



วารสารอิเล็กทรอนิกส์
ทางการศึกษา

OJED, Vol. 21, No. 1, 2026. Article ID: OJED-21-01-017
Article Info: Received 24 March, 2026; Revised 9 June, 2026; Accepted 11 June, 2026

OJED
An Online Journal
of Education
www.tci-thaijo.org/index.php/OJED

แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยการเรียนรู้ผ่านปฏิบัติการชีววิทยา

Biology Laboratory-Based Learning for Promoting Scientific Explanation

โอภาส พระเทพ^{1*} น้าผึ้ง ศุภอุทุมพร² และ สกมลรัตน์ แก้วดี³

O-Phart Phrathep^{1*} Nampung Supautumporn² and Sakolrat Kaewdee³

บทคัดย่อ

ความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นสมรรถนะสำคัญของพลเมืองในศตวรรษที่ 21 ที่ควรสามารถประเมินหลักฐานและประยุกต์ใช้ความรู้วิทยาศาสตร์ในการตัดสินใจได้อย่างมีเหตุผล มาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ (NGSS) และโปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนตามมาตรฐานสากล (PISA 2025) จึงกำหนดให้ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นผลการเรียนรู้ที่สำคัญ แม้ประเด็นนี้จะมีความสำคัญระดับนานาชาติ งานวิจัยในประเทศไทยพบว่านักเรียนยังมีความสามารถอยู่ในระดับที่ไม่น่าพึงพอใจ สาเหตุหนึ่งมาจากการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการท่องจำมากกว่าการสร้างองค์ความรู้ผ่านหลักฐานเชิงประจักษ์ ชีววิทยาเป็นบริบทที่มีศักยภาพในการแก้ปัญหานี้เนื่องจากเกี่ยวข้องกับกระบวนการของสิ่งมีชีวิตที่ผู้เรียนคุ้นเคยและสามารถสังเกตได้ อีกทั้งหลายปรากฏการณ์สามารถศึกษาได้โดยตรงหรือใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งเอื้อให้ผู้เรียนรวบรวมและตีความหลักฐานเชิงประจักษ์ตามหลักการทางชีววิทยาได้ ทำให้กิจกรรมปฏิบัติการชีววิทยาเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างเป็นธรรมชาติ บทความนี้นำเสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ศักยภาพของปฏิบัติการชีววิทยาในการส่งเสริมความสามารถดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบูรณาการการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับกรอบแนวคิด Claim–Evidence–Reasoning (CER) ทั้งในฐานะเครื่องมือในการจัดการเรียนรู้และการประเมินผล อีกทั้งนำเสนอหลักการออกแบบปฏิบัติการ การจัดการเรียนรู้ และการประเมินผล เพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูชีววิทยาและครูวิทยาศาสตร์ในการประยุกต์ใช้ในห้องเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ปฏิบัติการชีววิทยา, คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์, การเรียนรู้แบบสืบเสาะ, กรอบแนวคิด CER

¹ อาจารย์ ดร. ประจำสาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีเมล : o-phart.p@chu.ac.th
Lecturer (Ph.D.) in Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Chulalongkorn University.
Email: o-phart.p@chu.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม อีเมล : nampung.s@chula.ac.th
Assistant Professor in Science and Technology Learning Group, Chulalongkorn University Demonstration Secondary School. Email: nampung.s@chula.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจำสาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีเมล : sakolrat.k@chula.ac.th
Assistant Professor (Ph.D.) in Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Chulalongkorn University.
Email: sakolrat.k@chula.ac.th

Abstract

Scientific literacy has become a key competency in the 21st century as citizens are increasingly required to evaluate evidences and apply scientific knowledge to make decisions. In response to this demand, both the Next Generation Science Standards (NGSS) and the Programme for International Student Assessment (PISA 2025) have identified the ability to construct scientific explanations as an essential learning outcome. Despite global emphasis on this topic, studies conducted in Thailand consistently reveal unsatisfactory student performance in this area. This difficulty can be attributed, in part, to instructional practices that prioritize content memorization over the active construction of knowledge through empirical inquiry. Biology offers a particularly promising context for addressing this challenge. Biology engages students with life processes that are inherently familiar and observable. Many biological phenomena can be investigated directly or with minimal instrumentation, allowing students to collect meaningful empirical evidence and interpret it through biological principles. This accessibility positions biology laboratory activities as an effective vehicle for developing scientific explanation skills in an authentic and meaningful way. This article examines instructional approaches that leverage biology laboratory activities to foster students' ability to construct scientific explanations. Specifically, it discusses the integration of inquiry-based learning with the Claims-Evidence-Reasoning framework as both an instructional and an assessment tool. Principles for laboratory design, instructional implementation, and student assessment are outlined to provide biology and science teachers with effective classroom practices.

Keywords: Biology laboratory, scientific explanation, inquiry-based learning, CER framework

บทนำ

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตในสังคมยุคปัจจุบันในหลายมิติ ทั้งการช่วยให้ประชาชนสามารถประเมินและตัดสินใจเกี่ยวกับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน เช่น สุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการรับมือกับความท้าทายระดับโลก เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ นอกจากนี้ในยุคที่ข้อมูลข่าวสารแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการคิดวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลที่ถูกต้องออกจากข้อมูลเท็จหรือข้อมูลที่บิดเบือนได้อีกด้วย (OECD, 2023). ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative AI) โดยขาดวิจารณญาณในปัจจุบันยังส่งผลเสียต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และกระบวนการคิดเชิงลึกของผู้เรียนอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือยิ่งพึ่งพา AI มากเท่าใด ความสามารถในการวิเคราะห์ ประเมินหลักฐาน และให้เหตุผลอย่างอิสระก็ยิ่งลดลงเท่านั้น (Gerlich, 2025) ด้วยเหตุนี้ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงไม่ใช่เพียงการถ่ายทอดความรู้ แต่ต้องมุ่งพัฒนาให้ผู้เรียนสามารถคิด วิเคราะห์ และสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง โดยการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Explanation) ซึ่งถือเป็นทักษะสำคัญที่สะท้อนถึงความสามารถในการเชื่อมโยงหลักฐานเชิงประจักษ์กับความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างเป็นระบบ การจัดการ

เรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงควรออกแบบให้ผู้เรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายและให้เหตุผลด้วยตนเอง เพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตในสังคมที่ซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ (Next Generation Science Standards [NGSS]) ที่พัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในแปดทักษะหลักของแนวปฏิบัติด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม (Science and Engineering Practices [SEPs]) โดยเน้นให้ผู้เรียนสามารถสร้างคำอธิบายที่อิงบนหลักฐาน แบบจำลอง และความรู้ทางทฤษฎีวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 2013; National Science Teaching Association, n.d.) ขณะที่กรอบการประเมิน PISA 2025 ได้กำหนดให้สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในสามสมรรถนะหลักทางวิทยาศาสตร์ (OECD, 2023)

แม้ทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะมีความสำคัญอย่างยิ่งตามที่กล่าวมา อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ ศศิมน ศรีกุลวงศ์ และ ลฎาภา ลดาชาติ (2564) พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ที่ศึกษาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉลองจุฑา จันทร์หอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2563) ที่พบว่านักเรียนเกือบครึ่งหนึ่งสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้อยู่ในระดับพื้นฐาน ขณะที่องค์ประกอบด้านการระบุหลักฐานและการให้เหตุผลยังคงเป็นองค์ประกอบที่นักเรียนเกือบทั้งหมดทำได้ในระดับปรับปรุง และเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการวิจัยของ จรูญลักษณ์ วรโคตร และคณะ (2561) ที่พบว่าค่าเฉลี่ยของการให้เหตุผลของนักเรียนอยู่ที่ร้อยละ 0.44 เท่านั้น สถานการณ์เช่นนี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถดังกล่าวอย่างเป็นระบบ

บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ถือเป็นนวัตกรรมทางการศึกษาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการสังเกตและทดลองด้วยตนเอง (ปวีรินทร์ รังแก้ว, 2559) โดยเฉพาะเมื่อบูรณาการกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะ บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการวิทยาศาสตร์ พัฒนากลไกกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความหมาย อีกทั้งวิชาชีววิทยามีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับใกล้ตัวผู้เรียน หลายปรากฏการณ์สามารถสังเกตได้โดยตรงหรือใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน และสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คุณลักษณะนี้ทำให้วิชาชีววิทยาเหมาะสมอย่างยิ่งกับการจัดการเรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เก็บหลักฐานเชิงประจักษ์จากปรากฏการณ์จริง และนำมาเชื่อมโยงกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ อย่างไรก็ตามอุปสรรคหนึ่งในการจัดการเรียนรู้โดยการทำปฏิบัติการชีววิทยาของไทย คือ ข้อจำกัดด้านเวลา และความซับซ้อนในการจัดการทดลอง การพัฒนาบทปฏิบัติการที่ใช้เวลาเหมาะสมและไม่ซับซ้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญ (โอภาส พระเทพ และ สกสรุทธิ์ แก้วดี, 2568)

บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการชีววิทยาที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูและนักวิชาการศึกษานำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับบริบทการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ : ความหมาย องค์ประกอบ และความสำคัญ

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Scientific explanation) หมายถึง คำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ โดยมีการสนับสนุนคำกล่าวอ้างด้วยหลักฐานและเหตุผลที่เหมาะสม (McNeill et al., 2006) ซึ่ง Krajcik and McNeill (2015) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าเป็นการอธิบายหรือการโต้แย้งของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร เหตุใดจึงเกิดขึ้น รวมทั้งเงื่อนไขและผลของเหตุการณ์ที่ทำให้การสังเกต ในขณะที่ นวลจิตต์ เขาวงกตพิงค์ (2562) ได้ขยายความว่าคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นข้อความที่สะท้อนผลการสังเกต การทดลอง หรือการสืบค้นอื่น ๆ ที่เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ มาเชื่อมโยงกับการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับหลักฐาน นำพงศ์ จันทรโท (2563) ได้เสนอว่าความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ต้องมียุทธศาสตร์ประกอบสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ ข้อกล่าวอ้าง (Claim) หลักฐาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning) ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) โดย (1) ข้อกล่าวอ้าง คือ ข้อสรุปหรือคำตอบของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ว่าเกิดอะไรขึ้น และเกิดได้อย่างไร (2) หลักฐาน คือ ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ได้จากการสังเกต และ (3) การให้เหตุผล คือ ข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา

ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ปรากฏชัดใน 3 มิติหลัก ได้แก่ มิติที่ 1 ด้านความเข้าใจในโมโนทัศน์และเนื้อหาวิทยาศาสตร์ กรรณก เลิศเดชาภัทร และ ปรีณดา ลิ้มปานานท์ พรหมรัตน์ (2561) ชี้ให้เห็นว่าหากนักเรียนไม่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ จะส่งผลให้ไม่สามารถทำความเข้าใจสาเหตุและกลไกการเกิดปรากฏการณ์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับ ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2563) ที่พบว่ากระบวนการสร้างคำอธิบายช่วยให้นักเรียนมีความรู้เนื้อหาที่ลึกซึ้งและมั่นคงยิ่งขึ้น มิติที่ 2 ด้านทัศนคติในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2563) ยังพบอีกว่าการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ช่วยเปลี่ยนมุมมองของนักเรียนจากการมองวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่ต้องท่องจำ ไปสู่การมองว่าวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนทัศนคติที่มีต่อการเรียนรู้ในระยะยาวอย่างมีนัยสำคัญ และมิติที่ 3 ด้านการพัฒนากระบวนการคิดและคุณลักษณะนักวิทยาศาสตร์ สันติชัย อนุวรชัย (2553) ให้ข้อคิดเห็นว่าการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เปรียบเสมือนการสร้างประสบการณ์เรียนรู้ที่ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงในวงการวิทยาศาสตร์ เนื่องจากนำหลักการสำคัญของสังคมวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การใช้หลักฐานเชิงประจักษ์และการให้เหตุผล มาบูรณาการในการจัดการเรียนการสอน กระบวนการดังกล่าวจึงช่วยพัฒนานักเรียนได้อย่างรอบด้าน ทั้งในด้านกระบวนการคิด การลงมือปฏิบัติ และการสร้างเสริมคุณลักษณะความเป็นนักวิทยาศาสตร์

แม้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะมีความสำคัญอย่างยิ่ง แต่ในทางปฏิบัติพบว่านักเรียนยังประสบปัญหาในการพัฒนาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ เมื่อพิจารณารายองค์ประกอบพบว่า องค์ประกอบที่นักเรียนพัฒนาได้ง่ายที่สุดคือการสร้างข้อกล่าวอ้าง ในขณะที่การระบุหลักฐานและการให้เหตุผลเป็นองค์ประกอบที่นักเรียนพัฒนาได้ยากที่สุด (จรรยาลักษณ์ วรโคตร และคณะ, 2561; ฉลองวุฒิ

จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) ซึ่งจากการวิเคราะห์การนำกรอบแนวคิด CER ไปใช้ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมาพบข้อจำกัดที่สำคัญ คือการนำกรอบแนวคิด CER ไปใช้เป็นเพียงแบบบันทึกที่ให้นักเรียนกรอกข้อมูลในแต่ละช่องโดยไม่ได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงองค์ประกอบทั้ง 3 เข้าหากันอย่างมีความหมาย ส่งผลให้นักเรียนสามารถระบุข้อกล่าวอ้างได้แต่ยังขาดความสามารถในการเชื่อมโยงหลักฐานเชิงประจักษ์กับการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์อย่างลุ่มลึก นอกจากนี้ ผลของจันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2563) ยังพบว่าสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งคือการที่นักเรียนขาดแนวคิดวิทยาศาสตร์ (Scientific concept) หรือ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific knowledge) ที่ถูกต้อง ส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจว่าข้อมูลลักษณะใดสามารถนำมาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ และไม่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดหลักฐานที่นำเสนอจึงเชื่อมโยงกับข้อกล่าวอ้างนั้น ไม่ว่าจะเป็นแนวคิดหลักที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์โดยตรง หรือแนวคิดรองที่เกี่ยวข้อง ล้วนส่งผลต่อคุณภาพของการให้เหตุผลทั้งสิ้น ข้อค้นพบนี้มีความสำคัญต่อการออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่ต้องพัฒนาทั้งความรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์และทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กันไป ยิ่งในบริบทของวิชาชีพครูด้วยแล้ว ความท้าทายดังกล่าวมีความซับซ้อนเป็นพิเศษ เนื่องจากเนื้อหาชีววิทยาคอบคลุมปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหลายระดับพร้อมกัน ตั้งแต่ระดับโมเลกุลและเซลล์ไปจนถึงระดับสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศ การที่นักเรียนจะสร้างคำอธิบายที่ครบถ้วนทั้ง 3 องค์ประกอบได้นั้น จึงต้องอาศัยทั้งความเข้าใจในแนวคิดชีววิทยาที่ถูกต้องและความสามารถในการเชื่อมโยงหลักฐานเชิงประจักษ์จากการทดลองกับกลไกที่เกิดขึ้นในระดับต่าง ๆ อย่างสอดคล้องกัน

ข้อจำกัดและความท้าทายเหล่านี้จึงเป็นแรงผลักดันสำคัญในการพัฒนาแนวทางการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้รวบรวมหลักฐานจากสถานการณ์จริง ควบคู่กับการพัฒนาความรู้ชีววิทยาที่ถูกต้อง เพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงทุกองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างเป็นระบบและมีความหมายทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง

บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ : ความหมาย ความสำคัญ และการพัฒนา

บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง สื่อหรือกิจกรรมการเรียนรู้ที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้น เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือทดลองด้วยตนเองตามขั้นตอนกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การสังเกต ทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง โดยมีครูทำหน้าที่เป็นผู้ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวก เพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง (จันทรจิรา เทพดนตรี, 2558; ปวีนนันท์ รังแก้ว, 2559) การจัดการเรียนรู้โดยกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้โดยอาศัยกระบวนการหาหลักฐาน ลงความเห็น ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการ ในการสร้างแนวคิดและคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือ โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพนั้น Millar et al. (2002) ได้เสนอกรอบแนวคิดที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การกำหนดวัตถุประสงค์ 2) การออกแบบกิจกรรมให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ 3) การทดลองใช้ในบริบทจริง และ 4) การประเมินผลการเรียนรู้ โดยทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับมุมมองของครูและนักเรียนที่มีต่อวิทยาศาสตร์และบริบทของโรงเรียน Hofstein and Lunetta (2003) ยังเน้นว่าบทปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพควรเชื่อมโยงการทำงานในห้องปฏิบัติการกับกิจกรรมการเรียนรู้อื่น ๆ ในรูปแบบของหน่วยการเรียนรู้แบบบูรณาการ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ระหว่างทฤษฎีและการปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Almroth (2015) ยังระบุว่ากรอบการออกแบบปฏิบัติการที่เน้นการสืบเสาะหาความรู้หรือการใช้ปัญหาเป็นฐาน ภายใต้คำแนะนำที่เหมาะสมของผู้สอน จะทำให้ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ที่ลึกซึ้งและยาวนานขึ้น สำหรับในวิชาชีววิทยานั้นการจัดการเรียนรู้แบบการบูรณาการทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ทั้งในเชิงปฏิบัติและเชิงความคิด โดยการจัดกิจกรรมปฏิบัติการร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะช่วยให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้อย่างกระตือรือร้นและเข้าใจแนวคิดทางชีววิทยาที่เป็นนามธรรมได้ดีขึ้น (Kassaye et al., 2025) ซึ่งบทปฏิบัติการชีววิทยาที่เน้นการสืบเสาะแบบมีการชี้แนะสามารถพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงและทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า การปฏิบัติการแบบดั้งเดิมที่นักเรียนเป็นเพียงผู้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ครูกำหนด (Chengere et al., 2025) การเรียนในห้องปฏิบัติการแบบลงมือปฏิบัติจริงนั้นช่วยฝึกฝนให้ผู้เรียนนำความรู้ทางทฤษฎีไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง และพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาและการคิดเชิงวิพากษ์ ซึ่งทักษะเหล่านี้ถือเป็นรากฐานสำคัญของการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Maglio et al., 2025)

งานวิจัยด้านการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในวิชาชีววิทยาในประเทศไทยแสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ ตัวอย่างเช่น บทปฏิบัติการเรื่องการลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้นักเรียนมีผลการเรียนรู้หลังเรียนเพิ่มขึ้น (ศิริรัตน์ ก้านกิ่งคำ, 2557) บทปฏิบัติการเรื่องการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนผ่านการทำปฏิบัติการสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ (ปวีรินทร์ รังแก้ว, 2559) การใช้ชุดทดลองอย่างง่ายเรื่องโครงสร้างภายในของพืชดอก ร่วมกับการเรียนรู้แบบจิ๊กซอว์ช่วยพัฒนาความเข้าใจโมเดลวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้ถูกต้องมากขึ้น (ภาณุพงษ์ พรหมศร, 2560) หรือแม้แต่การเรียนรู้ในระดับอุดมศึกษาก็พบว่าในชั้นเรียนวิชาปฏิบัติการสัตววิทยาที่การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะโดยการชี้แนะแนวทางช่วยสามารถเพิ่มการมีส่วนร่วมในชั้นเรียน และนักศึกษาที่มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก (Sumranwanich et al., 2019)

งานวิจัยในการพัฒนาบทปฏิบัติการทางชีววิทยานั้นมีแนวคิดในการสร้างบทปฏิบัติการมาจากทฤษฎีทางชีววิทยาหรือผลการทดลอง โดยจัดทำเป็นชุดสาธิต ชุดฝึกปฏิบัติ หรือชุดทดลองอย่างง่าย โดยออกแบบให้มีการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยผู้เรียนสามารถเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติด้วยตนเองหรือเป็นกิจกรรมกลุ่ม หัวข้อทางชีววิทยาที่นำมาพัฒนาบทปฏิบัติการมีตั้งแต่ระดับโมเลกุล เซลล์ จนถึงชีววิทยาโครงสร้าง อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทางชีววิทยา โดยมากมักใช้จัด

การเรียนรู้เพื่อพัฒนานวัตกรรมทางชีววิทยาแต่การนำมาจัดการเรียนรู้ควบคู่กับการประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และการส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ยังมีอยู่อย่างจำกัด

การจัดการเรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการชีววิทยาที่ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

การจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านบทปฏิบัติการชีววิทยา ต้องบูรณาการองค์ประกอบหลายด้านเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ Gericke et al. (2023) แนะนำว่าบทปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพควรมีเป้าหมายสามประการ คือ (1) การพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (Learning science) หมายถึง การทำความเข้าใจผลผลิตของวิทยาศาสตร์ ทั้งในด้านมโนทัศน์แบบจำลอง และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (2) การพัฒนาการเรียนรู้การทำวิทยาศาสตร์ (Learning to do science) หมายถึง การพัฒนาความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับการปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งครอบคลุมทั้งกระบวนการคิดและการลงมือปฏิบัติเช่นเดียวกับที่นักวิทยาศาสตร์กระทำ และ (3) การใช้ระดับการสืบเสาะที่เหมาะสม (Appropriate level of inquiry) หมายถึง การออกแบบกิจกรรมให้สอดคล้องกับธรรมชาติและประวัติความเป็นมาของวิทยาศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการสร้างองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในระดับที่เหมาะสมกับบริบทการเรียนรู้ ซึ่งเป้าหมายทั้งสามนี้เชื่อมโยงกับการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน กล่าวคือ เป้าหมายที่หนึ่งเป็นรากฐานสำคัญที่ช่วยให้นักเรียนมีมโนทัศน์และองค์ความรู้เพียงพอสำหรับนำมาใช้เป็นเหตุผลในการสนับสนุนหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง เป้าหมายที่สองและสาม ช่วยสร้างบริบทการเรียนรู้ที่เอื้อให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะการระบุหลักฐานเชิงประจักษ์และการให้เหตุผลอย่างเป็นระบบ ฝึกสร้างคำอธิบายในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นบทปฏิบัติการที่ออกแบบโดยคำนึงถึงเป้าหมายทั้งสามจึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างครบถ้วน

กิจกรรมการเรียนการสอนที่ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากงานวิจัยอภิมานของ คัทลียา สิงห์วี (2561) รายงานว่าควรอยู่ในรูปแบบที่เน้นทักษะกระบวนการ มีการสอนโดยใช้คำถาม และสื่อการสอนควรใช้ของจริง ใบกิจกรรม ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยตรง ฉลองวุฒิ จันทร์หอม (2562) ได้วิเคราะห์แนวปฏิบัติที่ดีจากบทปฏิบัติการเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต พบว่าบทปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ควรประกอบด้วยแนวปฏิบัติ 4 ประการ ได้แก่ (1) การประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างกรอบแนวคิดในการสร้างบทปฏิบัติการ (2) การทำปฏิบัติการอย่างง่ายที่ประยุกต์จากห้องปฏิบัติการระดับมหาวิทยาลัยเพื่อให้ได้หลักฐานที่น่าเชื่อถือ (3) การปรับปรุงคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัย และ (4) การใช้แผนผังเชื่อมโยงในการอภิปรายท้ายคาบเรียน

สำหรับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการ ทิศนา ขัมมณี (2559) เสนอว่าควรประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ครูและนักเรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานของการทดลอง (2) ครูให้ความรู้ที่จำเป็นและขั้นตอนการทดลอง (3) นักเรียนลงมือปฏิบัติการทดลองและบันทึกผล (4) นักเรียนวิเคราะห์และสรุปผล

การทดลอง (5) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลและสรุปผลการเรียนรู้ และ (6) ครูประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน โดยเมื่อนำขั้นตอนเหล่านี้มาเชื่อมโยงกับองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะมีโอกาสฝึกสร้างข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุปจากผลการทดลอง ระบุหลักฐานจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ และให้เหตุผลโดยอาศัยหลักการทางชีววิทยา โดยตัวอย่างการเก็บหลักฐานจากบันทึกผลการทดลอง เพื่อใช้ประกอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แสดงดังภาพ 1 และตัวอย่างการสร้างข้อกล่าวอ้างจากผลการทดลอง การระบุหลักฐานจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้และวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง และการให้เหตุผลโดยอาศัยหลักการทางชีววิทยา แล้วประมวลเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แสดงดังภาพ 2

นอกจากแนวปฏิบัติที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว บทปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ยังควรคำนึงถึงองค์ประกอบเพิ่มเติมอีก 2 ประการ ประการแรกคือการใช้คำถามจากสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องสอดแทรกในบทปฏิบัติการ โดยคำถามเหล่านี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการชี้แนะและกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถามสำคัญด้วยตนเอง ซึ่งส่งผลให้นักเรียนพัฒนาทั้งการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และการแสดงเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ได้มีคุณภาพมากขึ้น (ภู่รี สิริเถลิงเกียรติ, 2566) ประการที่สองคือการคำนึงถึงข้อจำกัดในทางปฏิบัติ บทปฏิบัติการควรได้รับการออกแบบให้ใช้เวลาเหมาะสมและไม่ซับซ้อนจนเกินไป เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากรเป็นอุปสรรคสำคัญที่ครูต้องเผชิญในการจัดการเรียนการสอนจริง (โอภาส พระเทพ และ สกสิทธิ์ แก้วดี, 2568) ทั้งนี้การใช้วัสดุในท้องถิ่น หรือการใช้ปฏิบัติการเสมือนจริง (virtual laboratory) เป็นทางเลือกเพิ่มเติมในการจัดการเรียนรู้ชีววิทยา จะช่วยให้การส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยการเรียนรู้ผ่านการทำปฏิบัติการเป็นไปได้มากขึ้นในทุกบริบท (Chengere et al., 2025)

ภาพ 1

ตัวอย่างการเก็บหลักฐานจากบันทึกผลการทดลอง เพื่อใช้ประกอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในรายวิชาชีววิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จากโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม สังกัดกระทรวงศึกษาธิการ

5.3. ภาพถ่ายบันทึกผลการทดลอง

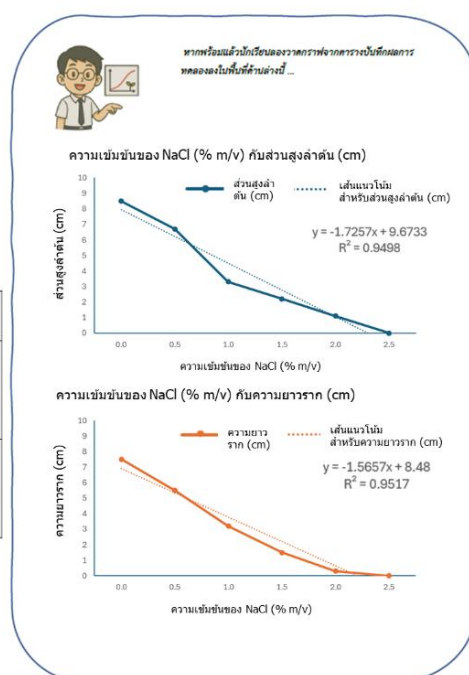


การบันทึกผลการทดลอง

นอกจากการนับจำนวนเมล็ดที่งอก การคำนวณร้อยละการงอก และการวัดความยาวต้นกล้าแล้ว ให้นักเรียนลองสังเกตลักษณะอื่น ของต้นกล้า เช่น สีใบ ความเขียวของใบ สีของราก แล้วบันทึกในช่อง "ข้อสังเกต" ของตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ภาพถ่ายต้นกล้าข้าวและลักษณะที่สังเกตได้ของต้นกล้าข้าว

ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคอร์ติซอล (เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร)	ภาพถ่ายต้นกล้าข้าว วันที่ 1 หลังการเพาะ	ภาพถ่ายต้นกล้าข้าว วันที่ 7 (วันสิ้นสุดการทดลอง)	ข้อสังเกต
0.0			ทุกเมล็ดที่เพาะงอก แต่ต้นมีรากและลำต้นยาวมาก
0.5			งอก 9 เมล็ด แต่ต้นมีรากและลำต้น แค่นิด



ภาพ 2

ตัวอย่างการสร้างข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุปจากผลการทดลอง ระบุหลักฐานจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ และให้เหตุผลโดยอาศัยหลักการทางชีววิทยา แล้วประมวลเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในรายวิชาชีววิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จากโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม สังกัดกระทรวงศึกษาธิการ

 ตอนนี้ให้นักเรียนลองเขียนองค์ประกอบของการสรุปและอภิปรายผลการทดลองของนักเรียน โดยเขียน “ข้อสรุป” จากผลการทดลอง “หลักฐาน” ที่ใช้สนับสนุนข้อสรุปนั้น และ “เหตุผล” ที่สนับสนุนข้อสรุปตามกรอบแนวคิด CER ลงในตารางต่อไปนี้

องค์ประกอบของการสรุปและอภิปรายผลการทดลองตามกรอบแนวคิด CER	
1. ข้อสรุป (Claim)	ความเข้มข้นของ NaCl มากส่งผลให้ถั่วเขียวเจริญเติบโตได้น้อยลง
2. หลักฐาน (Evidence)	จากการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของ NaCl มากขึ้นจาก 0%w/v เป็น 1 %w/v และ 2. %w/v ความยาวรากและลำต้นเฉลี่ยลดลงจาก 3.3 เป็น 1.1 รากยาว 3.2 เป็น 0.3 และที่ 2.5% w/v เมล็ดไม่งอก
3. การให้เหตุผล (Reasoning)	เพราะเมื่อความเข้มข้นของ NaCl ในสารละลายภายนอกสูงกว่าในพืช จะทำให้น้ำ Osmosis ออก พืชจึงขาดน้ำ

ให้นักเรียนเขียนสรุปและอภิปรายผลการทดลอง โดยเรียบเรียงให้เป็นข้อความต่อเนื่องอย่างเป็นระบบโดยใช้ องค์ประกอบตามกรอบแนวคิด Claim–Evidence–Reasoning (CER) ข้างต้นเป็นโครงร่างในการเขียน

ความเข้มข้นของ NaCl ที่มากขึ้นส่งผลให้ถั่วเขียวเจริญเติบโตได้น้อยลง จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ NaCl ที่ 0% w/v รากและลำต้นยาว 7.5 และ 8.5 ขณะที่ 1% w/v รากและลำต้นยาว 3.2 และ 3.3 และที่ 2.5% w/v เมล็ดไม่งอก เพราะเมื่อ ความเข้มข้นของ NaCl ในสารละลายภายนอกสูงกว่าในพืช จะทำให้น้ำออสโมซิสออก พืชจึงขาดน้ำ และทำให้เจริญเติบโตได้น้อยลง

แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในบริบทปฏิบัติการชีววิทยา

การวัดและประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นองค์ประกอบที่ขาดไม่ได้ในการจัดการเรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการ คัทลียา สิงห์วี (2561) เสนอว่าการวัดและประเมินผลต้องครอบคลุมทั้ง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐานเชิงประจักษ์ และการให้เหตุผล โดยเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินควรเป็นแบบทดสอบอัตนัยที่ประกอบด้วยคำถามปลายเปิดจำนวน 4–6 ข้อ โดยใช้สถานการณ์จริงหรือกรณีศึกษาเป็นบริบท ระบบการให้คะแนนที่นิยมใช้มีสองแนวทางหลัก แนวทางแรกที่ใช้กรรณกเลิศเดชาวัชร และ ปริณดา ลิ้มปานานท์ พรหมรัตน์ (2561) ใช้ตามแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) ใช้ระบบ 3 ระดับคะแนน (0–2 คะแนน) โดยระดับ 0 หมายถึงไม่มีองค์ประกอบหรือมีแต่ไม่ถูกต้อง ระดับ 1 หมายถึงมีองค์ประกอบแต่ไม่สมบูรณ์ และระดับ 2 หมายถึงมีองค์ประกอบที่ครบถ้วนสมบูรณ์ ส่วนแนวทางที่สองที่ ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2563) ใช้ คือการแบ่งเป็น 3 ระดับคุณภาพ ได้แก่ ระดับชำนาญ (Advance) ซึ่งนักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องสมบูรณ์ ระบุหลักฐานได้เพียงพอ และให้เหตุผลเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้างโดยอาศัยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์สนับสนุน ระดับพื้นฐาน (Basic) ซึ่งนักเรียนทำได้ในแต่ละส่วนแต่ยังไม่สมบูรณ์หรือขาดการนำองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้ และระดับปรับปรุง (Novice) ซึ่งนักเรียนยังไม่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง ระบุหลักฐาน หรือให้เหตุผลเชื่อมโยงได้อย่างถูกต้อง

ระบบการให้คะแนนทั้งสองแนวทางมีจุดร่วมที่สำคัญคือการแบ่งระดับคุณภาพออกเป็น 3 ระดับ เช่นเดียวกัน และครอบคลุมการประเมินครบทั้ง 3 องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม แนวทางของ ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2563) มีประเด็นที่น่าสนใจตรงที่เกณฑ์การประเมินมีการสะท้อนคุณภาพของการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ได้ชัดเจนกว่า โดยเฉพาะการแยกแยะว่านักเรียนนำองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้นับสนับสนุนการให้เหตุผลหรือไม่ ซึ่งเป็นมิติสำคัญที่แนวทางแรกไม่ได้ระบุไว้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ การที่ระบบนี้จัดให้นักเรียนที่สร้างได้เพียงข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับปรับปรุงยังช่วยสะท้อนให้เห็นพัฒนาการที่แท้จริงและกระตุ้นให้ผู้เรียนมุ่งพัฒนาองค์ประกอบที่เหลือต่อไป ด้วยเหตุนี้บทความนี้จึงเสนอแนวทางดังกล่าวเป็นกรอบในการประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

นอกจากการออกแบบเครื่องมือประเมินที่มีคุณภาพแล้ว ครูควรให้ความสำคัญกับการให้ข้อมูลป้อนกลับระหว่างการทำกิจกรรมเพื่อให้เกิดการพัฒนาการเรียนรู้ โดยเฉพาะเมื่อพบว่านักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงหลักฐานเข้ากับการให้เหตุผลได้ ครูควรใช้คำถามกระตุ้นที่มุ่งให้นักเรียนย้อนกลับไปพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เช่น ในบทปฏิบัติการเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง หากนักเรียนระบุได้เพียงว่า “ใบไม้ที่ได้รับแสงมีแป้งมากกว่าใบไม้ที่ไม่ได้รับแสง” โดยไม่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น ครูอาจใช้คำถาม เช่น “แสงมีบทบาทอย่างไรในกระบวนการสังเคราะห์แสง” หรือ “ความรู้เรื่องกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ช่วยอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้อย่างไร” คำถามเหล่านี้จะช่วยนำนักเรียนจากระดับการสังเกตไปสู่การคิดเชิงเหตุผลอย่างเป็นขั้นตอนได้อย่างมีประสิทธิภาพแทนที่ครูจะบอกคำตอบโดยตรง

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือประเมินเป็นขั้นตอนที่ขาดไม่ได้ก่อนนำไปใช้จริง ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ความตรงเชิงโครงสร้าง (Structural validity) และการตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3-5 ท่าน นอกจากนี้ยังต้องมีการทดสอบความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater agreement) โดยการสุ่มแบบวัดออกมาประมาณร้อยละ 20 เพื่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิหลายคนร่วมกันวิเคราะห์ข้อมูลชุดเดียวกัน หากพบความเห็นที่ไม่ตรงกันควรต้องมีการนำมาอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจน ในการจัดการเรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการชีววิทยาควรมีการประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เห็นความก้าวหน้าของผู้เรียน (นำพงศ์ จันทร์โท, 2563) โดยสถานการณ์ที่ใช้ในการประเมินควรเชื่อมโยงกับบริบทของบทปฏิบัติการที่ผู้เรียนลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำหลักฐานจากการทดลองมาใช้ในการสร้างคำอธิบายได้อย่างมีความหมาย

การนำไปใช้

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความสามารถดังกล่าวต้องบูรณาการองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ ดังนี้

ประการแรก การพัฒนาบทปฏิบัติการที่มีคุณภาพโดยผ่านกระบวนการวิจัยอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน การกำหนดวัตถุประสงค์และเนื้อหา การออกแบบกิจกรรม ไปจนถึงการประเมินและปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง

ประการที่สอง การบูรณาการบทปฏิบัติการกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ โดยเน้นทักษะกระบวนการ การใช้คำถามกระตุ้น และสื่อของจริงหรือใบกิจกรรม

ประการที่สาม การออกแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ครบทั้ง 3 องค์ประกอบ ตั้งแต่การกำหนดปัญหา การทดลอง การสรุปผล ไปจนถึงการอภิปรายผลพร้อมให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ที่มีความลุ่มลึก

และประการที่สี่ การวัดและประเมินผลที่ครอบคลุมองค์ประกอบทั้ง 3 ส่วนของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบทดสอบอัตนัยที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ และมีการประเมินทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้เพื่อสะท้อนความก้าวหน้าของผู้เรียน

แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านปฏิบัติการชีววิทยาซึ่งบูรณาการองค์ประกอบทั้ง 4 ประการที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ดังภาพ 3

แนวทางเชิงปฏิบัติการในการพัฒนาบทปฏิบัติการและการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทางชีววิทยาที่นำเสนอในบทความนี้แม้จะใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นฐานในการพัฒนา แต่ก็มีแง่มุมที่พัฒนาขึ้นในหลายมิติ ที่สำคัญคือการมุ่งพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ครบถ้วนทั้ง 3 องค์ประกอบ (ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และ การให้เหตุผล) อย่างสัมพันธ์กัน

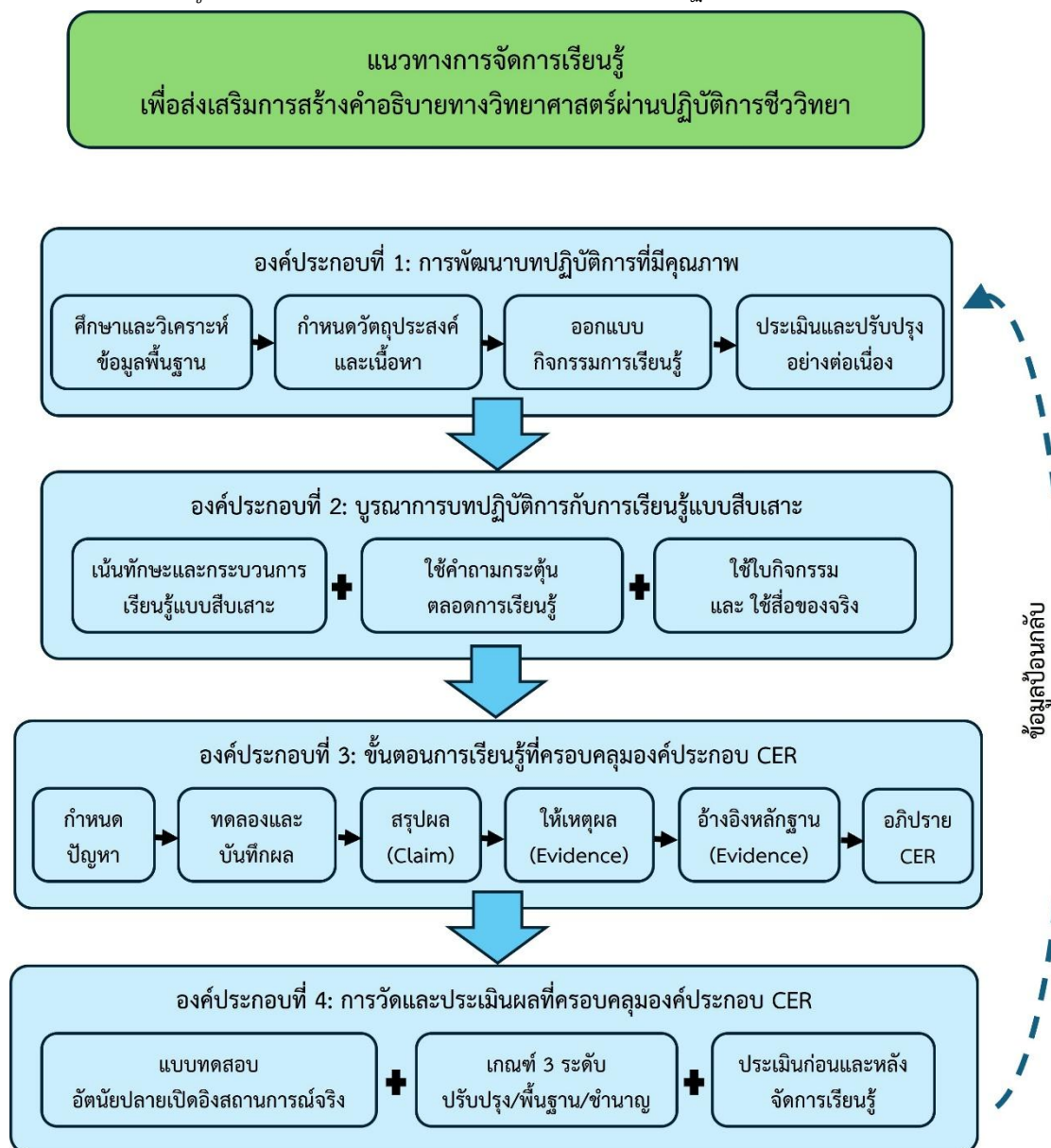
นอกจากนี้ยังเน้นกระบวนการพัฒนาทบทปฏิบัติการที่ต้องผ่านการวิจัยอย่างเป็นระบบแทนการใช้ทบทปฏิบัติการแบบสำเร็จรูป การออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่อิงระดับความสามารถของผู้เรียนเป็นรายบุคคล โดยมีการประเมินผลทั้งก่อนและหลังเรียนเพื่อสะท้อนพัฒนาการที่แท้จริง ที่สำคัญที่สุดคือองค์ประกอบทั้ง 4 ประการของแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านปฏิบัติการชีววิทยาที่นำเสนอนี้ทำงานเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ ต่างจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะดั้งเดิมที่มักดำเนินการแต่ละส่วนแยกจากกัน ทำให้แนวทางใหม่นี้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผู้เรียนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

การนำไปใช้ในทางปฏิบัติสำหรับครูวิทยาศาสตร์ ควรเริ่มต้นจากการสำรวจระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เพื่อออกแบบกิจกรรมและทบทปฏิบัติการที่ตอบสนองความต้องการของผู้เรียนอย่างเหมาะสม โดยให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับการพัฒนาองค์ประกอบด้านหลักฐานและการให้เหตุผล ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่นักเรียนมักมีความสามารถในระดับต่ำที่สุด การสร้างทบทปฏิบัติการที่ดีต้องอาศัยการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการก่อน เพื่อให้ได้หลักฐานที่น่าเชื่อถือและขั้นตอนที่ชัดเจน นอกจากนี้การเตรียมความพร้อมของครูผู้สอน ซึ่งต้องมีความเข้าใจในวัตถุประสงค์ของการทำปฏิบัติการสามารถให้คำแนะนำที่เหมาะสม และสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการสำรวจและค้นพบ เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้

การนำไปใช้สำหรับผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ กรอบแนวคิดที่นำเสนอในบทความนี้สามารถนำไปขับเคลื่อนการพัฒนาวิชาชีพครูได้อย่างเป็นระบบผ่านกระบวนการชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพ เพื่อให้เกิดการขยายผลในระดับโรงเรียน ผู้บริหารควรสนับสนุนให้ครูวิทยาศาสตร์มีพื้นที่และเวลาในการสังเกตการสอนซึ่งกันและกัน แลกเปลี่ยนทบทปฏิบัติการที่ผ่านการทดสอบแล้ว และสะท้อนผลการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะช่วยให้แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกิดการปฏิบัติจริงและยั่งยืนในระดับสถานศึกษา

ภาพ 3

แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านปฏิบัติการชีววิทยา



บทสรุป

การจัดการเรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการชีววิทยาที่มุ่งส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ต้องอาศัยการบูรณาการองค์ประกอบหลายด้านอย่างเป็นระบบ บทความวิชาการนี้ได้นำเสนอทั้งแนวทางการพัฒนาบทปฏิบัติการชีววิทยาและการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถดังกล่าว รวมถึงการวัดและประเมินผลที่สะท้อนพัฒนาการของผู้เรียนอย่างแท้จริง โดยหัวใจสำคัญคือการพัฒนาทั้งความรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์และทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กัน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ได้ ดังนั้นครูวิทยาศาสตร์จึงควรให้ความสำคัญกับการออกแบบ

บทปฏิบัติการที่สร้างโอกาสให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติในฐานะนักวิทยาศาสตร์ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์วิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นรอบตัวด้วยหลักฐานและเหตุผลอย่างมีความหมาย ควบคู่ไปกับการพัฒนานวัตกรรมทางชีววิทยา หลักการที่นำเสนอในบทความนี้ไม่จำเพาะต่อเนื้อหาชีววิทยาเพียงอย่างเดียวแต่สามารถถ่ายทอดข้ามสาขาวิชาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยครูวิทยาศาสตร์สาขาอื่นเพียงปรับเปลี่ยนบริบทของปฏิบัติการและหลักฐานให้สอดคล้องกับเนื้อหาวิชาของตน ขณะที่โครงสร้างการพัฒนาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไว้เป็นแกนกลาง กรอบแนวปฏิบัตินี้จึงมีศักยภาพในการเป็นแนวทางร่วมของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีความสามารถในการคิดและอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมอย่างแท้จริง หากทุกวิชาร่วมกันส่งเสริมความสามารถนี้อย่างเหมาะสม ผู้เรียนจะเติบโตเป็นพลเมืองที่มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถคิดวิเคราะห์ ประเมินหลักฐาน และตัดสินใจบนพื้นฐานของเหตุผลได้อย่างมีประสิทธิภาพในสังคมยุคปัจจุบันและอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรกนก เลิศเดชาภัทร และ ปรีณดา ลิ้มปานานท์ พรหมรัตน์. (2561). ผลของการสืบสอบแบบร่วมมือรวมพลังที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น. *วารสารครูศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 46(2), 1-20. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/EDUCU/article/view/131813>
- ศุทธิยา สิงห์วี. (2561). *แนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chula Digital Collections. <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/3579/>
- จันทร์จิรา เทพดนตรี. (2558). *การพัฒนาบทปฏิบัติการที่เน้นปัญหาเป็นฐาน เรื่อง ยางพารา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. SWU IR. <https://ir.swu.ac.th/entities/publication/196b1acc-08da-41f3-9f42-4d2e669a18f4>
- จรรยาลักษณ์ วรโคตร, เนตรชนก จันทร์สว่าง, และ ฌานกรณ์ ทับทิมใส. (2561). การศึกษาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม* [ฉบับพิเศษ], 5, 49-55.
- ฉลองวุฒิ จันทร์หอม. (2562). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. SWU IR. <https://ir.swu.ac.th/entities/publication/bb58309d-21c7-4def-bfdf-43c35495c894>

- ฉลองวุฒิ จันทร์หอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2563). การสำรวจความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 21* [Symposium]. ขอนแก่น. <https://app.gs.kku.ac.th/images/img/support/grc2020/pdfabstracts/HMO17.pdf>
- ทิตนา แคมมณี. (2559). ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 20). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นวลจิตต์ เขวกีรติพงศ์. (2562). การส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนด้วยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช*, 12(1), 40-54. https://so05.tci-thaijo.org/index.php/edjour_stou/article/view/145237
- นำพงศ์ จันทร์โท. (2563). การพัฒนาการจัดการเรียนรู้ด้วยกลวิธีการโต้แย้งโดยใช้ประเด็นทางนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง การรักษาคุณภาพร่างกายมนุษย์ [สารนิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, มหาวิทยาลัยนเรศวร]. EDU NU. http://www.edu.nu.ac.th/th/news/docs/download/2020_09_16_11_41_15.pdf
- ปวีณนทร์ รังแก้ว. (2559). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. SWU IR. <https://ir.swu.ac.th/entities/publication/d9c77f3d-c8ac-4615-82da-1499bdc14406>
- ภาณุพงษ์ พรหมสร. (2560). การพัฒนาความเข้าใจโมเดลนิติวิทยาศาสตร์ เรื่อง โครงสร้างภายในของพืชดอก โดยการใช้ชุดทดลองอย่างง่ายร่วมกับการเรียนรู้แบบจิ๊กซอว์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี]. https://www.esanpedia.oar.ubu.ac.th/e-research/sites/default/files/Panupong_Promsorn.pdf
- ภูริ สิริเถลิงเกียรติ. (2566). การพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับกลวิธีการโต้แย้ง เรื่อง การรักษาคุณภาพของร่างกายมนุษย์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนจอมสุรางค์อุปถัมภ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช]. <https://ir.stou.ac.th/bitstream/123456789/13066/1/2602000941.pdf>
- ศศิมน ศรีกุลวงศ์ และ ฤทธาภา ลดาชาติ. (2564). การใช้แบบจำลองและการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *ศึกษาศาสตร์สาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 5(1), 12-27. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/cmujedu/article/view/241919>
- ศิริรัตน์ ก้านกิ่งคำ. (2557). การพัฒนาทปฏิบัติการ เรื่อง การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เพื่อพัฒนาผลการเรียนรู้ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนปทุมวิไล [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, มหาวิทยาลัยรังสิต]. RSUIR. <https://rsuir-library.rsu.ac.th/handle/123456789/1204>

- สันติชัย อนุวรชัย. (2553). ผลของการเรียนการสอนชีววิทยาด้วยรูปแบบการเรียนการสอนสืบสอบร่วมกับ กลวิธีการโต้แย้งที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และควมมีเหตุผลของ นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chula DigiVerse. <https://digiverse.chula.ac.th/Info/item/dc:17937>
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2566). คู่มือครูรายวิชาพื้นฐาน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เล่ม 1 ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. <https://www.scimath.org/ebook-science/item/10302-2-1-10302>
- โอภาส พระเทพ และ สกลรัชต์ แก้วดี (2568). การศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการในการใช้บท ปฏิบัติการชีววิทยา เรื่อง การตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียด เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ใน ไพโรจน์ สมุทราช (บ.ก.), การประชุมวิชาการเสนองผลงานวิจัยระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏ จันทราเกษม ครั้งที่ 8 (น. 236-243). คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทราเกษม. <https://ncst2025.chandra.ac.th/>

ภาษาอังกฤษ

- Almroth, B. C. (2015). *The importance of laboratory exercises in biology teaching; case study in an ecotoxicity course*. University of Gothenburg. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-importance-of-laboratory-exercises-in-biology-%3B-Almroth/10c3e7093a32f5bc40af75f01244210842b7937c>
- Chengere, A. M., Bono, B. D., Zinabu, S. A., & Jilo, K. W. (2025). Enhancing secondary school students' science process skills through guided inquiry-based laboratory activities in biology. *PLOS ONE*, 20(4), Article e0320692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320692>
- Gericke, N., Höglström, P., & Wallin, J. (2023). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*, 59(2), 245-285. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- Gerlich, M. (2025). AI tools in society: Impacts on cognitive offloading and the future of critical thinking. *Societies*, 15(1), Article 6. <https://doi.org/10.3390/soc15010006>

- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2003). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Kassaye, M. T., Damtie, D., Melesse, S., & Yemata, G. (2025). Effect of using science process skills-integrated inquiry-based approach on grade nine students' cell biology academic achievement. *Discover Education*, 4, Article 343. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00699-w>
- Krajcik, J., & McNeill, K. L. (2015). Designing and assessing scientific explanation tasks. In R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of Science Education* (pp. 285–291). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_48
- Maglio, C., Williams, M., & Camponeschi, A. (2025). Biology wet lab e-learning during and after the COVID-19 pandemic: A review of student learning and experiences. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 53(4), 445–454. <https://doi.org/10.1002/bmb.21897>
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191. https://doi.org/https://doi.org/10.1207/s15327809jls1502_1
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In J. Luft, R. L. Bell, & J. Gess-Newsome (Eds.), *Science as Inquiry in the Secondary Setting* (pp. 121-134). National Science Teachers Association. <https://cmappublic2.ihmc.us/rid=1HY13DSSK-PGMDMG-1JRQ/Inquiry%20and%20Scientific%20Explanation%20Chapter.pdf>
- Millar, R., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J.-F. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 9–20). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_3
- National Research Council. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.17226/18290>
- National Science Teaching Association. (n.d.). *Science and Engineering Practices*. <https://my.nsta.org/ngss/PracticesFull.aspx>
- OECD. (2023). *PISA 2025 Science framework* (second draft). OECD Publishing. https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Framework.pdf

Sumranwanich, T., Boonthaworn, K., Singhakaew, S., & Ounjai, P. (2019). Time-restricted inquiry-based learning promotes active student engagement in undergraduate zoology laboratory. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 20(1), 1-4. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v20i1.1571>