองชนิด พัฒนาจากสมมติฐานที่ว่า ขั้นตอนการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับเป็นขั้นตอนที่ช้าที่สุดของการดูดซับ หรือเป็นขั้นกำหนดอัตรา (rate of limiting step)

คำนวณปริมาณการดูดซับโดยใช้สมการที่ 1 และสมการของแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม ในรูปของสมการเชิงเส้นเป็นไปตามสมการที่ 2

$$q_t = (C_0-C_t)*V/m \quad (1)$$

$$\ln(q_e - q_t) = k_1 t + \ln(q_e) \quad (2)$$

ที่ซึ่ง q_t (mg/g) คือ ปริมาณการดูดซับที่เวลา t ใดๆ หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร q_e (mg/g) คือ ปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล C_t (mg/L) คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่เวลาใดๆ C_e (mg/L) คือความเข้มข้นของสีย้อมที่สภาวะสมดุล V (L) คือ ปริมาตรของสารละลายหน่วยลิตร m (g) คือมวลของตัวดูดซับหน่วยกรัม และ k_1 (min^{-1}) คือค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม หน่วยนาที$^{-1}$

สมการของแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ในรูปของสมการเชิงเส้นเป็นไปตามสมการที่ 3

$$t/q_e = t/q_e + 1/(k_2*q_e^2) \quad (3)$$

ที่ซึ่งค่า k_2 (g/(mg·min)) คือค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาอันดับสองเทียมหน่วยกรัมต่อมิลลิกรัม·นาที

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

แบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับ

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสีย้อมโรดาห์มีนบีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองจะถูกนำมาหาความสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับ 2 แบบจำลอง ได้แก่ สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm equation) และสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิช (Freundlich isotherm equation) (Kowanga et al., 2016)

สมการไอโซเทอมแบบแลงเมียร์พัฒนามาจากสมมติฐานที่ว่า ตัวถูกดูดซับจัดเรียงตัวบนพื้นผิวของตัวดูดซับในลักษณะชั้นเดียว (monolayer) เนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับมีความเป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งพื้นผิว (homogeneous surface) โดยมีสมการเชิงเส้นตรง ดังสมการที่ 4

$$C_e/q_e = C_e/q_{max} + 1/(k_L*q_{max}) \quad (4)$$

ที่ซึ่งค่า k_L (L/mg) คือ ค่าคงที่ของแลงเมียร์หน่วยลิตรต่อมิลลิกรัม และ q_{max} (mg/g) คือ ปริมาณการดูดซับสูงสุดแบบชั้นเดียว (maximum monolayer adsorption capacity) หน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม

สมการไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิชพัฒนามาจากสมมติฐานที่ว่า ตัวถูกดูดซับจัดเรียงตัวบนพื้นผิวของตัวดูดซับในลักษณะหลายชั้น (multilayer) เนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับมีความเป็นไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งพื้นผิว (heterogeneous surface) โดยมีสมการเชิงเส้นตรง ดังสมการที่ 5

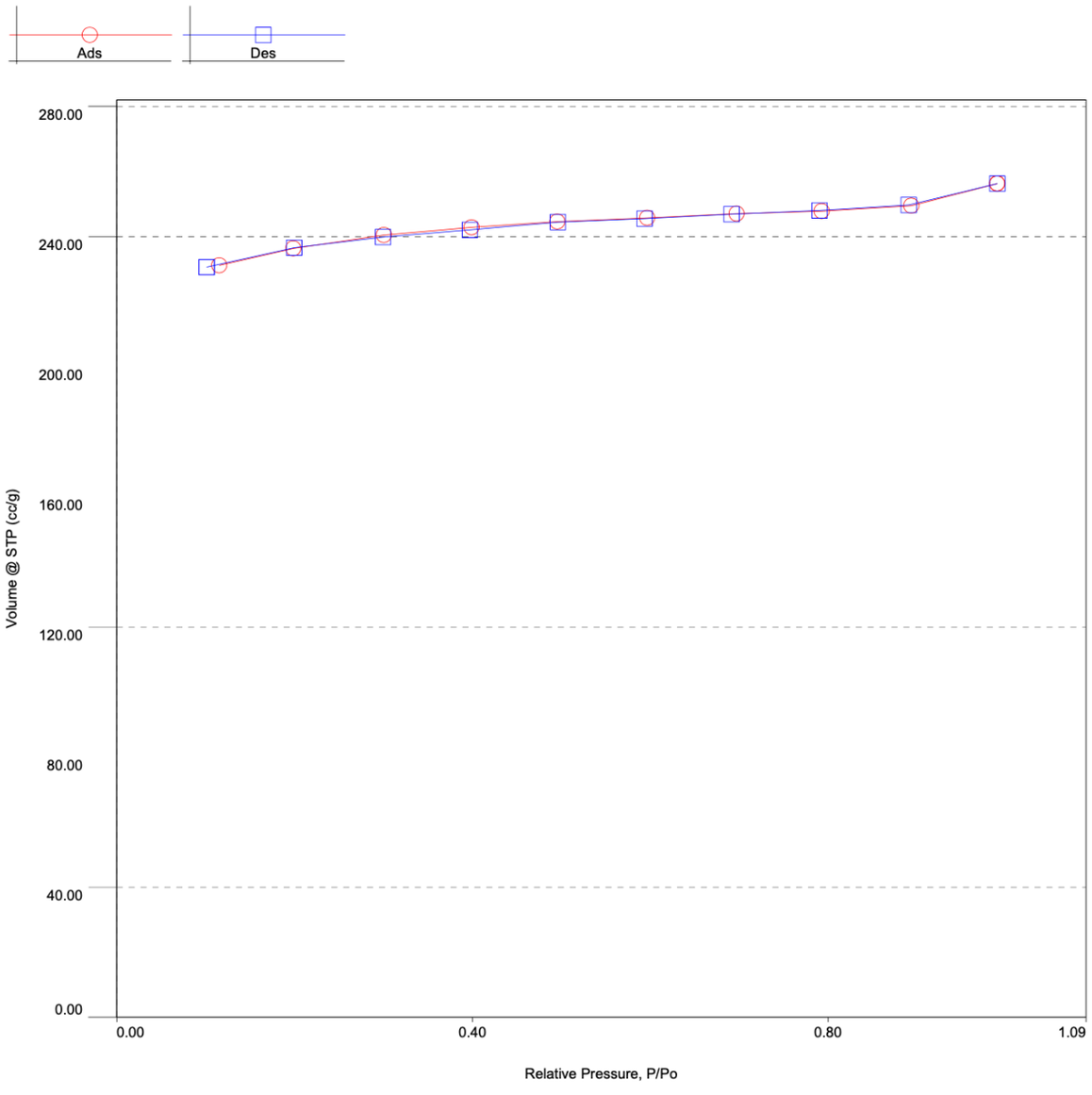
$$\ln(q_e) = (1/n)\ln(C_e) + \ln(k_F) \quad (5)$$

ที่ซึ่ง ค่า k_F ((mg/g)(L/g)$^{1/n}$) คือค่าคงที่ของฟรอยด์ลิชหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม·(ลิตรต่อกรัม)$^{1/n}$ และ n (ไม่มีหน่วย) คือ ค่าคงที่ของฟรุนดลิชที่อธิบายถึงความเข้มข้นในการดูดซับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

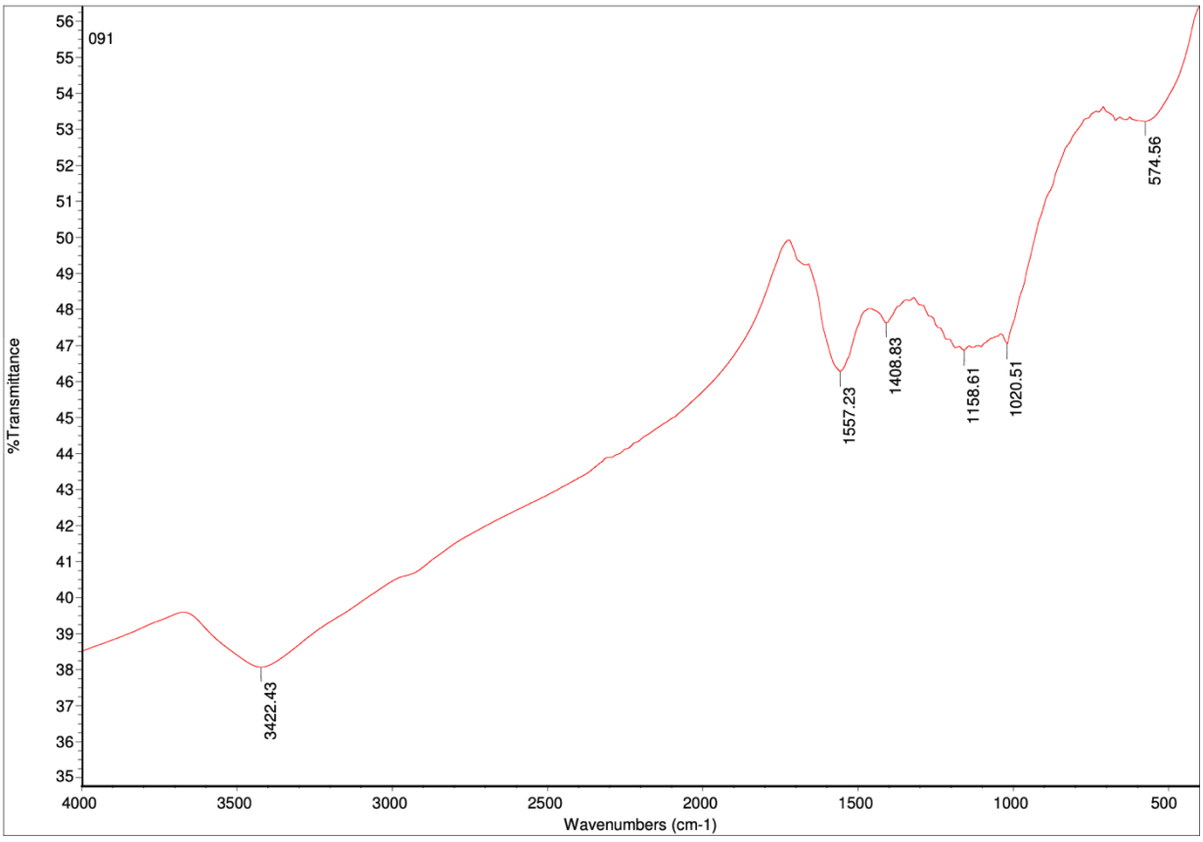
จากผลวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับ-คายซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ 77 เคลวิน ในภาพที่ 1 พบว่า ไอโซเทอมสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบที่ 1 (Type I) ตามหลักของ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ซึ่งไอโซเทอมแบบที่ 1 จะพบมากในตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Cychosz et al., 2018) เมื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธี BET (Brunauer, Emmett and Teller) วิเคราะห์ปริมาตรรูพรุนรวมโดยการวัดปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนที่ P/P_0 เท่ากับ 0.99 และขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยวิธี BJH (Barrett, Joyner, and Halenda) พบว่า ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะ เท่ากับ 1,091 ตารางเมตรต่อกรัม มีปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 0.396 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ 1.17 นาโนเมตร ตามการจำแนกของ IUPAC ขนาดรูพรุนที่มีค่าน้อยกว่า 2 นาโนเมตร เป็นรูพรุนขนาดเล็ก ดังนั้น รูพรุนส่วนใหญ่ของถ่านกัมมันต์เป็นรูพรุนขนาดเล็ก



ภาพที่ 1 ไอโซเทอมการดูดซับ-คายซับแก๊สไนโตรเจนที่ 77 เคลวิน ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

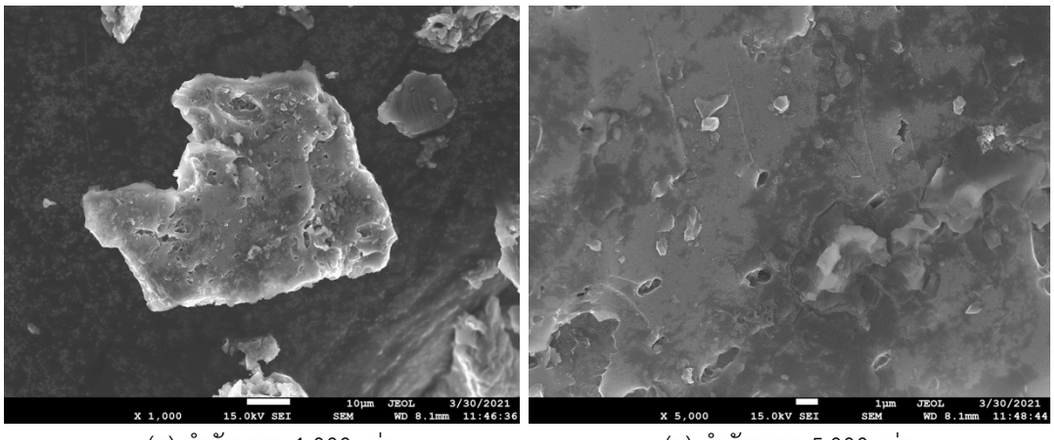
จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจากอินฟาเรดสเปกตรา (IR Spectra) ของตัวดูดซับด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโทมิเตอร์ (FTIR) แสดงในภาพที่ 2 โดยอินฟาเรดสเปกตราของตัวดูดซับ ประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชัน O–H แบบยืด (stretching) ที่พีค 3,422 เซนติเมตร$^{-1}$ หมู่ฟังก์ชัน C=O แบบยืดที่พีค 1,557 เซนติเมตร$^{-1}$ (Kongsook et al., 2020) หมู่ฟังก์ชัน C=C แบบยืดที่พีค 1,409 เซนติเมตร$^{-1}$ หมู่ฟังก์ชัน C-O แบบยืดที่พีค 1,159 เซนติเมตร$^{-1}$ หมู่ฟังก์ชัน C-O แบบยืดที่พีค 1,021 เซนติเมตร$^{-1}$ หมู่ฟังก์ชัน C-Br แบบยืดที่พีค 575 เซนติเมตร$^{-1}$ (Cuhadaroglu and Uygan, 2008) จากข้อมูลข้างต้นชี้ให้เห็นว่า มีการปรากฏของหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ซึ่งสามารถยึดจับโมเลกุลของสีย้อมที่มีประจุบวกได้ดี สีโรดาห์มีนบีเป็นสีย้อมที่มีประจุบวกเนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุบวก ได้แก่ หมู่อะมิโน ดังนั้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิกจึงสามารถดูดซับสีย้อมโรดาห์มีนบีได้ดี

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



ภาพที่ 2 สเปกตรัมเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโทมิเตอร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวดูดซับด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงในภาพที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า (ภาพที่ 3ก) พบว่า ลักษณะพื้นที่ผิวของก้อนอนุภาคถ่านกัมมันต์มีการปรากฏของรูพรุนกระจายตัวทั่วทั้งก้อนอนุภาค และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ภาพที่ 3ข) พบว่า พื้นผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเรียบมีการกระจายตัวของรูพรุนทั่วทั้งพื้นผิว



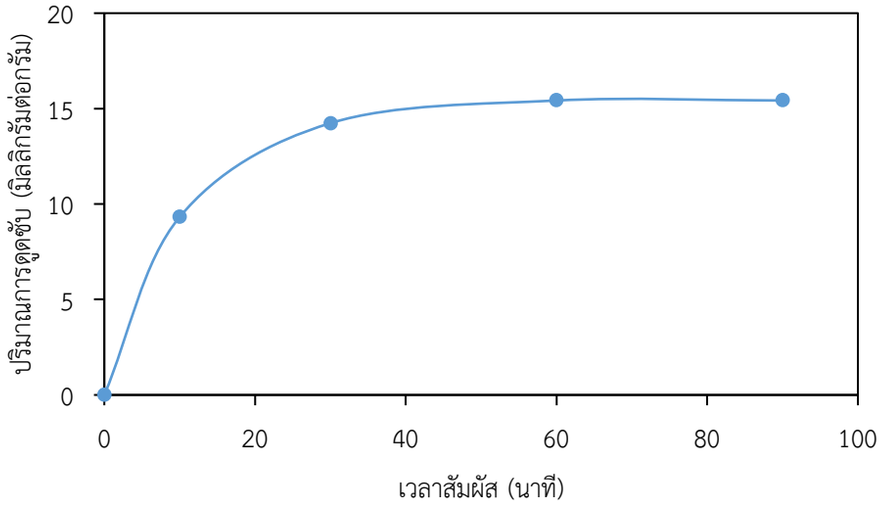
(ก) กำลังขยาย 1,000 เท่า (ข) กำลังขยาย 5,000 เท่า

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่กำลังขยายต่าง ๆ

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการคายซับ

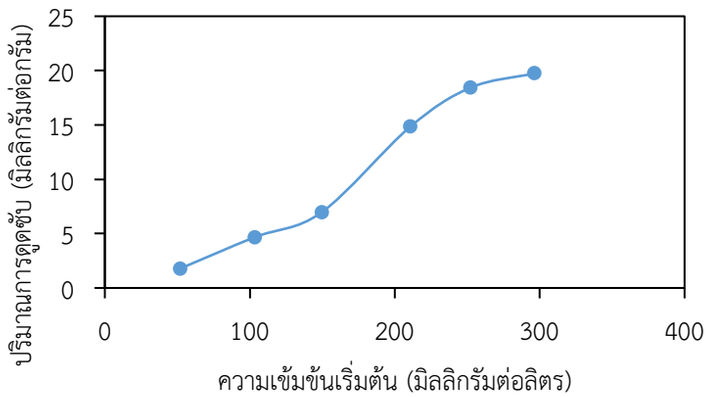
จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาต่อปริมาณการดูดซับ ได้ผลการศึกษาแสดงในภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับสีย้อมกับเวลา จะเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก แล้วจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเริ่ม

คงที่ที่เวลา 60 นาที เนื่องจากในช่วงแรกตัวดูดซับยังปราศจากโมเลกุลของสีย้อม สีย้อมจึงเข้าไปยึดเกาะกับตัวดูดซับได้ดีกว่าเมื่อเข้าสู่ช่วงที่ 2 สีแพร่กระจายเข้าสู่รูพรุนภายในของตัวดูดซับ จนกระทั่งช่วงที่ 3 เกิดการอิ่มตัวแล้วทำให้โมเลกุลของสีย้อมไม่สามารถเข้าไปในตัวดูดซับได้ (Bello et al., 2019) ดังนั้น การดูดซับสีย้อมโรดาห์มีนด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเข้าสู่สมดุลที่ 60 นาที



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสีย้อมกับเวลาสัมผัส (ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.4 กรัม ปริมาตร 200 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และพีเอชเริ่มต้น 7.0±0.2)

จากภาพที่ 5 ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเริ่มต้น เนื่องจากสัดส่วนของตำแหน่งการดูดซับ (adsorption site) บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เทียบกับปริมาณสีย้อมสูง และการดูดซับยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นจาก 250 mg/L ไปเป็น 300 mg/L ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการเพิ่มความเข้มข้นสีย้อมจาก 150 – 250 mg/L ผู้วิจัยคาดว่า ปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้นสูงกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่เหมาะสมเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

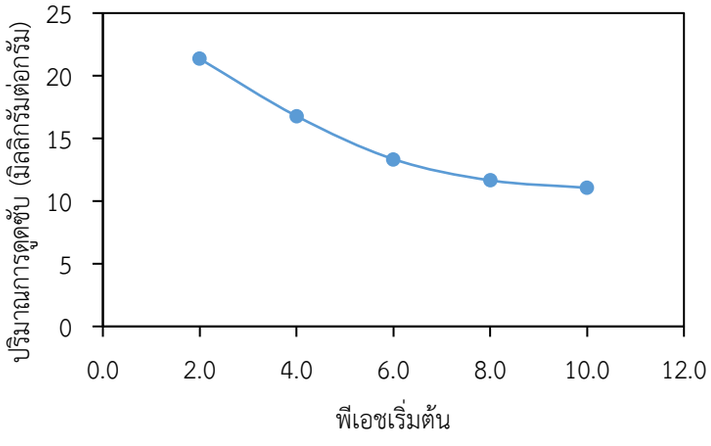


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสีย้อมกับความเข้มข้นเริ่มต้น (ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 50 - 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม ปริมาตร 0.05 ลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และพีเอชเริ่มต้น 7.0±0.2)

ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของสีย้อมต่อปริมาณการดูดซับที่พีเอช 2 4 6 8 และ 10 มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการดูดซับสีย้อมที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 มีปริมาณสูงที่สุด (ปริมาณการดูดซับสีย้อมเท่ากับ 21.36 มิลลิกรัมต่อกรัม) และที่ค่าพีเอชเท่ากับ 10 มีปริมาณการดูดซับน้อยดังแสดงในภาพที่ 6 จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีการรายงานค่าการหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (point of zero charge, pzc) ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 2 ค่า ได้แก่ 2.0 (Sarswat and Mohan, 2016) และ 10.0 (Behnamfard and Salarirad, 2013)

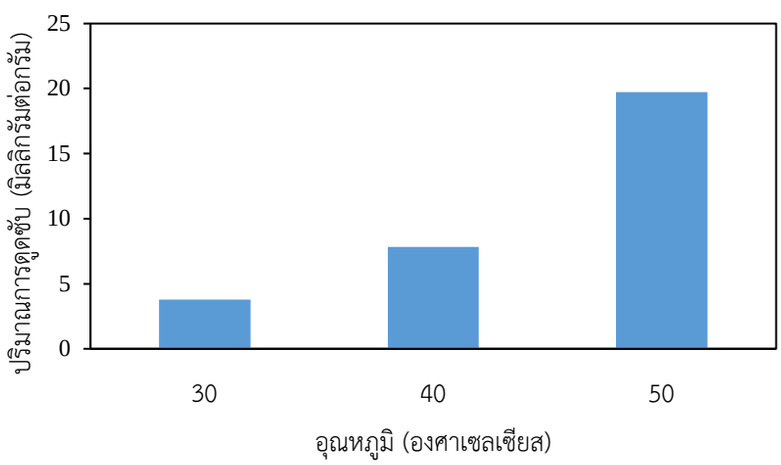
Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

นอกจากนี้ ได้มียืนยันเพิ่มเติมว่าค่า pzc ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมี 2 ค่าจริง ได้แก่ 2.5 และ 8.7 (Linh et al., 2019) จากการทบทวนงานวิจัยข้างต้น จึงสรุปได้ว่า ค่า pzc ที่ต่ำกว่าช่วง 2.0-2.5 พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีประจุสุทธิเป็นบวก และจะเริ่มมีประจุสุทธิเป็นลบเมื่อค่า pzc สูงกว่าช่วง 2.0-2.5 จากนั้นจะมีประจุสุทธิเป็นบวกอีกครั้งที่ค่าพีเอชมากกว่าช่วง 8.7-10.0 เนื่องจากค่าพีเอชของสารละลายในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 2.0-10.0 จึงประมาณได้ว่าพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีประจุสุทธิเป็นลบตลอดช่วงพีเอชที่ศึกษา และสามารถดูดซับประจุบวกได้ดี นอกจากนี้ ได้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งรายงานการลดลงของปริมาณการดูดซับของสีโรดาห์มีนบีเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยอธิบายว่า สีโรดาห์มีนบีมีค่า pK_a ประมาณ 3.7 ดังนั้นหากค่าพีเอชมากกว่าค่า pK_a สีโรดาห์มีนบีจะมีการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) กับ หมู่แซนเทน (xanthene group) ที่อยู่ในโมเลกุลสีโรดาห์มีนบี ทำให้สีโรดาห์มีนบีมีทั้งประจุลบและประจุบวกในหนึ่งโมเลกุลสีย้อมเกิดการรวมตัวกันเอง จึงทำให้มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จึงแพร่เข้าสู่พื้นผิวภายในรูพรุนได้น้อยลง ทำให้การดูดซับดูดซับได้น้อยลง (Kaur and Kaur, 2014; Yu et al., 2013)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสีย้อมกับค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย (ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม ปริมาตร 0.05 ลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และพีเอชเริ่มต้น 2.0-10.0)

จากภาพที่ 7 ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ลักษณะเช่นนี้ สอดคล้องกับกระบวนการดูดความร้อน (endothermic process) ซึ่งมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้โมเลกุลของสีย้อมมีพลังงานจลน์สูงขึ้น เพิ่มโอกาสในการชนกันของโมเลกุลมากขึ้น ทำให้ระบบมีพลังงานมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยา หรือระบบมีพลังงานมากกว่าพลังงานกระตุ้น (activation energy) ทำให้เกิดการดูดซับทางเคมีสูงขึ้น (Moreau et al., 2015) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับเท่ากับ 50 °C



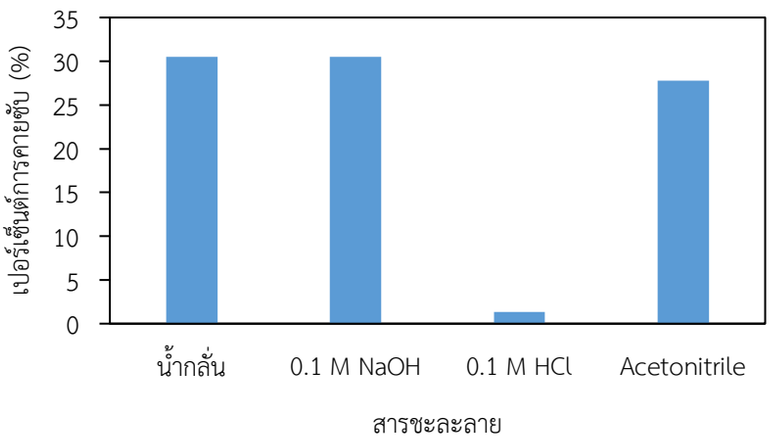
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับและอุณหภูมิ (ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม ปริมาตร 0.05 ลิตร อุณหภูมิ 30 - 50 องศาเซลเซียส และพีเอชเริ่มต้น 7.0 ± 0.2)

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียวสูงสุดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปริมาณการดูดซับสีย้อมโรดาห์มีนที่สภาวะสมดุลในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่าค่าปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียวสูงสุดที่มีการรายงานในงานวิจัยอื่นๆ ค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้มีสัดส่วนรูพรุนขนาดเล็กสูง จึงอาจกลายเป็นความต้านทานของการถ่านโอนมวลของสีย้อมโรดาห์มีนบีที่มีขนาดโมเลกลุใหญ่ เข้าสู่โครงสร้างภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และอาจเป็นสาเหตุให้มีปริมาณการดูดซับน้อย การปรับปรุงขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์ให้มีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ขึ้นหรือให้มีสัดส่วนของรูพรุนขนาดกลางสูงขึ้น อาจทำให้ปริมาณการดูดซับสีโรดาห์มีนบีเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 1 ปริมาณการดูดซับสีโรดาห์มีนบีด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ตัวดูดซับ	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	เอกสารอ้างอิง
ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	19.75	งานวิจัยนี้
รากผักตบชวาดัดแปร	63	Sombatsri et al. (2017)
ซังอ้อย	65.5	Zhang et al. (2013)
แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยกรด	188.67	Bhattacharyya et al., (2014)
ถ่านกัมมันต์จากใบ *Corchorus olitorius*	572.69	Subasri et al. (2015)
ถ่านกัมมันต์จากเปลือก *Prosopisjuli flora*	612.66	Arivoli et al. (2016)
ถ่านกัมมันต์จากเม็ด *Moringa oleifera*	1250	Inyinbor et al. (2015)
ถ่านกัมมันต์จากกาบมะพร้าว	1,666.67	Bello et al. (2019)

การคายซับเป็นการคืนสภาพตัวดูดซับที่ใช้ดูดซับแล้ว ซึ่งเป็นกระบวนการผันกลับของกระบวนการดูดซับ ผลการคายซับสีย้อมจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 8 พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น ทำให้เกิดการคายซับสูง แสดงให้เห็นถึง สีย้อมส่วนหนึ่งยึดเหนี่ยวกับถ่านกัมมันต์ด้วยแรงยึดเหนี่ยวที่ไม่แข็งแรงเช่น แรงแวนเดอร์วาลล์ เมื่อนำมาคายซับจึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวดังกล่าวถูกทำลายได้ง่าย (Chern and Wu, 2001) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทำให้เกิดการคายซับสูง แสดงให้เห็นถึง สีย้อมส่วนหนึ่งดูดซับกับถ่านกัมมันต์ด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนประจุ นั่นคือ เกิดการแลกเปลี่ยนประจุลบของสีย้อมกับ OH^- (สีย้อมจะมีการปรากฏของประจุลบเมื่ออยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูง) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทำให้เกิดการคายซับน้อย เนื่องจากในตัวกลางที่มีค่าพีเอชต่ำ โมเลกุลของสีย้อมอยู่ในรูปของไอออนบวก จึงเกิดการดูดซับได้ด้วยแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง เช่น แรงอิเล็คโตรสเตติกอินเตอร์แรคชัน (electrostatic interactions) เป็นต้น ตัวทำละลายอะซิโตนไนไตร์ทมีการคายซับสูง เนื่องจากสีย้อมส่วนหนึ่งยึดเหนี่ยวกับถ่านกัมมันต์ด้วยแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงมาก ซึ่งคาดว่าจะเป็นยึดเหนี่ยวระหว่างขั้ว เมื่อนำตัวทำละลายที่สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับสีย้อมได้แข็งแรงกว่าจึงจะสามารถทำให้เกิดการคายซับได้ (Alwi et al., 2020)

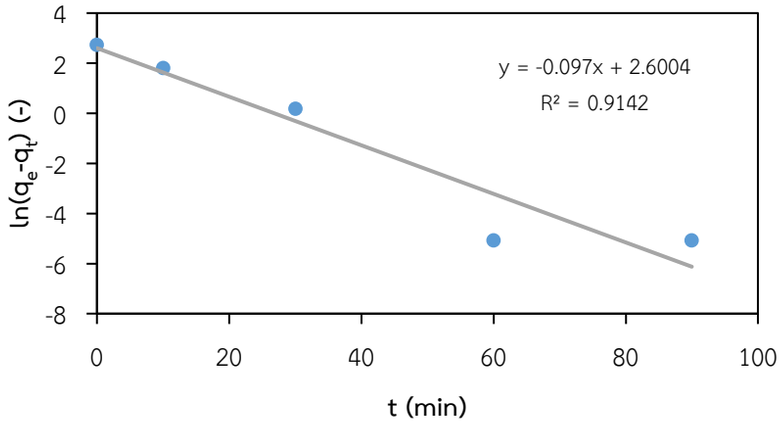


ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเปอร์เซ็นต์การคายซับสีย้อมในสารชะละลายชนิดต่างๆ

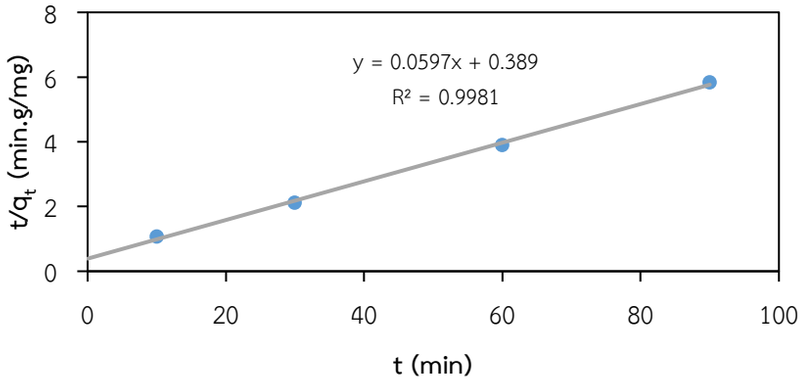
Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ผลการศึกษาแบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับ

เพื่อใช้หากลไกของการดูดซับสีย้อม ผลการทดลองถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับแบบจำลองเชิงจลนศาสตร์การดูดซับ 2 แบบจำลอง ได้แก่ สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (pseudo-first order) และสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (pseudo-second order) ถ้าผลการทดลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองข้างต้น แสดงว่า ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่พื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นช้าที่สุด หรือเป็นขั้นตอนกำหนดอัตรา (rate of limiting step) เมื่อพล็อตผลการทดลองกับสมการของแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมและปฏิกิริยาอันดับสองเทียมจะได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 9 และค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่า อัตราการดูดซับของสีย้อมมีความสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมากกว่า โดยพิจารณาค่า R^2 ที่ใกล้เคียง 1 มากกว่า แสดงว่า ขั้นตอนในการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างตัวดูดซับและสีย้อมเป็นขั้นกำหนดอัตรา (rate of limiting step)



(ก) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม



(ข) ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม

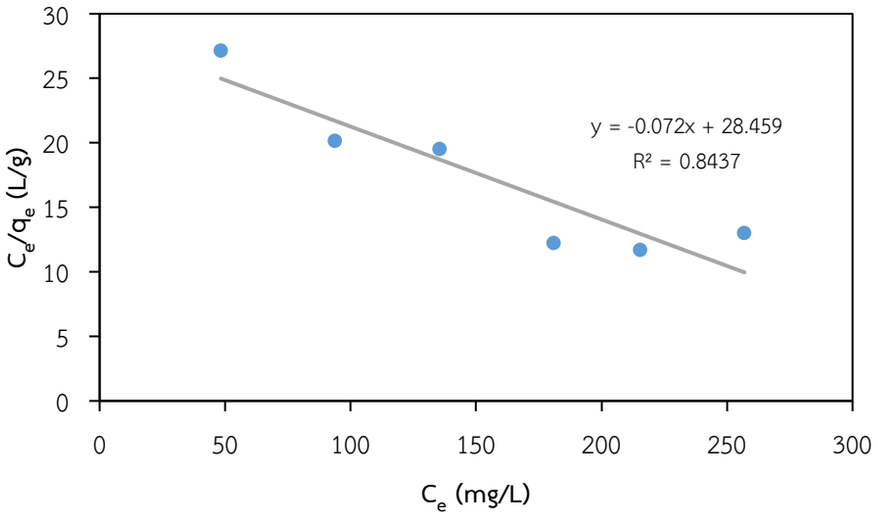
ภาพที่ 9 ผลการทดลองกับสมการแบบจำลองเชิงจลนศาสตร์การดูดซับ

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมและอันดับสองเทียม

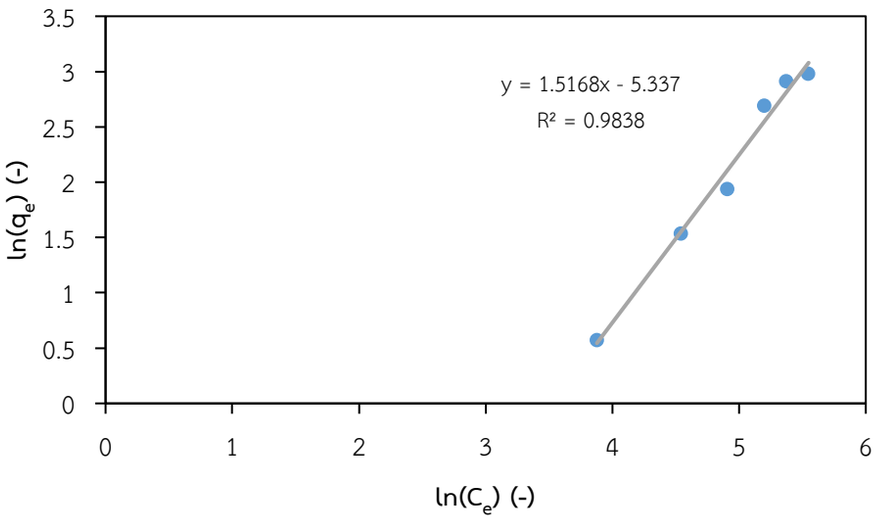
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$q_{e,exp}$ (mg/g)	สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม			สมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม		
		k_1 (min^{-1})	$q_{e,cal}$ (mg/g)	R^2	k_2 (g/mg·min)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	R^2
50	15.42	$9.52x10^{-2}$	11.98	0.8740	$9.16x10^{-3}$	16.75	0.9981

ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับเป็นการทำนายพฤติกรรมการดูดซับสีย้อมบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ภายใต้สภาวะสมดุล ไอโซเทอมที่ใช้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) ซึ่งพัฒนามาจากสมมติฐานที่ว่า โมเลกุลของสีย้อมจัดเรียงตัวบนพื้นผิวของตัวดูดซับในลักษณะชั้นเดียว (monolayer) และไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิช (Freundlich Isotherm)) ซึ่งพัฒนามาจากสมมติฐานที่ว่า โมเลกุลของสีย้อมจัดเรียงตัวบนพื้นผิวของตัวดูดซับในลักษณะหลายชั้น (multilayer)



(ก) ไอโซเทอมแลงเมียร์



(ข) ไอโซเทอมฟรอยด์ลิช

ภาพที่ 10 ผลการทดลองกับสมการไอโซเทอมการดูดซับ

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการไอโซเทอมแลงเมียร์			สมการไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช		
	q_m (mg/g)	k_L (L/g)	R^2	k_F (mg/g)(L/g)$^{1/n}$	n	R^2
50	-13.89	-2.53x10^{-3}	0.8437	4.81x10^{-3}	0.659	0.9838

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ภาพที่ 10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดลองกับสมการไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (ภาพที่ 10ก) และไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิช (ภาพที่ 10ข) และค่าพารามิเตอร์ของสมการไอโซเทอมทั้งสอง แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่า R^2 ของไอโซเทอมการดูดซับไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิชมีค่าใกล้เคียงหนึ่งมากกว่า แสดงว่า เกิดการดูดซับแบบหลายชั้น นอกจากนี้ ค่าพารามิเตอร์ q_m และ k_L ของไอโซเทอมแลงเมียร์มีค่าติดลบ เนื่องจากค่า R^2 มีค่าน้อยกว่า 1.0 ซึ่งแสดงว่าผลการทดลองไม่สอดคล้องกับสมการไอโซเทอมแลงเมียร์ ซึ่งอาจจะต้องทำการเพิ่มช่วงของความเข้มข้นของสีย้อมใหม่ เพื่อหาช่วงข้อมูลผลการทดลองที่สอดคล้องกับสมการไอโซเทอมในอนาคต

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 1,091 ตารางเมตรต่อกรัม มีปริมาตรรวมของรูพรุนเท่ากับ 0.396 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 1.17 นาโนเมตร มีการปรากฏของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (carboxyl group) ซึ่งสามารถยึดจับโมเลกุลสีย้อมที่มีประจุบวกได้ดี พื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีความเรียบ และมีรูพรุนกระจายทั่วทั้งพื้นผิว สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย เท่ากับ 2.0 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับสูงสุด เท่ากับ 19.75 mg/g ผลการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับแบบพบว่า อัตราการดูดซับของสีย้อม มีความสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ไอโซเทอมการดูดซับของสีย้อมมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมฟรอย์ดลิช การคายซับเกิดขึ้นดีในน้ำกลั่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และอะซิโตนไนไตร์ท

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินโครงการวิจัย ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Alwi, R.S., Gopinathan, R., Bhowal, A., and Garlapati, C. (2020). Adsorption characteristics of activated carbon for the reclamation of Eosin Y and Indigo Carmine colored effluents and new isotherm model. **Molecules**, 25, 25246014.

Arivoli, S., yamunadevi, R., Venkat, C.H., Aalam, R., Marimuthu, V. (2016). Kinetic, thermodynamic and isotherm studies on the removal of Rhodamine B dye using activated *Cyamopsistetragonolo*ba stem nano carbon. **Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences**, 6(3), 932-943.

Behnamfard, A. and Salarirad, M.M. (2013). Characterization of coconut-shell-based activated carbon and its application in the removal of Zn(II) from its aqueous solution by adsorption. **Desalination and Water Treatment**, 52(37-39), 1-16.

Bello, O.S., Lameed, O.S., and Adegoke, K.A. (2019). Functionalized coconut husks for rhodamine-B dye sequestration, **Applied Water Science**, 9, 189.

Bhattacharyya, K. G., SenGutpa, S. and Sarma, G. K. (2014). Interactions of the dye, rhodamine B with kaolinite and montmorillonite in water. **Applied Clay Science**, 99, 7-17.

Chern, J.M., and Wu, C.Y. (2001). Desorption of dye from activated carbon beds: Effects of temperature, pH and alcohol. **Water Research**, 35(17), 4159-4165.

Cuhadaroglu, D. and Uygun O.A. (2008). Production and characterization of activated carbon from a bituminous coal by chemical activation. **African Journal of Biotechnology**, 7(20), 3703-3710.

Cychosz, K., and Thommes, M. (2018). Progress in the physisorption characterization of nanoprorous gas storage materials. **Engineering**, 4(4), 559-566.

Dahri, M.K., Kooh, M.R.R., Lim, L.B.L. (2016) Remediation of Rhodamine B dye from aqueous solution using *Casuarina equisetifolia* cone power as a low-cost adsorbent. **Advances in Physical Chemistry**, 9497378.

Edokpayi, O., Osemwenkhae, O., Ayodele, B.V., Ossai, J., Fadilat, S.A. and Ogbeide, S.E. (2018). Batch adsorption study of methylene blue in aqueous solution using activated carbons from rice husk and coconut shell. **Journal of applied science and environmental management**, 22(5), 631-635.

Gao, F., Tang, X., Yi, H., Zhang, B., Zhao, S., Wang, J., Gu, T. and Wang, Y. (2018). NiO-modified coconut shell based activated carbon pretreated with KOH for the high-efficiency adsorption of NO at ambient temperature. **Industrial Engineering Chemistry resource**, 57, 16593-16603.

Gratuito, M.K.B., Panyathanmaporn, T., Chumnanklang, R.-A., Sirinuntawittaya, N., and Dutta, A. (2008). Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology. **Bioresource Technology**, 99(11), 4887-4895.

Hayeeye, F., Sattar, M., Tekasakul, S., and Sirichote, O. (2014). Adsorption of rhodamine B on activated carbon obtained from pericarp of rubber fruit in comparison with the commercial activated carbon. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, 36(2), 177-187.

Inyinbor, A.A., Adekola, F.A., Olatunji, G.A. (2015). Adsorption of rhodamine B dye from aqueous solution on *Irvingia gabonensis* biomass: Kinetics and thermodynamics studies. **South African Journal of Chemistry**, 68, 115-125.

Jinisha, R., Gandhimathi, R., Ramesh, S.T., Nidheesh, P.V., and Velmathi, S. (2018). Removal of Rhodamine B dye from aqueous solution by electro-Fenton process using iron-doped mesoporous silica as a heterogeneous catalyst. **Chemosphere**, 200, 446-454.

Katheresan, V., Kansedo, J., and Lau, S.Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 6(4), 4676-4697.

Kaur, H. and Kaur, R. (2014). Removal of rhodamine B dye from aqueous solution onto pigeon dropping: Adsorption, kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. **Journal of Materials and Environmental Science**, 5(6), 1830-1838.

Kongsook, S., Nasaree, T., Khotsa, S., Rungrot, N., Phonchaiya, S. and Wuttisela, K. (2020). Synthesis and characterization of coloured calcium alginate noodles (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(1), 1-7.

Kooh, M.R.R., Dahri, M.K., and Lim, L.B.L. (2016). The removal of rhodamine B dye from aqueous solution using *Casuarina equisetifolia* needles as adsorbent. **Cogent Environmental Science**, 2(1), 1140553.

Kowanga, K.D., Gatebe, E., Mauti, G.O., and Mauti, E.M. (2016). Kinetic, sorption isotherms, pseudo-first-order model and pseudo-second order model studies of Cu(II) and Pb(II) using defatted *Moringa oleifera* seed powder, **The Journal of Phytopharmacology**, 5(2), 71-78.

Lacerda, V., Lopez-Sotelo, J. B., Correa-Guimaraes, A., and Hernandez-Navarro, S. (2015). rhodamine B removal with activated carbons obtained from lignocellulosic waste. **Journal of Environmental Management**, 155, 67-76.

Linh, N.T.T., Vu, D.B., Duy, H.K., Chien, T.M., Hong, S. and No, K. (2019). Evaluation of activated carbon as a substratum to phytoremediate eutrophic wastewater. **Expert Opinion on Environmental Biology**, 8(1), 1000158

Md Shariful, I., Bee Chin, A., Samira, G. and Amaina Binti Muhammad, A. (2016). Adsorption capacity of activated carbon synthesized from coconut shell. **Carbon letters**, 20, 1-9.

Mistar E.M., Alfatah, T., and Supardan, M.D. (2020). Synthesis and characterization of activated carbon from *Bambusa vulgaris striata* using two-step KOH activation. **Journal of Materials Research and Technology**, 9(3), 6278-6286.

Mohd Iqbaldin, M. N., Khudzir, I., Mohd Azlan, M.I., Zaidi, A.G., Surani, B. and Zubri, Z. (2013). Properties of coconut shell activated carbon. **Journal of Tropical Forest Science**, 25(4), 497-503.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Mojoudi, N., Mirghaffari, N., Soleimani, M., Shariatmadari, H., Belver, C., and Bedia, J. (2019). Phenol adsorption on high microporous activated carbons prepared from oily sludge: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Scientific Reports**, 9, 19352.

Moreau, F., da Silva, I., Al Smail, H. N., Easun, T.L., Savage, M., Godfrey, H.G.W., Parker, S.F., Manuel, P., Yang, S., and Schroder, M. (2017). Unravelling exceptional acetylene and carbon dioxide adsorption within a tetra-amide functionalized metal-organic framework. Nature Communications, 8, 14085.

Pagketanang, T., Artnaseaw, A., Wongwicha, P., and Thabuot, M. (2015). Microporous activated carbon from KOH-activation of rubber seed-shells for application in capacitor electrode. **Energy Procedia**, 79, 651-656.

Sartape, A., Mandhare, A., Salvi, P., Pawar, D., Raut, P., Anuse, M., and Kolekar, S. (2012). Removal of Bi (III) with adsorption technique using coconut shell activated carbon. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, 20(4), 768-775.

Sarswat, A. and Mohan, D. (2016). Sustainable development of coconut shell activated carbon (CSAC) & a magnetic coconut shell activated carbon (MCSAC) for phenol (2-nitrophenol) removal. **RSC Advances**, 88, 1-59

Simonin, J.P. (2016). On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption kinetics. **Chemical Engineering Journal**, 300, 254-263.

Song, C., Wu, S., Cheng, M., and Tao, P. (2013). Adsorption studies of coconut shell carbons prepared by KOH activation for removal of lead (II) from aqueous solutions. **Sustainability**, 6(1), 86-89.

Sombatsri, S., Puttichon, C., Nernklang, S., Lisnund, S. and Boomserm K. (2017). Biosorption of rhodamine B dyes using modified water hyacinth roots. **RMUTP Research Journal**, 11(2), 59-68.

Subasri, S., Arivoli, S., Marimuthu, V. and Mani, N. (2015). From aqueous solution using activated *Corchorusolitorius*-L leaves. **International Journal of Plant, Animal and. Environmental Sciences**, 5(1), 208-218.

Saputro, E.A., Wulan, V.D.R., Winata, B.Y., Yogaswara, R.R. (2020). Process of activated carbon from coconut shell through chemical activation. **Natural Science Journal of Science and Technology**, 9(1), 23-28.

Tangsathikulchai, C., Junpirom, S., Katesa, J. (2016). Carbon dioxide adsorption in nanopores of coconut shell chars for pore characterization and the analysis of adsorption kinetics. **Journal of nanomaterials**, article ID 4292316, 10 pages.

Vairagade, V. (2017). Activated carbon as adsorbent in advance treatment of wastewater. **IOSR Journal of mechanical and civil engineering**, 14(4), 36-40.

Yu, Y., Bandaru, N.M., Shapter, J.G., Constantopoulos, K. (2013). Benzene carboxylic acid derivatized graphene oxide nanosheets on natural zeolites as effective adsorbents for cationic dye removal. **Journal of Hazardous Materials**, 260C, 330-338.

Zhang, Z., O'Hara, I.M., Kent, G.A. and Doherty W.O.S. (2013). Comparative study on adsorption of two cationic dyes by milled sugarcane bagasse, **Industrial Crops and Products**, 42, 41-49.

บทความวิจัย

สมการกรอบเคลื่อนที่ของเฟรชเนท์-เซอเรอท์ บนระนาบของระบบพิกัด ดี อาร์ พี ของการบิดตัวบนเส้นโค้งของโครงสร้างโปรตีน

กบิล กาญจมาภรณ์กุล[1] ธัญญดา รุ่งโรจน์มงคล[2,3] และสุพจน์ หารหนองบัว[1,*]

[1]หน่วยวิจัยเคมีเชิงคำนวน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300

[2]หน่วยวิจัยตัวเร่งปฏิกิริยา และเทคโนโลยีทางชีวภาพและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300

[3]หลักสูตรชีวคอมพิวเตอร์และชีวโมเลกุลเชิงคำนวน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300

***Email:supot.h@chula.ac.th*

รับบทความ: 18 พฤษภาคม 2564 แก้ไขบทความ: 12 มิถุนายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 12 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

เราได้นิยามกรอบเคลื่อนที่บนเส้นโค้งที่ลากไปบนหนึ่งมิติซึ่งเกิดจากการบิดตัวของกาลเวลาและระยะทางบนระนาบการโค้งงอของโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน งานวิจัยนี้คือส่วนของการแก้ปมปัญหาด้วยการค้นพบทางทฤษฎีที่สามารถตอบคำถามได้ว่าทำไมรูปร่างสามมิติของโครงสร้างของโปรตีนจึงมีลักษณะเหมือนกับเส้นเชื่อกปลายเปิดที่มีค่าความโค้งซึ่งถูกนิยามในระบบพิกัดแบบระนาบดีอาร์พี เราได้เพิ่มคุณสมบัติพิเศษของสนามแรงโน้มถ่วงลงในในโฮโมไครัลของชีวโมเลกุลที่มีภาพสะท้อนในแกนสมมาตรและปราฏการณ์สนามพลังงานยังมิลล์ในรหัสพันธุกรรมเข้าไปในสูตรของกรอบเคลื่อนที่เพื่อเข้าไปนิยามค่าความโค้งงอในกรดอะมิโนซึ่งเกิดจากการตกแบบอิสระของควอนตัมจีโนไทป์ไปตามค่าความโค้งงอของรูปทรงโปรตีน สุดท้ายเราได้พิสูจน์การมีอยู่จริงของปริมาณดีอาร์พีในสูตรของเฟรชเนท์-เซอเรอท์

คำสำคัญ: การบิดตัวของโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน; กรอบเคลื่อนที่; แรงลอนดอน; คอนเน็กชั่น-

อ้างอิงบทความนี้

กบิล กาญจมาภรณ์กุล, ธัญญดา รุ่งโรจน์มงคล และสุพจน์ หารหนองบัว. (2564). สมการกรอบเคลื่อนที่ของเฟรชเนท์-เซอเรอท์บนระนาบของระบบพิกัด ดี อาร์ พี ของการบิดตัวบนเส้นโค้งของโครงสร้างโปรตีน. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 38-50.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Frenet-Serret Formulas for Moving Frame with (d,r,p)-Layer in Protein Folding

Kabin Kanjamapornkul[1], Thanyada Rungrotmongkol[2,3] and Supot Hannongbua[1,*]

[1]Center of Excellence in Computational Chemistry (CECC), Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

[2]Biocatalyst and Environmental Biotechnology Research Unit, Department of Biochemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

[3]Program in Bioinformatics and Computational Biology, Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

**Email:supot.h@chula.ac.th*

Received <18 May 2021>; Revised <12 June 2021>; Accepted <12 June 2021>

Abstract

We provide a new definition of one-dimensional model of curve spacetime in a moving frame of protein folding. It is a clue for answers to the question of why proteins have open string shaped with curvature defined in (d,r,p)-layer of the coordinate system of biomolecules. By adding some extra properties of the gravitational field in homochiral of biomolecules with effect of mirror symmetry, and Yang-Mills behavior field in genetic code to the moving frame, the new definition of curvature in amino acids can be defined from the role of coupling behavior field in free falling of the quantum genotype along curved shape of protein folding. Finally, we provide the proof of the existence of (d,r,p)-layer in protein folding with Frenet-Serret formulas for moving frame.

Keywords: Protein folding, Moving Frame, London Force, Connection.

Cite this article:
Kanjamapornkul, K., Rungrotmongkol, T and Hannongbua, S. (2021). Frenet-Serret Formulas for Moving Frame with (d,r,p)-Layer in Protein Folding. **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 38-50.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Introduction

Curve shape of protein folding is one of open questions for scientists to be explianed. In fact, it is a result of free falling of graviphoton like hidden particle along the four dimensional manifolds of living organism. One of the commonly found structures of the protein in the living organisms is an open string shape with curvature for functional purpose in the active site of the protein docking system (Ghalami-Choobar and Moghadam, 2018). There exist many open questions such as why most of the protein crystal structures have unique protein folding with open 2 ended points. Moreover, why all proteins in living organisms including viruses commonly found only 20 L-amino acids from among more than 150 amino acids in nature. The number 20 is commonly found amino acids in nature has a deep relationship with geodesic path properties and comes from the properties of the open reading frame, ORF in noncoding area of DNA and some viral RNAs (Cheng et *al*., 2018). It is a result of the evolutional geodesic path from all possibilities of curvature in protein folding in nature from all hidden interaction forces.

The interaction between three types of biomolecules occurs in DNA, while the cohesin flying ring (Merkenschlager and Odom, 2013) is modeled with the knot and link properties (Witten, 2011). In human DNA at the transition between 2 states of DNA in chromosome and transcription, the double strand of DNA molecule is moved inside the cohesin protein (Richterova et *al*., 2017) with DNA folding in unique structure between these 2 transitions (Peters et *al*., 2008). It is one of many phenomena of exchange 2 rings between protein and DNA flying ring. The DNA folding is a projection of a flying ring in biomolecules that appears as Khovanov cohomology (Witten, 2012) in biological time series (Pincak *et al*., 2020). These properties are based on the fact that there exist homochiral molecules in L-amino acids and D-ribose saccharides in RNA and DNA. The length of DNA is very long in order to minimize the internal free energy and transfer the excess momentum as a wave function. At the end of DNA molecules, there exist telomerase enzymes in the area of coupling to each other in form of 3 open strings of supermolecules DNA, RNA, and protein as rotating of a flying ring (Pincak *et al*., 2020). It is a wave function of those three supermolecular orbital in quantum transition states. To be at the state with the lowest the energy, the DNA molecule will release the internal hidden energy by a reduction of the excess momentum in form of DNA-RNA folding in circular DNA and RNA (Soslau, 2018). The assumption is based on the fact from the new theory of quantum biology to replace the original continuous flow of central dogma from $DNA \rightarrow RNA \rightarrow PROTEIN$. What is the smallest subunit used for representing the living organism? The unification between supergravities in hydrogen bonding and London force between $[A]-[T]$ and $[C]-[G]$ along the evolutional path of differential 3 form can be investigated by modified Chern-Simons theory to quantum biology with adding extradimension of Yang-Mills fields in protein docking system. It is the new way for unification between the triplet states of DNA-RNA and protein in supersymmetry effect over 3 alphabet code in codon and anti-codon.

For longtime, many scientists have attempted to understand information encrypt inside in 64 codons (Shinde et *al*., 2018) and real function affected to the cohesin loop exclusion of DNA folding (Borrie et al., 2017). In fact, it is a source of hidden behavior transition state $d^* \in D^*$ in the circular rotational biological clock in d^* state of DNA coupling with their mirror symmetry of circular ring of London force in passive protein state, p^*. There exist 3 coupling behavior fields as basic instinct behavior, ω^-, between junk DNA state, d^* and immaturing behavior field, im^- in noncoding RNA state r^*(Saldana et *al*., 2019) with the role of supersymmetry in the loop space of sequences $CCCTC$ repeats in CTCF with 5 alphabets in junk DNA, d^*. The role of circular ring of cohesin passive protein, p^* (Merkenschlager et *al*., 2016) is an induced behavior field in genetic code by using 6 types of all possible London forces between biomolecules (d, r, p) and their supersymmetry states (d^*, r^*, p^*). It is analogy with gauge group interaction as a source of supergravity in genetic with vanishing behavior gauge field in genetic code along the Wilson loop of parallel transportof gene expression $p^* \rightarrow d^* \rightarrow d \rightarrow r \rightarrow p$ along the exact sequence of cohomology group in principle bundle of cohesin loop exclusion (Nora et *al*., 2020). This process is an example of reversing the flow of genetic code

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

in central dogma as a hidden dual state, $p^* \to r^* \to d^*$, in supersymmetry theory for biology. Self-diffeomorphism in human telomere is involved with configuration space in a Lagrangian system and the least action principle in the path integral of quantum biology. We can apply the simple model of the geodesic equation to the new theory of quantum biology as a source of observation associated with the Hamiltonian operator in quantum biology. It is a source of the pair of alleles in genetic code over the genotype. On the otherhand, it is important to investigate why the adaptive behavior of immunosystem (Byun et *al*., 2018) is involved with the hidden feedback control mechanism in evolutional feedback loop (Wood and Komarova, 2018) on the trash DNA-like status. As a result of reversed transcription of DNA state, $d^* \in \mathcal{O}_{D^*}$, the extrusion loop of kinesin gives each round only 5 based transcription factor in CTCF (Merkenschlager and Nora, 2016). This number be related to the number of 6 superspaces in root of Lennard Jone potentials. The protein folding is the result of the coupling wave function of these three strings with increasing von Neumann entropy as a result of changing the curvature of the protein docking system. It is measured empirically with a newly quantitative method of the plot the genetic code with Chern-Simons current (Capozziello et *al*., 2018). In this method, the curvature of protein folding is defined as a spacetime curve in the Minkowski cone of the physiology of amino acids with (3+1)D but these dimensions are disjoint to each other, so the line in protein folding does not intersect to each other with a knot and link model (Pincak et *al*., 2020).

This paper is organized as follows. In section 1, the definition and theory of Lagrangian system of $L(d, r, p)$ in quantum biology, we explain and provide a precised definition for the source of curvature in evolutional path in the geodesic equation. In section 2, the result of the construction of the equation to explain the curvature in protein folding with Frechnet-Serret formulas is presented. We also discuss the results. In section 3, we give the conclusion to the work and discuss further studies.

Methodology

(d, r, p)-Layer in Lagrangian system of DNA, RNA and protein

The application of the model of the link of the string with gauge group operation $SO(3,1)$ in (3+1)D is an extra dimension $\mathbf{t}$ in the spacetime of evolutional feedback path. This structure allows the supersymmetry breaking of the orientation of supermanifold (Witten, 2016) into non-orientation with Hopf fibration for entanglement state of superposition of RNA state and DNA state (Einstein et *al*., 1935) similar to a wormhole in biology (Weyl, 1921). Let $dS^2 : T_pX \to \mathbb{R}_1^4$ be an evolutional path of natural selection with spinor field as the ground state, $\mathbb{H} = \mathbb{R}_1^4$. The genetic code with basis of 4 alphabet codes can span by basis $([A], [T], [C], [G]) = (x, y, z, t) \in \mathbb{R}_1^4 = S^3$ with metric g_{ij} as a cocycle of quantum genotype to transform the alphabet code from $x_i = \sigma_i = ([A], [T], [C], [G])(t_0)$ to $x_j := \sigma_j = ([A], [T], [C], [G])(t_n)$. In this case, the process of gene expression starts from spinor field state σ_i in tangent of supermanifold of living cell, where RNA layer is defined with left translation in $SO(3,1)^+$ and stopped at x_j. It is a source of quantization or transition state in genetic code as cocycle g_{ij} of gauge group action as a left translation with Lorentz invariance. In differential geometry, these Lolentz metric $g_{ij} = -1$ appears as a Minkowski cone of the physiology of the chemical structure of the dihedral angle in the polypeptide chain for hyperbolic geometry (Ohtsuki, 2017).

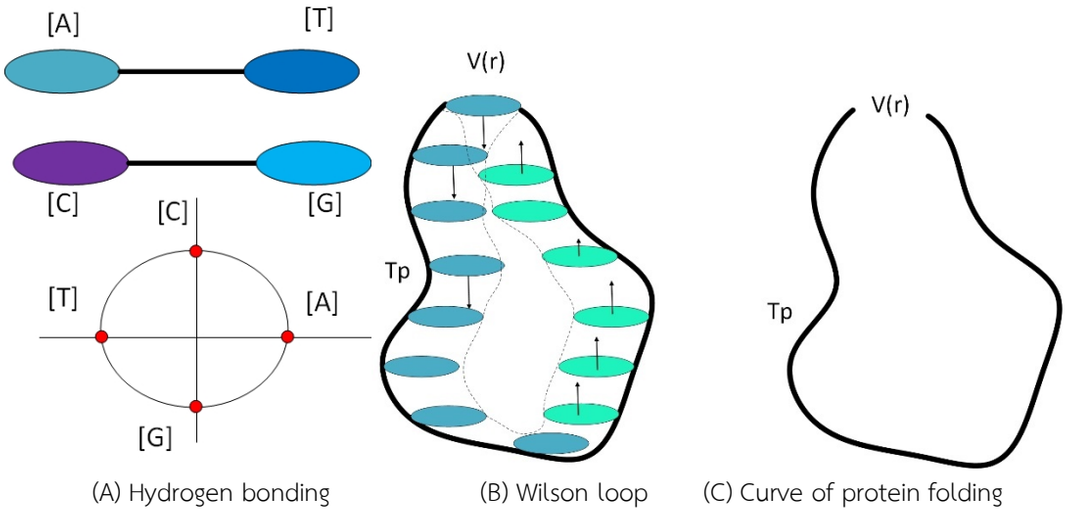


Figure 1. (A) The hydrogen bonding between nitrogen bases in DNA molecules. (B) Localized Wilson loop of behavior field $A(r) = V(r)^{ext}$ along the curve of protein folding. (C) Open string shape of protein folding.

Recently, the new gravitational theory was applied to supersymmetric properties between retrotransposon (Shen et *al*., 2018) and methyl transfer (Cheng et *al*., 2018) in junk DNA and noncoding RNA (Saad, 2018) for better understanding on information in alphabet their noncoding alphabet code (Devi et *al*., 2018). Methylation is an epigenetic modification catalyzed by DNA methyltransferase enzymes for encoding tRNA prior to translation in all living organisms. These enzymes use S-adenosylmethionine as a methyl donor to transfer protons through junk DNA. It is a DNA folding phenomenon in the area of epigenetic in heterochromatin inside the human chromosome. Genetic code on DNA is not the only information that determines how life forms life but also have their old curvature DNA-DNA docking system. If we consider the curvature in genetic code as a connection over the sheave in Groethendieck cohomology. It is a source of Chern-Simons current in biology induced from the coupling of behavior Yang-Mills co-fields $(\mathcal{O}_{[A_\mu]}, \mathcal{O}_{[A^\mu]})$. It is a vierbein element in genetic code for adaptation (Peck and Waxman, 2018). Scientists now consider junk DNA as their unknown function in octamer with an observation system of DNA methylation. It is a source of switching of the gene on when and where the genes work. Information beyond these genetic codes in junk DNA makes each organism in the different environment, differentiated, and expressed. Even twins with genetic code on DNA in all respects, there is no way to be the same in every inch. Biologists characterize the variation caused by genetic factors that epigenetics in DNA folding. One of the most important biochemical processes in epigenetics in junk DNA is DNA methylation, which refers to the process of adding the methyl group to the bases on the DNA strand. Most of which are added to the cytosine base. It makes the proteins involved in tRNA decoding in 3 alphabets in codon in RNA evolutional path (Rezazadegan et *al*., 2018).

The genetic code is independent of coordinate in superspace (Capozziello et *al*., 2017) of DNA, RNA, and protein. There exists a hidden evolutional path in the extra dimension. In this work, we called the curve of protein folding with the geodesic path of information kept in an inertial frame of curvature of protein-protein interaction. The genetic code can be defined by connection over the physiology of the spinor field (Kanjamapornkul *et al*., 2017) hidden 8 states in Grothendieck cohomology theory for biology (Pincak et *al*., 2019). In differential geometry, a source of the geodesic path is a curvature of space with the connection. The connection is a Jacobian flow and analogous with free-falling along with the gravitation in the D-brane theory, in which the source of protein folding is a gravitational effect of supergravity force in massive anti-photon in the D-brane of quantum genotype. The super gravity field is an Yang-Mills behavior field without source and becomes stronger fields in supermolecules with heavy molecular weight that analogy with London repulsive force, e.g. Lagrangian system of transitive interaction of supermolecules, *i.e.* DNA, RNA, and protein.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

The one-dimensional curve representing for protein folding is the new model that derives from the free rotation of dihedral angle of amino acids with parallel transport along with the hidden gravitational fields, which means the field from inversed van Der Waals force field (Vedani, 1988). This is because the Casimir effect (Jaffe, 2005) that induced the relativistic effect of London repusive forces (Jones, 1924) in biology to become analogous with gravitational force in physics (Lei Zhang, 2013).

The least action S of co-living organism between virus and host cell is the new quantity in quantum biology. It keeps the information in genetic code in van Der Waals distances between biomolecules in living organisms and viruses. It is a relativistic biological supergravity force that allows the interaction to each other by changing the coordinates between these 3 biomolecules with the Lorentz metric as an inertial frame of reference. The change of frame of this least action is the source of the geodesic of quantum genotype, g_{ij}. It started the record of the adaptive information from the evolution from the ancient historical path in many million years to the present. The result of these least actions is to diversify the curvature in 20 amino acids. The amino acid sequence leads to a curvature of protein appear from the genetic code with hidden biological supergravity denoted as the connection of genetic code in form of supermolecular orbital of DNA, RNA, and protein folding as well as the interaction between them. The DNA molecule is very long because of the lowest of external potential energy from adaptation and keeps in hydrogen bonding as a bridge of $[A]-[T]$ and $[C]-[G]$ (Fig. 1) with biological qubit memory in quantum biological entanglement state (Kanjamapornkul and Pincak, 2016) of spin up, $[1]\in\mathbb{Z}/2$, and spin down, $[0]\in\mathbb{Z}/2$, states that can superposition to each other and change state by the process of DNA-RNA transcription and junk DNA folding in epigenetic with van Der Waals interaction to chromatin. The source of the Yang-Mills field in genetic code implies the existence of Schrödinger's cat with the superposition of living and death state (Einstein et *al*., 1935). Let the Lagrangian system of protein docking between the active protein p and the passive protein p^* is defined by $L(A_\mu)^{protein}=\frac{1}{2}g_{ij}p_ip_j^*=\frac{1}{2}g_{ij}(r){r_i}'{r_j}'$. The external potential $V(r)^{ext}=0, r\neq r_i, r_j$. If r_i is a van Der Waals distance of amino acids p_i, and r_j is a van Der Waals distance of amino acids p_j, then there exists an external potential force field between the interaction of 2 proteins in docking system between positions at amino acid number i from the active protein and amino acid number j in the passive protein. It allows the chain sequence of Lagrangian system of loop space in path connected hydrogen bonding between $[A]-[T]$ and $[C]-[G]$ for r_i with r_j. In traditional biology, the genetic code of DNA, RNA, and protein are represented by the alphabet code but we use a homotopic path to connect the phase transition between them as deformation of supermolecular bonding between them as a curve in $SO(3,1)$ spacetime model. Therefore, this new approach allows the new usage of algebraic operation as a path integral over a summation of span alphabet code as a compact basis set in evolutional path with continuous phase parameter r of fiber space of viral RNA with the ground field of $\mathbb{R}_1^4$. The unification of 3 London force between DNA, RNA and protein comes from the Hopf fibration between 3 forces in hexagonal shape of the bridge between hydrogen bonding in $[A]-[T]$ and $[C]-[G]$. We can generalize this simplicial complex approach into the interaction between 3 types of supermolecule in hexagonal model of London force. The London force can unify into connection over S^3 by glueing 2 torus together in mirror supersymmetry (Fig. 2).

Definition 1 Let a DNA molecule be path of a pointed space of RNA molecule in a trajectory of evolutional path $\mathrm{S^d}$ along the time dimension of DNA is RNA molecule. The $\mathrm{t=r}$ is a state of RNA independent state. It is an independent variable in chain of central dogma, $\mathrm{r\rightarrow p\rightarrow d}$, with only one protein dependent variable $\mathrm{p_i(r)}$ state per one nitrogen base represented in DNA supermolecule as a location for protein $\mathrm{p_i}$. Let $\mathrm{p_i=V_i^{-1}(V_j^d(p_i)), p_j=V_j^{-1}(V_i^d(p_j)), g_{ij}^d(p)=\frac{\partial p_i}{\partial p_j}}$ be the rate of change of hydrogen bonding between amino acids $\mathrm{d_i={p_i}'}$ connecting with $\mathrm{d_j^*={p_j}'}$. Let $\mathrm{g\in\mathcal{G}}$ be a gauge group of roots of inversed Lennard-Jones force field. It is defined by a cocycle of quantum genotype $\mathrm{g^d=g_{ij}^d(p)}$ with curvature $\mathrm{A_{London}^d(g^d)}$ in other hydrogen bonding $\mathrm{p_k}$ in extradimension of fiber bundle of protein molecule.

Definition 2 The state of RNA $\mathrm{r_i}$ is defined by hydrogen bonding in nitorgen base of DNA molecule $[\mathrm{A}],[\mathrm{T}],[\mathrm{C}],\text{and }[\mathrm{G}]$. Let $\mathrm{d_i}=\mathrm{V_i^{-1}}\left(\mathrm{V_j^r(d_i)}\right),\text{and }\mathrm{d_j}=\mathrm{V_j^{-1}(V_i^r(d_j))},\mathrm{g_{ij}^r(d)}=\frac{\partial \mathrm{d_i}}{\partial \mathrm{d_j}}$ be the rates of change of hydrogen bonding between nitrogen bases $\mathrm{r_i}=\mathrm{d_i}'$ connecting with $\mathrm{r_j^*}=\mathrm{d_j}'$. Let $\mathrm{g^r}\in\mathcal{G}$ be a gauge group of roots of inversed Lennard-Jones force field. The London force of RNA-RNA interaction is defined by a cocycle of quantum genotype $\mathrm{g^r}=\mathrm{g_{ij}(r)}$ with curvature $\mathrm{A^r_{London}(g^r)}$ in other hydrogen bonding $\mathrm{r_k}$ in extradimension of fiber bundle.

Definition 3 Let a protein molecule be a trajectory of pointed space in evolutional path $\mathrm{S^p}$ along the time dimension of DNA state in transcription process. The $\mathrm{t=d}$ state is of biological clock in protein with independent variables in chain of central dogma, $\mathrm{d\to r\to p}$, with only one state per one nitrogen base in RNA supermolecule $\mathrm{r_i}$. The state of RNA $\mathrm{r_i}$ is defined by hydrogen bonding in nitorgen base of RNA molecule $[\mathrm{A}],[\mathrm{U}],[\mathrm{C}],\text{and }[\mathrm{G}]$ Let $\mathrm{r_i}=\mathrm{V_i^{-1}(V_j^p(r_i))},\mathrm{r_j}=\mathrm{V_j^{-1}(V_i^p(r_j))},\text{and }\mathrm{g_{ij}^p(r)}=\frac{\partial \mathrm{r_i}}{\partial \mathrm{r_j}}$ be the rates of change of hydrogen bonding between amino acids $\mathrm{p_i}=\mathrm{r_i}'$ connecting with $\mathrm{p_j^*}=\mathrm{r_j}'$. Let $\mathrm{g}\in\mathcal{G}$ be a gauge group of roots of inversed Lennard-Jones force field. It is defined by a cocycle of quantum genotype $\mathrm{g}=\mathrm{g_{ij}(r)}$ with curvature $\mathrm{A^p_{London}(g^p)}$ in other hydrogen bonding $\mathrm{r_k}$ in extradimension of fiber bundle.

The Jacobian flow of group action $\mathcal{G}\times F\to F,(g,r_i)\mapsto r_j$ on fiber bundle is the permutation of cocycle act on these tangent space of distance of hydrogen bonding as an effect of protein folding. The distance of hydrogen bonding, $S=\frac{\epsilon}{i}ln\Psi$ is a twistor on arc length of circle appear as flying rings to exchange the energy and momentum between 3 supermolecules in quantum biology. The least action is the evolutional path between the Lagrangian systems of internal energy of superposition between live and death states in three cyclic coordinates of anti-self dual form in 3 superstring states of unification of 3 forces in DNA RNA and protein. Let $L_{DNA}^{Type-I},L_{RNA}^{Type-II},L_{PROTEIN}^{Type-III}:TX\to R,TX=\coprod_{i=}^{n}F_i$ where X is a manifold of living organism.

Definition 4 Let $\mathrm{S^d}$ be the least action in the biological system. It is a dynamical system of supermolecular DNA, RNA, and protein folding that can allow the van Der Waals force and hydrogen bonding in these three types of supermolecules to interact with each other. It is a weak interaction of intermolecular orbitals appeared as the maximum principle of the Hamilton-Jacobi equation for control gene expression by minimizing the free energyalong the exact sequence $\mathrm{r\to p\to d}$ in the Lagrangian system of DNA folding,

$$S^d=\int_{r=r_0}^{r=r_n}L_{DNA}^{Type-I}(r,p(r),d(r))dr. \tag{1}$$

Definition 5 Let $\mathrm{S^r}$ be the evolutional path in the biological system. It is a dynamical system of supermolecular DNA, RNA, and protein folding that can allow the van Der Waals force and hydrogen bonding in these three types of supermolecules to interact with each other. It is a weak interaction of intermolecular orbitals appeared as the maximum principle of the Hamilton-Jacobi equation for control gene expression by minimizing the free energy along the exact sequence $\mathrm{p\to d\to r}$ in the Lagrangian system of RNA folding state parametrized by protein state,

$$S^r=\int_{p=p_0}^{p=p_n}L_{RNA}^{Type-II}(p,d(p),r(p))dp. \tag{2}$$

Definition 6 Let $\mathrm{S^p}$ be the least action in the biological system. It is a dynamical system of supermolecular DNA, RNA, and protein folding that can allow the van Der Waals force and hydrogen bonding in these three types of supermolecules to interact with each other. It is a weak interaction of intermolecular orbitals appeared as the maximum principle of the Hamilton-Jacobi equation for control gene expression by minimizing the free energy along the exact sequence $\mathrm{d\to r\to p}$ in the Lagrangian system of protein docking,

$$S^p=\int_{d=d_0}^{d=d_n}L_{PROTEIN}^{Type-III}(d,r(d),p(d))dd. \tag{3}$$

Definition 7 In system of protein docking, the Lagrangian is $\mathrm{L_{Protein}^{type-III}(d,r,p)}$ with evolutional path S. The biological clock is parametrized along the DNA molecules with hidden state d. The virus RNA state r is the change in the distance of the viral RNA lines from the past to the present, resulting from adaptation compared

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

to the change in the curvature of the viral protein with evolutional path S. We use symbols as derivatives relative to the variable p,

$$r = \frac{\partial S}{\partial p}. \tag{4}$$

Definition 8 Let $\mathrm{r}' = \frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{dd}}$. Let $\mathrm{g_{ij}}$ be cocycle of quantum genotype protein folding. Let $\mathrm{L} = \frac{1}{2}\mathrm{g_{ij}} < \mathrm{r'_i}, \mathrm{r'_j} >$, $\mathrm{dS} = \mathrm{L(d, r(d), r'(d))dd}$ be least action in evolutional path in protein folding according to geodesic equation, where $\mathrm{g_{ij}}$ is hydrogen bonding between RNA molecules $\mathrm{r_i}$ and $\mathrm{r_j}$. The p state is defined by rate of change of evolutional path with respect to the rate of change of degree of disorder in hydrogen bonding of RNA $\mathrm{r}' = \frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{dd}}$ with biological clock d,

$$p = \frac{\partial S}{\partial r'}. \tag{5}$$

The ratio of $\frac{S}{\epsilon_t} = \theta$ is an invariant properties so-called biological quantum principle number, because we can have a non-degenerate state with canonical quantum number $2\pi n$ with n round of rotation, $\Psi(d) = e^{2\pi n i\theta}$. The evolutional path S is the same quantity with von Neumann entropy in discorder degree of physiology of biomolecules. It was used to measure the disorder degree in DNA molecule with $n = 1,2,\cdots$ transitions,

$$0 \le \theta = \frac{\mathrm{S}}{\epsilon_t} \le 2n\pi. \tag{6}$$

It is implied that the evolutional path is positive entropy and increasing along with the rotational of the unit circle with periodic condition with period $2\pi n, n = 1,2,3,\cdots, 0 \le S \le 2\pi\epsilon_t n$. Therefore, the fluctuation of von Neumann entropy is the source of the quantum state. In one dimensional model of protein folding, we define $p(d) = \frac{dr}{dd}, \text{and } r(d) = \frac{dd}{d\alpha}$ for $\alpha(t) > 0$.

Let $\Gamma_{ij}^{\mu}(g) \in \Omega^1(\wedge TX \otimes \mathbf{R})$ be connection appeared as a quantum genotype in fiber bundle of tangent of manifold of amino acid sequence in protein folding. Let p_i be a protein state i at amino acid subunit i. We can interpret g_{ij}^{p} as cocycle of quantum genotype induced from van Der Waals-gravitational field between amino acids p_i connecting with p_j, because the the explicit form of force field of van Der Waals force and gravitational field are similar to each other.

Result and Discussion

The Proof of existence of (d,r,p)-Layer in Frenet-Serret Formulas

There exists a relationship from RNA state to transform their coordinate system into protein state by using the process of gene expression in codon with open reading frame, ORF. Mathematically, we write these relationship by using compact notation of equivalent relation $\sim$

$$d = r \sim p. \tag{7}$$

In general form, we introduce the tensor field for this equivalent relation by wedge product, $d = r \wedge p$. In vector field, the wedge product is a cross product of 2 vectors, tantent and normal vector, to the phase transition of hidden curve spacetime in (3+1)D protein folding,

$$\mathbf{d} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}. \tag{8}$$

It means RNA, r transition to protein, p or p induced by r, or DNA is an coadjoint map from RNA state to protein state. We change from d to the pullback function of $\mathcal{O}_d \ni L(r,p) = r \wedge p$ state along coadjoint product of central dogma, $d \to r \to p$. It is an inner product with cocycle appeared as a source of genotype in pullback function $\mathcal{O}_d \ni L(r,p) = g_{ij} < r,p >, g_{ij} \in SO(3,1)$. The open reading frame (ORF) in central dogma over the exact sequence of manifold of living organism X can be shifted by (Lag) operator $L_g, L_g^3 = 1$ along $L_g: d \to r \to p \Longrightarrow r \to p \to d$, and $L_g^2 = L_g L_g$ shifts to $p \to d \to r$, with $L^{Type-II}(d(p), r(p))$ over the cyclic coordinate in (d,r,p)-layer. Let $x(t) \in C_0(X)$ be a pointed space. It is an approximation of fixed coordinate of hydrogen bond in biomolecule $[A], [T], [C]$ or $[G]$ to a point in generalized coordinate over deformed phase space(Fig. 2C). In exact sequence of vertical transcription, $d(t) = x'(t), r = x''(t), p =$

$x^{(3)}$ is in chain complex. In horizaontal coordinate of protein folding moving frame, we set intial condition $x(t_0) = x_0 = 0$ (Muangchoo-in et *al*., 2021), while the coordinate is not only (d, r, p)-layer but it can be generalized to n −derivative over $n-$ amino acids approximated by the recursive coordinate by moving frame with $x_n = x'_{n-1}(t), x_1 = x'(t), x_2 = x'_1 = x''(t), x_3 = x^{(3)}(t), \cdots, x_{\mathrm{n}} = x^{(\mathrm{n})}(t)$ (Fig. 2B). Let the chain sequence of biological cohomological sequence be

$$0 \to C_0(X) \xrightarrow{d} C_1(X) \xrightarrow{d} C_2(X) \xrightarrow{d} C_3(X) \to 0. \tag{9}$$

The tangent vector in three dimensional model in the above chain sequence is $\mathbf{r(t)} = \frac{dx_t}{dt}$, where $x_t = (cos\theta(t), sin\theta(t), t)$. Let the coordinate of genetic code in unit circle be

$$x_{[A]}(\mathrm{t}) = (cos0, sin0, t),\ x_{[C]}(\mathrm{t}) = \left(cos\frac{\pi}{2}, sin\frac{\pi}{2}, t\right), x_{[U]}(\mathrm{t}) = \left(cos\frac{2\pi}{2}, sin\frac{2\pi}{2}, t\right),$$

and $x_{[G]}(\mathrm{t}) = \left(cos\frac{3\pi}{2}, sin\frac{3\pi}{2}, t\right)$. In general form, we have

$$\mathbf{r}(t) = \frac{d}{dt}(cos\theta(t), sin\theta(t), t) = (-sin\theta(t), cos\theta(t), 1) = \left(-sin\frac{S}{\epsilon_t}(t), cos\frac{S}{\epsilon_t}(t), 1\right). \tag{10}$$

The normal vector is $\mathbf{p}(t)$ state with

$$\mathbf{p}(t) = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \left(-cos\frac{S}{\epsilon_t}(t), -sin\frac{S}{\epsilon_t}(t), 0\right), \mathbf{d}(t) = \mathbf{r}(t) \times \mathbf{p}(t). \tag{11}$$

In unit circle with constant evolutional constant in raduis of circle $\epsilon_t = 1$, the tangent vector will become normal vector when the evolutional path shifts with phase transition $\frac{S}{\epsilon_t}(t) = \frac{\pi}{2}$. Therefore, there exists a pair of genetic code by [A]-[T] and [C]-[G](Fig 2(A)).

In the the chain sequence of open reading frame, ORF in vertical transcription from DNA to RNA and to protein, the pullback map is induced by $d_t \in C_1(X), C_1(X) \to C_2(X) \to C_3(X) \to C_3(X)/C_2(X) = C_1(X)$. It is source of cyclic coordinate in a biological Frenet-Serret formulas for (d, r, p) moving frame of protein folding because $\mathbf{d} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$,

$$\frac{d\mathbf{d}(t)}{dt} = -\beta\mathbf{p}(t), \tag{12}$$

$$\frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \kappa\mathbf{p}(t), \tag{13}$$

$$\frac{d\mathbf{p}(t)}{dt} = -\kappa\mathbf{r}(t) + \beta\mathbf{d}(t), \tag{14}$$

or in general form, one writes,

$$\begin{bmatrix} \frac{d\mathbf{d}(t)}{dt} \\ \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} \\ \frac{d\mathbf{p}(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa & 0 \\ -\kappa & 0 & \beta \\ 0 & -\beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{d}(t) \\ \mathbf{r}(t) \\ \mathbf{p}(t) \end{bmatrix}, \tag{15}$$

where $\mathbf{d}$ is bivector of DNA state transition with inversed map of transition of protein induced by RNA. There exists a torsion vector in DNA state $\mathbf{d}' = -\beta\mathbf{p}(t)$. We called 2 types of quantum genotype β, κ. $\mathbf{r}$ is a tangent vector to the curve of 3D model of protein folding. $\mathbf{p}$ is a normal vector for induced curvature. Hence, there exists three types of the system, $L^{Type-III}(d, r(d), p(d)), L^{Type-II}(r, p(r), d(r)), L^{Type-I}(p, d(p), r(p))$. The covariant derivative represents the state of parallel transport for gene expression in genetic code along the geodesic path in central dogma, $d \to r \to p$, or $r'_i \to r'_j \to r'_k$(Fig. 3A),

$$\nabla_{r'_i} r'_j = \frac{\partial^2 r_k}{\partial t^2} + A^d_{London} < r_i', r_j' >, \tag{16}$$

where $\kappa(t) = \left|\frac{\partial^2 r_k}{\partial t^2}\right|$ is a curvature of protein folding.

In the system of protein docking between active protein state p and passive protein state p^*, there exists a quantum genotype defined by the curvature in protein folding $\frac{\partial^2 r_k}{\partial t^2} = F^{g^p} = -A^p_{London}$, if $< p, p^* > = 1$ (Fig. 3B and Fig. 3C). The protein docking system in equilibrium induces the parallel transport from p to p^*,

$$\nabla_p\, p^* = 0. \tag{17}$$

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

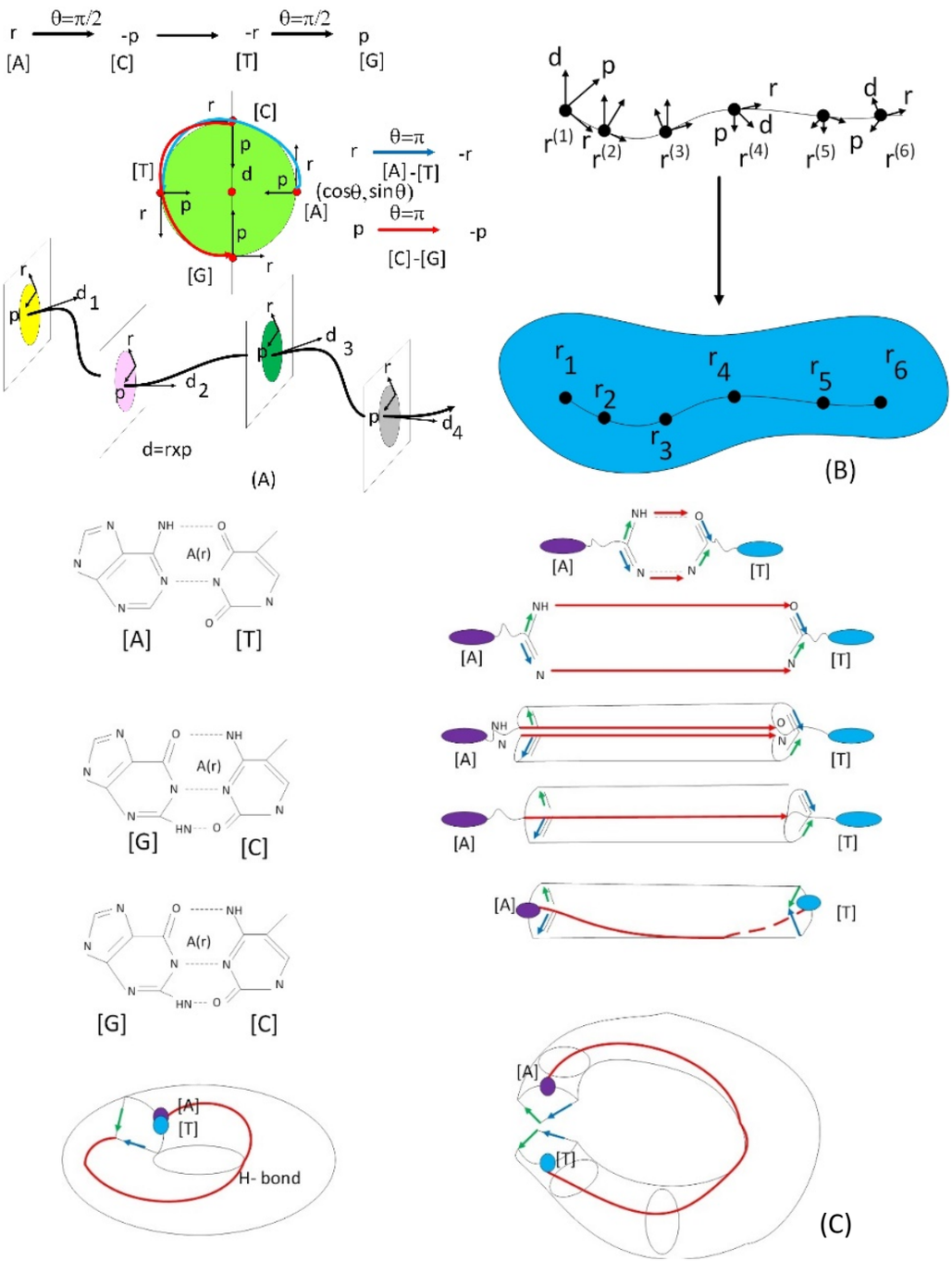


Figure 2. (A) The circle in the middle is the cross-section of (d,r,p)-Layer in moving frame with d state at the center and perpendicular r and p in the plane. The circumference is a topological invariance property with an evolutional constant as a radius. The evolutional path in curve-shaped protein folding is defined by a unit circle with tangent vector r and normal vector $\boldsymbol{p}$. The above panel shows the invariant properties of shift a tangent vector from [A] to [T], the tangent vector $\boldsymbol{r}$ is equal to mirror symmetry of $-\boldsymbol{r}$. If a normal vector moves from [C] to [G], then $\boldsymbol{p}$ is equal to mirror symmetry of $-\boldsymbol{p}$. (B) The demonstation of covering space of manifold of living organism spaned by protein with 6 amino acids. The moving frame in Hopf fibration of tangent of manifold with 6 fiber spaces of $(\boldsymbol{d},\boldsymbol{r},\boldsymbol{p})$-layer. (C) A pair of hydrogen bonding in DNA is defined by a point in the torus. It is a place where information is stored in the adaptive behavior field in the genetic code. The nitrogen base is topological equivalent to torus by using a topological invariant property. If we transform from hexagonal by gluing their cells complex, then the pair of the hydrogen bonds is contractable to a point in torus by using homotopic equivalent class.

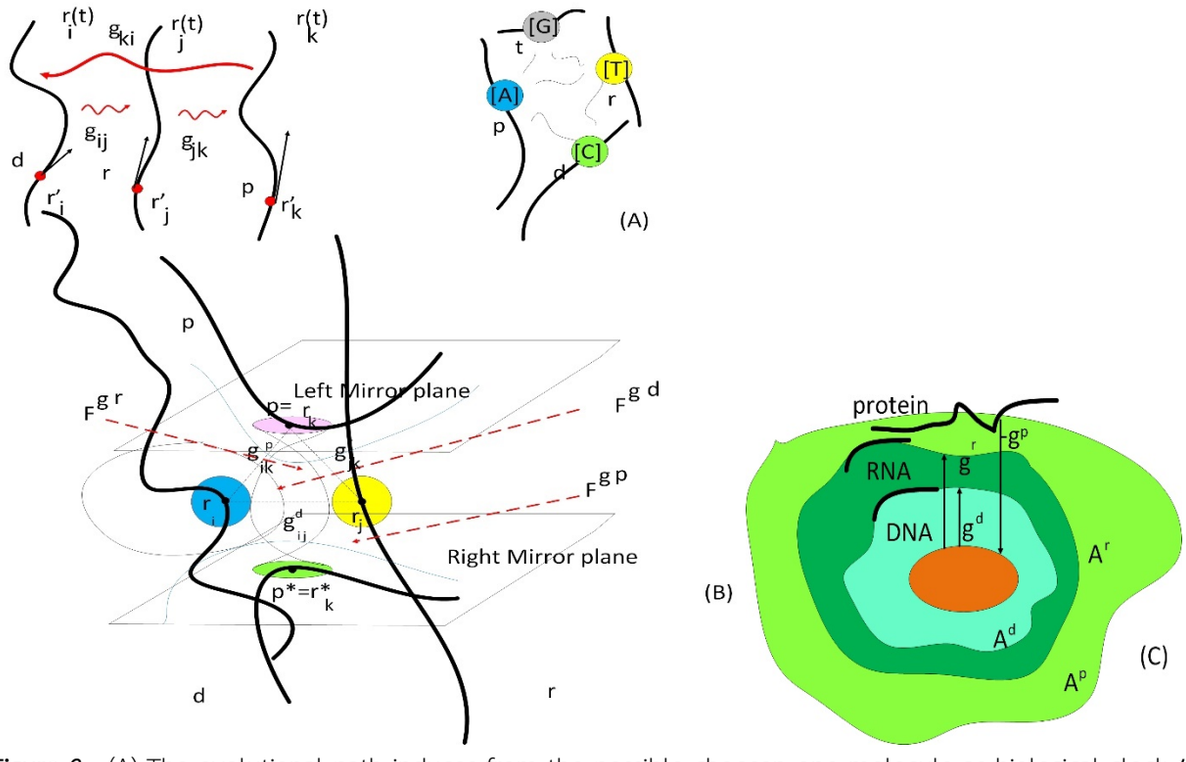


Figure 3. (A) The evolutional path induces from the possible choosen one molecule as biological clock t and the other molecules will be (d,r,p)-triplet state with van Der Waals-supergravity in transition between them. In this picture the nucleobases, $([C],[T],[A]) = (d,r,p)$ and $[G] = t$. Although, the choice of basis is cyclic coordinate and can choosed any based to be a time scale. (B) The transition between $d = r'_i$ to $r = r'_j$, and to $p = r'_k$. F^g is a van Der Waals-supergravity force in transition between them. It is specified by a Yang-Mills field to deformed the curved spacetime in loop space of supermolecular orbital. There exists a mirror symmetry between protein state p and their dual state of hidden parity protein state p^* in the mirror symmetry plane of the protein docking system. (C) The ground state is d state with induced Yang-Mills behavior field A^d. It is a DNA state in nucleus of host cell. While r and p are excited states with induced Yang-Mills behavior field A^r and A^p. When the transition is in protein state p, the cell system will try to reduce the excited steate energy by docking to other protein analogy with transition back to ground state.

Conclusion

In this theoretical investigation and new more precise definitions, there exist many potential applications to the studying of the genetic code of SARS-CoV-2 (Andersen *et al*., 2020) viral state by using moduli state space in RNA molecule to visualize the trajectory of pointed space in evolutional path S^r along the time dimension of their own RNA nonstructural protein, e.g. viral polymerase protein state in the replication process of the open reading frame ORF1ab. The p state of protein state in both virus and host cell are independent variables in the chain of the central dogma, $p \to d \to r$, with only one state per one nitrogen base in RNA supermolecule r_i. Let A_μ be behavior field in genetic code. It is a curvature in differential geometry with more extra properties of the gravitational field in genetic code. This field connects two amino acids into a curve of blend line of polypeptide sequence in (1+3) dimensional Minkowski cone of quantum biology with the application of plotting the genetic code into the graph of curvature. The new definition of DNA, RNA, and protein can adopt this idea as principles of anti-self dual, but the mathematical structures are the not same as Yang-Mills theory in physics, because biologists and physicists study different objects. Therefore, for the new definition of the structures of unification of DNA, RNA, and protein, we need to add some more properties of living things to this new structure in the form of extra properties in the extra dimensions of Chern-Simons theory models from (2+1)D in physics to (3+1)D in biology. The results are implied that DNA d, RNA, r, and

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

protein p states have their own anti-symmetry partner in hidden dimensions, we called (d^*, r^*, p^*) hidden anti-particle of biomolecules of (d, r, p) - layer of biomolecular chain complex in six hidden dimensions in the root of Lennard-Jones potential field of London force in a superfluid. From this new theory of quantum biology, there exists a fifth force in all living organisms and viruses in which analogy with dark matter in physics. It is a unification of those 6 states from 3 existed forces in their interaction, London forces, Yang-Mills force, and supergravity force in quantum biology as a new research area with strong application to the system of viral mutation detection with more precise mathematical definitions and equations for plot the genetic code. The Frechet-Serret moving frame has direct application in differential geometry of curvature in protein folding compared to experimental biology and biophysics of condensed matter theory.

Acknowledgements

K.K. thanks to Chulalongkorn University Graduate Scholarship to Commermorate the 72nd Anniversary of his majesty King Bhumibol Adulyadej. KK. TR and SH are grateful for computational resources supported by NSTDA Supercomputer Center (ThaiSC) for this work.

Reference

Andersen KG et al. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. **Nature Medicine**, 1-3.

Borrie, M.S., Campor, J.S., Joshi, H. and Gartenberg, M.R. (2017). Binding, sliding, and function of cohesin during transcriptional activation**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 114(7), 1062-1071.

Byun, J.H., and Jung, I.H. (2018). Mathematical modeling of antibody drug conjugates with the target and tubulin dynamics to predict. **Journal of Theoretical Biology**, 443, 113-124.

Capozziello, S., Pincak, R. and Kanjamapornkul, K. (2017). Anomaly on superspace of time series data. **Zeitschrift fuer Naturforschung A**, 72(12), 1077-1091.

Capozziello, S., Pincak, R. and Kanjamapornkul, K. and Saridakis, E.N. (2018). Chern-Simons current in system of DNA-RNA. **Annalen der Physik**, 530(4), 1700271.

Cheng, J.X., Chen, L. et al. (2018). RNA cytosine methylation and methyltransferases mediate chromatin organization and 5-azacytidine response and resistance in leukaemia. **Nature Communications**, 9(1), 1163.

Cheng, W., Wang, S. et. al. (2018). C9ORF72 GGGGCC repeat-associated non-AUG translation is upregulated by stress through eIF2 phosphorylation. **Nature Communications**, 9, 02495.

Devi, M., Chingbiaknem, E. and Lyngdoh, R.H.D. (2018). A molecular mechanics study on GA codon box translation. **Journal of Theoretical Biology**, 441 28-43.

Einstein, A.,Podolsky, B. and Rosen, N (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? **Physics Review**, 47, 777-780.

Ghalami-Choobar, B. and Moghadam, H. (2018). Molecular docking based on virtual screening, molecular dynamics and atoms in molecules studies to identify the potential human epidermal receptor 2 intracellular domain inhibitors. **Physical Chemistry Research**, 6, 1154, 83-103.

Jaffe, R. L. (2005). Casimir effect and the quantum vacuum. **Physics Review D**, 72(5), 021301.

Jones, J. E. (1924). On the determination of molecular fields. -II. From the equation of state of a gas. **Proceedings of the Royal Society A**, 106(738), 463-477.

Kanjamapornkul, K. and Pincak, R. (2016). Kolmogorov space in time series data. **Mathematical Methods in the Applied Sciences** 39 no. 15, 4463-4483.

Kanjamapornkul, K., Pincak, R., Chunithpaisan, S. and Bartos, E. (2017). Support spinor machine. **Digital Signal Processing**, 70, 59-72.

Lei Zhang (2013). The van Der Waals force and gravitational force in matter. **arXiv:1303.3579**.

Merkenschlager, M. and Nora, E.P (2016). CTCF and Cohesin in Genome Folding and Transcriptional Gene Regulation. **Annual Review of Genomics and Human Genetics**, 17, 17-43.

Merkenschlager, M. and Odom, D.T. (2013). CTCF and cohesin: Linking gene regulatory elements with their targets. **Cell**, 152(6), 1285-1297.

Muangchoo-in, K., Sitthithakerngkiet, K., Sa-Ngiamsunthorn, P. and Kumam, P. (2021), Approximation theorems of a solution of amperometric enzymatic reactions based on Green's fixed point normal-S iteration. **Advances in Difference Equations**, 2021(1), 1-13.

Nora, E.P. et al. (2020). Molecular basis of CTCF binding polarity in genome folding. **Nature Communications**, 11(1), 5612.

Ohtsuki, T. (2017). On the asymptotic expansions of the Kashaev invariant of hyperbolic knots with seven crossings. **International Journal of Mathematics**, 28(13), 1750096.

Peck, J.R. and Waxman, D. (2018). What is adaptation and how should it be measured? **Journal of Theoretical Biology**, 447 190-198.

Peters JM., Tedeschi A. and Schmitz, J. (2008). The cohesin complex and its roles in chromosome biology. **Genes & Development**, 22(114), 2389.

Pincak, R.,Kanjamapornkul, K. and Bartos, E. (2019). Forecasting Laurent Polynomial in the Chern-Simons Current of V3 Loop Time Series. **Annalen der Physik**, 531(7),1800375.

Pincak, R., Kanjamapornkul, K. and Bartos, E. (2020). Cohomology theory for biological time series. **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, 43(2), 552-579.

Pincak, R.,Kanjamapornkul, K. and Bartos, E. (2020). A theoretical investigation on the predictability of genetic patterns. **Chemical Physics**, 535, 110764.

Rezazadegan, R. and Barrett, C. and Reidys, C. (2018). Multiplicity of phenotypes and RNA evolution. **Journal of Theoretical Biology**, 447 139-146.

Richterova, J., Huraiova, B. and Gregan, J.(2017). Genome Organization: Cohesin on the Move. **Molecular Cell**, 66(4), 444-445.

Saad, N.Y. (2018). A ribonucleopeptide world at the origin of life. **Journal of Systematics and Evolution**, 56(1), 1-13.

Saldana-Meyer, R. et al. (2019). RNA Interactions Are Essential for CTCF-Mediated Genome Organization. **Molecular Cell**, 76(3), 412-422.e5.

Shen, Z., Asa, S.L. and Ezzat, S. (2018). The retrotransposon gag domain containing protein Rgag4 is an Ikaros target in the pituitary. **Molecular and Cellular Endocrinology**, 461, 188-193.

Shinde, P., Sarkar, C. and Jalan, S. (2018). Codon based co-occurrence network motifs in human mitochondria. **Scientific Reports**, 8(1), 3036.

Soslau, G. (2018). Circular RNA (circRNA) was an important bridge in the switch from the RNA world to the DNA world. **Journal of Theoretical Biology**, 447 32-40.

Vedani, A. (1988). YETI: An interactive molecular mechanics program for small molecule protein complexes. **Journal of Computational Chemistry**, 9(3), 269-280.

Witten, E. (2011). Fivebranes and Knots. **arXiv:1101.3216v2**.

Witten, E. (2012). Khovanov Homology and Gauge Theory. **Argxrv:1108.3103v2**.

Witten, E. (2016). The parity anomaly on an unorientable manifold. **Physical Review B**, 94(19), 195150.

Weyl, H. (1921). Feld und Materie. **Annalen der Physik**, 65(14), 541-563.

Wood, K.E. and Komarova, N.L. S. (2018). Cooperation-based branching as a mechanism of evolutionary. **Journal of Theoretical,** 445, 166-186.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

เซนเซอร์กระดาษที่มีลักษณะคล้ายบาร์โค้ดสำหรับการตรวจวัดน้ำกระด้าง

พุทธรักษา นาคเสน[1,2] ปลายฟ้า สายสุ้ย[3] ธนพร ชมภู[3] วิภาพร จักษุมา[3] วิภาค อนุตรศักดา[4] และปุริม จารุจำรัส[1,2*]

[1]ภาควิชาเคมีและศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

[2]กลุ่มวิจัยวัสดุนาโน เซนเซอร์และตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการแก้ปัญหาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

[3]นักเรียนห้องเรียนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนโดยการกำกับดูแลของมหาวิทยาลัย ศูนย์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี-โรงเรียนลือคำหาญวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

[4]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

**Email: purim.j@ubu.ac.th*

รับบทความ: 25 พฤษภาคม 2564 แก้ไขบทความ: 16 มิถุนายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 18 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

การวัดระดับความกระด้างของน้ำเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำ ซึ่งใช้การไทเทรตสารประกอบเชิงซ้อนเป็นวิธีมาตรฐาน อย่างไรก็ตามการใช้วิธีนี้อาจมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การวิเคราะห์มีหลายขั้นตอน ใช้สารละลายปริมาณมาก (> 105 มิลลิลิตร) และต้องอาศัยผู้ที่มีทักษะในการทดลอง เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเซนเซอร์กระดาษที่มีลักษณะคล้ายบาร์โค้ดที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยเทคนิคการพิมพ์สกรีนด้วยไข ประกอบด้วยแถบการตรวจวัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 4 ช่อง (แต่ละแถบมีขนาด 0.3 x 5.0 เซนติเมตร) และแถบสามเหลี่ยมด้านบนคือบริเวณหยดตัวอย่าง (มีขนาด 1.9 เซนติเมตร สำหรับความสูง x 2.9 เซนติเมตรสำหรับฐาน) จากนั้นหยดสารละลายผสมระหว่าง ไดโซเดียม เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซีติกแอซิด และอินดิเคเตอร์ อิริโอโครม แบลค ที (EDTA-EBT) ที่มีความเข้มข้นของ EDTA ที่แตกต่างกันในแต่ละแถบใน N-cyclohexyl amino-propanesulfonic acid (CAPs) บัฟเฟอร์ pH 10.5 ปริมาตร 40.00 ไมโครลิตร เคลือบลงบนบริเวณตรวจวัด เมื่อหยดมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตหรือสารละลายตัวอย่างที่มีแคลเซียมหรือแมกนีเซียมปริมาตร 120.00 ไมโครลิตรลงบนบริเวณดังกล่าว จากนั้นไม่กี่นาทีจะปรากฏแถบสีชมพูบนพื้นหลังสีน้ำเงินบนเซนเซอร์กระดาษ ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบการตรวจวัดมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดความกระด้างของน้ำอยู่ที่ช่วง 25-200 มิลลิกรัมต่อลิตร (สามารถแยกความละเอียดได้ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสามารถอ่านค่าความเข้มข้นของระดับความกระด้างของน้ำเทียบต้นแบบแถบการตรวจวัดมาตรฐานได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นเซนเซอร์กระดาษที่มีลักษณะคล้ายบาร์โค้ดจึงสามารถใช้งานได้จริงสำหรับการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณ นอกจากนี้ระบบยังแสดงความทนต่อไอออนรบกวนต่าง ๆ ในตัวอย่างน้ำและการประยุกต์ใช้กับตัวอย่างจริงให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการไทเทรตเชิงซ้อนแบบเดิม

คำสำคัญ: เซนเซอร์กระดาษที่มีลักษณะคล้ายบาร์โค้ด แคลเซียมและแมกนีเซียมไอออน การไทเทรตเชิงซ้อน ความกระด้างของน้ำ

อ้างอิงบทความนี้

พุทธรักษา นาคเสน, ปลายฟ้า สายสุ้ย, ธนพร ชมภู, วิภาพร จักษุมา, วิภาค อนุตรศักดา และปุริม จารุจำรัส. (2564). เซนเซอร์กระดาษที่มีลักษณะคล้ายบาร์โค้ดสำหรับการตรวจวัดน้ำกระด้าง. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 51-61.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Barcode-like paper sensor for water hardness detection

Puttaraksa Naksen[1,2], Plaifa Saisui[3], Thanaporn Chomphu[3], Wiphaphon Chaksuma[3], Wipark Anutrasakda[4] and Purim Jarujamrus[1,2]*

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

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

[3]Student of Science Classrooms in University-Affiliated School Project, Ubon Ratchathani University - Lukhamhanwarinchamrab School Center, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

[4]Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Payathai Road, Patumwan, Bangkok, 10330, Thailand

**Email: purim.j@ubu.ac.th*

Received <25 May 2021>; Revised <16 June 2021>; Accepted <18 June 2021>

Abstract

The measurement of water hardness has become a routine practice for water quality control where complexometric titration is used as a standard method. The use of this method, nevertheless has some disadvantages in terms of multiple steps of analysis, large reagent consumption (>105 mL) and the requirement for technical skills. Therefore, the aim of this work is to develop a barcode-like paper sensor which is a user-friendly means for water hardness detection that can overcome the aforementioned shortcomings. For this purpose, this work presents the fabrication of a barcode-like paper sensor and its practical application in the detection of total water hardness. The paper sensor was fabricated using the wax screen-printing technique to generate a barcode-like pattern design. The sensor consists of a detection zone with four bar channels (each measuring 0.3 by 5.0 cm) and a sample zone with a triangular shape of the (1.9 cm height by 2.9 cm base). The sample zone takes a few drops of reagent and the analytical technique is based on the complexometric reaction. Particularly, 40.00 µL mixed EDTA-EBT solution in N-cyclohexyl-aminopropanesulfonic acid (CAPs) buffer pH 10.5 was pre-applied to the detection zone. The sample zone, on the other hand, takes 120.00 µL of a standard solution containing $CaCO_3$ or water sample containing Ca^{2+} & Mg^{2+}. Shortly after adding the sample, a pink banding pattern would be generated on the blue background of the paper sensor. A banding pattern can uniquely identify the concentration of $CaCO_3$ in the range of 25-200 mg L^{-1} with a step size of 25 mg L^{-1}. The proposed barcode-like paper sensor can be practically used for semi-quantitative by naked eye detection. Additionally, the system exhibited high tolerance towards various interfering ions in water samples. The results of application with real samples obtained from our method agreed with those obtained from the conventional complexometric titration.

Keywords: Barcode-like paper sensor, Ca^{2+} and Mg^{2+}, Complexometric titration, Water hardness

Cite this article:

Naksen, P, Saisui, P., Chomphu, T., Chaksuma, W., Anutrasakda, W. and Jarujamrus, P. (2021). Barcode-like paper sensor for water hardness detection. **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 51-61.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Introduction

Water is very important for food preparation, hygiene, sanitation purposes and a wide range of other uses. Therefore, controlling the water quality is of utmost importance. A common means of assessing the quality of water is to detect the level of water hardness. To do so, one may resort to detecting the level of dissolved compounds including calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}) ions, the key factors causing the temporary and permanent hardness of water. Temporary and permanent hardness together combine to result in total hardness. The latter is widely used as a standard measure for this purpose. By this basis, water can be categorized as soft, hard or very hard. Total water hardness is most commonly expressed as milligram of calcium carbonate ($CaCO_3$) equivalent per liter (mg L^{-1}). The standard quality of drinking water in sealed containers and that of groundwater for consumption are set not to exceed 100 and 300 – 500 mg L^{-1} as $CaCO_3$ of total hardness, respectively (Betz & Noll, 1950).

As for the method of determining total hardness in water samples, complexometric titration has been widely used. Nonetheless, this method still has many disadvantages including multiple steps for analysis, requirement of operational skills, need of a glassware and a high volume of reagents (>105.0 mL). To overcome these limitations, a simple method requiring inexpensive laboratory facilities, less time consumption and better user-friendliness is highly desirable (Jarujamrus et al., 2018; Jarujamrus et al., 2019; Malahom et al., 2017). For this purpose, microfluidic paper-based analytical device (μPADs) can be a powerful analytical platform due to their low cost, portability, rapid fabrication, low consumption of reagents and samples, ease-of-use, and disposability (Martinez et al., 2007). Most importantly, this platform would allow simple visualization approach where only the naked eye is required.

The fabrication of μPADs is relatively simple, since it only involves the creation of two regions on a paper hydrophilic and hydrophobic regions (Martinez et al., 2007). In general, the technique of wax-screen printing has been the standard choice for μPADs fabrication owing to the advantages including high speed, simple operation, versatility, and cost efficiency. Specifically, a large number of μPADs (>100 units) can be fabricated via the solvent free technique of wax-screen printing in a single batch (Dungchai et al., 2011; Namwong et al., 2018; Wang et al., 2012). Nonetheless, the use of microfluidic paper-based analytical devices for water hardness detection has not been fully taken advantage of. In fact, to the best of our knowledge, there has been only one report on the use of microfluidic paper-based analytical devices for the determination of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions (Karita & Kaneta, 2016).

In order to exploit the advantages of the microfluidic paper-based system, this work employs a simple and inexpensive wax screen-printing technique for the fabrication of μPAD as barcode-like paper sensor for water hardness detection. The μPAD device developed in this work is an extension of our recent report (Jarujamrus et al., 2019). The fabricated barcode-like paper sensor in this work was optimized to feature well-defined hydrophobic barriers to allow a consistent flow of samples through the detection zone. The device was subsequently applied for the determination of total water hardness based on complexometric reaction. Particularly, the developed device performed successfully in the semi-quantitative detection of total water hardness in real samples with high tolerance towards various interfering ions. Our barcode-like paper sensor also showed satisfactory results in the method validation.

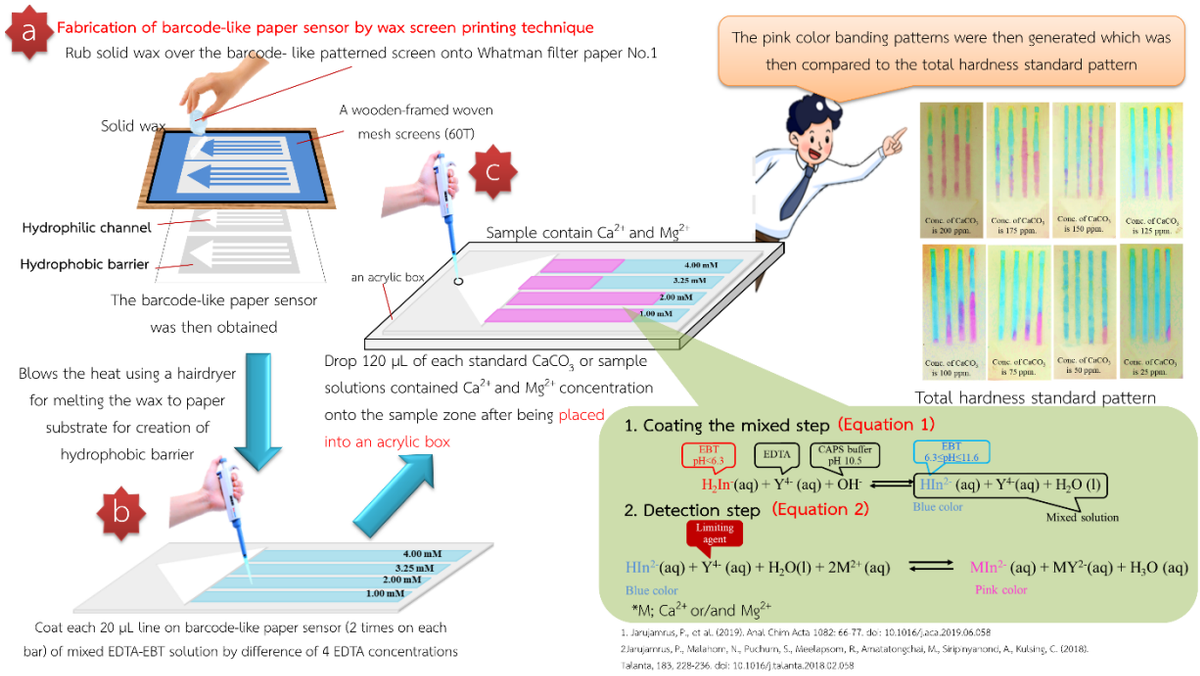


Figure 1. Scheme showing the fabrication and application of the sensor: (a) Fabrication of barcode-like paper sensor by wax screen printing technique; (b) Coating a mixed EDTA-EBT solution having four different EDTA concentrations on each line of barcode-like paper sensor; (c) Determination of total water hardness based on the standard patterns.

Experimental section

Materials and equipment

All solutions were prepared in deionized water with 18 MΩ resistance obtained from a Millipore Milli-Q purification system (Bedford, MA, USA). All of chemicals were of analytical grade. For the fabrication of the barcode-like paper sensor, Whatman No.1 (thickness 180 mm and pore size 11 mm) filter paper was purchased from Whatman International Ltd. (Maidstone, England). The solid paraffin wax (mp 53–57 °C) was purchased from a local supermarket (Ubon Ratchathani, Thailand). A hair dryer (Lesasha: tourmaline ionic shine model) that can be operated at a constant temperature was used to melt the wax. The ready-to-use wooden-framed woven mesh screens (888.32 meshes, 60T) and a squeegee were obtained from a local screen-printing shop or clothing shop in Ubon Ratchathani, Thailand. The total cost of fabricating templates for the patterned screens was 350.00 THฺB or about 10.80 US$ per 623 cm^2 (21.0 cm × 29.7 cm). An acrylic box made from polyacrylic acid was also obtained from a local screen-printing shop or clothing shop in Ubon Ratchathani, Thailand. All images in this work were recorded using a Huawei camera phone; model nova 2i (Huawei technology company, Beijing, China). Ammonium hydroxide (NH_4OH) and calcium carbonate ($CaCO_3$) were obtained from Fluka, Switzerland. Potassium permanganate ($KMnO_4$) was obtained from Ajax Finechem, Australia. Magnesium sulfate anhydrous ($MgSO_4$) was obtained from Loba Chemie, India. Eriochrome Black T (EBT, $C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$) was obtained from Labconco, USA. 3-(Cyclohexylamino)-1-propanesulfonic acid ($C_9H_{19}NO_3S$) or CAPS buffer and ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt ($EDTANa_2$, $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8$) were purchased from Panreac, USA. The following chemicals were purchased from Carlo Erba, Italy and used as received for the interference study: potassium sulfate (K_2SO_4), iron(II) sulfate ($FeSO_4$), zinc sulfate ($ZnSO_4$), copper(II) sulfate pentahydrate ($CuSO_4•5H_2O$), calcium nitrate ($Ca(NO_3)_2$), manganese sulfate monohydrate ($MnSO_4•H_2O$), sodium chloride (NaCl), sodium nitrate ($NaNO_3$), methanol (CH_3OH) and sodium dihydrogen phosphate dihydrate ($NaH_2PO_4•2H_2O$).

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Fabrication of barcode-like paper sensor by screen printing using solid wax as hydrophobic material

The barcode-like paper sensor was designed and fabricated using a wax screen-printing method with a slight modification from our previous reports (Jarujamrus et al., 2019; Namwong et al., 2018). The fabrication process is shown in Figure 1a. The screen patterns were generated using Microsoft PowerPoint. To create a hydrophobic barrier, the patterned screen was placed onto a paper and rubbed over with a solid wax. The screened paper was then blown with a hair dryer (screened paper up) for ca. 15 s to melt the wax and create the hydrophobic barriers on the filter paper.

Use of barcode-like paper sensor for $CaCO_3$ detection

The barcode-like paper sensor was designed to incorporate a fork-shaped detection zone as described in our previous work (Jarujamrus et al., 2019). Specifically, the sensor contains a triangle-shaped sample zone and four detection lines as shown in Figure 1a. The design was constructed as such to allow simultaneous flow of the sample from the sample zone to the detection zone. The determination of $CaCO_3$ in standard solutions was based on complexometric reaction (Yappert & DuPre, 1997), where the concentration of $CaCO_3$ indicated by the concentration of EDTA as the limiting agent for the generation of the banding patterns. The total hardness (Ca^{2+} and Mg^{2+}) can then be determined accordingly.

To fabricate the sensor for the detection zone, a mixed solution of EDTA and EBT was prepared at the desired concentration and pH 10.5 with the use of CAPS buffer. Specifically, the 0.02 mol L^{-1} CAPS buffer solution was prepared by dissolving CAPS (0.442 g) in a mixed solution between 50.00 mL of deionized water and 10.00 mL of methanol. Then, the solution was adjusted to pH 10.5 using 1.00 mol L^{-1} NaOH and the total volume was adjusted to 100.00 mL with deionized water. An indicator (2.16×10^{-4} mol L^{-1} of EBT) was prepared by dissolving EBT (10.00 mg) in 10.00 mL of 75% v/v ethanol. EDTA solutions with concentrations in the range of 0.25 – 4.00 mmol L^{-1} were prepared by dissolving solid EDTA in 25.00 mL of 0.02 mol L^{-1} CAPS buffer at pH 10.5. Additionally, 1.00 mL of 2.16×10^{-1} mol L^{-1} EBT was added where the pH was adjusted by 1.00 mol L^{-1} NaOH and the final volume was adjusted to 25.00 mL).

Finally, 20.00 µL of the mixed solution was coated onto the detection lines twice. The detection zone then turns into blue color before letting dry at room temperature (Figure 1b). For the detection step, 120.00 µL of either standard $CaCO_3$ or a sample containing $CaCO_3$ was dropped onto the sample zone. Pink banding patterns would subsequently be appeared on the blue background of the detection zone (Figure 1c). For the standard $CaCO_3$, 17 different concentrations were used, ranging from 0 to 400 mg L^{-1} with a 25 mg L^{-1} increment.

Selectivity of the developed sensor

The selectivity towards total hardness determination (Ca^{2+} and Mg^{2+}) was also investigated. The potential interference ions under study include iron (Fe^{2+}), manganese (Mn^{2+}), copper (Cu^{2+}), zinc (Zn^{2+}), chloride (Cl^-), sulfate (SO_4^{2-}) and nitrate (NO_3^-) with concentrations ranging from 25-1000 mg L^{-1}. Each type of foreign ion was separately added to the 125 mg L^{-1} $CaCO_3$ solution. The corresponding tolerance concentration (mg L^{-1}) was identified as the highest concentration that could be added while maintaining all banding patterns within 10% standard deviation (S.D.) of those generated from the 125 mg L^{-1} standard $CaCO_3$ solution.

Real samples application and method validation

For the application of real samples, water samples including mineral drinking water and tap water were spiked with 100 mg L^{-1} of $CaCO_3$. Then, 120.00 µL of un-spiked and spiked water samples were tested on the barcode-like paper sensor (Figure 1b, c). As for method validation, complexometric titration was used. Complexometric titration was performed with slight modification according to a previously reported standard method (Yappert et al., 1997). Briefly, 0.01 mg of each $CaCO_3$ containing sample was transferred into an

Erlenmeyer flask. In order to control the pH of the solution within the range of 10.0 -10.5, 10.00 mL deionized water and 2.00 mL CAPS buffer at 0.01 mol L^{-1} were also added. Next, 5 drops of 2.16×10^{-4} mol L^{-1} EBT indicator were added. The resulting solution was then titrated with 0.02 mol L^{-1} EDTA standard solution until the color of the solution changed from red to pure blue. The standard solution was standardized with 0.02 mol L^{-1} $CaCO_3$ where 0.01 g of which was dissolved in deionized water.

Results and discussion

Optimization and mechanism on paper strip sensor for total hardness determination

For the optimization and mechanism study of the barcode-like paper sensor for total hardness determination, standard $CaCO_3$ solutions were used to represent the total hardness determination (Ca^{2+} and Mg^{2+}). First, Whatman No.1 filter paper was cut into a strip shape (0.2×5.0 cm). Then, each strip was soaked in a mixed EDTA-EBT solution containing different EDTA concentrations ranging from 0.25 - 4.00 mmol L^{-1} with an increment of 0.25 mmol L^{-1} in CAPS buffer pH 10.5. The presence of different EBT species at different pH values would turn color on the strip into blue color within 5 min as described in Equation 1 (Figure 1b). Subsequently, 15 µL of each standard $CaCO_3$ solution (25-400 mg L^{-1} with a step size of 25 mg L^{-1}) was dropped onto one end of the strip. In this step, the complexation between Ca^{2+} and EDTA (limiting agent) was firstly formed. The formation was induced by the differences in the effective formation constants (K_f) of Ca-EDTA and Mg-EDTA complexes (5.0×10^{10} and 4.9×10^{8}, respectively) as compared to those of Ca-EBT and Mg-EBT complexes (4.4×10^{3} and 4.9×10^{5}, respectively) (Lindstrom & Diehl, 1960). The excess amount of Ca^{2+} and Mg^{2+} can then bind with EBT. Consequently, pink color would appear on the blue background in the detection zone based on Equation 2 (Figure 1b). It is important to note that the distance of pink color on blue color depends on the concentration of standard $CaCO_3$ or total hardness samples.

Overall, the aforementioned phenomenon indicates that the optimum concentration of EDTA and the pH in the system are the key factors affecting the performance of the developed barcode-like paper sensor. Especially, the large magnitude of the K_f values of Ca-EDTA and Mg-EDTA indicates that the above-mentioned reactions can go to completion if EDTA is present in its completely deprotonated form (Y^{4-}) (Yappert et al., 1997). Correspondingly, to ensure that EDTA is in the Y^{4-} form, pH values should be greater than 12. Nonetheless, the precipitation of Ca^{2+} as $CaCO_3$ and of Mg^{2+} as $Mg(OH)_2$ prevented the reaction from proceeding at such high pH values. To overcome this obstacle, the complexation was carried out at pH 10.5 at which EDTA is still present in its Y^{4-} form. In light of this context, the optimum 4 concentrations of EDTA (including 1.00, 2.00, 3.25 and 4.00 mmol L^{-1}) in the mixed EDTA-EBT solution were chosen since they can generate distinguishable banding patterns over the range of $CaCO_3$ concentration of 25-200 mg L^{-1} with a step size of 25 mg L^{-1} (Figure 2).

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

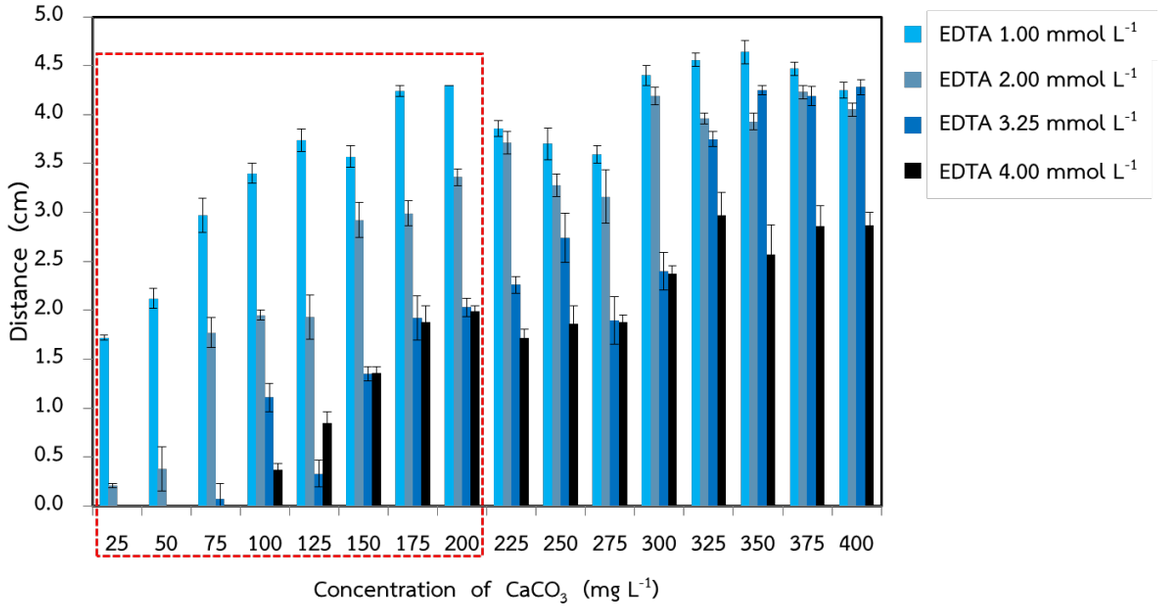


Figure 2. Banding patterns on detection zone of the sensor representing different concentrations of $CaCO_3$.

Total hardness determination (Ca^{2+} and Mg^{2+}) on barcode-like paper sensor

In order to develop a practical sensor for total hardness determination, the fork-shaped barcode-like paper sensor as discussed in our previous work (Jarujamrus et al., 2019). The key components of the paper sensor consist of the sample zone and the detection zone. On the triangle-shaped sample zone, a liquid sample can be dropped through a specified hole on an acrylic box (Figure 1b, c). The fork-shaped detection zone includes four detection lines (Figure 1a). This design facilitates the sample flow since a design with smaller base-to-height ratio could result in inferior flow characteristics of the sample. The paper sensor employs the use of Whatman No.1 paper and the four different EDTA concentrations (1.00, 2.00, 3.25 and 4.00 mmol L^{-1}) in the mixed EDTA-EBT solution. Distinguishable banding patterns over a range of concentrations of $CaCO_3$ of 25-200 mg L^{-1} can be generated. The level of total hardness (based on Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations) can be detected with the step size of 25 mg L^{-1} which corresponds to one of eight different banding patterns (Figure 3a, b). It is to be noted that the use of a smaller step size may improve the precision but will deteriorate the distinguishability of the banding patterns and ultimately compromise the practicality of the analysis. Therefore, the step of 25 mg L^{-1} was chosen for the purpose of semi-quantitative analysis in this work where the limit of quantification (LOQ) of 25 mg L^{-1}.

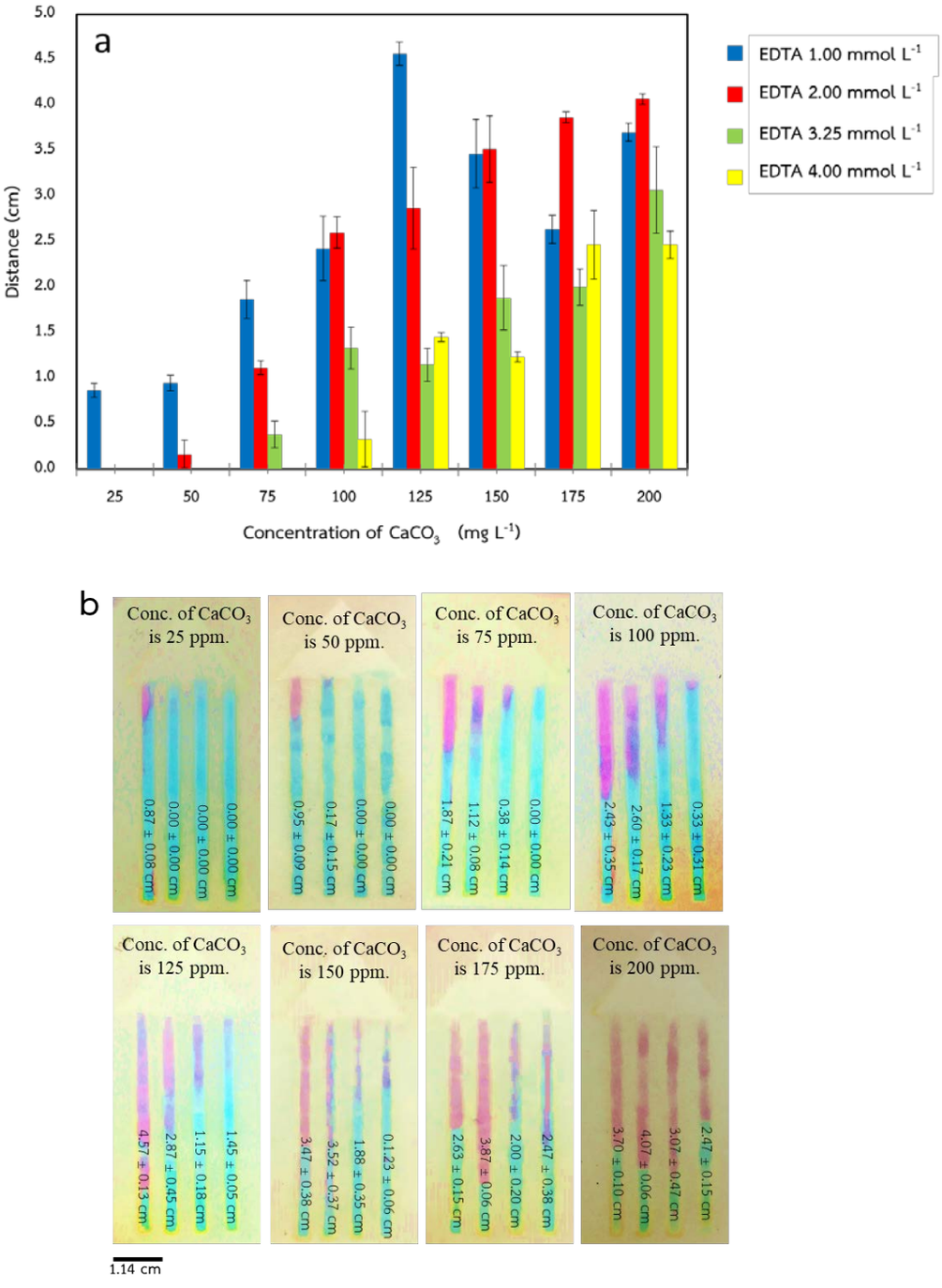


Figure 3. Standard banding patterns representing different concentrations of $CaCO_3$ on the barcode-like paper sensor (a) and the corresponding actual appearances on the detection zone (b).

Interference of foreign ions

The effect of seven different foreign ions on the banding patterns of the barcode-like paper sensor was investigated. Each ion was separately added to 125 mg L^{-1} $CaCO_3$ solution. The corresponding tolerance concentration (mg L^{-1}) was identified as the highest concentration that could be added while all banding patterns were maintained within one standard deviation of the pattern of the 125 mg L^{-1} standard $CaCO_3$ solution without interference. The results are reported in Table1. It was found that Cl^- and Na^+ were the two species with the highest tolerance concentrations of 1000 and 500 mg L^{-1}, respectively. On the other hand, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+} and SO_4^{2-} and NO_3^{2-} species had the tolerance concentrations of 50, 25, 50, 100 and 75 mg L^{-1}, respectively. The lower tolerance concentrations of the latter ions may be attributed to the behavior of

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

these ions being relatively more similar to Ca^{2+} and Mg^{2+} with respect to the tendency to form a complex with EDTA. In any case, the concentrations of several foreign ions in real water samples are likely to be much lower than their corresponding tolerance concentrations such as the case of Mn^{2+} (Jarujamrus et al., 2018). This result suggests the high selectivity of the developed barcode-like paper sensor towards $CaCO_3$ solution.

Table 1. Effect of foreign ion interference

Foreign ions	Compounds containing foreign ions	Tolerance concentrations (mg L^{-1})	Deviation of distance (cm) of pink bars on the detection lines with respect to those representing standard 125 mg L^{-1} $CaCO_3$*			
			1.00 mmol L^{-1} EDTA	2.00 mmol L^{-1} EDTA	3.25 mmol L^{-1} EDTA	4.00 mmol L^{-1} EDTA
Na^+	Na_2SO_4	500	+ 0.21	+ 0.37	+ 0.49	- 0.07
Fe^{2+}	$FeSO_4.7H_2O$	50	+ 0.05	- 0.57	- 0.54	- 0.23
Mn^{2+}	$MnSO_4$	25	- 0.23	- 0.28	- 0.26	- 0.15
Zn^{2+}	$ZnSO_4$	50	+ 0.07	- 0.08	- 0.13	- 0.18
Cl^-	NaCl	1000	- 0.18	- 0.13	+ 0.18	- 0.25
SO_4^{2-}	K_2SO_4	100	+ 0.32	+ 0.15	+ 0.23	+ 0.17
NO_3^{2-}	$Ca(NO_3)_2$	75	+ 0.22	- 0.22	+ 0.33	+ 0.11

*Distances of pink bars representing standard 125 mg L^{-1} $CaCO_3$ ion on the 1.00, 2.00, 3.25, and 4.00 mmol L^{-1} EDTA detection lines were 4.57 ± 0.10, 2.87 ± 0.45, 1.15 ± 0.18 and 1.45 ± 0.05 cm, respectively (n = 3).

Real sample application and method validation

The use of barcode-like paper sensor for water hardness detection was validated by complexometric titration technique, a conventional technique widely used for similar purposes. The validation applied spiked and un-spiked samples of mineral water and tap water, and the results are reported in Table 2.

Table 2. Application of the sensor to the real samples and method validation (n=3).

Sample	Concentration of standard $CaCO_3$ (mg L^{-1})	Complexometric titration		Proposed method	
		Found ± SD (mg L^{-1})	%Recovery	Found (mg L^{-1})	%Recovery
Mineral drinking water	0	171.57 ± 0.04	-	150	-
	100	263.71 ± 0.03	92.14	250	100
Tap water	0	19.06 ± 0.04	-	25	-
	100	114.38 ± 0.05	95.32	125	100

Overall, water hardness detection by our barcode-like paper sensor largely agreed with the standard method. Moreover, the barcode-like paper sensor exhibited superior performance as compared to the complexometric titration in several ways, including smaller volume requirement of reagents and samples, user-friendly for unskilled operators, and low-cost of fabrication (Table 3).

Table 3. Analytical performances comparison between the classical method and the proposed method

Comparison parameters	Traditional complexometric titration (Classical method)[1]	Barcode-like paper sensor based on complexometric reaction (Proposed method)
Operator	Expertise required	Expertise not required
Principle of detection	The concentration of a water hardness is directly calculated from the volume of EDTA required to reach the end point as judged by the naked eye using an indicator	The distance of color change observed by the naked eye on the barcode-like paper sensor based on the complexometric reaction is compared to established water hardness standard pattern
Volume of sample and reagent solutions	In the orders of magnitude of mL to L	**Preparation device step**: the mixed solution between EDTA and EBT in CAPS buffer pH 10.5 (40 µL) onto 4 detection channels (total volume 160 µL) **Detection step:** 120 µL of sample solution
On site analysis	Yes; but more complicated in terms of equipment set up	Yes; device is disposable
Analysis time	Relatively long depending on the technical skill of operators	~2 mins
Accuracy & precision	Good accuracy and precision but require the technical skill of operator (error of quantification by the estimation of the volume of titrant for end point evaluation can be minimized)	Analysis in real samples (recovery in the range of 92.14 - 100% for accuracy)
Working range	0.001M- 1M	25-200 mg L^{-1} (with step of 25 mg L^{-1})
Shortcomings	Requires a substantial amount of glassware during the titration, relatively large volumes of solutions, considerable technical skills, and comparably long analysis time.	Only suitable for semi-quantitative analysis. Additionally, the stability of the device is needed to be further investigate

Conclusion

A low-cost, simple, and rapid barcode-like paper sensor was fabricated using a wax screen-printing method and successfully applied for the determination of total water hardness. The simple fabrication procedures involved coating different detection lines with different concentrations of EDTA solution. The barcode-like paper sensor can generate visibly different banding patterns after being exposed to different concentrations of $CaCO_3$ solution (25 -200 mg L^{-1} with a step size of 25 mg L^{-1}). Each pattern could be uniquely assigned to each $CaCO_3$ concentration within the range. By requiring only a small sample amount (280 µL) and not requiring skilled operators, the paper sensor can be practically used for semi-quantitative analysis of the level of total hardness of water (Ca^{2+} and Mg^{2+}, which was reported as mg L^{-1} $CaCO_3$). The detection using the paper sensor was validated by complexometric titration and exhibited high tolerance towards various interference ions. Ultimately, the developed sensor serves as a pioneering model for future developments of other analytes that offer a broad range of practical applications.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Acknowledgement

This project was supported by scholarships and instrumental facility of the Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, are gratefully acknowledged. Science Achievement Scholarship of Thailand (SAST) given to Puttaraksa Naksen is also gratefully acknowledged. Science Classroom in University Affiliated School (SCiUS) under Ubon Rachathani University and Lukhamhanwarinchamrab School. The funding of SCiUS is provided by Ministry of Science and Technology, which is highly appreciated. The research scholarships and instrumental facility of the Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University. The Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC), Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation is also gratefully acknowledged.

References

Betz, J., and Noll, C. (1950). Total-hardness determination by direct colorimetric titration. **Journal-American Water Works Association**, 42(1), 49-56.

Dungchai, W., Chailapakul, O., and Henry, C. S. (2011). A low-cost, simple, and rapid fabrication method for paper-based microfluidics using wax screen-printing. **Analyst**, 136(1), 77-82.

Jarujamrus, P., Malahom, N., Puchum, S., Meelapsom, R., Amatatongchai, M., Siripinyanond, A., Chairam, S., and Kulsing, C. (2018). Complexometric and argentometric titrations using thread-based analytical devices. **Talanta**, 183, 228-236.

Jarujamrus, P., Meelapsom, R., Naksen, P., Ditcharoen, N., Anutrasakda, W., Siripinyanond, A., Amatatongchai, M., and Supasorn, S. (2019). Screen-printed microfluidic paper-based analytical device (muPAD) as a barcode sensor for magnesium detection using rubber latex waste as a novel hydrophobic reagent. **Anal Chim Acta**, 1082, 66-77.

Karita, S., and Kaneta, T. (2016). Chelate titrations of Ca(2+) and Mg(2+) using microfluidic paper-based analytical devices. **Anal Chim Acta**, 924, 60-67.

Lindstrom, F., and Diehl, H. (1960). Indicator for the titration of calcium plus magnesium with (ethylenedinitrilo) tetraacetate. **Analytical Chemistry**, 32(9), 1123-1127.

Malahom, N., Jarujamrus, P., Meelapsom, R., Siripinyanond, A., Amatatongchai, M., and Chairam, S. (2017). Simple test kit based on colorimetry for quantification of magnesium content in natural rubber latex by miniaturized complexometric titration without using masking agent. **Polymer Testing**, 59, 160-167.

Martinez, A. W., Phillips, S. T., Butte, M. J., and Whitesides, G. M. (2007). Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays. **Angew Chem Int Ed Engl**, 46(8), 1318-1320.

Namwong, P., Jarujamrus, P., Amatatongchai, M., and Chairam, S. (2018). Fabricating Simple Wax Screen-Printing Paper-Based Analytical Devices To Demonstrate the Concept of Limiting Reagent in Acid–Base Reactions. **Journal of Chemical Education**, 95(2), 305-309.

Wang, S., Ge, L., Song, X., Yu, J., Ge, S., Huang, J., and Zeng, F. (2012). Paper-based chemiluminescence ELISA: lab-on-paper based on chitosan modified paper device and wax-screen-printing. **Biosens Bioelectron**, 31(1), 212-218.

Yappert, M. C., & DuPre, D. B. (1997). Complexometric titrations: competition of complexing agents in the determination of water hardness with EDTA. **Journal of Chemical Education**, 74(12), 1422.

บทความวิจัย

การพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา

เดชมณี เนาวโรจน์[1,2] และสุภาวดี หิรัญพงศ์สิน[2,3*]

[1]โรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ จังหวัดยโสธร

[2]ศูนย์พี่เลี้ยงโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

[3]ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

[*]E-mail: supawadee.h@ubu.ac.th

รับบทความ: 26 ตุลาคม 2563 แก้ไขบทความ: 4 มกราคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 2 กุมภาพันธ์ 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการพัฒนาทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาซึ่งมีรูปแบบการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐาน โดยมีนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 39 คน เป็นกลุ่มเป้าหมาย เครื่องมือที่ใช้คือแบบประเมินทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในทักษะศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย 4 ทักษะ คือ การคิดแบบมีวิจารณญาณ การสื่อสาร การทำงานร่วมกัน และการสร้างสรรค์ ที่ประเมินโดยให้นักเรียนประเมินตนเอง และครูที่ปรึกษาโครงงานเป็นผู้ประเมินนักเรียน ผลการวิจัยพบว่า หลังจากดำเนินงานด้วย RBL ตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 เพิ่มขึ้นทั้ง 4 ทักษะ ผลการประเมินตนเองของนักเรียน พบว่า ทักษะที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือการแบบมีวิจารณญาณคิดเป็นร้อยละ 12.40 การประเมินโดยครูที่ปรึกษา พบว่า ทักษะที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือการทำงานร่วมกันคิดเป็นร้อยละ 35.90 แสดงว่า การทำโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาสามารถพัฒนานักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นให้มีทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ได้

คำสำคัญ: ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะในศตวรรษที่ 21 การเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐาน โครงการเพาะพันธุ์ปัญญา

อ้างอิงบทความนี้

เดชมณี เนาวโรจน์ และสุภาวดี หิรัญพงศ์สิน. (2564). การพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 62-71.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Development of the Learning and Innovation Skills for Junior High School Students using Research-Based Learning of Pohpanpunya Project Approach

Dechmanee Noawarot[1,2] and Supawadee Hiranpongsin[2,3*]

[1] Somdejprayansungworn Nai Prasungkarachupatum school, Yasotorn

[2]PPPY Node, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani

[3]Department of Mathematics Statistics and Computers, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani

[*]E-mail: supawadee.h@ubu.ac.th

Received <26 October 2020>; Revised 4 January 2021>; Accepted <2 February 2021>

Abstract

This research aimed to investigate the results of the 21st century learning and innovation skills development for students in Pohpanpunya (PPPY) Project. The samples were 39 grade 8 students, M.2/1, in academic year 2018. Research instruments were the assessment form used for evaluating the 21st century skills in learning and innovation consisting of four skills: critical thinking, communication, collaboration, and creativity skills. The students were evaluated using these forms by means of self-evaluation and project advisor evaluation. The results found that all four learning and innovation skills of students increased after performing RBL according to the PPPY Project approach. The students' self-assessment showed that the most increased skills was critical thinking, 12.40% while the project advisors' assessment found that the most increased skills was collaboration, 35.90%. This indicated that the PPPY Project approach was able to improve the 21st century learning and innovation skills of junior high school students.

Keywords: Learning and innovation skills, 21st century skills, research-based learning, PPPY project

Cite this article:

Noawarot, D. and Hiranpongsin, S. (2021). Development of the Learning and Innovation Skills for Junior High School Students using Research-Based Learning of Pohpanpunya Project Approach (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 62-71.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

การศึกษาไทย 4.0 เป็นการศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรม เป็นการศึกษาเพื่อปวงชน เป็นการศึกษาเพื่อสังคม ที่คนที่ได้รับการศึกษานั้นต้องหันมาช่วยเหลือสังคมอย่างจริงจัง และกว้างขวาง โดยที่ไม่ใช่การศึกษาเพื่อวัตถุประสงค์ใดวัตถุประสงค์หนึ่งดังเช่นที่ผ่านมา และการจัดการศึกษาต้องบูรณาการทั้งศาสตร์ ศิลป์ ชีวิต และเทคโนโลยีเข้าด้วยกันอย่างกลมกลืน เพื่อสร้างคนที่สังคมต้องการได้ในทุกมิติ และมีรูปแบบการจัดการศึกษาที่หลากหลาย สอดคล้องและตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียน โดยครูอาจจะไม่มีความจำเป็นอีกต่อไป หรือถ้าจำเป็นต้องมีต้องเปลี่ยนแปลงบทบาทไปอย่างมาก (Phansena, 2016) การเรียนรู้ที่จะเกิดขึ้นกับผู้เรียนสำหรับศตวรรษที่ 21 ด้านทักษะ ประกอบด้วยกลุ่มทักษะต่าง ๆ 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม 2) ทักษะด้านข้อมูลสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี และ 3) ทักษะด้านชีวิตและอาชีพ (Panich, 2012) สำหรับทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) จะเป็นตัวกำหนดความพร้อมของนักเรียนเพื่อเข้าสู่โลกของการทำงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในปัจจุบัน ประกอบด้วยความสามารถในการปฏิบัติ 4 ทักษะ หรือ 4Cs หรืออาจเรียกว่า 4 การ ได้แก่ 1) การคิดแบบมีวิจารณญาณ (Critical Thinking) 2) การสื่อสาร (Communication) 3) การทำงานร่วมกัน (Collaboration) และ 4) การสร้างสรรค์ (Creativity) (Panich, 2012) โดยการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้และทักษะดังกล่าวสามารถใช้วิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐาน (Research-Based learning: RBL) (Prasertsan, 2012)

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย เสนอการจัดการเรียนรู้แบบใหม่โดยใช้ “การวิจัยเป็นฐาน” (Prasertsan, 2012) โดยเป็นการสร้างวัฒนธรรมในการจัดการเรียนการสอนแบบใหม่บนฐานการวิจัยที่จะบ่มเพาะทักษะที่จำเป็นสำหรับสังคมความรู้และสร้างความเป็นวิทยาศาสตร์ในตัวให้แก่เด็กไทยของเรา อันจะนำพาให้นักเรียนสามารถอยู่ได้อย่างรู้เท่าทันในศตวรรษหน้า และทำให้สังคมและประเทศของเราเติบโตได้อย่างมีคุณภาพและยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 โครงการเพาะพันธุ์ปัญญาเป็นการทำโครงงานบนฐานวิจัยซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่สามารถสร้างระบบคิดและทักษะ การเรียนรู้ใหม่ โดยมีจุดเน้นสำคัญ คือ การสร้างกระบวนการเรียนรู้จากการค้นคว้าและตีความ ที่เรียกกว่า “วิจัย” (Ubon Ratchathani University, 2016) ตัวอย่างความสำเร็จของโรงเรียนที่เข้าร่วมโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา เช่น ปีการศึกษา 2557 การเปลี่ยนแปลงทักษะกระบวนการคิดของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยวิเคราะห์ทักษะกระบวนการคิดนักเรียนแต่ละคน 5 ทักษะ คือ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การตัดสินใจ ทักษะกระบวนการคิดการแก้ปัญหา ทักษะกระบวนการคิดการวิจัย ทักษะกระบวนการคิดสร้างสรรค์ พบว่า นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงทักษะกระบวนการคิดหลังจากเข้าร่วมโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โดยมีทักษะกระบวนการคิดกระบวนการวิจัยเพิ่มขึ้นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 56.25 รองลงมาคือการคิดสร้างสรรค์เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 46.88 (Naowarot et al., 2015) ปีการศึกษา 2558 การเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ประกอบด้วย 4 ทักษะ คือ การคิดแบบมีวิจารณญาณ การสื่อสาร การทำงานร่วมกัน และการสร้างสรรค์ ผลการประเมินตนเองของนักเรียน พบว่า ทักษะที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ การสร้างสรรค์ คิดเป็นร้อยละ 33.4 การประเมินโดยครูที่ปรึกษา พบว่า ทักษะที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ การทำงานร่วมกัน คิดเป็นร้อยละ 35.90 (Naowarot, Boknoi and Hiranpongsin, 2016) ปีการศึกษา 2559 การเปลี่ยนแปลงทักษะของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์สู่คนไทย 4.0 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประกอบด้วย 11 ทักษะ คือ การแก้ปัญหาที่ซับซ้อน การคิดวิเคราะห์ ความคิดสร้างสรรค์ การจัดการบุคคล การทำงานร่วมกัน ความฉลาดทางอารมณ์ การรู้จักประเมินและการตัดสินใจ การมีใจรักบริการ ความยืดหยุ่นทางอารมณ์ ทักษะการใช้อินเทอร์เน็ต และทักษะการปฏิสัมพันธ์กับสังคม โดยมีการใช้งานบนระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ด้วยวิจัยเป็นฐาน (Namwong, Hiranpongsin and Ditcharoen, 2018) เพื่อสนับสนุนการจัดการข้อเสนอโครงงานในการจัดกระบวนการเรียนรู้ด้วยวิจัยเป็นฐานร่วมด้วย พบว่า นักเรียนที่เข้าร่วมโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา มีทักษะคนไทย 4.0 เพิ่มขึ้นทุกทักษะ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ทักษะที่ครูและนักเรียนมีความเห็นสอดคล้องกันว่าเพิ่มขึ้นเหมือนกันมากที่สุด คือ ทักษะการคิดวิเคราะห์ (Naowarot and Hiranpongsin, 2017) นอกจากนี้ยังมีตัวอย่างความสำเร็จการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โรงเรียนปทุมราชวงศา โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานด้วยวิจัยเป็นฐาน พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากงานเขียนสะท้อนความคิดของนักเรียนเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ทั้ง 3 ด้านสูงขึ้น (Nareewong, Srisawat and Sangthong, 2015) และ การพัฒนาทักษะการเรียนรู้สู่ศตวรรษที่ 21 ด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนค้อวังวิทยาคมโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานด้วยวิจัยเป็นฐาน

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

พบว่า นักเรียนมีพฤติกรรมด้านความสามารถสื่อสารและความร่วมมือมากที่สุด (Sombun et al., 2016) จากการดำเนินโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาของโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ ตลอด 4 ปีที่ผ่านมามีนักเรียนที่ร่วมโครงการเป็นนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งสิ้น แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญานั้นเหมาะสมกับนักเรียนในระดับดังกล่าวได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ดีในปีการศึกษา 2561 ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำโครงการเพาะพันธุ์ปัญญามาใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น เนื่องจากการศึกษาผลการประเมินสรรถนะของผู้เรียนทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ สมรรถนะด้านที่ 1 ความสามารถในการสื่อสาร สมรรถนะด้านที่ 2 ความสามารถในการคิด สมรรถนะด้านที่ 3 ความสามารถในการแก้ปัญหา สมรรถนะด้านที่ 4 ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต และสมรรถนะที่ 5 ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ (Evaluation Office, 2017) พบว่า มีแนวโน้มต่ำลงแสดงให้เห็นว่านักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นยังขาดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 หากมีการนำกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานการวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาซึ่งมีรูปแบบการวิจัยที่ใช้กับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2558 มาใช้กับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นแล้ว จะสามารถพัฒนาผลการประเมินสรรถนะของผู้เรียนซึ่งมีความสอดคล้องกับทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ได้

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลการพัฒนาทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยการจัดการเรียนรู้โดยการวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา ด้วยเหตุนี้โรงเรียนจึงได้เข้าร่วมโครงการเพาะพันธุ์ปัญญากับศูนย์พี่เลี้ยงมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีต่อเนื่องเป็นปีที่ 5 เพื่อต้องการพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นให้สูงขึ้น และนำผลการเปลี่ยนแปลงของนักเรียนเปรียบเทียบกับผลการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โครงงานวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ ในปีการศึกษา 2558

วิธีดำเนินการวิจัย

1) ประชากร ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/1 โรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ ปีการศึกษา 2561 จำนวน 39 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)

2) แบบแผนการวิจัย การศึกษานี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลองชั้นต้น (pre-experiment) ที่มีกลุ่มการทดลองกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง (one group pre-test post-test design)

3) เครื่องที่ใช้ในการวิจัย เครื่องที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้โครงการเพาะพันธุ์ปัญญา ปีการศึกษา 2561 โดยมีกำหนดการสอน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำหนดการสอนที่เน้นการทำโครงงานฐานวิจัย

วันที่จัดกิจกรรม	ชื่อกิจกรรมและรายละเอียดโดยย่อ	วัตถุประสงค์ของกิจกรรม
28 สิงหาคม 2561	จิตปัญญา	1. เข้าใจตนเองและผู้อื่น 2. เห็นคุณค่าของตนเองและผู้อื่น
22 กันยายน 2561	การเขียนผังเหตุผล (system thinking)	1. คิดแก้ปัญหา โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ 2. ฝึกคิดหาเหตุหาผลของแต่ละสถานการณ์ได้
25 กันยายน 2561	การคิดหัวข้อโครงการหลัก	1. ตระหนักถึงทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่น อาชีพ กิจกรรมชุมชน 2. ได้หัวข้อหลักเพื่อทำวิจัย
1 – 8 สิงหาคม 2561	การคิดหัวข้อโครงงานย่อย 10 โครงงาน	1. ฝึกทักษะกระบวนการคิดสร้างสรรค์ 2. ฝึกคิดตั้งหัวข้อโครงงานโดยใช้หลักความเป็นเหตุเป็นผล 3. ได้หัวข้อโครงงานที่ต้องการศึกษา
18 สิงหาคม 2561	ศึกษาดูงานวันวิทยาศาสตร์	1. เปิดรับมุมมองที่แตกต่าง 2. มองเห็นความเชื่อมโยงของสิ่งต่าง ๆ

วันที่จัดกิจกรรม	ชื่อกิจกรรมและรายละเอียดโดยย่อ	วัตถุประสงค์ของกิจกรรม
		3.รู้จักใช้เหตุผลในการทำความเข้าใจเรื่องราวต่าง ๆ
15 ตุลาคม – 20 พฤศจิกายน 2561	การเขียนข้อเสนอโครงงานนำเสนอเค้าโครงวิจัย	1. ฝึกการเขียนข้อเสนอโครงงาน 2. มีการวางแผนการทำโครงงานที่จะนำไปปฏิบัติจริง ฝึกการนำเสนอ
1 พฤศจิกายน 2561 – 29 กุมภาพันธ์ 2562	เก็บข้อมูล / ทดลอง	1. ลงมือปฏิบัติการทดลอง / เก็บข้อมูล 2. วิเคราะห์สังเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาหรือตอบคำถาม
12 มกราคม 2562	การนำเสนอการทดลอง/ MS Power Point	1. เกิดทักษะการนำเสนอการรายงาน 2. เกิดทักษะการวิพากษ์วิจารณ์
19 กุมภาพันธ์ 2562	การทำโปสเตอร์	1. เกิดทักษะการใช้เครื่องมือ ICT 2. รู้จักวิเคราะห์สังเคราะห์ 3. ฝึกการเขียนผังต้นไม้
20 กุมภาพันธ์ 2562	การนำเสนอโครงการฯ ระดับศูนย์พี่เลี้ยง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	1. เกิดทักษะการนำเสนอ การสื่อสาร 2. รู้จักวิเคราะห์สังเคราะห์
24 มีนาคม 2562	การนำเสนอโครงการฯ ระดับประเทศ	1. เกิดทักษะการนำเสนอ การสื่อสาร 2. รู้จักวิเคราะห์สังเคราะห์

3.2 แบบประเมินทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ในทักษะศตวรรษที่ 21 ดังตารางที่ 2 แบ่งเป็น 2 ฉบับ สำหรับประเมินก่อนดำเนินโครงการและประเมินหลังดำเนินโครงการ ซึ่งแบบประเมินผ่านการพิจารณาความเหมาะสมจาก ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน และประเมินโดย 1) นักเรียนประเมินตนเอง 2) ครูที่ปรึกษาโครงงานประเมินนักเรียน แบบประเมินนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ตามตัวบ่งชี้ทั้ง 4 ของทักษะนักเรียนที่ร่วมโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของนักเรียน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นจากนักเรียนเพาะพันธุ์ปัญญาในปัจจุบัน เมื่อเทียบกับก่อนเข้าร่วมโครงการ โดยใช้ตามมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert Scale) (Pattiyathanee, 2003)

ตารางที่ 2 แบบประเมินทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในทักษะศตวรรษที่ 21 ก่อนและหลังดำเนินโครงการ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน					หมายเหตุ
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
1. การคิดแบบมีวิจารณญาณ						
1.1 มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์						
1.2 สามารถคิดอย่างมีวิจารณญาณ						
1.3 มีความสามารถในการสร้างองค์ความรู้						
1.4 ตัดสินใจแก้ปัญหาเกี่ยวกับตนเองได้อย่างเหมาะสม						
2. การสื่อสาร						
2.1 ความสามารถในการรับ-ส่งสาร						
2.2 มีความสามารถในการถ่ายทอดองค์ความรู้ ความคิด ความเข้าใจของตนเองโดยใช้ภาษาได้อย่างเหมาะสม						
2.3 ใช้วิธีการสื่อสารที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพ						
2.4 เจรจาต่อรองเพื่อขจัดและลดปัญหาความขัดแย้งต่างๆ ได้						
2.5 การสื่อสาร: เลือกรับ-ไม่รับข้อมูลข่าวสารด้วยเหตุผลและถูกต้อง						

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

รายการประเมิน	ผลการประเมิน					หมายเหตุ
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
3. การทำงานร่วมกัน						
3.1 การวางแผนและทำงานร่วมกัน						
3.2 มีการแบ่งหน้าที่รับผิดชอบในกลุ่ม						
3.3 การยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นและการแสดงความคิดเห็น						
3.4 การแก้ปัญหาภายในกลุ่ม						
4. การสร้างสรรค์						
4.1 คิดอย่างคล่องแคล่ว						
4.2 คิดยืดหยุ่น						
4.3 คิดริเริ่ม						
4.4 คิดละเอียดลออ						
4.5 ทักษะในการคิดนอกกรอบอย่างสร้างสรรค์						

4) การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ตามขั้นตอน ดังนี้

4.1 ก่อนดำเนินโครงการ นักเรียนประเมินตนเอง และครูประเมินนักเรียนทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม

4.2 ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามกำหนดการสอนโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา และลงมือปฏิบัติโครงงานจนเสร็จสิ้นกระบวนการในตารางที่ 1 ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 1 ปีการศึกษา โดยการทำโครงงานครั้งนี้ได้แบ่งนักเรียนออกเป็น 10 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 คน 1 กลุ่ม มีประเด็นหลัก เรื่อง จิ้งหรีด และแยกเป็นโครงงานย่อยจำนวน 10 โครงงาน โดยเป็นโครงงานด้านวิทยาศาสตร์ 7 โครงงาน ด้านเศรษฐศาสตร์ 2 โครงงาน และด้านสังคมศาสตร์ 1 โครงงาน

4.3 หลังดำเนินโครงการ นักเรียนประเมินตนเองทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในทักษะศตวรรษที่ 21 ครูที่ปรึกษาโครงงานประเมินทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนแต่ละคน

4.4. นำข้อมูลในข้อ 4.1 และข้อ 4.3 มาวิเคราะห์จำนวนนักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละทักษะก่อนและหลังเสร็จสิ้นโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โดยแยกศึกษา ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม คือ 1) การคิดแบบมีวิจารณญาณ 2) การสื่อสาร 3) การทำงานร่วมกัน และ 4) การสร้างสรรค์

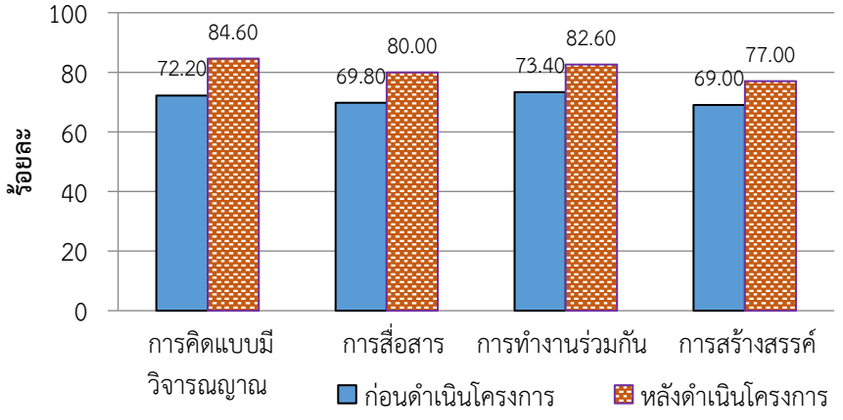
4.5 วิเคราะห์หาค่าร้อยละทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในทักษะศตวรรษที่ 21 โดยใช้สมการ

$$\text{ค่าร้อยละทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม} = \frac{\text{จำนวนนักเรียนที่เกิดทักษะ ฯ}}{\text{จำนวนนักเรียนทั้งหมด}} \times 100$$

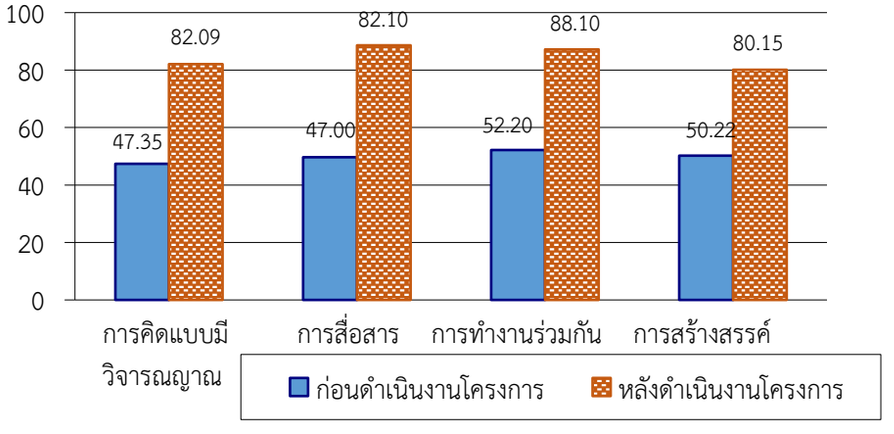
4.6 นำค่าร้อยละของทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมแต่ละข้อจากการวิเคราะห์ข้อมูลในข้อ 4.5 มาเขียนนำเสนอในรูปแบบกราฟเพื่อแสดงข้อมูลเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการนำกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานการวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาซึ่งมีรูปแบบการวิจัยที่ใช้กับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ในปีการศึกษา 2558 มาใช้กับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2561 พบว่า การเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ ปีการศึกษา 2561 จำนวน 39 คน โดยใช้แบบประเมินทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ให้นักเรียนประเมินตนเอง และครูที่ปรึกษาโครงงานประเมินนักเรียน นักเรียนเกิดทักษะการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม (นักเรียนประเมินตนเอง) ก่อนและหลังการทำโครงงานบนฐานวิจัยในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา



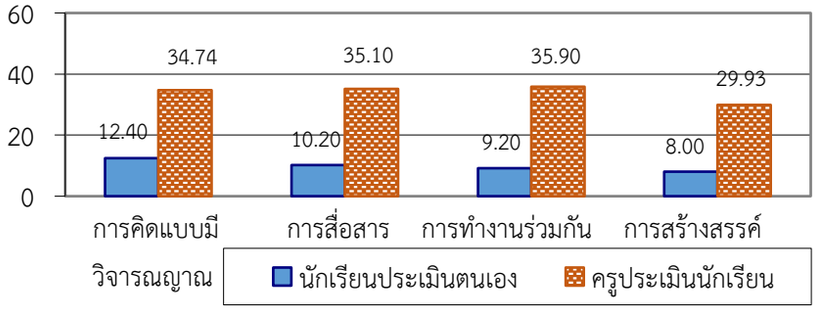
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม (ครูที่ปรึกษาโครงงานประเมินนักเรียน) ก่อนและหลังการทำโครงงานบนฐานวิจัยในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ในทักษะศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนผ่านการทำโครงงานบนฐานวิจัยในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โดยประเมินระดับทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ 4 ทักษะตามตัวบ่งชี้ คือ การคิดแบบมีวิจารณญาณ การสื่อสาร การทำงานร่วมกัน และการสร้างสรรค์ พบว่า นักเรียนประเมินตนเองว่ามีการเปลี่ยนแปลงด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมสูงขึ้นทั้ง 4 ทักษะ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างหลังดำเนินโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาและก่อนดำเนินโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 โดยการเปลี่ยนแปลงทักษะการคิดแบบมีวิจารณญาณเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 12.40 รองลงมาคือทักษะการสื่อสารเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.20 สำหรับทักษะการทำงานร่วมกันและทักษะการสร้างสรรค์เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.20 และ 8.00 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อครูที่ปรึกษาโครงงานประเมินนักเรียน พบว่า นักเรียนมีผลการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม หลังการดำเนินโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาสูงขึ้นทุกทักษะเช่นกัน สอดคล้องกับการประเมินของนักเรียนที่ประเมินตนเอง โดยมีการเปลี่ยนแปลงทักษะการทำงานร่วมกันเพิ่มขึ้นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 35.90 รองลงมาคือ ทักษะการสื่อสาร เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 35.10 ทักษะการคิดแบบมีวิจารณญาณ เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 34.74 และ ทักษะการสร้างสรรค์เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 29.93 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปภาพที่ 2

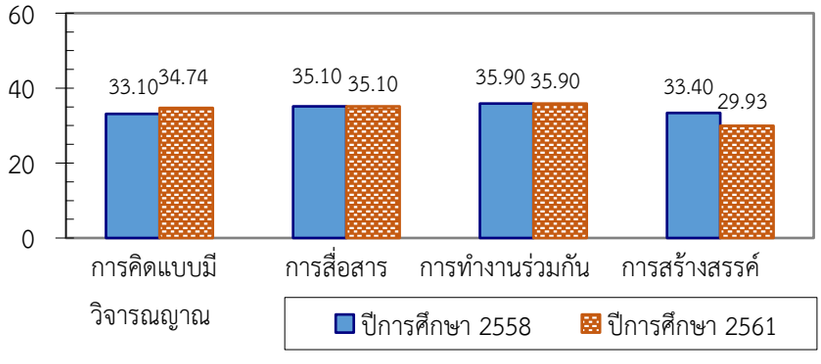
นอกจากนั้นเมื่อศึกษาผลต่างการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียน ทั้งครูที่ปรึกษาประเมินนักเรียนและนักเรียนประเมินตนเอง พบว่า ทักษะที่มีผลการประเมินสอดคล้องกัน คือ การทำงานร่วมกันและการสร้างสรรค์ ดังแสดงในรูปภาพที่ 3 เมื่อศึกษาผลต่างการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนที่ประเมินตนเอง ในปีการศึกษา 2558 เปรียบเทียบกับปีการศึกษา 2561 (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายกับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า เมื่อนำโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการวิจัยเป็นฐาน (RBL) ทำ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ให้นักเรียนทั้ง 2 ระดับสามารถเกิดทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมได้ และทักษะที่นักเรียนทั้งสองระดับชั้นมีความเห็นสอดคล้องกัน คือ ทักษะการทำงานร่วมกันและทักษะการสื่อสาร แสดงให้เห็นว่าโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาสามารถใช้ได้กับนักเรียนทั้งมัธยมศึกษาตอนต้นและระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สอดคล้องกับผลการวิจัยการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย ตั้งแต่ปีการศึกษา 2557 - 2560 (Naowarot and Hiranpongsin, 2017) และสอดคล้องกับผลการวิจัยของโรงเรียนปทุมราชวงศาในการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาโดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานด้วยวิจัยเป็นฐาน พบว่า ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากงานเขียนสะท้อนความคิดของนักเรียนเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ทั้ง 3 ด้านสูงขึ้น (Nareewong, Srisawat and Sangthong, 2015) และผลการวิจัยของโรงเรียนค้อวังวิทยาคมในการพัฒนาทักษะการเรียนรู้สู่ศตวรรษที่ 21 ด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานด้วยวิจัยเป็นฐาน พบว่า นักเรียนมีพฤติกรรมด้านความสามารถสื่อสารและความร่วมมือมากที่สุด (Sombun et al., 2016)



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบผลต่างของการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนที่ประเมินโดยนักเรียนประเมินตนเองและครูที่ปรึกษาโครงงานประเมินนักเรียนโครงงานบนฐานวิจัย ในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบผลต่างของการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียน ปีการศึกษา 2558 (นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย) กับปีการศึกษา 2561 (นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น) ที่ประเมินโดยครู โครงงานบนฐานวิจัย ในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ผลการพัฒนาทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานตามแนวทางโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา โดยประเมินระดับทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ 4 ทักษะ พบว่า เมื่อนักเรียนประเมินตนเองการเปลี่ยนแปลงด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมสูงขึ้นทั้ง 4 ทักษะ และเมื่อครูที่ปรึกษาโครงงานประเมินนักเรียนก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการ พบว่านักเรียนมีผลการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมสูงขึ้นทุกทักษะเช่นกัน ซึ่งมีความสอดคล้องกับการประเมินของนักเรียนที่ประเมินตนเอง นอกจากนั้นเมื่อศึกษาผลต่างการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียน ทั้งครูที่ปรึกษาประเมินนักเรียนและนักเรียนประเมินตนเอง พบว่า ทักษะที่มีผลการประเมินสอดคล้องกัน คือ การทำงานร่วมกัน การสร้างสรรค์ ทั้งนี้สิ่งที่สังเกตได้จากการศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนพบว่าผลการประเมินของครูที่ประเมินนักเรียนและนักเรียนประเมินตนเองมีความแตกต่างกันมากนั้นเป็นเพราะครูมีความเชื่อมั่นและเข้าใจตัวชี้วัดทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมในการประเมินนักเรียนที่ชัดเจน แต่นักเรียนบางคนยังไม่เข้าใจตัวชี้วัดในการ

ประเมินตนเองทำให้ขาดความมั่นใจในการประเมิน ดังนั้นในการทำการวิจัยครั้งต่อไปครูจะต้องมีการอธิบายและชี้แจงเกี่ยวกับตัวชี้วัดในการประเมินแต่ละทักษะให้เกิดความเข้าใจอย่างกระจ่างชัดตรงกัน และเมื่อศึกษาผลต่างการเปลี่ยนแปลงทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักเรียนที่ประเมินตนเอง ในปีการศึกษา 2558 เปรียบเทียบกับปีการศึกษา 2561 ซึ่งเป็นนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายกับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า เมื่อนำโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการวิจัยเป็นฐาน (RBL) พบว่านักเรียนทั้ง 2 ระดับสามารถเกิดทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมได้ และทักษะที่นักเรียนทั้งสองระดับชั้นมีความเห็นสอดคล้องกัน คือ ทักษะการทำงานร่วมกัน และทักษะการสื่อสาร แสดงให้เห็นว่าโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาสามารถใช้ได้กับนักเรียนทั้งมัธยมศึกษาตอนต้นและระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายซึ่งทำให้ทางโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์เกิดความมั่นใจมากยิ่งขึ้น ในการนำกิจกรรมและหลักสูตรของเพาะพันธุ์ปัญญาไปใช้ในโรงเรียนต่อไป

สรุปได้ว่าการนำโครงการเพาะพันธุ์ปัญญามาใช้ในโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ ทำให้นักเรียนเกิดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม เมื่อพิจารณารายข้อนั้นที่มีค่าเฉลี่ยสูง ทักษะด้านการคิดแบบวิจารณญาณ นักเรียนรู้จักการตัดสินใจแก้ปัญหาเกี่ยวกับตนเองได้อย่างเหมาะสม (84.6%) รองลงมาคือนักเรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ (84%) สังเคราะห์ข้อมูลจนนำไปใช้ในการแก้ปัญหาและตัดสินใจได้ ทักษะด้านการสื่อสาร นักเรียนมีความสามารถในการถ่ายทอดองค์ความรู้ความคิดและความเข้าใจของตนเองโดยใช้ภาษาได้อย่างเหมาะสม(83%) รู้จักใช้วิธีการสื่อสารที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพ (82.6%) ด้านทักษะการทำงานร่วมกัน นักเรียนได้เรียนรู้การวางแผนและการทำงานร่วมกัน(84.2%) และการแก้ปัญหาภายในกลุ่ม(83.6%) ส่วนทักษะด้านการสร้างสรรค์นักเรียนเกิดการเรียนรู้ทักษะในการคิดนอกกรอบอย่างสร้างสรรค์(83%)มากที่สุด รองลงมาคือการคิดอย่างคล่องแคล่ว คิดยืดหยุ่น คิดริเริ่มและคิดละเอียดลออตามลำดับ ซึ่งทักษะเหล่านี้ที่นักเรียนได้รับตลอดโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา 1 ปีการศึกษาสามารถพัฒนาผู้เรียนให้เกิดทักษะในศตวรรษที่ 21 ได้อย่างแท้จริง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเพาะพันธุ์ปัญญาของโรงเรียนสมเด็จพระญาณสังวร ในพระสังฆราชูปถัมภ์ สำเร็จลุล่วงได้ต้องขอบคุณนายเชษฐา ค้าคล่อง ผู้อำนวยการโรงเรียน นายเชิดชัย สิงห์คิบุตร รองผู้อำนวยการโรงเรียนที่สนับสนุนให้มีโครงการนี้ในโรงเรียน และที่สำคัญขอขอบคุณครูที่ปรึกษาโครงงานทุกท่านที่มีส่วนทำให้โครงการเพาะพันธุ์ปัญญาของโรงเรียนแห่งนี้ประสบผลสำเร็จ ขอบคุณผู้ปกครองนักเรียนและปราชญ์ชุมชนที่มีส่วนสนับสนุนชี้แนะ แนะนำ และที่สำคัญขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/1 ปีการศึกษา 2561 ทุกคนที่ทุ่มเท แรงกายแรงใจทำโครงงานจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ขอบคุณ รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ์ ผู้เชี่ยวชาญของโครงการฯ และ ดร.สุภาวดี หิรัญพงศ์สิน ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำโครงงาน RBL ขอบคุณโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาศูนย์พี่เลี้ยงมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และธนาคารกสิกรไทยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

References

Evaluation Office. (2017). **The Ordinary National Educational Test (O-NET) Scores Report in the 2017 Academic year** (in Thai). Somdejprayansungworn School Established under the Patronage Supreme Patriarch, Kham Khuean Kaeo District, Yasothon Province.

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.

Naowarot, D., Boknoi, S. and Hiranpongsin, S. (2016). Changes in learning and innovation of the 21st century skills of students in Pohpanpunya Project of Somdejprayansungworn School Established under the Patronage Supreme Patriarch (in Thai). In **Proceedings of 10th Ubon Ratchathani University Research Conference** (pp. 379-387). July 7–8, 2016. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

Naowarot, D. and Hiranpongsin, S. (2017). A skill change of students in the Pohpanpunya Project of Somdejprayansungworn School Established under the Patronage Supreme Patrirarch towards Thailand 4.0 (in Thai). In **Proceedings of 11th Ubon Ratchathani University Research Conference** (pp. 169-176). July 13–14, 2017. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Naowarot, D., Jarearnpong, Y., Thongtep, S. and Hengyodmak, S. (2015). Analytical thinking skill development of students participated in the PPPY Project at the Somdejprayansungworn Nai Prasungkarachupatum School (in Thai). In **Proceedings of 9th Ubon Ratchathani University Research Conference** (pp. 250-258). July 2–3, 2015. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

Nareewong, A., Srisawat, P. and Sangthong, J. (2015). Development of learning in the 21st century by reasearch-based learning project of Pohpanpunya' s Students in Phatumrachwongsa School (in Thai). In **Proceedings of 9th Ubon Ratchathani University Research Conference** (pp. 243-249). July 2–3, 2015. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

Panich V. (2012). **The way to create learning for students in the 21st century** (in Thai). Bangkok: Sodsri Saritwong Foundation.

Pattiyathanee, S. (2003). **Educational Measurement** (in Thai). Kanlasin: Prasan Kanphim.

Phansena, K. (2016). Education Thailand 4.0 or Thailand Education 4.0? (in Thai). Retrieved 1 December 2018, from **KruKrittin**: http://www.krukittin.info/?p=744

Prasertsan, S. (2012). **Research–based project: New learning process of Thai education** (in Thai). Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF).

Sombun, S., Srisakham, B., Pimsawat, P., Mullakhut, E., Tongmun, S., Jumpa, N. and Sopapol, S. (2016). The development of learning skills into the 21st century learning and innovation of Mattayomsuksa 2 Students in Khowangwittayakhom School using research based learning activities (in Thai). In **Proceedings of 10th Ubon Ratchathani University Research Conference** (pp. 421-426). July 7–8, 2016. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

Ubon Ratchathani University. (2016). Know about Pohpanpunya (in Thai). Retrieved 1 December 2020, from **Ubon Ratchathani University Pohpanpunya Coaching Center**: http://pohpanpunya-ubu.net/ver5/about.php

บทความวิจัย

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

เอกราช ตาแก้ว[1,*]
[1]*กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนรัตนราษฎร์บำรุง อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี*
[*]*Email: Aekchem44@gmail.com*

รับบทความ: 18 มกราคม 2564 แก้ไขบทความ: 27 เมษายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 10 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น และ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น โดยกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี ปีการศึกษา 2560 จำนวน 34 คน ได้มาจากการเลือกสุ่มอย่างง่าย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ แบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที ผลการวิจัยพบว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน ในครั้งนี้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.39/81.57 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ 80/80 นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ($\overline{X}$ =24.47, S.D. =4.20) สูงกว่าก่อนเรียน ($\overline{X}$ =16.00, S.D. =2.64) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้นี้อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ =4.48, S.D. =0.22)

คำสำคัญ: ธาตุและสารประกอบ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ แนวคิดห้องเรียนกลับด้าน

อ้างอิงบทความนี้
เอกราช ตาแก้ว. (2564). การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 72-83.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

The development of learning activities packages on elements and compounds by inquiry based learning incorporated with flipped classroom for grade-10 students

Aekgaraj Tagaew[1*]

[1]*Department of Science and Technology, Ratanaratbumrung School, Ban Pong, Ratchaburi*

[*]*Email: Aekchem44@gmail.com*

Received <18 January 2021>; Revised <27 April 2021>; Accepted <10 May 2021>

Abstract

The purposes of this research were 1) to find out the efficiency of learning activities packages on elements and compounds by inquiry-based learning incorporated with flipped classroom, 2) to compare the learning achievement using the developed learning activities packages and 3) to study the students' satisfaction using the developed learning activities packages. The samples were 34 students of grade-10 students who studying in the academic year 2017 in a School of Ratchaburi province selected by cluster random sampling method. The research instruments were the learning activities packages, the learning achievement test, and the satisfaction evaluation form. The collected data were analyzed by mean, standard deviation, and t-test. The results revealed that the efficiency of the developed learning activities packages was of 81.39/81.57, higher than the committed of 80/80 criterion. The learning achievement of students on element and compounds unit after learning with using the developed learning activities packages ($\overline{X}$ =24.47, S.D. =4.20) was significantly higher than before learning ($\overline{X}$ =16.00, S.D. =2.64) at the level of .05. In addition, the students' satisfaction of learning via this approach was at high level ($\overline{X}$ =4.48, S.D. =0.22).

Keywords: Elements and compounds, learning activities package, inquiry-based learning, flipped classroom

Cite this article:

Tagaew, A. (2021). The development of learning activities packages on elements and compounds by inquiry based learning incorporated with flipped classroom for grade-10 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 72-83.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

จุดมุ่งหมายของการจัดการศึกษาในยุคแห่งการเรียนรู้ ที่จะทำให้คนไทยสามารถอยู่ในสังคมโลกได้อย่างมีความสุข การศึกษาไทยต้องก้าวไปสู่เป้าหมาย “ยุคความรู้” โดยการจัดการศึกษาควรเป็นไปในทิศทางของความสุขในการทำงานอย่างมีเป้าหมายเพื่อชีวิตที่ดีของศิษย์ ครูควรกระตุ้นให้ศิษย์เรียนรู้ตลอดชีวิต ครูจึงต้องยึดหลัก “สอนน้อย เรียนมาก” ด้วยการจัดกิจกรรมต่าง ๆ ให้ผู้เรียนประสบผลสำเร็จได้นั้น ครูต้องเพิ่ม “ทักษะเพื่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21” (21st Century Skills) โดยออกแบบการเรียนรู้และอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ ให้ศิษย์ได้เรียนรู้จากการเรียนรู้แบบลงมือทำแล้วการเรียนรู้ก็จะเกิดจากภายในใจและสมองของตนเอง จากการค้นคว้าและลงมือทำด้วยตนเองของศิษย์ โดยมีครูช่วยแนะนำ และช่วยออกแบบกิจกรรมที่ช่วยให้นักเรียนแต่ละคนสามารถประเมินความก้าวหน้าของการเรียนรู้ของตนเองได้ (Panich, 2012) และการศึกษาก็ได้รับการคาดหมายให้ทำหน้าที่ต่าง ๆ มากมายทั้งในทางสังคม การเมืองและเศรษฐกิจ และถ้าการศึกษาที่ไม่มีคุณภาพจึงก่อให้เกิดทรัพยากรบุคคลที่ด้อยคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในศตวรรษที่ 21 นักเรียนต้องมีทักษะการคิดและกระบวนการดำรงชีวิตที่แตกต่างจากอดีตที่ผ่านมาอย่างมีนัยสำคัญ การแก้ปัญหาคุณภาพการศึกษาไทยโดยเฉพาะการศึกษาระดับขั้นพื้นฐานเป็นเรื่องที่ยากแม้จะมีความพยายามปฏิรูปการศึกษามากว่า 10 ปี ตั้งแต่การปฏิรูปรอบแรกเมื่อปี 2542 จนมาถึงการปฏิรูปรอบที่สองเมื่อปี 2552 ก็ยังไม่สามารถทำให้คุณภาพการศึกษาของประเทศดีขึ้นได้อย่างทั่วถึง เพราะหลักสูตรและตำราเรียนของไทยยังไม่สอดคล้องกับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ซึ่งมีผลทำให้การเรียนการสอน และการวัดประเมินผลการเรียนรู้ยังคงเน้นการจดจำเนื้อหามากกว่าการเรียนเพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจอย่างแท้จริง (Thailand Development Research Institute, 2014) และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่าการศึกษาคือเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาคนและสังคมกล่าวคือ การศึกษาจะพัฒนาคนให้มีคุณลักษณะตามที่สังคมต้องการ เพื่อให้คนเป็นปัจจัยในการพัฒนาสังคมต่อไป ดังนั้นการศึกษาจึงต้องแสดงบทบาทให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมโดยรวม ซึ่งปัจจุบันสังคมโลกและสังคมไทยกำลังก้าวสู่ศตวรรษที่ 21 อันเป็นยุคที่มีความซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Wangsrikoon, 2014) ดังนั้นการศึกษาของไทยถึงเวลาที่ต้องปรับเปลี่ยนเพื่อให้การศึกษาสามารถสร้างผลผลิตได้สอดคล้องกับความต้องการและบริบทของสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) ยุทธศาสตร์ที่ 8 มีแนวทางการพัฒนาสภาวะแวดล้อมของการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และ นวัตกรรม ด้านบุคลากรวิจัยที่ต้องเร่งการผลิตบุคลากรสายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีคุณภาพและ สอดคล้องกับความต้องการโดยเฉพาะในสาขา STEM วิทยาศาสตร์ (Science : S) เทคโนโลยี (Technology : T) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering : E) และคณิตศาสตร์ (Mathematics : M) ด้วยการสร้างสิ่งจูงใจ สร้างแรงบันดาลใจ และสนับสนุนทุนการศึกษา เพื่อเพิ่มจำนวนผู้สำเร็จการศึกษาในสายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและพัฒนาระบบการเรียนการสอนที่เชื่อมโยงระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ในสถานศึกษา รวมทั้งเร่งผลิตกำลังคนและครูวิทยาศาสตร์ที่มีคุณภาพ (Office of the National Economic and Social Development Council, 2016) แต่จากรายงานผลการทดสอบระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ที่ใช้การสอบวัดความรู้และความคิดของนักเรียนในปีสุดท้ายของระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนทั้งประเทศ พบว่าคะแนนเฉลี่ยวิชาวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2555-2559 เท่ากับ 33.10, 30.48, 32.54, 33.40 และ 31.62 ตามลำดับ (National Institute of Education Testing Service, 2017) ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 จากผลการทดสอบดังกล่าวสะท้อนให้เห็นปัญหาในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ที่อยู่ในระดับต่ำ

จากสภาวะดังกล่าวจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ครูและนักเรียนจะต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอนให้สอดคล้องและสมดุลกับการเปลี่ยนแปลงของโลกที่นับวันจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงมากขึ้น (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2012) จากการศึกษาแนวคิดทฤษฎี รูปแบบการสอนและเทคนิคการสอนต่าง ๆ พบว่ามีหลายแนวคิด ทฤษฎีรูปแบบการสอน และเทคนิคการสอนที่สามารถส่งเสริมทักษะกระบวนการคิด การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองได้เผชิญกับสถานการณ์จริง ใช้การคิดอย่างมีวิจารณญาณในการแก้ปัญหา การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีการสร้างเสริมความรู้ (Constructivism) ที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะในการศึกษาค้นคว้า เช่น การสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การสืบค้น การอภิปราย การอธิบาย การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ การเปรียบเทียบ เป็นต้น การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (Inquiry Cycle) เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวการสร้างสรรค์ความรู้โดยให้ผู้เรียนค้นหาความรู้ได้ด้วยตนเอง หรือสร้างสรรค์ ความรู้ด้วยตนเอง (Dechakupt, 2011) ดังนั้น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้จะสามารถพัฒนาความสามารถในด้านกระบวนการคิดและทำให้เกิดการเรียนรู้ทางด้านความรู้ ความจำ ด้านความเข้าใจและการนำไปใช้ได้และงานวิจัยของ Sriphon (2013) ได้นำรูปแบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น ซึ่งเห็นได้ว่าการจัดการ

เรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ช่วยให้นักเรียนได้แสวงหาความรู้ด้วยตนเอง จะได้รับประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางความคิด ค้นพบความรู้หรือแนวทางวิทยาศาสตร์และแนวทางแก้ปัญหาได้เอง

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) เป็นการเรียนที่ครูจะเน้นให้นักเรียนเข้าใจหลักการมากกว่าท่องจำ หัวใจคือ ครูทำหน้าที่ช่วยแนะนำการเรียนของนักเรียน มากกว่าทำหน้าที่ถ่ายทอดความรู้ ดังนั้น ครูซึ่งเป็นผู้มีบทบาทสำคัญ ในการส่งเสริมและสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ให้กับนักเรียนจึงต้องหานวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ที่เอื้อต่อนักเรียน ให้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วม ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง สามารถพัฒนานักเรียนได้เต็มตามศักยภาพ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ยึดผู้เรียนเป็นสำคัญ เน้นการฝึกใช้ทักษะการคิดขั้นสูงต่าง ๆ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกันระหว่างนักเรียนด้วยกันหรือกับครูผู้สอน (Panich, 2012) ผลจากการวิจัยการใช้แนวคิดห้องเรียนกลับด้านในการจัดการเรียนรู้ส่งผลให้นักเรียนพัฒนาทักษะการคิด เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและงานวิจัยของ Rachatatanakul (2015) ได้ทำการพัฒนาชุดการสอนสื่อประสมเรื่องปฏิกิริยาเคมีด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับเทคนิค KWLH Plus โดยใช้แนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบกลับด้านชั้นเรียน เพื่อพัฒนาความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ ชุดการสอนสื่อประสม เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องปฏิกิริยาเคมี แบบประเมินความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และแบบสอบถามจิตวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่าชุดการสอนสื่อประสมเรื่องปฏิกิริยาเคมี มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 80.267/82.351 ผลการเรียนรู้เรื่องปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนหลังเรียนด้วยชุดการสอนสื่อประสม มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าผลการเรียนรู้ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากประสบการณ์การสอนของผู้วิจัยในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในรายวิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตลอดระยะเวลา 11 ปี ที่ผ่านมา พบว่า เนื้อหาในหนังสือเรียนนักเรียนได้เรียนรู้เฉพาะหลักการหรือทฤษฎี โดยที่นักเรียนไม่ได้ทำกิจกรรมเกี่ยวกับการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการขาดแคลนอุปกรณ์สารเคมีหรือความไม่พร้อมของสภาพห้องเรียนสำหรับปฏิบัติการทดลองทางเคมีอาจจะด้วยความปลอดภัยหรือจำนวนนักเรียนต่อห้องที่มีจำนวนมากต่อครูผู้สอนเพียง 1 คน หรือในบางครั้งโรงเรียนมีการจัดกิจกรรมให้นักเรียนทุกระดับชั้นเข้าร่วมกิจกรรม ส่งผลให้การเรียนรู้ขาดความต่อเนื่องและไม่มีเวลามากพอที่จะสอนให้ครบตามตัวชี้วัด จึงทำให้ครูจัดการเรียนรู้แบบบรรยายโดยส่วนใหญ่ หรือแจกใบความรู้ให้นักเรียนศึกษาด้วยตนเองแล้วให้นักเรียนทำใบงานมาส่ง บางหัวข้อที่ยาก มโนมติเป็นนามธรรม นักเรียนไม่สามารถเรียนรู้ด้วยตนเองหรือเรียนรู้ได้ต้องใช้เวลา และถ้าผู้สอนเน้นการบรรยายเนื้อหามากเกินไป ไม่มีการปฏิบัติการทดลอง จะทำให้บรรยากาศในห้องเรียนไม่สนุก และนักเรียนเบื่อหน่ายต่อการเรียนวิชาเคมี ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้นักเรียนส่วนหนึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินในรายวิชาเคมี ภาคเรียนที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 5.72 เนื่องจากนักเรียนไม่ส่งภาระงานหรือใบงานที่ได้รับมอบหมายจากครูผู้สอน (Academic Department, Ratanaratbumrung School, 2016) ผู้วิจัยจึงได้ค้นหาสาเหตุ และหาวิธีการแก้ไขการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักเรียนมีความรู้ความสามารถในการเรียนวิชาเคมี เรื่อง ธาตุและสารประกอบอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพบว่าหากทำการสอนในรูปแบบเดิมที่ยังให้ครูเป็นศูนย์กลางในการจัดการเรียนรู้ เน้นการบรรยายสำหรับวิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จะส่งผลให้นักเรียนส่วนมากไม่สามารถจัดการความรู้ ไม่เข้าใจเนื้อหา ขาดการคิดวิเคราะห์และวิธีการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาโจทย์ และงานวิจัยของ Namso et al. (2013) การพัฒนาชุดการเรียนเรื่อง ธาตุและสารประกอบที่เน้นความสามารถในการวิเคราะห์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า 1) ชุดการเรียน เรื่องธาตุและสารประกอบ ที่เน้นความสามารถในการคิดวิเคราะห์มีประสิทธิภาพ 82.55/81.71 2) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 และ 3) นักเรียนมีความคงทนในการเรียนรู้ทั้งด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลังจากเรียนด้วยชุดกิจกรรมเรื่อง ธาตุและสารประกอบที่เน้นความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และงานวิจัยของ Meela and Artdej (2017) จากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนในการเรียนวิชาเคมี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเรียนแบบบรรยายตามทฤษฎีกับกิจกรรมการทดลอง พบว่านักเรียนมีความกระตือรือร้นและสนใจในการทดลองมาก เพราะมีการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ชัดเจน เช่น การเปลี่ยนแปลงสี การเกิดฟองแก๊ส และตะกอน และนักเรียนจะถามเสมอว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร ดังนั้นการจัดการเรียนรู้เคมีด้วยการใช้สื่อประกอบ เช่น แบบจำลองและภาพเคลื่อนไหวจากอินเตอร์เน็ต สามารถตอบคำถามและสามารถพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์ในขั้นบูรณาการของผู้เรียนได้และเหมาะสำหรับการเรียนวิชาเคมี

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ดังกล่าวผู้วิจัยเชื่อว่าหากนำการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่องธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน มาใช้กับการเรียนวิชาเคมีจะทำให้นักเรียนสนใจเรียนวิชาเคมีมากขึ้นเพราะมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งทางการศึกษาที่จะสนับสนุนการเรียนรู้และสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการคิด ทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนได้ทุกที่และทุกเวลา เหมาะกับสภาพสังคมที่เปลี่ยนไปในศตวรรษที่ 21

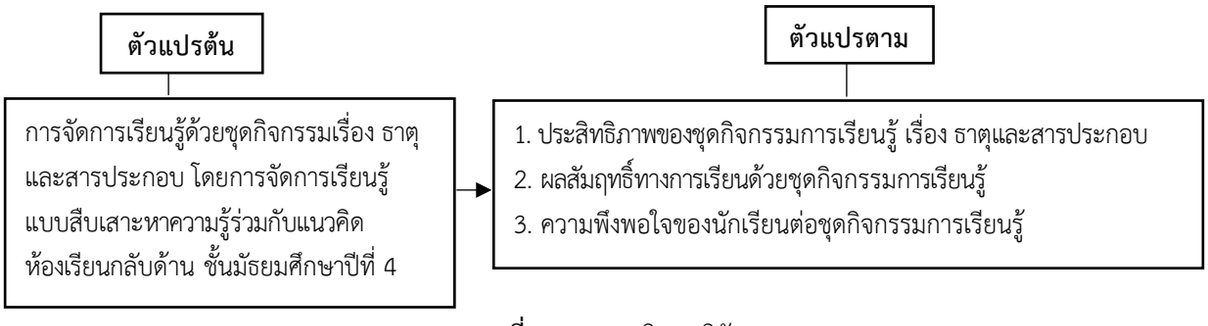
Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เป็นชุดกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับนักเรียน ซึ่งอาศัยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ตามแนวทฤษฎีการสร้างเสริมความรู้ (Constructivism) (Dechakupt, 2011) ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน หมายถึงการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนศึกษาเนื้อหาสาระด้วยตนเองที่บ้านจากห้องเรียนออนไลน์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ผู้วิจัยจัดสร้างขึ้นก่อนเข้าชั้นเรียน แล้วมาฝึกปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียนด้วยการนำการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้มาเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ทั้งนี้เนื้อหาสาระที่ให้นักเรียนศึกษาที่บ้านจากห้องเรียนออนไลน์และในห้องเรียนเป็นเนื้อหาเดียวกัน องค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ประกอบด้วย คู่มือนักเรียน คำสั่งหรือการมอบหมายงาน เนื้อหาสาระและสื่อวีดิทัศน์ออนไลน์ การประเมินผล ขั้นตอนการผลิตชุดกิจกรรมการเรียนรู้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นการวิเคราะห์เนื้อหา การวิเคราะห์หลักสูตรในเรื่องเนื้อหาจุดประสงค์ 2) ขั้นวางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ กำหนดกิจกรรมการเรียนรู้ ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง 3) ขั้นตอนการผลิตสื่อ จัดทำชุดกิจกรรมการเรียนรู้หาประสิทธิภาพ ทดลองใช้ ปรับปรุงแก้ไข 4) ขั้นการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมที่พัฒนาขึ้น กรอบแนวคิดการวิจัย แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยในครั้งนี้จำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

แบบแผนการวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบกลุ่มตัวอย่างเดียวมีการทดสอบก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน

กลุ่มตัวอย่างและประชากร กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 34 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มอย่างง่าย ด้วยวิธีการจับฉลากโดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม จากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี จำนวน 218 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

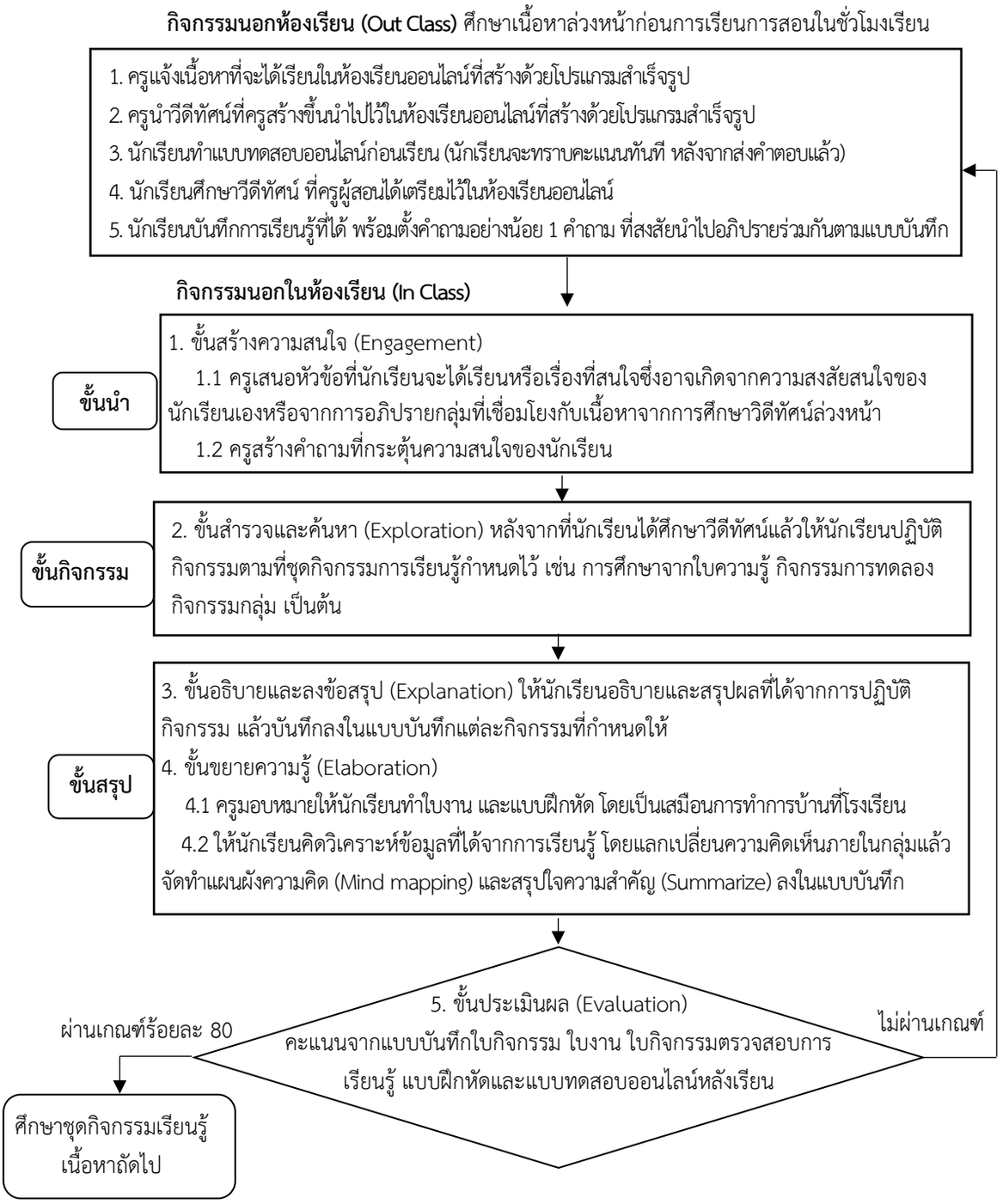
1. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 8 ชุด ใช้เวลา 2 ชั่วโมงต่อชุดกิจกรรม รวม 16 ชั่วโมง นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสมขององค์ประกอบต่าง ๆ จากนั้นนำกลับมาปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ นำไปหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรม ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 80/80 โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แบบเดี่ยว (1:1) ทดลองกับนักเรียน 3 คน โดยทดลองใช้กับนักเรียนเก่ง ปานกลางและอ่อน อย่างละ 1 คน พบว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 64.19/62.22 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ ทำการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น แล้วจึงนำไปใช้ทดสอบประสิทธิภาพในขั้นที่ 2 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 แบบกลุ่มเล็ก (1:10) เป็นการนำชุดกิจกรรม ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียน 9 คน โดยทดลองใช้กับนักเรียนเก่ง ปานกลางและอ่อน พบว่า ชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพเท่ากับ 71.51/70.74 มีแนวโน้มของประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ สูงขึ้นจึงได้ดำเนินการปรับปรุงพัฒนาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในขั้นตอนที่ 3 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 แบบภาคสนาม (1:100) นำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียน 40 คน พบว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.17/80.42 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

จากนั้นจึงนำชุดกิจกรรมไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพ มีขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สำหรับตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละชุดประกอบด้วย 1) คู่มือครูประกอบการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 2) ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ และ 3) วิดีทัศน์สำหรับเรียนออนไลน์ ดังภาพที่ 3

(ก) ตัวอย่างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ (ข) การศึกษาวีดิทัศน์ในห้องเรียนออนไลน์

(ค) กิจกรรมการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลัก (ง) กิจกรรมแบบจำลองแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ธาตุและสารประกอบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก (ตอบถูกได้ 1 และตอบผิดได้ 0) วัดพฤติกรรมด้านความรู้ความสามารถทางสติปัญญา 5 ด้าน ได้แก่ ความจำ จำนวน 3 ข้อ ความเข้าใจ จำนวน 10 ข้อ ประยุกต์ใช้ จำนวน 10 ข้อ วิเคราะห์ จำนวน 5 ข้อ และประเมินค่า จำนวน 2 ข้อ รวมจำนวน 30 ข้อ ใช้เวลา 55 นาที มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.30 - 0.65 และค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.34 - 0.76 ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้สูตร KR-20 (Sukpiti, 2004) เท่ากับ 0.91 ดังตัวอย่างแบบทดสอบในภาพที่ 4

มาตรฐาน/ตัวชี้วัด	**แบบทดสอบ**
ว 3.1 ม 4-6/1 สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างอะตอม และสัญลักษณ์นิวเคลียร์	6. อะตอมคู่ใดเป็นอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน 1. $^{18}_{7}A$ และ $^{18}_{9}B$ 2. $^{9}_{8}B$ และ $^{18}_{9}C$ 3. $^{17}_{9}C$ และ $^{18}_{9}D$ 4. $^{27}_{9}D$ และ $^{27}_{7}A$

ภาพที่ 4 ตัวอย่างแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก

3. แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน ซึ่งผู้วิจัยสร้างแบบประเมินชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามวิธีของ Likert (Anegasukha, 2011) กำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด (4.51-5.00) มาก (3.51-4.50) ปานกลาง (2.51-3.50) น้อย (1.51-2.50) และน้อยที่สุด (1.00-1.50) โดยพิจารณาประเด็นคำถาม 4 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านการจัดการเรียนรู้ จำนวน 6 ข้อ 2) ด้านบรรยากาศในการเรียน จำนวน 3 ข้อ 3) ด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 2 ข้อ และ 4) ด้านประโยชน์ จำนวน 4 ข้อ รวมจำนวน 15 ข้อ ซึ่งได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบประเมินความพึงพอใจเท่ากับ 0.89

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการรวบรวมข้อมูล ดังต่อไปนี้

1. ก่อนทำการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำความเข้าใจกับนักเรียนเกี่ยวกับข้อตกลงในการเรียนการสอน และชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน เรื่อง ธาตุและสารประกอบ.จำนวน 30 ข้อ ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 55 นาที

3. ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามชุดกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 8 ชุด ดังนี้ ชุดที่ 1 เรื่อง วิวัฒนาการของแบบจำลองอะตอม ชุดที่ 2 เรื่อง อนุภาคมูลฐานของอะตอมและสัญลักษณ์นิวเคลียร์ ชุดที่ 3 เรื่อง การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลัก ชุดที่ 4 เรื่อง การเกิดไอออนของธาตุ ชุดที่ 5 เรื่อง ตารางธาตุ ชุดที่ 6 เรื่อง พันธะไอออนิก ชุดที่ 7 เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ และชุดที่ 8 เรื่อง พันธะโลหะ โดยแต่ละชุดกิจกรรมการเรียนรู้ใช้เวลา 2 ชั่วโมง รวม 16 ชั่วโมง

4. ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เรื่อง ธาตุและสารประกอบ.ซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดิมแต่มีการสลับข้อคำถามและสลับตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 55 นาที

5. สอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้านโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. หาค่าสถิติ ได้แก่ ค่าคะแนนเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้

2. หาค่าประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้ค่าคะแนนรวมจากการทำกิจกรรมระหว่างเรียนแต่ละชุดกิจกรรมการเรียนรู้เป็นคะแนนประสิทธิภาพกระบวนการ (E_1) และใช้ค่าคะแนนการทดสอบหลังเรียนเป็นคะแนนประสิทธิภาพผลลัพธ์ (E_2)

3. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent samples t-test)

4. ประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ประสิทธิภาพชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน โดยใช้คะแนนรวมการทำกิจกรรมระหว่างเรียน (E_1) แต่ละชุดกิจกรรมการเรียนรู้ และคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (E_2) จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด รวม 8 ชุด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพชุดกิจกรรมการเรียนรู้จากคะแนนรวมการทำกิจกรรมระหว่างเรียนแต่ละชุดกิจกรรมการเรียนรู้ และคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน

จำนวนนักเรียน	ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1)								รวม 310 คะแนน	คะแนนหลังเรียน (E_2) 30 คะแนน
	ชุดที่ 1 (40)	ชุดที่ 2 (40)	ชุดที่ 3 (45)	ชุดที่ 4 (40)	ชุดที่ 5 (40)	ชุดที่ 6 (35)	ชุดที่ 7 (40)	ชุดที่ 8 (30)		
34	1094	1105	1180	1110	1094	1048	1129	818	8578	832
ค่าเฉลี่ย	32.18	32.50	34.71	32.65	32.18	30.82	33.21	24.06	31.54	24.13
E_1/E_2 (ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย)									81.39	81.57

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ตามตารางที่ 1 พบว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.39/81.57 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 โดยที่ร้อยละ 81.39 คือ คะแนนเฉลี่ยจากการทำกิจกรรมระหว่างเรียนแต่ละชุดกิจกรรมการเรียนรู้ (E_1) และร้อยละ 81.57 คือ คะแนนเฉลี่ยร้อยละจากการทำแบบทดสอบ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

หลังเรียน (E_2) จากผลที่ได้กล่าวมาแล้วแสดงให้เห็นว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทำให้มีความสะดวกในการใช้งานส่งผลให้การจัดการเรียนรู้เข้าใจง่าย และประหยัดเวลาในการอธิบายเนื้อหาในชั้นเรียน เนื่องจากนักเรียนได้ศึกษาเนื้อหาล่วงหน้ามาแล้ว นักเรียนสามารถทำความเข้าใจด้วยตนเองได้ ทำให้มีเวลาในชั้นเรียนเพิ่มที่สามารถนำมาจัดกิจกรรมการทดลองในชั้นเรียนได้มากยิ่งขึ้น มีเวลาในการตรวจสอบ และช่วยเหลือในการทำแบบฝึกหัดของนักเรียน สอดคล้องกับ Office of the National Education Commission (2016) ที่ต้องการเตรียมนักเรียนให้พร้อมในโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างพลวัต จะต้องส่งเสริมและพัฒนาให้มีทักษะในศตวรรษที่ 21 ทั้งทักษะการทำงาน ทักษะการดำรงชีวิต และที่สำคัญจะต้องเป็นผู้ที่มีคุณธรรม จริยธรรม และมีสุขภาวะ โดยครูผู้สอนต้องออกแบบกิจกรรมให้มีความเชื่อมโยงระหว่างกิจกรรมลดเวลาเรียนและกิจกรรมเพิ่มเวลารู้ โดยกิจกรรมลดเวลาเรียน เป็นการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนานักเรียนให้มีความรู้ ความสามารถตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่ลดบทบาทผู้สอนในการบรรยายหรือให้ความรู้เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติจริง และกิจกรรมเพิ่มเวลารู้เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเน้นเป้าหมายหลัก 4H ได้แก่ กิจกรรมที่มุ่งพัฒนาสมอง (Head) กิจกรรมที่มุ่งพัฒนาจิตใจ (Heart) กิจกรรมที่มุ่งพัฒนาทักษะการปฏิบัติ (Hand) และกิจกรรมที่มุ่งพัฒนาสุขภาพ (Health) ซึ่งนักเรียนจะได้ฝึกทักษะและเสริมสร้างคุณลักษณะอันพึงประสงค์ที่เชื่อมโยงจากกิจกรรมลดเวลาเรียนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lakat (2016) สร้างชุดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทาง เรื่อง มัลติมีเดียเบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าประสิทธิภาพเท่ากับ 81.78/82.13 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดเท่ากับ 80/80 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Supkul et al. (2020) ได้วิจัยเรื่องการพัฒนาการจัดกิจกรรมเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทางร่วมกับการใช้เฟซบุ๊กในรายวิชาคณิตศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้รายวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทางด้วยชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพ 81.16/84.38

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน

จากการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	N	คะแนนสูงสุด	คะแนนต่ำสุด	$\overline{X}$	S.D.	t
ก่อนเรียน	34	21	13	16.00	2.64	10.84*
หลังเรียน	34	29	16	24.47	4.20	

* มีระดับนัยสำคัญที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ธาตุและสารประกอบ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน ($\overline{X}$ =24.47, S.D.=4.20) สูงกว่าก่อนเรียน ($\overline{X}$ =16.00, S.D. =2.64) เมื่อเปรียบเทียบแล้วมีความแตกต่างกันเท่ากับ 8.47 คะแนน และจากการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของนักเรียนหลังเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้สูงกว่าค่าเฉลี่ยก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยที่คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อาจเนื่องมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีเนื้อหาเรียงลำดับจากง่ายไปยาก ใช้ภาษาอ่านเข้าใจง่ายชัดเจน ครูอธิบายเสริมและยกตัวอย่างในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักเรียนเข้าใจเพิ่มขึ้นและมีการทดสอบออนไลน์ก่อน-หลังการจัดการเรียนรู้ เป็นการกระตุ้นให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นที่จะพัฒนาตนเอง และเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งนักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย ทำให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี ทำกิจกรรมที่จัดไว้ในชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความสอดคล้องกับพัฒนาการของผู้เรียน โดยผู้เรียนสามารถศึกษาเนื้อหาล่วงหน้าจากวีดิทัศน์ออนไลน์ประกอบชุดกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียนออนไลน์ ซึ่งวีดิทัศน์ที่เป็นสื่อประกอบการเรียนรู้ที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหาที่อัปโหลด (Upload) ไว้ในห้องเรียนออนไลน์ มีความยาวไม่เกิน 17 นาที โดยให้นักเรียนศึกษานอกชั้นเรียน (Out Class) เพื่อเตรียมความรู้พื้นฐานก่อนทำกิจกรรมในห้องเรียน (In Class) ทั้งนี้การจัดเตรียมวีดิทัศน์สอดคล้องกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในห้องเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถเข้าไปศึกษาทำความเข้าใจ โดยจะดูซ้ำกี่รอบก็ได้ตามความต้องการเพื่อทำความเข้าใจในเนื้อหานั้น และผู้วิจัยได้สร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 8 ชุด โดยจัดทำเป็นรูปเล่มอย่างสวยงามมีภาพประกอบการเรียนรู้ ตลอดจนได้สร้างใบกิจกรรมที่หลากหลาย จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dengwansri et al. (2018) การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ตารางธาตุ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยให้นักเรียนไปร่วมกันศึกษาแอปพลิเคชันตารางธาตุต่าง ๆ บนระบบแอนดรอยด์บนโทรศัพท์มือถือหรือแท็บเล็ต มาใช้ในการอธิบายเนื้อหาและหัวข้อที่จะเรียน พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kheawpra-in (2017) การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาชีววิทยาและทักษะการวิจัยของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่จัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานร่วมกับแนวคิดการกลับด้านชั้นเรียน พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้การวิจัยเป็นฐานร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้านหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และทักษะการวิจัยระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยเป็นฐานร่วมกับแนวคิดการกลับด้านชั้นเรียน โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tipchai et al. (2019) การจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ ทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองโดยลงมือปฏิบัติ ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น และส่งผลให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงจากมโนมติที่ถูกต้องน้อยหรือผิดไปเป็นความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องมากขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pananchai and Supasorn (2020) ศึกษาผลการพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องสารประกอบไอออนิก พบว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับโมเดลระดับอนุภาค สามารถช่วยพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียนให้ดีขึ้นได้ ตลอดจนช่วยลดความเข้าใจมโนมติที่ผิดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ เฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.48, S.D = 0.22) ดังตารางที่ 3 พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน เฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.48, S.D = 0.22) และเมื่อประเมินแต่ละด้านพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจด้านบรรยากาศในการเรียนอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.68, S.D = 0.42) เนื่องจากนักเรียนได้ค้นคว้าด้วยตนเอง ลงมือปฏิบัติ ร่วมกิจกรรม ร่วมคิดแก้ปัญหาแลกเปลี่ยนความรู้และทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และมีโอกาสได้อภิปรายร่วมกับเพื่อน ๆ เมื่อนักเรียนไม่เข้าใจจะถามเพื่อนหรือครูได้เพราะครูเป็นกันเองกับนักเรียนทำให้นักเรียนไม่เกร็งทำให้เรียนวิชาเคมีสนุก ไม่น่าเบื่อ และไม่เครียด ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความสุข และในการออกแบบกิจกรรมในชุดกิจกรรมเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนแต่ละคนสามารถประเมินความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของตนเองได้ หลังจากการทำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทำให้สามารถพัฒนาผลการเรียนรู้ของตนเอง เป็นการใช้ทักษะและเพิ่มพูนความสามารถในการใช้เทคโนโลยี และได้ฝึกฝนทักษะจากเทคโนโลยีอันหลากหลายซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญและเป็นการสร้างนักเรียนให้มีวินัยในตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Seubsom and Meeplate (2017) การพัฒนาการจัดกิจกรรมเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทางด้วยการบูรณาการการเรียนการสอนรายวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียผ่าน Google Classroom ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทางในระดับมาก เพราะผู้เรียนสามารถรังสรรค์ชิ้นงาน ผ่านวิธีการเรียนรู้แบบโครงการรวมทั้งสามารถพูดคุยหรือสอบถามครูผู้สอนได้ เมื่อมีปัญหาในการเรียน และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Muangmek (2016) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนและเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบร่วมกับเทคนิคการเรียนแบบร่วมมือของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ผลการวิจัยพบว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้นักเรียนส่วนใหญ่มีเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมีในระดับปานกลาง โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยรวมได้ 3.79 จากคะแนนเต็ม 5.00 หลังการจัดการเรียนรู้พบว่า นักเรียนมีเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมีที่ดีขึ้น โดยนักเรียนที่เลือกคะแนน 5 คะแนน จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 11.35 และจากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนพบว่า นักเรียนห้องเก่งมีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด 13.54 รองลงมาคือห้องอ่อนที่มีผลคะแนนเฉลี่ยสูงถึง 13.04 ซึ่งใกล้เคียงกับห้องเก่ง แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบร่วมกับเทคนิคแบบร่วมมือมีความเหมาะสมกับนักเรียนที่ค่อนข้างจะมีความสามารถไปทางด้านอ่อน และสามารถเพิ่มเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมีให้ดียิ่งขึ้นได้ จึงอาจกล่าวได้ว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนเป็นกระบวนการที่ครูผู้สอนต้องออกแบบให้เหมาะสมกับธรรมชาติของวิชา โดยเน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้จากการลงมือทำ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ

ข้อ	รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับ
ด้านการจัดการเรียนรู้		**4.43**	**0.50**	**มาก**
1	เนื้อหาในชุดการเรียนรู้ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับธาตุและสารประกอบและสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4.32	0.47	มาก
2	เนื้อหาในชุดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถทำให้นักเรียนศึกษาแล้วเข้าใจง่าย	4.35	0.49	มาก
3	ชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรียงเนื้อหาจากง่ายไปยาก	4.41	0.50	มาก
4	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ มีขั้นตอนที่ช่วยกระตุ้น และส่งเสริมให้นักเรียนสืบเสาะหาความรู้ มีความต้องการที่จะเรียนรู้ คิดหาคำตอบและแสดงความคิดเห็นด้วยตนเอง	4.59	0.50	มากที่สุด
5	สื่อ และวีดิทัศน์ประกอบการเรียนรู้จากห้องเรียนออนไลน์เหมาะสมกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยให้เข้าใจการเรียนเร็วยิ่งขึ้น	4.38	0.55	มาก
6	แบบบันทึก Flipped Classroom ใบกิจกรรม ใบงาน ใบตรวจสอบการเรียนรู้ และแบบฝึกหัดในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนประเมินความรู้ของตัวเองได้เป็นระยะ ๆ ในทุก ๆ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้	4.53	0.51	มากที่สุด
ด้านบรรยากาศในการเรียน		**4.68**	**0.42**	**มากที่สุด**
7	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนได้ค้นคว้าด้วยตนเอง	4.94	0.24	มากที่สุด
8	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ช่วยให้นักเรียนมีโอกาสได้อภิปรายร่วมกับเพื่อน	4.53	0.51	มากที่สุด
9	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความสุข	4.56	0.50	มากที่สุด
ด้านการวัดและประเมินผล		**4.59**	**0.48**	**มากที่สุด**
10	การวัดและประเมินผลสอดคล้อง เหมาะสม ชัดเจน	4.44	0.50	มาก
11	นักเรียนทราบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของตนเองได้ทันทีหลังการเรียนรู้	4.74	0.45	มากที่สุด
ด้านประโยชน์		**4.34**	**0.49**	**มาก**
12	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนพัฒนาทักษะการคิด การสืบค้นหาความรู้ การทำงานร่วมกับคนอื่น	4.41	0.50	มาก
13	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถใช้หาความรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา	4.26	0.51	มาก
14	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถพัฒนาจิตวิทยาศาสตร์	4.35	0.49	มาก
15	นักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้	4.32	0.47	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน		**4.48**	**0.22**	**มาก**

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.39/81.57

2. นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ธาตุและสารประกอบ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

3. ระดับความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในภาพรวมและรายด้านมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้ในมุมของจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน ดังนี้

1. ครูและนักเรียนจะต้องเตรียมความพร้อม วางแผนการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับเนื้อหา สำรวจความพร้อมของนักเรียน ครูจะต้องทราบข้อมูลและความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อนที่จะนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้การจัดการเรียนรู้สามารถพัฒนาและส่งเสริมนักเรียนได้เรียนรู้เต็มที่ตามศักยภาพของนักเรียนแต่ละคน และเพื่อจัดเตรียมสื่อให้นักเรียนสามารถเข้าถึงได้ ซึ่งนักเรียนแต่ละคนมีความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลได้ไม่เท่ากัน และนักเรียนจะต้องมีหลักฐานการศึกษาข้อมูลมาก่อนล่วงหน้า ซึ่งครูจะต้องมีข้อตกลงเบื้องต้นกับนักเรียน ในการทำกิจกรรมนอกห้องเรียนสู่การทำกิจกรรมในชั้นเรียน การชี้แจงข้อตกลงอย่างชัดเจนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจรูปแบบและวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้อย่างถ่องแท้

2. การทำกิจกรรมในชั้นเรียนครูควรส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่างหลากหลายโดยเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ครูจึงควรจัดการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สะเต็มศึกษา (STEM Education) การเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based learning) การเรียนรู้แบบโครงงาน (Project based learning) โดยให้ผู้เรียนได้มีส่วนในการร่วมคิดกิจกรรม ซึ่งจะช่วยเพิ่มพูนทักษะการเรียนรู้ให้กับผู้เรียนได้มากยิ่งขึ้น เพื่อเตรียมความพร้อมให้กับผู้เรียนในการเรียนรู้ในยุคศตวรรษที่ 21

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งต่อไป ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาผลของการเรียนแบบห้องเรียนกลับด้านที่มีต่อทักษะอื่น ๆ เช่น การให้เหตุผล การคิดวิจารณญาณ ความคิดสร้างสรรค์ การแก้ปัญหา ความรับผิดชอบ เป็นต้น

2. ควรศึกษาการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้านกับนักเรียนระดับอื่นหรือรายวิชาอื่น เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลที่เกิดกับนักเรียน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาตราจารย์ ดร.เอมอัชฌา วัฒนบุรานนท์ ข้าราชการบำนาญ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนุช โรจนเลิศ ข้าราชการบำนาญ มหาวิทยาลัยศิลปากร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัศมี ชัยสุขสันต์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นผู้เชี่ยวชาญที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิดและข้อเสนอแนะ ในการจัดทำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้าน

เอกสารอ้างอิง

Academic Department, Ratanaratbumrung School. (2016). **Student achievement analysis report Academic year 2016** (in Thai). Ratchaburi: Ratanaratbumrung School.

Anegasukha, S. (2011). **Statistical methods for research. 4th ed.** (in Thai). Chon Buri: Education, Burapha University.

Dechakupt, P. (2011). **Learner-focused teaching is key: concept teaching methods and techniques 1** (in Thai). Bangkok: Academic Quality Development (PW).

Dengwansri, N., Suntarak, P., Phonchaiya, S., and Wuttisela, K. (2018). Effects of cooperative learning incorporated with application on the Android operating system to learning achievement on periodic table for grade 10 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 61-73.

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). **Science Evaluation Assessment**. Bangkok: Se-Education.

Kheawpra-in, D. (2017). The development of learning achievement in biology and research skills for 10th grade student taught by research-based learning with flipped classroom (in Thai). **Veridian E-Journal**, 10(2), 392-408.

Lakat, P. (2016). Construction of learning activity package for the flipped classroom entitled “Basic Multimedia” for Mathayomsuksa 5 students, Wiangjedeewittaya school (in Thai). **Kasalongkham Research Journal**, 10(1), 147-160.

Meela, P. and Artdej, R. (2017). Model based inquiry and scientific explanation: Promoting meaning -making in classroom (in Thai). **Journal of Education Naresuan University**, 19(3), 1-15.

Muangmek, S. (2016). The study of science learning result and attitudes toward chemistry learning on acid-base for Matthayomsuksa 5 students by discovery method and cooperative techniques (in Thai). **Master’s Thesis**. Pathumthani: Rangsit University.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Namso, V., Jansawang, N. and Kudthalang, N. (2013). The development of instructional analytical thinking packages on element and compound of science learning substance for Mathayomsuksa 4 student (in Thai). **Graduate Studies Journal**, 10(50), 79-85.

National Institute of Education Testing Service, (2017). Summary of basic national education test results (O-NET), grade 12, Academic year 2017(in Thai). Retrieved 20 April 2017, from **NIETS:** https://bit.ly/35Cbr9C.

Office of the National Economic and Social Development Council. (2016). National Economic and Social Development Plan No. 12 (2017-2021) (in Thai). Retrieved 20 April 2017, from **NESDB**: https://bit.ly/3i9K7ES.

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.

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

Rachatatanakul, P. (2015). The development of multimedia instruction package on chemical reactions by inquiry based learning and KWLH Plus with flipped classroom to development science project ability and scientific mind for tenth grade students (in Thai). **Veridian E-Journal**, 8(1), 319-332.

Seubsom, K. and Meeplate, N. (2017). The development of a flipped classroom with the integration of multimedia classroom teaching through google classroom (in Thai). **APHEIT Journal**, 6(2), 118-127.

Sriphon, P. (2013). The study of learning achievement and scientific attitude in chemistry for grade 10 Students using the Inquiry cycle (5E) learning method together with the cooperative learning method STAD technique (in Thai). **Journal of Education and Social Development**, 9(1), 71-81.

Sukpiti, B. (2004). **Evaluation of new learning** (in Thai). Nakhon Pathom: Education, Nakhon Pathom Rajabhat University.

Supkul, K., Sahatsathatsana, C. and Sungsrikaew, P. (2020). The development of Flipped Classroom learning activities integrated with the Facebook of mathematics for grade-8 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 125-133.

Thailand Development Research Institute. (2014). The strategy for basic education reform to be responsible (in Thai). Retrieved 20 April 2017, from **TDRI:** https://bit.ly/2LP20wu.

Tipchai, A., Meewong, C., Wuttisela, K. and Supasorn, S. (2019). Grade-10 students' conceptual understanding of covalent bonding and molecular shapes from inquiry learning by using physical models (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 2(1), 43-56.

Wangsrikoon, A. (2014). Thailand education for 21 st century: productivity and development guidelines (in Thai). **Humanities and Sciences Journal of Graduate School**, 8(1), 1-17.

บทความวิจัย

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ระวิวรรณ อุปถัมภ์[1,*] และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์[1]
[1]ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
**Email: noonrawiwan@gmail.com*

รับบทความ: 2 พฤษภาคม 2564 แก้ไขบทความ: 24 พฤษภาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 25 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ 2) ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาที่มีต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2563 กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียน จำนวน 12 คน ในโรงเรียนขยายโอกาสแห่งหนึ่งจังหวัดนครสวรรค์ ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน จำนวน 3 วงจรปฏิบัติการ โดยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม และแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ มี 3 ด้าน ได้แก่ วิเคราะห์ความสำคัญ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ วิเคราะห์หลักการ ข้อมูลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้จะถูกนำไปวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลแบบสามเส้าโดยการใช้แหล่งข้อมูลมากกว่า 1 แหล่ง ใบกิจกรรม และแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริก เป็น 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ผลการศึกษาพบว่า แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์มีประเด็นที่ควรเน้น คือ ครูควรนำเสนอสถานการณ์ที่เกี่ยวกับชีวิตจริงเป็นเรื่องที่นักเรียนพบเห็นอยู่เป็นประจำหรือเป็นเรื่องที่ใกล้ตัวนักเรียนในการสอนเพื่อส่งผลให้เกิดการวิเคราะห์ความสำคัญ และครูควรเน้นวิธีการเขียนแสดงวิธีทำโจทย์ปัญหาอย่างละเอียดเพื่อส่งผลให้เกิดการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และการวิเคราะห์หลักการ ผลการวิจัยหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้านได้อยู่ในระดับมาก โดยเรียงลำดับการพัฒนาจากมากไปน้อย คือ วิเคราะห์ความสำคัญ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และวิเคราะห์หลักการ ตามลำดับ

คำสำคัญ: การเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา การคิดวิเคราะห์ อัตราส่วน สัดส่วน ร้อยละ

อ้างอิงบทความนี้
ระวิวรรณ อุปถัมภ์ และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์. (2564). การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 84-95.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

The case-based learning activities to enhance analytical thinking ability on ratio, proportion and percent for grade-7 students

Rawiwan Auppatham[1,*] and Wanintorn Poonpaiboonpipat[1]

[1]Department of Education, Faculty of Education, Naresuan University, Phitsanulok

**Email: noonrawiwan*@gmail.com

Received <2 May 2021>; Revised <24 May 2021>; Accepted <25 May 2021>

Abstract

The purposes of this research were 1) to study the guidelines for case-based learning activities to enhance analytical thinking ability and 2) to study the effects of case-based learning activities on analytical thinking ability in the topic of ratio, proportion, and percentage of students in grade-7, Academic Year 2020. The participants consisted of 12 students in an opportunity expansion school, Nakhon Sawan Province. This research applied classroom action research for 3 cycles which was 10 hours. The research instruments consisted of lesson plans based on case-based learning activities, learning reflection form, worksheets, and analytical thinking ability test. There are 3 subcomponents of analytical thinking ability: critical analysis, correlation analysis, and principles analysis. The data from learning reflection form were analyzed by content analysis and checking for trustworthiness by resource triangulation. While the data from worksheets and analytical thinking ability test were analyzed by rubric scoring in five levels: excellent, good, acceptable, marginal, and poor. Consequently, the case-based learning activities to enhance analytical thinking abilities should emphasize that the teachers should present real-life situations for students which help students to improve critical analysis ability. Moreover, teachers should focus on complete writing in problem solving processes which help students to improve correlation analysis and principles analysis ability. The analytical thinking ability of students proceed with increasing development in principles analysis, correlation analysis, and critical analysis, respectively.

Keywords: Case-based learning, analytical thinking, ratio, proportion, percent

Cite this article:

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

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ปัจจุบันโลกมีความเจริญก้าวหน้าของวิทยาการต่าง ๆ มากมาย ความคิดและความสามารถในการแก้ปัญหาเป็นแนวความคิดที่สำคัญของเรื่องการสอนให้คิดเป็น ทำเป็น และแก้ปัญหาเป็น ที่ปรากฏอยู่ในความมุ่งหมายของหลักสูตรการศึกษาหลายฉบับและหลายระดับ นับตั้งแต่การศึกษาขั้นพื้นฐานจนถึงระดับอุดมศึกษาเรื่อยมา ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555 -2559) ได้ชี้ให้เห็นถึงยุทธศาสตร์การพัฒนาคนสู่สังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างยั่งยืน โดยมีเป้าหมายการพัฒนาให้คนไทยทุกคนได้รับการพัฒนาทั้งร่างกายและจิตใจ มีอนามัยการเจริญพันธุ์ที่เหมาะสมในทุกช่วงวัย มีความรู้ ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ มีนิสัยใฝ่เรียนรู้ตลอดชีวิต มีความคิดสร้างสรรค์ มีวินัย มีคุณธรรม จริยธรรม มีค่านิยมความเป็นไทย รู้จักหน้าที่ของตนเองและของผู้อื่น มีจิตสำนึกรับผิดชอบต่อสังคม ซึ่งแนวทางดังกล่าว ก็สอดคล้องกับนโยบายของกระทรวงศึกษาธิการในการพัฒนาเยาวชนของชาติเข้าสู่โลกยุคศตวรรษที่ 21 โดยมุ่งส่งเสริมให้นักเรียนมีคุณธรรม รักความเป็นไทย มีทักษะการคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ มีทักษะด้านเทคโนโลยีสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นและสามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นในสังคมโลกได้อย่างสันติ (Ministry of Education, 2008, p. 58)

การศึกษาไทยเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปแล้วว่าความสามารถในการคิดวิเคราะห์เป็นคุณสมบัติที่พึงปรารถนาในสถานการณ์และสภาพปัจจุบัน ซึ่งบุคคลจำเป็นต้องมีทักษะในการคิด เพื่อที่จะช่วยให้สามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติสุขในสังคมที่ซับซ้อนและเต็มไปด้วยปัญหาต่าง ๆ บุคคลจำเป็นต้องใช้การตัดสินใจอยู่เสมอ และการตัดสินใจที่ดีต้องอาศัยความสามารถในการคิดเป็นพื้นฐานซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์เป็นพื้นฐานในการคิดวิเคราะห์ การสร้างองค์ความรู้ และการทำงาน การจัดการศึกษาเพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความสามารถทางคณิตศาสตร์จึงเป็นจุดมุ่งหมายสำคัญประการหนึ่งของการจัดการศึกษาของชาติจะเห็นได้จากความพยายามของหน่วยงานทางการศึกษาที่มุ่งเน้นการพัฒนานักเรียนให้มีความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์ และสามารถนำความรู้ทักษะดังกล่าวไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Makanong, 2011) การคิดวิเคราะห์ หมายถึง ความสามารถในการแยกแยะเพื่อสืบค้นข้อเท็จจริงของเหตุการณ์ เรื่องราวหรือเนื้อหาต่างๆ โดยการจำแนกแยกแยะ เปรียบเทียบข้อมูล จัดกลุ่มอย่างเป็นระบบ ตีความ และทำความเข้าใจกับองค์ประกอบของสิ่งนั้น โดยมีหลักฐานอ้างอิงเพื่อหาข้อสรุปที่น่าจะเป็นไปได้และใช้กระบวนการตรรกวิทยาในการสรุปตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล (Sutthirat, 2010) ความสามารถในการคิดวิเคราะห์แบ่งออกตามประเภทเนื้อหาที่วัด ได้แก่ การวิเคราะห์ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หลักการ (Sariwat, 2006, p.5) ผลการทดสอบ Programme for International Student Assessment หรือ PISA ซึ่งมีการประเมินทักษะการแก้ปัญหาจากโจทย์ที่เป็นสถานการณ์ในชีวิตจริง ในปี ค.ศ. 2018 นักเรียนไทยมีคะแนนการรู้เรื่องคณิตศาสตร์ 419 คะแนน เมื่อเทียบกับนานาชาติแล้วต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) ซึ่งเท่ากับ 489 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ลำดับที่ 66 จาก 79 ประเทศ นักเรียนไทยเกินครึ่งรู้เรื่องคณิตศาสตร์ต่ำกว่าระดับพื้นฐานและรู้เรื่องสูงกว่าระดับพื้นฐานมีเพียงหนึ่งในห้า (ประมาณ 20%) เท่านั้น แสดงให้เห็นว่านักเรียนไทยยังขาดทักษะในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง เมื่อพิจารณาเนื้อหาสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ปรากฏว่า เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ เป็นเนื้อหาที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตจริงและพบบ่อยมากที่สุดซึ่งอยู่ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 นั่นแสดงให้เห็นว่านักเรียนไทยควรได้รับการพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหาตั้งแต่ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ด้วยกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการคิดอย่างสม่ำเสมอกระตุ้นการพัฒนาทักษะการคิด โดยเฉพาะทักษะการคิดวิเคราะห์

ดังนั้นในการส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนให้เกิดประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องอาศัยหลักการหรือวิธีการที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนให้แก่นักเรียน ดังที่ Laowreandee (2009, p.31) กล่าวถึงยุทธวิธีการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการคิด การจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเหมาะสำหรับวิธีที่จะช่วยในการพัฒนาและส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาและการวิเคราะห์ ได้ร่วมกันเรียนรู้เป็นกลุ่ม มีการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และมีการนำเสนอความรู้ คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา ซึ่งเป็นกรณีที่เกี่ยวข้องกับนักเรียน ครูผู้สอน ชั้นเรียน โรงเรียน และเป็นสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน สอดคล้องกับ Chaisorn (1996, p. 106-107 as cited in Kitroongrueng, 2011, p. 12-13) ได้กล่าวว่า การใช้กรณีประกอบการสอนเป็นวิธีหนึ่งที่ส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักวิเคราะห์สถานการณ์อาจจะเป็นเรื่องที่สมมติขึ้นหรือเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นจริงก็ได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเนื้อหาและเกิดความรู้สึกนึกคิดต่างๆ ขึ้น ผลการวิจัยของ Hays (2008, p. 283) ที่ใช้วิธีการสอนโดยใช้กรณีศึกษาแล้วพบว่าเกิดประโยชน์ต่อการเรียนรู้ที่เน้นการแสดงบทบาทและการแก้ปัญหาของนักเรียน โดยเน้นความร่วมมือแบบทีมมากกว่า และยังเน้นการสืบค้นความรู้ที่มากกว่า

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

นักวิชาการได้บัญญัติคำที่เกี่ยวกับการใช้กรณีประกอบการสอนไว้ในภาษาไทยไว้หลายคำได้แก่ กรณี กรณีศึกษา กรณีตัวอย่าง และการศึกษาเป็นรายกรณี ซึ่งมาจากศัพท์ภาษาอังกฤษว่า Case Method, Case Study และ Case-Based Learning (Laowreandee, 2009, p. 83; Santos, 1994 as cited in Kitroongrueng, 2011, p. 13) อย่างไรก็ตามการสอนโดยใช้กรณีศึกษา เริ่มที่มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ในปี ค.ศ.1869 – 1870 โดย Christopher C. Langdell ซึ่งนำไปใช้การสอนวิชากฎหมาย และในวงการแพทย์นำเอาเทคนิคการสอนนี้ไปใช้ในศตวรรษที่ 19 ซึ่งต่อมาได้มีนักการศึกษาไทยนำวิธีการสอนโดยใช้กรณีศึกษาไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เช่น ผลวิจัยของ Moolwong (2016, p. 93) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่จัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ผลการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาสูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะนำวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา มาใช้เพื่อพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

วัตถุประสงค์การวิจัย

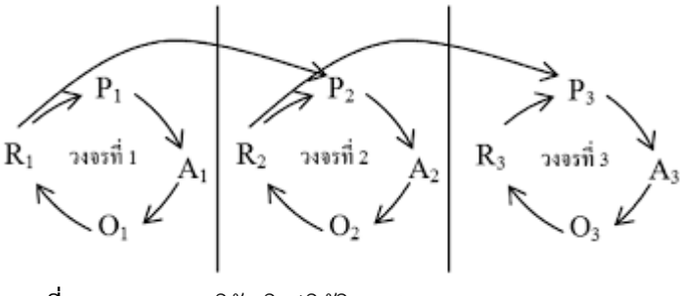
1) เพื่อศึกษาแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

2) เพื่อศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาที่มีต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

วิธีดำเนินการวิจัย

1) ผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนขยายโอกาสแห่งหนึ่งในจังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 12 คน

2) รูปแบบการวิจัย การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Action Research) ตามแนวคิดของ (Kemmis and McTaggart, 1988) ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ใน 1 วงจร ได้แก่ 1) ขั้นวางแผน (Plan) 2) ขั้นปฏิบัติการ (Act) 3) ขั้นสังเกต (Observe) และ 4) ขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect) มีลักษณะทำซ้ำเป็นวงจรปฏิบัติการทั้งหมด 3 วงจร ตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยผู้วิจัยจะนำผลที่ได้จากการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการมาสะท้อนผล เพื่อวางแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการถัดไปจนครบจำนวนวงจรปฏิบัติการที่กำหนด ทั้งหมด 3 วงจรปฏิบัติการดังภาพ 1



ภาพที่ 1 วงจรของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ 3 วงจร

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ จำนวน 3 แผน โดยผู้วิจัยสร้างสถานการณ์ปัญหาที่เป็นกรณีศึกษาให้มีความน่าสนใจ และเหมาะสมกับวัยของนักเรียน รวมทั้งหมด 10 ชั่วโมง ใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รายละเอียดของแต่ละแผนแสดงไว้ในตารางที่ 1

3.2 แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ ครูประจำการที่สอนคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นเป็นเวลามากกว่า 10 ปี จะบันทึกประเด็นปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้วิจัยแต่ละขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยในวงจรปฏิบัติการถัดไป

ตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ ชื่อสถานการณ์และเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้	ชื่อสถานการณ์	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ปัญหาเกี่ยวกับอัตราส่วน	รหัสพิชิตโรค	4
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ปัญหาเกี่ยวกับสัดส่วน	ไข่ไก่แพ็งแพง	3
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 ปัญหาเกี่ยวกับร้อยละ	โรค Covid-19 ระบาดทั่วไทย	3
รวม		10

3.3 ใบกิจกรรม เป็นส่วนหนึ่งของแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ที่เป็นเรื่องในชีวิตจริงมีภาพประกอบสถานการณ์ มีแหล่งข้อมูลที่มาของภาพ มีข้อคำถามที่สอดคล้องกับองค์ประกอบย่อยของการคิดวิเคราะห์ ซึ่งผู้วิจัยออกแบบขึ้นสำหรับให้นักเรียนฝึกกระบวนการคิดเป็นรายกลุ่ม

3.4 แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เป็นข้อสอบอัตนัย เรื่องอัตราส่วน สัดส่วน และร้อยละ จำนวน 3 สถานการณ์ แต่ละสถานการณ์มีคำถามย่อย 3 ข้อสอดคล้องกับองค์ประกอบย่อยของการคิดวิเคราะห์ รวมทั้งหมด 9 ข้อ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถามในแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์และองค์ประกอบรายด้านของความสามารถในการคิดวิเคราะห์

ข้อคำถามในแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์	องค์ประกอบรายด้านของความสามารถในการคิดวิเคราะห์
1. ให้นักเรียนวิเคราะห์สถานการณ์โจทย์ปัญหาว่าเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงหรือเป็นสถานการณ์ที่สมมติขึ้น พร้อมให้เหตุผลประกอบ และโจทย์ในข้อนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับอะไร มีความสัมพันธ์ในชีวิตจริงอย่างไร	วิเคราะห์ความสำคัญ
2. ให้นักเรียนหาความสัมพันธ์ของสถานการณ์โจทย์ปัญหา โดยเขียนเป็นข้อๆ ว่าโจทย์กำหนดข้อมูลอะไรมาให้บ้างและข้อมูลที่ให้มามีความสัมพันธ์กันอย่างไร	วิเคราะห์ความสัมพันธ์
3. ให้นักเรียนเขียนยุทธวิธีที่เลือกใช้และแสดงวิธีการแก้ปัญหาของสถานการณ์โจทย์ปัญหาที่กำหนดให้เพื่อให้ได้คำตอบ	วิเคราะห์หลักการ

4) การเก็บรวบรวมข้อมูล ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

4.1 ปฐมนิเทศและชี้แจงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนที่เข้าร่วม

4.2 ดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ จำนวน 3 แผน ตามชั่วโมงปกติของโรงเรียน โดยใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 10 ชั่วโมง ในแต่ละแผนจะมีใบกิจกรรมให้นักเรียนได้ทำเป็นรายกลุ่ม ๆ ละ 3 คน รวมทั้งหมด 4 กลุ่ม

4.3 ในระหว่างทำการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน ผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการณ์ร่วมกันสังเกตการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และจดบันทึกลงในแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ และนักเรียนเขียนบันทึกลงในใบกิจกรรมเป็นรายกลุ่ม

4.4 เมื่อจบการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยเก็บรวบรวมใบกิจกรรม แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยและของผู้เข้าร่วมสังเกตการณ์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นสรุปแล้ววิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในแผนต่อไป

4.5 เมื่อดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นรายบุคคล

4.6 นำผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล

5) การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรมและแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์มาวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกตามวัตถุประสงค์การวิจัยทั้ง 2 ข้อได้แก่

5.1 เพื่อศึกษาแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวิธีสอนที่ใช้กรณีศึกษาที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ที่ของผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการณ์มาวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยวิธีการสามเส้า (Triangulation) ด้านการใช้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

แหล่งข้อมูลมากกว่า 1 แหล่ง (Resource Triangulation) เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการณ์ว่ามีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ อย่างไร

5.2 เพื่อศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวิธีสอนที่ใช้กรณีศึกษาที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากใบกิจกรรม และแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ มาวิเคราะห์โดยเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริก (Rubric scoring) ปรับมาจากงานวิจัยของ Kitroongrueng (2011) มี 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด (5) มาก (4) ปานกลาง (3) น้อย (2) และน้อยที่สุด (1)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยในครั้งนี้จำแนกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลการศึกษาแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ขณะที่นักเรียนทำกิจกรรมในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ (ภาพที่ 2) ผู้วิจัยได้สรุปประเด็นปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ปัญหาในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางประเด็นปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ปัญหาแต่ละวงจรปฏิบัติการ

ประเด็นปัญหาที่พบ	แนวทางการแก้ปัญหา
วงจรปฏิบัติการที่ 1. ปัญหาเกี่ยวกับอัตราส่วน (รหัสพิชิตโรค)	
นักเรียนมองสถานการณ์ไม่ออกว่ามีจริงในชีวิตประจำวันหรือไม่ (วิเคราะห์ความสำคัญ)	ผู้วิจัยอธิบายเรื่องเกี่ยวกับชีวิตประจำวันโดยการยกตัวอย่างราคาของไข่ไก่ให้นักเรียนได้เห็น
นักเรียนวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาในใบกิจกรรมไม่ละเอียดพอ เขียนอธิบายไม่ครบทุกหัวข้อที่โจทย์ถาม (วิเคราะห์ความสำคัญ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์)	ผู้วิจัยอธิบายประเด็นในการวิเคราะห์ ซึ่งมีดังนี้ สิ่งที่โจทย์ต้องการให้แก้ปัญหานั้นคืออะไร โจทย์กำหนดสิ่งใดมาให้บ้าง ความรู้พื้นฐานที่ควรมีเพื่อช่วยแก้ปัญหานี้มีอะไรบ้าง และมีวิธีการใดบ้างที่จะนำไปสู่ผลลัพธ์
นักเรียนยังคิดหายุทธวิธีมาแก้ปัญหาไม่ค่อยได้ นักเรียนยังมองหลักการคิดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ไม่ออก (วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และวิเคราะห์หลักการ)	ผู้วิจัยควรอธิบายวิธีแก้ปัญหาโจทย์โดยใช้ยุทธวิธีต่าง ๆ เพิ่มขึ้นและยกตัวอย่างให้นักเรียนเห็นเพื่อเป็นแนวทาง
นักเรียนเลือกแหล่งข้อมูลในการสืบค้นไม่ถูก เนื่องจากมีหลายแหล่งข้อมูลมาก (วิเคราะห์ความสัมพันธ์)	ผู้วิจัยแนะนำวิธีการหาข้อมูลที่น่าเชื่อถือให้กับนักเรียน เช่น เว็บไซต์ของ สสวท.
นักเรียนแสดงวิธีทำไม่ละเอียด (วิเคราะห์หลักการ)	ผู้วิจัยอธิบายและยกตัวอย่างการเขียนแสดงวิธีทำที่ละเอียดและชัดเจนในการแก้โจทย์ปัญหา
นักเรียนนำเสนอไม่ตรงประเด็นที่ตั้งไว้ และอธิบายยุทธวิธีที่กลุ่มตัวเองเลือกไม่ละเอียดพอ (วิเคราะห์ความสำคัญ, วิเคราะห์ความสัมพันธ์, และวิเคราะห์หลักการ)	ผู้วิจัยอธิบายประเด็นการนำเสนอให้นักเรียนฟังก่อนที่นักเรียนจะออกไปนำเสนอหน้าชั้นเรียน
นักเรียนให้ความร่วมมือในการสรุปน้อยกว่าผู้วิจัย (วิเคราะห์ความสำคัญ, วิเคราะห์ความสัมพันธ์, และวิเคราะห์หลักการ)	ผู้วิจัยควรเปิดโอกาสและใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนเป็นผู้สรุปมากกว่าผู้วิจัย
วงจรปฏิบัติการที่ 2. ปัญหาเกี่ยวกับสัดส่วน (ไข่ไก่แพ็งแพง)	
นักเรียนสามารถเลือกยุทธวิธีได้แต่ยังแสดงวิธีทำไม่ละเอียดพอ คือนักเรียนจะเขียนแบบคิดสั้น ๆ แต่ได้คำตอบ ซึ่งไม่เขียนอธิบายรายละเอียดที่มาของวิธีนั้น (วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และวิเคราะห์หลักการ)	ผู้วิจัยควรยกตัวอย่างการแสดงวิธีทำให้นักเรียนเห็นมากขึ้น
นักเรียนไม่สามารถตรวจคำตอบได้ว่าคำตอบที่ได้มาถูกต้องหรือไม่ (วิเคราะห์ความสัมพันธ์และวิเคราะห์หลักการ)	ผู้วิจัยควรอธิบายถึงวิธีการตรวจคำตอบให้นักเรียนฟัง
วงจรปฏิบัติการที่ 3. ปัญหาเกี่ยวกับร้อยละ (โรค Covid-19 ระบาดทั่วไทย)	
-	-

ซึ่งจะพบว่า วงจรปฏิบัติการที่ 1-3 ปัญหาที่พบในชั้นเรียนจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อผู้วิจัยพบปัญหาในแต่ละวงจรปฏิบัติการแล้วจะหาแนวทางการแก้ไขปัญหานั้นเสมอทำให้วงจรปฏิบัติการที่ 2 พบปัญหาในชั้นเรียนน้อยลงกว่าวงจรปฏิบัติการที่ 1 และวงจรปฏิบัติการที่ 3 ไม่พบปัญหา

เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้ครบ 3 แผนหรือ 3 วงจรปฏิบัติการ ผู้วิจัยจึงสรุปแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้น (ภาพที่ 2) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ภาพที่ 2 การทำกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียน

ขั้นที่ 1 ขั้นกำหนดปัญหา นักเรียนแต่ละกลุ่มได้รับใบกิจกรรมที่เป็นสถานการณ์ปัญหาในชีวิตจริง แล้วร่วมกันวิเคราะห์ ซึ่งมีประเด็นในการวิเคราะห์ ได้แก่ สถานการณ์ปัญหาข้อนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับอะไร จากสถานการณ์เป็นเรื่องที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวันหรือไม่ สถานการณ์นี้มีความสัมพันธ์กับชีวิตจริงอย่างไร นักเรียนในกลุ่มจะช่วยกันวิเคราะห์ตามประเด็นดังกล่าว ในขั้นนี้ผู้วิจัยควรออกแบบสถานการณ์ปัญหาที่เกี่ยวกับชีวิตจริงในเรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ เช่น ปัญหาเกี่ยวกับโรค covid-19 ที่กำลังระบาดในประเทศไทย ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนรู้จักและได้เห็นภาพจริง ๆ นอกจากนี้ยังมีสถานการณ์ที่เป็นเรื่องเกี่ยวกับไข่ไก่ ที่มีอยู่ในชีวิตจริงเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและได้รับประทานมาตั้งแต่เด็ก จากการกำหนดปัญหาในสิ่งที่มีอยู่ในชีวิตจริงจะทำให้นักเรียนเกิดความสนใจและเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี

ขั้นที่ 2 ขั้นวิเคราะห์ปัญหา ผู้วิจัยได้อธิบายประเด็นในการวิเคราะห์มีดังนี้ สิ่งที่โจทย์ต้องการให้แก้ปัญหานั้นคืออะไร โจทย์กำหนดสิ่งใดมาให้บ้าง ความรู้พื้นฐานที่ควรมีเพื่อช่วยแก้ปัญหานี้มีอะไรบ้าง และมีวิธีการใดบ้างที่จะนำไปสู่ผลลัพธ์ของคำตอบ หลังจากนั้นนักเรียนได้ร่วมกันวิเคราะห์ตามประเด็นที่ผู้วิจัยอธิบาย

ขั้นที่ 3 ขั้นเลือกยุทธวิธีแก้ปัญหา ผู้วิจัยอธิบายถึงวิธีการแก้โจทย์ปัญหาและยกตัวอย่างการเลือกใช้ยุทธวิธีในการทำโจทย์ปัญหาให้นักเรียนดู ในระหว่างนั้นผู้วิจัยจะคอยป้อนคำถามเพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการคิดวิเคราะห์ไปพร้อม ๆ กับผู้วิจัย หลังจากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มจะช่วยกันหาแนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อเลือกยุทธวิธีมาใช้โดยแสดงวิธีทำอย่างละเอียด พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบการเลือกยุทธวิธี

ขั้นที่ 4 ขั้นค้นคว้าข้อมูล ผู้วิจัยได้อธิบายการสืบค้นข้อมูลโดยทำให้นักเรียนดูเป็นตัวอย่างพร้อมแนะนำเว็บไซต์ที่มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหานั้นได้ ในระหว่างที่ผู้วิจัยทำให้ดูนั้นได้อธิบายถึงการเลือกข้อมูลและแนะนำการวางแผนการค้นข้อมูลว่านักเรียนอาจจะแบ่งกันหาข้อมูลคนละ 1 หัวข้อ หรือนักเรียนอาจจะค้นข้อมูล 1 คนแล้วเพื่อนที่เหลือช่วยกันเรียบเรียงข้อมูลที่ค้นได้หลังจากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันสืบค้นข้อมูลจากอินเตอร์เน็ต

ขั้นที่ 5 ขั้นการค้นพบผลลัพธ์ ผู้วิจัยอธิบายตัวอย่างขั้นตอนการแสดงวิธีทำในระหว่างยกตัวอย่างนั้นผู้วิจัยจะให้นักเรียนเป็นผู้ช่วยในการทำตัวอย่างนั้นด้วย โดยผู้วิจัยจะคอยป้อนคำถามอยู่เสมอ ๆ จนได้ผลลัพธ์ในข้อที่ยกตัวอย่าง หลังจากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มจะแก้สถานการณ์ปัญหาที่ได้รับโดยแสดงวิธีทำและเขียนเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด

ขั้นที่ 6 ขั้นแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ผู้วิจัยอธิบายถึงประเด็นในการนำเสนอหน้าชั้นก่อนที่จะให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนมานำเสนอ โดยมีประเด็นในการนำเสนอ ดังนี้ สิ่งที่โจทย์ต้องการให้แก้ปัญหานั้นคืออะไร โจทย์กำหนดสิ่งใดมาให้บ้าง ความรู้พื้นฐานที่ควรจะมีได้แก่อะไรบ้าง ยุทธวิธีที่เลือกใช้คือวิธีใด คำตอบนั้นมีความสมเหตุสมผลหรือไม่ และสถานการณ์ปัญหานี้เป็นเรื่องในชีวิตจริงอย่างไร

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ขั้นที่ 7 ขั้นนำผลลัพธ์ไปใช้ นักเรียนแต่ละกลุ่มและผู้วิจัยช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้จากการทำใบกิจกรรม รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้โดยใช้ยุทธวิธีที่นักเรียนเลือกใช้ และสถานการณ์ในใบกิจกรรมสามารถนำไปสู่ชีวิตจริงได้อย่างไรบ้าง

2. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ผู้วิจัยวิเคราะห์ใบกิจกรรมของนักเรียนจำนวน 12 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ละ 3 คน จำนวน 4 กลุ่ม ในแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 แผน โดยวิเคราะห์จากผลคะแนนเทียบกับเกณฑ์การให้คะแนนคิดเป็นร้อยละ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุดโดยมีตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียน

ความสามารถรายด้าน	ระดับคะแนน	ความสามารถที่แสดงออก
การวิเคราะห์ความสำคัญ	5	วิเคราะห์ข้อมูลความสำคัญของสถานการณ์หรือเหตุการณ์ในโจทย์ปัญหา สามารถตอบได้ว่าสถานการณ์นั้นเป็นเรื่องจริงหรือการสมมติขึ้นมา สามารถเขียนอธิบายเหตุผลข้อสรุปได้อย่างชัดเจน ครบถ้วน
	4	วิเคราะห์ข้อมูลความสำคัญของสถานการณ์หรือเหตุการณ์ในโจทย์ปัญหาได้และสามารถเขียนอธิบายเหตุผลข้อสรุปได้เป็นบางส่วน
	3	วิเคราะห์ข้อมูลความสำคัญของสถานการณ์หรือเหตุการณ์ในโจทย์ปัญหาได้แต่ไม่เขียนอธิบายเหตุผลข้อสรุป
	2	วิเคราะห์ข้อมูลความสำคัญของสถานการณ์หรือเหตุการณ์ในโจทย์ปัญหาได้
	1	วิเคราะห์ข้อมูลความสำคัญของสถานการณ์หรือเหตุการณ์ในโจทย์ปัญหาไม่ตรงกับสิ่งที่โจทย์กำหนดหรือไม่ได้วิเคราะห์ข้อมูล
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	5	จากสถานการณ์หรือเหตุการณ์สามารถวิเคราะห์ได้ว่าโจทย์เป็นเรื่องเกี่ยวกับอะไร แก้ปัญหาได้อย่างไร อะไรเป็นสาเหตุ อะไรเป็นผล และสามารถสรุปและให้เหตุผลได้ครบถ้วนทุกประเด็น
	4	จากสถานการณ์หรือเหตุการณ์สามารถวิเคราะห์ได้ว่าโจทย์เป็นเรื่องเกี่ยวกับอะไร แก้ปัญหาได้อย่างไร อะไรเป็นสาเหตุ อะไรเป็นผล และสามารถสรุปและให้เหตุผลได้เป็นบางส่วน
	3	จากสถานการณ์หรือเหตุการณ์สามารถวิเคราะห์ได้ว่าโจทย์เป็นเรื่องเกี่ยวกับอะไร แก้ปัญหาได้อย่างไร อะไรเป็นสาเหตุ อะไรเป็นผลแต่ไม่สามารถสรุปและให้เหตุผลได้
	2	จากสถานการณ์หรือเหตุการณ์สามารถวิเคราะห์ได้เป็นบางประเด็น
	1	จากสถานการณ์หรือเหตุการณ์ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
การวิเคราะห์หลักการ	5	ได้หลักการ ได้ยุทธวิธีในการแก้ปัญหา พร้อมทั้งแสดงวิธีแก้ปัญหาอย่างละเอียดและได้คำตอบที่ถูกต้อง
	4	ได้หลักการ ได้ยุทธวิธีในการแก้ปัญหา พร้อมทั้งแสดงวิธีแก้ปัญหาและได้คำตอบ
	3	ได้หลักการ ได้ยุทธวิธีในการแก้ปัญหา
	2	ได้หลักการ แสดงวิธีแก้ปัญหา
	1	ได้หลักการอย่างเดียว

ผลการวิจัยระหว่างจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษานั้นแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนกลุ่มนักเรียนตามระดับความสามารถในการคิดวิเคราะห์จากใบกิจกรรมในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

วงจรปฏิบัติการที่	จำนวนกลุ่มนักเรียนจำแนกตามระดับความสามารถ (ร้อยละ)				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1	0 (0.00)	1 (25.00)	2 (50.00)	1 (25.00)	0 (0.00)
2	1 (25.00)	2 (50.00)	1 (25.00)	0 (00.00)	0 (00.00)
3	2 (50.00)	2 (50.00)	0 (00.00)	0 (00.00)	0 (00.00)

จากตาราง พบว่า ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 กลุ่มของนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 2 กลุ่ม คิดเป็นร้อยละ 50 สำหรับในวงจรปฏิบัติการที่ 2 กลุ่มของนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถโดยรวมอยู่ในระดับมาก จำนวน 2 กลุ่ม คิดเป็นร้อยละ 50 สำหรับในวงจรปฏิบัติการที่ 3 กลุ่มของนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด และมาก จำนวน 2 กลุ่มเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 50 ดังนั้น เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่า กลุ่มนักเรียนส่วนใหญ่มีการพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ดีขึ้นตามลำดับวงจรปฏิบัติการ

ผู้วิจัยวิเคราะห์แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์โดยรวมของนักเรียน โดยวิเคราะห์จากผลคะแนนเทียบกับเกณฑ์การให้คะแนนคิดเป็นร้อยละ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ผลการวิจัยหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา นั้นแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนกลุ่มนักเรียนตามระดับความสามารถในการคิดวิเคราะห์โดยรวมจากแบบทดสอบทั้งสามสถานการณ์

แบบทดสอบสถานการณ์ที่	จำนวนกลุ่มนักเรียนจำแนกตามระดับความสามารถ (ร้อยละ)				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1 (อัตราส่วน)	3 (25.00)	6 (50.00)	2 (16.67)	1 (8.33)	0 (0.00)
2 (สัดส่วน)	4 (33.33)	6 (50.00)	2 (16.67)	0 (0.00)	0 (0.00)
3 (ร้อยละ)	8 (66.67)	3 (25.00)	1 (8.33)	0 (0.00)	0 (0.00)

จากตาราง พบว่า ในแบบทดสอบสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถโดยรวมอยู่ในระดับมาก จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 50 สำหรับแบบทดสอบสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถโดยรวมอยู่ในระดับมาก จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 50 เมื่อพิจารณาจากคะแนนรายบุคคลแล้ว พบว่ามีนักเรียน 2 คน ที่พัฒนาความสามารถจากเดิมอยู่ในระดับน้อยในสถานการณ์ที่ 1 มาอยู่ในระดับมากในสถานการณ์ที่ 2 จำนวน 1 คน และพัฒนาความสามารถจากระดับมากในสถานการณ์ที่ 1 ขึ้นมาอยู่ในระดับมากที่สุดในสถานการณ์ที่ 2 จำนวน 1 คน สำหรับแบบทดสอบสถานการณ์ที่ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 และเมื่อพิจารณาจากคะแนนรายบุคคลแล้ว พบว่ามีนักเรียนจำนวน 4 คน ที่พัฒนาความสามารถจากระดับมากในสถานการณ์ที่ 2 ขึ้นมาอยู่ในระดับมากที่สุดในสถานการณ์ที่ 3 และยังมีนักเรียน 1 คนที่ไม่มีการพัฒนายังคงอยู่ในระดับปานกลางเหมือนเดิมทั้งสถานการณ์ที่ 2 และ 3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรม พบว่า การตอบคำถามในใบกิจกรรมนั้นมีการพัฒนาการดีขึ้นตามลำดับวงจรปฏิบัติการ ส่งผลต่อการพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ การคิดวิเคราะห์ความสำคัญ การคิดวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการคิดวิเคราะห์หลักการ เมื่อนักเรียนทำแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์จากสถานการณ์ทั้งสามมีผลคะแนนที่ดีขึ้นกว่าผลที่ได้จากใบกิจกรรม โดยเรียงลำดับการพัฒนาจากมากไปน้อย คือ วิเคราะห์ความสำคัญ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และวิเคราะห์หลักการ ตามลำดับ

อภิปรายผล

ผู้วิจัยได้จำแนกการอภิปรายออกเป็น 2 ประเด็น ดังนี้

1. แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ ที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการ ครูผู้สอนได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน ทำให้เข้าใจสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน และได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนและแก้ปัญหา ตลอดจนการออกแบบและสร้างเครื่องมือในการวิจัยโดยผ่านการ

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นครูผู้สอนและผู้สังเกตการณ์การจัดการเรียนรู้จะสังเกตพฤติกรรมการจัดการเรียนรู้และบันทึกข้อมูลเพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ของครูผู้สอน และนำผลที่ได้มาปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการถัดไปให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จนครบทั้งสามวงจรปฏิบัติการ สอดคล้องกับ Kessung (2016) ที่กล่าวว่า การวิจัยปฏิบัติการเป็นการศึกษาค้นคว้าหาวิธีแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบซึ่งสอดคล้องกับสภาพการปฏิบัติ โดยการนำไปปฏิบัติจริง พร้อมทั้งสังเกตและสะท้อนผลเพื่อดำเนินการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามวงจรจนบรรลุผลสำเร็จตามที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นแนวทางการพัฒนาปฏิบัติงานของครูผู้สอน ซึ่งสอดคล้องกับ Wongwanich (2012) ที่กล่าวว่า การทำวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนับเป็นกระบวนการหนึ่งที่ครูใช้ในการประเมินงานของตนเอง และเป็นกระบวนการสืบเสาะค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานสอน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ

แนวทางที่เหมาะสมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมการคิดวิเคราะห์มีประเด็นการสอนที่ควรเน้นได้แก่ ก่อนการจัดการเรียนรู้ต้องมีการวางแผนก่อนการสอน ต้องออกแบบสถานการณ์ปัญหาที่เกี่ยวกับชีวิตจริงในเรื่องอัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ เช่น ปัญหาเกี่ยวกับโรค covid-19 ที่กำลังระบาดในประเทศไทย ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนรู้จักและพบเห็นในข่าวอยู่เสมอ นอกจากนี้ยังมีสถานการณ์ที่เป็นเรื่องเกี่ยวกับไข่ไก่ ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนคุ้นเคยและเป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการประกอบอาหารทุกครอบครัว เนื่องจากการกำหนดปัญหาในสิ่งที่มีอยู่ในชีวิตจริงจะทำให้นักเรียนเกิดความสนใจและเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดีในขั้นที่ 2 ขั้นวิเคราะห์ปัญหาที่นักเรียนจะต้องวิเคราะห์ว่าโจทย์ให้อะไรมาบ้าง โจทย์ต้องการให้แก้ปัญหาอะไร และสิ่งที่โจทย์กำหนดให้มานั้นเพียงพอต่อการหาผลลัพธ์หรือไม่ ซึ่งสอดคล้องกับ Laowreandee (2009) ที่กล่าวว่า การเรียนรู้โดยใช้กรณีปัญหาที่เป็นสถานการณ์ในชีวิตจริงนั้น ครูผู้สอนจะต้องคอยสังเกตพฤติกรรมขณะทำกิจกรรมเพื่อคอยแนะแนวทางไม่ให้คิดออกนอกประเด็น โดยครูผู้สอนจะต้องชี้แนะประเด็นในการวิเคราะห์ และหลักการเลือกยุทธวิธีเพื่อนำมาแก้ปัญหาในขั้นที่ 3 ขั้นเลือกยุทธวิธีแก้ปัญหา ซึ่งสอดคล้องกับ Khemmani (2002) ที่กล่าวถึงรูปแบบการสอนที่ครอบคลุมทางด้านเนื้อหา วิธีทำอย่างละเอียดนั้น จะต้องอธิบายถึงหลักการวิเคราะห์ที่ตรงประเด็น แสดงวิธีทำเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ในขั้นที่ 4 ขั้นค้นคว้าข้อมูล ครูผู้สอนจะต้องสาธิตการค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต โดยทำให้ดูเป็นตัวอย่างและอธิบายถึงแหล่งของข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ นักเรียนจะช่วยกันสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับเทคนิคยุทธวิธีเพื่อมาแก้ปัญหาในสถานการณ์จะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ในขั้นที่ 5 ขั้นค้นพบผลลัพธ์ ครูผู้สอนต้องสังเกตนักเรียนเพื่อเป็นที่ปรึกษาในระหว่างทำกิจกรรม เมื่อนักเรียนได้ผลลัพธ์แล้วนักเรียนจะนำเสนอแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันในขั้นที่ 6 ขั้นแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ครูผู้สอนอธิบายประเด็นในการนำเสนอเพื่อให้นักเรียนได้นำเสนอไม่ออกนอกประเด็น ขั้นที่ 7 ขั้นนำผลลัพธ์ไปใช้ นักเรียนและครูผู้สอนจะช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้จากการจากทำใบกิจกรรมนั้น จากที่กล่าวมาซึ่งสอดคล้องกับ Stanaland (2004, p. 4) ที่กล่าวถึงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาซึ่งมีอยู่ 7 ขั้นตอนเป็นวิธีการสอนที่มุ่งเน้นการฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ การสืบค้นความรู้ด้วยตนเอง และการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงได้ หลังจากการจัดการเรียนรู้ ครูผู้สอนจะต้องสะท้อนผลคะแนนในแต่ละกิจกรรมให้นักเรียนทราบเพื่อนักเรียนจะได้ปรับปรุงและพัฒนาผลการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพ

2. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ

ผลการวิจัยหลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถในการคิดวิเคราะห์ความสำคัญจากการแก้ปัญหาทั้งสามสถานการณ์ในแบบทดสอบอยู่ในระดับมากขึ้นไปทุกสถานการณ์ กล่าวคือ ก่อนการจัดการเรียนรู้ครูผู้สอนได้นำเสนอสถานการณ์ปัญหาเกี่ยวกับเรื่องของ covid-19 ซึ่งเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นอยู่ในตอนนี้ และนำเสนอสถานการณ์เกี่ยวกับไข่ไก่ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนรู้จักและคุ้นเคยเป็นอย่างดี ระว่างการจัดการเรียนรู้ครูผู้สอนสังเกตเห็นนักเรียนได้ขีดเขียนมีร่องรอยการแยกแยะส่วนต่าง ๆ ในใบสถานการณ์จึงพบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถวิเคราะห์ความสำคัญจากสถานการณ์โจทย์ปัญหาได้ สามารถตอบได้ว่าสถานการณ์ในแบบทดสอบนั้นเป็นเรื่องจริงหรือไม่ สามารถอธิบายได้ว่าสถานการณ์มีความสัมพันธ์กับชีวิตจริงอย่างไร ซึ่งสอดคล้องกับ Kaewsing (2008) ที่กล่าวว่า การคิดวิเคราะห์ (Analysis ability) หมายถึง ความสามารถในการจำแนกแยกแยะส่วนย่อยต่างๆ ของเหตุการณ์เรื่องราวเนื้อเรื่องหรือสิ่งต่าง ๆ ว่าประกอบด้วยอะไร มีความสำคัญ สัมพันธ์กันอย่างไร หลังการจัดการเรียนรู้ ผลการวิเคราะห์จะได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถดังกล่าวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากครูผู้สอนได้ออกแบบสถานการณ์โจทย์ปัญหาที่มีอยู่ในชีวิตจริง นักเรียนสามารถเห็นได้ตามข่าว โฆษณาในทีวี หรือเห็นจากอินเตอร์เน็ต และครูผู้สอนยังมีภาพประกอบในแต่ละสถานการณ์นั้น ๆ ด้วย ทำให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับมากขึ้นไป และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสถานการณ์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากนักเรียนสามารถวิเคราะห์ประเด็นต่าง

ๆ ดังนี้ สิ่งที่โจทย์ต้องการให้แก้ปัญหานั้นคืออะไร โจทย์กำหนดสิ่งใดมาให้บ้าง ความรู้พื้นฐานที่ควรมีเพื่อช่วยแก้ปัญหานี้มีอะไรบ้าง และมีวิธีการใดบ้างที่จะนำไปสู่ผลลัพธ์ได้ง่ายขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ Khemmani (2012) ที่กล่าวว่า การเรียนรู้ตามวิธีที่สอนโดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์นั้นนักเรียนจะต้องสืบค้นความรู้ด้วยตัวเอง และจะต้องเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตจริง ด้านความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลักการ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลักการจากการแก้ปัญหาในสถานการณ์ทั้งสามสถานการณ์ในแบบทดสอบตั้งแต่ระดับมากขึ้นไป และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสถานการณ์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากนักเรียนสามารถเขียนแสดงวิธีการทำได้อย่างละเอียด สามารถเลือกยุทธวิธีในการแก้ปัญหาได้ถูกต้องและเขียนอธิบายได้อย่างชัดเจนจึงส่งผลให้การพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลักการอยู่ในระดับมากขึ้นไป จากที่กล่าวมานั้นสรุปได้ว่านักเรียนมีการคิดวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ วิเคราะห์ความสำคัญ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และวิเคราะห์หลักการตามลำดับ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 นั้น มีจุดเน้นคือ 1) ก่อนการจัดการเรียนรู้ครูผู้สอนออกแบบสถานการณ์ปัญหาให้สอดคล้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียนหรือเป็นเรื่องที่นักเรียนพบเห็นอยู่บ่อย ๆ เช่น ตามโทรทัศน์หรือ Facebook เป็นต้น 2) ระหว่างการจัดการเรียนรู้ครูผู้สอนต้องชี้แนะแนวทางในการทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาและทบทวนความรู้พื้นฐานที่สำคัญ และวิธีการที่ต้องใช้ในการหาคำตอบ จะทำให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ นอกจากนี้ครูผู้สอนอธิบายขั้นตอนการเขียนแสดงวิธีทำอย่างละเอียดพร้อมยกตัวอย่างและให้นักเรียนช่วยหาผลลัพธ์ หายุทธวิธีไปพร้อมกับครูผู้สอนในข้อตัวอย่างนั้นด้วยเพื่อให้นักเรียนเข้าใจ จะทำให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์หลักการและเลือกยุทธวิธีในการหาผลลัพธ์ได้ และ 3) หลังการจัดการเรียนรู้ครูผู้สอนต้องบอกผลคะแนนจากใบกิจกรรมให้นักเรียนทราบในแต่ละส่วน ได้แก่ คำตอบส่วนที่ได้คะแนน และคำตอบส่วนที่เสียคะแนน รวมถึงแนวทางการตอบคำถามให้ตรงประเด็นจะทำให้นักเรียนทราบข้อบกพร่องและสามารถนำไปปรับปรุงตนเองจนส่งผลให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ได้ครบทั้ง 3 ด้าน จึงทำให้ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาทำให้นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้าน คือ การคิดวิเคราะห์ความสำคัญ การคิดวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการคิดวิเคราะห์หลักการ อยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1 การจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ ซึ่งถ้านักเรียนมีความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ไม่เพียงพอ จะส่งผลให้นักเรียนวิเคราะห์และแก้ปัญหาไม่ได้ ดังนั้นครูผู้สอนควรทบทวนความรู้พื้นฐานเรื่องเศษส่วน การคูณและการหารจำนวนเต็มเพื่อให้นักเรียนมีความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เพียงพอในการนำไปใช้เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วนและร้อยละ

1.2 การจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา ครูผู้สอนจะต้องนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตจริง ที่ใกล้ตัวกับนักเรียน หรือที่นักเรียนพบเห็นในสื่อออนไลน์ต่าง ๆ โดยครูผู้สอนอาจนำวีดีโอสถานการณ์จริง หรือภาพจำลองสถานการณ์จริงมาให้นักเรียนดูจะทำให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ประเด็นที่ว่า สถานการณ์นี้เป็นเรื่องจริงที่มีความสัมพันธ์กับชีวิตจริงได้ อย่างเช่น สถานการณ์ของโรค covid-19 ที่กำลังระบาดอยู่ในตอนนี้ นักเรียนจะสามารถวิเคราะห์ความสำคัญและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสถานการณ์ปัญหานี้ได้

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรศึกษาการใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมหรือพัฒนาทักษะการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าในระหว่างการทำกิจกรรมการเรียนรู้นักเรียนสื่อสารน้อยกว่าผู้วิจัยและไม่กล้าแสดงความคิดเห็น ดังนั้นผู้วิจัยควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้พูดและแสดงความคิดเห็นให้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Stanaland, B.E. (2004). Once-daily budesonide aqueous nasal spray for allergic rhinitis: A review. Clinical Therapeutics, 26(4), 473-492.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Hays, B.E. (2008). **Measuring customer satisfaction and loyalty: Survey design, use and statistical analysis methods**. Wisconsin: ASQ Quality Press.

Kaewsing, K. (2008). A Study of critical thinking abilities of grade-6 students which are measured and assessed in conjunction with the teaching of mathematics schools under Nakhon Ratchasima Educational Service Area Office 4 (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Srinakharinwirot University Prasarnmit.

Kessung, P. (2016). **Operations research** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Khemmani, T. (2002). **Teaching science** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Khemmani, T. (2012). **The science of teaching knowledge for effective learning process** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Kemmis, S., & McTaggart, R. (1988). The action research planer (3rd ed.). Victoria: **Deakin University.**

Kitroongrueng, P. (2011). **Teaching model development using case study in teaching and learning sciences to promote the critical thinking abilities of teacher professional students** (in Thai). Nakhon Pathom: Silpakorn University.

Laowreandee, W. (2009). **Models and strategies for learning management for developing thinking skills** (in Thai). 4th edition Nakhon Pathom: Faculty of Education Silpakorn University

Makanong, A. (2011). **Mathematical skills and processes: Development for development** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University.

Ministry of Education. (2008). **Basic education core curriculum, B.E. 2551** (in Thai). Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand.

Moolwong, W. (2016). Development of mathematical problem solving ability of students. Secondary School year 2 that organizes learning using a case study (in Thai). **Master's Thesis**. Nakhon Pathom: Silpakorn University.

Sariwat, L. (2006). **Thinking** (in Thai). Bangkok: Odean Store.Sutthirat, C. (2010). **New learning management**. (in Thai). Nonthaburi: Sahamit Printing and Publishing.

Wongwanich, S. (2012). **Classroom action research** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.

บทความวิจัย

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ปรางทิพย์ แป้นวงษ์[1,*] และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์[1]
[1]ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
**Email: prangthip.paen@gmail.com*

รับบทความ: 3 พฤษภาคม 2564 แก้ไขบทความ: 24 พฤษภาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 25 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา 2) ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ที่มีต่อความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนจำนวน 20 คน โรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครสวรรค์ ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน จำนวน 3 วงจรปฏิบัติการ โดยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม แบบบันทึกการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา และแบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหาและวิเคราะห์แบบแยกประเด็น ผลการวิจัย พบว่า 1) แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหานั้น มีประเด็นที่ควรเน้น คือ ครูควรเลือกงานทางคณิตศาสตร์หรือสถานการณ์ที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ควรเป็นปัญหาหรือสถานการณ์ที่ช่วยกระตุ้นความสนใจของนักเรียน จึงจะช่วยให้เกิดการอภิปรายในชั้นเรียนและส่งผลต่อการตั้งปัญหาของนักเรียน ครูควรเลือกและเรียงลำดับผลงานของนักเรียนในการนำเสนอให้ตรงกับความหมายของความน่าจะเป็นจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด จึงจะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้จากข้อผิดพลาดจนสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง และครูควรเป็นผู้เริ่มการอภิปรายโดยยกตัวอย่างและใช้คำถามปลายเปิดประกอบตัวอย่างนั้น จึงจะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้การสืบเสาะหาความรู้และอภิปรายร่วมกับเพื่อนในชั้นเรียน และ 2) นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาอยู่ในระดับดีมาก กล่าวคือ นักเรียนสามารถตั้งสถานการณ์หรือปัญหาเกี่ยวกับความน่าจะเป็น โดยกำหนดข้อมูล เงื่อนไข คำถามและสามารถทำความเข้าใจปัญหา เลือกยุทธวิธีการแก้ปัญหา ดำเนินการใช้ยุทธวิธีในการแก้ปัญหาด้วยวิธีที่เหมาะสม สรุปคำตอบและสรุปความคิดรวบยอดของความน่าจะเป็นได้

คำสำคัญ: 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ความน่าจะเป็น

อ้างอิงบทความนี้
ปรางทิพย์ แป้นวงษ์ และวนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์. (2564). การจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 96-106.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Learning implementation based on five mathematics teaching practices to enhance problem posing and problem solving on probability of Mathayomsuksa 3 students.

Prangthip Paenwong[1,*] and Wanintorn Poonpaiboonpipat[1]

[1]Department of Education, Faculty of Education, Naresuan University

**Email: prangthig.paen@gmail.com*

Received <3 May 2021>; Revised <24 May 2021>; Accepted <25 May 2021>

Abstract

This research aimed to 1) study appropriate learning implementation based on five mathematics teaching practices to enhance problem-posing and problem-solving abilities and 2) study the effects of learning implementation based on five mathematics teaching practices on problem-posing and problem-solving abilities in the topic of probability of Mathayomsuksa 3 students. The participants were 20 students in a secondary school in Nakhon Sawan Province. The researcher applied classroom action research for 3 cycles with a total duration of 12 hours. The research tools were lesson plans, reflection form, activity sheets, problem posing and problem solving notes and a test for problem posing and problem solving. The data were analyzed by content analysis and analytic scoring. The results showed that the appropriate learning implementation based on five mathematics teaching practices to enhance problem posing and problem solving should emphasized some points. Firstly, teachers should choose mathematical tasks or situations that engage students' interest. They might help student to discuss in class and get idea for problem posing. Secondly, teachers should select and order students' work to present in the order from less understanding to complete understanding in probability. This will help students learn from mistakes until they build knowledge on their own. Finally, the teacher should initiate a discussion by giving an example and using open-ended questions. This will help students to inquiry and discuss with their classmates. Most students are in a very good level of problem posing and problem solving ability, that is, they are able to set up a situation or problem related probability with appropriate information, conditions, and questions. Then they can understand the problem, choose a solution strategy, implement appropriate strategies for problems solving, and make a conclusion of problem and concepts of probability.

Keywords: Five mathematics teaching practices, Problem posing and Problem solving, Probability

Cite this article:

Paenwong, P. and Poonpaiboonpipat, W. (2021). Learning implementation based on five mathematics teaching practices to enhance problem posing and problem solving on probability of Mathayomsuksa 3 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 96-106.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564) ได้กำหนดให้คนเป็นศูนย์กลางในการพัฒนา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คนไทยทุกช่วงวัยมีทักษะ มีความรู้ความสามารถและพัฒนาตนเองได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต (Office of the education council, 2017, p. 10 – 11) ซึ่งในการเสริมสร้างและพัฒนาศักยภาพคนให้บรรลุเป้าหมายนั้นคือการพัฒนาการศึกษาในศตวรรษใหม่นี้ที่มีเป้าหมายในการปรับเปลี่ยนการเรียนการสอนไปสู่กระบวนการเรียนรู้ร่วมกันของทั้งครูและผู้เรียนที่มุ่งเน้น “กระบวนการเรียนรู้สำคัญกว่าความรู้” และ “กระบวนการหาคำตอบสำคัญกว่าคำตอบ” (Saythnu, 2017) โดยใช้ฐานคิดในศตวรรษที่ 21 ที่ให้ผู้เรียนมีทักษะในการเรียนรู้ ทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในเนื้อหาวิชาหลัก เพื่อให้ผู้เรียนมีทักษะในการตั้งปัญหา วางแผน ลงมือแก้ปัญหา สรุปและสะท้อนผลจากการเรียนรู้ เกี่ยวกับสถานการณ์ที่ได้รับการกระตุ้นจากบทเรียนหรือสภาพแวดล้อมทางสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเห็นได้จากความสำคัญของคณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากช่วยให้มนุษย์มีการคิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบมีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากประเมินการรู้เรื่องคณิตศาสตร์ของการประเมิน PISA ที่เน้นประเมินความรู้และทักษะคณิตศาสตร์ที่เรียนมาใช้ในสถานการณ์ของชีวิตจริงพบว่าคะแนนเฉลี่ยคณิตศาสตร์ของนักเรียนไทย ใน PISA 2015 คือ 415 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงลำดับที่ 49 – 55 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย OECD มากกว่าหนึ่งระดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับการประเมินคณิตศาสตร์ใน PISA 2012 ลดลง 11 คะแนน และใน PISA 2003 ลดลง 2 คะแนน แต่ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญและคะแนนใกล้เคียงกับการประเมินใน PISA 2006 และ PISA 2009 โดยผลการประเมินจำแนกตามแนวสมรรถนะทางคณิตศาสตร์ สมรรถนะกลุ่มการสะท้อนและการสื่อสารซึ่งเป็นสมรรถนะที่เกี่ยวข้องกับการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาได้คะแนนน้อยที่สุด และเมื่อจำแนกตามสาขาวิชาคณิตศาสตร์ในเรื่องความน่าจะเป็นมีคะแนนขยับเพิ่มขึ้นมาเป็น 46% แต่ก็ยังไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน อีกทั้งจากผลการสำรวจเด็กและเยาวชนอายุ 14-18 ปี พบว่า นักเรียนไทยมีเวลาเรียนมากที่สุดในโลก แต่ไม่สามารถนำความรู้ในห้องเรียนไปประยุกต์ใช้ในการแก้สถานการณ์ชีวิตจริงได้ (Chinapong, 2014)

จากผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O – NET) ในรายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในปีการศึกษา 2560 มีคะแนนเฉลี่ยในรายวิชาคณิตศาสตร์เพียง 26.30 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน นับว่าคะแนนเฉลี่ยดังกล่าวถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก ซึ่งยังไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 50 และสาระที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุดในรายวิชาคณิตศาสตร์คือ สาระการวิเคราะห์ข้อมูลและความน่าจะเป็น ที่มีคะแนนเฉลี่ย 21.54 คะแนน ซึ่งผลคะแนน O – NET นี้สอดคล้องกับผลคะแนน O – NET ของโรงเรียนที่มีคะแนนเฉลี่ยในวิชาคณิตศาสตร์เพียง 25.64 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน และสาระที่มีคะแนนน้อยที่สุดคือสาระการวิเคราะห์ข้อมูลและความน่าจะเป็นที่มีคะแนนเฉลี่ยเพียง 19.26 คะแนน และจากการประเมินผลในชั้นเรียนของผู้วิจัยนั้น พบว่า การจัดการเรียนรู้เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบปัญหาคือ เนื้อหาความน่าจะเป็น นั้นยากต่อการทำความเข้าใจ การเรียนในห้องเรียนเป็นการเรียนแบบท่องจำในบทนิยาม ทฤษฎีบท กฎ สูตรแล้วนำมาใช้แก้ปัญหาในแต่ละสถานการณ์ปัญหา นักเรียนมองว่าเป็นเรื่องที่ไกลตัว ทำให้มีความสับสนในการหาคำตอบ นักเรียนขาดจินตนาการในสถานการณ์ต่าง ๆ ไม่สามารถคิดวิเคราะห์ ว่าสถานการณ์มีความสัมพันธ์กันอย่างไร จนทำให้นักเรียนไม่สามารถตั้งปัญหาจากสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้ และไม่สามารถแก้ปัญหาในในสถานการณ์ต่าง ๆ ในเรื่องความน่าจะเป็นได้

ดังนั้นจึงเป็นความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียน แต่แนวทางการพัฒนาการแก้ปัญหาที่ยั่งยืนและเน้นให้นักเรียนนำความรู้ไปใช้ในชีวิตจริงนั้น อาจจะต้องพัฒนาการตั้งปัญหาควบคู่ไปด้วยดังที่ NCTM (2000 as cited in Ilana & Atara 2007) กล่าวว่าการตั้งปัญหาได้รับการยอมรับว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการเรียนการสอนคณิตศาสตร์และ Panich (2012) กล่าวว่า นอกจากการตั้งปัญหาจะช่วยวางรากฐานการเป็นเรียนรู้ตลอดชีวิตให้แก่นักเรียนแล้ว ยังจะทำให้ชีวิตนักเรียนเป็นชีวิตที่สนุกสนานตื่นเต้นเร้าใจ กระตุ้นจินตนาการ ยั่วยุให้ค้นคว้า ค้นหา สร้าง และเรียนรู้ ซึ่งต้องไม่ตั้งเป้าว่าต้องได้คำตอบที่ถูกแต่เป็นการสืบเสาะจากคำตอบที่ผิดไปสู่คำตอบที่ถูกต้องเน้นการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นเป้าหมาย ซึ่งจะเป็นการเรียนรู้แบบไม่รู้จบหรือให้ติดตัวไปตลอดชีวิต นี่คือส่วนหนึ่งของทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 อีกทั้ง Cunningham (2004) ยังกล่าวไว้อีกว่า การให้นักเรียนมีโอกาสในการตั้งปัญหาก็สามารถส่งเสริมความรู้สึกถึงความเป็นเจ้าของในปัญหาที่นักเรียนตั้งเพื่อสร้างความรู้ของตนเอง และส่งผลให้เกิดการมีส่วนร่วมและความรู้ในระดับที่สูงขึ้นรวมถึงความสามารถในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ปัญหานั้น ๆ ได้

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

การส่งเสริมให้นักเรียนตั้งปัญหาจะช่วยให้นักเรียนเห็นโครงสร้างของสถานการณ์ปัญหา เชื่อมโยงแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องและวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาจนส่งผลให้นักเรียนพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาได้ แนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาควรเป็นกิจกรรมที่มุ่งเน้นนักเรียนให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนด้วยการลงมือปฏิบัติ การใช้คำถามของครูเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิด การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพื่อนด้วยกันและระหว่างนักเรียนกับครู จนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง (Wongpaibool, 2017) จากปัญหาที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่น่าสนใจและเหมาะที่จะนำมาพัฒนาความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของนักเรียนคือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติ (5 practices) ในการสอนคณิตศาสตร์ คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการอภิปรายและมุ่งให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติ โดยครูใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิด การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพื่อนด้วยกันและระหว่างนักเรียนกับครูผู้สอน จนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเองและแสดงออกโดยการเขียน การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก้ ขั้นตอนที่ 1 การคาดการณ์ (Anticipating) ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบ (Monitoring) ขั้นตอนที่ 3 การเลือก (Selecting) ขั้นตอนที่ 4 การลำดับการนำเสนอ (Sequencing) และขั้นตอนที่ 5 การเชื่อมโยง (Connecting) ซึ่งในขั้นตอนที่ 2 คือขั้นการตรวจสอบ เป็นขั้นตอนที่นักเรียนได้ปฏิบัติการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา โดยครูอภิปรายร่วมกับนักเรียน ใช้คำถามที่กระตุ้นให้นักเรียนคิดตั้งปัญหาและแก้ปัญหา และเขียนแบบบันทึกการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา และขั้นตอนที่ 5 คือขั้นการเชื่อมโยง เป็นขั้นที่ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในความหมายของความน่าจะเป็น ซึ่งครูกับนักเรียนร่วมกันอภิปรายเชื่อมโยง สรุปความหมายของความน่าจะเป็น สรุปแนวทางในการตั้งปัญหาที่สามารถแก้ปัญหาได้และใช้วิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง

จากเหตุผลและความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญที่จะศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่พัฒนาความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของนักเรียน ซึ่งเป็นทักษะการเรียนรู้ที่จำเป็นต่อนักเรียนในการนำความรู้คณิตศาสตร์ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตจริงได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3
2. เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น ที่มีต่อความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการ (Action Research) ตามแนวคิดของ Kemmis and Mctaggart (2000) ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนใน 1 วงจร ได้แก่ ขั้นวางแผน (Plan) ขั้นปฏิบัติการ (Action) ขั้นสังเกตการณ์ (Observation) และขั้นสะท้อนผล (Reflect) ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยมีลักษณะทำซ้ำเป็นวงจรทั้งหมด 3 วงจรตามแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อสะท้อนการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยแล้วนำไปพัฒนาการจัดการเรียนรู้ผ่านการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการถัดไป

2. กลุ่มเป้าหมาย นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 20 คน และดำเนินการเก็บข้อมูลในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น จำนวน 3 แผน ใช้เวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง มีเนื้อหาย่อยคือ การทดลองสุ่มและแซมเปิลสเปซ (4 ชั่วโมง) โอกาสและความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ (4 ชั่วโมง) และความน่าจะเป็นกับการตัดสินใจ (4 ชั่วโมง)

3.2 แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ในขณะที่ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ทุกวงจรปฏิบัติการจะมีผู้ร่วมสังเกตการณ์ซึ่งเป็นหัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่มีประสบการณ์ในการสอนคณิตศาสตร์มากกว่า 10 ปี มาร่วมสังเกตการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และจดบันทึกจุดเด่น จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไขหรืออุปสรรคปัญหา จากนั้นเมื่อจบแต่ละวงจรปฏิบัติการ ผู้ร่วมสังเกตการณ์และผู้วิจัยร่วมพูดคุยสะท้อนผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้วิจัยแล้วสรุปเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขในแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการถัดไป จนครบ 3 แผน หรือ 3 วงจรปฏิบัติการ

3.3 ใบกิจกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เป็นส่วนหนึ่งของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นและใช้ประกอบการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ลักษณะของใบกิจกรรมจะมีส่วนที่แสดงการเขียนตั้งปัญหา และส่วนที่แสดงวิธีการแก้ปัญหา โดยเน้นสถานการณ์ที่ครอบคลุมเนื้อหาแซมเปิลสเปซ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ และความน่าจะเป็นกับการตัดสินใจ

3.4 แบบบันทึกการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหามีลักษณะเป็นแบบอัตนัยให้ตอบคำถามและเขียนบรรยายคำตอบจำนวน 10 ข้อ ซึ่งจะเขียนหลังจากทำใบกิจกรรมในแต่ละแผนเสร็จ โดยเน้นเขียนการวิเคราะห์ปัญหา การเลือกใช้ยุทธวิธีในการแก้ปัญหา การเขียนความหมายของแซมเปิลสเปซ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ และความน่าจะเป็นกับการตัดสินใจ

3.5 แบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น เป็นแบบทดสอบชนิดเขียนตอบแบบอัตนัย จำนวน 2 ข้อ ให้นักเรียนทำหลังจากจัดการเรียนรู้ครบ 3 แผนแล้ว

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอน ดังนี้

4.1 ปฐมนิเทศและชี้แจงจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มเป้าหมาย

4.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็นที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ตามชั่วโมงปกติของโรงเรียน โดยใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 12 ชั่วโมง

4.3 ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการณ์จะจดบันทึกการทำกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนลงในแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ และให้นักเรียนเขียนแบบบันทึกการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาหลังจากทำใบกิจกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาเป็นคู่ มีทั้งหมด 10 คู่

4.4 เมื่อจบการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้มาทำการสะท้อนผลเพื่อปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป

4.5 เมื่อดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น จำนวน 2 ข้อ ใช้เวลาทั้งหมดข้อละ 55 นาที

4.6 นำผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล

5. การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยมีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

5.1 การวิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น รวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติ ได้จากผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการณ์มาจำแนกและตีความ ทำการจัดกลุ่มข้อมูล แล้วนำข้อมูลมาเขียนเป็นความเรียงเชื่อมโยงข้อสรุป เป็นบทสรุปย่อย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยวิธีการสามเส้า (Triangulation) ด้านการใช้แหล่งข้อมูลมากกว่า 1 แหล่ง (Resource Triangulation) ว่า มีความสอดคล้องว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ เพื่อหาข้อสรุปของข้อมูลที่ได้แล้วนำไปแก้ไขปรับปรุงในวงจรปฏิบัติการ ถัดไปจนครบทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ จึงสรุปเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์

5.2 การวิเคราะห์ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ที่มีต่อความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น โดยนำข้อมูลจากใบกิจกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา แบบบันทึกการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา และแบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น มาวิเคราะห์โดยเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริก (Rubric scoring) สำหรับเกณฑ์การประเมินการตั้งปัญหาทางคณิตศาสตร์ ใช้แนวทางการประเมินการตั้งปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามแนวคิดของ Silver and Cai (1996, p.526) และ Kwek and Lye (2007) ซึ่งมีความซับซ้อนของการตั้งปัญหา 3 ระดับ คือ ความซับซ้อนระดับสูง (High complexity) ความซับซ้อนระดับกลาง (Moderate complexity) และความซับซ้อนระดับต่ำ (Low complexity)) ร่วมกับแนวทางการวัดและประเมินผลคณิตศาสตร์ของ The institute for the promotion of teaching science and technology (2012)

โดยนำมาปรับเพื่อเป็นเกณฑ์การประเมินการตั้งปัญหาทางคณิตศาสตร์ เป็นแบบองค์รวม 4 ระดับ ได้แก่ ดีมาก (4) ดี (3) พอใช้ (2) และปรับปรุง (1)

ผลการวิจัย

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ผลการวิจัยในครั้งนี้จำแนกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ผู้วิจัยสรุปประเด็นปัญหาที่พบและแนวทางการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะพบว่าใน วงจรปฏิบัติการที่ 1 – 3 ปัญหาที่พบในชั้นเรียนจะลดลงเรื่อย ๆ จนไม่พบปัญหา เนื่องจากเมื่อผู้วิจัยพบปัญหาในแต่ละวงจรปฏิบัติการจะหาแนวทางการแก้ไขปัญหานั้นเสมอทำให้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ไม่พบปัญหา

ตารางที่ 1 ประเด็นปัญหาที่พบและแนวทางแก้ปัญหาในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

วงจรปฏิบัติการ	ประเด็นปัญหาที่พบ	แนวทางการแก้ปัญหา
1. การทดลองสุ่มและแซมเปิลสเปซ	- นักเรียนบางคู่แก้ปัญหาไม่ถูกต้อง	- ผู้วิจัยอธิบาย แนะนำ และใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนคิด เชื่อมโยง และสามารถแก้ปัญหาได้ถูกต้อง
	- นักเรียนเขียนองค์ประกอบของสถานการณ์ปัญหาไม่ครบ นักเรียนจึงตั้งปัญหาที่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้	- ผู้วิจัยตั้งคำถามกระตุ้น แนะนำให้นักเรียนเขียนองค์ประกอบของสถานการณ์ปัญหาให้ครบถ้วน และสามารถแก้ปัญหาได้
	-นักเรียนบางคู่เขียนความหมายของแซมเปิลสเปสไม่ถูกต้อง หรือเขียนถูกต้องเป็นบางส่วน	- ผู้วิจัยตั้งคำถามกระตุ้น ตั้งคำถามเชื่อมโยง แนะนำให้นักเรียนเขียนความหมายของแซมเปิลสเปสให้ถูกต้อง
2. โอกาสและความน่าจะเป็นของเหตุการณ์	- ไม่พบปัญหา	- ไม่พบปัญหา
3. ความน่าจะเป็นกับการตัดสินใจ	- ไม่พบปัญหา	- ไม่พบปัญหา

จากตารางที่ 1 พบว่า ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ไม่พบปัญหา เนื่องมาจากผู้วิจัยได้นำปัญหาที่พบในวงจรที่ 1 มาปรับแผนการจัดการเรียนรู้ คือ ปรับข้อคำถามในการอภิปรายโดยเพิ่มข้อคำถามให้มากขึ้น ใช้คำถามที่มีความเฉพาะเจาะจง และใช้คำถามปลายเปิดให้มากขึ้น และเพิ่มตัวอย่างเกี่ยวกับการตั้งปัญหาที่มีองค์ประกอบของปัญหาครบถ้วนและสามารถแก้ปัญหาได้ จึงทำให้วงจรปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ไม่พบปัญหา ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำประเด็นปัญหาที่พบ และแนวทางการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 1 มาสรุปเป็นข้อค้นพบแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคาดการณ์ (Anticipating) ผู้วิจัยควรเลือกภาพอุปกรณ์ให้มีความน่าสนใจ ใกล้เคียงกับประสบการณ์ของนักเรียน เพื่อจะช่วยกระตุ้นให้นักเรียนสามารถตั้งปัญหาและแก้ปัญหาได้ง่ายขึ้น ผู้วิจัยควรทำความเข้าใจในภาพอุปกรณ์ แนวทางการตั้งปัญหาเป็นอย่างดี เพื่อที่จะสามารถตั้งคำถามในการกระตุ้นให้นักเรียนคิดวิธีการตั้งปัญหาได้ และผู้วิจัยควรคาดการณ์วิธีการตั้งปัญหาของนักเรียนที่หลากหลาย เพื่อให้เห็นแนวทางในการตั้งปัญหาของนักเรียน

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบ (Monitoring) ผู้วิจัยควรใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนคิดตั้งปัญหาและแก้ปัญหาโดยให้นักเรียนทำความเข้าใจปัญหา วางแผนแก้ปัญหา แก้ปัญหาและตรวจสอบคำตอบ ผู้วิจัยควรสังเกตพฤติกรรมการแก้ปัญหาของนักเรียนและคอยชี้แนะ แนะนำแนวทางในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาของนักเรียนให้สามารถตั้งปัญหาและแก้ปัญหาได้ถูกต้อง ซึ่งผู้วิจัยอาจจะยกตัวอย่างบ้างเป็นบางครั้งเพื่อให้นักเรียนเห็นแนวทางในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหามากขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 การเลือก (Selecting) ผู้วิจัยควรเลือกผลงานการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาที่ง่ายไม่ซับซ้อนไปจนถึงวิธีที่ยากและซับซ้อน โดยไม่คำนึงถึงคำตอบ และตรงกับความหมายของความน่าจะเป็นมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การเรียงลำดับการนำเสนอ (Sequencing) ผู้วิจัยควรเรียงลำดับการนำเสนอ โดยให้อันดับแรกเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนน้อย อาจใช้เวลาในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาเป็นเวลานานหรือไม่นาน ได้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ถูกต้อง ไปจนถึงวิธีการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมาก อาจใช้เวลาในการแก้ปัญหาเป็นเวลานานหรือไม่นาน ได้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ถูกต้องและตรงกับความหมายของความน่าจะเป็นมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 การเชื่อมโยง (Connecting) ผู้วิจัยควรตั้งคำถามที่ใช้ทั้งคำถามปลายเปิด หรือคำถามแบบเฉพาะเจาะจง เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาของนักเรียนแต่ละคู่ที่จะช่วยเชื่อมโยงแนวคิดในการตั้ง

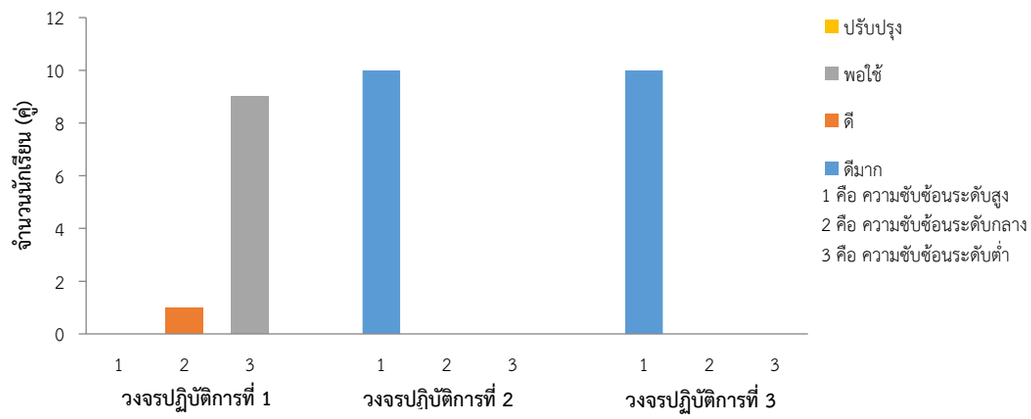
ปัญหาและแก้ปัญหาของคู่ตนเองและคู่อื่นๆ เพื่อให้ได้ความหมายของความน่าจะเป็นมากที่สุด ผู้วิจัยควรอธิบายเพิ่มเติม อธิบายสรุป พร้อมยกตัวอย่างแนวคิดในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาที่ตรงกับความหมายของความน่าจะเป็นมากที่สุด เพื่อให้นักเรียนเห็นแนวคิดในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาได้ชัดเจนมากขึ้น

2. ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ผู้วิจัยแบ่งผลในตอนนี้ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาระหว่างจัดการเรียนรู้ โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ซึ่งรวบรวมจากใบกิจกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา และแบบบันทึกการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา 2) การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาหลังจัดการเรียนรู้ โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ซึ่งรวบรวมจากแบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาระหว่างจัดการเรียนรู้ โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ซึ่งรวบรวมจากใบกิจกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา และแบบบันทึกการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา

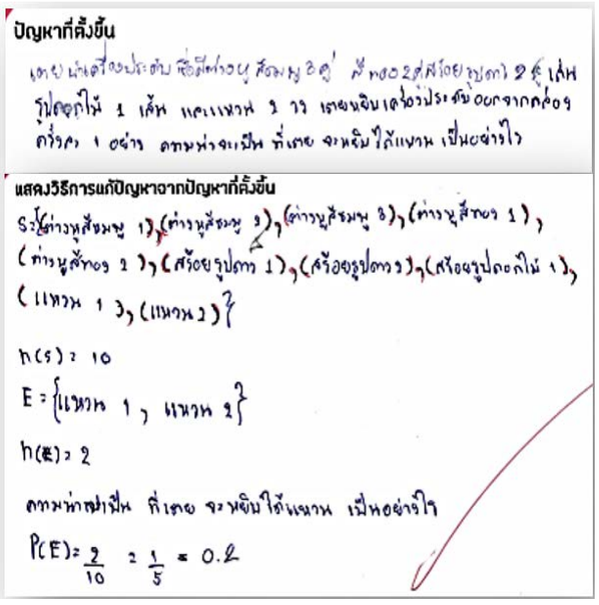
ผู้วิจัยวิเคราะห์ใบกิจกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของนักเรียนจำนวน 10 คู่ ในแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 แผน โดยมีประเด็นการ บันทึกการสังเกตพฤติกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของการตั้งปัญหา ของนักเรียน 3 ระดับดังนี้ (1) ความซับซ้อนระดับสูง (2) ความซับซ้อนระดับกลาง และ(3) ความซับซ้อนระดับต่ำ ซึ่งแสดงผลวิจัยแต่ละแผน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 จำนวนนักเรียน (คู่) ตามระดับความซับซ้อนในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของแต่ละกระบวนการ

จากภาพที่ 1 เป็นการแสดงจำนวนนักเรียน (คู่) ตามระดับความซับซ้อนในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา พบว่าหลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ผลจากวงจรปฏิบัติการที่ 3 ซึ่งเป็นวงจรสุดท้ายของการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนทุกคู่ มีความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาอยู่ในความซับซ้อนระดับสูง คืออยู่ในระดับ ดีมาก พิจารณาโดยรวม ตั้งแต่วงจรปฏิบัติการที่ 1 ถึงวงจรปฏิบัติการที่ 3 มีแนวโน้มที่มีการพัฒนาดีขึ้นเรื่อย ๆ ถึงแม้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่จะตั้งปัญหาและแก้ปัญหาอยู่ในความซับซ้อนระดับต่ำ คือระดับ พอใช้ แต่เมื่อพิจารณาจากวงจรที่ 2 พบว่านักเรียนมีพัฒนาการในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาที่ดีขึ้น โดยนักเรียนทุกคู่ตั้งปัญหาและแก้ปัญหาอยู่ในความซับซ้อนระดับสูง คือ ระดับดีมาก และในวงจรปฏิบัติการที่ 3 เห็นได้ชัดเจนว่า นักเรียนทุกคู่นั้นมีความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาอยู่ในความซับซ้อนระดับสูง คือระดับดีมาก ดังภาพที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของนักเรียนที่อยู่ในระดับ ดีมาก ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ทั้งนี้ ในภาพที่ 2 แสดงการตั้งปัญหาของนักเรียนที่ใช้แนวทางที่ครูไม่เคยแนะนำมาก่อน คือ ตั้งปัญหาเกี่ยวกับการหยิบเครื่องประดับออกจากกล่องทึบ ครั้งละ 1 อย่าง และแสดงการแก้ปัญหาเพื่อหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ โดยการเขียน แซมเปิลสเปซแบบแจกแจง หาเหตุการณ์โดยเขียนแบบแจกแจง และนำแซมเปิลสเปซและเหตุการณ์มาแทนในสูตรความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ได้ถูกต้อง

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



ปัญหาที่ตั้งขึ้น

เตยนำเครื่องประดับซึ่งมีต่างหูสีชมพู 3 คู่ สีทอง 2 คู่ สร้อยรูปดาว 2 เส้น สร้อยรูปดอกไม้ 1 เส้น และแหวน 2 วง เตยหยิบเครื่องประดับออกจากกล่องครั้งละ 1 อย่าง ความน่าจะเป็นที่เตยจะหยิบได้แหวนเป็นอย่างไร

แสดงวิธีการแก้ปัญหาจากปัญหาที่ตั้งขึ้น

S= {(ต่างหูสีชมพู1), (ต่างหูสีชมพู2), (ต่างหูสีชมพู3), (ต่างหูสีทอง1), (ต่างหูสีทอง2), (สร้อยรูปดาว1), (สร้อยรูปดาว2), (สร้อยรูปดอกไม้1), (แหวน1), (แหวน2)}

n(S) = 10

E= {แหวน1, แหวน2}

n(E) = 2

ความน่าจะเป็นที่เตยจะหยิบได้แหวนเป็นอย่างไร

$P(E) = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} = 0.2$

ภาพที่ 2 ผลงานของนักเรียนที่อยู่ในระดับดีมากในวงจรปฏิบัติการที่ 2 (ซ้าย) และการพิมพ์ข้อความจากภาพ (ขวา)

2) การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาหลังจัดการเรียนรู้ โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ซึ่งรวบรวมจากแบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น

ผู้วิจัยวิเคราะห์แบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนจำนวน 20 คน โดยมีประเด็นการบันทึกการสังเกตพฤติกรรมการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของการตั้งปัญหา ของนักเรียน 3 ระดับดังนี้ (1) ความซับซ้อนระดับสูง (2) ความซับซ้อนระดับกลาง และ(3) ความซับซ้อนระดับต่ำ ร่วมกับเกณฑ์การให้คะแนนแบบองค์รวม 4 ระดับ ได้แก่ ดีมาก (4) ดี (3) พอใช้ (2) และปรับปรุง (1) ซึ่งแสดงผลวิจัยแต่ละแผน ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบระดับความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์จากแบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น

ทักษะในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	จำนวนนักเรียนในแต่ระดับความสามารถ (ร้อยละ)							
	ดีมาก		ดี		พอใช้		ปรับปรุง	
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 1	ข้อ 2
ความซับซ้อนระดับสูง	14 (70.00)	18 (90.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
ความซับซ้อนระดับกลาง	0 (0.00)	0 (0.00)	3 (15.00)	2 (10.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
ความซับซ้อนระดับต่ำ	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	3 (15.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)

จากตารางที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบระดับทักษะการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์จากแบบทดสอบการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เรื่อง ความน่าจะเป็น พบว่า การตั้งปัญหาและแก้ปัญหาโดยรวมทั้งข้อ 1 และ ข้อ 2 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก เมื่อพิจารณาความซับซ้อนในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาการแก้ปัญหาแต่ละระดับ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ตั้งปัญหาและแก้ปัญหามีความซับซ้อนระดับสูง อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก ทั้งข้อ 1 และ ข้อ 2 ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่า นักเรียนมีความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาอยู่ในความซับซ้อนระดับสูง คือระดับดีมาก

อภิปรายผล

ผู้วิจัยได้จำแนกการอภิปรายออกเป็น 2 ประเด็น ดังนี้

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนด้วย 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

แนวทางที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ มีประเด็นการสอนที่ควรเน้น ดังนี้ ใน**การคาดการณ์**การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของนักเรียน ครูควรนำสถานการณ์ อุปกรณ์ที่มีความเกี่ยวข้อง หรือมีลักษณะใกล้เคียงกับสถานการณ์เดิม อุปกรณ์เดิมมาให้นักเรียนตั้งปัญหาและแก้ปัญหา เพื่อที่จะให้นักเรียนคุ้นชินกับลักษณะของปัญหา แล้วจึงค่อยๆ ปรับเปลี่ยนลักษณะของสถานการณ์ อุปกรณ์ ให้มีความแตกต่างไปจากเดิม โดยครูต้องมีการเตรียมความพร้อมในการออกแบบแนวคิดในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา และนำบทเรียนไปใช้ในการอภิปรายในชั้นเรียนต่อไป เพื่อที่จะส่งผลให้นักเรียนสามารถตั้งปัญหาและแก้ปัญหาได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Kamol (2018) ที่ศึกษาการสนับสนุนครูเตรียมตัวก่อนการสอนในการสอนคณิตศาสตร์ผ่านการเรียนการสอนด้วยการใช้ 5 แนวทางปฏิบัติ: การศึกษาแบบฟิลิปปินส์ โดยการศึกษาพบว่า การใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ มีผลต่อลักษณะโดยรวมของบทเรียน ครูผู้สอนสามารถพัฒนาทักษะการสอนโดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เพื่อออกแบบและนำบทเรียนไปใช้ในการอภิปรายทางคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิผล นอกจากนี้ครูสามารถพัฒนาความเข้าใจในกลยุทธ์การแก้ปัญหาต่าง ๆ ของนักเรียนและนำแนวคิดเหล่านี้ มาเป็นส่วนหนึ่งของการอภิปรายทั้งชั้น เนื่องจากการปฏิบัติตามการคาดการณ์ที่วางไว้ได้ถูกต้อง จะทำให้การเรียนรู้ในช่วงเริ่มแรกของการใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ถูกจัดอย่างเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจทำกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นต่างๆ ต่อไป **การตรวจสอบ**การตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ครูควรให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหา ตามความเข้าใจของตนเอง โดยครูร่วมอภิปรายกับนักเรียน ครูเป็นผู้ตั้งคำถามกระตุ้นความคิด ตรวจสอบ แนะนำ อธิบายเพิ่มเติม และส่งเสริมให้นักเรียนสามารถตั้งปัญหาและแก้ปัญหาได้ **การเลือก**ผลงานการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา ครูควรเลือกผลงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน ไม่คำนึงถึงคำตอบ ไปจนถึงผลงานที่ยากและซับซ้อน ไม่คำนึงถึงคำตอบและตรงกับความหมายของความน่าจะเป็นมากที่สุด **การเรียงลำดับการนำเสนอ** ครูควรเรียงจากวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน ไม่คำนึงถึงคำตอบ และตรงกับความหมายของความน่าจะเป็น ไปจนถึงผลงานที่ยากและซับซ้อนมากขึ้น ไม่คำนึงถึงคำตอบ และตรงกับความหมายของความน่าจะเป็น เพื่อให้นักเรียนมองเห็นข้อแตกต่างของแนวคิดแต่ละแนวคิด โดยสอดคล้องกับ Smith and Stein (2011) ที่กล่าวว่า 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เป็นการเรียนการสอนที่จะช่วยให้ครูบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ตามความต้องการ โดยใช้ผลงานของนักเรียนที่นำแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญมานำเสนอในห้องเรียนสำหรับการอภิปราย และสุดท้าย**การเชื่อมโยง**ความคิดของนักเรียนเพื่อให้ได้ข้อสรุปของแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็น คือขั้นตอนที่ยากที่สุด เพราะการใช้คำถามปลายเปิดกระตุ้นเพื่อให้นักเรียนคิดและตอบคำถามเพียงไม่กี่คำถาม ไม่เพียงพอที่จะสรุปแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็นได้ ดังนั้นครูจึงควรมีการอธิบายโดยยกตัวอย่างเพิ่มเติม อภิปรายโดยตั้งคำถามปลายเปิดให้มากขึ้น ชี้แนะ แนะนำ และหลอมรวมข้อคิดเห็นของนักเรียนเพื่อให้เข้าใจแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็นมากขึ้น โดยสอดคล้องกับ Cengiz, Kline and Grant (2011 as cited in Maria, 2014) ที่กล่าวว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการสอนของครู เป็นเครื่องมือสำหรับครูคณิตศาสตร์ในทุกระดับชั้นเพื่อเรียนรู้ที่จะทำการอภิปรายทางคณิตศาสตร์อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งเน้นการเชื่อมโยงระหว่างความคิดของนักเรียนที่แตกต่างกันและระหว่างความคิดเห็นของนักเรียนและแนวคิดที่สำคัญ อย่างไรก็ตามการโต้แย้งและการเชื่อมโยงเป็นกุญแจสำหรับการสร้างโอกาสในการอภิปรายเพื่อขยายความคิดของนักเรียน

2. ผลการจัดการเรียนรู้ด้วย 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น เพื่อส่งเสริมความสามารถในการตั้งและการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ผลการวิจัยระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์นั้น นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาในภาพรวมอยู่ในระดับ ดีมาก ในแต่ละกระบวนการอยู่ในระดับดีมาก และนักเรียนมีความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาในภาพรวมอยู่ในความซับซ้อนระดับสูง คืออยู่ในระดับ ดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องมาจากการสอนโดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ ในขั้นการคาดการณ์ครูได้ออกแบบแนวคิดในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาที่ครอบคลุมทุกแนวคิดที่คาดว่านักเรียนจะตั้งปัญหาและแก้ปัญหาได้ แล้วครูนำแนวคิดที่ออกแบบ และเนื้อหาในบทเรียนไปใช้ในการอภิปรายในชั้นเรียน เพื่อพัฒนาความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหาของนักเรียน โดยนักเรียนเป็นผู้ตั้งปัญหาและแก้ปัญหาด้วยตนเอง ครูเป็นผู้ตั้งคำถามกระตุ้น แนะนำแนวทางให้นักเรียนสามารถตั้งปัญหาและแก้ปัญหาได้ และจากการสอนในขั้นการเชื่อมโยงความคิดของนักเรียนเพื่อให้ได้ข้อสรุปของแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็น

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ครูใช้คำถามปลายเปิดกระตุ้นเพื่อให้นักเรียนคิดและตอบคำถามเพื่อจะสรุปแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็นได้ โดยครูมีการอธิบายโดยยกตัวอย่างเพิ่มเติม อภิปรายโดยตั้งคำถามปลายเปิด ชี้แนะ แนะนำ และหลอมรวมข้อคิดเห็นของนักเรียนเพื่อให้เข้าใจแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็น

สรุปผลการวิจัย

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหานั้น 1) แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมความสามารถในการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหานั้น มีประเด็นที่ควรเน้น คือ ครูควรเลือกงานทางคณิตศาสตร์หรือสถานการณ์ที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ควรเป็นปัญหาหรือสถานการณ์ที่ช่วยกระตุ้นความสนใจของนักเรียน จึงจะช่วยให้เกิดการอภิปรายในชั้นเรียนและส่งผลต่อการตั้งปัญหาของนักเรียน ครูควรเลือกและเรียงลำดับผลงานของนักเรียนในการนำเสนอให้ตรงกับความหมายของความน่าจะเป็นจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด จึงจะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้จากข้อผิดพลาดจนสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง และครูควรเป็นผู้เริ่มการอภิปรายโดยยกตัวอย่างและใช้คำถามปลายเปิดประกอบตัวอย่างนั้น จึงจะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้การสืบเสาะหาความรู้และอภิปรายร่วมกับเพื่อนในชั้นเรียน 2) นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการตั้งปัญหาและแก้ปัญหาอยู่ในระดับดีมาก กล่าวคือ นักเรียนสามารถตั้งสถานการณ์หรือปัญหาเกี่ยวกับความน่าจะเป็น โดยกำหนดข้อมูล เงื่อนไข และคำถาม และสามารถทำความเข้าใจปัญหา เลือกยุทธวิธีการแก้ปัญหา ดำเนินการใช้ยุทธวิธีในการแก้ปัญหาด้วยวิธีที่เหมาะสม สรุปคำตอบและเขียนความคิดรวบยอดของความน่าจะเป็นได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1) ขณะทำกิจกรรม ครูควรพิจารณาองค์ประกอบของปัญหาที่นักเรียนตั้งว่าสามารถแก้ปัญหาเพื่อหาความน่าจะเป็นได้หรือไม่ และพิจารณาถึงความถูกต้องของการแก้ปัญหาว่าถูกต้องตามหลักคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็นหรือไม่ เพื่อเน้นย้ำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในแนวคิดและความหมายของความน่าจะเป็นมากขึ้น

2) การจัดการเรียนรู้ในขั้นตอนเชื่อมโยง (Connecting) คือขั้นตอนที่ยากที่สุดที่จะให้นักเรียน เกิดการตั้งปัญหาและการแก้ปัญหา เพราะการใช้คำถามกระตุ้น เพื่อให้นักเรียนคิดและตอบคำถามเพียงไม่กี่คำถาม ไม่เพียงพอที่จะสรุปแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็นได้ ดังนั้นครูจึงควรมีการอธิบายโดยยกตัวอย่างเพิ่มเติม ร่วมกับการใช้คำถามปลายเปิดที่ชี้แนะให้เกิดการอภิปราย การสืบเสาะเพื่อให้นักเรียนเข้าใจแนวคิด ความหมายของความน่าจะเป็นมากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการวิจัยครั้งต่อไปควรนำรูปแบบการสอนนี้ไปใช้เพื่อพัฒนาทักษะที่เกี่ยวข้องกับทักษะทางคณิตศาสตร์อื่นๆ เช่น การเชื่อมโยง การให้เหตุผล การคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ 5 แนวทางปฏิบัติในการสอนคณิตศาสตร์ จะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้จากข้อผิดพลาดจนสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง สืบเสาะหาความรู้และอภิปรายร่วมกับครูและเพื่อนในชั้นเรียน จนได้แนวคิด และความคิดรวบยอดในเรื่องนั้น ๆ น่าจะช่วยให้เกิดทักษะทางคณิตศาสตร์อื่นๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

Chinapong, P. (2014). Poll points out that children study the hardest in the world But not practical in addition, special education has to be done to reform (in Thai). Retrieved 16 April 2018. Form **MGR online:** https://mgronline.com/qol/detail/9570000045187

Cunningham, R.F. (2004). Problem Posing: An Opportunity for increasing student responsibility. **Journal of Mathematics and Computer Education,** 38(1), 83-89.

Ilana, L. and Atara, S. (2007). Problem posing as a means for developing mathematical knowledge of prospective teachers. **In Proceedings of the 31st Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education,** 3, (pp.129-136). Seoul: PME.

Kamol, N. (2018). Suporting pre–service teachers in teaching mathematics through lesson study using five practices: A pilot study. **In Proceedings of 8th ICMI-East Asia Regional Conference on Mathematics Education 7 – 11 May 2018** (pp. 493-501). Taipei: Taiwan.

Kemmis, S. and McTaggart, R. (2000). Participatory action research. **In N. Denzin & Y. Lincoln (Eds.), Handbook of qualitative research** (2nd ed., pp. 567–605). Thousand Oaks, CA: Sage.

Kwek, M.L. and Lye, W.L. (2007). Using problem – posing as an assessment tool. Retrieved 16 April 2018, from **CiteSeerx:** http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.535.1209

Maria, L. (2014). Incorporating the practice of arguing in stein et al.'s model for helping teachers plan and conduct productive whole-class discussions. Retrieved 19 April 2018, form **ResearchGate:** https://www.researchgate.net/publication/265788268_Incorporating_the_practice_of_arguing_in_Stein_et_ al's_model_for_helping_teachers_plan_and_conduct_productive_whole-class_discussions

Office of the Education Council. (2017). **National education plan 2017 – 2036** (in Thai). Bangkok: Chili Sweet Graphic Co., Ltd.

Panich, W. (2012). **A way to create learning for students in the 21st century** (in Thai). Bangkok: Sosri-Saritwong Foundation.

Saythnu, S. (2017). **Professional teachers, Quick professional teachers in the 21st Century** (in Thai)**.** Bangkok: Sosri-Saritwong Foundation.

Silver, E.A. and Cai, J. (1996). An Analysis of Arithmetic Problem Posing by Middle School Students. **Journal for Research in Mathematics Education**, 27(5), 521-539.

Smith, M.S. and Stein, M.K. (2011). **5 practices for orchestrating productive mathematics discussions.** Reston, VA: NCTM.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). **Mathematics Evaluation assessment** (in Thai). Bangkok: Se-Education Co., Ltd.

Wongpaibool, P. (2017). Active learning and learner engagement (Active Learning) (in Thai). **Journal of Yanasangvorn Research Institute Mahamakut Buddhist University,** 8(2), 327–336.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทความวิจัย

การศึกษาแบบจำลองความคิดจากการวาดภาพ เรื่อง ระบบสุริยะ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

สุวรรณี โลมกลาง[1] โชคศิลป์ ธนเฮือง[1,2] กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา[1,3] และสุระ วุฒิพรหม[1,2,*]

[1]สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

**E-mail: sura.w@ubu.ac.th*

รับบทความ: 7 มิถุนายน 2564 แก้ไขบทความ: 20 มิถุนายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 21 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

แบบจำลองทางความคิดเป็นสิ่งที่สะท้อนความรู้ความเข้าใจที่แฝงอยู่ในตัวผู้เรียนออกมาให้เห็น แบบจำลองทางความคิดจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ทำให้เข้าใจผู้เรียน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบจำลองทางความคิดประเภทแบบจำลองภาพของนักเรียน เรื่องระบบสุริยะ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อการสอนที่หลากหลาย ได้แก่ การ์ดเกม และหนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ประชากรเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 23 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย แบบจำลองทางความคิดที่นักเรียนวาดภาพระบบสุริยะ ร่วมกับการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างของนักเรียนเป็นรายบุคคล แบบประเมินตรวจสอบรายการความเข้าใจแนวคิดการจำลองระบบสุริยะ ผลวิจัยแบ่งความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับระบบสุริยะออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้อง และกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง เช่น นักเรียนเข้าใจว่าโลกเป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดาวหาง และดวงจันทร์เป็นดาวเคราะห์ หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องในเรื่องการจำลองระบบสุริยะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อการสอนที่หลากหลายเป็นวิธีการสอนที่ดี

คำสำคัญ: แบบจำลองทางความคิด วาดภาพ ระบบสุริยะ การ์ดเกม เทคโนโลยีเสมือนจริง

อ้างอิงบทความนี้

สุวรรณี โลมกลาง, โชคศิลป์ ธนเฮือง, กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา และสุระ วุฒิพรหม. (2564). การศึกษาแบบจำลองความคิดจากการวาดภาพ เรื่อง ระบบสุริยะ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 107-117.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

The study of mental model through drawing about solar system for grade-4 students

Suwannee Lomklang[1], Choksin Tanahoung[1,2], Karntarat Wuttisela[1,3] and Sura Wuttiprom[1,2,*]

[1]Science Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[2]Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[3]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
**E-mail: sura.w@ubu.ac.th*

Received <7 June 2021>; Revised <20 June 2021>; Accepted <21 June 2021>

Abstract

Mental model is a type of knowledge representation which is implicit in learners. Mental model is an important tool for studying learner's understanding. The objective of this research is to study student's mental model, called a visual model, related to the solar system. Before and after inquiry-based learning approach integrated with various media such as game card, and augmented Reality 3D pop-up book. The sample is 23 grade-4 students in semester 2 of academic year 2020. Data collection tools consist of the student's solar system mental models that students were asked to draw the solar system model, an individual semi-structured interview, and a solar system conceptual understanding check list. The research results divided students' understanding about the solar system into two groups: conceptions and misconception. Examples of misconceptions are students understood that the Earth was the center of the solar system, and comets and moons were planets. After learning management, students' understanding about solar system was gaining. Therefore, inquiry-based learning approach integrated with various media is a powerful teaching method.

Keywords: Mental model, drawing, solar system, game card, augmented Reality

Cite this article:
Lomklang, S., Tanahoung, C., Wuttisela, W. and Wutiprom S. (2021). The study of mental model through drawing about solar system for grade-4 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 107-117.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

แบบจำลองทางความคิด

แบบจำลองทางความคิด (mental model) คือ สิ่งที่เป็นตัวแทนสะท้อนถึงแนวคิดของแต่ละบุคคล ที่สร้างขึ้นโดยใช้เหตุและผลเฉพาะตัวของบุคคลนั้น เพื่อสื่อสารให้ผู้อื่นรับรู้ (Johnson-Laird, 1983; Gilbert, 2005) แบบจำลองทางความคิดออกเป็น 5 ประเภท คือ (1) แบบจำลองภาพธรรม (concrete model) ที่เป็นแบบจำลองของวัตถุ 3 มิติ ใช้อธิบายสิ่งต่างๆ เช่น แบบจำลองระบบสุริยะ (2) แบบจำลองที่เป็นคำพูด (verbal model) เป็นคำพูด คำอธิบาย เกี่ยวกับข้อความรู้ เช่น การอธิบายแบบจำลองระบบสุริยะ (3) แบบจำลองสัญลักษณ์ (symbolic model) เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์ในการแทนสิ่งต่างๆที่ตกลงร่วมกันเพื่อให้เข้าใจตรงกัน เช่น สัญลักษณ์ในตารางธาตุ (4) แบบจำลองภาพ (visual model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ภาพในการอธิบาย เช่น การวาดภาพ กราฟ แผนผัง หรือไดอะแกรม เช่น การวาดภาพอธิบายการจำลองระบบสุริยะ และ (5) แบบจำลองที่เป็นลักษณะท่าทาง (gestural model) คือ แบบจำลองที่ใช้การเคลื่อนไหวส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่ออธิบายสิ่งต่างๆ เช่น การจำลองของดวงจันทร์โคจรรอบโลก

แบบจำลองทางความคิดช่วยให้เราเข้าใจผู้เรียน เพราะแบบจำลองทางความคิดอธิบายคือสิ่งที่สะท้อนความเข้าใจของผู้เรียนออกมาให้เห็นภาพชัดเจน สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่เป็นนามธรรมมาอธิบายความรู้ให้เป็นภาพธรรมได้ และการสร้างแบบจำลองทางความคิดในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ สามารถแสดงออกมาได้ในรูปแบบที่หลากหลาย (multiple representations) ใช้อธิบายสิ่งต่างๆ ของข้อเท็จจริงให้เข้าใจได้ง่าย ดังนั้นแบบจำลองทางความคิดจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ผู้สอนเข้าถึงความเข้าใจของผู้เรียนต่อสิ่งที่เรียนรู้ได้ (Harrison and Treagust, 1996; Acher *et al*., 2007)

การใช้แบบจำลองทางความคิดในงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาในประเทศไทยที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางความคิดช่วยให้นักเรียนมีพัฒนาการในด้านการเรียนรู้ที่ดีขึ้นและช่วยให้ผู้สอนเข้าใจแนวคิดของนักเรียนมากขึ้น เช่น งานวิจัยของ Suttakun and Ladachart (2013) ได้ศึกษาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนโดยใช้แบบจำลองทางความคิดที่เป็นคำพูด ในเรื่องแม่เหล็กและแรงแม่เหล็กกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยผู้วิจัยเน้นการสัมภาษณ์และตีความหมาย จากคำอธิบายของนักเรียนเป็นรายบุคคล ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองทางความคิดของนักเรียนแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 นักเรียนสามารถบรรยายผลที่เกิดขึ้น เช่น มีแรงดึงดูดระหว่างแท่งแม่เหล็กและวัตถุที่มีสารแม่เหล็ก โดยไม่มีการอธิบายหรือให้เหตุผลใดๆ เกี่ยวกับสาเหตุของผลที่เกิดขึ้นนั้น กลุ่มที่ 2 นักเรียนสามารถบรรยายผลที่เกิดขึ้น เช่น มีแรงดึงดูดระหว่างแม่เหล็กและวัตถุที่มีสารแม่เหล็ก โดยระบุถึง การมีอยู่ของ “บางสิ่งบางอย่าง” ในแท่งแม่เหล็ก ว่าเป็นสาเหตุของการเกิดแรงแม่เหล็ก แต่นักเรียนไม่สามารถอธิบายได้ว่า สิ่งเหล่านั้นทำให้เกิดแรงแม่เหล็กอย่างไร กลุ่มที่ 3 นักเรียนสามารถบรรยายผลที่เกิดขึ้น เช่น มีแรงดึงดูดระหว่างแม่เหล็กและวัตถุที่มีสารแม่เหล็ก โดยระบุถึงการมีอยู่ของ “อำนาจแม่เหล็ก” ในแท่งแม่เหล็ก โดยแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นเมื่อแท่งแม่เหล็กส่งอำนาจแม่เหล็กไปยังวัตถุที่มีสารแม่เหล็ก กลุ่มที่ 4 นักเรียนสามารถบรรยายผลที่เกิดขึ้น เช่น มีแรงดึงดูดระหว่างแม่เหล็กและวัตถุที่มีสารแม่เหล็ก โดยระบุถึงการมีอยู่ของ “อำนาจแม่เหล็ก” ในบริเวณโดยรอบแท่งแม่เหล็ก โดยแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นเมื่อวัตถุที่มีสารแม่เหล็กอยู่ในบริเวณที่มีอำนาจแม่เหล็ก จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Erickson (1994) ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกัน

Jantrasee and Kanamuang (2018) ได้ศึกษาแบบจำลองทางความคิด เรื่อง การจัดการเรียนรู้ที่เน้นแบบจำลองเรื่องการระเหยที่มีต่อกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้แบบจำลองทางความคิด 2 ประเภทในการศึกษา คือ แบบจำลองทางความคิดที่เป็นคำพูด และแบบจำลองทางความคิดจากการวาดภาพ โดยกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีเกณฑ์การประเมินอยู่ 4 ด้าน คือ การสร้าง การประเมิน การปรับปรุง และการนำไปใช้ ระดับคุณภาพการแปลผลแบ่งเป็น 5 กลุ่ม คือ ดีมาก ดี ปานกลาง พอใช้ ปรับปรุง ผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้ที่เน้นแบบจำลอง (Model-Centered Instruction Sequence: MCIS) ส่งเสริมกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน แม้นักเรียนจะมีกระบวนการสร้างและประเมินแบบจำลองอยู่ในระดับปานกลาง แต่ในส่วนกระบวนการปรับปรุงและนำแบบจำลองไปใช้นั้นจัดอยู่ในระดับดีมากและดี ตามลำดับ ถือเป็นส่วนสำคัญในการเรียนรู้ที่เน้นแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลองทางความคิด

การพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน สามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การวาดภาพ การวาดเป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้เข้าใจความคิดรวบยอดของนักเรียน การวาดภาพเป็นกิจกรรมที่ต้องลงมือ ใช้ความคิดสร้างสรรค์ สร้างแรงบันดาลใจ สร้างสมาธิจดจ่อไม่วอกแวกแม้ว่านักเรียนในห้องจะมีจำนวนมาก สามารถถ่ายทอดความคิดรวบยอดที่ซับซ้อนของนักเรียนออกมาได้ในเวลาจำกัด (Glynn, 1997) นอกจากนี้ สื่อการสอน ยังเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน (Supasorn, 2012) ***การ์ดเกม*** เป็นสื่อการสอน ประเภทหนึ่งนิยมทำจากกระดาษหรือพลาสติก ผู้เล่นทำกิจกรรม/แข่งขันร่วมกัน ช่วยให้ผู้เล่นเกิดความสนุกสนาน ผ่อนคลาย ช่วยกระตุ้นจินตนาการ ความอยากรู้ อยากเรียนของผู้เล่น ซึ่งจินตนาการเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน การจัดการเรียนรู้โดยใช้การ์ดเกมส่งเสริม

ความสำเร็จในการเรียนรู้ ผ่านสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ผ่อนคลาย สนุกสนานและมีความสุข (Suwancanit, 2017; Muntean *et al*., 2017) ***หนังสือสามมิติ (pop-up book)*** เป็นสื่อการสอนอีกอย่างหนึ่งที่สร้างความตื่นตาตื่นใจให้แก่ผู้อ่าน เมื่อมีภาพหรือตัวหนังสือที่โผล่ออกมาจากพื้นของกระดาษเมื่อเปิดขึ้นและภาพถูกพับเก็บลงไปเมื่อปิดหนังสือลง ปัจจุบันนิยมใส่***เทคโนโลยีเสมือนจริง(Augmented Reality)*** เข้าไปในหนังสือสามมิติ เทคโนโลยีเสมือนจริงเป็นเทคโนโลยีที่ผสานเอาโลกแห่งความจริง (Real) เข้ากับโลกเสมือน (Virtual) โดยผ่านทางอุปกรณ์เว็บแคม, กล้องในโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือคอมพิวเตอร์ ร่วมกับการใช้ซอฟท์แวร์ต่างๆ ซึ่งจะทำให้ภาพที่เห็นในจอภาพจะเป็นวัตถุ (object) อาทิ คน,สัตว์, สิ่งของ เป็นลักษณะ 3 มิติ ซึ่งมีมุมมองถึง 360 องศา ฉะนั้นเทคโนโลยีเสมือนจริงสามารถทำให้ผู้ใช้เห็นภาพเสมือนจริงได้รอบด้าน 360 องศา โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องไปยังสถานที่จริง การผสานเทคโนโลยีเสมือนจริงในหนังสือสามมิติสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุดผ่านการสืบเสาะหาความรู้ (science as inquiry) ตามหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง 2560 ได้กำหนดสาระแกนกลางสำหรับการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ ในสาระที่ 3 วิทยาศาสตร์โลก และอวกาศ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ในเรื่องระบบสุริยะ นักเรียนต้องสร้างแบบจำลองแสดงองค์ประกอบของระบบสุริยะ และอธิบายเปรียบเทียบคาบการโคจรของดาวเคราะห์ต่าง ๆ จากแบบจำลอง (Ministry of Education, 2017) จากหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐานได้ระบุไว้อย่างชัดเจนว่านักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ต้องสร้างแบบจำลองแสดงองค์ประกอบของระบบสุริยะ และอธิบายเปรียบเทียบคาบการโคจรของดาวเคราะห์ต่าง ๆ ได้นั้น เหมือนจะเป็นเรื่องที่ง่าย แต่ในความเป็นจริงแล้ว จากประสบการณ์ของผู้ทำวิจัย พบว่านักเรียนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในการสร้างแบบจำลองระบบสุริยะ ดังนั้นการศึกษาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน (Mental Model) จากการวาดภาพร่วมกับการสัมภาษณ์นักเรียนเป็นรายบุคคลจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการเปรียบเทียบแบบจำลองความคิดจากการวาดภาพการจำลองระบบสุริยะ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ทั้งก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้และเพื่อกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ รวมถึงการส่งเสริมจินตนาการของนักเรียน การ์ดเกม หนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างมีหลักการเพื่อเป็นประโยชน์ทางการศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองระบบสุริยะได้ถูกต้อง โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อการสอนที่หลากหลาย ประกอบด้วย การ์ดเกม และหนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ซึ่งผู้วิจัยตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองระบบสุริยะผ่านการวาดภาพ (แบบจำลองทางความคิดประเภทแบบจำลองภาพ)

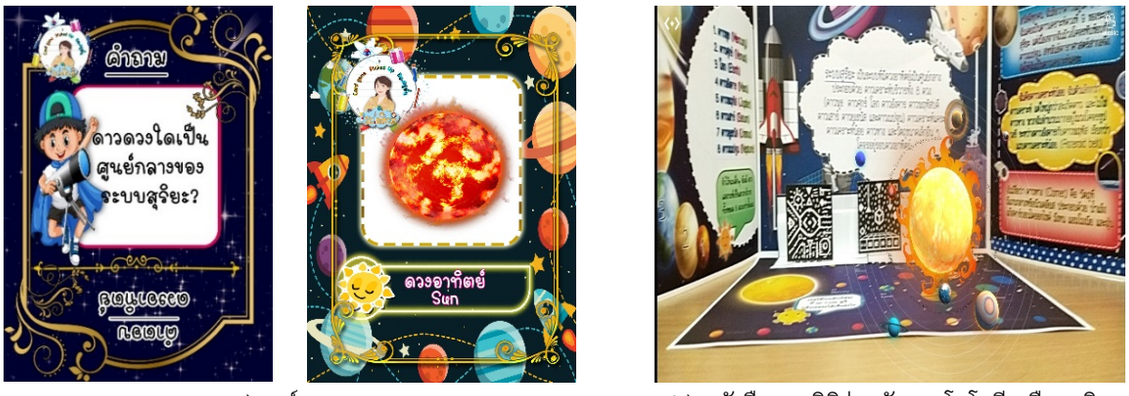
วิธีดำเนินการวิจัย

1) รูปแบบการวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้แบบแผนการวิจัยแบบ One-group pretest-posttest design ใช้กลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

2) ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนบ้านคำบาก อำเภอบุณฑริก จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 23 คน ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนแบบ GPAS 5 Steps ซึ่งเป็นแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Institute of Academic Development, 2020) มี 5 ขั้น ประกอบด้วย ขั้นสังเกตและรวบรวมข้อมูล (Gathering) ขั้นคิดวิเคราะห์และสรุปความรู้ (Processing) ขั้นปฏิบัติและสรุปความรู้หลังการปฏิบัติ (Applying and Constructing the Knowledge) ขั้นสื่อสารและนำเสนอ (Applying the Communication Skill) และขั้นประเมินเพื่อเพิ่มคุณค่าบริการสังคมและจิตสาธารณะ (Self-Regulating) สื่อการสอนที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นใช้ในแผนการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย การ์ดเกมถามตอบเกี่ยวกับระบบสุริยะ มีทั้งหมด 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ชุดคำถามเกี่ยวกับการจำลองและการโคจรของระบบสุริยะ ชุดที่ 2 คือชุดคำตอบที่ให้นักเรียนได้เลือกตอบ (ภาพที่ 1a) และหนังสือสามมิติ ร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง มีลักษณะเป็นหนังสือพับเก็บได้ เมื่อเปิดขึ้นมาจะพบคิวอาร์โค้ดจากแอปพลิเคชัน Galactic Explorer for Merge Cube เมื่อนักเรียนใช้สมาร์ทโฟนที่ลงแอปพลิเคชัน Galactic Explorer for Merge Cube และใช้กล้องหลังของสมาร์ทโฟนผ่านแอปพลิเคชันส่องไปที่คิวอาร์โค้ด จะแสดงภาพ 3 มิติของระบบสุริยะ (ภาพที่ 1b) ที่เชื่อมโยงกับเนื้อหาสาระการเรียนรู้ เรื่องระบบสุริยะ ซึ่งเป็นระบบที่มีดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลาง ประกอบด้วย ดาวเคราะห์บริวารทั้ง 8 ดวง (ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก ดาวอังคาร ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส และดาวเนปจูน) ดาวเคราะห์แคระ ดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง และวัตถุขนาดเล็กอื่น ๆ โคจรอยู่รอบดวงอาทิตย์ และดาวเคราะห์แต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรไม่เท่ากัน (Institute of Academic Development, 2020)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University



a) การ์ดเกม b) หนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง

ภาพที่ 1 การ์ดเกมถามตอบเกี่ยวกับระบบสุริยะ (a)
และหนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง Galactic Explorer for Merge Cube (b)

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองระบบสุริยะ ผู้วิจัยให้นักเรียนวาดภาพ (แบบจำลองทางความคิดประเภทแบบจำลองภาพ) และจัดกลุ่มความเข้าใจของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ใน 4 ประเด็น ได้แก่ ศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดาวเคราะห์บริวาร การโคจรและลักษณะอื่นๆ

4) การเก็บรวบรวมข้อมูล เก็บข้อมูลก่อนเรียนและหลังเรียน ระหว่างดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบ GPAS 5 Steps ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นสังเกตและรวบรวมข้อมูล (Gathering) (50 นาที) ครูและนักเรียนร่วมกันสนทนาเรื่องระบบสุริยะ ผ่านการใช้คำถามกระตุ้น “ระบบสุริยะในความเข้าใจของนักเรียนคืออะไร” ก่อนเรียนครูให้นักเรียนวาดภาพการจำลองระบบสุริยะตามความเข้าใจของนักเรียน แบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5-6 คน แต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยนักเรียนที่เรียนเก่ง 1 คน ปานกลาง 3 คน และอ่อน 1 คน ซึ่งกลุ่มที่เรียนอ่อนหมายถึงผู้เรียนที่บกพร่องต่อการเรียนรู้ เป็นกลุ่มที่ครูจัดไว้แล้วจากการวิเคราะห์นักเรียนเป็นรายบุคคล จากนั้นให้ตัวแทนกลุ่มมารับสื่อการสอนประกอบด้วย การ์ดเกม หนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ครูอธิบายวิธีใช้สื่อการสอน และให้เวลานักเรียนเรียนรู้ร่วมกันผ่านกระบวนการกลุ่ม ครูเป็นผู้สังเกตการณ์และคอยช่วยเหลือเมื่อนักเรียนเกิดปัญหา

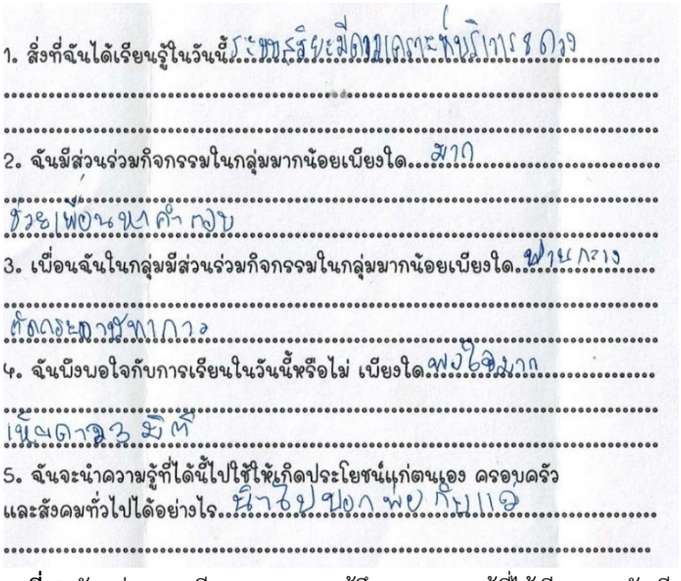
ขั้นที่ 2 ขั้นคิดวิเคราะห์และสรุปความรู้ (Processing) (10 นาที) ครูและนักเรียนร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายตอบคำถามร่วมกันหลังทำกิจกรรม ในประเด็นของการจำลองระบบสุริยะ อาทิเช่น “นอกจากโลกจะเป็นบริวารของดวงอาทิตย์แล้วยังมีดาวหรือวัตถุอื่น ๆ ที่เป็นบริวารของดวงอาทิตย์อีกหรือไม่” “ดาวเคราะห์ที่มีขนาดเล็กที่สุด” “ดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด” เป็นต้น เพื่อให้นักเรียนจับประเด็นการจำลองระบบสุริยะได้ถูกต้องมากที่สุด

ขั้นที่ 3 ขั้นปฏิบัติและสรุปความรู้หลังการปฏิบัติ (Applying and Constructing the Knowledge) (30 นาที) หลังเรียนครูให้นักเรียนวาดภาพการจำลองระบบสุริยะ

ขั้นที่ 4 ขั้นสื่อสารและนำเสนอ (Applying the Communication Skill) (20 นาที) ครูให้นักเรียนแต่ละคนอธิบายภาพวาดการจำลองระบบสุริยะเป็นรายบุคคล

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมินเพื่อเพิ่มคุณค่าบริการสังคมและจิตสาธารณะ (Self-Regulating) (10 นาที) ครูให้นักเรียนเลือกผลงานที่ดีที่สุด 5 ผลงาน เพื่อจัดแสดงที่ป้ายนิเทศหน้าชั้นเรียน จากนั้นให้นักเรียนแต่ละคนเขียนความประทับใจหรือความรู้ที่ได้เรียนในวันนี้ (ดังภาพที่ 3)

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมินเพื่อเพิ่มคุณค่าบริการสังคมและจิตสาธารณะ (Self-Regulating) (10 นาที) ครูให้นักเรียนเลือกผลงานที่ดีที่สุด 5 ผลงาน เพื่อจัดแสดงที่ป้ายนิเทศหน้าชั้นเรียน จากนั้นให้นักเรียนแต่ละคนเขียนความประทับใจหรือความรู้ที่ได้เรียนในวันนี้ (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการเขียนแสดงความรู้สึก และความรู้ที่ได้เรียนของนักเรียน

5) การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลระดับคุณภาพ ของแบบจำลองทางความคิด (Mental Model) เรื่อง การจำลองระบบสุริยะ ผู้วิจัยนำข้อมูลจากการวาดภาพการจำลองระบบสุริยะ มาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพใน 4 ประเด็นหลักคือ ศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดาวเคราะห์บริวาร การโคจร และลักษณะอื่นๆ ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินตรวจสอบรายการความเข้าใจแนวคิดเรื่องการจำลองระบบสุริยะ จากนั้นนำมาจัดกลุ่มการจำลองทางความคิดโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้อง และกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้องจากการเปรียบเทียบผลก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากการวาดภาพการจำลองระบบสุริยะ นำมาตีความประกอบการสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินตรวจสอบรายการความเข้าใจแนวคิดเรื่องการจำลองระบบสุริยะ สำหรับกลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้องการจำลองทางความคิดจากการวาดภาพการจำลองระบบสุริยะก่อนเรียนและหลังเรียน แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้องการจำลองทางความคิด จากการวาดภาพการจำลองระบบสุริยะ ก่อนเรียนและหลังเรียน

ประเด็นการประเมิน	แนวคิดหลัก	ความถี่ของนักเรียนที่ตอบทั้งหมด	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
ศูนย์กลางของระบบสุริยะ	☑ ดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลาง	12	23
	☑ ดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่ที่สุด	20	23
ดาวเคราะห์บริวาร	☑ ดาวเคราะห์มี 8 ดวง	1	23
	☑ ขนาดของดาวเคราะห์	0	23
	☑ ลำดับของดาวเคราะห์	0	23
	☑ ระยะห่างระหว่างดาวเคราะห์ไม่เท่ากัน	11	23
การโคจร	☑ ดวงอาทิตย์ไม่โคจร	20	23
	☑ ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์	2	23
	☑ ดาวเคราะห์ใช้เวลาการโคจรไม่เท่ากัน	2	23
ลักษณะอื่นๆ	☑ มีแถบดาวเคราะห์น้อยระหว่างดาวอังคารและดาวพฤหัส	0	23
	☑ มีดาวหาง ดาวเคราะห์แคระ ดาวเคราะห์น้อยเป็นส่วนหนึ่งของระบบสุริยะ	0	23

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

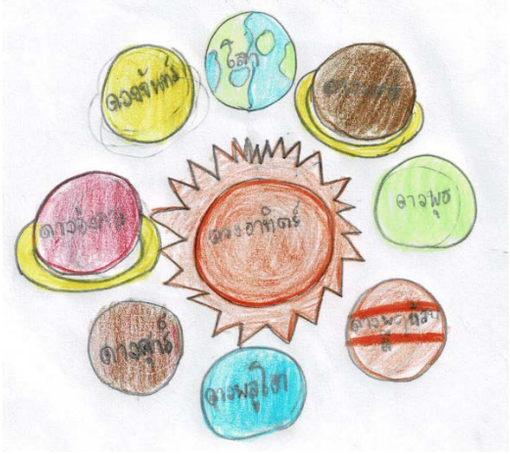
จากการจัดแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนเทียบกับเกณฑ์การประเมิน พบว่าการจัดกลุ่มแบบจำลองทางความคิดการจำลองระบบสุริยะของนักเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องและกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง ตามเกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินตรวจสอบรายการความเข้าใจแนวคิดการจำลองระบบสุริยะใน 4 ประเด็นหลักคือ

1) ศูนย์กลางของระบบสุริยะ ความถี่ของคำตอบในประเด็นย่อยก่อนเรียนของแนวคิดหลัก คือ ดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลาง ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 12 คน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบเพิ่มขึ้น 11 คน ดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่ที่สุด ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 20 คน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบเพิ่มขึ้น 3 คน

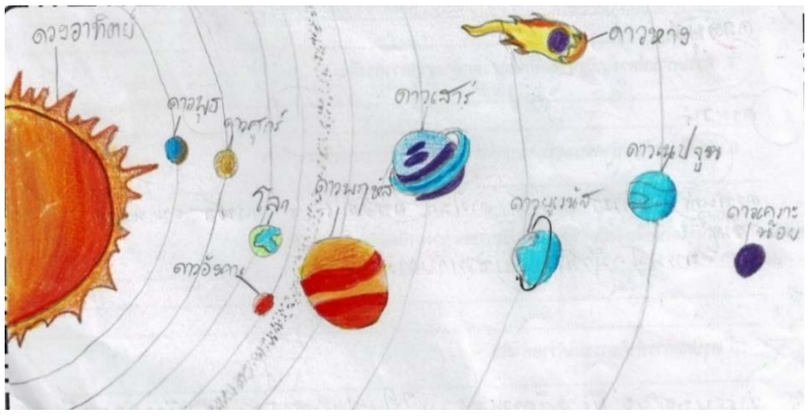
2) ดาวเคราะห์บริวาร ความถี่ของคำตอบในประเด็นย่อยก่อนเรียนของแนวคิดหลัก คือ ดาวเคราะห์มี 8 ดวง ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 1 คน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบเพิ่มขึ้น 22 คน ขนาดของดาวเคราะห์ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบไม่ถูกต้องหมดทุกคน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบถูกต้องหมดทุกคน ลำดับของดาวเคราะห์ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบไม่ถูกต้องหมดทุกคน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบถูกต้องหมดทุกคน และระยะห่างระหว่างดาวเคราะห์ไม่เท่ากันก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 11 คน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบเพิ่มขึ้น 12 คน

3) การโคจร ความถี่ของคำตอบในประเด็นย่อยก่อนเรียนของแนวคิดหลัก คือ ดวงอาทิตย์ไม่โคจรก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 20 คน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบเพิ่มขึ้น 3 คน ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 2 คน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบเพิ่มขึ้น 21 คน และดาวเคราะห์ใช้เวลาในการโคจรไม่เท่ากัน ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 2 คน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบเพิ่มขึ้น 21 คน

4) ลักษณะอื่นๆ ความถี่ของคำตอบในประเด็นย่อยก่อนเรียนของแนวคิดหลัก คือ มีแถบดาวเคราะห์น้อยระหว่างดาวอังคาร และดาวพฤหัสก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบไม่ถูกต้องหมดทุกคน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบถูกต้องหมดทุกคน และมีดาวหาง ดาวเคราะห์แคระ ดาวเคราะห์น้อยเป็นส่วนหนึ่งของระบบสุริยะก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบไม่ถูกต้องหมดทุกคน หลังเรียนมีความถี่ของคำตอบที่ถูกต้องหมดทุกคน ตัวอย่างคำตอบในภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ตัวอย่างกลุ่มแบบจำลองทางความคิดก่อนเรียนที่มีประเด็นย่อยที่ถูกต้องบางส่วน ได้แก่ ดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลางและดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่ที่สุด



ภาพที่ 4 ตัวอย่างกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่มีประเด็นย่อยที่ถูกต้องทุกประเด็น หลังเรียน

สำหรับกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้องในการจำลองระบบสุริยะก่อนเรียนและหลังเรียน แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กลุ่มแนวคิดไม่ถูกต้องการจำลองทางความคิด จากการวาดภาพการจำลองระบบสุริยะ ก่อนเรียนและหลังเรียน

ประเด็นการประเมิน	แนวคิดหลัก	ความถี่ของนักเรียนที่ตอบทั้งหมด	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
ศูนย์กลางของระบบสุริยะ	☒ โลกเป็นศูนย์กลาง	3	0
ดาวเคราะห์บริวาร	☒ ดวงจันทร์เป็นดาวเคราะห์	23	0
	☒ ดาวหางเป็นดาวเคราะห์	3	0
	☒ ดาวเคราะห์มีขนาดไม่ถูกต้อง	23	0
	☒ ระบุชื่อดาวเคราะห์ แต่ลำดับชื่อดาวเคราะห์ไม่ถูกต้อง	23	0
การโคจร	☒ ดาวเคราะห์ไม่โคจรรอบดวงอาทิตย์	21	0
ลักษณะอื่นๆ	-	-	-

กลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้องประกอบด้วยประเด็นหลัก 4 ประเด็น และมีหนึ่งประเด็นหลักที่นักเรียนไม่ได้มีคำตอบ คือ ประเด็นหลักในข้อลักษณะอื่นๆ ส่วนอีก 3 ประเด็น มีแนวคิดไม่ถูกต้องดังนี้

1) ศูนย์กลางของระบบสุริยะ ความถี่ของคำตอบในประเด็นย่อยก่อนเรียนของแนวคิดหลัก คือ โลกเป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 3 คน หลังเรียนนักเรียนทุกคนเข้าใจว่าดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ

2) ดาวเคราะห์บริวาร ความถี่ของคำตอบในประเด็นย่อยก่อนเรียนของแนวคิดหลัก คือ ดวงจันทร์เป็นดาวเคราะห์ ความถี่ของคำตอบ 23 คน หลังเรียนนักเรียนทุกคนเข้าใจว่าดวงจันทร์เป็นดาวบริวารของดาวเคราะห์ ดาวหางเป็นดาวเคราะห์ (ภาพที่ 6) ความถี่ของคำตอบ 3 คน หลังเรียนนักเรียนทุกคนเข้าใจว่าดาวหางเป็นส่วนหนึ่งของระบบสุริยะ ดาวเคราะห์มีขนาดไม่ถูกต้อง ความถี่ของคำตอบของนักเรียนก่อนเรียนทั้งหมดวาดดาวเคราะห์มาครบทุกคน แต่ขนาดของดาวเคราะห์ไม่สัมพันธ์กับชื่อของดาวเคราะห์ เช่น ดาวเคราะห์มีขนาดเท่ากันหมด และก่อนเรียนนักเรียนระบุชื่อดาวเคราะห์ แต่ลำดับชื่อดาวเคราะห์ไม่ถูกต้องทั้งหมดทุกคน หลังเรียนนักเรียนสามารถระบุชื่อดาวเคราะห์ตามลำดับได้ครบทุกคน

3) การโคจร ความถี่ของคำตอบในประเด็นย่อยก่อนเรียนของแนวคิดหลัก คือ ดาวเคราะห์ไม่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ก่อนเรียนมีความถี่ของคำตอบ 21 คน หลังเรียนนักเรียนทุกคนเข้าใจว่าดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ ตัวอย่างคำตอบแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 ตัวอย่างภาพแนวคิดที่ไม่ถูกต้องในประเด็น ดวงจันทร์และดาวหางเป็นดาวเคราะห์

อภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองทางความคิดจากการวาดภาพ การจำลองระบบสุริยะ ร่วมกับการสัมภาษณ์นักเรียนเป็นรายบุคคล ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 23 คน โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินตรวจสอบรายการความเข้าใจแนวคิดเรื่องการจำลองระบบสุริยะใน 4 ประเด็นหลัก คือ ศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดาวเคราะห์บริวาร

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

การโคจร และลักษณะอื่นๆ พบว่า มีกลุ่มแนวคิดการจำลองระบบสุริยะเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้องตามเกณฑ์การประเมินในแนวคิดหลักถูกต้อง ก่อนเรียนเปรียบเทียบกับหลังเรียน พบว่า แนวคิดหลักในประเด็นย่อยต่างๆ ที่ถูกต้องนั้นหลังเรียนมีนักเรียนทุกคนเข้าใจแนวคิดหลักถูกต้องเพิ่มขึ้นครบทุกคน และกลุ่มแนวคิดไม่ถูกต้องในแนวคิดหลักในประเด็นย่อยต่างๆ มีหนึ่งประเด็นย่อยหนึ่งประเด็นที่น่าสนใจ คือ นักเรียนทุกคนเข้าใจว่า ดวงจันทร์เป็นดาวเคราะห์ เนื่องจากนักเรียนมองเห็นดวงจันทร์บนท้องฟ้าทุกวัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อน เมื่อเปรียบเทียบก่อนเรียนกับหลังเรียนพบว่า หลังเรียนนักเรียนมีแนวคิดถูกต้องตามประเด็นการประเมินตามเกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินตรวจสอบรายการความเข้าใจแนวคิดเรื่องการจำลองระบบสุริยะใน 4 ประเด็นหลักทุกคน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ที่ศึกษาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนจากการวาดภาพร่วมกับการสัมภาษณ์นักเรียน โดยจัดจำแนกกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มต่างๆ (Suttakun and Ladachart, 2013; Jantrasee and Kanamuang, 2018)

การที่นักเรียนมีพัฒนาการแบบจำลองทางความคิดที่ดีขึ้น เนื่องจาก สื่อที่นำมาใช้เป็นสื่อกลางที่ช่วยให้นักเรียน เรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น เข้าใจเนื้อหาได้ตรงประเด็น ซึ่งเป็นไปตามแนวคิดที่กล่าวว่า สื่อมีส่วนช่วยเชื่อมโยงความรู้ช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางความคิดได้ดีขึ้น (ศักดิ์ศรี สุภาษร, 2555; Steve et al, 2011) และสื่อเสมือนจริงช่วยส่งเสริมการศึกษา ส่งเสริมการเรียนรู้ และช่วยกระตุ้นนักเรียนให้มีส่วนร่วมในชั้นเรียน อีกทั้งการ์ดเกมที่นำมาใช้ประกอบการจัดการเรียนการสอน ก็เป็นสื่อที่ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในบทเรียน และเรียนอย่างมีความสุขสนุกสนาน เพราะเกมเป็นทางเลือกของสื่อการเรียนรู้ที่จะทำให้นักเรียน เรียนเนื้อหาในบทเรียนอย่างมีความสุข และการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมส่งเสริมความสำเร็จในการเรียนรู้เป็นอย่างสูง (Wuttisela, 2011; Muntean *et al*., 2017) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwancanit (2017) ผลของการศึกษาพบว่าการใช้การ์ดเกมในการจัดการเรียนการสอนช่วยให้นักเรียนมีความผ่อนคลาย สนุกสนาน พร้อมที่จะรับรู้สิ่งที่สอนสอดแทรกไปในระหว่างทำกิจกรรม แตกต่างจากเดิมที่เป็นเพียงผู้สอนพูดเป็นฝ่ายเดียวในหน้าชั้นเรียน เปิดโอกาสให้มีการแลกเปลี่ยนความคิดกันระหว่างนักเรียนด้วยกันเอง และทำให้นักเรียนกล้าที่จะพูดคุยสอบถามกับผู้สอน

นอกจากนี้แล้วการสอนโดยใช้สื่อหนังสือสามมิติประสบผลสำเร็จ เพราะมีสีสันสวยงาม น่าอ่าน แสดงภาพที่ตื่นตาตื่นใจสำหรับนักเรียน ซึ่งมีความใกล้เคียงบางส่วนกับงานวิจัยของ Kaewprasong (2014) ผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้หนังสือสามมิติ ร่วมกับเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดเรื่องระบบสุริยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ในด้านต่างๆ แสดงให้เห็นว่าโดยรวมแล้วนักเรียนมีความพึงพอใจมาก และสนุกสนานกับการเรียนรู้ด้วยหนังสือที่แตกต่างไปจากหนังสือเรียนทั่วไปทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าหนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดมีภาพภาพประกอบสวยงาม มีวีดีทัศน์ประกอบเพิ่มความเข้าใจและดึงดูดความสนใจของนักเรียนทำให้นักเรียนสนใจไม่เบื่อหน่าย และมีความกระตือรือร้นที่จะเรียนรู้ด้วยตนเองได้อย่างสนุกสนาน

และเทคโนโลยีเสมือนจริงก็มีส่วนช่วยให้นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่พัฒนาขึ้น เนื่องจาก เทคโนโลยีเสมือนจริงแสดงระบบสุริยะในภาพสามมิติ มีความสวยงาม สมจริง นักเรียนมีความกระตือรือร้นที่จะเรียน สร้างแบบจำลองทางความคิดได้ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัย ที่พบว่าการเรียนรู้ผ่านแอปพลิเคชันสื่อเสริมการเรียนรู้ระบบสุริยะ ด้วยสื่อเทคโนโลยีเสมือนจริงนั้น ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ มีความร่วมมือในการทำกิจกรรม มีการช่วยเหลือกันและกันเป็นอย่างดี เพิ่มความสนใจในการเรียน ทำให้การเรียนการสอนเกิดความสนุก ไม่น่าเบื่ออีกต่อไป อีกทั้งผู้เรียนได้เห็นภาพที่ชัดเจนในเรื่องระบบสุริยะจักรวาล สามารถเรียนรู้ได้เอง เกิดความสนุกสนานในการเรียน นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการใช้สื่ออยู่ในระดับมากและมากที่สุด (Chotchuang *et al.*,, 2019; Warapo and Tangtong, 25019; Wannakhao et al., 2020)

นอกจากสื่อที่ช่วยให้นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่พัฒนาขึ้นแล้ว ส่วนหนึ่งที่สำคัญคือการให้นักเรียนจำลองทางความคิดได้ คือ การวาดภาพ เพราะนักเรียนรู้สึกสบายใจมากกว่าการเขียนเป็นข้อความ หรือการทำข้อสอบ และการวาดภาพส่งผลต่อนักเรียนกลุ่มอ่อนที่บกพร่องต่อการเรียนรู้ อ่านไม่ออกเขียนไม่ได้ นักเรียนกลุ่มนี้จะมีความสบายใจ และเรียนด้วยความผ่อนคลายมากขึ้น มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมทุกอย่าง เพราะถึงแม้ว่านักเรียนกลุ่มนี้จะอ่านไม่ออก เขียนไม่ได้ แต่สามารถวาดภาพได้ ไม่ส่งกระดาษเปล่ากลับมา แต่กลับตั้งใจทำใบงาน สรุปองค์ความรู้ที่ได้อย่างเต็มที่ มีส่วนร่วมกับกิจกรรมในห้อง ทำให้กิจกรรมในห้องดำเนินไปด้วยความสะดวกและส่งเสริมบรรยากาศในการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองทางความคิดจากการวาดภาพ การจำลองระบบสุริยะ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การ์ดเกม หนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงพบว่าแบบจำลองทางความคิด (Mental Model) โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินตรวจสอบรายการความเข้าใจแนวคิดเรื่องการจำลองระบบสุริยะใน 4 ประเด็นหลัก คือ ศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดาวเคราะห์บริวาร การโคจรและลักษณะอื่นๆ ของนักเรียนเปรียบเทียบก่อนเรียน และหลังเรียน แบ่ง

ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง และกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง ซึ่งหลังการจัดการเรียนรู้แล้ว กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องมีแนวคิดที่ความถี่ของคำตอบของแนวคิดที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกคน และกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง หลังการจัดการเรียนรู้นักเรียนเข้าใจการจำลองระบบสุริยะได้ถูกต้องครบทุกประเด็น

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ค้นพบว่าการศึกษาแบบจำลองทางความคิดจากการวาดภาพ เรื่องระบบสุริยะ โดยใช้สื่อการ์ดเกมหนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงมีข้อดีในการส่งเสริมให้ผู้เรียนกลับมาสนใจ และมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

ข้อเสนอแนะ

การจัดการเรียน การสอนโดยใช้การ์ดเกม หนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงเป็นเพียงอีกหนึ่งวิธีการที่ช่วยพัฒนาแบบจำลองทางความคิด (Mental Model) ของนักเรียน ควรลองใช้การจัดการเรียนรู้ที่หลากหลายวิธี เพื่อช่วยพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนให้ดีมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษาทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข และติดตามการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

Acher, A., Arcà, M., and Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. **Science education**, 91(3), 398-418.

Chotchuang, V. Parkasem, C. and Saisaeng, V. (2019). Development of an Augmented Reality Technology Application to Enhance Knowledge on the Solar System (in Thai). In **The 7th Academic Science and Technology Conference "Health Promotion Through Research Integration and Innovation"** (pp. 1637-1645). Pathum Thani: Rangsit University

Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. **In Visualization in science education** (pp. 9-27). Springer: Dordrecht.

Glynn, S. (1997). Drawing mental models. **The Science Teacher**, 64(1), 30.

Harrison, A. G., and Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. **Science education**, 80(5), 509-534.

Institute of Academic Development (IAD). (2020). **A teacher's manual for use with science and technology textbooks. Grade 4** (in Thai). Bangkok: Institute of Academic Development (IAD) Press.

Jantrasee, R. and Kanamuang, N. (2018). Model-centered instruction sequence of evaporation on grade 10 students' scientific modeling (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 86-96.

Johnson-Laird, P. N. (1983). **Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness (No. 6).** Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kaewprasong, R. (2014). The Development of 3D Pop-Up Book Together whit QR Code Subject of the Solar System for Prathomsuksa 4 (in Thai). **Master's Thesis**. Phitsanulok: Naresuan University

Ministry of Education. (2017). **Indicators and Curriculum in the Science, revised 2017, according to the Basic Education Core Curriculum, B.E. 2551** (in Thai). Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand.

Muntean, C. H., Andrews, J., and Muntean, G. M. (2017, July). Final frontier: an educational game on solar system concepts acquisition for primary schools. In **IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies** (pp.335-337). Timisoara: Romania

Steve, Y., Gallayanee, Y., and Erik, J. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. **Journal of Educational Technology Development and Exchange**, 4(1), 119-140.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Supasorn, S. (2012). Roles of Mental Models in Learning Chemistry at Molecular Level (in thai). **Journal of Education Khon Kaen University**, 35(1), 1-7.

Suttakun, L. and Ladachart, L. (2013). Sixth Graders' Mental Model about Magnet and Magnetic Force (in Thai). **Humanity and Social Science Journal, Ubon Ratchthani University**, 4(1), 90-105.

Suwancanit, T. (2017). Card Game Design to Understand Communication Design Curriculum Overview (in Thai). In **Proceedings of Naresurn Research Conference 13 : Research and Innovation Driving the Economy and Society** (pp. 1700 – 1715). Phitsanulok: Naresuan University

Wannakhao, C., Sengsri, S. and Wachirasukmongkol, B. (2020). The Effects of Using Augmented Reality Media on Pratomsuksa 4 Students Learning in Science Subject on The Topic "Solar System" (in Thai). **Journal of Education Naresuan University**, 22(4), 50-61.

Warapo, A., and Tangtong, O. (2019). Learning Media for Planets in the Solar System with AR technology. Case studies of Students. Grade 4, cram school IMaths & Robots child's Lopbur (in Thai). **Journal of Project in Computer Science and Information Technology**, 5(2), 77-83.

Wuttisela, K. (2011). Card Games for Teaching Elements and Compounds (in Thai). **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**, 2(2), 132-137.

Pananchai, K., Matarat, P., Tamuang, S. and Supasorn, S. (2018). Eleventh grade students' conceptual understanding and mental models on chemical equilibrium from learning by using inquiry incorporated with predict-observe-explain technique (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 49-60.

Partnership for 21st Century Skills. (2009). **Framework for 21st century learning.** Retrieved 31 May 2019, from: http://www.battelleforkids.org/networks/p21.

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.

Prompan, W., Khamhaengpol, A., and Pansuppawat, T. (2020). Comparisons of analytical thinking skills of Mathayomsuksa 6 students on the topic of polymer using the learning management based on STAD cooperative learning with POE technique and conventional instruction approach (in Thai). **Journal of Humanities and Social Sciences Nakhon Phanom University**, 10(2), 107-116.

Pukae, W., and Keeratichamroen, W. (2019). A study of learning achievements on polymers learning unit and analytical thinking abilities of grade 10 students by active learning with cause and effect technique (in Thai). **Kasetsart Educational Review,** 34(2), 11-19.

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.

Sitthisarn, P. (2019). Development of teaching sets basing on guidelines on STEM education integrated with the 7 learning steps of the learning cycle (7E) on the topic of polymer for mathayom suksa 4 students (in Thai). **Academic Journal of Mahamakut Buddhist University Roi Et Campus,** 8(1), 108-118.

Tanan, W., and Sangsuwan, S. (2014). Super absorbent polymer: synthesis, characterization, and applications (in Thai). **Journal of Science and Technology Ubon Ratchathani University,** 16(2), 63-81.

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.

Van Schijndel, T.J.P., Jansen, B.R.J., and Raijmakers, M.E.J. (2018). Do individual differences in children's curiosity relate to their inquiry-based learning?. **International Journal of Science Education,** 40(9), 996-1015.

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

การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

วันชัย น้อยวงค์
นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์ภาคบังคับ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Email: wnoiw@ipst.ac.th

รับบทความ: 4 เมษายน 2564 แก้ไขบทความ: 20 พฤษภาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 27 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นกระบวนการเรียนรู้หนึ่งที่สามารถนำมาใช้อย่างได้ผลในวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งทำให้ผู้เรียนมีโอกาสได้สังเกต ตั้งคำถาม ทดลอง และสรุปผลเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ด้วยตัวเอง ดังนั้นในบทความนี้ได้นำเสนอตัวอย่างแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด สำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียน ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) มีส่วนร่วมในคำถาม 2) เก็บข้อมูลหลักฐาน 3) อธิบายสิ่งที่พบ 4) เชื่อมโยงสิ่งที่พบกับสิ่งที่ผู้อื่นพบ และ 5) สื่อสารและให้เหตุผล โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนลงมือปฏิบัติผ่านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในประเด็นคำถามที่ว่า “ผ้าอ้อมสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปมีวัสดุที่เป็นพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบเพื่อใช้ในการดูดซับน้ำหรือของเหลวทางชีวภาพ นักเรียนจะทราบได้อย่างไรว่าผ้าอ้อมสำเร็จรูปยี่ห้อไหนมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่ากัน” ผลการประเมินการเรียนรู้พบว่านักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด จากการสังเกตและสอบถามนักเรียนอย่างไม่เป็นทางการพบว่ากิจกรรมนี้ส่งเสริมให้นักเรียนมีจิตวิทยาศาสตร์ ด้านความอยากรู้อยากเห็นและกระตือรือร้น มีการใช้วิจารณญาณ มีความรอบคอบ และมีความซื่อสัตย์ นอกจากนี้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้นี้สามารถส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา ทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ

คำสำคัญ: การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ พอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย หลักสูตรทวิภาษา

อ้างอิงบทความนี้
วันชัย น้อยวงค์. (2564). การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 4(1), 118-129.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Academic Article

Learning activity in topic of super absorbent polymers for senior high school students of bilingual program

Wanchai Noiwong

Academic Staff, Compulsory Science Department, Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology

Email: wnoiw@ipst.ac.th

Received <4 April 2021>; Revised <20 May 2021>; Accepted <27 May 2021>

Abstract

Inquiry-based learning is one approach of learning process that can be used effectively in science subject. In inquiry-based science activity, the learners are able to make observation, ask question, perform experiment and make conclusion by themselves. Therefore, this academic article, we aim to present the inquiry-based learning activity in the topic of super absorbent polymers for senior high school students of bilingual program by using inquiry-based learning cycle according to the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), consisting of five following features: 1) engage in scientifically oriented questions, 2) give priority to evidence in responding to questions 3) formulate explanations from evidence, 4) connect explanation to scientific knowledge and 5) communicate and justify explanations. The objective of this activity is to provide the learners' opportunity to answers the question that is "Commercially available disposable diapers contain a polymer material used to absorb water or biological fluids, how do you know which brand of diapers is more effective in absorbing?" The preliminary results revealed that the inquiry-based learning activity enhanced students' conceptual understanding about properties of super absorbent polymers. Moreover, this activity could be used to encourage students learning science with curiosity and enthusiasm, having their critical mindedness suspended judgment and honesty in according to scientific mind and 21st century skills i.e. critical thinking and problem solving, communications, information, and media literacy, collaboration, teamwork and leadership could be practiced.

Keywords: Inquiry-based learning, super absorbent polymers, senior high school student, bilingual program

Cite this article:

Noiwong, W. (2021). Learning activity in topic of super absorbent polymers for senior high school students of bilingual program (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 118-129.

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

การที่จะประสบความสำเร็จในการศึกษา การประกอบอาชีพ และดำรงชีวิตในสังคมที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในศตวรรษที่ 21 ได้นั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้ควบคู่กับการพัฒนาทักษะต่าง ๆ ที่จำเป็น อาทิ ทักษะด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรม ทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อซึ่งเป็นความสามารถในการเข้าถึงการจัดการ การประเมิน และการใช้งานสารสนเทศอย่างมีประสิทธิผลและประสิทธิภาพ ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (Partnership for 21st Century Learning, 2009) ดังนั้นการจัดการศึกษาของไทยตามโมเดล Thailand 4.0 มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ใช้ความรู้ควบคู่กับการพัฒนาทักษะดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 ที่กำหนดยุทธศาสตร์และเป้าหมายของการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะและคุณลักษณะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 (Office of the Education Council, 2017) และยังสอดคล้องกับแนวทางการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ที่เน้นการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับการพัฒนาและฝึกฝนทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 และใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2017)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (inquiry-based learning) เป็นกระบวนการเรียนรู้หนึ่งที่สามารถนำมาใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้อย่างได้ผลและเป็นที่ยอมรับ โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สืบเสาะหาความรู้ผ่านการสังเกต ตั้งคำถาม ทดลอง และสรุปผลจากการลงมือปฏิบัติ National Research Council (1996) กล่าวว่าการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ที่นักวิทยาศาสตร์ใช้เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติและนำเสนอผลการศึกษานั้นตามสารสนเทศหรือหลักฐานต่าง ๆ ที่รวบรวมได้ ซึ่งสอดคล้องกับที่ IPST (2017) ได้สรุปว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ควบคู่ไปกับทักษะกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งเป็นแบบเดียวกันกับที่นักวิทยาศาสตร์ใช้เพื่อทำความเข้าใจปรากฏการณ์ตามธรรมชาติโดยมีหัวใจสำคัญคือการให้ผู้เรียนใช้กระบวนการในการสำรวจ ตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลหรือหลักฐานต่าง ๆ มาใช้อธิบายปรากฏการณ์หรือแก้ปัญหาข้อสงสัยที่ตนมีเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในหลักการหรือเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ Justice et al. (2009) พบว่าการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพการศึกษาของผู้เรียนโดยมุ่งเน้นไปที่การเรียนรู้วิธีการเรียนรู้ Van Schijndel et al. (2018) พบว่าความอยากรู้อยากเห็นของผู้เรียนมีผลต่อการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ Khuha et al. (2019) ศึกษาผลของการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการเรียนรู้แบบเน้นมโนทัศน์พบว่าหลังเรียนนักเรียนเกิดการพัฒนามโนทัศน์ทางชีววิทยาและมีความสามารถในการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้น Polnak et al. (2020) พบว่าการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และนักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ Pananchai et al. (2018) ได้ศึกษาผลของกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการทำนาย สังเกต อธิบายเรื่องสมดุลเคมี พบว่านักเรียนเข้าใจมโนมติหรือมโนทัศน์เรื่องสมดุลเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ Pananchai & Supasorn (2020) พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับแบบจำลอง (โมเดล) ระดับอนุภาคส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนให้เข้าใจมโนมติเกี่ยวกับสารประกอบไอออนิก Tingsa et al. (2018) พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะผสมผสานกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน มีความสามารถในการแก้ปัญหาดีมาก Keeratichamroen & Phonnong (2020) พบว่า การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้สามารถพัฒนาทักษะการสื่อสารและการนำเสนอได้ นอกจากนี้ Wongsriphuak (2020) ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือพบว่ากิจกรรมช่วยส่งเสริมให้นักเรียนทำงานร่วมกัน รับผิดชอบต่องาน และสามารถพัฒนาทักษะการทำงานกลุ่มได้ ดังนั้นจากรายงานผลการวิจัยดังกล่าวสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้และเกิดการพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

พอลิเมอร์ (polymer) เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันและเศรษฐกิจของประเทศและของโลก ดังนั้นสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จึงได้บรรจุเนื้อหาเรื่องพอลิเมอร์ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน สาระที่ 2: วิทยาศาสตร์กายภาพ ตัวชี้วัดที่ 15: สืบค้นข้อมูลและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนั้น นอกจากนี้ยังบรรจุเนื้อหานี้ในวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม (สาระเคมี) ผลการเรียนรู้ที่ 14: อธิบายผลของการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ผลการเรียนรู้ที่ 15: สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างผลกระทบจากการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์และแนวทางแก้ไข จะเห็นได้ว่าผลการเรียนรู้มุ่งเน้นให้นักเรียนมีความรู้เรื่องพอลิเมอร์และสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและหลากหลายโดยคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้พอลิเมอร์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม (Ministry of Education, 2017) จากการสืบค้นข้อมูลจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (https://tci-thailand.org/) เกี่ยวกับการวิจัยในชั้นเรียนเรื่องพอลิเมอร์ พบว่าส่วนใหญ่เป็นการวิจัยสำหรับหลักสูตรห้องเรียนปกติ อาทิ Pukae & Keeratichamroen

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

(2019) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับเทคนิค Cause and Effect เรื่องพอลิเมอร์พบว่าสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนได้ Noiwong & Phinyocheep (2012) จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะ (guided inquiry) เรื่องสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ พบว่าสามารถส่งเสริมแนวคิดที่ถูกต้องเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ได้ Prompan, Khamhaengpol & Pansuppawat (2020) ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับเทคนิค POE เรื่องพอลิเมอร์พบว่าสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนได้ Sitthisarn (2019) ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาบูรณาการร่วมกับการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้นเรื่องพอลิเมอร์พบว่านักเรียนในกลุ่มช่วยเหลือกันทำงานมีปฏิสัมพันธ์ที่ดีภายในกลุ่ม ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น มีทักษะการคิดวิเคราะห์ และมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมอยู่ในระดับมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้บทเรียนช่วยสอนควบคู่กับการใช้ผังมโนทัศน์สามารถพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับพอลิเมอร์กับนักศึกษาระดับปริญญาตรีได้ (Koocharoenpisal, 2017) อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้ในหลักสูตรทวิภาษายังคงอ้างอิงเนื้อหาในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) กิจกรรมพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานที่ต้องมีการจัดการเรียนการสอนให้กับนักเรียน และพอลิเมอร์ยังมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันและเศรษฐกิจของประเทศ นอกจากนี้จากการค้นคว้าตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้หรือการวิจัยในชั้นเรียนเรื่องพอลิเมอร์สำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากเว็บไซต์ https://tci-thailand.org/ พบว่ายังมีจำนวนน้อย ดังนั้นการนำเสนอแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับครูผู้สอนที่จะสามารถนำไปเป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนเพื่อพัฒนาผู้เรียน และนำไปต่อยอดในการวิจัยในชั้นเรียนต่อไปได้

จากปัญหาและความสำคัญข้างต้น ผู้เขียนจึงมุ่งนำเสนอแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเน้นให้นักเรียนใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาคำตอบด้วยการปฏิบัติด้วยตนเองด้วยประเด็นคำถามที่ว่า“ผ้าอ้อมสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปมีวัสดุที่เป็นพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบเพื่อใช้ในการดูดซับน้ำหรือของเหลวทางชีวภาพ แล้วนักเรียนจะทราบได้อย่างไรว่าผ้าอ้อมสำเร็จรูปยี่ห้อไหนมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่ากัน”

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ประโยชน์ที่ได้รับ

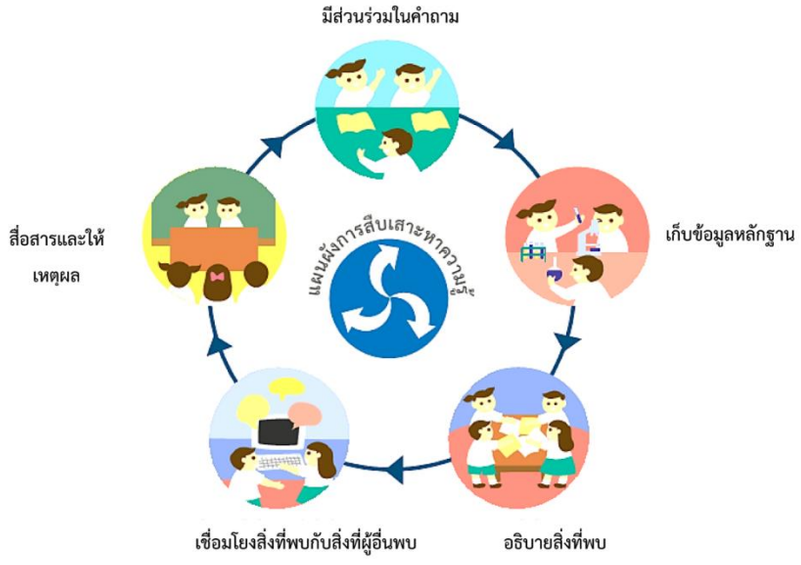
ครูที่สอนในหลักสูตรปกติหรือหลักสูตรทวิภาษาสามารถนำแนวทางการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดไปประยุกต์ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผู้เรียน และนำไปต่อยอดในการวิจัยในชั้นเรียนต่อไปได้

แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ใช้เวลาจัดกิจกรรม 3 ชั่วโมง มีรายการวัสดุอุปกรณ์ดังแสดงในภาพที่ 1 และสามารถศึกษาใบบันทึกกิจกรรมโดยสแกน QR Code ในภาพที่ 1 มุมล่างขวา

ภาพที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดสำหรับนักเรียนหลักสูตรทวิภาษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในครั้งนี้ได้ใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนตามแนวทางของ สสวท. (IPST, 2017) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2 วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนตามแนวทางของ สสวท. (IPST, 2017)

1) มีส่วนร่วมในคำถาม (engage in scientifically oriented questions) เป็นขั้นที่นักเรียนมีส่วนร่วมในประเด็นคำถามที่นำไปสู่การสืบเสาะค้นหาและรวบรวมข้อมูลหลักฐาน โดยครูสร้างความสนใจด้วยการเปิดวีดิทัศน์เกี่ยวกับพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดที่พบในชีวิตประจำวันเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมเกี่ยวกับสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดและประโยชน์ของพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดและกระตุ้นให้นักเรียนเกิดคำถามและกำหนดประเด็นที่จะศึกษาร่วมกัน ทั้งนี้ครูควรชี้แจงให้นักเรียนทราบก่อนว่าหลังจากที่ชมวีดิทัศน์เสร็จแล้วจะต้องถามคำถามเพื่อนในชั้นเรียนอย่างน้อย 1 คำถาม ตัวอย่างคำถามของนักเรียนมีดังนี้

- ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่พบในวีดิทัศน์มีอะไรบ้าง (What are the polymer products shown in video?)
- ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์แต่ละชนิดเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์หรือพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Which polymer product is synthetic polymer and which one is natural polymer?)
- มอนอเมอร์ของผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์แต่ละชนิดคืออะไร (What is the monomer of each polymer products?)

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

- มอนอเมอร์และพอลิเมอร์แตกต่างกันอย่างไร (What is the difference between monomer and polymer?)
- พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีโครงสร้างเป็นอย่างไร (What is the chemical structure of each polymer?)
- พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติเป็นอย่างไร (What are the properties of each polymer?)
- ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่รู้จักหรือพบเห็นในชีวิตประจำวันมีอะไรบ้าง ยกตัวอย่าง (What are polymer products found in daily life? give examples)

โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนทุกคนได้ร่วมกันฝึกตั้งคำถามและตอบคำถาม ซึ่งคำตอบของนักเรียนครูยังไม่ต้องเฉลยว่าถูกหรือผิดเพื่อสร้างบรรยากาศที่เป็นกันเองในการเรียนรู้ ฝึกให้นักเรียนได้นำข้อมูลจากวีดิทัศน์รวมถึงจากประสบการณ์ของนักเรียนมาตั้งคำถาม และตอบคำถามร่วมกัน โดยระหว่างจัดกิจกรรมครูควรจดคำถามและคำตอบของนักเรียนบนกระดาน จากนั้นครูเชื่อมโยงไปสู่การทำกิจกรรมซึ่งสอดคล้องกับคำถามที่นักเรียนสนใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่นักเรียนรู้จักหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน ดังนี้

ผ้าอ้อมสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปมีวัสดุที่เป็นพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบเพื่อใช้ในการดูดซับน้ำหรือของเหลวทางชีวภาพ แล้วนักเรียนจะทราบได้อย่างไรว่าผ้าอ้อมสำเร็จรูปยี่ห้อไหนมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่ากัน (Commercially available disposable diapers contain a polymer material used to absorb water or biological fluids, how do you know which brand of diapers is more effective in absorbing?)

จากนั้นแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มละ 3-4 คน และนำเข้าสู่การทำกิจกรรมเพื่อสำรวจและค้นหาต่อไป

2) เก็บข้อมูลหลักฐาน (give priority to evidence in responding to questions) เป็นขั้นที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลหลักฐานในการอธิบายและประเมินคำอธิบายหรือคำตอบจากการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เช่น สังเกต ทดลอง หรือ สร้างแบบจำลอง เพื่อนำหลักฐานเชิงประจักษ์ต่าง ๆ มาเชื่อมโยง หาแบบรูป อธิบาย หรือตอบคำถามที่ศึกษา ในกิจกรรรมนี้ครูเตรียมผ้าอ้อมสำเร็จรูป 2-3 ยี่ห้อที่แตกต่างกันสำหรับให้นักเรียนทำกิจกรรมโดยไม่เปิดเผยยี่ห้อให้นักเรียนทราบ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวิเคราะห์ประเด็นข้างต้นว่านักเรียนอยากทราบข้อมูลอะไรเพิ่มเติมบ้างเกี่ยวกับผ้าอ้อมสำเร็จรูป เช่น

- พอลิเมอร์ชนิดใดที่อยู่ในผ้าอ้อมสำเร็จรูป (What is the polymer material used in disposable diapers?)
- พอลิเมอร์ที่ใช้ในผ้าอ้อมสำเร็จรูปมีโครงสร้างเป็นอย่างไร (What is the chemical structure of polymer used in disposable diapers?)
- พอลิเมอร์ที่ใช้ในผ้าอ้อมสำเร็จรูปมีสมบัติอย่างไร (What are the polymer properties used in disposable diapers?)
- ทำไมพอลิเมอร์ที่ใช้ในผ้าอ้อมสำเร็จรูปจึงมีความสามารถดูดซับได้ดี (Why the polymers used in disposable diapers have good absorbency?)
- จะออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการดูดซับของผ้าอ้อมสำเร็จรูปแต่ละยี่ห้ออย่างไร (How to design the experiment to test the absorbency of each brand of diapers?)

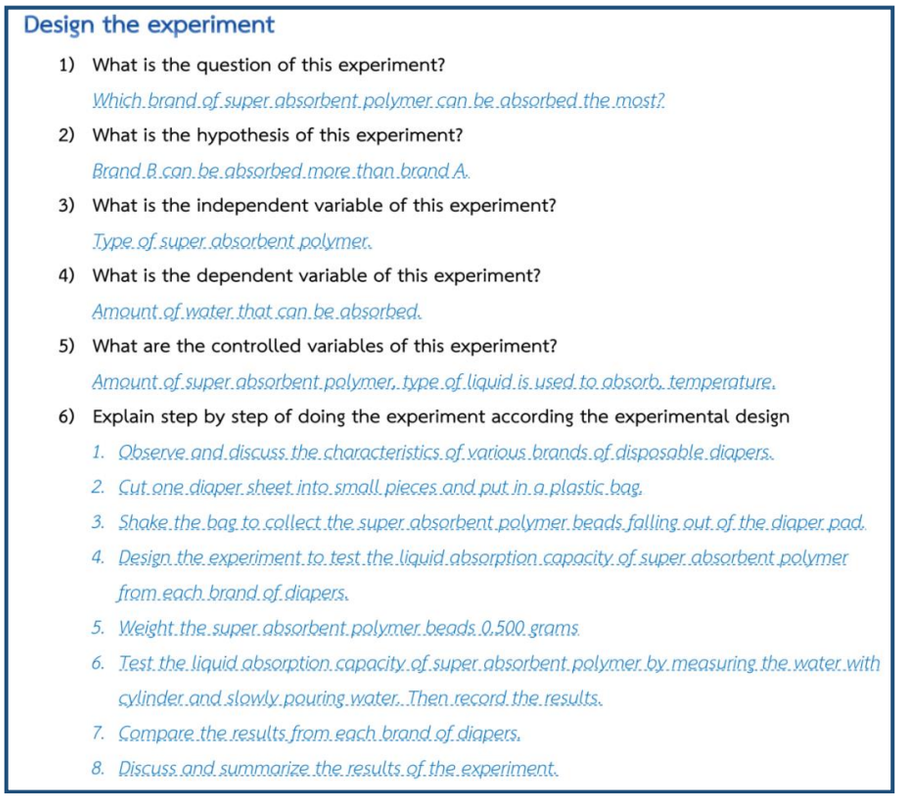
เมื่อนักเรียนสืบค้นข้อมูลเสร็จแล้ว แต่ละกลุ่มร่วมกันแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน จากนั้นครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยใช้คำถามว่า “จากการสืบค้นข้อมูล นักเรียนได้ข้อมูลเกี่ยวกับอะไรบ้าง ข้อมูลเหล่านั้นเพียงพอสำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อค้นหาคำตอบหรือไม่” โดยแต่ละกลุ่มควรออกแบบการทดลองโดยมีประเด็นที่สำคัญดังนี้

- คำถามการทดลองนี้คืออะไร (What is the question of the experiment?)
- สมมติฐานของการทดลองนี้คืออะไร (What is the hypothesis?)
- ตัวแปรต้นของการทดลองนี้คืออะไร (What is the independent variable?)
- ตัวแปรตามของการทดลองนี้คืออะไร (What is the dependent variable?)
- ตัวแปรที่ต้องควบคุมให้คงที่ของการทดลองนี้คืออะไร (What are the controlled variables?)
- นิยามเชิงปฏิบัติการของการทดลองนี้คืออะไร (What is the defining operationally?)
- อธิบายขั้นตอนการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน (Explain the procedure of the experiment)

ตัวอย่างการออกแบบการทดลองของนักเรียนดังแสดงในภาพที่ 3 หลังจากนักเรียนออกแบบการทดลองเสร็จแล้วควรให้นักเรียนนำเสนอผลการออกแบบการทดลองและอภิปรายเพื่อสรุปวิธีทำการทดลอง และหลังจากนั้นให้นักเรียนทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

และบันทึกผลการทดลองโดยระหว่างการจัดกิจกรรมครูจะต้องคอยให้คำปรึกษา แนะนำ และเป็นผู้อำนวยความสะดวก (facilitator) ในด้านต่าง ๆ อาทิ การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทำกิจกรรม ตลอดจนแนะนำเว็บไซต์ในการสืบค้นข้อมูลที่จำเป็น



Design the experiment

1) What is the question of this experiment?
Which brand of super absorbent polymer can be absorbed the most?
2) What is the hypothesis of this experiment?
Brand B can be absorbed more than brand A.
3) What is the independent variable of this experiment?
Type of super absorbent polymer.
4) What is the dependent variable of this experiment?
Amount of water that can be absorbed.
5) What are the controlled variables of this experiment?
Amount of super absorbent polymer, type of liquid is used to absorb, temperature.
6) Explain step by step of doing the experiment according the experimental design
1. *Observe and discuss the characteristics of various brands of disposable diapers.*
2. *Cut one diaper sheet into small pieces and put in a plastic bag.*
3. *Shake the bag to collect the super absorbent polymer beads falling out of the diaper pad.*
4. *Design the experiment to test the liquid absorption capacity of super absorbent polymer from each brand of diapers.*
5. *Weight the super absorbent polymer beads 0.500 grams*
6. *Test the liquid absorption capacity of super absorbent polymer by measuring the water with cylinder and slowly pouring water. Then record the results.*
7. *Compare the results from each brand of diapers.*
8. *Discuss and summarize the results of the experiment.*

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการออกแบบการทดลองของนักเรียน

3) อธิบายสิ่งที่พบ (formulate explanations from evidence) เป็นขั้นที่นักเรียนอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานเชิงประจักษ์ด้วยเหตุผล สามารถจำแนก เปรียบเทียบ วิเคราะห์ แปลผล และลงข้อสรุปได้ ในกิจกรรมนี้นักเรียนได้ค้นพบว่า พอลิเมอร์ที่ใช้ในผ้าอ้อมสำเร็จรูปเรียกว่า พอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด (Super Absorbent Polymers: SAP) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไฮโดรเจล (Hydrogel) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำหรือของเหลวทางชีวภาพได้หลายร้อยเท่าของน้ำหนักสาร ในกิจกรรมนี้นักเรียนจะต้องสามารถอธิบายการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานได้ว่าผ้าอ้อมสำเร็จรูปยี่ห้อไหนที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่ากัน ซึ่งนักเรียนจะต้องชั่งเม็ดพอลิเมอร์ที่อยู่ในผ้าอ้อมสำเร็จรูปแต่ละยี่ห้อให้มีมวลที่เท่ากัน จากนั้นรินน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอนลงไปช้า ๆ โดยใช้กระบอกตวงจนกว่าพอลิเมอร์จะบวมน้ำเต็มที่ การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของการทดลองนี้ว่าพอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มากที่สุดหรือบวมน้ำเต็มที่จะสังเกตได้อย่างไร ซึ่งครูและนักเรียนอาจอภิปรายร่วมกันเพื่อกำหนดการสังเกตอย่างง่ายได้ เช่น การนำกระดาษเยื่อสีขาวมาแตะที่ผิวของพอลิเมอร์ที่บวมน้ำแล้วสังเกตว่าถ้ากระดาษเยื่อยังแห้งแสดงว่าพอลิเมอร์ยังสามารถดูดซับน้ำได้อีกแต่ถ้ากระดาษเยื่อเริ่มเปียกแล้วแสดงว่าพอลิเมอร์ไม่สามารถดูดซับน้ำได้เพิ่มอีกแล้วหรือเป็นจุดที่พอลิเมอร์ชนิดนั้นดูดซับน้ำได้สูงสุด จากนั้นนักเรียนสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับได้จากปริมาตรของน้ำที่ใช้สำหรับผ้าอ้อมแต่ละชนิด โดยผ้าอ้อมสำเร็จรูปชนิดไหนที่ดูดซับน้ำได้ปริมาตรมากกว่าแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า

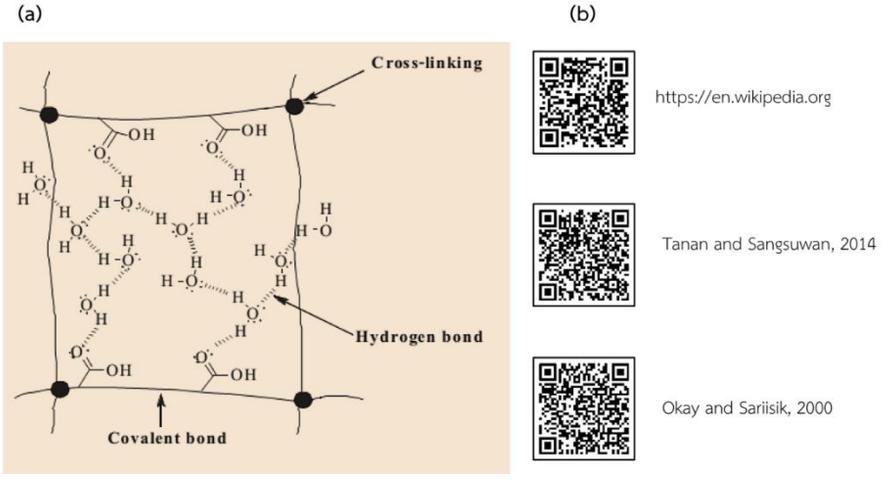
4) เชื่อมโยงสิ่งที่พบกับสิ่งที่ผู้อื่นพบ (connect explanation to scientific knowledge) เป็นขั้นที่นักเรียนประเมินคำอธิบายของตนเองกับคำอธิบายอื่น ๆ ที่สะท้อนให้เห็นถึงความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จากกิจกรรมนี้ครูให้นักเรียนนำความรู้ที่สรุปได้จากกิจกรรมไปเชื่อมโยงกับคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซึ่งคุณครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมหรือคุณครูเตรียมแหล่งสืบค้นข้อมูลที่น่าเชื่อถือให้นักเรียน นอกจากนี้นักเรียนยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ ที่ทำให้นักเรียนเกิดการขยายความรู้ที่กว้างขวางขึ้น โดยครูอาจถามคำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิดเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้ เช่น 1) จากสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซับน้ำยิ่งยวดที่มีความสามารถในการดูดซับได้ดีนอกจากจะนำมาประยุกต์ใช้ในผ้าอ้อมสำเร็จรูปแล้วยังพบในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ชนิดไหนอีกบ้าง 2) ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันเสนอแนวคิดว่าสามารถนำ พอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันในด้านใดได้อีกบ้าง ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

สุขาภิบาล เช่น ผ้าอนามัย ด้านการเกษตร เช่น ใช้เติมลงไปในดินเพื่อควบคุมความชื้นในดิน และใช้ในการปลดปล่อยปุ๋ยในการปลูกพืช ด้านการแพทย์ เช่น การนำส่งยา และ วัสดุปิดแผล

ในการจัดกิจกรรมครูเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างของพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดและกลไกที่ทำให้พอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดที่ทำให้สามารถดูดซับน้ำให้มากเพื่อนำมาอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้ รวมถึงเปรียบเทียบคำอธิบายของนักเรียนว่าสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ ซึ่งนักเรียนจะได้ใช้ทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ในกิจกรรมนี้นอกจากเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลด้วยตนเองแล้ว ครูอาจจัดเตรียมแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือเพื่อให้นักเรียนใช้เปรียบเทียบข้อมูลจากหลากหลายแหล่งเพื่อวิเคราะห์ ประเมินและตัดสินใจนำข้อมูลมาใช้สร้างคำอธิบายในการทดลองนี้ ซึ่งนักเรียนจะได้ใช้ทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อเช่นกัน ตัวอย่างข้อมูลที่ครูเตรียมให้นักเรียนเป็นดังนี้

พอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด (Super Absorbent Polymers: SAP) หรือ ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ที่สามารถดูดซับน้ำได้มาก เนื่องจากสามารถกักเก็บโมเลกุลของน้ำไว้ภายในโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่ายที่เกิดจากการรวมตัวกันของพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำหลายชนิด เช่น หมู่ -OH, -COOH, -CONH-, NH_2 และ -SOH โดยระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จะเชื่อมต่อกันด้วยด้วยพันธะโคเวเลนต์ พันธะไฮโดรเจนและอันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ในสายโซ่ประกอบกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนมาก เมื่อโมเลกุลรวมตัวกันและขดตัวอยู่จะทำให้โครงสร้างโดยรวมเกิดเป็นรูพรุนและร่องขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก ทำให้มีสมบัติในการดูดซับน้ำหรือของเหลวทางชีวภาพได้หลายเท่าของน้ำหนักสาร (Tanan & Sangsuwan, 2014) จากรายงานผลการวิจัยของ Mignon et al. (2017) พบว่า SAP สามารถดูดซับน้ำได้ประมาณ 300 เท่าของน้ำหนักสาร Okay & Sariisik (2000) ได้เสนอกลไกการดูดซับน้ำของ SAP ชนิด poly(acrylamide-*co*-sodium acrylate) ดังแสดงในภาพที่ 4 จะเห็นว่าหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ดูดซับน้ำยิ่งยวดสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้จำนวนมาก ทำให้มีสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดีซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้หลากหลาย เช่น การดูดซับโลหะหนัก การนำส่งยา วัสดุปิดแผล ผ้าอนามัย และ ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เป็นต้น สามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมโดยสแกน QR Code ในภาพที่ 4 ด้านขวามือ



ภาพที่ 4 (a) กลไกการดูดซับน้ำของ poly(acrylamide-*co*-sodium acrylate) และ (b) QR Code ข้อมูลเกี่ยวกับ SAP (Okay & Sariisik (2000); Tanan & Sangsuwan, 2014)

5) สื่อสารและให้เหตุผล (communicate and justify explanations) เป็นขั้นที่นักเรียนได้สื่อสารและนำเสนอการค้นพบของตนเองโดยจะต้องสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจว่าตนเองเกิดองค์ความรู้และทักษะอะไรบ้าง จะนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างไร จากกิจกรรมนี้สมาชิกในกลุ่มมีการสื่อสารพูดคุยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเพื่อออกแบบและทดลอง จนได้ข้อสรุปว่า “พอลิเมอร์ที่ใช้ในผ้าอ้อมสำเร็จรูปคือพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดเพราะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากเพื่อเทียบกับน้ำหนักสาร โดยผ้าอ้อมสำเร็จรูปที่ดูดซับน้ำได้ปริมาตรมากกว่าแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า” โดยครูสามารถประเมินการสื่อสารและให้เหตุผลจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรมว่านักเรียนสามารถสื่อสารสิ่งที่ได้เรียนรู้ในรูปของการเขียนข้อค้นพบ การอธิบาย การให้ข้อเสนอแนะและวิจารณ์ผลการทดลอง นอกจากนี้อาจให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลการทำกิจกรรมของตนเองหน้าชั้นเรียนเพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนประสบการณ์การเรียนรู้ร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้เพื่อน ๆ ได้ซักถาม อภิปราย แสดงความคิดเห็น และให้ข้อเสนอแนะ ตัวอย่างภาพการทดลองจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 (a) Super absorbent polymer ก่อนและหลังดูดซับน้ำ และ (b) ตัวอย่างภาพการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บางส่วน

แนวทางการวัดและประเมินผล

จากการประเมินความรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดด้วยการถามคำถาม การตอบคำถามในชั้นเรียน และจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรม พบว่ากิจกรรมนี้ทำให้นักเรียนเข้าใจสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด จากการสังเกตและสอบถามนักเรียนอย่างไม่เป็นทางการพบว่าการเรียนในกิจกรรมนี้ส่งเสริมให้นักเรียนมีจิตวิทยาศาสตร์และเกิดทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ใช้ทักษะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และทักษะด้านความร่วมมือในการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ

จากจุดเด่นของกิจกรรมการเรียนรู้พอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดที่เกิดขึ้นกับนักเรียนทั้งทางด้านความรู้ ทักษะและกระบวนการ ในบทความนี้ขอเสนอแนวทางการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ ด้านทักษะและกระบวนการ และด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังแสดงตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับเทคนิคการประเมินผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (Sirum el al., 2020) ดังนี้

1) ด้านความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด ประเมินจากการตอบคำถามในชั้นเรียน และจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรม

2) ด้านทักษะและกระบวนการ เช่น ประเมินทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อจากรายงานผลการสืบค้นข้อมูลและการนำเสนอ ประเมินทักษะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาจากการวางแผนการทำกิจกรรมและรายงานผลการทำกิจกรรมอย่างเป็นระบบ ประเมินทักษะด้านความร่วมมือในการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำงานเป็นกลุ่ม และประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

3) ด้านจิตวิทยาศาสตร์ เช่น มีความอยากรู้อยากเห็นและกระตือรือร้น โดยประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม การประเมินการใช้วิจารณญาณสังเกตจากการวางแผนเพื่อค้นหาคำตอบด้วยตนเองอย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ มี

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

ความใจกว้างประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมการอภิปรายและยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น มีความรอบคอบและมีความซื่อสัตย์ประเมินจากการจดบันทึกข้อมูลและการรายงานผลการทดลองตามผลการทดลองที่ได้จริง

ตารางที่ 1 แนวทางการวัดและประเมินการเรียนรู้

ด้านที่ประเมิน	สิ่งที่ประเมิน	เครื่องมือ	เกณฑ์การประเมิน
ด้านความรู้	- ความหมายและสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด	- ใบบันทึกกิจกรรม	ถูกต้องร้อยละ 70 ขึ้นไป
ด้านทักษะและกระบวนการ	- การสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ - การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา - ความร่วมมือในการทำงานเป็นทีม - ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	- แบบประเมินทักษะการสื่อสาร สารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ - แบบประเมินทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา - แบบประเมินทักษะความร่วมมือในการทำงานเป็นทีม - แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ระดับดีขึ้นไป
ด้านจิตวิทยาศาสตร์	- ความอยากรู้อยากเห็น - การใช้วิจารณญาณ - ความใจกว้าง - ความรอบคอบ - ความซื่อสัตย์	- แบบสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม	ระดับดีขึ้นไป

สรุป

การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด เป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ในการค้นหาคำตอบด้วยการปฏิบัติด้วยตนเองว่าผ้าอ้อมสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปซึ่งมีพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดเป็นส่วนประกอบยี่ห้อไหนมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่ากัน โดยกระบวนการเรียนรู้เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการสังเกต ตั้งคำถาม สืบค้นและรวบรวมข้อมูล ออกแบบและวางแผนการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ปฏิบัติการทดลอง อธิบายและเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้ นำเสนอและสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้อย่างมีเหตุผล จากผลการทดลองใช้กิจกรรมพบว่านักเรียนสามารถตั้งประเด็นคำถาม ออกแบบและวางแผนการทดลองเพื่อค้นหาคำตอบได้อย่างเป็นขั้นตอนตามกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สามารถอธิบายผลการทดลองและเปรียบเทียบได้ว่าผ้าอ้อมสำเร็จรูปยี่ห้อไหนมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่ากัน สามารถนำเสนอและวิจารณ์ผลการทดลองได้ ซึ่งช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวด นอกจากนี้จากการสังเกตและการสอบถามนักเรียนอย่างไม่เป็นทางการ พบว่ากิจกรรมนี้ส่งเสริมให้นักเรียนมีจิตวิทยาศาสตร์ ด้านความความอยากรู้อยากเห็นและกระตือรือร้น มีการใช้วิจารณญาณ มีความรอบคอบ และมีความซื่อสัตย์ นอกจากนี้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้นี้สามารถส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และทักษะความร่วมมือในการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนอตัวอย่างแนวทางการประเมินความรู้และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับครูผู้สอนในการนำแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดไปประยุกต์ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผู้เรียน และนำไปต่อยอดในการวิจัยในชั้นเรียนต่อไปได้

ข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรม

1) กิจกรรมนี้เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องพอลิเมอร์ในชีวิตประจำวัน ดังนั้นครูควรจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เรื่องพอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดหลังจากที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาพื้นฐานทางพอลิเมอร์มาแล้วหรืออาจจัดเป็นกิจกรรมความคิดรวบยอดท้ายหน่วยการเรียนรู้

2) เพื่อให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ ครูอาจให้นักเรียนร่วมกันเสนอว่าอยากจะนำผ้าอ้อมสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาดยี่ห้อไหนมาทดสอบการดูดซับน้ำ พร้อมให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าเพราะอะไร จากนั้นร่วมกันโหวตมาซัก 2-3 ยี่ห้อเพื่อนำมาเป็นสารตัวอย่างในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามความสนใจของผู้เรียน

3) พอลิเมอร์ดูดซับยิ่งยวดมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับมอนอเมอร์ โดยครูอาจยกตัวอย่างพอลิเมอร์บางตัว เช่น poly(acrylamide-*co*-sodium acrylate) เพื่อขยายความรู้เพิ่มเติมจากสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ ถ้าเนื้อหาส่วนนี้ยากหรือซับซ้อนเกินไป ครูอาจจะต้องพิจารณาถึงศักยภาพของนักเรียนที่แตกต่างกันด้วย

4) เพื่อส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ครูอาจนำเทคโนโลยี Google Apps for Education มาประยุกต์ใช้ในบางขั้นตอนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ หรืออาจให้นักเรียนนำเสนอและแลกเปลี่ยนสิ่งที่ได้เรียนรู้ผ่านแอปพลิเคชัน Facebook

5) ครูอาจนำแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้นี้ไปปรับใช้ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นสถานการณ์ให้นักเรียนมีความรู้เรื่องพอลิเมอร์และสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและหลากหลาย โดยคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้พอลิเมอร์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

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 senior high school student** (in Thai) . Retrieved 15 September 2020, from **SciMath**: https://www.scimath.org/ebook-science/item/8415-2-2560-2551**.**

Justice, C., Rice, J., Roy, D., Hudspith, B., and Jenkins, H. (2009). Inquiry-based learning in higher education: administrators' perspectives on integrating inquiry pedagogy into the curriculum. **Higher Education**, 58, 841-855.

Keeratichamroen, W., and Phonnong, I. (2020). A comparison of learning achievement and communication skills for undergraduate students using 5E inquiry-based learning and phenomenon-based learning (in Thai). **NRRU community Research Journal**, 14(1), 29-43.

Khuha, P., Panprueksa, K., Sirisawat, C., and Singlop, S. (2019). The effects of inquiry learning cycle (5Es) with concept-based instruction in photosynthesis on biological concepts and science communication abilities of the eleventh grade students (in Thai). **Journal of Education Naresuan University**, 21(4), 198-211.

Koocharoenpisal, N. (2017). Learning outcomes on polymer chemistry of First-Year undergraduate students through learning with programmed lesson and concept mapping (in Thai). **Silpakorn University Journal**, 37(3), 87-108.

Mignon, A., Vermeulen, J., Snoeck, D., Dubruel, P., Vlierberghe, S.V., and De Belie, N. (2017). Mechanical and self-healing properties of cementitious materials with pH-responsive semi-synthetic super absorbent polymers. **Materials and Structures,** 50(6), 1-12.

Ministry of Education. (2017). **Indicators and core subject learning of Science (revised edition 2017) according to the basic education core curriculum, B.E. 2551 (A.D.2008)** (in Thai). Bangkok: Printing House Agricultural Cooperatives of Thailand Ltd.

National Research Council. (1996). **National science education standards.** Washington, D.C.: National Academy Press.

Noiwong, W. and Phinyocheep, P. (2012). Promoting secondary students' understanding of scientific concepts through a guided-Inquiry laboratory: Polymers and their properties. **International Journal of Learning**, 18(10), 327-344.

Office of the Education Council. (2017). **National education plan 2017–2036** (in Thai). Bangkok: Prickwan Graphic.

Okay, O., and Sariisik, S.B. (2000). Swelling behavior of poly(acrylamide-*co*-sodium acrylate) hydrogels in aqueous salt solutions: theory versus experiments. **European Polymer Journal,** 36(2), 393-399.

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.

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Pananchai, K., Matarat, P., Tamuang, S. and Supasorn, S. (2018). Eleventh grade students' conceptual understanding and mental models on chemical equilibrium from learning by using inquiry incorporated with predict-observe-explain technique (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 49-60.

Partnership for 21st Century Skills. (2009). **Framework for 21st century learning.** Retrieved 31 May 2019, from: http://www.battelleforkids.org/networks/p21.

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.

Prompan, W., Khamhaengpol, A., and Pansuppawat, T. (2020). Comparisons of analytical thinking skills of Mathayomsuksa 6 students on the topic of polymer using the learning management based on STAD cooperative learning with POE technique and conventional instruction approach (in Thai). **Journal of Humanities and Social Sciences Nakhon Phanom University**, 10(2), 107-116.

Pukae, W., and Keeratichamroen, W. (2019). A study of learning achievements on polymers learning unit and analytical thinking abilities of grade 10 students by active learning with cause and effect technique (in Thai). **Kasetsart Educational Review,** 34(2), 11-19.

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.

Sitthisarn, P. (2019). Development of teaching sets basing on guidelines on STEM education integrated with the 7 learning steps of the learning cycle (7E) on the topic of polymer for mathayom suksa 4 students (in Thai). **Academic Journal of Mahamakut Buddhist University Roi Et Campus,** 8(1), 108-118.

Tanan, W., and Sangsuwan, S. (2014). Super absorbent polymer: synthesis, characterization, and applications (in Thai). **Journal of Science and Technology Ubon Ratchathani University,** 16(2), 63-81.

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.

Van Schijndel, T.J.P., Jansen, B.R.J., and Raijmakers, M.E.J. (2018). Do individual differences in children's curiosity relate to their inquiry-based learning?. **International Journal of Science Education,** 40(9), 996-1015.

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.

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

ชื่อ-สกุล	หน้า	Name-Surname	Page
กบิล กาญจมาภรณ์กุล	38	Kabin Kanjamapornkul	39
กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา	107	Karntarat Wuttisela	108
จักรกฤษณ์ อัมพุช	22	Chakkrit Umpuch	23
จินตนา เหล่าไพบูลย์	1	Jintana Laopaiboon	2
จิราธิวัฒน์ ตุรงค์เมือง	22	Jirathiwat Turongruang	23
ชวลิต สีโสภา	22	Chawalit Leesopha	23
ชาญณรงค์ ภุชงควาริน	22	Channarong Puchongkawrin	23
โชคศิลป์ ธนเฮือง	107	Choksin Tanahoung	108
เดชมณี เนาวโรจน์	62	Dechmanee Noawarot	63
ธนพร ชมภู	51	Thanaporn Chomphu	52
ธัญญดา รุ่งโรจน์มงคล	38	Thanyada Rungrotmongkol	39
นวลละออง สระแก้ว	1	Nuanla- ong Srakae	2
ปรางทิพย์ แป้นวงษ์	96	Prangthip Paenwong	97
ปลายฟ้า สายสุ้ย	51	Plaifa Saisui	52
ปุริม จารุจำรัส	51	Purim Jarujamrus	52
พนิดา สุรวัฒนาวงศ์	11	Panida Surawatanawong	12
พุทธรักษา นาคเสน	51	Puttaraksa Naksen	52
พุทธิพล หนองเสนา	22	Putipon Nongsena	23
มูฮัมหมัด ดซูลฟามี รามาดฮัน	11	Muhammad Dzulfahmi Ramadhan	12
ระวิวรรณ อุปถัมภ์	84	Rawiwan Auppatham	85
เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์	1	Raewat Laopaiboon	2
วนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์	84	Wanintorn Poonpaiboonpipat	85
วนินทร พูนไพบูลย์พิพัฒน์	96	Wanintorn Poonpaiboonpipat	97
วันชัย น้อยวงค์	118	Wanchai Noiwong	119
วิภาค อนุตรศักดา	51	Wipark Anutrasakda	52
วิภาพร จักษุมา	51	Wiphaphon Chaksuma	52
สมคิด เพ็ญชารี	1	Somkid Pencharee	2
สุพจน์ หารหนองบัว	38	Supot Hannongbua	39
สุภาวดี หิรัญพงศ์สิน	62	Supawadee Hiranpongsin	63
สุระ วุฒิพรหม	107	Sura Wuttiprom	108
สุวรรณี โลมกลาง	107	Suwannee Lomklang	108
อ้อฤทัย ใจบุญ	1	Oruethai Jaiboon	2
เอกราช ตาแก้ว	71	Aekgaraj Tagaew	72

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (JSSE)

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425 โทรสาร 045-353422

Email : jsse.sci.ubu@gmail.com หรือ saksri.s@ubu.ac.th

วันที่พิมพ์ 24 มิถุนายน 2564