

การจัดการเรียนรู้แบบใช้วิจัยเป็นฐานเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้เชิงรุกในการเรียนวิทยาศาสตร์ The Use of Research-Based Learning to Promote an Active Learning in Science Learning

บรรณรักษ์ คัมรักษา^{1*}

Bannarak Khumraksa^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี , bannarak.kh@gmail.com
(Department of General Science, Faculty of Education, Suratthani Rajabhat University)

บทคัดย่อ

การเรียนรู้เชิงรุกเป็นการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ที่ผู้เรียนจะได้เข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ในชั้นเรียนอย่างเต็มที่ การใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบใช้วิจัยเป็นฐาน (Research-Based Learning: RBL) ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เป็นการจัดการเรียนรู้เชิงรุกอีกรูปแบบหนึ่งที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาสมรรถนะและทักษะทางปัญญาจากการลงมือทำกิจกรรมแบบสืบเสาะโดยใช้กระบวนการวิจัยเป็นเครื่องมือในการสร้างความรู้ใหม่ด้วยตนเอง ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ RBL นี้จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะการคิดขั้นสูง เช่น การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การคิดสังเคราะห์ การประเมินข้อมูล ทักษะการเผชิญสถานการณ์ และทักษะการจัดการสถานการณ์จริง ในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอที่มา การสังเคราะห์แนวคิดและทฤษฎี และตัวอย่างของแนวทางในการนำวิธีการจัดการเรียนรู้แบบ RBL ไปใช้เป็นกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุกในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์เพื่อให้ผู้สอนวิทยาศาสตร์ได้พิจารณาและเห็นภาพในเชิงปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม แนวคิดและข้อเสนอที่นำเสนอในบทความนี้ยังเป็นเพียงตัวอย่างเบื้องต้นซึ่งผู้สอนสามารถนำไปปรับหรือประยุกต์ใช้ตามสภาพการณ์ของชั้นเรียนและบริบทโรงเรียนของตนได้โดยมิได้จำกัดว่าต้องปฏิบัติตามตัวอย่างที่นำเสนอในบทความนี้เสมอไป

คำสำคัญ: การเรียนรู้เชิงรุก การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ การเรียนรู้แบบใช้วิจัยเป็นฐาน การสอนวิทยาศาสตร์

ABSTRACT

Active learning is an educative experience that actively engages students in the learning process while in the classroom. The use of research-based learning (RBL) in science instruction presents as an alternative active learning model which encourage student learn with scientific inquiry. Students would be improved competencies and intellectual skills by performing inquiry activities, using the research process as an instrument to construct new knowledges by themselves. In this wise, students requires to utilize higher-order thinking skill, such as critical thinking, synthesizing, evaluating information, confronting and managing authentic situations skills. Thus, this paper would be presented history, synthesized concepts and theories and guideline provide some considerations and practical ideas for implementing RBL as an active

learning activity in science classroom. Although many ideas and suggestions are shared, this paper is a preliminary example that teachers can adapt or apply according to their class situation and their school context, no limit to provide a definitive response to the issues involved.

KEYWORDS: Active learning, Scientific inquiry, Research-based learning, Science teaching

**Corresponding author, E-mail: bannarak.kh@gmail.com โทร. 061-459-6364*

Received: 16 May 2020 / Revised: 4 July 2020 / Accepted: 9 September 2020 / Published online: 30 April 2021

บทนำ

พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี (คนปัจจุบัน) และหัวหน้าคณะรักษาความสงบแห่งชาติ (คสช.) ได้ประกาศนโยบายนำพาประเทศก้าวสู่โมเดล “ประเทศไทย 4.0” หรือ “Thailand 4.0” มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 โดยมีเป้าหมายเพื่อนำพาโครงสร้างเศรษฐกิจของประเทศไทยไปสู่ “เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม” (Innovation-Driven Economy) ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องเร่งผลิตและพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่มีทักษะ มีความรู้ความเชี่ยวชาญ เป็นคนที่มีความคิดสร้างสรรค์ มีความสามารถในการรังสรรค์นวัตกรรม (Innovative People) ฉะนั้นแล้ว ประเด็นท้าทายดังกล่าวข้างต้นนำมาสู่ “การปรับเปลี่ยนกระบวนการเรียนรู้” ของคนไทยทั้งระบบให้เป็นการเรียนรู้เชิงรุก และการเรียนรู้เพื่อรังสรรค์นวัตกรรมใหม่ๆ (Generative Learning)

อันที่จริงแล้ว ในช่วงหนึ่งถึงสองทศวรรษที่ผ่านมา ก่อนที่จะมีการประกาศนโยบายนำพาประเทศไทยก้าวสู่โมเดล “ไทยแลนด์ 4.0” ประเทศไทยก็ได้มีการตื่นตัวในการปฏิรูปการศึกษาให้เป็นการจัดการเรียนรู้เชิงรุกมาหลายระยะหนึ่ง ดังจะเห็นได้จากแนวทางการจัดการศึกษาในพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2542) ซึ่งระบุไว้อย่างชัดเจนในมาตรา 24 คือให้สถานศึกษาจัดเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับความสนใจและความถนัดของผู้เรียนโดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล จัดการศึกษาให้มีการฝึกทักษะ กระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์ และการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ปัญหา จัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกประสบการณ์จากการปฏิบัติให้ทำได้ คิดเป็น ทำเป็น ส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้สอนสามารถจัดบรรยากาศ สภาพแวดล้อม สื่อการเรียนเพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ รวมทั้งสามารถใช้การวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2542) ข้อความดังกล่าวนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าใจความสำคัญของการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาคนในชาติในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาคือ ความพยายามที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการเรียนรู้เชิงรุก กล่าวคือการพยายามส่งเสริมสนับสนุนให้ครู อาจารย์ หรือผู้สอนมีการปรับกระบวนการจัดการเรียนรู้จากเดิมที่ครูเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ (Teacher Centered Learning) มาเป็นกระบวนการใหม่ที่เน้นให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง (Child Centered Learning) นั่นเอง

“วิทยาศาสตร์” เป็นศาสตร์หรือสาระการเรียนรู้หนึ่งที่ต้องมีจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก เนื่องจากความเป็นวิทยาศาสตร์ประกอบไปด้วยความรู้และกระบวนการ ซึ่งไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างสิ้นเชิง (ลีอา ลดาชาติ และ ลฎาภา ลดาชาติ, 2559) กล่าวคือในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อทำให้ผู้เรียนเป็น “ผู้รู้วิทยาศาสตร์” (Science Literate Person) นั้น มิได้หมายถึงเพียงแค่การสอนให้รู้จำหรือเข้าใจเนื้อหาของกฎและทฤษฎีต่าง ๆ ที่นักวิทยาศาสตร์ในอดีตได้เคยศึกษาไว้แล้วเพียงอย่างเดียว หากแต่การรู้วิทยาศาสตร์ยังหมายถึงความเข้าใจในวิธีการของการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ด้วย (กาญจนา มหาลี และชาตรี ฝ่ายคำตา, 2553) ดังนั้นในการจัดการเรียน

การสอนวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนมีโอกาสได้ลงมือปฏิบัติเพื่อสืบเสาะหาความรู้ด้วยกระบวนการหรือวิธีการตามอย่างทีนักวิทยาศาสตร์ใช้ในการสืบเสาะหาความรู้จริง ๆ

ในบทความนี้ผู้เขียนมุ่งนำเสนอแนวคิดของการจัดการเรียนรู้เชิงรุกในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้แนวทางการเรียนรู้แบบใช้วิจัยเป็นฐานเป็นสำคัญ โดยผู้เขียนได้นำเสนอถึงที่มา การสังเคราะห์กรอบแนวคิดและทฤษฎีและตัวอย่างของวิธีการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้การเรียนรู้แบบวิจัยเป็นฐาน ที่ผู้เขียนได้สังเคราะห์มาจากงานวิจัยประสบการณ์ในการสอน และการทำวิจัยของตนเอง อย่างไรก็ตามผู้เขียนมุ่งหวังว่าเนื้อหาที่นำเสนอบทความนี้จะทำให้ผู้อ่านซึ่งอาจจะเป็นครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ทั้งในระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษา หรือระดับอุดมศึกษาได้เห็นภาพในเชิงปฏิบัติที่ชัดเจนขึ้น และจะเป็นแนวทางให้แก่ผู้อ่านได้หยิบยกไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของตนเองต่อไป

การเรียนรู้เชิงรุก

ในแวดวงนัการศึกษาของโลก มีการกล่าวถึงการเรียนรู้เชิงรุกมาตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1990 แนวคิดการเรียนรู้เชิงรุกนี้ได้ถูกริเริ่มขึ้นมาโดย McKeachie และคณะ (McKeachie, Pintrich, Lin, & Smith, 1986) ที่พยายามเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัย จากเดิมที่ผู้เรียนเป็นเพียงผู้รับฟังข้อมูล (Passive Recipient) ที่ถูกถ่ายทอด (Transmit) มาจากผู้สอนเพียงอย่างเดียว มาเป็นผู้เรียนที่กระตือรือร้น (Active Learner) และมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ นั้น โดยผู้สอนต้องเปลี่ยนพฤติกรรมการสอนจากเดิมที่เคยสอนแบบบอกเล่าความรู้ (Exposition Teaching) และสอนโดยยึดตนเองเป็นศูนย์กลาง (Teacher-Centered Instruction) มาเป็นเพียงผู้คอยชี้แนะ (Coach) หรือพี่เลี้ยง (Mentor) ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจเท่านั้น (McKeachie et al., 1986) อย่างไรก็ตามในช่วงเริ่มต้นของการใช้แนวคิดนี้ นักการศึกษาทั้งหลายยังไม่มี การให้นิยามของการเรียนรู้เชิงรุกที่ชัดเจน จนกระทั่งปี ค.ศ. 1991 Bonwell & Eison ได้ให้นิยามของการเรียนรู้เชิงรุกว่าหมายถึง “การจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้ลงมือทำและคิดตามในสิ่งที่พวกเขาได้กระทำไป” (Bonwell & Eison, 1991) ขณะที่ราชบัณฑิตยสถาน ก็ได้นิยามความหมายของการเรียนรู้เชิงรุกไว้ว่า “การเรียนรู้เชิงรุก หมายถึง กระบวนการเรียนรู้ที่ผู้เรียนมีบทบาทในกิจกรรมการเรียนรู้อย่างมีชีวิตชีวาและอย่างตื่นตัว” (ราชบัณฑิตยสถาน, 2551)

ลักษณะของกระบวนการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนที่ส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้เชิงรุกตามที่ Bonwell & Eison (1991) ได้ระบุไว้ มีอยู่ 5 ลักษณะสำคัญ คือ

- 1) ผู้เรียนต้องมีส่วนร่วมในการเรียนรู้มากกว่าการเป็นเพียงแค่ผู้ฟังเพียงอย่างเดียว
- 2) ลดการถ่ายทอดความรู้ด้วยการบอกเล่าข้อมูลความรู้มาเป็นการจัดกิจกรรมที่พัฒนาทักษะให้แก่ผู้เรียน
- 3) จัดกิจกรรมที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดขั้นสูง (Higher-order Thinking) เช่น การคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ และการคิดประเมินค่า เป็นต้น
- 4) ผู้เรียนต้องเข้าไปมีบทบาทในกิจกรรมการเรียนรู้ เช่น การเขียนอภิปราย การวิพากษ์ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และการนำเสนองาน เป็นต้น
- 5) เน้นให้ผู้เรียนได้สะท้อนตนเองและรู้จักตนเอง รวมไปถึงการเห็นคุณค่าของตนเอง

จะเห็นได้ว่าลักษณะของการเรียนรู้เชิงรุกนั้นเน้นไปที่การจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนมีบทบาทสำคัญในการเรียนรู้ และให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติสอดคล้องกับแนวคิดปรัชญาประสบการณ์นิยม (Experimentalism) ของ John Dewey ที่เชื่อในโลกแห่งประสบการณ์ (World of Experience) โดยเชื่อว่าผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้จากประสบการณ์ (Dewey, 1986) ซึ่งไม่ได้มาจากหนังสือหรือมาจากการบอกเล่าของครู แต่เป็นความรู้ที่ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ครูผู้สอนจะเป็นเพียงผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ และช่วยจัดสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองอย่างกระตือรือร้นให้แก่ผู้เรียน (Bot, Gossiaux, Rauch, & Tabiou, 2005)

การสอนด้วยแนวทางการเรียนรู้เชิงรุกนี้จะสามารถพัฒนาผู้เรียนได้ทุกด้าน งานวิจัยทางการศึกษาหลายเรื่องมีข้อบ่งชี้ไปในทิศทางเดียวกันว่าการเรียนรู้เชิงรุกเป็นแนวการจัดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนมีความสามารถในการเรียนรู้ที่มากขึ้น (Crimmins & Midkiff, 2017; Freeman et al., 2014) ผู้เรียนมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง (Haak, HilleRisLambers, Pitre, & Freeman, 2011) สามารถจดจำเนื้อหาได้ยาวนานขึ้น (Bonwell & Sutherland, 1996) ได้ฝึกทักษะความคิดขั้นสูง (Kim, Sharma, Land, & Furlong, 2013) และสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง (Bot et al., 2005) โดยอาศัยกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ (Cooperative Learning) และมีการส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยกันเป็นกลุ่มในชั้นเรียน (Freeman et al., 2014) กิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวยังทำให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นและให้ความสนใจในการเรียนมากขึ้น (Bonwell & Sutherland, 1996; Haak et al., 2011) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยบ่งชี้ว่าการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบการเรียนรู้เชิงรุกจะช่วยลดช่องว่างของความแตกต่างในการเรียนรู้ระหว่างผู้เรียนที่มีความพร้อมทางการศึกษากับผู้เรียนที่ด้อยโอกาสทางการศึกษาได้อีกด้วย (Haak et al., 2011)

ยุทธวิธีในการจัดการเรียนรู้เชิงรุกสามารถปฏิบัติได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) การเรียนรู้แบบห้องเรียนสตูดิโอ (Studio Format Classroom) กิจกรรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) การเรียนรู้ด้วยการแก้ปัญหา (Problem Solving) กิจกรรมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้แบบเพื่อนคู่คิด (Think-Pair-Share) การเรียนรู้โดยใช้โครงงาน (Project-based Learning) หรือกิจกรรมการเรียนรู้แบบอื่น ๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (Process-Oriented Guided-Inquiry Learning; POGIL) (Crimmins & Midkiff, 2017) การที่ผู้สอนจะเลือกใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบใดมาใช้ในห้องเรียนของตนเองนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะส่วนบุคคลของผู้สอน วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ การรับรู้บทบาทในชั้นเรียนของตนเองของผู้สอน และประสบการณ์เดิมของผู้เรียน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม Bonwell & Sutherland (1996) ได้ให้ข้อเสนอว่า ผู้สอนจะต้องหาแนวทางในการสอนที่เหมาะสมกับลีลาการสอนของตนเองที่มีผลต่อระดับปฏิสัมพันธ์ (Level of Interaction) ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนในชั้นเรียน และต้องพิจารณาความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ในรายวิชานั้น ๆ (Course Objective) ด้วยว่าผู้สอนต้องการให้ผู้เรียนได้ความรู้ (Knowledges) เรื่องอะไร และต้องการให้ผู้เรียนเกิดทักษะ (Skills) และมีเจตคติ (Attitude) อย่างไร (Bonwell & Sutherland, 1996)

การจัดการเรียนรู้เชิงรุกในการเรียนวิทยาศาสตร์

การรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) เป็นเป้าหมายของมาตรฐานการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของหลายประเทศและเป็นหัวใจสำคัญของการเปรียบเทียบความสำเร็จในการเรียนรู้ของนักเรียนระดับนานาชาติของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก (Laugksch, 2000; OECD, 2019) โดยทั่วไปแล้ว “การรู้วิทยาศาสตร์” นั้นมิได้หมายถึงการรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์ด้วยการท่องจำกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ ได้เคยศึกษาค้นพบและเขียนไว้ในตำรา เนื่องจากในปัจจุบันวิทยาศาสตร์มีความก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และความรู้ทางวิทยาศาสตร์ก็มีปริมาณมหาศาลเกินกว่าที่ผู้เรียนวิทยาศาสตร์จะท่องจำได้หมด แต่ทว่าการรู้วิทยาศาสตร์นี้ หมายถึง ความสามารถทางปัญญา (Intellectual Ability) ของบุคคลในการทำความเข้าใจองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ เข้าใจวิธีคิดในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Nature of Science) มีทักษะและมีส่วนร่วมกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีจิตวิทยาศาสตร์ (Scientific Attitude) มีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ และสามารถนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวันและการดำรงอยู่ในสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Laugksch, 2000)

ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์นั้นจึงควรผนวกทั้งแนวคิดของการเรียนรู้เชิงรุกและแนวคิดของการรู้วิทยาศาสตร์เข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นผู้สอนจึงจำเป็นต้องจัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้ใช้ทั้งความรู้ และกระบวนการในการเรียนรู้ ผู้เรียนควรได้รับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการลงมือปฏิบัติในสถานการณ์จริงโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

เช่นเดียวกับกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (ลือชา ลดาชาติ และ ลฎาภา ลดาชาติ, 2559) และซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนมีจิตวิทยาศาสตร์และมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ แนวคิดนี้สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้เชิงรุกของ Dewey ที่เชื่อว่าผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้จากประสบการณ์ ได้พัฒนาทักษะต่าง ๆ ในขณะที่ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง (Dewey, 1986) นอกจากนี้ในขณะที่ลงมือปฏิบัติกิจกรรมผู้เรียนควรมีโอกาสได้ใช้ความคิดในการคิดทบทวนถึงข้อมูลที่เป็นผลจากการลงมือปฏิบัติของตนเอง เพื่อสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หรือเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาตินั้น ๆ และนำไปสู่การสร้างความรู้ใหม่ (Bonwell & Eison, 1991) อันจะเป็นการช่วยฝึกความสามารถทางปัญญาของผู้เรียน

แนวทางในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เชิงรุกรูปแบบหนึ่งที่นักวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาส่งเสริมและผลักดันให้เกิดขึ้นอย่างยั่งยืนก็คือ การเรียนรู้โดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Inquiry) (ลือชา ลดาชาติ, 2561) ซึ่งเป็นการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เชื่อว่าเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยการทำงานแบบที่นักวิทยาศาสตร์ทำจริง ๆ กล่าวคือสามารถออกแบบและดำเนินการตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์และได้รับความรู้ความเข้าใจผ่านกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Wilke, et al., 2005; Winkelmann, et al., 2015) สภาวิจัยแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council) ระบุว่ากระบวนการสืบเสาะเป็นหัวใจของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (National Research Council, 2000) และห้องเรียนที่มีการเรียนรู้แบบสืบเสาะ จะประกอบด้วยลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ 1) ผู้เรียนมีการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติรอบ ๆ ตัวทั้งวัตถุและเหตุการณ์ 2) ผู้เรียนแสดงความสนใจใคร่รู้ด้วยตั้งคำถาม 3) ผู้เรียนหาหลักฐานที่เป็นข้อมูลพื้นฐานหรือเป็นความรู้ที่อยู่เดิม 4) ผู้เรียนการสร้างคำอธิบายของปรากฏการณ์ธรรมชาติจากหลักฐานและข้อมูลที่มีอยู่ 5) ผู้เรียนทดสอบคำอธิบายของตนเองด้วยวิธีการต่าง ๆ 6) ผู้เรียนสื่อสารความคำอธิบายของพวกเขาให้แก่ผู้อื่นได้รับรู้ (National Research Council, 2000) ด้วยการเรียนรู้วิธีนี้จะช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ บ่มเพาะจิตวิทยาศาสตร์ และสร้างเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ (Bybee et al., 2006) ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (ลือชา ลดาชาติ และลฎาภา ลดาชาติ, 2559) และเป็นการฝึกทักษะการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Wilke, et al., 2005; Winkelmann, et al., 2015)

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เชิงรุกที่สอดคล้องกับแนวทางการเรียนรู้ด้วยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ได้มีนักวิจัยและนักวิชาการทางวิทยาศาสตร์ได้เสนอไว้หลายวิธี เช่น การเรียนรู้ด้วยวิธีการสืบเสาะ 5 ขั้นตอน (Inquiry-Based Learning: 5Es) (Bybee et al., 2006) การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based Learning) (Clement, 2000) การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning) (Etherington, 2011) การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-Based Learning) (Toolin, 2004) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) (Chonkaew, Sukhummek, & Faikhamta, 2019) และการเรียนรู้โดยใช้วิจัยเป็นฐาน (Research-Based Learning) (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2555) เป็นต้น ในที่นี้ผู้เขียนจะขอนำเสนอวิธีการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เฉพาะการเรียนรู้แบบใช้วิจัยเป็นฐานที่ผู้เขียนได้มาจากการสังเคราะห์งานวิจัย การทำวิจัยของตนเองและประสบการณ์ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการดังกล่าว เพื่อแสดงให้เห็นภาพในเชิงปฏิบัติที่ชัดเจน โดยถือว่าการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ บอกเล่าประสบการณ์ และหวังว่าจะเป็นแนวทางสำหรับผู้อ่านที่เป็นทั้งครู อาจารย์หรือผู้สอนวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาและนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของตนเองต่อไป

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบใช้วิจัยเป็นฐาน

การจัดการเรียนการสอนแบบใช้วิจัยเป็นฐาน เป็นคำที่มาจากมารวมคำว่า “วิจัย” (Research) และคำว่า “การเรียนการสอน” (Instruction) เข้าไว้ด้วยกัน เมื่อแยกศัพท์คำศัพท์แต่ละคำออกจากกันแล้วพิจารณาความหมายอย่างถี่ถ้วนจะพบว่า “วิจัย” หมายถึง กระบวนการการแสวงหาความรู้หรือความจริงอย่างเป็นระบบ โดยใช้การรวบรวม วิเคราะห์ และตีความสารสนเทศ (Information) หรือข้อมูล (Data) เพื่อสร้างความเข้าใจหรืออธิบายปรากฏการณ์ที่สนใจหรือเกี่ยวข้อง (Leedy & Ormrod, 2015) กระบวนการวิจัยโดยทั่วไปของการทำวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (ทิตนา แหมมณี, 2548) ได้แก่

ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา ขั้นที่ 2 การตั้งสมมติฐาน ขั้นที่ 3 พิสูจน์ทดสอบสมมติฐาน ขั้นที่ 4 รวบรวมข้อมูล ขั้นที่ 5 วิเคราะห์ข้อมูล และขั้นที่ 6 สรุปผล

สำหรับคำว่า “การสอน” (Teaching) นั้น ในยุคแรก ๆ จะหมายถึง กระบวนการถ่ายทอดความรู้ ความเชื่อ ความคิด เจตคติ และทักษะให้แก่ผู้เรียนโดยครูผู้สอนเป็นสำคัญ (ทิตินา แชมมณี, 2548) แต่ต่อมา แนวคิดในการให้ความหมายของการสอนได้มีการเน้นความสำคัญของการให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางมากขึ้น และเริ่มมีการใช้คำว่า “การเรียนการสอน ” (Instruction) โดยครูจะมีบทบาททั้งในการสอนและการจัดกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ ฉะนั้นแล้วเมื่อรวมคำว่า “วิจัย” กับคำว่า “การเรียนการสอน ” เข้าด้วยกันจึงเกิดเป็นคำว่า “การเรียนการสอนโดยใช้วิจัยเป็นฐาน ” (Research-Based Instruction = RBI) (ลัดดา ภูเกียติ, 2552) ส่วนการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการวิจัยจะเรียกว่า “การเรียนรู้โดยใช้วิจัยเป็นฐาน” (Research-Based Learning = RBL) (Noguez & Neri, 2019) ซึ่งต่อไปนี้ผู้เขียนจะขอเรียกแบบสั้น ๆ ว่า “RBL”

การจัดการเรียนรู้แบบ RBL ประกอบด้วยแนวคิดหลักที่จะนำมาใช้ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนอยู่ 2 ส่วน คือ 1) กระบวนการวิจัย และ 2) ผลการวิจัย (ทิตินา แชมมณี, 2548) ดังนั้นวิธีการสอนแบบ RBL จึงสามารถเป็นทั้งการใช้ผลการวิจัยและการใช้กระบวนการวิจัยในการเรียนการสอนโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบย่อย (Noguez & Neri, 2019) คือ **รูปแบบที่ 1** ผู้สอนใช้ผลการวิจัยมาประกอบเนื้อหาในการเรียนการสอน (Research-Led) **รูปแบบที่ 2** ผู้เรียนใช้ผลการวิจัยในการเรียนรู้ (Research-Tutored) **รูปแบบที่ 3** ผู้สอนใช้กระบวนการวิจัยในการเรียนการสอน (Research-Oriented) และ **รูปแบบที่ 4** ผู้เรียนใช้กระบวนการวิจัยในการเรียนรู้ (Research-Based)

อย่างไรก็ตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ RBL ที่สอดคล้องกับแนวทางการจัดการเรียนรู้เชิงรุกมากที่สุดคือรูปแบบการเรียนรู้ที่ผู้สอนให้ผู้เรียนใช้กระบวนการวิจัยในการเรียนรู้ (Brew & Saunders, 2020; Neimi & Nevgi, 2014) ซึ่งเน้นการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ด้วยการลงมือปฏิบัติของ John Dewey (Dewey, 1986) และสอดคล้องกับแนวคิดของสุธีระ ประเสริฐสรรพ (2555) ที่ระบุว่า RBL เป็นการเรียนรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ ไม่ใช้การท่องตำราเนื้อหาความรู้ ซึ่งนำไปสู่การสร้างความรู้โดยผู้เรียนเอง โดยครูจะปรับบทบาทมาเป็นผู้อำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนเอาประสบการณ์จากการปฏิบัติมาทำความเข้าใจตามสาระวิชาที่เรียนอยู่ เพื่อนำไปสู่การตีความ การบูรณาการความรู้เดิมจนเข้าใจและสังเคราะห์เป็นความรู้ใหม่ที่เกิดขึ้นแก่ตนเองโดยนักเรียนเอง (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2555) ด้วยวิธีการนี้จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงเหตุผลที่อยู่เบื้องหลังขั้นตอนที่พวกเขาปฏิบัติตาม กระบวนการวิจัย มิใช่การปฏิบัติเป็นพิธีกรรมเพื่อให้ครบตามขั้นตอน

นอกจากนี้ลักษณะการจัดการเรียนรู้แบบ RBL ยังสอดคล้องกับแนวคิดในการส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อันเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่นักวิชาการวิทยาศาสตร์ศึกษาหลายคนได้ให้การสนับสนุนว่าการจัดการการเรียนรู้ด้วยวิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จะช่วยส่งเสริมให้การสอนวิทยาศาสตร์นั้นบรรลุเป้าหมายของการทำให้ผู้เรียนกลายเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ได้ (Abd-El-Khalick et al., 2004) โดยผู้เรียนจะได้ปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เชิงค้นคว้ากับนักวิทยาศาสตร์จริง ๆ เริ่มตั้งแต่การเรียนรู้ที่จะตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ การคาดเดาสมมติฐานที่เป็นไปได้บนพื้นฐานของความรู้หรือข้อมูลเดิม จากนั้นจึงสำรวจตรวจสอบหรือทดสอบเพื่อรวบรวมข้อมูล จัดกระทำข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งหลักฐานที่นำไปยืนยันสมมติฐาน และตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ และนำเสนอความรู้ เพื่อเผยแพร่ให้วิพากษ์วิจารณ์เชิงวิชาการแก่สาธารณะ (ลือชา ลดาชาติ, 2561)

กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามที่นักวิชาการวิทยาศาสตร์ศึกษาได้เสนอแนะไว้นั้นมีความเหมือนกันกับกระบวนการวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากระเบียบวิธีการวิจัยโดยทั่ว ๆ ไปนั้นล้วนมีพื้นฐานมาจากกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุผลที่ว่าวิทยาศาสตร์เป็นศาสตร์ที่มีความก้าวหน้าในการพัฒนาองค์ความรู้อย่างมีระบบ ระเบียบ มีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในแวดวงวิชาการ ด้วยเหตุนี้กระบวนการทาง

วิทยาศาสตร์จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแสวงหาคำถามความรู้ในการศาสตร์สาขาอื่น ๆ (ลือชา ลดาชาติ, 2561) หรือที่เราเรียกว่า “การวิจัย” นั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ระบุไว้โดยสภาวิจัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 2000) กับกระบวนการวิจัยตามแนวคิดของทีศนา แชมมณี (2548) และกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ RBL ที่ผู้เขียนสังเคราะห์มาจากงานวิจัยนานาชาติ (Auchincloss, Laursen, Branchaw, Eagan, Graham, Hanauer, & et al., 2014; Etherington, 2011; Kloser, Brownell, Shavelson, & Fukami, 2013; Kowalski, Hoops, & Johnson, 2016) ก็ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกระบวนการทั้งสามที่มีความสอดคล้องเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (แสดงในตาราง 1)

ตาราง 1 กระบวนการวิจัย กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ RBL

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 2000)	กระบวนการวิจัย (ทีศนา แชมมณี, 2548)	กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ RBL (Auchincloss et al., 2014; Etherington, 2011; Kloser et al., 2013; Kowalski et al., 2016)
ขั้นที่ 1 การตั้งคำถาม	ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา	ขั้นที่ 1 ศึกษาเอกสารงานวิจัย ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดปัญหาวิจัย
ขั้นที่ 2 กำหนดสมมติฐาน	ขั้นที่ 2 การตั้งสมมติฐาน	ขั้นที่ 2 กำหนดสมมติฐาน
ขั้นที่ 3 ออกแบบการทดลอง	ขั้นที่ 3 พิสูจน์ทดสอบสมมติฐาน	ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัย
ขั้นที่ 4 ทดลอง ทดสอบ เก็บรวบรวมข้อมูล	ขั้นที่ 4 รวบรวมข้อมูล	ขั้นที่ 4 เก็บรวบรวมข้อมูล (Raw Data) และจัดกระทำข้อมูล (Valid Data)
ขั้นที่ 5 ตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	ขั้นที่ 5 วิเคราะห์ข้อมูล	ขั้นที่ 5 วิเคราะห์ข้อมูล และทำรายงานสรุปผลการวิจัย
	ขั้นที่ 6 สรุปผล	ขั้นที่ 6 นำเสนอผลการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบ RBL ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จะเอื้อประโยชน์ต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนหลายประการ เนื่องจากการเรียนรู้แบบ RBL เป็นการจัดการเรียนรู้เชิงรุกแบบหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการวิจัยและการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง (Etherington, 2011; Huet, 2017) ผู้เรียนจะได้รับการฝึกฝนกระบวนการคิดและการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ (Noguez & Neri, 2019) พัฒนาความสามารถในการอภิปรายอย่างมีวิจารณญาณ ได้เรียนรู้ด้วยการค้นคว้าที่เกิดจากประสบการณ์นอกห้องเรียน (Tomasik, LeCaptain, Murphy, Martin, Knight, Harke, & et al., 2014) ใช้กระบวนการคิดในหลายรูปแบบแล้วจึงสรุปมาเป็นองค์ความรู้ของตนเอง (ลัดดา ภูเกียรติ, 2552) โดยในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นนั้นผู้เรียนจะถูกผลักดันให้เกิดการใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยอัตโนมัติควบคู่ไปกับการทำกิจกรรม (บรรณรักษ์ คัมรักษา และ เพชรลัดดา รักษากิจ, 2562) ขณะเดียวกันผู้เรียนก็จะได้รับความรู้ในเนื้อหาวิชาจากความคิดรวบยอดที่ผู้เรียนได้วิเคราะห์และสรุปจากประสบการณ์ตนเอง (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2555)

กิจกรรมการเรียนรู้แบบใช้วิจัยเป็นฐานในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ที่ผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือทำวิจัยด้วยตนเองในการเรียนวิทยาศาสตร์เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับแนวทางการจัดการเรียนรู้เชิงรุกและสอดคล้องกับแนวทางการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นในวงการการศึกษาทั่วโลกจึงได้หันมาให้ความสนใจที่จะใช้การสอนแบบ RBL มากขึ้น

โดยเฉพาะในสาขาวิชาหรือแขนงวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ (Kowalski, et al., 2016; Noguez & Neri, 2019; Tomasik, Cottone, Heethuis, & Mueller, 2013; Tomasik, et al., 2014; Winkelmann et al., 2015) โดยอาจจะใช้การจัดการเรียนรู้แบบ RBL โดยการสร้างหลักสูตรใหม่ที่เน้นสมรรถนะการวิจัย หรือนำไปใช้กับหลักสูตรที่มีอยู่เดิม เพียงแต่นำ RBL ไปใช้สอดแทรกเข้ากับสถานการณ์ของห้องเรียนใหม่หรือในวิชาใหม่ก็ได้ (Brew & Saunders, 2020)

แนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบ RBL ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการวิจัย ทักษะการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ และจิตวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา ตัวอย่างเช่น กิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ที่ปรากฏในงานวิจัยของ รุจิราพร รามศิริ และมาเรียม นิลพันธุ์ (2558) ที่ใช้ชื่อรูปแบบการเรียนรู้ว่า “RPSCSA Model” การจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้อาศัยการแสวงหาความรู้ด้วยกระบวนการวิจัย และผู้เรียนมีบทบาทสำคัญในการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ 1) ตระหนักในปัญหา 2) ค้นพบปัญหา 3) ค้นหาคำตอบ 4) รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล 5) สรุปผลและนำเสนอผลวิจัย และ 6) การประเมินผล ข้อค้นพบสำคัญของงานวิจัยนี้พบว่านักเรียนมีทักษะการวิจัยและทักษะการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ที่สูงขึ้น และมีจิตวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับมากอีกด้วย (รุจิราพร รามศิริ และมาเรียม นิลพันธุ์, 2558)

การใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ในวิชาวิทยาศาสตร์สำหรับระดับชั้นประถมศึกษา ซึ่งเป็นช่วงวัยของผู้เรียนยังไม่สามารถพัฒนาให้เกิดความคิดเป็นนวัตกรรมได้ทันที ครูผู้สอนควรเริ่มต้นจากการสอนให้ผู้เรียนรู้จักวิธีการแสวงหาความรู้ด้วยกระบวนการวิจัยอย่างง่าย ๆ ก่อน (Willison & O'Regan, 2007) เพราะการสร้างนวัตกรรมต่าง ๆ ล้วนมาจากการวิจัยทั้งสิ้น เมื่อผู้เรียนอยู่ในระดับชั้นที่สูงขึ้น ผู้สอนจึงค่อย ๆ เติมเต็มหรือพัฒนากิจกรรมให้เข้มข้นมากขึ้น จนผู้เรียนสามารถสร้างสรรคนวัตกรรมได้ ครูผู้สอนสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านการทำวิจัยขนาดย่อม ๆ (Baby Research) ตัวอย่างเช่น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ในวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 เรื่องสมบัติของดิน โดยบรรณรักษ์ คุ่มรักษา และ เพชรลัดดา รักษากิจ (2562) ได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยยึดแนวคิดของการใช้กระบวนการวิจัยมาเป็นเครื่องมือในการให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นสำรวจและระบุปัญหา 2) ขั้นรวบรวมข้อมูล 3) ขั้นวางแผน 4) ขั้นลงมือปฏิบัติ 5) ขั้นวิเคราะห์และสรุปผล 6) ขั้นการแสดงผลงาน ใช้เวลาในการสอนคาบละ 1 ชั่วโมง จำนวน 6 คาบ ใช้เวลาทำกิจกรรมสัปดาห์ละ 1 คาบ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 2

ตาราง 2 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL เรื่องสมบัติของดินสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2

คาบ	กิจกรรมการเรียนรู้	หน้าที่ของครูผู้สอน
1 (1 ชั่วโมง)	ขั้นสำรวจและระบุปัญหา: ในขั้นนี้ นักเรียนจะสำรวจ สังเกตและเลือกหัวข้อ/ประเด็นตามที่ตนเองและกลุ่มสนใจใคร่รู้ในประเด็นที่เกี่ยวกับดินในท้องถิ่นของตนเอง	- ครูคอยกระตุ้นความสนใจของนักเรียน และใช้คำถามในการชวนให้นักเรียนถกคิด ตั้งข้อสังเกตหรือตั้งคำถาม - ครูจัดกิจกรรมสรุปคำถามหรือปัญหาวิจัยของนักเรียนเพื่อเลือกและกำหนดเป็นปัญหาในการศึกษาเพื่อหาคำตอบร่วมกัน
2 (1 ชั่วโมง)	ขั้นรวบรวมข้อมูล: นักเรียนค้นคว้าหาข้อมูลในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่กำหนดไว้ในคาบที่ 1 เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา หรือคำตอบของปัญหา	- ครูเตรียมแหล่งความรู้ให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าตามหัวข้อที่กลุ่มของตนเองสนใจ

คาบ	กิจกรรมการเรียนรู้	หน้าที่ของครูผู้สอน
3 (1 ชั่วโมง)	ขั้นวางแผน: นักเรียนออกแบบวิธีการหาคำตอบ จากคำถามของกลุ่มตนเอง โดยร่วมกันคิดและวางแผนการทำงานหรือแผนการทดลอง	- ครูให้นักเรียนใช้กระบวนการกลุ่มในการวางแผน ดำเนินกิจกรรม - ครูคอยให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และสนับสนุนในด้านการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่นักเรียนต้องการ
4 (1 ชั่วโมง)	ขั้นดำเนินงาน: นักเรียนปฏิบัติกิจกรรม/การทดลองตามแผนงานหรือแผนการทดลองที่ออกแบบไว้	- ครูเป็นผู้จัดเตรียมอุปกรณ์และคอยอำนวยความสะดวก และควบคุมเวลาในการปฏิบัติ/ทดลอง ทั้งคอยให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด
5 (1 ชั่วโมง)	ขั้นวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง: นักเรียนวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลอง เพื่อสรุปหรือตอบคำถามของปัญหา จัดกระทำข้อมูล เพื่อสื่อความหมายและถ่ายทอดให้ผู้อื่นเข้าใจถึงผลการทดลองที่ได้ตลอดจนข้อสรุปที่ได้ค้นพบ	- ครูใช้คำถาม ถูมนักเรียนนำไปสู่การสรุปสิ่งที่เรียนรู้ จากข้อมูลผลการทดลองของนักเรียน
6 (1 ชั่วโมง)	ขั้นนำเสนอ: นักเรียนเขียนรายงานพร้อมออกมา นำเสนอผลงานและสรุปความรู้	- ครูคอยชี้แนะแนวทางในการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล และเตรียมอุปกรณ์/สื่อ สำหรับการนำเสนอหน้าชั้นเรียน

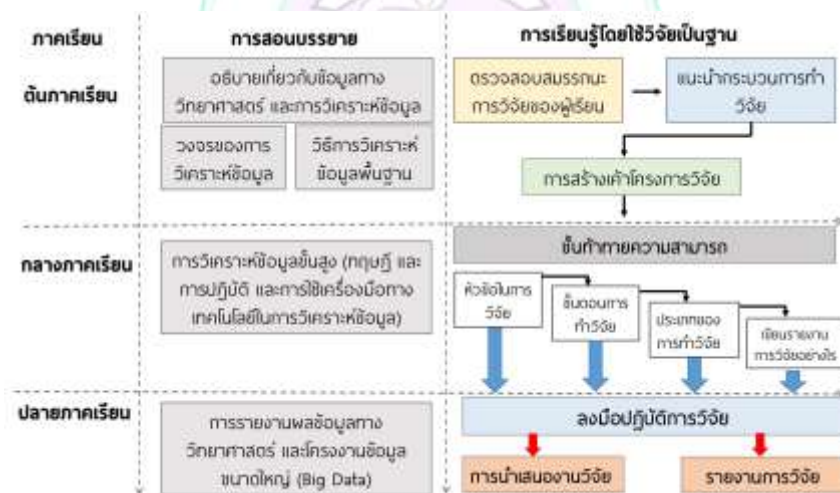
ที่มา: บรรณรักษ์ คุ่มรักษา และ เพชรัดดา รักษากิจ (2562)

ในระดับอุดมศึกษา กิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ พัฒนาทักษะต่าง ๆ ของผู้เรียน โดยเฉพาะทักษะในการทำวิจัย พัฒนาเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ และความมั่นใจในตนเอง ในการเรียนรู้ (Kloser et al., 2013; Noguez & Neri, 2019) ตัวอย่างเช่น ในวิชาเคมี Tomasik et al. (2014) ได้ใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ในรายวิชาเคมีวิเคราะห์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี โดยจัดกิจกรรมให้นักศึกษาได้ลงพื้นที่ไปทำวิจัย ด้านสิ่งแวดล้อมที่เกาะ Beaver ในรัฐ Michigan เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยสัปดาห์แรกจะเป็นการสำรวจพื้นที่ ฝึกทักษะปฏิบัติการที่จำเป็นต่อการทำวิจัย และกำหนดหัวข้อวิจัย ส่วนในสัปดาห์ที่สองจะเป็นการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดิน เก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน ตอบคำถามวิจัยและเขียนรายงานการวิจัย ในขณะที่ Winkelmann และคณะ (2015) ได้พยายามพัฒนารูปแบบการสอนโดยใช้วิจัยเป็นฐานสำหรับการสอนวิชาปฏิบัติการเคมี โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทักษะการออกแบบการทดลองและทักษะการแปลความหมายข้อมูลของนักศึกษา โดยออกแบบการจัดการเรียนรู้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 4 หน่วย และแบ่งกิจกรรมออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 เป็นกิจกรรมปูพื้นฐานทักษะการทดลอง (Skill Building Experiment) ของทั้ง 4 หน่วยการเรียนรู้ หลังจากนั้นในตอนที่ 2 จะให้นักศึกษาเลือกหน่วยการเรียนรู้ที่ตนเองสนใจ แล้วแบ่งกลุ่มกันทำงาน กลุ่มละ 4 คน เพื่อปฏิบัติกิจกรรมการสืบเสาะ (Inquiry Session) โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL เป็นเวลา 2 สัปดาห์ นักศึกษาแต่ละกลุ่มจะต้อง กำหนดหัวข้อวิจัย วัตถุประสงค์การวิจัย กำหนดสมมติฐาน และวางแผนการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน เก็บรวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง

สำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ในวิชาชีววิทยา อาจารย์ผู้สอนสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักศึกษาได้ทำวิจัยในสถานการณ์จริง (Authentic Research) นักศึกษาจะได้เรียนรู้ผ่านการปฏิบัติการวิจัยสร้างองค์ความรู้ และเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากโลกของธรรมชาติจริง ๆ (The Natural World) ตัวอย่างเช่น Kloser และคณะ (2013)

ได้ออกแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่สอดแทรกกระบวนการวิจัยในรายวิชาชีววิทยา หัวข้อนิเวศวิทยา ใช้ระยะเวลาสอน 10 สัปดาห์ แบ่งกิจกรรมการเรียนรู้เป็น 3 องค์ประกอบใหญ่ ๆ ได้แก่ 1) การสอนแบบบรรยาย (Lecture) สัปดาห์ละ 1 ชั่วโมง ในคาบวิชาปฏิบัติการชีววิทยาของทุก ๆ สัปดาห์ เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานของระบบนิเวศ และเทคนิค ขั้นตอนการทำวิจัย และเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์ 2) คาบเรียนปฏิบัติการ (Lab Session) เวลา 4 ชั่วโมง ในทุก ๆ สัปดาห์ ซึ่งจะเป็นเรื่องที่อยู่ในขอบเขตของการทำวิจัยของนักศึกษา และ 3) ขั้นตอนปฏิบัติการวิจัยในสถานการณ์จริง (Authentic Research) โดยนักศึกษจะได้รับฝึกฝนให้ปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ ตั้งปัญหา/คำถามวิจัย ตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเขียนข้อสรุป และพิจารณาว่าสอดคล้องกับสมมติฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ การนำเสนอผลการวิจัย ทั้งในรูปแบบการนำเสนอด้วยวาจา และการเขียนบทความรายงานทางวิทยาศาสตร์

สำหรับเป้าหมายในการตอบสนองประเด็นท้าทายเกี่ยวกับการส่งเสริมให้เยาวชนในชาติได้เกิดการเรียนรู้เชิงรุกและการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ ในยุค 4.0 นั้น ได้มีการนำแนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบ RBL ไปใช้ในหลักสูตรสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับ STEM (วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์) (Huet, 2017; (Noguez & Neri, 2019) ซึ่งเป็นกลุ่มสาขาวิชาที่สัมพันธ์โดยตรงกับอาชีพของบัณฑิตหลังสำเร็จการศึกษาที่ต้องใช้ความสามารถในการสร้างสรรค์นวัตกรรมในการทำงาน ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้ของสถาบัน Tecnológico de Monterrey ประเทศเม็กซิโก ให้แก่นักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (Noguez & Neri, 2019) โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL สอดแทรกคู่ขนานไปกับการเรียนเนื้อหาในรายวิชาของภาคเรียนปกติ ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ ขั้นเตรียม ขั้นลงมือปฏิบัติการวิจัย และขั้นการเขียนรายงานและนำเสนอผลการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้แบบ RBL สำหรับนักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 (ดัดแปลงจาก Noguez, & Neri, 2019)

ในการพัฒนาครุวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ RBL นั้นก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าการพัฒนา นักศึกษาในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับ STEM เนื่องจากครุวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจ มีประสบการณ์ในการเรียนรู้ เชิงรุก มีทักษะการสืบเสาะและการวิจัยเพื่อนำไปใช้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ให้แก่นักเรียนของ ตนเอง และครุวิทยาศาสตร์เองก็จำเป็นต้องพัฒนาสมรรถนะในวิชาชีพของตนเองด้วยการทำวิจัยอีกด้วย (Alvunger, & Wahlström, 2018; Brew & Saunders, 2020) บรรณรักษ์ คุ่มรักษา และปริศนา รักบำรุง (2563) ได้ใช้กิจกรรมการเรียนรู้ แบบ RBL นักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไปในรายวิชาไฟฟ้าและพลังงาน โดยยึดแนวคิดรูปแบบและ วิธีการสอนที่เน้นให้นักศึกษาได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการวิจัย ลงมือปฏิบัติ และดำเนินการวิจัยด้วยตนเอง ภายใต้กรอบเนื้อหา

การวิจัยที่ผู้สอนกำหนด โดยให้อิสระแก่ผู้เรียนในการเลือกหัวข้อวิจัยตามที่ตนเองสนใจ โดยแบ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เป็น 6 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ ขั้นที่ 1 การสำรวจและกำหนดปัญหา ขั้นที่ 2 การตั้งสมมติฐานและกำหนดตัวแปร ขั้นที่ 3 การออกแบบวางแผนการวิจัย ขั้นที่ 4 ขั้นลงมือปฏิบัติการทดลอง ขั้นที่ 5 ขั้นสรุปและอภิปรายผลการทดลอง และขั้นที่ 6 ขั้นการนำเสนอผลการวิจัย ใช้เวลาในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL ทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 3

ตาราง 3 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL สำหรับนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ในรายวิชาไฟฟ้าและพลังงาน

สัปดาห์	กิจกรรมการเรียนรู้	ผลงาน/ชิ้นงาน
1	ขั้นที่ 1 สังเกต สำรวจและกำหนดปัญหาการวิจัย - นักศึกษาแบ่งกลุ่มด้วยความสมัครใจ กลุ่มละ 3-4 คน โดยแต่ละกลุ่มร่วมกันสำรวจพื้นที่ชุมชนรอบ ๆ มหาวิทยาลัย ชุมชนท้องถิ่น - นักศึกษาแต่ละกลุ่มสรุปประเด็นคำถามวิจัย และตั้งชื่อหัวข้อวิจัย	- ใบงานที่ 1 สำรวจ สังเกต และตั้งคำถาม
2	- นักศึกษาแต่ละกลุ่มร่วมกันสืบค้น หาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเนื้อหา/หัวข้อที่ได้รับมอบหมาย - นักศึกษาแต่ละกลุ่มนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัย โดยอาจารย์สะท้อนและให้ข้อเสนอแนะในการหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องครบถ้วน สมบูรณ์ และเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นและทำใบงานที่ 2	- การนำเสนอหน้าชั้นเรียน - ใบงานที่ 2 การศึกษาหลักการ ทฤษฎี และค้นคว้าข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้อง
3	ขั้นที่ 2 การตั้งสมมติฐานและกำหนดตัวแปร - นักศึกษากำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย กำหนดสมมติฐานและตัวแปรในการศึกษา/การทดลอง - นักศึกษาทำใบงานที่ 3 และออกมานำเสนอหน้าชั้นเรียน เพื่อให้อาจารย์และเพื่อน ๆ ร่วมกันอภิปราย	- ใบงานที่ 3 แนวทาง/วิธีในการดำเนินงานวิจัย
4 - 8	ขั้นที่ 3 การออกแบบและวางแผนการดำเนินการวิจัย - นักศึกษาทำใบงานที่ 3 นักศึกษาออกแบบแผนการดำเนินงาน กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอน/วิธีการดำเนินงานวิจัย	- ใบงานที่ 3 แนวทาง/วิธีในการดำเนินงานวิจัย
9	ขั้นที่ 4 การลงมือปฏิบัติและดำเนินการตามแผนการวิจัย - นักศึกษาลงมือสำรวจ ทดลองและเก็บข้อมูลการวิจัยอย่างอิสระ โดยมีอาจารย์ผู้สอนจะทำหน้าที่เป็นผู้ให้คำปรึกษาและพี่เลี้ยง	- การรายงานความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย
10 - 12	ขั้นที่ 5 การวิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผล - นักศึกษานำผลการทดลองมาวิเคราะห์ แปลความหมายข้อมูล และอภิปราย - นักศึกษาสรุปผลการทดลอง/การศึกษาวิจัย	- รายงานการปฏิบัติกิจกรรมโครงงานฐานวิจัย (ฉบับร่าง)
10 - 12	ขั้นที่ 6 การนำเสนอผลการวิจัย - นักศึกษาเตรียมข้อมูล/เขียนรายงานการศึกษาวิจัย และเตรียมนำเสนอผลการศึกษารับรู้โดยใช้วิจัยเป็นฐาน - นักศึกษาทุกกลุ่มออกมานำเสนอผลการศึกษา/วิจัย กลุ่มละ 20-30 นาที - อาจารย์และเพื่อน ๆ นักศึกษาในชั้นเรียนร่วมกันอภิปราย 10 นาที	- การนำเสนอหน้าชั้นเรียน - รายงานการปฏิบัติกิจกรรมโครงงานฐานวิจัย (ฉบับสมบูรณ์)

สัปดาห์	กิจกรรมการเรียนรู้	ผลงาน/ชิ้นงาน
	- นักศึกษาส่งรายงานการวิจัยในรูปแบบที่กำหนด หลังจากเสร็จสิ้นการนำเสนอ	

ที่มา: ดัดแปลงจาก บรรณรักษ์ คัมรักษา และปรีศนา รักบำรุง (2563)

บทอภิปราย

การใช้กิจกรรมการเรียนการสอนแบบ RBL ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์นับว่าเป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่เน้นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง เพราะที่ผ่านมา แม่ว่านักวิชาการทางวิทยาศาสตร์ศึกษาหรือสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้พยายามส่งเสริมให้ครูสอนวิทยาศาสตร์ในทุกระดับชั้นจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (สสวท., 2560ก; สสวท., 2560ข.) แต่ในทางปฏิบัติครูสอนวิทยาศาสตร์มักพยายามออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในทุกเรื่องที่สอน โดยใช้กิจกรรมการสืบเสาะ 5 ขั้นตอนโดยปราศจากการพิจารณาถึงธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเป้าหมายของการเรียนรู้ รวมไปถึงขาดการพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาและสถานการณ์ของสภาพห้องเรียนจริง ๆ (ลือชา ลดาชาติ, 2561)

จากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่าบ่อยครั้งที่ครูในระดับประถมศึกษามักเข้าใจว่าการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบเชิงรุกแบบสืบเสาะคือการที่ครูไม่ต้องสอนโดยการอธิบาย แต่ให้นักเรียนศึกษาจากค้นหาข้อมูลจากใบความรู้หรือจากหนังสือเรียนเพื่อนำมาตอบคำถามในใบงานที่ครูเตรียมไว้ให้ ปรากฏการณ์เช่นนี้สะท้อนว่าครูยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนระหว่างกับ “สืบเสาะหาความรู้” กับ “การค้นคว้าหาความรู้” (ธิดา บงกชเพชร และวรรณทิพา รอดแรงคำ, 2553) ในขณะที่การเรียนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาและในระดับอุดมศึกษาส่วนหนึ่งยังให้ผู้เรียนทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในคู่มือเหมือนกับการทำอาหารตามคู่มือทำอาหาร (Kloser et al., 2013) ข้ำรายการสังเกตผลการทดลองที่ให้ผู้เรียนบันทึกผลการทดลองนั้นยังเป็นการสังเกตแบบระบุเป้าหมายไว้ล่วงหน้า ซึ่งผู้เรียนต้องสังเกตและบันทึกผลการทดลองให้ได้ข้อมูลตามทฤษฎีที่ระบุในแบบเรียน ฉะนั้นกิจกรรมการเรียนรู้แบบดังกล่าวจึงสวนทางกับแนวคิดการเรียนรู้เชิงรุกด้วยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง เพราะไม่ได้สะท้อนถึงการทำงานจริง ๆ ของนักวิทยาศาสตร์ (ลือชา ลดาชาติ, 2561) และไม่ได้แสดงถึงลักษณะของการเรียนรู้เชิงรุกที่แท้จริง เนื่องจากผู้เรียนมิได้ถูกทำให้ให้เข้าไปมีส่วนร่วมในการคิดและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ รวมไปถึงมิได้เกิดการสะท้อนการเรียนรู้ตนเองของผู้เรียน (Bonwell & Eison, 1991)

ในอีกทางหนึ่ง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL นั้นจะเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้โดยใช้กระบวนการวิจัยหรือใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการเรียนรู้ และแสวงหาความรู้ใหม่ ๆ หรือหาคำตอบ/คำอธิบายที่เชื่อถือได้ โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโลก และอยู่ในโลกแห่งความเป็นจริง ผู้เรียนจะได้ลงมือปฏิบัติการสืบเสาะอย่างที่นักวิทยาศาสตร์ได้ปฏิบัติจริง ๆ ตั้งแต่การกำหนดปัญหาหรือการตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ กำหนดตั้งสมมติฐานของปัญหาค้นหารวบรวมข้อมูลมาสนับสนุนสมมติฐานโดยการสังเกต สัมภาษณ์ ทดลอง ศึกษาเอกสาร หรือศึกษาจากแหล่งเรียนรู้ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ ตีความ และผ่านการถกเถียงกันในเชิงวิชาการเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งความรู้ใหม่ในที่นี้อาจจะไม่ได้หมายถึงความรู้ที่มีอยู่แล้วในตำรา ซึ่งเป็นความรู้ที่ผู้สอนรู้อยู่แล้วแต่ผู้เรียนไม่รู้ (Unknown by Some) แต่ความรู้ใหม่นี้ยังหมายถึงความรู้ที่ทั้งผู้สอนและผู้เรียนไม่เคยมีประสบการณ์หรือไม่เคยรู้มาก่อน (Unknown by All) ก็ได้ (พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ และ พเยาว์ ยินดีสุข, 2560) ดังนั้นทั้งผู้เรียนและผู้สอนจะมีโอกาสได้เรียนรู้ไปพร้อม ๆ กัน

อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนการสอนแบบ RBL นั้นมีขั้นตอนและวิธีการในการสอนที่มีความยืดหยุ่นสูงมากทั้งนี้เนื่องจากในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้ว ธรรมชาติของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เป็นกระบวนการหลักของการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้นมักจะไม่มีลำดับขั้นตอนที่ตายตัว (Nonlinear) ไม่สามารถคาดเดาลำดับขั้นตอนได้ (Unpredictable) มักจะ

ขึ้นอยู่กับผลหรือหลักฐานที่ปรากฏอยู่ ณ ขณะนั้นๆ (Ongoing) (Wilke & Straits, 2005) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของคำถามทางวิทยาศาสตร์ ทฤษฎีที่ใช้เป็นกรอบกำหนดแนวคิด วิธีการ และเครื่องมือที่ใช้ (Moeed, 2013) ดังนั้นเมื่อย้อนกลับมาที่กระบวนการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL จึงไม่ได้มีการกำหนดตายตัวว่าต้องสอนกี่ขั้นตอน กี่ชั่วโมง หรือกี่สัปดาห์ เนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย Brew & Saunders (2020) เสนอแนะว่าการนำกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิจัยเป็นฐานไปใช้ต้องคำนึงปัจจัย 2 ประการ คือ 1) บริบท หมายถึง ผู้เรียน (จำนวน ภูมิภาค ระดับชั้น ฯลฯ) บริบทโรงเรียน (สถานการณ์ สภาพห้องเรียน หน่วยงาน นโยบาย สังคมแวดล้อม ฯลฯ) และ 2) โครงสร้างหลักสูตร (วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของการเรียนรู้ ธรรมชาติของรายวิชาที่นำมาผนวกเข้ากับ RBL ฯลฯ) โดยผู้สอนจะใช้ RBL ในการสอนตลอดทั้งรายวิชา (ทั้งภาคเรียน) หรือใช้กิจกรรม RBL แคบางส่วนของเนื้อหารายวิชา หรือใช้แค่บางช่วงเวลาของการสอนก็ได้ นอกจากนี้ยังนำกิจกรรม RBL ไปใช้ขึ้นอยู่กับตัวผู้สอนด้วย กล่าวคือผู้สอนจะต้องออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับลีลาการสอนของตนเอง โดยเลือกรูปแบบหรือวิธีการที่ส่งเสริมการปฏิสัมพันธ์ (Level of Interaction) ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนในชั้นเรียน

ในกรณีที่ผู้สอนไม่อาจจะจัดการเรียนรู้ให้เหมือนกับสภาพการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียนได้จริง ๆ ผู้สอนอาจจะเลือกใช้การจัดการเรียนรู้แบบ RBL โดยที่ผู้สอนไม่ได้ให้ผู้เรียนไม่ได้เป็นผู้ลงมือทำวิจัยด้วยตนเอง แต่ครูเป็นผู้ใช้กระบวนการวิจัยในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ทั้งแบบที่ใช้ครบทุกขั้นตอนหรือใช้เป็นบางขั้นตอน เช่น ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับประถมศึกษา ผู้สอนจะต้องแสดงบทบาทในกิจกรรมการเรียนรู้และช่วยเหลือผู้เรียนเกือบทุกขั้นตอน มีอาจปล่อยให้ผู้เรียนคิดเองทำเองอย่างอิสระ และอาจจะต้องลดทอนกิจกรรมบางขั้นตอนเพื่อให้เหมาะสมกับวัยหรือระดับชั้นของผู้เรียนด้วย ในสถานการณ์ดังกล่าวนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Banchi & Bell (2008 อ้างถึงใน ลือชา ลดาชาติ, 2561) ที่เสนอแนวทางการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้สอนสามารถนำไปใช้ปฏิบัติได้จริงตามสภาพการจัดการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจริงในห้องเรียนและบริบทของโรงเรียน ซึ่งมีอยู่ 3 แนวทาง ได้แก่

- 1) การสืบเสาะแบบมีโครงสร้าง (Structured Inquiry) ที่ครูมีบทบาทเป็นอย่างมากในการชี้นำและกำหนดแนวทางให้แก่ผู้เรียนในทุกขั้นตอนอย่างใกล้ชิด
- 2) การสืบเสาะแบบแนะแนวทาง (Guided Inquiry) ครูมีบทบาทในการแนะนำแนวทางในสืบเสาะแค่บางส่วน เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สืบเสาะ สร้างคำอธิบาย และสรุปคำตอบของคำถามด้วยตนเอง
- 3) การสืบเสาะแบบปลายเปิด (Open Inquiry) วิธีการนี้ครูจะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงบทบาทในการสืบเสาะอย่างอิสระ โดยครูผู้สอนจะลดบทบาทของตนเองลง และทำหน้าที่เพียงคอยชี้แนะ (Coaching) และเป็นพี่เลี้ยง (Mentoring) ให้แก่ผู้เรียน

ในอีกแง่หนึ่งของปัญหาความเจ็บปวดในการจัดการศึกษาและการเรียนรู้ของชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ประเทศไทยซึ่งมีนักเรียนในชั้นเรียนที่มีพื้นฐานความรู้ ความสามารถและภูมิหลังชีวิตที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงเรียนในพื้นที่ต่างจังหวัดที่นักเรียนในชั้นเรียนมีความพร้อมในการเรียนรู้แตกต่างกัน การจัดการเรียนรู้แบบ RBL จะช่วยลดช่องว่างของการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ (Huet, 2017; Noguez & Neri, 2019) เนื่องจากผู้เรียนทุกคนจะมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ และในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้แบบ RBL นั้นจะเน้นไปที่การประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) และการประเมินผลการปฏิบัติ (Performance Assessment) (Winkelmann et al., 2015) ซึ่งแตกต่างจากการประเมินผลการเรียนรู้ด้วยการทดสอบผลสัมฤทธิ์จากแบบทดสอบที่มีจำนวนข้อคำถามจำนวนมาก ในบางครั้งไม่เอื้อต่อนักเรียนที่มีบกพร่องในการอ่านเขียนหรือนักเรียนในกลุ่มเรียนร่วมในชั้นเรียน นอกจากนี้ในการประเมินผลตามสภาพจริงนี้จะช่วยให้ผู้สอนเก็บบันทึกข้อมูลในเชิงลึกเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงพัฒนางานในด้านการสอน (Abhyankar & Ganapathy, 2013) หรือนำมาเป็นข้อมูลในการแลกเปลี่ยนการเรียนรู้ในชุมชนวิชาชีพของครู (Professional Learning Community: PLC) เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนการสอนของครูอย่างต่อเนื่องต่อไป (Abhyankar & Ganapathy, 2013; Brew & Saunders, 2020)

ฉะนั้นในขณะที่ผู้เรียนลงมือปฏิบัติการทำวิจัย ผู้สอนจำเป็นจะต้องคอยสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้และทักษะกระบวนการวิจัยของผู้เรียนเรียนควบคู่ไปด้วย ผู้สอนจึงต้องวางแผนในการดำเนินการส่วนนี้ว่าจะสังเกตอย่างไร ใช้เครื่องมืออะไรบ้าง หรือใช้แบบบันทึกแบบไหน จะสังเกตเป็นรายกลุ่ม หรือสังเกตรายบุคคล และจะมีการแบ่งเวลาเพื่อสังเกตให้นักเรียนแต่ละกลุ่มหรือแต่ละคนอย่างไรบ้าง เพื่อให้การวัดและประเมินผู้เรียนนั้นครอบคลุมทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพในด้านความรู้ ความสามารถ ทักษะกระบวนการ และพฤติกรรมของผู้เรียน (Auchincloss, & et al., 2014; Noguez & Neri, 2019)

บทสรุป

การสร้างกำลังคนในยุคไทยแลนด์ 4.0 ด้วยการปฏิรูปการจัดการเรียนรู้ คือการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ และเอื้อให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการคิดในขณะที่ลงมือปฏิบัติ การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบ RBL จึงเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองจากประสบการณ์ในขณะที่ลงมือปฏิบัติ และฝึกทักษะการคิดขั้นสูง ในระดับเบื้องต้นของการจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา ผู้สอนอาจจะเริ่มต้นจากการค่อย ๆ ฝึกทักษะการวิจัยเบื้องต้นให้แก่ผู้เรียนเสียก่อน เช่น การฝึกให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะอย่างง่าย ๆ เมื่อผู้เรียนอยู่ในระดับที่สูงขึ้นเช่นในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา ผู้สอนก็สามารถเพิ่มระดับความเข้มข้นของทักษะการวิจัยและสมรรถนะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จนกระทั่งผู้เรียนสามารถคิดสร้างสรรค์นวัตกรรมจากการวิจัยได้ ทั้งนี้วิธีการหรือขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอนแบบ RBL ในชั้นเรียนจริงนั้น ผู้สอนสามารถนำแนวคิดของกระบวนการวิจัยไปปรับใช้ได้อย่างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของการเรียนรู้ เนื้อหาการเรียนรู้ ระดับชั้นของผู้เรียนหรือวัยของผู้เรียน หรือตามธรรมชาติของชั้นเรียนและบริบทของโรงเรียน ทั้งนี้การออกแบบขั้นตอนของกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ในการเรียนการสอนจริงในชั้นเรียนนั้น ผู้สอนควรพิจารณาอย่างรอบรอบเพื่อให้เกิดความสมดุลของความตรงเชิงปรัชญาและความตรงด้านการสอน โดยไม่ลดทอนหรือหย่อนด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไป นอกจากนี้ผู้สอนซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้คอยชี้แนะ (Coach) และเป็นพี่เลี้ยง (Mentor) ให้แก่ผู้เรียนยังมีโอกาสที่จะได้เรียนรู้หรือค้นพบองค์ความรู้ใหม่ๆ ไปพร้อม ๆ กับผู้เรียน เนื่องจากความรู้ใหม่ที่ผู้เรียนค้นพบนั้นอาจจะเป็นความรู้ที่ทั้งผู้เรียนและผู้สอนไม่เคยมีประสบการณ์มาก่อน

กิจกรรมการจัดการเรียนการสอนแบบ RBL ตามที่ได้แสดงให้เห็นเป็นตัวอย่างในบทความนี้ ผู้อ่านก็คงจะเห็นแล้วว่า การจัดการเรียนการสอนแบบ RBL มิใช่เรื่องยากเกินกว่าที่ครู อาจารย์ หรือผู้สอนทุกคนสามารถเรียนรู้และปฏิบัติได้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ของตนเอง ซึ่งกิจกรรมการจัดการเรียนการสอนแบบ RBL จะทำให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการใช้การวิจัยในการแสวงหาความรู้ และทักษะการคิดระดับสูงที่เป็นความคิดที่สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่หรือข้อค้นพบใหม่ขึ้นมา อันเป็นการบ่มเพาะวิธีการคิดอย่างมีเหตุผล คิดอย่างมีวิจารณญาณ และคิดอย่างมีนวัตกรรม อันเป็นแนวทางในการสร้างกำลังคนที่มีประสิทธิภาพในยุคประเทศไทย 4.0 อย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2542). *พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542*. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.
- กาญจนา มหาลี และชาติรี ฝ่ายคำตา. (2553). ความเข้าใจธรรมชาติวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*, 16(5), 795-809.
- ทิศนา ขัมมณี. (2548). *การจัดการเรียนรู้โดยผู้เรียนใช้การวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้*. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยและพัฒนาการศึกษา สำนักเลขาธิการสภาการศึกษา.

- อิตติยา บงกชเพชร และ วรณทิพา รอดแรงคำ. (2553). ความรู้/ความเชื่อเกี่ยวกับการสอนดาราศาสตร์ที่เน้นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ของครูวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 29(3), 85-97.
- บรรณรักษ์ คัมรักษา และ ปรีศนา รักบำรุง. (2563). ผลของการใช้กิจกรรมการเรียนรู้โดยวิจัยเป็นฐานเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการเรียนรู้เชิงรุกสำหรับนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์. *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์*, 6(1), 127-144.
- บรรณรักษ์ คัมรักษา และเพชรลัดดา รักษากิจ. (2562). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยการสอนโดยใช้วิจัยเป็นฐาน เรื่อง สมบัติของดิน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเทศบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 10(1), 14-29.
- พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ และ พเยาว์ ยินดีสุข. (2560). *สอนเด็กทำโครงงาน สอนอาจารย์ทำวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2555). *พจนานุกรมศัพท์ศึกษาศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักงานราชบัณฑิตยสภา.
- รุจิราพร रामศิริ และ มาเรียม นิลพันธุ์. (2558). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้การวิจัยเป็นฐาน เพื่อเสริมสร้างทักษะการวิจัย ทักษะการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*, 7(1), 110-122.
- ลัดดา ภูเกียรติ. (2552). *การสอนแบบโครงงานและการสอนแบบใช้วิจัยเป็นฐาน: งานที่ครูประถมทำได้*. กรุงเทพฯ: บริษัทสาอะแอนด์ซันพรีนติ้ง จำกัด.
- ลือชา ลดาชาติ. (2561). *การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เป็นวิทยาศาสตร์: ประวัติศาสตร์ ปรัชญา และการศึกษา*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลือชา ลดาชาติ และ ลฎาภา ลดาชาติ. (2559). ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ของนิสิตครูวิชาเอกชีววิทยา. *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์*, 2(1), 24-44.
- สสวท. (2560ก.). *คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ระดับประถมศึกษา*. กรุงเทพฯ: สสวท.
- สสวท. (2560ข.). *คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น*. กรุงเทพฯ: สสวท.
- สุธีระ ประเสริฐสรรพ. (2555). *โครงงานฐานวิจัย: กระบวนการเรียนรู้ใหม่ของการศึกษาไทย*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A. et al., (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419.
- Abhyankar, K., & Ganapathy, S. (2013). Ethnographic research based education model development. *International Journal of Information and Education Technology*, 3(1), 113-116.
- Alvunger, D., & Wahlström, N. (2018). Research-based teacher education? Exploring the meaning potentials of Swedish teacher education. *Teachers and Teaching*, 24(4), 332-349.

- Auchincloss, L. C., Laursen, S. L., Branchaw, J. L., Eagan, K., Graham, M., Hanauer, D. I., & et al. (2014). Assessment of course-based undergraduate research experiences: A meeting report. *CBE—Life Sciences Education*, 13(1), 29-40.
- Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). *Active learning: Creating excitement in the classroom*. Washington, DC: The George Washington University, School of Education and Human Development.
- Bonwell, C. C., & Sutherland, T. E. (1996). The active learning continuum: Choosing activities to engage students in the classroom. *New Directions for Teaching and Learning*, Fall(67), 3-16.
- Bot, L., Gossiaux, P.-B., Rauch, C.-P., & Tabiou, S. (2005). 'Learning by doing': A teaching method for active learning in scientific graduate education. *European Journal of Engineering Education*, 30(1), 105-119.
- Brew, A., & Saunders, C. (2020). Making sense of research-based learning in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 87, 1-11.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardne, A., Scotter, P. V., Powell, J. C., Westbrook, A., & et al. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origin and effectiveness*. Colorado Spring: BSCS.
- Chonkaew, P., Sukhummek, B., & Faikhamta, C. (2019). STEM activities in determining stoichiometric mole ratios for secondary-school chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1182-1186.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Crimmins, M. T., & Midkiff, B. (2017). High structure active learning pedagogy for the teaching of organic chemistry: Assessing the impact on academic outcomes. *Journal of Chemical Education*, 94(4), 429-438.
- Dewey, J. (1986). Experience and education. *The Educational Forum*, 50(3), 241-252.
- Etherington, M. B. (2011). Investigative primary science: A problem-based learning approach. *Australian Journal of Teacher Education*, 36(9), 53-74.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.
- García-Carmona, A. (2020). From Inquiry-Based Science Education to the Approach Based on Scientific Practices. *Science & Education*, 29(2), 443-463.
- Haak, D. C., HilleRisLambers, J., Pitre, E., & Freeman, S. (2011). Increased structure and active learning reduce the achievement gap in introductory biology. *Science*, 332(6034), 1213-1216.
- Kim, K., Sharma, P., Land, S. M., & Furlong, K. P. (2013). Effects of active learning on enhancing student critical thinking in an undergraduate general science course. *Innovative Higher Education*, 38(3), 223-235.
- Kloser, M. J., Brownell, S. E., Shavelson, R. J., & Fukami, T. (2013). Effects of a research-based ecology lab course: A study of nonvolunteer achievement, self-confidence, and perception of lab course purpose. *Journal of College Science Teaching*, 42(3), 72-81.

- Kowalski, J. R., Hoops, G. C., & Johnson, R. J. (2016). Implementation of a collaborative series of classroom-based undergraduate research experiences spanning chemical biology, biochemistry, and neurobiology. *CBE—Life Science Education*, 15(4), 1-17.
- Laugsch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84(1), 71-94.
- Leedy, P. D., & Ormrod, J. E. (2015). *Practical research: Planning and design*. Harlow: Pearson Education.
- McKeachie, W. J., Pintrich, P. R., Lin, Y.-G., & Smith, D. A. F. (1986). *Teaching and learning in the college classroom: A review of the research literature*. Ann Arbor: Michigan National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning, University of Michigan.
- Moeed, A. (2013). Science Investigation That best supports student learning: Teachers' understanding of science investigation. *International Journal of Environmental and Science Education*, 8(4), 537-559.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academies Press.
- Niemi, H., & Nevgi, A. (2014). Research studies and active learning promoting professional competences in Finnish teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 43, 131-142.
- Noguez, J., & Neri, L. (2019). Research-based learning: A case study for engineering students. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13(4), 1283-1295.
- OECD. (2019). *PISA 2018 results (volume III)*. Paris: OECD Publishing.
- Tomasik, J. H., Cottone, K. E., Heethuis, M. T., & Mueller, A. (2013). Development and preliminary impacts of the implementation of an authentic research-based experiment in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 90, 1155-1161.
- Tomasik, J. H., LeCaptain, D., Murphy, S., Martin, M., Knight, R. M., Harke, M. A., & et al. (2014). Island explorations: Discovering effects of environmental research-based lab activities on analytical chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 91, 1887-1894.
- Toolin, R. E. (2004). Striking a balance between innovation and standards: A study of teachers implementing project-based approaches to teaching science. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 179-187.
- Wilke, R. R., & Straits, W. J. (2005). Practical advice for teaching inquiry-based science process skills in the biological science. *The American Biology Teacher*, 67(9), 534-540.
- Willison, J., & O'Regan, K. (2007). Commonly known, commonly not known, totally unknown: A framework for students becoming researchers. *Higher Education Research & Development*, 26(4), 393-409.
- Winkelmann, K., Baloga, M., Marcinkowski, T., Giannoulis, C., Anquandah, G., & Cohen, P. (2015). Improving students' inquiry skills and self-efficacy through research-inspired modules in the general chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 92, 247-255.