บทความวิจัย

การพัฒนาสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในรายวิชาชีววิทยา เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศผ่านนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio

1. บทนำ

การจัดการศึกษาชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาในปัจจุบันมิได้ต้องการเพียงการท่องจำข้อเท็จจริงและกระบวนการทางชีววิทยาเท่านั้น แต่ยังต้องพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์เข้ากับบริบททางสังคม จริยธรรม และการตัดสินใจในสถานการณ์จริง Busch et al. (2026) ให้เหตุผลอย่างน่าเชื่อถือว่า โลกกำลังเผชิญความท้าทายที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น การระบาดใหญ่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีพันธุศาสตร์ โดยความท้าทายเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยแนวทางแก้ปัญหาที่ตั้งอยู่บนทั้งการค้นพบทางวิทยาศาสตร์และความเข้าใจในมิติความเป็นมนุษย์ไปพร้อมกัน ดังนั้น การจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์จึงไม่อาจดำเนินไปโดยแยกขาดจากบริบททางสังคมได้อย่างมีประสิทธิผล (American Association for the Advancement of Science, 2011) โดยเฉพาะห้องเรียน STEM ซึ่งเป็นพื้นที่สำคัญที่นักเรียนสามารถระบุ วิเคราะห์ และเผชิญกับปัญหาจริงที่อยู่ ณ จุดตัดระหว่างวิทยาศาสตร์กับสังคม

นักการศึกษามักบูรณาการประเด็นทางสังคมและวัฒนธรรมเข้ากับการสอนและการประเมินผลวิชาชีววิทยา แนวทางดังกล่าวเรียกว่า การฝังเนื้อหาไว้ในบริบททางสังคม แนวปฏิบัตินี้แสดงศักยภาพอย่างมากในการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของนักเรียน สร้างความรู้สึกเป็นส่วนหนึ่ง เสริมสร้างความผูกพันทางวิชาการ และช่วยให้นักเรียนมองเห็นชีววิทยาในฐานะเครื่องมือสำหรับการเปลี่ยนแปลงทางสังคม (Thoman et al., 2025; Busch et al., 2026) นอกจากนี้ หลักฐานเชิงประจักษ์ยังชี้ว่า การที่นักเรียนมีส่วนร่วมเชิงวิจารณญาณกับความเชื่อมโยงระหว่างวิทยาศาสตร์และสังคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเพิ่มพูนความรู้ด้านเนื้อหา (Sadler et al., 2016; Young et al., 2023) ข้อค้นพบเหล่านี้สะท้อนร่วมกันว่า หลักสูตรชีววิทยาที่มุ่งเพียงถ่ายทอดเนื้อหาวิชา โดยมิได้พัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงและการให้เหตุผลที่ตั้งอยู่ในบริบททางสังคม อาจไม่เพียงพอต่อการเตรียมนักเรียนให้พร้อมรับมือกับความซับซ้อนของชีวิตร่วมสมัย

ในระดับนานาชาติ งานวิจัยเปรียบเทียบหลักสูตรยิ่งตอกย้ำความจำเป็นดังกล่าว Lin et al. (2023) ทบทวนหลักสูตรชีววิทยาแห่งชาติของหลายประเทศอย่างครอบคลุม และระบุสมรรถนะหลัก 3 ประการที่การศึกษาชีววิทยาควรพัฒนาอย่างเป็นระบบ ได้แก่ การลงมือปฏิบัติ (Action) ความฉลาดรู้ (Literacy) และการแก้ปัญหา (Problem-solving) สมรรถนะเหล่านี้สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวางในเนื้อหาชีววิทยาหลากหลายด้าน แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาสมรรถนะของนักเรียนในการเรียนรู้ชีววิทยาได้กลายเป็นเป้าหมายทางการศึกษาที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับโลก (Bauphitak et al., 2024; Wongsila & Yuenyong, 2019) ฉันทามติระหว่างประเทศนี้

สอดคล้องอย่างใกล้ชิดกับการปฏิรูปหลักสูตรฐานสมรรถนะของประเทศไทย ซึ่งมุ่งพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงเช่นกัน โดยกำหนดให้การคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นสมรรถนะสำคัญที่ควรพัฒนาภายในบริบทของการศึกษาชีววิทยา

รากฐานทางทฤษฎี: ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์

การออกแบบนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งพัฒนาสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณจำเป็นต้องตั้งอยู่บนรากฐานของทฤษฎีการเรียนรู้ที่มั่นคง ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ซึ่งมีรากฐาน จากผลงานสำคัญของ John Dewey, Jean Piaget และ Lev Vygotsky (Davis & Sumara, 2002) เป็นทฤษฎีที่รองรับจุดมุ่งหมายดังกล่าว หลักการสำคัญของทฤษฎีนี้ถือว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างขึ้นภายในบุคคล โดยนักเรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองอย่างกระตือรือร้นผ่านการเชื่อมโยงข้อมูลและประสบการณ์ใหม่เข้ากับโครงสร้างทางปัญญาที่มีอยู่เดิม (Merriam, Caffarella, & Baumgartner, 2007) Glasersfeld (1989) อธิบายเพิ่มเติมว่า คอนสตรัคติวิสต์เป็นทฤษฎีญาณวิทยาที่มีรากฐานจากปรัชญา จิตวิทยา และนิเทศศาสตร์ โดยมองว่าความรู้มิได้รับมาอย่างเป็นฝ่ายรับแต่ถูกสร้างขึ้นอย่างกระตือรือร้นโดยผู้รู้ ส่วน Fosnot (1993) ขยายความเข้าใจดังกล่าวโดยอธิบายว่าความรู้มีลักษณะชั่วคราวและพัฒนาเปลี่ยนแปลงได้ อีกทั้งถูกหล่อหลอมผ่านบริบททางสังคมและวัฒนธรรม ขณะที่การเรียนรู้เป็นกระบวนการกำกับตนเองซึ่งเกิดจากการคลี่คลายความขัดแย้งระหว่างความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ที่พบ

ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์แบ่งได้เป็น 2 แนวคิดที่ส่งเสริมซึ่งกันและกัน ได้แก่ คอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญาที่สัมพันธ์กับ Piaget และคอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคมที่สัมพันธ์กับ Vygotsky แนวคิดคอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญาของ Piaget เน้นว่า นักเรียนสร้างความรู้ผ่านการลงมือกระทำโดยตรงกับสิ่งแวดล้อม เมื่อนักเรียนพบสถานการณ์ที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งหรือภาวะเสียสมดุลทางปัญญา นักเรียนจะพยายามฟื้นคืนสมดุลทางปัญญาผ่านกระบวนการเสริมกัน 2 กระบวนการ ได้แก่การดูดซึม (assimilation) ซึ่งเป็นการนำข้อมูลใหม่เข้าไปผสานกับโครงสร้างทางปัญญาเดิม และการปรับโครงสร้างทางปัญญา (accommodation) ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเดิมให้รองรับข้อมูลใหม่ ประเด็นที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการศึกษาครั้งนี้คือ ขั้นปฏิบัติการทางความคิดแบบเป็นนามธรรมของ Piaget (Formal Operations Stage; เริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 12 ปีขึ้นไป) ซึ่งเป็นช่วงที่นักเรียนพัฒนาความสามารถในการให้เหตุผลเชิงสมมติฐานและนิรนัย การคิดเชิงวิทยาศาสตร์ การตั้งสมมติฐาน การสร้างทฤษฎี และการให้เหตุผลเชิงนามธรรม อันเป็นความสามารถทางปัญญา ที่สอดคล้องโดยตรงกับความต้องการเชิงพัฒนาการของสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

คอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคมของ Vygotsky เข้ามาเสริมแนวคิดดังกล่าว โดยเน้นบทบาทสำคัญของปฏิสัมพันธ์ทางสังคมในการพัฒนาทางปัญญา (Vygotsky, 1978, 1986) แนวคิดศูนย์กลางของกรอบนี้คือ พื้นที่รอยต่อพัฒนาการ (Zone of Proximal Development: ZPD) ซึ่งหมายถึงช่องว่าง

ระหว่างสิ่งที่นักเรียนสามารถทำได้ด้วยตนเองกับสิ่งที่สามารถบรรลุได้เมื่อได้รับความช่วยเหลืออย่างมีทิศทางจากครูหรือเพื่อน โดยทั่วไปนำไปปฏิบัติผ่านการเสริมต่อการเรียนรู้ (scaffolding) (Chaiklin, 2003; van de Pol et al., 2010) แนวคิดนี้เป็นฐานโดยตรงของการออกแบบชุดคำถามประคับประคองทางปัญญา (Scaffolding Questions) ซึ่งเป็นองค์ประกอบเชิงโครงสร้างสำคัญของนวัตกรรม CT-HOT in Bio ที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้

กระบวนการออกแบบการจัดการเรียนรู้บนฐานทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์มักเริ่มจากปัญหาที่ซับซ้อนและก่อให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา กระตุ้นให้นักเรียนนำความรู้และประสบการณ์เดิมมาใช้เพื่อดูดซึมหรือปรับโครงสร้างจนเกิดความเข้าใจใหม่ ครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก โดยสร้างเงื่อนไขที่นำไปสู่ภาวะเสียสมดุล กระตุ้นการสร้างความรู้ด้วยตนเองของนักเรียน และจัดกิจกรรมที่มีการอภิปรายโต้แย้ง การให้เหตุผล และการใช้หลักฐานเพื่อคลี่คลายความขัดแย้งทางปัญญา แนวคิดทางทฤษฎีนี้เป็นโครงสร้างพื้นฐานของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ซึ่งออกแบบมาเพื่อนำทางนักเรียนให้สร้างความรู้ผ่านการสืบเสาะ วิเคราะห์ข้อมูล และลงข้อสรุปโดยใช้หลักฐานภายใต้บริบทเนื้อหาชีววิทยาที่เป็นจริง

การจัดการศึกษาฐานสมรรถนะและรูปแบบการจัดการเรียนรู้ 7E

ความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีและการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมดิจิทัลก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญทางสังคม วัฒนธรรม และเศรษฐกิจ จึงจำเป็นต้องปฏิรูปกระบวนการศึกษาให้สอดคล้องกัน เพื่อพัฒนานักเรียนให้มีความสามารถและคุณลักษณะที่จำเป็นต่อการมีส่วนร่วมอย่างมีประสิทธิผลและการแข่งขันเชิงร่วมมือในเวทีโลก (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2021) การจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะตามแนวคิดของ Office of the Education Council (2020) มุ่งเน้นผลลัพธ์ของนักเรียนเป็นสำคัญ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ความรู้ ทักษะ และเจตคติแบบองค์รวมในการแก้ปัญหา การปฏิบัติงาน และการดำเนินชีวิตจริง การจัดการเรียนรู้ลักษณะนี้เน้นแนวทางการเรียนรู้เชิงรุกที่ช่วยให้นักเรียนมีความสามารถในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมร่วมสมัย แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน และดำรงตนเป็นพลเมืองที่มีความรู้และมีส่วนร่วม (Office of the Basic Education Commission, 2022)

ภายใต้กระบวนทัศน์ฐานสมรรถนะ

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทำหน้าที่เป็นกลไกทางการสอนที่สำคัญ Khaemmanee (2007) อธิบายว่า การเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ครูกระตุ้นความใคร่รู้ของนักเรียน ส่งเสริมการตั้งคำถามเชิงวิจารณญาณ และชี้แนะแนวทางให้นักเรียนแสวงหาความรู้ด้วยตนเองเพื่อนำไปสู่ข้อสรุป Eisenkraft (2003) ได้ขยายวัฏจักรการเรียนรู้แบบ 5E ดั้งเดิมเป็นรูปแบบ 7 ขั้นที่ละเอียดมากขึ้น เรียกว่า 7E ประกอบด้วย การตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation) การสร้างความสนใจ (Engagement) การสำรวจและค้นหา (Exploration) การอธิบาย (Explanation) การ

ขยายความรู้ (Elaboration/Expansion) การประเมินผล (Evaluation) และการนำความรู้ไปใช้ (Extension) รูปแบบนี้ออกแบบมาเพื่อส่งเสริมความเป็นอิสระของนักเรียน การมีประสบการณ์ตรง และการประยุกต์ใช้ความรู้ในทางปฏิบัติ กรอบ 7E จึงเป็นโครงสร้างหลักของรูปแบบ CT-HOT in Bio ซึ่งบูรณาการอย่างเป็นระบบเข้ากับกรอบการพัฒนาสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เพื่อสร้างกระบวนการเรียนรู้ที่เป็นเอกภาพ มีบริบทเฉพาะทางชีววิทยา และส่งเสริมการคิดขั้นสูงอย่างเป็นระบบภายใต้การช่วยเหลือที่เหมาะสม

การให้ความหมายแก่สมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

แม้นักวิชาการจะให้ความหมายของการคิดอย่างมีวิจารณญาณแตกต่างกันมาก แต่แนวคิดเหล่านั้นมีองค์ประกอบหลักหลายประการร่วมกัน Watson and Glaser (1980) ระบุองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการ ได้แก่ เจตคติหรือแนวโน้มที่จะใฝ่ค้นคว้า ความรู้หรือความสามารถในการแสวงหาหลักฐานด้วยเหตุผล และทักษะหรือการนำเจตคติและความรู้ไปใช้ ภายใต้กรอบนี้ ทั้งสองยังระบุสมรรถนะย่อยที่วัดได้ 5 ประการ ได้แก่ การอนุมาน การตระหนักรู้ข้อตกลงเบื้องต้น การนิรนัย การตีความ และการประเมินข้อโต้แย้ง Paul (1993) เสนอกรอบ 7 องค์ประกอบ ประกอบด้วย จุดมุ่งหมาย คำถามหรือประเด็นปัญหา ข้อมูล ฐานเชิงประจักษ์ การให้เหตุผล ข้อตกลงเบื้องต้น และผลนัยหรือผลที่ตามมา จากกรอบแนวคิดนานาชาติเหล่านี้ Nekmanurak (1994) ได้สังเคราะห์กรอบ 7 มิติสำหรับบริบทการศึกษาไทย ได้แก่ การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูล การจำแนกลักษณะข้อมูล การตั้งสมมติฐาน การลงข้อสรุป และการประเมินข้อสรุป ผู้วิจัยเห็นว่ากรอบนี้มีความครอบคลุมและสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้อย่างเป็นรูปธรรม

ความสำคัญของการคิดอย่างมีวิจารณญาณในฐานะสมรรถนะแห่งศตวรรษที่ 21 มีหลักฐานยืนยันอย่างชัดเจน Bassham et al. (2011) อธิบายความสำคัญใน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านวิชาการ ช่วยเพิ่มความเข้าใจข้อโต้แย้งและประเด็นที่ซับซ้อน ด้านวิชาชีพ ช่วยให้เรียนรู้ แก้ปัญหา และสื่อสารอย่างชัดเจนได้รวดเร็วขึ้น และด้านชีวิตประจำวัน ช่วยป้องกันการตัดสินใจที่ผิดพลาด เสริมสร้างสังคมประชาธิปไตย และลดอคติ Office of the National Education Commission (1997) เน้นในทำนองเดียวกันว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณช่วยให้นักเรียนทำงานอย่างเป็นระบบ ประเมินผลเทียบกับเกณฑ์ที่มีเหตุผล ฝึกแก้ปัญหา คิดอย่างชัดเจนและลุ่มลึก และพัฒนาความสามารถในการเรียนรู้ตลอดชีวิต Khaemmanee (2008) ยังกล่าวว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณสนับสนุนการกำหนดเป้าหมาย การรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์ การตั้งสมมติฐาน การตีความ และการลงข้อสรุป ซึ่งล้วนเป็นกระบวนการพื้นฐานของการเรียนรู้ตลอดชีวิต ดังที่ Panich (2012) ชี้ไว้อย่างกินใจว่า ความชำนาญในการคิดอย่างมีวิจารณญาณอย่างแท้จริงมิได้พัฒนาเฉพาะในคาบเรียน แต่ต้องได้รับการบ่มเพาะผ่านปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับนักเรียนอย่างต่อเนื่องในชีวิตประจำวันจนกลายเป็นคุณลักษณะที่เป็นนิสัย

กรอบสมรรถนะและงานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ผ่านมา

การจัดการศึกษาฐานสมรรถนะของประเทศไทย (CBE Thailand) (Office of the Education Council, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 กำหนดให้การคิดอย่างมีวิจารณญาณอยู่ในสมรรถนะหลักที่ 2 ความสามารถในการคิด โดยระบุว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ควรบรรลุความสามารถระดับ 9 ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ สามารถสรุปความเข้าใจ แสดงความเห็นและข้อโต้แย้งด้วยเหตุผล วิเคราะห์และประเมินความเพียงพอของข้อมูลลงข้อสรุปหรือตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง อ้างหลักฐานสนับสนุนจากหลายแหล่ง และให้เหตุผลรองรับการตัดสินใจโดยพิจารณาข้อดีและข้อเสียหลายมิติ

จากการสังเคราะห์กรอบระดับชาตินี้ร่วมกับวรรณกรรมวิชาการนานาชาติ การศึกษาครั้งนี้นิยามสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในเชิงปฏิบัติผ่านองค์ประกอบบูรณาการ 4 ขั้น เรียกว่า P-I-A-C ได้แก่ (1) การระบุปัญหา (Problem Identification: P) ซึ่งครอบคลุมการตระหนักรู้และกำหนดกรอบปัญหาบนฐานหลักฐานและการให้เหตุผล (2) การสืบค้นตรวจสอบ (Investigation: I) คือการวางแผนและดำเนินการสืบค้นอย่างเป็นระบบ พร้อมประเมินความน่าเชื่อถือและความเพียงพอของข้อมูล (3) การวิเคราะห์ (Analysis: A) คือการเปรียบเทียบแหล่งข้อมูลและหลักฐานเพื่อระบุทางเลือกที่มีเหตุผลมากที่สุด และ (4) การลงข้อสรุปและประเมินผล (Conclusion and Evaluation: C) คือการลงข้อสรุปและประเมินความมั่นคงของข้อสรุปเมื่อเงื่อนไขเปลี่ยนแปลงหรือมีข้อมูลเพิ่มเติม กรอบ P-I-A-C นี้เป็นฐานโดยตรงสำหรับการออกแบบทั้งเกณฑ์การประเมินแบบรูบริก 4 ระดับ ได้แก่ ดีเยี่ยม ดี พอใช้ และควรปรับปรุง และชุดคำถามประคับประคองทางปัญญาที่ฝังอยู่ในนวัตกรรม CT-HOT in Bio

งานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้และประสิทธิผลของการออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณในวิชาชีววิทยา งานวิจัยหลายเรื่องกำหนดให้การคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นตัวแปรผลลัพธ์หลัก โดยใช้รูบริกที่มีโครงสร้างและกรอบขั้นตอนทางปัญญาเพื่อทั้งช่วยพยุงและประเมินสมรรถนะดังกล่าว Bauphitak et al. (2024) พัฒนาหน่วยการเรียนรู้สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องการสืบพันธุ์ของพืชดอก โดยออกแบบตามทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณแห่งศตวรรษที่ 21 หลักสูตรได้นำเนื้อหาชีววิทยาการสืบพันธุ์ไปวางไว้ในกรอบวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสังคม (Science, Technology, and Society: STS) ด้วยการเชื่อมโยงการขยายพันธุ์พืชกับการประยุกต์ใช้จริงด้านการเกษตรและพืชสวน แนวทางนี้พัฒนาความสามารถของนักเรียนในการระบุปัญหา ประเมินหลักฐาน และลงข้อสรุปอย่างมีเหตุผลอย่างเป็นระบบ ในทำนองเดียวกัน Wongsila and Yuenyong (2019) มุ่งพัฒนาทั้งการคิดอย่างมีวิจารณญาณและความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในหน่วยพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นเนื้อหาที่มีมิติด้านจริยธรรมและสังคมโดยธรรมชาติ เช่น การตรวจพันธุกรรมและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพ จึงต้องอาศัยการให้เหตุผลเชิงประเมินที่มากกว่า

ความเข้าใจข้อเท็จจริง งานวิจัยทั้งสองเรื่องชี้ว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณได้รับการส่งเสริมอย่างมีประสิทธิผลสูงสุดเมื่อการออกแบบการจัดการเรียนรู้บรรจุภาระงานการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไว้อย่างชัดเจน มิใช่ถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการเรียนรู้เนื้อหา ภาระงานเหล่านี้ทำให้นักเรียนต้องชั่งน้ำหนักหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เทียบกับข้อพิจารณาทางสังคม จริยธรรม และการปฏิบัติ

งานวิจัยที่ทบทวนแสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบ STS ถูกนำไปใช้กับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายอย่างยิ่ง ทั้งวิทยาศาสตร์กายภาพและวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ในด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ มีการพัฒนาหน่วย STS เรื่องเสียง (Chantaranima & Yuenyong, 2014) ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า (Suparee & Yuenyong, 2021a, 2021b) การเคลื่อนที่แบบวงกลม (Seattha et al., 2015; Seattha et al., 2016) แม่เหล็กไฟฟ้า (Yuenyong, 2012) กลศาสตร์ของไหล (Nongkhunsarn et al., 2019) สนามไฟฟ้า (Chitnork & Yuenyong, 2019) การเคลื่อนที่ของคลื่น ที่บูรณาการกับ STEM (Tupsai et al., 2019) แรงและการเคลื่อนที่ (Jimakorn & Yuenyong, 2018) และแสงหรือทัศนศาสตร์ผ่านหน่วยคอนแทคเลนส์ (Attapan & Yuenyong, 2019) ในด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ หน่วย STS ครอบคลุมพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีดีเอ็นเอ (Wongsila & Yuenyong, 2019) และการสืบพันธุ์ของพืช (Bauphitak et al., 2024) รวมทั้งประเด็นวิทยาศาสตร์กับสังคมและสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะโลกร้อน (Luengam et al., 2019)

ช่องว่างการวิจัยและเหตุผลของการศึกษา

แม้มีฐานหลักฐานสะสมเพิ่มขึ้น แต่ยังมีการให้ความสนใจอย่างจำกัดต่อเนื้อหาเฉพาะเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ซึ่งเป็นหัวข้อที่นักเรียนต้องใช้วิจารณญาณในการให้เหตุผลเกี่ยวกับกลไกทางชีววิทยาที่มีการประยุกต์ใช้อย่างสำคัญในด้านการเกษตร เทคโนโลยีชีวภาพ และการอนุรักษ์ บริบทเหล่านี้มีความเชื่อมโยงกับสังคมสูง แต่ยังได้รับการศึกษาไม่มากนักในงานวิจัยการแทรกแซงเพื่อพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ นอกจากนี้ มีงานวิจัยเพียงไม่กี่เรื่องที่บูรณาการโครงสร้างการสืบเสาะแบบ 7E ซึ่งตั้งอยู่บนฐานคอนสตรัคติวิสต์ เข้ากับกรอบการประเมินฐานสมรรถนะที่ผ่านการตรวจสอบในบริบทท้องถิ่นของประเทศไทย ภายใต้กระบวนการออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบวนซ้ำที่ปรับปรุงด้วยหลักฐาน

เพื่อเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้เป็นระยะการวิจัยครั้งที่ 3 (R3) ภายในโครงการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) ที่กว้างกว่า โดยใช้การออกแบบเป็นวงจรวนซ้ำ R-D-R-D-R-D การดำเนินงานโดยรวมประกอบด้วย 6 ระยะที่เชื่อมโยงกัน ได้แก่ R1 การพัฒนากรอบทฤษฎี D1 การพัฒนานวัตกรรมฉบับเริ่มต้น R2 การใช้และประเมินผลครั้งที่ 1 ในปีการศึกษา 2567 D2 การปรับปรุงอย่างเป็นระบบ R3 การใช้และประเมินผลครั้งที่ 2 ในปีการศึกษา 2568 และ D3 การพัฒนาคู่มือการนำไปใช้ โดยแต่ละระยะของการพัฒนานำผลเชิงประจักษ์จากระยะก่อนหน้ามาใช้ และแต่ละระยะของการวิจัยสร้างหลักฐานสำหรับการปรับปรุงในระยะถัดไป

บทความนี้รายงานเฉพาะระยะ R3 และตอบคำถามวิจัยว่า “นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุงส่งผลต่อสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการใช้ครั้งที่ 2 ปีการศึกษา 2568 ภายใต้เนื้อหาเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศอย่างไร” การศึกษาครั้งนี้บูรณาการทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ รูปแบบการสืบเสาะ 7E และกรอบสมรรถนะ P-I-A-C เพื่อสร้างหลักฐานเชิงประจักษ์ที่เข้มแข็งเกี่ยวกับประสิทธิผลของนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการปรับปรุงอย่างเป็นระบบและตั้งอยู่บนรากฐานทางทฤษฎี อันจะมีส่วนช่วยทั้งการพัฒนาการศึกษาชีววิทยาฐานสมรรถนะในบริบทประเทศไทย และการขยายข้อถกเถียงระดับนานาชาติเกี่ยวกับการพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณในการศึกษาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นระยะ R3 ของโครงการวิจัยและพัฒนา (R&D) โดยการออกแบบการวิจัยโดยรวมใช้โครงสร้างวงจรวนซ้ำ R-D-R-D-R-D ดำเนินการตามลำดับ 6 ระยะที่สลับระหว่างการวิจัยเชิงประจักษ์และการพัฒนานวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ โครงสร้างนี้สะท้อนธรรมชาติของการวิจัยและพัฒนาทางการศึกษาที่มีลักษณะวนซ้ำและต่อเนื่อง กล่าวคือ แต่ละระยะของการพัฒนาได้รับข้อมูลจากข้อค้นพบในระยะวิจัยก่อนหน้า และระยะวิจัยถัดไปประเมินผลเชิงประจักษ์ของนวัตกรรมที่นำไปใช้ เพื่อสร้างฐานหลักฐานสำหรับการปรับปรุงต่อไป

ระยะทั้ง 6 สอดคล้องโดยตรงกับคำถามวิจัยย่อย 6 ข้อ (R1, D1, R2, D2, R3 และ D3) และเมื่อนำมารวมกันจะตอบคำถามวิจัยหลักเกี่ยวกับการพัฒนาและประเมินรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบเพื่อส่งเสริมสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณด้านชีววิทยาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ดังนี้

• R1: การพัฒนากรอบการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ในเชิงทฤษฎี

• D1: การพัฒนานวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับเริ่มต้น

• R2: การใช้และประเมินนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับเริ่มต้น ระยะที่ 1 ปีการศึกษา 2567

• D2: การปรับปรุงนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio เป็นฉบับปรับปรุงอย่างเป็นระบบ

• R3: การใช้และประเมินนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุง ระยะที่ 2 ปีการศึกษา 2568

• D3: การพัฒนาคู่มือการใช้นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio สำหรับครูชีววิทยา

บทความนี้รายงานเฉพาะระยะ R3 คือ การใช้และประเมินผลระยะที่ 2 ปีการศึกษา 2568 โดยมีคำถามวิจัยดังนี้

คำถามวิจัย (R3): นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุงส่งผลต่อสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการใช้ระยะที่ 2 ปีการศึกษา 2568 อย่างไร

2.1 ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ผู้เข้าร่วมในระยะการใช้และประเมินผล (R3) ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 39 คน ซึ่งลงทะเบียนเรียนรายวิชาชีววิทยาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 โรงเรียนกัลยาณวัตร

นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยนวัตกรรม CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุง เพื่อศึกษาผลที่มีต่อสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ วิเคราะห์ร่องรอยการคิดหรือผลงานทางปัญญา ประเมินผลการปฏิบัติงาน และระบุจุดเด่น ข้อจำกัด และปัจจัยตามบริบทที่เกิดขึ้นในการนำไปใช้ ข้อมูลเชิงประจักษ์จากระยะ R3 นี้เป็นฐานหลักฐานสำหรับสังเคราะห์ข้อค้นพบ แนวทางปฏิบัติ และข้อควรระวังทางการสอนที่จำเป็นต่อการจัดทำคู่มือการจัดการเรียนรู้สำหรับครูฉบับสมบูรณ์ในระยะสุดท้าย D3

2.2 การแทรกแซง: นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้เรื่อง “การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ” พัฒนาขึ้นตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ Critical Thinking and Higher-Order Thinking in Biology หรือ CT-HOT in Bio ที่กำหนดขึ้นในระยะ D1 กรอบการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ประการ ดังนี้

(ก) หลักการเชิงทฤษฎี: รูปแบบ CT-HOT in Bio ตั้งอยู่บนการบูรณาการทฤษฎีการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์กับการจัดการศึกษาฐานสมรรถนะ โดยมีสมมติฐานว่า นักเรียนจะพัฒนาสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้อย่างมีประสิทธิผลสูงสุดเมื่อเผชิญปัญหาทางชีววิทยาที่อยู่ในบริบทจริงหรือบริบทวิทยาศาสตร์กับสังคม และได้รับการสนับสนุนด้วยคำถามประคับประคองทางปัญญาที่เป็นระบบและค่อย ๆ ลดความช่วยเหลือลง

(ข) กระบวนการจัดการเรียนรู้ (การบูรณาการ 7E กับ PIAC): กระบวนการจัดการเรียนรู้บูรณาการรูปแบบการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้น (7E) เข้ากับกระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณ 4 ขั้น (PIAC) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสอดคล้องระหว่างขั้นการสืบเสาะ 7E กับขั้นการคิดอย่างมีวิจารณญาณ PIAC ในรูปแบบ CT-HOT in Bio

ขั้น 7E	จุดประสงค์การจัดการเรียนรู้	ขั้นการคิด PIAC ที่เชื่อมโยง
1. ตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation)	ประเมินความรู้พื้นฐานเดิมของนักเรียน	การเตรียมความพร้อมก่อนขั้น P
2. สร้างความสนใจ (Engagement)	นำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่กระตุ้นความขัดแย้งทางปัญญา	P – ระบุปัญหา (กำหนดเป้าหมายและระบุปัญหา)
3. สำรวจและค้นหา (Exploration)	วางแผนและดำเนินการสืบค้นโดยใช้แหล่งข้อมูลหลายแหล่ง	I – สืบค้นตรวจสอบ (วางแผนและดำเนินการตรวจสอบ)
4. อธิบาย (Explanation)	วิเคราะห์ข้อมูล อภิปรายทางวิทยาศาสตร์ และนำเสนอข้อค้นพบ	A - วิเคราะห์ข้อมูล
5. ขยายความรู้ (Elaboration)	ถ่ายโอนและประยุกต์ความรู้กับบริบทใหม่ที่ซับซ้อนขึ้น	เชื่อมจากขั้น A ไปยังขั้น C
6. ประเมินผล (Evaluation)	ประเมินผลการเรียนรู้ด้วยเครื่องมือที่หลากหลาย	ประเมินแบบองค์รวมครอบคลุมทุกขั้น P-I-A-C
7. นำความรู้ไปใช้ (Extension)	ตัดสินใจอย่างมีเหตุผลบนฐานหลักฐานเพื่อประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง	C - ลงข้อสรุปและประเมินผล

(ค) บทบาทครูและนักเรียนในแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้: กรอบดังกล่าวกำหนดบทบาทของครูให้เป็นผู้ออกแบบปัญหา ผู้ให้การประคับประคองทางปัญญาอย่างค่อยเป็นค่อยไป และผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ ส่วนนักเรียนมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นในฐานะผู้เรียนรู้ที่กำกับตนเอง โดยสืบค้น วิเคราะห์ และตัดสินใจด้วยตนเอง ตามแนวคิดพื้นที่รอยต่อพัฒนาการของ Vygotsky ครูจะค่อย ๆ ลดการชี้แนะเมื่อนักเรียนแสดงความเป็นอิสระทางปัญญามากขึ้น

(ง) กรอบการประเมินนักเรียนบนฐาน PIAC: รูปแบบนี้ประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณด้วยรูบริก 4 มิติที่สอดคล้องกับขั้น PIAC และแบ่งผลการปฏิบัติเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีเยี่ยม ดี พอใช้ และกำลังพัฒนา/ควรปรับปรุง ควบคู่กับการประเมินจากหลายแหล่ง ได้แก่ การประเมินโดยครู การประเมินตนเองของนักเรียน และการประเมินโดยเพื่อน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและสะท้อนพัฒนาการที่แท้จริงของนักเรียน

นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้เรื่อง “การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ” เป็น 1 ใน 11 หน่วยการจัดการเรียนรู้ของชุดหลักสูตร CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2568 ชุดการจัดการเรียนรู้ฉบับสมบูรณ์ประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ เกณฑ์การประเมิน และชุดคำถามประคับประคองทางปัญญาที่ปรับปรุงแล้ว กระจายอยู่ในแผนการจัดการเรียนรู้ 11 แผน ได้แก่ 1) การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ 2 ชั่วโมง 2) การสืบพันธุ์ของสัตว์: การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ 2 ชั่วโมง 3) การสืบพันธุ์ของมนุษย์: ระบบสืบพันธุ์เพศชาย 2 ชั่วโมง 4) การสืบพันธุ์ของมนุษย์: ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง 2 ชั่วโมง 5) ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง: ฮอร์โมนและรอบการสืบพันธุ์ 2 ชั่วโมง 6) โครงสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ของสัตว์ 1 ชั่วโมง 7) การปฏิสนธิและการตั้งครรภ์ 2 ชั่วโมง 8) การเจริญเติบโตของสัตว์: กบ 2 ชั่วโมง 9) การเจริญเติบโตของสัตว์: ไก่ 2 ชั่วโมง 10) การเจริญเติบโตของมนุษย์ 2 ชั่วโมง และ 11) อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์ 2 ชั่วโมง

บทความนี้รายงานเฉพาะสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เข้าร่วมหน่วย “การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ” ซึ่งเป็นหนึ่งในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 11 แผน โดยอธิบายแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศตามรูปแบบ CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุงเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ฉบับปรับปรุง 2) เกณฑ์การประเมินฉบับปรับปรุง และ 3) ชุดคำถามประคับประคองทางปัญญาฉบับปรับปรุง

1) ลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ฉบับปรับปรุง

แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เวลา 2 ชั่วโมง ได้รับการปรับโครงสร้างเพื่อให้กิจกรรมการเรียนรู้มีการจัดระบบชัดเจนขึ้น โดยยังคงการบูรณาการวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7E เข้ากับกระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณ 4 ขั้น P-I-A-C ได้แก่ การระบุปัญหา การสืบค้นตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการลงข้อสรุป เป็นกรอบหลัก อย่างไรก็ตาม ขั้นการระบุปัญหา (P) ได้รับการเสริมความเข้มข้นด้วยการกำหนดให้นักเรียนศึกษาข้อมูลจากแหล่งที่น่าเชื่อถืออย่างน้อย 2 แหล่ง ก่อนกำหนดข้อความปัญหาของกลุ่มให้เสร็จสมบูรณ์ การปรับนี้ตอบสนองโดยตรงต่อข้อจำกัดที่พบในระยะ R2 ซึ่งนักเรียนมีแนวโน้มกำหนดปัญหาจากความรู้เดิมหรือประสบการณ์ส่วนตัวโดยไม่มีหลักฐานรองรับ

แผนยังคงใช้บริบทจริงของการรุกรานของหนอนตัวแบนนิวกินีเป็นสิ่งเร้าสำหรับการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เนื่องจากเป็นจุดเด่นสำคัญของบทเรียน การปรับปรุงเพิ่มเติมประกอบด้วย การกำหนดบทบาทภายในกลุ่มให้ชัดเจน และการเพิ่มกิจกรรมตรวจสอบไขว้เพื่อประเมินความสอดคล้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้ในขั้นสำรวจและค้นหา ซึ่งเชื่อมโยงกับขั้นการสืบค้นตรวจสอบ (I) การปรับดังกล่าวมุ่งเสริมสร้างทักษะความฉลาดรู้ด้านสารสนเทศของนักเรียนอย่างเป็นระบบ

ขั้นการวิเคราะห์ (A) ซึ่งระบุว่าเป็นขั้นที่มีข้อจำกัดเด่นชัดที่สุดในระยะ R2 ได้รับการพัฒนาด้วยการเพิ่มขั้นขยายความรู้ นักเรียนต้องวิเคราะห์และเปรียบเทียบแนวทางควบคุมประชากรอย่าง

น้อย 2 วิธี โดยใช้ตารางที่มีโครงสร้างประกอบด้วย “วิธีควบคุม - หลักการทางวิทยาศาสตร์ - ข้อดี - ข้อเสีย” การปรับนี้ยกระดับความลุ่มลึกของการวิเคราะห์จากระดับผิวเผินไปสู่การวิเคราะห์เปรียบเทียบบนฐานหลักฐาน ส่วนขั้นการลงข้อสรุป (C) ได้เพิ่มองค์ประกอบการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง โดยให้นักเรียนพัฒนาข้อเสนอเชิงนโยบายสำหรับการจัดการชนิดพันธุ์รุกรานในชุมชน เพื่อส่งเสริมการตัดสินใจที่ตั้งอยู่บนหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ มิใช่ความคิดเห็นส่วนบุคคล

นอกจากนี้ ยังได้เพิ่มระบบสนับสนุนการเรียนรู้รายบุคคล “คลินิกคิดอย่างมีวิจารณญาณ” ผ่านแพลตฟอร์ม Canva สำหรับนักเรียนที่มีผลการปฏิบัติต่ำกว่าระดับดี คลินิกนี้จัดแบบฝึกซ่อมเสริมที่มุ่งเฉพาะขั้นของกระบวนการคิดที่ยังพัฒนาไม่เต็มที่ สอดคล้องกับหลักการเสริมต่อการเรียนรู้ของ Vygotsky ภายในพื้นที่รอยต่อพัฒนาการ (ZPD)

2) เกณฑ์การประเมินฉบับปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินที่บรรจุในแผนการจัดการเรียนรู้ได้รับการปรับให้เฉพาะเจาะจงกับแต่ละขั้นของกระบวนการ P-I-A-C มากขึ้น โดยกำหนดเกณฑ์ผ่านขั้นต่ำที่ระดับดี (ระดับ 3) ในทุกขั้น และเพิ่มเกณฑ์เฉพาะศาสตร์ที่สะท้อนธรรมชาติของชีววิทยา ได้แก่ การใช้แหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถืออย่างน้อย 2 แหล่งในขั้น P และ I การเปรียบเทียบทางเลือกโดยให้เหตุผลตามหลักวิทยาศาสตร์ในขั้น C และการประเมินความเหมาะสมของแนวทางแก้ปัญหาให้สอดคล้องกับบริบท

กรอบการประเมินยังเชื่อมโยงกับหลักฐานการเรียนรู้ที่หลากหลายและเป็นรูปธรรมมากขึ้น ได้แก่ แบบบันทึกกิจกรรมการคิดอย่างมีวิจารณญาณ 4 ส่วนตาม P-I-A-C คะแนนจากกิจกรรมออนไลน์ LiveWorksheets ซึ่งกำหนดเกณฑ์ผ่านขั้นต่ำ 7 คะแนน แบบประเมินตนเองชนิดมาตราส่วนประมาณค่า และแบบประเมินโดยเพื่อน เครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนสะท้อนกระบวนการเรียนรู้ของตนและได้รับข้อมูลย้อนกลับจากหลายมุมมอง องค์ประกอบทั้งหมดจึงทำให้การวัดพัฒนาการของนักเรียนมีความชัดเจน ครอบคลุมทั้งมุมมองของครูและนักเรียน และเป็นระบบมากกว่าฉบับเริ่มต้น

3) ชุดคำถามประคับประคองทางปัญญาฉบับปรับปรุง

คำถามประคับประคองทางปัญญาได้รับการออกแบบเป็นลำดับขั้นของการช่วยเหลือทางความคิดที่สอดคล้องกับแต่ละขั้นของกระบวนการคิด ในขั้น P คำถามกระตุ้นความรู้เดิม เช่น “เหตุใดการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจึงทำให้สิ่งมีชีวิตบางชนิดเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว” และตรวจสอบการกำหนดกรอบปัญหา เช่น “จะควบคุมการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตชนิดนี้โดยไม่ทำอันตรายต่อองค์ประกอบอื่นของสิ่งแวดล้อมได้อย่างไร” ในขั้น I คำถามเจาะลึกความน่าเชื่อถือของข้อมูล เช่น “แหล่งข้อมูลทั้งสองมีส่วนใดเหมือนหรือแตกต่างกัน และเพราะเหตุใด” ในขั้น A คำถามเชิงกลไกเชื่อมโยงลักษณะการสืบพันธุ์กับผลกระทบเชิงระบบ เช่น “รูปแบบการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสิ่งมีชีวิตชนิดนี้เอื้อต่อการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วได้อย่างไร” และในขั้น C คำถามกระตุ้นการ

ประเมินทางเลือกอย่างครอบคลุม เช่น “วิธีที่เลือกสามารถใช้ร่วมกับแนวทางอื่นได้หรือไม่ และอย่างไร” คำถามเหล่านี้ออกแบบให้ครูปรับระดับการช่วยเหลือตามสมรรถนะของนักเรียนแต่ละคนได้ โดยไม่บอกคำตอบโดยตรง จึงเป็นการปรับปรุงที่ตอบสนองข้อจำกัดด้านการช่วยเหลือรายบุคคลซึ่งพบในระยะ R2 โดยตรง

2.3 เครื่องมือวิจัย

ระยะ R3 ใช้เครื่องมือต่อไปนี้เพื่อศึกษาผลของนวัตกรรมการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุงที่มีต่อสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียน

1. เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (P-I-A-C)

รูบริก P-I-A-C เป็นองค์ประกอบหนึ่งของนวัตกรรม CT-HOT in Bio ใช้ประเมินหลักฐานร่องรอยการคิดและผลการปฏิบัติงานของนักเรียนตลอดกระบวนการ P-I-A-C พัฒนาขึ้นจากตัวบ่งชี้พฤติกรรมตามกรอบ CBE Thailand ระดับสมรรถนะที่ 9 สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

รูบริกมีลักษณะเป็นเกณฑ์การให้คะแนนแบบวิเคราะห์ ประกอบด้วย 4 มิติ ได้แก่ การระบุปัญหา (P) การวางแผนและดำเนินการสืบค้นตรวจสอบ (I) การวิเคราะห์ข้อมูล (A) และการลงข้อสรุปและประเมินผล (C) แต่ละมิติประเมินด้วยมาตรคุณภาพ 4 ระดับ ตั้งแต่ 1-4 คะแนน รวมคะแนนเต็ม 4-16 คะแนน ในระยะการใช้และประเมินผล R2 ผู้วิจัยยังคงโครงสร้าง ตัวบ่งชี้พฤติกรรม และระดับคุณภาพเดิมไว้ เพื่อให้มาตรฐานการประเมินทั้งสองระยะมีความสม่ำเสมอ ขณะเดียวกันได้ปรับแบบบันทึกกิจกรรม ลำดับคำถาม และถ้อยคำ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนแสดงหลักฐานการคิดที่ชัดเจนขึ้นและสอดคล้องกับแต่ละมิติของรูบริก

2. ชุดคำถามประคับประคองทางปัญญาสำหรับการคิดอย่างมีวิจารณญาณฉบับปรับปรุง

ชุดคำถามประคับประคองทางปัญญาเป็นองค์ประกอบที่ 3 ของนวัตกรรม CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุง ออกแบบมาเพื่อสนับสนุนกระบวนการคิดของนักเรียนตลอดขั้น P-I-A-C คำถามเรียงลำดับตั้งแต่การกำหนดจุดเน้นของปัญหาและตรวจสอบความเข้าใจ การใช้ข้อมูลและหลักฐานการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์กลไกทางชีววิทยา การประเมินความน่าเชื่อถือและความเพียงพอของข้อมูล ไปจนถึงการพิจารณาทางเลือกก่อนลงข้อสรุปหรือตัดสินใจ

ครูสามารถปรับระดับคำถามให้เหมาะกับความต้องการและระดับสมรรถนะของนักเรียนแต่ละคน โดยให้ความช่วยเหลืออย่างตรงจุดและค่อย ๆ ลดลงเมื่อนักเรียนแสดงความสามารถในการคิดได้อย่างอิสระ สอดคล้องกับหลักพื้นที่รอยต่อพัฒนาการ (ZPD) และการเสริมต่อการเรียนรู้

3. แบบประเมินการคิดอย่างมีวิจารณญาณเชิงสถานการณ์

เครื่องมือนี้ใช้เก็บข้อมูลสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนผ่านสถานการณ์ทางชีววิทยาที่เชื่อมโยงกับหน่วยระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต คำถามปลายเปิดเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงกระบวนการคิดในขั้น P-I-A-C ได้แก่ การระบุปัญหา (P) การวางแผนและดำเนินการสืบค้นตรวจสอบ (I) การวิเคราะห์ข้อมูล (A) และการลงข้อสรุปและประเมินผล (C)

4. แบบบันทึกภาคสนามของผู้วิจัย

แบบบันทึกภาคสนามใช้บันทึกเหตุการณ์และข้อสังเกตระหว่างการใช้นวัตกรรม CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุง ครอบคลุมการตอบสนองของนักเรียนต่อกิจกรรม หลักฐานการคิดตามกระบวนการ P-I-A-C การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ การตอบคำถามประคับประคองทางปัญญา ตลอดจนปัญหาข้อจำกัด และสภาพของชั้นเรียน ข้อมูลเชิงพรรณนานี้นำมาใช้ร่วมกับหลักฐานจากการประเมินสมรรถนะ แบบบันทึกกิจกรรม ผลงานของนักเรียน และแหล่งข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง เพื่อแปลความหมายผลการวิจัย

5. แบบบันทึกกิจกรรมพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (P-I-A-C)

เครื่องมือนี้ใช้จัดโครงสร้างกิจกรรมและบันทึกหลักฐานการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P-I-A-C ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ สถานการณ์และภาระงานออกแบบให้สอดคล้องกับเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ของแต่ละแผน ภาระงานช่วยให้นักเรียนแสดงกระบวนการคิดตามลำดับตั้งแต่การระบุปัญหา (P) การวางแผนและดำเนินการสืบค้นตรวจสอบ (I) การวิเคราะห์ข้อมูล (A) ไปจนถึงการลงข้อสรุปและประเมินผล (C) ตลอดกระบวนการ นักเรียนใช้ข้อมูล หลักฐาน และหลักการทางชีววิทยาสนับสนุนการให้เหตุผลและการตัดสินใจ

คำตอบและผลงานที่นักเรียนบันทึกในแบบกิจกรรมเป็นหลักฐานร่องรอยการคิด ซึ่งประเมินด้วยรูบริก P-I-A-C เพื่อระบุคุณภาพในแต่ละมิติและระดับสมรรถนะโดยรวม

6. ใบงานออนไลน์ LiveWorksheets

ใบงานออนไลน์ LiveWorksheets เป็นสื่อและเครื่องมือเสริมการเรียนรู้ของแต่ละแผน ออกแบบให้สอดคล้องกับเนื้อหา สถานการณ์ และจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนทบทวน ตรวจสอบความเข้าใจ และประยุกต์ใช้ความรู้ชีววิทยาที่เกี่ยวข้อง ผลจากใบงานใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนร่วมกับแบบบันทึกกิจกรรมการคิดอย่างมีวิจารณญาณ แบบประเมินเชิงสถานการณ์ และผลลัพธ์การเรียนรู้อื่น ในการประเมินความเข้าใจและผลการเรียนรู้ของนักเรียน

7. บันทึกสะท้อนคิดของครูผู้วิจัย

ผู้วิจัยในฐานะครูประจำชั้นจัดทำบันทึกสะท้อนคิดหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละครั้ง เพื่อบันทึกผลการจัดกิจกรรม การตอบสนองของนักเรียน หลักฐานการคิดที่สังเกตได้ จุดเด่น ข้อจำกัด ปัญหา และเงื่อนไขที่เกิดขึ้นจากการใช้นวัตกรรม CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุง ข้อมูลนี้นำมาใช้

ร่วมกับหลักฐานจากแหล่งอื่นเพื่อแปลความหมายผลของระยะ R3 และสังเคราะห์แนวปฏิบัติ เงื่อนไข และข้อควรระวังสำหรับการพัฒนาคู่มือครู CT-HOT in Bio ในระยะ D3 ต่อไป

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในระยะ R3 วิเคราะห์เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) ข้อมูลหลักที่ตอบคำถามวิจัยเกี่ยวกับผลต่อสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียน และ 2) ข้อมูลเสริมที่อธิบายความคิดเห็น ประสบการณ์ จุดเด่น ข้อจำกัด และเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการใช้นวัตกรรมฉบับปรับปรุง

ข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ และการกระจายของระดับสมรรถนะโดยรวมของนักเรียน นอกจากนี้ยังพิจารณาคะแนนในแต่ละมิติ P-I-A-C เพื่ออธิบายรูปแบบผลการปฏิบัติในแต่ละมิติตามเกณฑ์การประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ P-I-A-C

ข้อมูลเชิงคุณภาพจากแบบบันทึกกิจกรรม ผลงานและหลักฐานการคิดของนักเรียน แบบบันทึกภาคสนาม และบันทึกสะท้อนคิดของผู้วิจัย วิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา โดยจำแนกตามกระบวนการ P-I-A-C การวิเคราะห์พิจารณาการใช้ข้อมูลและหลักฐานของนักเรียน การเชื่อมโยงกับหลักการหรือกลไกทางชีววิทยา การให้เหตุผล และคุณภาพของข้อสรุปหรือการประเมินผล

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

ขั้นการคิด	ดีเยี่ยม (4)	ดี (3)	พอใช้ (2)	ควรปรับปรุง (1)
1. การระบุปัญหา	ระบุปัญหาหรือประเด็นจากสถานการณ์ที่กำหนดโดยใช้หลักการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานที่ส่งผลต่อระบบนิเวศท้องถิ่นได้อย่างสมเหตุสมผลและแม่นยำ พร้อมใช้ข้อมูลจากหลายแหล่ง	ระบุปัญหาหรือประเด็นจากสถานการณ์ที่กำหนดโดยใช้หลักการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานที่ส่งผลต่อระบบนิเวศท้องถิ่นได้อย่างสมเหตุสมผลและแม่นยำ	ระบุปัญหาหรือประเด็นจากสถานการณ์ที่กำหนดโดยใช้หลักการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานที่ส่งผลต่อระบบนิเวศท้องถิ่นได้ แต่การให้เหตุผลยังไม่สอดคล้องต่อเนื่อง	ไม่สามารถระบุปัญหาหรือประเด็นจากสถานการณ์ที่กำหนดโดยใช้หลักการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานที่ส่งผลต่อระบบนิเวศท้องถิ่นได้
2. การวางแผนและดำเนินการสืบค้นตรวจสอบ	วางแผนและดำเนินการศึกษาการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานได้อย่างเหมาะสม เลือกเครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ข้อมูลสนับสนุนจากแหล่งข้อมูลอย่างน้อย 2 แหล่งที่ครอบคลุม	วางแผนและดำเนินการศึกษาการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานได้อย่างเหมาะสม เลือกเครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ข้อมูลสนับสนุนจากอย่างน้อย 2 แหล่ง แต่ยังขาดความครอบคลุม	วางแผนและดำเนินการศึกษาการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกราน โดยเลือกเครื่องมือหรือเทคโนโลยีเพื่อให้ได้ข้อมูลสนับสนุนจากเพียง 1 แหล่ง	ไม่สามารถวางแผนและดำเนินการศึกษาการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานได้อย่างเหมาะสม

ขั้นการคิด	**ดีเยี่ยม** (4)	**ดี** (3)	**พอใช้** (2)	**ควรปรับปรุง** (1)
3. การวิเคราะห์ข้อมูล	ใช้หลักฐานเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพื่อเสนอวิธีควบคุมประชากรชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานให้ระบบนิเวศท้องถิ่นคงสมดุล โดยตั้งอยู่บนหลักวิทยาศาสตร์ พร้อมประเมินความเหมาะสมและความเพียงพอของข้อมูล	ใช้หลักฐานเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพื่อเสนอวิธีควบคุมประชากรชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานให้ระบบนิเวศท้องถิ่นคงสมดุล โดยตั้งอยู่บนหลักวิทยาศาสตร์	ใช้หลักฐานเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพื่อเสนอวิธีควบคุมประชากรชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานให้ระบบนิเวศท้องถิ่นคงสมดุล แต่ไม่มีฐานจากหลักวิทยาศาสตร์	ไม่สามารถใช้หลักฐานเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพื่อเสนอวิธีควบคุมประชากรชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานให้ระบบนิเวศท้องถิ่นคงสมดุลได้
4. การลงข้อสรุปและประเมินผล	ให้เหตุผลสนับสนุนวิธีที่เลือกใช้ควบคุมการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานเพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศท้องถิ่น โดยใช้ข้อมูลที่กำหนดพิจารณาข้อดีและข้อเสียอย่างครอบคลุม ถูกต้องและสอดคล้องกับบริบทนิเวศจริง	ให้เหตุผลสนับสนุนวิธีควบคุมที่เลือกโดยใช้ข้อมูลที่กำหนดพิจารณาข้อดีและข้อเสียอย่างครอบคลุมและถูกต้อง แต่ยังไม่สอดคล้องกับบริบทนิเวศจริงอย่างสมบูรณ์	ให้เหตุผลสนับสนุนวิธีควบคุมที่เลือกโดยใช้ข้อมูลที่กำหนดพิจารณาข้อดีและข้อเสียได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วนและไม่สอดคล้องกับบริบทนิเวศจริง	ไม่สามารถให้เหตุผลสนับสนุนวิธีที่เลือกใช้ควบคุมการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานเพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศท้องถิ่นได้

ตารางที่ 3 เกณฑ์กำหนดระดับคุณภาพโดยรวมตามกรอบ P-I-A-C

คะแนนรวม	ระดับคุณภาพ	คำอธิบาย
13-16 คะแนน	ระดับ 4 (ดีเยี่ยม)	นักเรียนแสดงสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณระดับสูง สามารถดำเนินกระบวนการคิดได้อย่างครอบคลุมและมีคุณภาพในทุกมิติ โดยบูรณาการความรู้ชีววิทยา หลักฐาน และการให้เหตุผลอย่างรอบด้าน สอดคล้องกับบริบทชีวิตจริง
9-12 คะแนน	ระดับ 3 (ดี)	นักเรียนแสดงสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในระดับน่าพอใจ สามารถดำเนินกระบวนการคิดได้ถูกต้องในมิติส่วนใหญ่ แม้บางมิติอาจยังขาดความลุ่มลึกหรือความครอบคลุม
5-8 คะแนน	ระดับ 2 (พอใช้)	นักเรียนแสดงสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณระดับพื้นฐาน สามารถดำเนินกระบวนการคิดได้บางส่วน แต่ยังบกพร่องในหลายมิติและจำเป็นต้องพัฒนาเพิ่มเติม
4 คะแนน	ระดับ 1 (ควรปรับปรุง)	นักเรียนยังไม่แสดงสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในระดับที่ยอมรับได้ และจำเป็นต้องได้รับการช่วยเหลือและพัฒนาอย่างเร่งด่วนในทุกมิติของกระบวนการคิด

3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนในเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศผ่านนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio โดยนำเสนอเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ภาพรวมระดับสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และ 2) ตัวอย่างสำคัญจากการประเมินระดับสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนในเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

3.1 ภาพรวมระดับสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

ผู้วิจัยประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียน 39 คน หลังการใช้แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1 เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยพิจารณาร่องรอยการคิด คำตอบ และงานเขียนของนักเรียนตามเกณฑ์การให้คะแนนแบบวิเคราะห์สำหรับสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณบนฐานกระบวนการ P-I-A-C รูบริกนี้ประเมินคุณภาพการคิด 4 มิติที่สอดคล้องกับกระบวนการ P-I-A-C ได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย/ระบุปัญหาหรือประเด็นในการคิด (P) การวางแผนและดำเนินการสืบค้น

ตรวจสอบ (I) การวิเคราะห์ข้อมูล (A) และการลงข้อสรุปและประเมินผล (C) ผลการประเมินจำแนกตามระดับสมรรถนะและรูปแบบคะแนนรายมิติ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินระดับสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

ระดับสมรรถนะ	P	I	A	C	คะแนนรวม	ความถี่	ร้อยละ
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	4	4	4	4	16	21	53.85
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	3	4	4	4	15	3	7.69
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	4	4	3	4	15	1	2.56
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	4	3	4	4	15	1	2.56
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	4	3	4	3	14	2	5.13
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	3	3	4	4	14	1	2.56
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	4	4	3	3	14	1	2.56
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	3	4	3	4	14	1	2.56
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	3	4	4	3	14	1	2.56
ดีเยี่ยม (13-16 คะแนน)	3	4	3	3	13	1	2.56
ดี (9-12 คะแนน)	4	4	1	3	12	1	2.56
ดี (9-12 คะแนน)	3	2	3	3	11	1	2.56
ดี (9-12 คะแนน)	4	1	1	4	10	1	2.56
ดี (9-12 คะแนน)	4	3	2	1	10	1	2.56

ระดับสมรรถนะ	**P**	**I**	**A**	**C**	คะแนนรวม	ความถี่	ร้อยละ
พอใช้ (5-8 คะแนน)	2	2	2	2	8	1	2.56
พอใช้ (5-8 คะแนน)	4	1	1	1	7	1	2.56
ควรปรับปรุง (ไม่เกิน 4 คะแนน)	-	-	-	-	-	0	0.00

ดังแสดงในตารางที่ 4 ผลการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียน 39 คน เมื่อจำแนกตามระดับสมรรถนะและรูปแบบคะแนนรายมิติ มีข้อค้นพบดังนี้

(1) ระดับดีเยี่ยม นักเรียนจำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 84.62 อยู่ในระดับดีเยี่ยม ในจำนวนนี้นักเรียน 21 คน หรือร้อยละ 53.85 ของกลุ่มทั้งหมด ได้คะแนนเต็ม 4 คะแนนทุกมิติ มีรูปแบบคะแนน P-I-A-C เท่ากับ 4-4-4-4 รวม 16 คะแนน ส่วนนักเรียนอีก 12 คนได้คะแนนรวม 13-15 คะแนน โดยมีรูปแบบคะแนนรายมิติแตกต่างกัน ผลดังกล่าวแสดงว่า แม้นักเรียนจะได้รับการจัดระดับสมรรถนะโดยรวมเป็นระดับดีเยี่ยมเหมือนกัน แต่คุณภาพการคิดในแต่ละมิติอาจแตกต่างกัน เพราะนักเรียนบางคนได้เพียง 3 คะแนนในมิติ P, I, A หรือ C จึงควรพิจารณารูปแบบคะแนนรายมิติควบคู่กับคะแนนรวม เพื่ออธิบายคุณภาพกระบวนการคิดของนักเรียนแต่ละคนได้อย่างถูกต้อง

(2) ระดับดี นักเรียนจำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 10.26 อยู่ในระดับดี โดยมีรูปแบบคะแนน P-I-A-C แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ 4-4-1-3, 3-2-3-3, 4-1-1-4 และ 4-3-2-1 รูปแบบละ 1 คน รูปแบบคะแนนเหล่านี้สะท้อนว่า นักเรียนแต่ละคนมีจุดเด่นและข้อจำกัดใน 4 มิติแตกต่างกัน บางคนสามารถดำเนินกระบวนการคิดในขั้นการระบุปัญหา (P) ได้อย่างชัดเจน แต่มีข้อจำกัดในขั้นการสืบค้นตรวจสอบ (I) หรือการวิเคราะห์ (A) ขณะที่บางคนทำได้ดีในขั้นการลงข้อสรุปและประเมินผล (C) แม้การใช้ข้อมูลและหลักฐานในขั้นก่อนหน้ายังไม่สมบูรณ์

(3) ระดับพอใช้ นักเรียนจำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 5.13 อยู่ในระดับพอใช้ นักเรียนคนหนึ่งมีรูปแบบคะแนน P-I-A-C เท่ากับ 2-2-2-2 รวม 8 คะแนน สะท้อนว่าสามารถดำเนินกระบวนการคิดทั้ง 4 ขั้นได้ในระดับพื้นฐาน แต่ยังขาดความชัดเจนและความครอบคลุม ส่วนนักเรียนอีกคนมีรูปแบบคะแนน 4-1-1-1 รวม 7 คะแนน แสดงว่าสามารถดำเนินขั้นการระบุปัญหา (P) ได้อย่างชัดเจน แต่มีข้อจำกัดเด่นชัดในขั้นการสืบค้นตรวจสอบ (I) การวิเคราะห์ (A) และการลงข้อสรุปและประเมินผล (C) ดังนั้น

นักเรียนทั้งสองคนจะได้รับประโยชน์จากการฝึกเพิ่มเติมและความช่วยเหลือแบบตรงจุดตามข้อจำกัดเฉพาะที่พบในแต่ละขั้นของกระบวนการคิด

(4) ระดับควรปรับปรุง ไม่มีนักเรียนคนใดได้คะแนนรวมอยู่ในระดับควรปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 0.00 แสดงว่านักเรียนทุกคนได้รับผลการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยรวมอย่างน้อยในระดับพอใช้

โดยสรุป นักเรียนจำนวน 37 คน คิดเป็นร้อยละ 94.87 มีผลการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยรวมตั้งแต่ระดับดีขึ้นไป ประกอบด้วยระดับดีเยี่ยม 33 คน และระดับดี 4 คน ส่วนนักเรียนอีก 2 คนมีผลการประเมินโดยรวมในระดับพอใช้ แม้ผลการประเมินโดยรวมของนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูง แต่รูปแบบคะแนนรายมิติ P-I-A-C แสดงความแตกต่างระหว่างบุคคลด้านคุณภาพการคิดอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะข้อจำกัดในขั้นการสืบค้นตรวจสอบ (I) การวิเคราะห์ (A) และการลงข้อสรุปและประเมินผล (C) ดังนั้น การพิจารณาเฉพาะคะแนนรวมจึงไม่เพียงพอต่อการทำความเข้าใจสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนอย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงใช้รูปแบบคะแนนรายมิติร่วมกับร่องรอยการคิด คำตอบ และงานเขียนของนักเรียน เพื่อสนับสนุนการแปลความหมายเชิงลึกในหัวข้อ 3.2

3.2 ตัวอย่างการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนระดับดีเยี่ยม เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

การแปลความหมายสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณตามแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1 เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

จากผลการประเมินที่นำเสนอในตารางที่ 4 พบว่า นักเรียน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 84.62 มีผลการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยรวมระดับดีเยี่ยม รองลงมาคือระดับดี 4 คน คิดเป็นร้อยละ 10.26 และระดับพอใช้ 2 คน คิดเป็นร้อยละ 5.13 โดยไม่พบนักเรียนในระดับควรปรับปรุง ทั้งนี้นักเรียนที่มีระดับสมรรถนะโดยรวมเท่ากันอาจมีรูปแบบคะแนนใน 4 มิติ P–I–A–C แตกต่างกัน ดังนั้นการแปลความหมายคุณภาพการคิดจึงต้องพิจารณารูปแบบคะแนนรายมิติควบคู่กับร่องรอยการคิด คำตอบ และชิ้นงานที่บันทึกไว้ในแบบบันทึกกิจกรรมพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณตามกระบวนการ P–I–A–C

ผู้วิจัยคัดเลือกผลงานของนักเรียนระดับดีเยี่ยมที่มีรูปแบบคะแนนรายมิติแตกต่างกันเป็นกรณีตัวอย่าง เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการคิดใน 4 ขั้นของกระบวนการ P–I–A–C ได้แก่ ขั้นที่ 1 การกำหนดเป้าหมาย/ระบุปัญหาหรือประเด็น (P) ขั้นที่ 2 การวางแผนและดำเนินการสืบค้นตรวจสอบ (I) ขั้นที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล (A) และขั้นที่ 4 การลงข้อสรุปและประเมินผล (C) กับผลการประเมินตาม

เกณฑ์รายมิติ โดยกรณีที่นำเสนอเป็นตัวอย่างเฉพาะของนักเรียนระดับดีเยี่ยมซึ่งมีรูปแบบคะแนนแตกต่างกัน มิได้ใช้เป็นตัวแทนของนักเรียนระดับดีหรือระดับพอใช้

ตัวอย่างผลงานนักเรียนระดับดีเยี่ยมตามแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

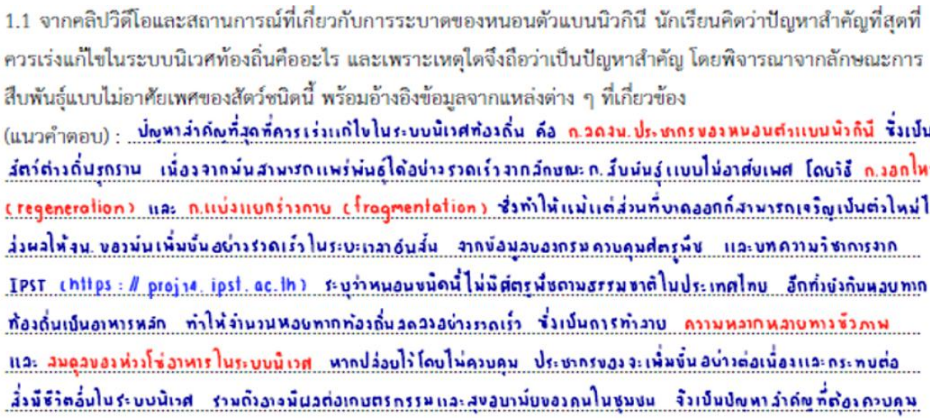
ในบรรดานักเรียน 33 คนที่ได้รับผลการประเมินโดยรวมระดับดีเยี่ยม ซึ่งมีคะแนนรวม 13-16 คะแนน พบรูปแบบคะแนนรายมิติแตกต่างกัน 10 รูปแบบ ในจำนวนนี้ นักเรียน 21 คนมีรูปแบบคะแนน 4-4-4-4 รวม 16 คะแนน แสดงว่าได้รับคะแนนสูงสุดในทั้ง 4 มิติ ส่วนนักเรียนอีก 12 คนได้คะแนนรวม 13-15 คะแนน โดยมีรูปแบบคะแนนรายมิติแตกต่างกัน กรณีตัวอย่างต่อไปนี้แสดงคุณภาพการคิดที่อยู่เบื้องหลังรูปแบบคะแนนรายมิติที่ผู้วิจัยคัดเลือก โดยแต่ละกรณีอธิบายร่องรอยการคิดของนักเรียนรายนั้นโดยเฉพาะ มิได้ใช้เป็นตัวแทนของนักเรียนระดับดีเยี่ยมทั้งหมด

1.1 รูปแบบคะแนนรายมิติ P-I-A-C = 4-4-4-4

นักเรียน 21 คนมีรูปแบบคะแนนนี้ รวม 16 คะแนน แสดงว่าได้คะแนนเต็มทั้ง 4 มิติ ผู้วิจัยเลือกแบบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนเลขที่ 36 เป็นกรณีตัวอย่าง

(1) ขั้นที่ 1 การกำหนดเป้าหมาย/ระบุปัญหา (P): นักเรียนเลขที่ 36 ได้ 4 คะแนน เพราะระบุปัญหาหลักได้อย่างชัดเจนและถูกต้องว่า การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของหนอนตัวแบนนิวกินีส่งผลต่อระบบนิเวศท้องถิ่น พร้อมเชื่อมโยงกับการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศซึ่งเอื้อต่อการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว นักเรียนอธิบายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อชนิดพันธุ์ท้องถิ่น ความหลากหลายทางชีวภาพ ห่วงโซ่อาหาร และวิถีชีวิตของชุมชนตามลำดับ โดยมีข้อมูลสนับสนุนจากแหล่งวิชาการและหน่วยงานภาครัฐที่น่าเชื่อถือมากกว่า 1 แหล่ง สะท้อนว่าบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วนในด้านการระบุปัญหา

การเชื่อมโยงหลักชีววิทยากับบริบทจริง และการใช้หลักฐานสนับสนุน ดังตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนในแต่ละขั้นของกระบวนการ P–I–A–C แสดงในภาพที่ 1

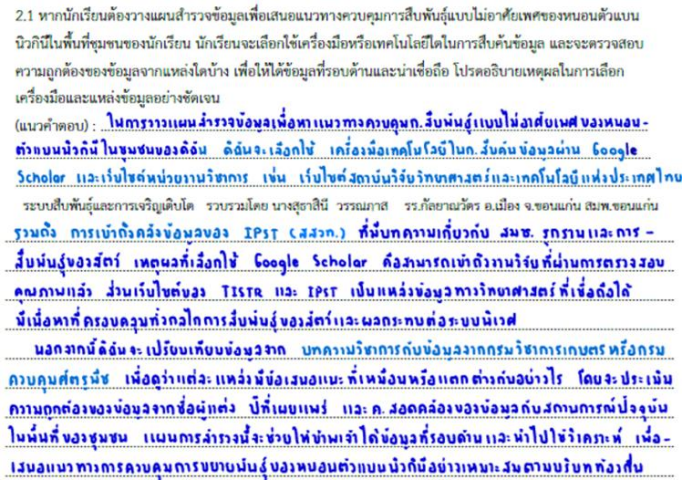

1.1 จากคลิปวิดีโอและสถานการณ์ที่เกี่ยวกับการระบาดของหนอนตัวแบนนิวกินี นักเรียนคิดว่าปัญหาสำคัญที่สุดที่ควรเร่งแก้ไขในระบบนิเวศท้องถิ่นคืออะไร และเพราะเหตุใดจึงถือว่าเป็นปัญหาสำคัญ โดยพิจารณาจากลักษณะการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสัตว์ชนิดนี้ พร้อมอ้างอิงข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

(แนวคำตอบ) : ปัญหาสำคัญที่สุดที่ควรเร่งแก้ไขในระบบนิเวศท้องถิ่น คือ ก.วงจร.ประชากรของหนอนตัวแบนนิวกินี ซึ่งเป็นสัตว์ต่างถิ่นรุกราน เนื่องจากพ่นสามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วมากลักษณะ ก.สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยวิธี ก.งอกใหม่ (regeneration) และ ก.แบ่งแยกร่างกาย (fragmentation) ซึ่งทำให้แม้แต่ส่วนที่บาดออกก็สามารถเจริญเป็นตัวใหม่ได้ ส่งผลให้จน.ของพ่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น จากข้อมูลของกรม.ควบคุมสัตว์น้ำ และบทความวิชาการจาก IPST (https://projects.ipst.ac.th) ระบุว่าหนอนชนิดนี้ไม่มีศัตรูทำตามธรรมชาติในประเทศไทย อีกทั้งยังกินหอยทากท้องถิ่นเป็นอาหารหลัก ทำให้จำนวนหอยทากท้องถิ่นลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการทำงาน ความหลากหลายทางชีวภาพ และ สมดุลของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ หากปล่อยไว้โดยไม่ควบคุม ประชากรของจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นในระบบนิเวศ รวมถึงอาจมีผลต่อเกษตรกรรม และ สุขอนามัยของคนในชุมชน จึงเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องควบคุม

ภาพที่ 1 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

หมายเหตุ: ปกปิดข้อมูลที่สามารถระบุตัวนักเรียนได้

(2) ขั้นที่ 2 การวางแผนและดำเนินการสืบค้นตรวจสอบ (I): นักเรียนได้ 4 คะแนน เพราะวางแผนสืบค้นข้อมูลอย่างเป็นระบบโดยใช้ Google Scholar และเว็บไซต์ของสถาบันวิชาการ ศึกษาข้อมูลจากอย่างน้อย 2 แหล่ง เปรียบเทียบข้อมูลวิจัยกับข้อมูลภาครัฐ และกำหนดเกณฑ์ความน่าเชื่อถือ ได้แก่ ผู้เขียนหรือองค์กร ปีที่เผยแพร่ และความเกี่ยวข้องกับบริบทปัจจุบันของชุมชน สะท้อนว่าบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วนในด้านการเลือกเครื่องมือ การวางแผนใช้ข้อมูลหลายแหล่ง และการตรวจสอบคุณภาพ ดังตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนในแต่ละขั้นของกระบวนการ P–I–A–C แสดงในภาพที่ 2


2.1 หากนักเรียนต้องวางแผนสำรวจข้อมูลเพื่อเสนอแนวทางควบคุมการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของหนอนตัวแบนนิวกินีในพื้นที่ชุมชนของนักเรียน นักเรียนจะเลือกใช้เครื่องมือหรือเทคโนโลยีใดในการสืบค้นข้อมูล และจะตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งใดบ้าง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่รอบด้านและน่าเชื่อถือ โปรดอธิบายเหตุผลในการเลือกเครื่องมือและแหล่งข้อมูลอย่างชัดเจน

(แนวคำตอบ) : ในการวางแผนสำรวจข้อมูลเพื่อหาแนวทางควบคุมก.สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของหนอนตัวแบนนิวกินีในชุมชนของดิฉัน ดิฉันจะเลือกใช้ เครื่องมือเทคโนโลยีในก.สืบค้นข้อมูลผ่าน Google Scholar และเว็บไซต์หน่วยงานวิชาการ เช่น เว็บไซต์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

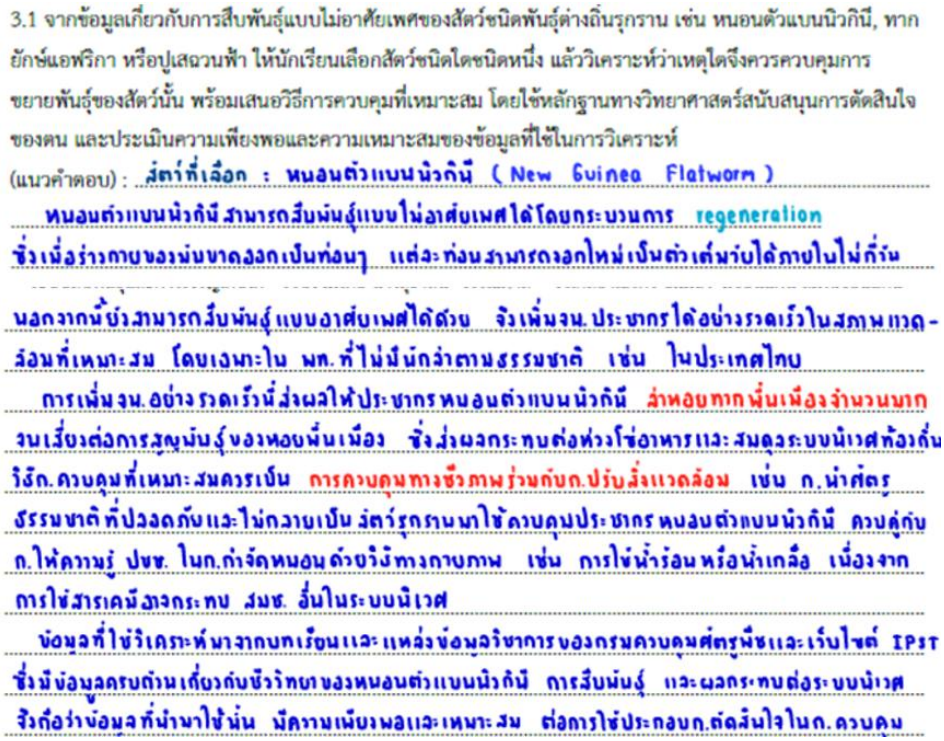
ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต รวบรวมโดย นางสุธาสินี วรรณภาส รร.กัลยาณวัตร อ.เมือง จ.ขอนแก่น สพม.ขอนแก่น

รวมถึง การเข้าถึงคลังข้อมูลของ IPST (สสวท.) ที่มีบทความเกี่ยวกับ สมช. รุกราน และการสืบพันธุ์ของสัตว์ เหตุผลที่เลือกใช้ Google Scholar คือสามารถเข้าถึงงานวิจัยที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว ส่วนเว็บไซต์ของ TISTR และ IPST เป็นแหล่งข้อมูลวิทยาศาสตร์ที่เชื่อถือได้ มีเนื้อหาที่ครอบคลุมทั้งกลไกการสืบพันธุ์ของสัตว์และผลกระทบต่อระบบนิเวศ

นอกจากนี้ดิฉันจะเปรียบเทียบข้อมูลจาก บทความวิชาการกับข้อมูลจากกรมวิชาการเกษตรหรือกรมควบคุมศัตรูพืช เพื่อดูว่าแต่ละแหล่งมีข้อเสนอแนะที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยจะประเมินความถูกต้องของข้อมูลจากชื่อผู้แต่ง ปีที่เผยแพร่ และ ก.สอดคล้องของข้อมูลกับสถานการณ์ปัจจุบันในพื้นที่ของชุมชน แผนการสำรวจนี้จะช่วยให้ข้าพเจ้าได้ข้อมูลที่รอบด้าน และนำไปใช้วิเคราะห์ เพื่อเสนอแนวทางการควบคุมการขยายพันธุ์ของหนอนตัวแบนนิวกินีอย่างเหมาะสมตามบริบทท้องถิ่น

ภาพที่ 2 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(3) ขั้นที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล (A): นักเรียนได้ 4 คะแนน เพราะใช้หลักฐานเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศอธิบายการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว และเชื่อมโยงกับผลกระทบต่อชนิดพันธุ์ท้องถิ่น ความหลากหลายทางชีวภาพ ห่วงโซ่อาหาร และสมดุลของระบบนิเวศได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล นักเรียนเสนอแนวทางควบคุมโดยพิจารณาทั้งผลที่คาดว่าจะเกิดและผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่น พร้อมประเมินความน่าเชื่อถือ ความเหมาะสม และความเพียงพอของหลักฐานที่ใช้ จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน ดังตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนในแต่ละขั้นของกระบวนการ P–I–A–C แสดงในภาพที่ 3


3.1 จากข้อมูลเกี่ยวกับการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสัตว์ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกราน เช่น หนอนตัวแบนนิวกินี, หากยักษ์แอฟริกา หรือปูเสฉวนฟ้า ให้นักเรียนเลือกสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง แล้ววิเคราะห์ว่าเหตุใดจึงควรควบคุมการขยายพันธุ์ของสัตว์นั้น พร้อมเสนอวิธีการควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์สนับสนุนการตัดสินใจของตน และประเมินความเพียงพอและความเหมาะสมของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

(แนวคำตอบ) : สัตว์ที่เลือก : หนอนตัวแบนนิวกินี (New Guinea Flatworm)

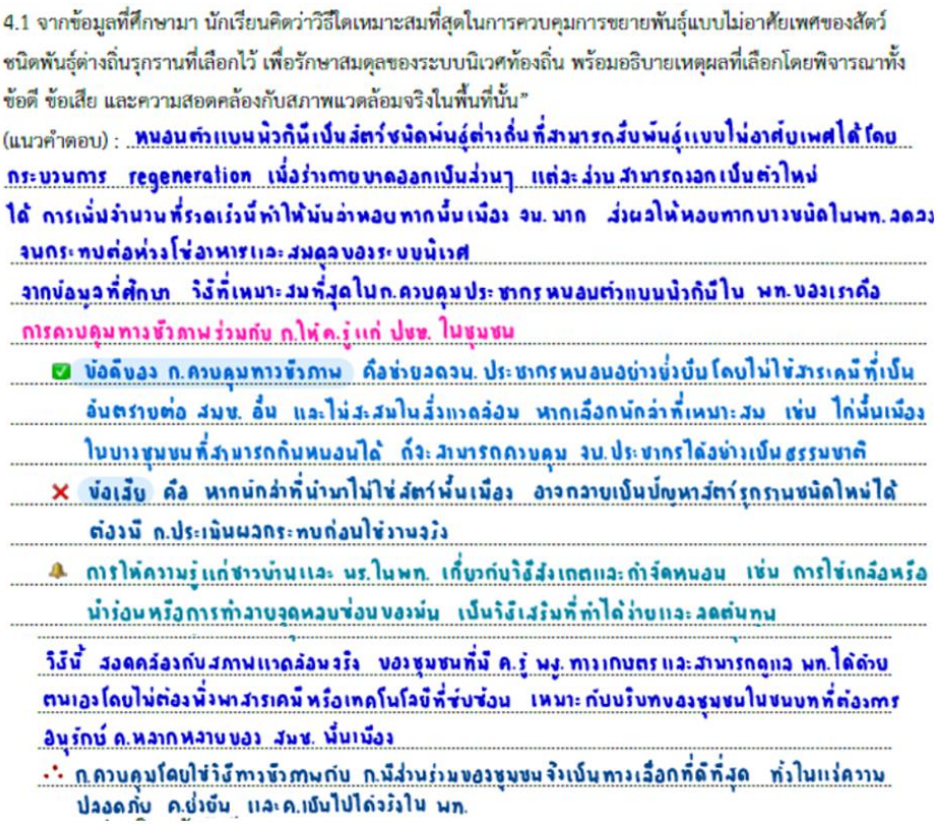
หนอนตัวแบนนิวกินี สามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้โดยกระบวนการ regeneration ซึ่งเมื่อร่างกายของพ่นขาดออกเป็นท่อนๆ แต่ละท่อนสามารถงอกใหม่เป็นตัวเต็มวัยได้ภายในไม่กี่วัน นอกจากนี้ยังสามารถสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้ด้วย จึงเพิ่มจน.ประชากรได้อย่างรวดเร็วในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยเฉพาะใน พท.ที่ไม่มีนักล่าตามธรรมชาติ เช่น ในประเทศไทย การเพิ่มจน.อย่างรวดเร็วนี้ส่งผลให้ประชากรหนอนตัวแบนนิวกินี ล่าหอยทากพื้นเมืองจำนวนมาก จนเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของหอยพื้นเมือง ซึ่งส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและสมดุลระบบนิเวศท้องถิ่น วิธี ก.ควบคุมที่เหมาะสมควรเป็น การควบคุมทางชีวภาพร่วมกับ ก.ปรับสิ่งแวดล้อม เช่น ก.นำศัตรูธรรมชาติที่ปลอดภัยและไม่กลายเป็นสัตว์รุกรานมาใช้ควบคุมประชากรหนอนตัวแบนนิวกินี ควบคู่กับ ก.ให้ความรู้ ปชช. ใน ก.กำจัดหนอนด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การใช้น้ำร้อนหรือน้ำเกลือ เนื่องจากการใช้สารเคมีส่งผลกระทบ สมช.อื่นในระบบนิเวศ

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์มาจากบทเรียนและแหล่งข้อมูลวิชาการของกรมควบคุมศัตรูพืชและเว็บไซต์ IPST ซึ่งมีข้อมูลครบถ้วนเกี่ยวกับชีววิทยาของหนอนตัวแบนนิวกินี การสืบพันธุ์ และผลกระทบต่อระบบนิเวศ จึงถือว่าข้อมูลที่นำมาใช้นั้น มีความเพียงพอและเหมาะสม ต่อการใช้ประกอบก.ตัดสินใจใน ก.ควบคุม

ภาพที่ 3 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(4) ขั้นที่ 4 การลงข้อสรุปและประเมินผล (C): นักเรียนได้ 4 คะแนน เพราะตัดสินใจเลือกวิธีควบคุมบนฐานหลักฐาน ชั่งน้ำหนักประโยชน์ ข้อจำกัด และผลกระทบที่อาจเกิดจากการควบคุมโดยชีววิธี พร้อมเสนอการให้ความรู้และการมีส่วนร่วมของชุมชนเป็นกลยุทธ์สนับสนุน การตัดสินใจคำนึงถึงความ

ปลอดภัย ความเป็นไปได้ ความยั่งยืน และความเหมาะสมกับบริบท จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน ดังตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนในแต่ละขั้นของกระบวนการ P–I–A–C แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

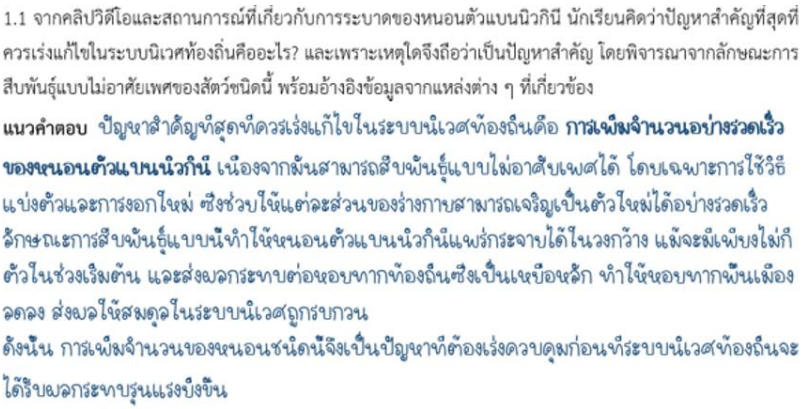
โดยรวม นักเรียนเลขที่ 36 แสดงการคิดอย่างมีวิจารณญาณอย่างต่อเนื่องตั้งแต่การระบุปัญหาไปจนถึงการลงข้อสรุปบนฐานหลักฐาน สอดคล้องกับรูปแบบ 4-4-4-4 และคะแนนรวม 16 คะแนน การแปลความหมายนี้ใช้เฉพาะนักเรียนรายนี้ และไม่ควรสรุปครอบคลุมนักเรียนระดับดีเยี่ยมทั้งหมด

1.2 รูปแบบคะแนนรายมิติ P-I-A-C = 3-4-4-4

นักเรียน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 7.69 มีรูปแบบคะแนนนี้ รวม 15 คะแนน แสดงว่าบรรลุระดับ 4 ในมิติ I, A และ C และระดับ 3 ในมิติ P ผู้วิจัยเลือกนักเรียนเลขที่ 29 เป็นกรณีตัวอย่าง

(1) P (3 คะแนน): นักเรียนระบุปัญหาได้ถูกต้องและเชื่อมโยงกับการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศอย่างมีเหตุผล โดยอธิบายผลกระทบต่อหอยทากท้องถิ่นและสมดุลของระบบนิเวศ อย่างไรก็ตาม คำตอบ

มิได้อ้างถึงแหล่งข้อมูลที่หลากหลายอย่างชัดเจน และยังอธิบายกลไกทางชีววิทยาไม่เพียงพอ จึงยังไม่บรรลุเกณฑ์ระดับ 4 (ภาพที่5)

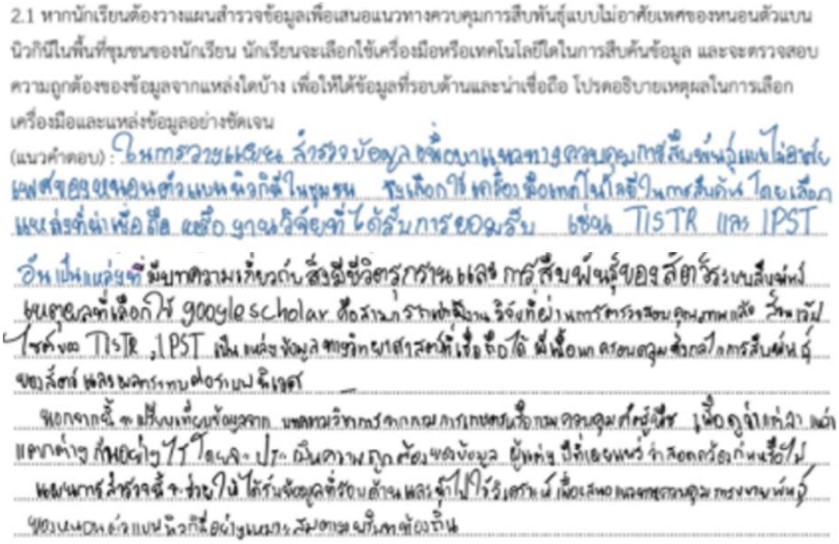

1.1 จากคลิปวิดีโอและสถานการณ์ที่เกี่ยวกับการระบาดของหนอนตัวแบนนิวกินี นักเรียนคิดว่าปัญหาสำคัญที่สุดที่ควรเร่งแก้ไขในระบบนิเวศท้องถิ่นคืออะไร? และเพราะเหตุใดจึงถือว่าเป็นปัญหาสำคัญ โดยพิจารณาจากลักษณะการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสัตว์ชนิดนี้ พร้อมอ้างอิงข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

แนวคำตอบ ปัญหาสำคัญที่สุดที่ควรเร่งแก้ไขในระบบนิเวศท้องถิ่นคือ **การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของหนอนตัวแบนนิวกินี** เนื่องจากมันสามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้ โดยเฉพาะการใช้วิธีแบ่งตัวและการงอกใหม่ ซึ่งช่วยให้แต่ละส่วนของร่างกายสามารถเจริญเป็นตัวใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ลักษณะการสืบพันธุ์แบบนี้ทำให้หนอนตัวแบนนิวกินีแพร่กระจายได้ในวงกว้าง แม้จะมีเพียงไม่กี่ตัวในช่วงเริ่มต้น และส่งผลกระทบต่อหอยทากท้องถิ่นซึ่งเป็นเหยื่อหลัก ทำให้หอยทากพื้นเมืองลดลง ส่งผลให้สมดุลในระบบนิเวศถูกรบกวน

ดังนั้น การเพิ่มจำนวนของหนอนชนิดนี้จึงเป็นปัญหาที่ต้องเร่งควบคุมก่อนที่ระบบนิเวศท้องถิ่นจะได้รับผลกระทบรุนแรงยิ่งขึ้น

ภาพที่ 5 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(2) I (4 คะแนน): นักเรียนวางแผนสืบค้นอย่างเป็นระบบโดยใช้ Google Scholar ร่วมกับเว็บไซต์ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศึกษาข้อมูลมากกว่า 2 แหล่ง และกำหนดเกณฑ์ความน่าเชื่อถือ ได้แก่ ผู้เขียนหรือองค์กร ปีที่เผยแพร่ และความสอดคล้องระหว่างแหล่งข้อมูล จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 6)


2.1 หากนักเรียนต้องวางแผนสำรวจข้อมูลเพื่อเสนอแนวทางควบคุมการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของหนอนตัวแบนนิวกินีในพื้นที่ชุมชนของนักเรียน นักเรียนจะเลือกใช้เครื่องมือหรือเทคโนโลยีใดในการสืบค้นข้อมูล และจะตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งใดบ้าง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่รอบด้านและน่าเชื่อถือ โปรดอธิบายเหตุผลในการเลือกเครื่องมือและแหล่งข้อมูลอย่างชัดเจน

(แนวคำตอบ) : ในการวางแผน สำรวจข้อมูล เพื่อเสนอแนวทางควบคุมการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของหนอนตัวแบนนิวกินีในชุมชน จะเลือกใช้เครื่องมือเทคโนโลยีในการสืบค้น โดยเลือกแหล่งที่น่าเชื่อถือ เช่น งานวิจัยที่ได้รับการยอมรับ เช่น TISTR และ IPST อีกแหล่งที่มีบทความเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตรุกรานและการสืบพันธุ์ของสัตว์ระบบสืบพันธุ์ ชนิดที่เลือกใช้ google scholar คือสามารถวิจัยที่น่าเชื่อถือ ได้ เช่น TISTR , IPST เป็นแหล่งข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เชื่อถือได้ มีเพื่อนครอบครัวสอบถามเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ของสัตว์ และผลกระทบต่อระบบนิเวศ

นอกจากนี้ จะเปรียบเทียบข้อมูลจาก หลายแหล่งวิชาการ เช่น การเปรียบเทียบเนื้อหาของครอบครัวที่อยู่เดียว เพื่อดูว่าแหล่งต่างๆ ที่หยิบยกไปใช้ มีความถูกต้องของข้อมูล ผู้เขียน ปีที่เผยแพร่ ว่าสอดคล้องกันหรือไม่ ผลงานวิจัยจะช่วยให้ได้รับข้อมูลที่รอบด้าน และรู้ไปใช้ในการวางแผนเพื่อเสนอแนวทางควบคุมการแพร่พันธุ์ของหนอนตัวแบนนิวกินีอย่างมีประสิทธิภาพในท้องถิ่น

ภาพที่ 6 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(3) A (4 คะแนน): นักเรียนใช้หลักฐานทางชีววิทยาอธิบายการเพิ่มจำนวนและการแพร่กระจายอย่างเป็นเหตุเป็นผล เชื่อมโยงกับผลกระทบต่อหอยทากท้องถิ่น ความหลากหลายทางชีวภาพ และสมดุล

ของระบบนิเวศ พร้อมประเมินความน่าเชื่อถือ ความเหมาะสม และความเพียงพอของหลักฐาน จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(4) C (4 คะแนน): นักเรียนตัดสินใจบนฐานหลักฐาน โดยพิจารณาประโยชน์ ข้อจำกัด และความเสี่ยงของการควบคุมโดยชีววิธี รวมทั้งความเป็นไปได้ภายใต้ทรัพยากรของชุมชน จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

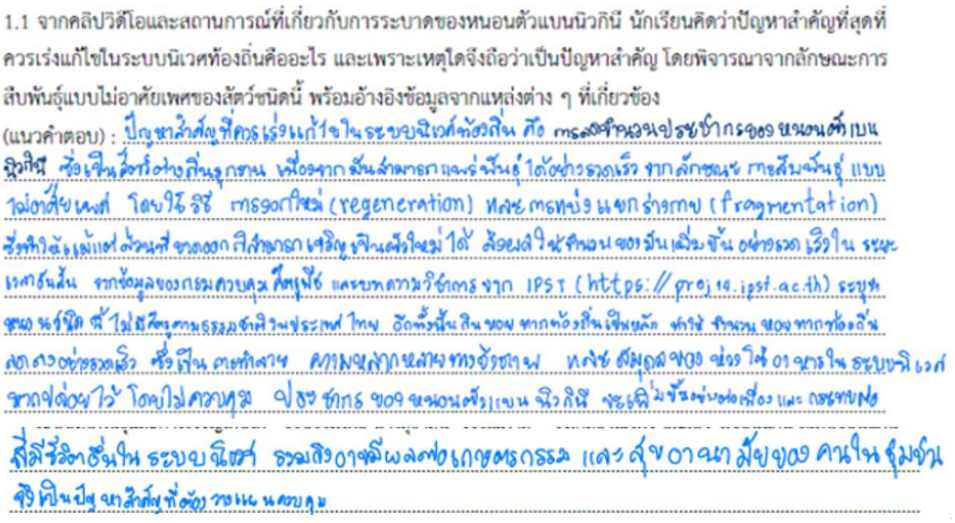
ร่องรอยการคิดโดยรวมสอดคล้องกับรูปแบบ 3-4-4-4 รวม 15 คะแนน โดยมีข้อจำกัดเฉพาะในมิติ P เนื่องจากความหลากหลายของแหล่งข้อมูลและการอธิบายกลไกยังไม่เพียงพอ การแปลความหมายนี้ใช้เฉพาะนักเรียนเลขที่ 29

1.3 รูปแบบคะแนนรายมิติ P-I-A-C = 4-4-3-4

นักเรียน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2.56 มีรูปแบบคะแนนนี้ รวม 15 คะแนน ผู้วิจัยเลือกนักเรียนเลขที่ 34 เป็นกรณีตัวอย่าง

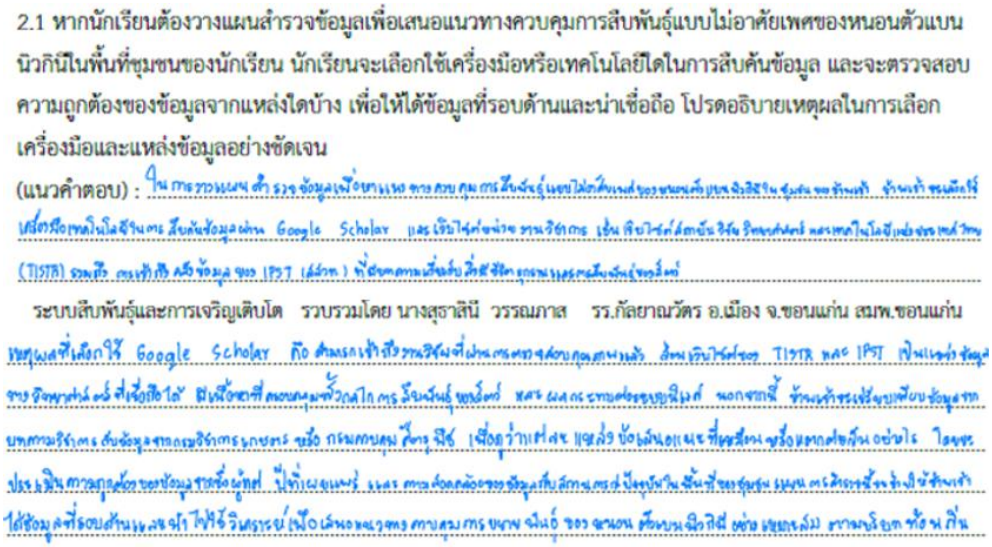
(1) P (4 คะแนน): นักเรียนระบุปัญหาได้อย่างชัดเจน เชื่อมโยงการเพิ่มจำนวนประชากรกับการขาดเป็นท่อนและการงอกใหม่ โดยมีแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือหลายแหล่งสนับสนุน และกล่าวถึงผลกระทบ

ต่อชนิดพันธุ์ท้องถิ่น ความหลากหลายทางชีวภาพ ห่วงโซ่อาหาร การเกษตร และสุขอนามัยของชุมชน อย่างครอบคลุม จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 9)



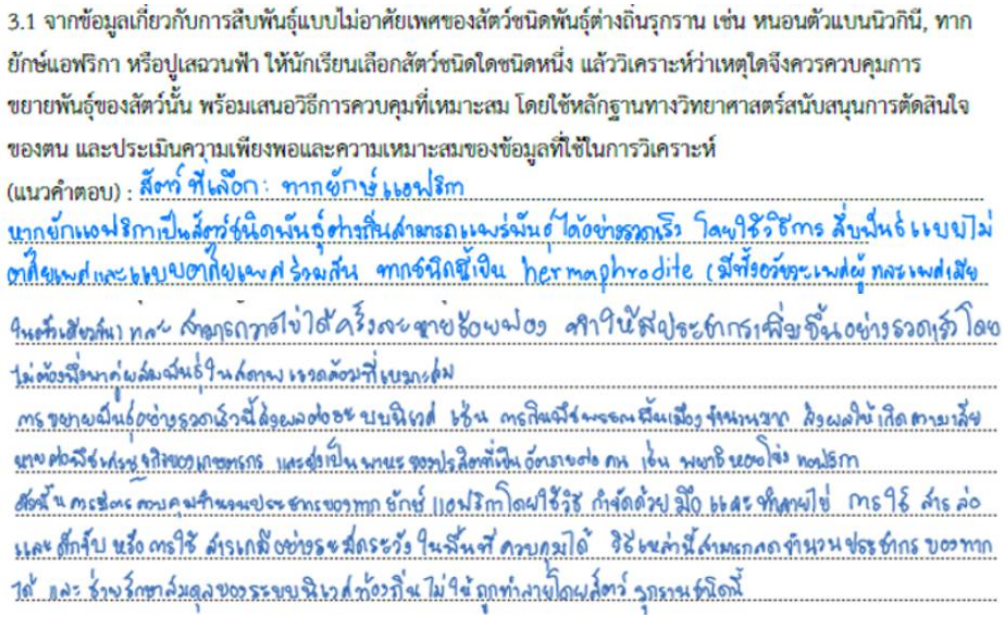
ภาพที่ 9 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(2) I (4 คะแนน): นักเรียนวางแผนสืบค้นจากฐานข้อมูลงานวิจัยและเว็บไซต์ทางวิชาการที่น่าเชื่อถืออย่างเป็นระบบ ศึกษาข้อมูลมากกว่า 2 แหล่ง และตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อมูลทางวิชาการกับข้อมูลภาครัฐ จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(3) A (3 คะแนน): นักเรียนใช้ข้อมูลเรื่องการเป็นกะเทยและการวางไข่ของหอยทากยักษ์แอฟริกา อธิบายการเพิ่มจำนวนประชากร และเชื่อมโยงกับผลกระทบต่อระบบนิเวศและการเกษตรอย่างมีเหตุผล อย่างไรก็ตาม พบข้อจำกัดสำคัญคือ นักเรียนเปลี่ยนกรณีศึกษาจากหนอนตัวแบนนิวกินีเป็นหอยทากยักษ์แอฟริกา ทำให้การดำเนินความคิดไม่ต่อเนื่องกับปัญหาที่ระบุไว้ในขั้น P นอกจากนี้ การเป็นกะเทยและการวางไข่เป็นลักษณะของการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ มิใช่การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศซึ่งเป็นแนวคิดชีววิทยาหลักของกิจกรรม จึงสอดคล้องกับเกณฑ์ระดับ 4 ไม่สมบูรณ์ (ภาพที่ 11)


3.1 จากข้อมูลเกี่ยวกับการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสัตว์ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกราน เช่น หนอนตัวแบนนิวกินี, หอยทากยักษ์แอฟริกา หรือปูเสฉวนฟ้า ให้นักเรียนเลือกสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง แล้ววิเคราะห์ว่าเหตุใดจึงควรควบคุมการขยายพันธุ์ของสัตว์นั้น พร้อมเสนอวิธีการควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์สนับสนุนการตัดสินใจของตน และประเมินความเพียงพอและความเหมาะสมของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

(แนวคำตอบ) : สัตว์ที่เลือก: หอยทากยักษ์แอฟริกา

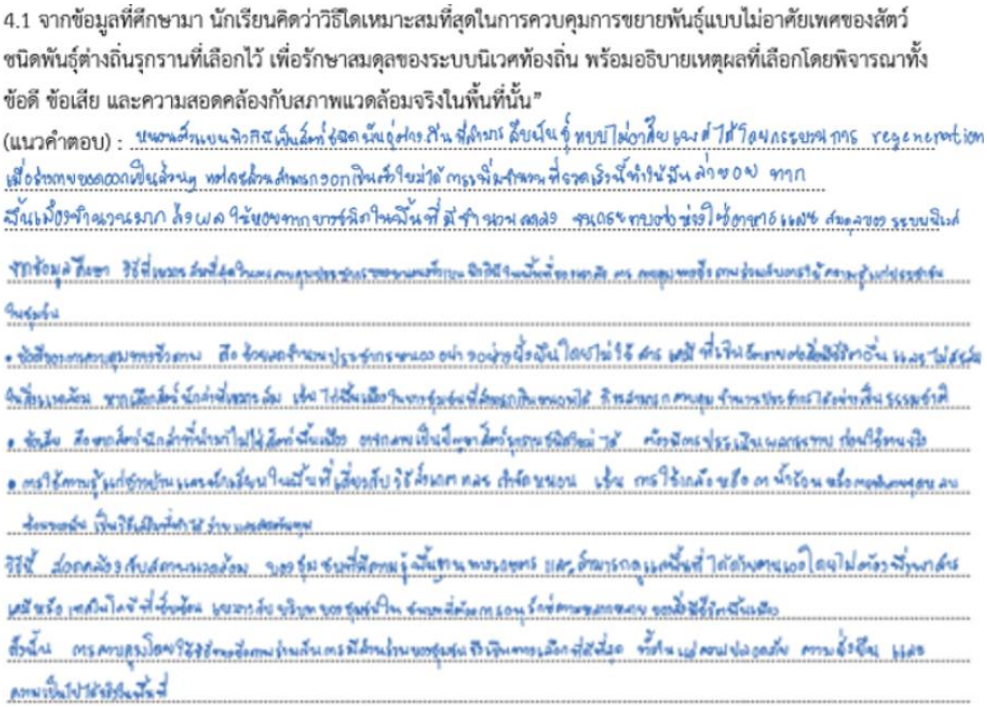
หอยทากแอฟริกาเป็นสัตว์ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นสามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้วิธีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและแบบอาศัยเพศร่วมกัน หอยทากชนิดนี้เป็น hermaphrodite (มีทั้งอวัยวะเพศผู้ และเพศเมีย ในตัวเดียวกัน) ทำ ให้สามารถวางไข่ได้ครั้งละหลายร้อยฟอง ส่งผลประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องพึ่งพาคู่ผสมพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่แบบรุกราน

การขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วนี้ส่งผลต่อระบบนิเวศ เช่น การกินพืชพรรณพื้นเมืองจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างสิ่งมีชีวิตในถิ่นอาศัย และอาจเป็นพาหะของปรสิตที่เป็นอันตรายต่อคน เช่น พยาธิหอยโข่ง หอยทากสัตว์นี้ การควบคุมจำนวนประชากรของหอยทากยักษ์แอฟริกาโดยใช้วิธี กำจัดด้วยมือ และหาศัตรูไข่ การใช้สารเคมี และกับดัก หรือ การใช้สารเคมีอย่างระมัดระวัง ในสิ่งที่ควบคุมได้ วิธีเหล่านี้สามารถลดจำนวนประชากรของหอยทากได้ และร่วมรักษาสมดุลของระบบนิเวศท้องถิ่น ไม่ให้ถูกทำลายโดยสัตว์รุกรานชนิดนี้

ภาพที่ 11 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(4) C (4 คะแนน): นักเรียนกลับมาใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพื่อให้เหตุผลรองรับการเลือกวิธีควบคุมหนอนตัวแบนนิวกินี โดยพิจารณาประโยชน์ ข้อจำกัด และ

ผลกระทบของการควบคุมโดยชีววิธีควบคู่กับการมีส่วนร่วมของชุมชน จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 12)


4.1 จากข้อมูลที่ศึกษามา นักเรียนคิดว่าวิธีใดเหมาะสมที่สุดในการควบคุมการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสัตว์ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานที่เลือกไว้ เพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศท้องถิ่น พร้อมอธิบายเหตุผลที่เลือกโดยพิจารณาทั้งข้อดี ข้อเสีย และความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงในพื้นที่นั้น"

(แนวคำตอบ) :

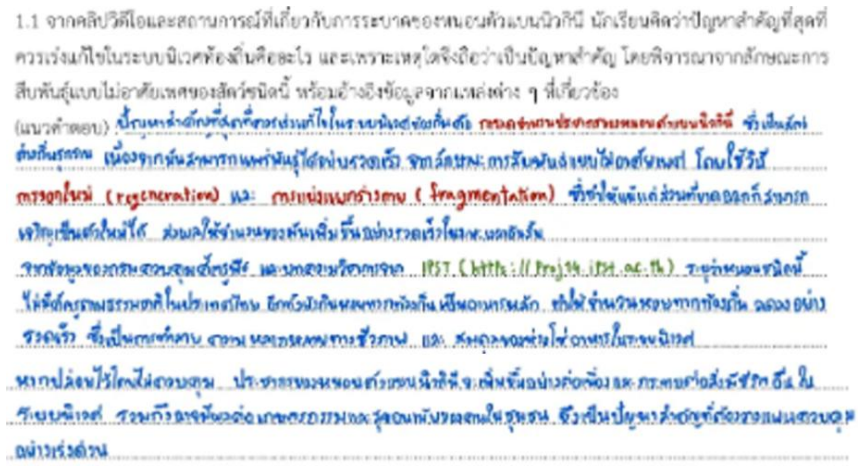
ภาพที่ 12 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

โดยรวม ร่องรอยการคิดสอดคล้องกับรูปแบบ 4-4-3-4 รวม 15 คะแนน โดยข้อจำกัดอยู่เฉพาะในขั้น A เนื่องจากกรณีศึกษาไม่สอดคล้องต่อเนื่องและมีความคลาดเคลื่อนทางชีววิทยาเกี่ยวกับรูปแบบการสืบพันธุ์ การแปลความหมายนี้ใช้เฉพาะนักเรียนเลขที่ 34

1.4 รูปแบบคะแนนรายมิติ P-I-A-C = 4-3-4-4

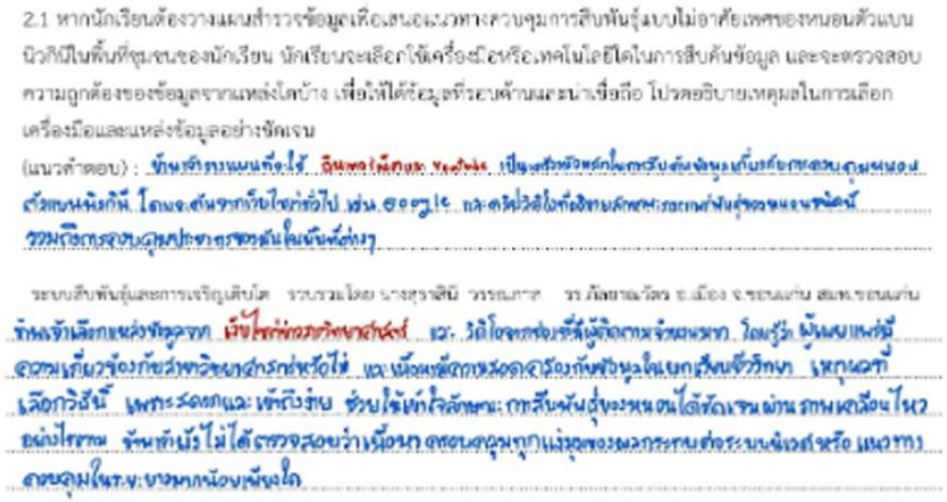
นักเรียน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2.56 มีรูปแบบคะแนนนี้ รวม 15 คะแนน ผู้วิจัยเลือกนักเรียนเลขที่ 27 เป็นกรณีตัวอย่าง

(1) P (4 คะแนน): นักเรียนระบุปัญหาได้อย่างชัดเจน เชื่อมโยงกับการขาดเป็นท่อนและการงอกใหม่ โดยมีหลักฐานจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือหลายแหล่งสนับสนุน และกล่าวถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศอย่างครอบคลุม จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

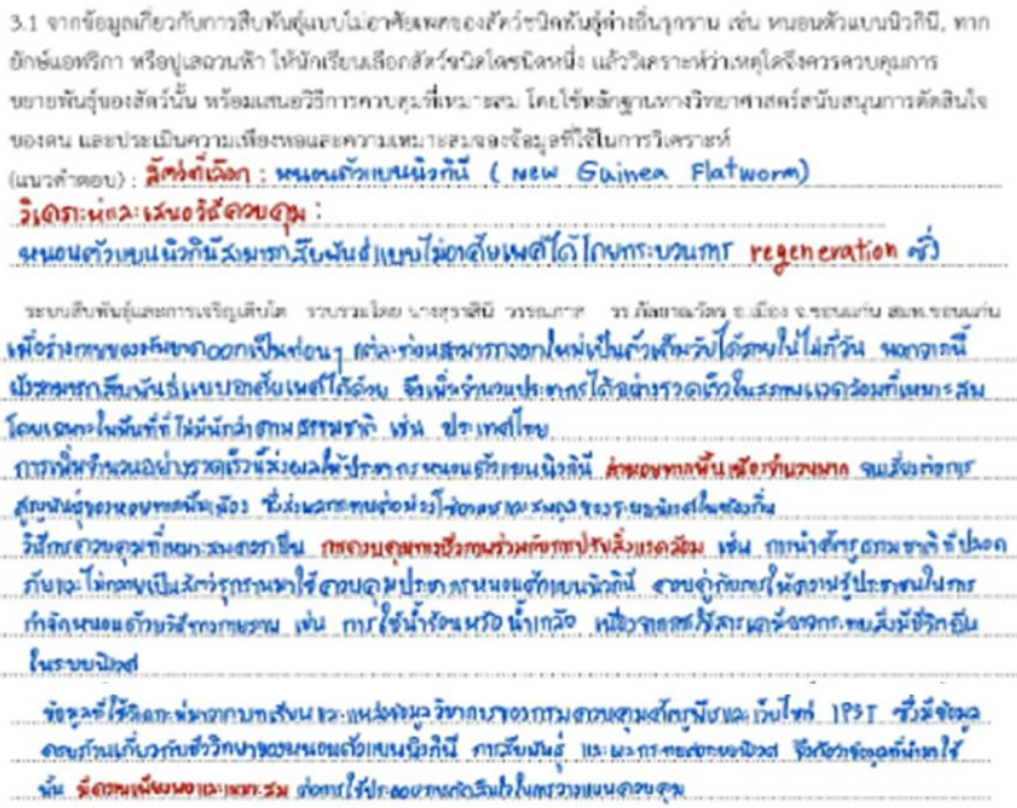
(2) I (3 คะแนน): นักเรียนวางแผนสืบค้นโดยใช้อินเทอร์เน็ตและแหล่งวิดีโอออนไลน์ ศึกษาข้อมูลอย่างน้อย 2 แหล่ง และพิจารณาความน่าเชื่อถือในระดับพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม แผนดังกล่าวมิได้แสดงอย่างชัดเจนว่ามีการตรวจสอบเทียบกับฐานข้อมูลงานวิจัยหรือแหล่งข้อมูลทางการ และยังไม่ครอบคลุมผลกระทบทางนิเวศระยะยาวและแนวทางควบคุมอย่างเพียงพอ จึงยังไม่บรรลุเกณฑ์ระดับ 4 (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(3) A (4 คะแนน): นักเรียนใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์เรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศอธิบายการเพิ่มจำนวนประชากรได้ถูกต้องและเป็นระบบ เชื่อมโยงกับผลกระทบต่อระบบนิเวศ เสนอแนวทาง

ควบคุมที่สอดคล้องกับหลักชีววิทยา และประเมินความน่าเชื่อถือและความเพียงพอของหลักฐาน จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่15)


3.1 จากข้อมูลเกี่ยวกับการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสัตว์ชนิดหนึ่งต่างถิ่นรุกราน เช่น หนอนตัวแบนนิวกินี, ทาก ยักษ์แอฟริกา หรือปูเสฉวนเล็ก ให้นักเรียนเลือกสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง แล้ววิเคราะห์ว่าเหตุใดจึงควรควบคุมการ ขยายพันธุ์ของสัตว์นั้น พร้อมเสนอวิธีการควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์สนับสนุนการตัดสินใจ ของตน และประเมินความเพียงพอและความเหมาะสมของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

(แนวคำตอบ) : สัตว์ที่เลือก : หนอนตัวแบนนิวกินี (new Guinea Flatworm)

วิเคราะห์และเสนอวิธีควบคุม :

หนอนตัวแบนนิวกินีสามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้โดยกระบวนการ regeneration คือ

ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต รวบรวมโดย นางสุธาสินี วรรณภาส รร.กัลยาณวัตร อ.เมือง จ.ขอนแก่น สพม.ขอนแก่น

เพื่อร่างกายของมันขาดออกเป็นท่อนๆ แต่ละท่อนสามารถงอกใหม่เป็นตัวเต็มวัยได้ภายในไม่กี่วัน นอกจากนี้ มันยังสามารถสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้อีกด้วย จึงเพิ่มจำนวนประชากรได้อย่างรวดเร็วในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่มีนักล่าตามธรรมชาติ เช่น ประเทศไทย

การที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ส่งผลให้ประชากรหนอนตัวแบนนิวกินี ส่งผลกระทบต่อ ระบบนิเวศ สูญพันธุ์ของหอยทากพื้นเมือง ซึ่งส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและความสมดุลของระบบนิเวศในที่สุด

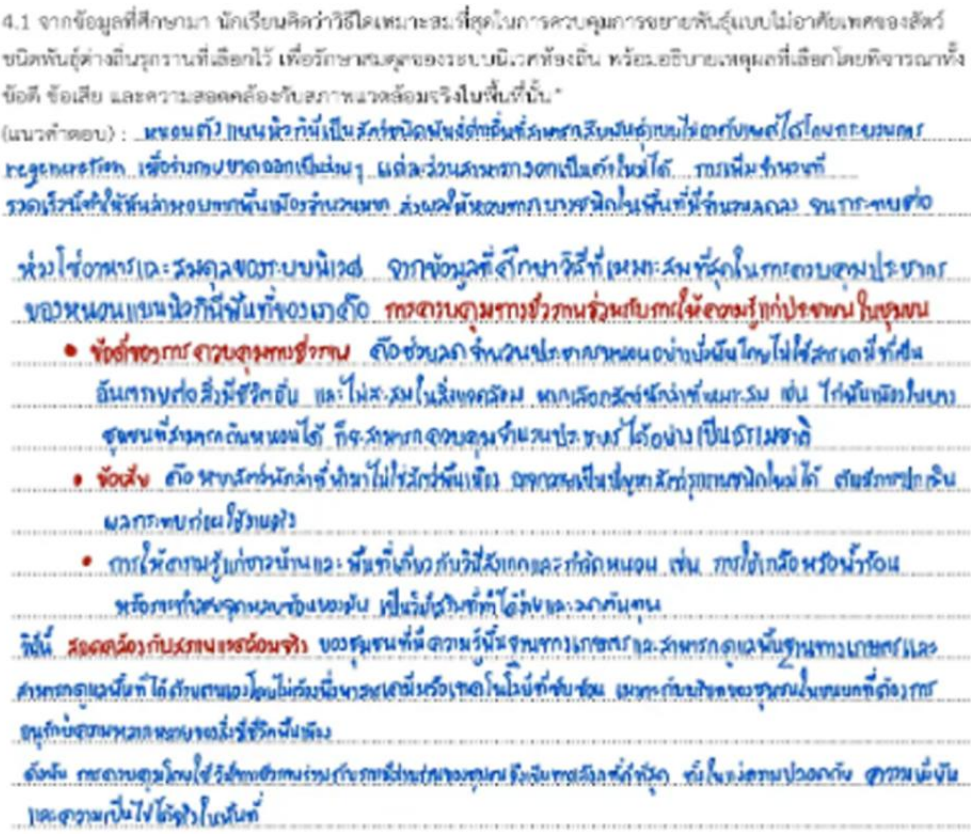
วิธีการควบคุมที่เหมาะสมมีดังนี้ การควบคุมทางชีวภาพโดยปล่อยสิ่งมีชีวิตศัตรูธรรมชาติ เช่น การนำสัตว์ธรรมชาติที่ปลอดภัยจะไม่กลายเป็นสัตว์รุกรานมาใช้ควบคุมประชากรหนอนตัวแบนนิวกินี ควบคู่กับการให้ความรู้ประชาชนในการกำจัดหนอนตัวแบนวิธีทางกายภาพ เช่น การใช้น้ำร้อนหรือน้ำเกลือ เนื่องจากสัตว์สามารถทำลายสิ่งมีชีวิตอื่นในระบบนิเวศ

ข้อมูลที่ใช้ได้มาจากบทเรียน และแหล่งข้อมูลวิชาการของกรมควบคุมโรคกรมอนามัย และเว็บไซต์ IPST ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับชีววิทยาของหนอนตัวแบนนิวกินี การสืบพันธุ์ และผลกระทบของมัน จึงถือว่าข้อมูลที่นำมาใช้นั้น มีความเพียงพอและเหมาะสม ต่อการใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนควบคุม

ภาพที่ 15 ตัวอย่างร่องรอยการคิดของนักเรียนตามกระบวนการ P–I–A–C จากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 21.1

(4) C (4 คะแนน): นักเรียนสามารถลงความเห็นและตัดสินใจเลือกแนวทางควบคุมจำนวนและการแพร่กระจายของหนอนตัวแบนนิวกินีโดยใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเป็นฐาน นักเรียนพิจารณาทั้งข้อดี ข้อจำกัด และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการควบคุมทางชีวภาพ รวมทั้งเชื่อมโยงแนวทางที่เลือกกับสภาพแวดล้อมและความเป็นไปได้ในการปฏิบัติของชุมชน การตัดสินใจ

ดังกล่าวจึงคำนึงถึงความปลอดภัย ความยั่งยืน และการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ จึงบรรลุเกณฑ์ระดับ 4 อย่างครบถ้วน (ภาพที่ 16)



4. สรุปผลและอภิปรายผล

4.1 สรุปผล

การศึกษาครั้งนี้ศึกษาผลของนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุงที่มีต่อสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการใช้ระยะที่ 2 (R3 ปีการศึกษา 2568) โดยใช้เนื้อหาเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นรุกรานเป็นบริบทการจัดการเรียนรู้ ผลการวิจัยแสดงว่านวัตกรรมมีประสิทธิผลสูงในการพัฒนาสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ดังเห็นได้จากการกระจายของนักเรียนตามรูบริก 4 ระดับ กล่าวคือ นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 84.62 (33 คน) อยู่ในระดับดีเยี่ยม รองลงมาร้อยละ 10.26 (4 คน) อยู่ในระดับดี และระดับพอใช้ ร้อยละ 5.13 (2 คน) และไม่มีผู้ที่อยู่ในระดับควรปรับปรุง

ผลดังกล่าวชี้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถดำเนินวงจรการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้ครบถ้วนตามนิยามเชิงปฏิบัติของกรอบ P-I-A-C ได้แก่ ระบุปัญหาโดยเชื่อมโยงกลไกทางชีววิทยา เช่น การขาดเป็นท่อนและการงอกใหม่ กับผลกระทบทางนิเวศและเศรษฐกิจสังคมในโลกจริง วางแผนและดำเนินการ

สืบค้นตรวจสอบอย่างเป็นระบบโดยใช้เครื่องมือที่มีเหตุผลรองรับและแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือหลายแหล่ง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเชื่อมโยงหลักวิทยาศาสตร์กับแนวทางแก้ปัญหาที่เสนอ และลงข้อสรุปด้วยการตัดสินใจที่มีเหตุผลและไวต่อบริบท โดยชั่งน้ำหนักประโยชน์เทียบกับความเสี่ยงทางนิเวศ

ระดับคุณภาพของคำตอบที่ไล่เรียงกัน ตั้งแต่การให้เหตุผลอย่างครอบคลุมด้วยข้อมูลหลายแหล่งของนักเรียนระดับดีเยี่ยม ไปจนถึงคำอธิบายจากแหล่งข้อมูลเพียงแหล่งเดียวและขาดความลุ่มลึกเชิงกลไกของนักเรียนระดับควรปรับปรุง เป็นหลักฐานเชิงคุณภาพที่เข้มแข็งว่า นวัตกรรม CT-HOT in Bio สามารถประคับประคองนักเรียนไปสู่ผลลัพธ์การคิดขั้นสูงได้สำเร็จ อย่างไรก็ตาม นักเรียนกลุ่มย่อยร้อยละ 5.13 ยังคงต้องการความช่วยเหลือทางการสอนแบบตรงจุด เพื่อเพิ่มความลุ่มลึกของการวิเคราะห์และการให้เหตุผลตามบริบท

4.2 อภิปรายผล

4.2.1 ประสิทธิผลของการฝังการคิดอย่างมีวิจารณญาณไว้ในบริบทวิทยาศาสตร์กับสังคม

ผลการปฏิบัติที่เข้มแข็งของนักเรียนส่วนใหญ่ ซึ่งร้อยละ 94.88 อยู่ในระดับดีและดีเยี่ยม สนับสนุนเชิงประจักษ์ต่อองค์ความรู้ที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับการนำเนื้อหาชีววิทยาไปวางไว้ในบริบททางสังคมและนิเวศที่เป็นจริง การออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศกับปัญหาจริงของการจัดการชนิดพันธุ์รุกราน สอดคล้องกับ Thoman et al. (2025) และ Busch et al. (2026) ซึ่งเสนอว่า การทำให้การสอนชีววิทยาอยู่ในบริบทของประเด็นทางสังคมช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมของนักเรียนและทำให้วิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือสำหรับรับมือกับความท้าทายของสังคม

สัดส่วนที่สูงของนักเรียนซึ่งสามารถเชื่อมโยงกลไกการสืบพันธุ์กับผลกระทบทางนิเวศ การเกษตร และเศรษฐกิจ แทนที่จะมองการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเป็นเพียงข้อเท็จจริงที่แยกออกจากบริบท สอดคล้องกับ Sadler et al. (2016) และ Young et al. (2023) ซึ่งพบว่า การมีส่วนร่วมเชิงวิจารณญาณกับความเชื่อมโยงระหว่างวิทยาศาสตร์กับสังคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความรอบรู้ในเนื้อหา ข้อค้นพบนี้ชี้ว่า นวัตกรรม CT-HOT in Bio มิได้เพียงถ่ายทอดเนื้อหาเรื่องการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ แต่ยังพัฒนาการให้เหตุผลที่ตั้งอยู่ในบริบททางสังคมได้สำเร็จ ซึ่ง Lin et al. (2023) ระบุว่าเป็นสมรรถนะหลัก ได้แก่ การลงมือปฏิบัติ ความฉลาดรู้ และการแก้ปัญหา ที่หลักสูตรชีววิทยาทั่วโลกมุ่งพัฒนามากขึ้น

4.2.2 บทบาทของการเสริมต่อการเรียนรู้และพื้นที่รอยต่อพัฒนาการ

รูปแบบคำตอบของนักเรียนที่ไล่ระดับกัน ตั้งแต่การให้เหตุผลอย่างครอบคลุมด้วยข้อมูลหลายแหล่งที่นักเรียนแสวงหาได้อย่างอิสระในระดับดีเยี่ยม ไปจนถึงการพึ่งเครื่องมือหรือแหล่งข้อมูลเพียงแหล่งเดียวที่ครูจัดให้ในระดับควรปรับปรุง เป็นภาพเชิงประจักษ์โดยตรงของแนวคิดพื้นที่รอยต่อพัฒนาการของ

Vygotsky (1978, 1986) นักเรียนที่บรรลุระดับดีเยี่ยมแสดงความสามารถในการก้าวพ้นคำแนะนำที่ได้รับโดยบูรณาการข้อมูลหลายแหล่งและสร้างสมมติฐานด้วยตนเอง ขณะที่นักเรียนระดับต่ำกว่ายังคงพึ่งพาจุดเริ่มต้นที่ได้รับการประคับประคองเพียงเล็กน้อย เช่น เครื่องมือหนึ่งชนิดหรือการอ้างอิงหนึ่งแหล่ง

รูปแบบนี้ยืนยันเหตุผลทางการสอนที่อยู่เบื้องหลังชุดคำถามประคับประคองทางปัญญาซึ่งบรรจุใน CT-HOT in Bio กล่าวคือ การจัดโครงสร้างคำถามแบบสืบเสาะที่มีการชี้แนะในแต่ละขั้น P-I-A-C ทั้ง 4 ขั้น ดูเหมือนจะสร้างเงื่อนไขของ “การปฏิบัติที่ได้รับความช่วยเหลือ” ตามคำอธิบายของ Chaiklin (2003) และ van de Pol et al. (2010) ทำให้นักเรียนส่วนใหญ่ซึมซับกระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณและนำไปใช้ได้อย่างอิสระ ส่วนนักเรียนร้อยละ 5.13 ที่เหลือ ซึ่งแสดงความเข้าใจเชิงกลไกอย่างกระจัดกระจายและให้เหตุผลจากแหล่งข้อมูลเดียว อาจเป็นนักเรียนที่พื้นที่รอยต่อพัฒนาการของตนต้องการการช่วยเหลือที่เข้มข้นหรือเป็นรายบุคคลมากกว่าที่การออกแบบปัจจุบันจัดให้ การแปลความหมายนี้ชี้ไปยังประเด็นรูปธรรมสำหรับการปรับปรุงแบบวนซ้ำในการนำไปใช้ครั้งต่อไป

4.2.3 ความสอดคล้องกับกรอบ P-I-A-C และมาตรฐานสมรรถนะระดับชาติ

โครงสร้างผลการปฏิบัติของนักเรียน 4 มิติ ได้แก่ การระบุปัญหา การสืบค้นตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการลงข้อสรุป/ประเมินผล สะท้อนและยืนยันกรอบ P-I-A-C ในเชิงประจักษ์ ซึ่งสังเคราะห์จาก Watson and Glaser (1980), Paul (1993) และ Nekmanurak (1994) ที่สำคัญ ความแตกต่างเชิงคุณภาพระหว่างระดับผลการปฏิบัติสอดคล้องอย่างใกล้ชิดกับสมรรถนะย่อยที่กรอบเหล่านี้กำหนด นักเรียนระดับดีเยี่ยมแสดง “การตระหนักรู้ข้อตกลงเบื้องต้น” และ “การประเมินข้อโต้แย้ง” ตามแนวคิดของ Watson and Glaser รวมทั้งให้ความสำคัญกับ “ผลนัยและผลที่ตามมา” ตามแนวคิดของ Paul (1993) โดยพิจารณาความเสี่ยงทางนิเวศอย่างชัดเจน เช่น ความเป็นไปได้ที่ผู้ล่าที่นำเข้ามาอาจกลายเป็นชนิดพันธุ์รุกรานชนิดใหม่ ในทางตรงข้าม การที่นักเรียนระดับควรปรับปรุงไม่สามารถเปรียบเทียบวิธีควบคุมทางเลือกหรือคาดการณ์ผลกระทบทางนิเวศลำดับที่สอง สะท้อนข้อบกพร่องที่กรอบเหล่านี้เชื่อมโยงกับการคิดระดับต่ำหรือการคิดอย่างมีวิจารณญาณที่ไม่สมบูรณ์อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ การที่นักเรียนร้อยละ 84.62 บรรลุระดับดีเยี่ยม ซึ่งมีลักษณะคือ สามารถอ้างหลักฐานหลายแหล่ง ให้เหตุผลรองรับการตัดสินใจโดยชั่งน้ำหนักข้อดีและข้อเสียหลายมิติ และลงข้อสรุปที่ถูกต้องและมีเหตุผล สอดคล้องอย่างใกล้ชิดกับคำอธิบายความสามารถระดับ 9 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ตามกรอบ CBE ของประเทศไทย (Office of the Education Council, 2021) ในสมรรถนะหลักที่ 2 ความสามารถในการคิด ความสอดคล้องนี้แสดงว่า นวัตกรรม CT-HOT in Bio มิได้มีเพียงรากฐาน

ทางทฤษฎีเท่านั้น แต่ยังมีประสิทธิผลในทางปฏิบัติในการพัฒนานักเรียนส่วนใหญ่ให้มุ่งสู่เกณฑ์ความสามารถระดับชาติที่กำหนดไว้สำหรับช่วงวัยนี้

4.2.4 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ผ่านมา

ข้อค้นพบของการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับและต่อยอดงานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสอนการคิดอย่างมีวิจารณญาณในการศึกษาชีววิทยา Bauphitak et al. (2024) พัฒนาหน่วยการเรียนรู้เรื่องการสืบพันธุ์ของพืชดอกภายใต้กรอบ STS และพบในทำนองเดียวกันว่า การฝังเนื้อหาชีววิทยาการสืบพันธุ์ไว้ในการประยุกต์ใช้จริงด้านการเกษตรและพืชสวน ช่วยพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการระบุปัญหา ประเมินหลักฐาน และลงข้อสรุปอย่างมีเหตุผลได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งขนานกับรูปแบบที่พบในการศึกษาครั้งนี้ที่ใช้การจัดการชนิดพันธุ์รุกรานเป็นบริบทประยุกต์

ในทำนองเดียวกัน Wongsila and Yuenyong (2019) แสดงให้เห็นว่า เนื้อหาพันธุศาสตร์ที่จัดโครงสร้างรอบภาระงานการตัดสินใจซึ่งมีความสำคัญทางจริยธรรมและสังคม สามารถส่งเสริมทั้งการคิดอย่างมีวิจารณญาณและความสามารถในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิผล ความสอดคล้องระหว่างข้อค้นพบปัจจุบันกับงานวิจัยเหล่านี้ยืนยันข้อเสนอว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณจะพัฒนาได้อย่างเข้มแข็งที่สุดมิใช่ในฐานะผลที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญจากการถ่ายทอดเนื้อหา แต่เกิดจากการจงใจจัดโครงสร้างภาระงานการตัดสินใจที่กำหนดให้นักเรียนชั่งน้ำหนักหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เทียบกับข้อพิจารณาด้านการปฏิบัติ นิเวศ และจริยธรรม ซึ่งตรงกับตรรกะการออกแบบของนวัตกรรม CT-HOT in Bio ที่ใช้สถานการณ์ชนิดพันธุ์รุกรานและกำหนดให้นักเรียนเสนอพร้อมให้เหตุผลรองรับกลยุทธ์ควบคุมประชากร

4.2.5 นัยสำคัญต่อนักเรียนส่วนน้อยที่มีผลการปฏิบัติต่ำกว่า

แม้ผลโดยรวมจะเป็นที่น่าพอใจ แต่นักเรียนร้อยละ 5.13 ที่จัดอยู่ในระดับพอใช้และไม่มีผู้ที่อยู่ในระดับควรปรับปรุง ยังเป็นกลุ่มที่ควรให้ความสำคัญเป็นพิเศษ จุดอ่อนที่พบเป็นลักษณะร่วม ได้แก่ การพึ่งพาแหล่งข้อมูลเพียงแหล่งเดียว การไม่สามารถเชื่อมโยงกลไกทางชีววิทยากับผลกระทบทางนิเวศในวงกว้าง และการไม่พิจารณาแนวทางแก้ปัญหาทางเลือกหรือเชิงเปรียบเทียบ จุดอ่อนเหล่านี้ชี้ว่า นักเรียนอาจยังไม่ก้าวพ้นองค์ประกอบด้าน “ความรู้” ของการคิดอย่างมีวิจารณญาณตามแนวคิดของ Watson and Glaser ไปสู่การประยุกต์ใช้ “ทักษะ” แบบบูรณาการ

ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับข้อควรระวังในวรรณกรรมวงกว้าง เช่น Thoman et al. (2025) ที่ว่าหากปราศจากการเสริมต่อการเรียนรู้อย่างจงใจและต่อเนื่อง เนื้อหาที่อยู่ในบริบททางสังคมเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่จะรับประกันว่านักเรียนทุกคนจะมีพัฒนาการด้านการคิดขั้นสูง ดังนั้น ผลการวิจัยจึงสนับสนุนข้อเสนอแนะของผู้วิจัยให้พัฒนากิจกรรมการเสริมต่อการเรียนรู้เพิ่มเติมเป็นรายบุคคลสำหรับ

นักเรียนกลุ่มนี้ อาจใช้คำถามประคับประคองทางปัญญาที่แบ่งย่อยละเอียดขึ้น หรือโครงสร้างการเรียนรู้ที่เพื่อนช่วยเพื่อน ซึ่งมุ่งตรงไปยังพื้นที่รอยต่อพัฒนาการเฉพาะของนักเรียนแต่ละคนได้แม่นยำยิ่งขึ้น

4.2.6 สรุป

เมื่อพิจารณาร่วมกัน ข้อค้นพบยืนยันว่านวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ CT-HOT in Bio ฉบับปรับปรุงที่ใช้ในระยะ R3 ปีการศึกษา 2568 ทำให้สมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยนักเรียนส่วนใหญ่บรรลุผลการปฏิบัติระดับดีเยี่ยมหรือดี ผลการวิจัยให้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่สอดคล้องกันเพื่อสนับสนุนการจัดการเรียนรู้บนฐานประเด็นวิทยาศาสตร์กับสังคม ทฤษฎีการเสริมต่อการเรียนรู้ของ Vygotsky และกรอบการคิดอย่างมีวิจารณญาณ P-I-A-C พร้อมทั้งระบุกลุ่มนักเรียนเฉพาะที่ควรได้รับการปรับปรุงทางการสอนเพิ่มเติม ข้อค้นพบเหล่านี้มีส่วนสนับสนุนข้อถกเถียงระดับนานาชาติและระดับชาติเกี่ยวกับการศึกษาชีววิทยาฐานสมรรถนะ โดยแสดงรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เป็นรูปธรรม สามารถนำไปใช้ซ้ำ และสามารถพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณอย่างเป็นระบบภายใต้หัวข้อชีววิทยาที่เป็นจริงและสัมพันธ์กับระบบนิเวศ

เอกสารอ้างอิง

American Association for the Advancement of Science. (2011). *Vision and change in undergraduate biology education: A call for action*.

Attapan, N., & Yuenyong, C. (2019). Explicit nature of science in the STS contact lens "big eyes" unit. *Journal of Physics: Conference Series, 1340*(1), Article 012066. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1340/1/012066

Bauphitak, R., Maneelam, P., & Yuenyong, C. (2024). Development of Grade 11 students' the 21st century skills about critical thinking in learning about reproduction of flowering plants through science technology and society (STS) approach. *International Journal of Science Education and Teaching, 3*(1), 38–50. https://doi.org/10.14456/ijset.2024.4

Busch, C. A., Meuler, M., & Theobald, E. J. (2026). National biology learning objectives and assessment questions often overlook science's connection to society. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 8*, Article 11. https://doi.org/10.1186/s43031-026-00159-x

Chaiklin, S. (2003). The zone of proximal development in Vygotsky's analysis of learning and instruction. In A. Kozulin, B. Gindis, V. S. Ageyev, & S. M. Miller (Eds.), *Vygotsky's educational theory in cultural context* (pp. 39–64). Cambridge University Press.

Chantaranima, T., & Yuenyong, C. (2014). The outcomes of teaching and learning about sound based on science technology and society (STS) approach. *Procedia—Social and Behavioral Sciences, 116*, 2286–2292. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.559

Chitnork, A., & Yuenyong, C. (2018). Grade 10 Thai students' scientific argumentation in

learning about electric field through science, technology, and society (STS) approach. *AIP Conference Proceedings, 1923*(1), Article 030013. https://doi.org/10.1063/1.5019504

Freire, P. (1970). *Pedagogy of the oppressed* (M. B. Ramos, Trans.). Herder and Herder.

Jimakorn, N., & Yuenyong, C. (2018). Thai primary students' understanding of nature of science (NOS) in learning about force and motion for explicit NOS through STS approach. *AIP Conference Proceedings, 1923*(1), Article 030063. https://doi.org/10.1063/1.5019554

Ladson-Billings, G. (1995). Toward a theory of culturally relevant pedagogy. *American Educational Research Journal, 32*(3), 465–491. https://doi.org/10.3102/00028312032003465

Ladson-Billings, G. (2014). Culturally relevant pedagogy 2.0: A.k.a. the remix. . *Harvard Educational Review, 84*(1), 74–84. https://doi.org/10.17763/haer.84.1.p2rj131485484751

Lin, S., Wang, J., Li, X., Tang, X., Sun, C., Tan, M., & Luo, T. (2023). Curriculum content mapping of the Chinese National Biology Curriculum Standards for middle school: An analysis from the OECD Education 2030 perspective. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 5*, Article 16. https://doi.org/10.1186/s43031-023-00082-5

Luengam, P., Tupsai, J., & Yuenyong, C. (2018). Grade 7 students' normative decision making in science learning about global warming through science technology and society (STS) approach. *AIP Conference Proceedings, 1923*(1), Article 030059. https://doi.org/10.1063/1.5019550

Nongkhunsarn, A., Yuenyong, C., Tupsai, J., & Sranamkam, T. (2019). Grade 11 student's

mental model of fluid and analytical thinking in science teaching through science technology and society (STS) approach. *Journal of Physics: Conference Series, 1340*(1), Article 012043. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1340/1/012043

Sadler, T. D., Romine, W. L., & Topçu, M. S. (2016). Learning science content through socioscientific issues-based instruction: A multi-level assessment study. *International Journal of Science Education, 38*(10), 1622–1635. https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1204481

Seattha, P., Yuenyong, C., & Art-in, S. (2015). Developing STS circular motion unit for providing students' perception of the relationship between science technology engineering and mathematics. *Mediterranean Journal of Social Sciences, 6*(3 S1), 268–275. https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n3s1p268

Seattha, P., Tupsai, J., Sranamkham, T., & Yuenyong, C. (2016). Students' view on STEM in learning about circular motion through STS approach. *AIP Conference Proceedings, 1775*(1), Article 030063. https://doi.org/10.1063/1.4965183

Suparee, M., & Yuenyong, C. (2021a). Developing the STS electric and electric power unit for design-based STEM activities. *Journal of Physics: Conference Series, 1835*(1), Article 012042. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012042

Suparee, M., & Yuenyong, C. (2021b). Enhancing Grade 11 students' learning and innovation skills in the STS electric unit. *Asia Research Network Journal of Education, 1*(2), 96–113. https://so05.tci-thaijo.org/index.php/arnje/article/view/253809

Tabassum, S., & Dauer, J. M. (2025). Different lenses for equity: Exploring student perspectives of a socioscientific issue. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 7*, Article 24. https://doi.org/10.1186/s43031-025-00144-w

Thoman, D. B., Sutter, C. C., Smith, J. L., & Hulleman, C. S. (2025). Helping students see

and identify purpose and relevance in life sciences courses. *CBE—Life Sciences Education, 24*(3), Article fe4. https://doi.org/10.1187/cbe.22-11-0242

Tupsai, J., Bunprom, S., Saysang, J., & Yuenyong, C. (2019). Students' applying STEM knowledge in learning on the STS-STEM education wave learning unit. *Journal of Physics: Conference Series, 1340*(1), Article 012054. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1340/1/012054

van de Pol, J., Volman, M., & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher–student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review, 22*(3), 271–296. https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Harvard University Press.

Vygotsky, L. S. (1986). *Thought and language* (A. Kozulin, Trans. & Ed.; Rev. ed.). MIT Press. (Original work published 1934)

Yuenyong, C. (2012). An analysis of Grade 12 students' technological capability in learning about electromagnetics through science technology and society approach (STS approach). *Procedia—Social and Behavioral Sciences, 46*, 5085–5093. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.390

Yuenyong, C., & Wongsila, S. (2019). Enhancing Grade 12 students' critical thinking and problem-solving ability in learning of the STS genetics and DNA technology unit. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists, 7*(2), 215–235. https://doi.org/10.17478/jegys.549005

Young, S. A., Newton, A. R., Fowler, S. R., & Park, J. (2023). Critical thinking activities in Florida undergraduate biology classes improves comprehension of climate change. *Journal of Biological Education, 57*(1), 184–195. https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1877785