

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A DIGITAL LEARNING ENVIRONMENT INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PROMOTE SCIENTIFIC LITERACY AMONG GRADE 10 STUDENTS IN BIOLOGY: PHASE 1 - THEORETICAL ANALYSIS AND FRAMEWORK DESIGN

Danucha RUNGRUENG¹ and Anucha SOMABUT¹

1 Department of Innovation Technology and Learning Science, Khon Kaen University, Thailand;
sanucha@kku.ac.th (A. S.) (Corresponding Author)

ABSTRACT

The first phase of this research aimed to analyze and synthesize a conceptual framework for developing a digital learning environment that integrates artificial intelligence to promote scientific literacy among Grade 10 students in Biology. The study was conducted within a Developmental Research framework, specifically Product Research (Type I), based on the model proposed by Richey and Klein (2007). The analysis encompassed five foundational theoretical domains: learning context, scientific literacy, technology, pedagogy, and learning theories — including Piaget's and Vygotsky's constructivist perspectives and cognitive information processing theory — alongside established learning environment models: CLEs, OLEs, SOI, and SLE. The findings yielded a design framework comprising six core components: 1) problem situations, 2) learning resources, 3) knowledge-sharing centers, 4) cognitive tools, 5) scaffolding, and 6) coaching. Artificial intelligence was integrated into the scaffolding component to provide personalized guidance, facilitate scientific reasoning, and stimulate scientific literacy appropriate to each individual learner. The AI-driven scaffolding also enables continuous monitoring of learning progress and adaptive adjustment of support levels. The resulting conceptual framework demonstrates theoretical validity and alignment with learners' contextual needs, serving as a critical foundation for the development of a digital learning environment prototype in the subsequent phase.

Keywords: Learning Environment, Constructivism, Science Literacy

CITATION INFORMATION: Rungrueng, D., & Somabut, A. (2026). Design and Development of a Digital Learning Environment Integrating Artificial Intelligence to Promote Scientific Literacy Among Grade 10 Students in Biology: Phase 1 - Theoretical Analysis and Framework Design. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 29.

การออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัล ที่บูรณาการ ปัญหาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาชีววิทยา: ระยะที่ 1 การวิเคราะห์ทฤษฎีและการ ออกแบบกรอบแนวคิด

دنشا รุ่งเรือง¹ และ อนุชา โสมาบุตร¹

¹ สาขานวัตกรรม เทคโนโลยีและวิทยาการการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น;

sanucha@kku.ac.th (อนุชา) (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

การวิจัยระยะที่ 1 นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และสังเคราะห์กรอบแนวคิดในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัลที่บูรณาการปัญหาประดิษฐ์ เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาชีววิทยา การวิจัยดำเนินการตามกรอบการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) ประเภท Product Research (Type 1) ตามแนวคิดของ Richey and Klein (2007) โดยวิเคราะห์ทฤษฎีพื้นฐาน 5 ด้าน ได้แก่ บริบทการเรียนรู้ ความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ศาสตร์การสอน และทฤษฎีการเรียนรู้ ซึ่งครอบคลุมแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์ของเพียเจต์และวิกตอริก ทฤษฎีพุทธิปัญญานิยม ร่วมกับโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ CLEs, OLEs, SOI และ SLE ผลการวิจัยได้กรอบแนวคิดการออกแบบที่ประกอบด้วย 6 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) สถานการณ์ปัญหา 2) แหล่งการเรียนรู้ 3) ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้ 4) เครื่องมือทางปัญญา 5) ฐานการช่วยเหลือ และ 6) การโค้ช โดยปัญหาประดิษฐ์ถูกบูรณาการเข้ากับองค์ประกอบด้านฐานการช่วยเหลือ เพื่อให้คำแนะนำและกระตุ้นความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างเหมาะสมกับผู้เรียนเป็นรายบุคคล รวมถึงกำกับดูแลการเรียนรู้และปรับระดับความช่วยเหลือได้อย่างต่อเนื่องซึ่งพบว่ากรอบแนวคิดที่ได้มีความเที่ยงตรงเชิงทฤษฎีและสอดคล้องกับบริบทของผู้เรียน อันจะเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาต้นแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัลในระยะถัดไป

คำสำคัญ: สิ่งแวดล้อมการเรียนรู้, คอนสตรัคติวิสต์, ความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์

ข้อมูลอ้างอิง: دنشا รุ่งเรือง และ อนุชา โสมาบุตร. (2569). การออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัลที่บูรณาการปัญหาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาชีววิทยา: ระยะที่ 1 การวิเคราะห์ทฤษฎีและการออกแบบกรอบแนวคิด. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 29.

บทนำ

ในปัจจุบันโลกได้ก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 ซึ่งเป็นยุคแห่งพัฒนาการทางเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการดำเนินงานขององค์กรต่าง ๆ ทั่วโลก โดยในระบบของอุตสาหกรรมพบว่าเครื่องจักรกลได้เข้ามามีบทบาททดแทนแรงงานมนุษย์อย่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตลาดแรงงานในปัจจุบันมุ่งเน้นการสรรหาบุคลากรที่มีทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ ทักษะด้านเทคโนโลยีดิจิทัล และทักษะด้านการสื่อสาร (Partnership for 21st Century Skills, 2007) ดังนั้นการพัฒนาทุนมนุษย์ภายในประเทศเพื่อให้มีทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อโลกในอนาคต โดยเฉพาะความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการใช้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ที่มุ่งส่งเสริมการพัฒนากำลังคนสำหรับโลกยุคใหม่ในมิติต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่อยู่ในช่วงวัยการศึกษาในระดับขั้นพื้นฐาน ที่มุ่งเน้นให้มีทักษะการคิดขั้นสูง เพื่อพัฒนาบุคลากรที่มีสมรรถนะสูงและตอบสนองต่อความต้องการของตลาดแรงงานทั้งในปัจจุบันและอนาคต (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2565) ดังนั้นภาคการศึกษาถือว่ามีความสำคัญและจำเป็นต้องมีการตระหนักและส่งเสริมเพื่อให้ผู้เรียนพร้อมเข้าสู่โลกในยุคศตวรรษที่ 21 ตามแผนการศึกษาแห่งชาติ (พ.ศ. 2560 - 2579) ระยะ 20 ปี ที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณลักษณะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (3Rs8Cs) (สำนักงานเลขาธิการ, 2560)

ในปัจจุบันความฉลาดรู้วิทยาศาสตร์ (science literacy) ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นในการเตรียมเยาวชนให้เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถในการการตัดสินใจประเด็นปัญหาทางสังคมที่เกิดจากผลกระทบทางวิทยาศาสตร์ โดยเป้าหมายหลักสำคัญของการตระหนักถึงความสำคัญวิทยาศาสตร์ คือการส่งเสริมให้ทุกคนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์และสามารถนำความรู้ ทักษะทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในชีวิตประจำวันและสื่อสารร่วมกับผู้อื่นได้ ดังนั้นการจัดการเรียนรู้จึงควรมุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความพร้อมและได้รับการพัฒนาในด้านของความรู้ ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการดำเนินชีวิตในยุคของโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือในศตวรรษที่ 21 (กฤษฎี เพี้ยมาก และจิตติยา บงกชเพชร, 2566) อย่างไรก็ตามความฉลาดรู้วิทยาศาสตร์ ของนักเรียนไทยยังพบว่าอยู่ในระดับต่ำซึ่งแสดงได้จากผลการประเมินในปีล่าสุดพบว่าค่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนไทยในด้านวิทยาศาสตร์มีคะแนน 409 คะแนน ซึ่งลดลงจาก PISA 2018 และต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ OECD ที่กำหนดไว้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์, 2566) อีกทั้งจากการวิเคราะห์หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) สารชีววิทยาเรื่องการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม พบว่าหลักสูตรมุ่งพัฒนาความรู้ของผู้เรียนจากการอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามแนวคิดของเมนเดล สู่การทำความเข้าใจกลไกในระดับเซลล์และโมเลกุล ครอบคลุมความสัมพันธ์ระหว่างยีน ดีเอ็นเอ โครโมโซม การสังเคราะห์โปรตีน และการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งสอดคล้องกับกรอบสมรรถนะความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) ของ OECD (2025) ทั้งด้านการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ และการใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์และสรุปผล

ซึ่งแนวคิดที่สามารถสนับสนุนหรือแก้ปัญหาจากที่กล่าวมาข้างต้นได้ คือทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism Theory) ที่มีหลักทฤษฎีที่ว่าผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ขึ้นมาด้วยตนเองจากการพบเห็นสิ่งใหม่ รวมเข้ากับความรู้เดิมที่มีมาอยู่ก่อน ผสมเข้ากับการจัดการเรียนรู้บนเว็บ (Web-base learning) ที่เป็นหนึ่งในนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบหนึ่งของการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นการนำลักษณะของสื่อมาสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับผู้เรียน สามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนให้ความสนใจอยู่ตลอดเวลา (Charolin Aprilia, Evita Anggereini, Nazarudin1 and Yuni Ahda, 2023)

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญและความจำเป็นที่ต้องเน้นให้ผู้เรียนมีทักษะในศตวรรษที่ 21 และสอดคล้องกับการเปลี่ยนในอนาคต ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัล ที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาชีววิทยา โดยอาศัยพื้นฐานการออกแบบกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ และนำมาออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อม

ที่มุ่งให้ผู้เรียนได้เรียนเนื้อหา ไปพร้อมกับความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุนี้การวิจัยในระยะที่ 1 จึงมุ่งเน้น การศึกษาหลักการ แนวคิดทฤษฎีและสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบ เพื่อใช้เป็นพหุฐานของการพัฒนา สิ่งแวดล้อมในระยะถัดไป

การทบทวนวรรณกรรม

ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญาของ Jean Piaget (1974) อธิบายว่าการเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างความรู้ขึ้นใหม่ ภายในตัวบุคคลอย่างต่อเนื่อง เพื่อมุ่งไปสู่สภาวะสมดุลทางปัญญา โดยผู้เรียนไม่ได้เป็นเพียงผู้รับข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ทำหน้าที่เป็นผู้สร้างความเข้าใจผ่านการลงมือกระทำ กระบวนการนี้อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างการดูดซึม (Assimilation) ข้อมูลใหม่เข้าสู่โครงสร้างทางความคิดเดิม (Schemata) และ การปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางปัญญา (Accommodation) เมื่อเผชิญกับสิ่งที่ความรู้เดิมไม่สามารถอธิบายได้ และอีกแนวคิดหนึ่งคือ ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ เชิงสังคมของ Vygotsky (1978) ที่เป็นกระบวนการที่ผู้เรียนสร้างความรู้โดยผ่านทาง การมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับผู้อื่น ได้แก่ เด็กกับผู้ใหญ่ พ่อแม่ ครูและเพื่อน ในขณะที่เด็กอยู่ในบริบทของสังคมและวัฒนธรรม รวมทั้งแนวคิดที่เกี่ยวกับ ศักยภาพในการพัฒนาพุทธิปัญญา ที่อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับช่วงของการพัฒนาที่เรียกว่า Zone of proximal development ถ้าผู้เรียนอยู่ต่ำกว่า Zone of proximal development จำเป็นจะต้องได้รับการช่วยเหลือในการเรียนรู้ตาม ระดับความสามารถของผู้เรียน แนวคิดเหล่านี้สนับสนุนการออกแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้ซึ่งเน้นการ ลงมือปฏิบัติ การจัดสถานการณ์ปัญหา และการเรียนรู้ผ่านการสร้างความหมายด้วยตนเอง

ทฤษฎีพุทธิปัญญานิยมเป็นกรอบแนวคิดสำคัญที่อธิบายกระบวนการคิดและการเรียนรู้ของมนุษย์อย่างเป็นระบบ โดย ทฤษฎีการประมวลสารสนเทศของ Klausmeier (1985) ได้อธิบายกระบวนการดังกล่าวเป็นลำดับขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การ รับข้อมูลผ่านระบบประสาทสัมผัส การเก็บข้อมูลในความจำระยะสั้น และการจัดเก็บข้อมูลในความจำระยะยาวเพื่อให้ สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่เดียวกัน Mayer (1996) ได้นำเสนอ SOI Model ซึ่งอธิบายกระบวนการ เรียนรู้ผ่านองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ การเลือกสรรข้อมูล (Selection) การจัดหมวดหมู่ข้อมูล (Organization) และการบูรณาการข้อมูล (Integrating) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการออกแบบแหล่งการเรียนรู้ของสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ใน งานวิจัยนี้

ความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ OECD (2025) คือความสามารถในการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ เข้ากับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับ วิทยาศาสตร์ และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีวิจารณญาณ โดยประกอบด้วย 3 สมรรถนะ ดังนี้ การอธิบาย ปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ การออกแบบและประเมินกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการ แปลความหมายข้อมูลและใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างมีวิจารณญาณ การศึกษาค้นคว้า ประเมิน และใช้ ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อการตัดสินใจและลงมือกระทำ

แนวคิดการฝึกหัดทางปัญญา (Cognitive Apprenticeship) ของ Collins et al. (1986) ที่มุ่งเน้นการช่วยเหลือผู้เรียนให้ สามารถปฏิบัติงานในกิจกรรมที่มีความซับซ้อนได้ โดยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการสาธิตและการแสดงตัวอย่างของ ผู้เชี่ยวชาญประกอบคำอธิบาย นอกจากนี้การโค้ชยังมีบทบาทสำคัญในการติดตาม กำกับ และปรับแก้ความเข้าใจที่ คลาดเคลื่อนของผู้เรียน ตลอดจนส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทที่หลากหลาย ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดดังกล่าวมาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบองค์ประกอบที่เรียกว่า การโค้ช ในสิ่งแวดล้อมทางการ เรียนรู้ในการศึกษาครั้งนี้

โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ที่ได้รับการยอมรับและนำมาใช้เป็นกรอบแนวคิดในงานวิจัยครั้งนี้ มีอยู่ 3 โมเดลสำคัญ ได้แก่ Constructivist Learning Environments (CLEs) ของ Jonassen (1999) ซึ่งให้ความสำคัญ กับการใช้ปัญหาเป็นแรงขับเคลื่อนกระบวนการเรียนรู้ โดยมีการจัดเตรียมแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย เครื่องมือทาง ปัญญา และกิจกรรมที่ส่งเสริมการร่วมมือกันในการแก้ปัญหา นอกจากนี้ยังมี Open Learning Environments (OLEs) ของ Hannafin (1999) ที่มุ่งพัฒนาการคิดแบบอเนกนัยของผู้เรียนผ่านฐานการช่วยเหลือ 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้าน

ความคิดรวบยอด ด้านความคิด ด้านกระบวนการ และด้านกลยุทธ์ และ Situated Learning Environment (SLE) ของ Herrington และ Oliver (2000) ที่เน้นการจัดบริบทและกิจกรรมการเรียนรู้ที่สะท้อนสถานการณ์ความเป็นจริง โมเดลทั้งสามนี้จึงถูกนำมาใช้เป็นรากฐานสำคัญในการออกแบบองค์ประกอบของสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ในงานวิจัยครั้งนี้

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงออกแบบและพัฒนา Type 1 (Product and Tools research) ตามรูปแบบของ Richey & Klein (2007) ซึ่งมุ่งเน้นกระบวนการออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ โดยมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการศึกษาเพื่อสร้างต้นแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ โดยในการศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาในระยะที่ 1 ของการวิจัยประกอบด้วยกระบวนการออกแบบและพัฒนา (Design and Development) แบ่งเป็นสองขั้นตอนที่สำคัญได้แก่

1) การสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิจัยเอกสาร (Documentary Research) อย่างเป็นระบบ โดยใช้เครื่องมือในการศึกษาคือแบบบันทึกการตรวจสอบและวิเคราะห์เอกสาร ซึ่งเป็นการศึกษา รวบรวม ตรวจสอบความถูกต้อง ความสอดคล้อง และความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากเอกสาร งานวิจัย บทความวิชาการ และแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อสกัดสาระสำคัญ จัดหมวดหมู่ข้อมูล และสรุปประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย การศึกษาในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย การศึกษาทฤษฎีการเรียนรู้ การศึกษาบริบท การศึกษาศาสตร์การสอนที่เกี่ยวข้องกับหลักการสำคัญในการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ และการศึกษาเทคโนโลยีในการจัดการเรียนรู้ และการศึกษาความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ หลังจากนั้นผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้มาสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีด้วยแบบบันทึกการสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี ที่เป็นเครื่องมือในการรวบรวม วิเคราะห์ เปรียบเทียบ และเชื่อมโยงแนวคิด หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร งานวิจัย และแหล่งข้อมูลทางวิชาการ แล้วบันทึกสาระสำคัญอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้สังเคราะห์เป็นกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี

2) การสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี (Theoretical framework) มาเป็นพื้นฐานในการสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ โดยผ่านเครื่องมือแบบบันทึกการสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบ ที่เป็นการเชื่อมโยงหลักการ แนวคิด ทฤษฎี และผลการศึกษาจากกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี เพื่อสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบในการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้

ระยะนี้เป็นเพียงขั้นตอนการออกแบบพื้นฐานทางทฤษฎี ยังไม่มีการทดลองใช้หรือเก็บข้อมูลภาคสนาม การพัฒนาเป็นต้นแบบจริง ตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพและผลลัพธ์ จะดำเนินการในระยะที่ 2 และระยะที่ 3 ของการวิจัยเชิงพัฒนาในงานวิจัยฉบับถัดไป

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี และการสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบ

1) การสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี

กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีของสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัล ที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาชีววิทยา ประกอบด้วยพื้นฐาน 5 ด้าน (ภาพที่ 1) ดังนี้

1.1 พื้นฐานด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีสำคัญ 2 ทฤษฎีมาใช้เป็นพื้นฐานทางจิตวิทยาการเรียนรู้ ได้แก่ ทฤษฎีพุทธิปัญญานิยม (Cognitive Theory) ซึ่งมุ่งศึกษากระบวนการคิดภายในสมองของผู้เรียน โดยเฉพาะทฤษฎีการประมวลสารสนเทศ (Information Processing) ที่เน้นศึกษาลำดับขั้นตอนของการประมวลและการค้นคืนสารสนเทศ และทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ซึ่งประกอบด้วยหลักการสำคัญ 2 ประการ คือ ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญา (Cognitive Constructivist) และทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคม (Social Constructivist)

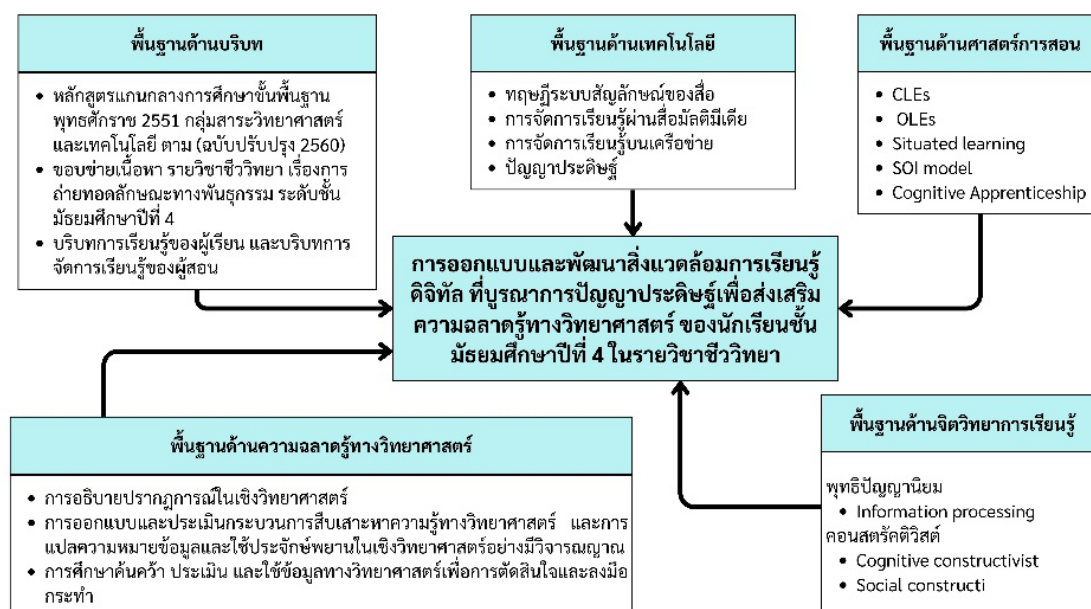
1.2 พื้นฐานด้านศาสตร์การสอน ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์มาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบร่วมกับโมเดลสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่หลากหลาย ได้แก่ OLEs Model, CLEs Model, SOI Model, SLE และ Cognitive Apprenticeship

1.3 พื้นฐานด้านบริบท อ้างอิงหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 รายวิชาชีววิทยา ซึ่งมุ่งให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ เพื่อให้ได้มาซึ่งทักษะทางปัญญาที่เชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการลงมือปฏิบัติจริง (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจบริบทการเรียนรู้ของผู้เรียน จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 80 คน เกี่ยวกับสภาพบริบทการเรียนรู้ผ่านการศึกษาเนื้อหาตามหลักสูตรแกนกลางและการเรียนรู้ด้วยสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ ผลการสำรวจพบว่าผู้เรียนไม่เคยมีประสบการณ์การเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการเรียนรู้ด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้เนื่องจากการจัดการเรียนการสอนยังคงเป็นรูปแบบการถ่ายทอดความรู้จากครูผู้สอนไปยังนักเรียนผ่านการฟังและการจดบันทึก ส่งผลให้ผู้เรียนไม่ได้ผ่านกระบวนการแก้ปัญหาด้วยตนเอง รวมทั้งพบสภาพบริบทจากครูผู้สอน และนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมต่อไป

1.4 พื้นฐานด้านความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้อาศัยกรอบแนวคิดของ OECD (2025) ซึ่งประกอบด้วยสมรรถนะ 3 ด้าน ได้แก่ การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ การออกแบบและประเมินกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการแปลความหมายข้อมูลและใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างมีวิจารณญาณ การศึกษาค้นคว้า ประเมิน และใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อการตัดสินใจและลงมือกระทำ

1.5 พื้นฐานทฤษฎีสื่อและเทคโนโลยี ในการออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้นำคุณลักษณะเฉพาะด้านของเทคโนโลยีและระบบสัญลักษณ์ของสื่อมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ โดยประกอบด้วย 4 แนวคิดหลัก ได้แก่ ทฤษฎีระบบสัญลักษณ์สื่อ การจัดการเรียนรู้ผ่านสื่อมัลติมีเดีย การจัดการเรียนรู้บนเครือข่าย และปัญญาประดิษฐ์



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี

2) การสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบ

การสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัล ที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาชีววิทยา จะถูกสังเคราะห์โดยอาศัยกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี (ดังภาพที่ 2) ซึ่งมุ่งเน้นการสร้างความรู้และความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ พบว่ามีกระบวนการสำคัญ 4 กระบวนการ ดังนี้

2.1 การกระตุ้นโครงสร้างทางปัญญาและส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ การออกแบบในส่วนนี้อาศัยพื้นฐานของทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญา (Cognitive Constructivism Theory) ของ Piaget (1974) ซึ่งเชื่อว่าเมื่อผู้เรียนเผชิญกับสถานการณ์ปัญหาที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive Conflict) ผู้เรียนจะพยายามปรับโครงสร้างทางปัญญาให้เข้าสู่ภาวะสมดุลผ่านกระบวนการดูดซึมและการปรับโครงสร้างทางปัญญา โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ออกแบบองค์ประกอบที่เรียกว่า “สถานการณ์ปัญหา” ซึ่งมีการสร้างและออกแบบเรื่องราวของสถานการณ์ปัญหาตามหลักการ Situated Learning Environment ของ Herrington และ Oliver (2000) เพื่อนำผู้เรียนเข้าสู่บทเรียนในสภาพจริง (Authentic Context) ด้วยการเชื่อมโยงประสบการณ์และความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ ทั้งนี้ผู้เรียนจะต้องใช้ความสามารถทางสติปัญญาในการไตร่ตรองและแก้ปัญหา ผ่านภารกิจการเรียนรู้ที่ได้รับการออกแบบเพื่อกระตุ้นโครงสร้างทางปัญญาและส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ของ OECD (2025) ซึ่งประกอบด้วย 3 สมรรถนะ ได้แก่ การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ การออกแบบและประเมินกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการแปลความหมายข้อมูลและใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างมีวิจารณญาณ การศึกษาค้นคว้า ประเมิน และใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อการตัดสินใจและลงมือกระทำ

2.2 การสนับสนุนการปรับเข้าสู่สมดุลทางปัญญา เมื่อผู้เรียนเข้าสู่สถานการณ์ปัญหาและภารกิจการเรียนรู้ ผู้เรียนจำเป็นต้องแสวงหาความรู้และดำเนินการแก้ปัญหาโดยอาศัยแหล่งทรัพยากร (Resource) ตามหลักการสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิด (Open Learning Environment) ของ Hannafin (1999) ในการนี้ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีการประมวลสารสนเทศของ Klausmeier (1985) และ SOI Model ของ Mayer (1996) มาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบ โดยให้ความสำคัญกับกระบวนการเลือกสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับบทเรียน (Selecting) ในระดับความจำระยะสั้น (Short-term Memory) ผ่านการเน้นสารสนเทศที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การเน้นสี การขีดเส้นใต้ การทำกรอบ และการขยายขนาดตัวอักษร ตลอดจนการจัดหมวดหมู่เพื่อส่งเสริมกระบวนการรู้คิด (Organization) และการบูรณาการสารสนเทศที่ได้รับเข้ากับความรู้เดิมในความจำระยะยาว (Long-term Memory) ผ่านการแสดงภาพประกอบและการยกตัวอย่าง โดยผู้วิจัยได้ออกแบบแหล่งทรัพยากรดังกล่าวภายใต้ชื่อ “แหล่งการเรียนรู้” ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรคงที่ (Static Resources) ที่เนื้อหาไม่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา เช่น หลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ตำรา มัลติมีเดีย หนังสือ และสารานุกรมอิเล็กทรอนิกส์

2.3 การส่งเสริมการขยายโครงสร้างทางปัญญา ผู้วิจัยได้ส่งเสริมการสร้างความรู้ผ่านกระบวนการร่วมมือแก้ปัญหา (Collaboration) บนพื้นฐานทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคม (Social Constructivism) ของ Vygotsky (1978) ที่มุ่งสนับสนุนให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์กับผู้อื่นเพื่อขยายองค์ความรู้ของตนเอง ผ่านแหล่งอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ที่ออกแบบขึ้นในชื่อ “ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้” นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำพื้นฐานเครื่องมือทางปัญญา (Tools) จากหลักการสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิดของ Hannafin (1999) มาใช้เป็นสื่อกลางในการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความใส่ใจและลงมือปฏิบัติกับแหล่งเรียนรู้ โดยประกอบด้วยเครื่องมือสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ เครื่องมือการค้นหา (Seeking) เครื่องมือการจัดหมวดหมู่ (Organization) เครื่องมือการเก็บรวบรวม (Collecting Tool) และเครื่องมือการบูรณาการ (Integrating Tool) โดยเรียกรวมว่า “เครื่องมือทางปัญญา”

2.4 การช่วยเหลือการปรับสมดุลทางปัญญา การออกแบบในส่วนนี้วางอยู่บนพื้นฐานทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคมของ Vygotsky ที่มุ่งเน้นการช่วยเหลือผู้เรียนที่มีระดับความสามารถต่ำกว่า Zone of Proximal Development ผ่านองค์ประกอบที่เรียกว่า “ฐานการช่วยเหลือ” สำหรับผู้เรียนที่ต้องการคำชี้แนะหรือไม่สามารถหาแนวทางในการ

แก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง โดยฐานการช่วยเหลือจะทำหน้าที่แนะนำกลยุทธ์และแนวทางในการแก้ปัญหาตามหลักการจัดฐานการช่วยเหลือของสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิดของ Hannafin (1999) ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ฐานการช่วยเหลือด้านการสร้างความคิดรวบยอด (Conceptual Scaffolding) 2) ฐานการช่วยเหลือด้านการคิด (Metacognition Scaffolding) 3) ฐานการช่วยเหลือด้านกระบวนการ (Procedural Scaffolding) และ 4) ฐานการช่วยเหลือด้านกลยุทธ์ (Strategic Scaffolding) รวมทั้งมีการนำ Cognitive Apprenticeship หรือ การฝึกหัดทางปัญญา ของ Collins et al. (1986) ที่เป็นรูปแบบการสอนที่ผู้ฝึกหัดจะได้เรียนรู้ทักษะผ่านการสังเกต การลงมือทำ และการได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญในสถานการณ์จริง มาประยุกต์ใช้ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) โดยระบบการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลข้อความของผู้เรียนเพื่อทำความเข้าใจความรู้ ความคิด ผ่านการวิเคราะห์เนื้อหา การระบุประเด็นสำคัญ การตรวจสอบการใช้ภาษา และการโต้ตอบผ่านระบบสนทนา ส่งผลให้ครูสามารถติดตามความก้าวหน้า ระบุปัญหา และให้การสนับสนุนการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสรุปคือเพื่อทำหน้าที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และไม่ตอบคำถามโดยตรง เพื่อเป็นการกระตุ้นการพัฒนาความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน และปรับให้เหมาะสมกับศักยภาพและความต้องการของผู้เรียนเป็นรายบุคคล เป็นองค์ประกอบที่เรียกว่า “การโค้ช”

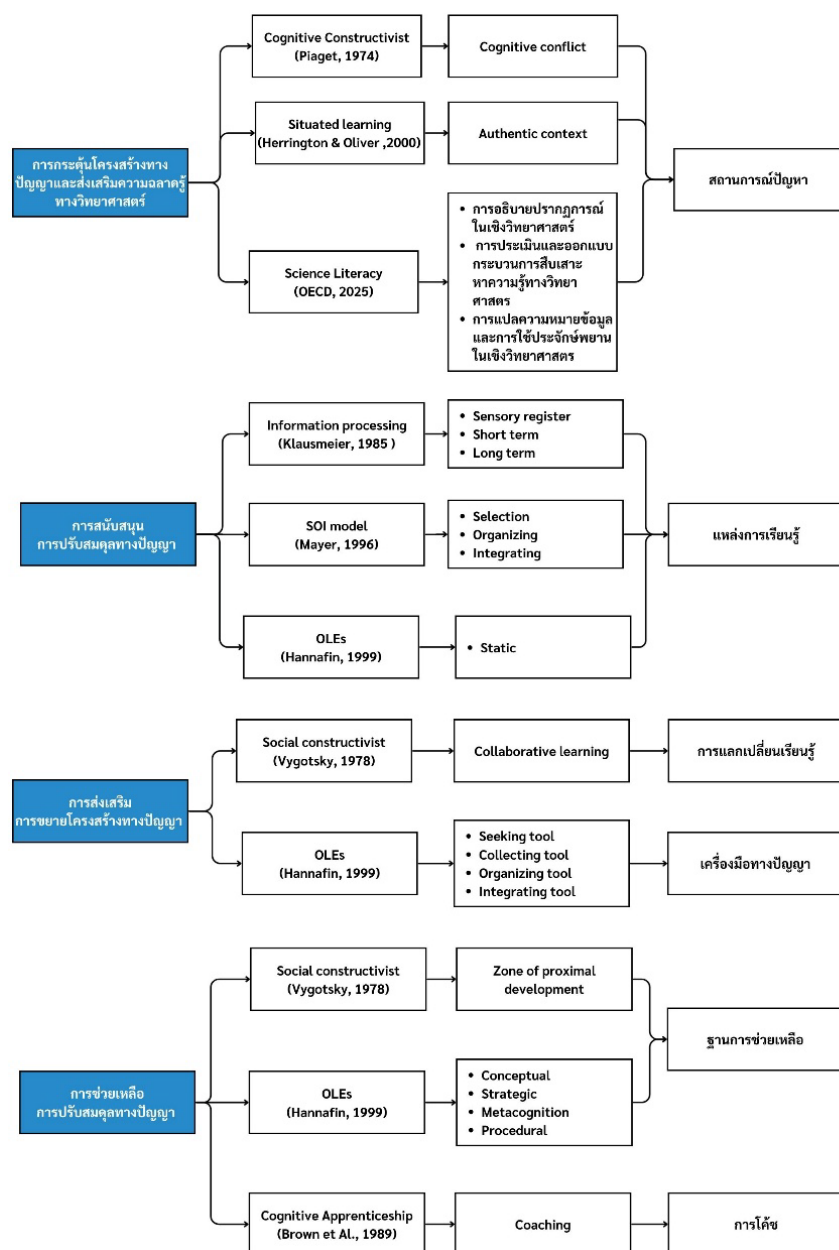
ผลที่ได้จากการสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัล ที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาชีววิทยา ในครั้งนี้ สามารถสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบของสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ได้ทั้งหมด 6 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) สถานการณ์ปัญหา 2) แหล่งการเรียนรู้ 3) ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้ 4) เครื่องมือทางปัญญา 5) ฐานการช่วยเหลือ และ 6) การโค้ช ดังแสดงในภาพที่ 2

บทสรุป

ผลการสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ในครั้งนี้ได้มาจากการวิเคราะห์เอกสาร และศึกษาหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ เพื่อนำมาใช้เป็นรากฐานในการสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี โดยจากการศึกษาพบว่ากรอบแนวคิดดังกล่าวประกอบด้วยพื้นฐานสำคัญ 5 ด้าน ได้แก่ 1) พื้นฐานด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ 2) พื้นฐานด้านศาสตร์การสอน 3) พื้นฐานด้านบริบท 4) พื้นฐานด้านความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ และ 5) พื้นฐานด้านเทคโนโลยี และถูกนำมาสังเคราะห์เป็นกรอบแนวคิดการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการสำคัญ ได้แก่ 1) การกระตุ้นโครงสร้างทางปัญญาและความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ 2) การสนับสนุนการปรับเข้าสู่สมดุลทางปัญญา 3) การส่งเสริมการขยายโครงสร้างทางปัญญา และ 4) การช่วยเหลือการปรับสมดุลทางปัญญา ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งหมด 6 ประการ ได้แก่ (1) สถานการณ์ปัญหา (2) แหล่งการเรียนรู้ (3) เครื่องมือทางปัญญา (4) ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้ (5) ฐานการช่วยเหลือ และ (6) การโค้ช

จุดที่แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาอย่างชัดเจนคือ การนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) โดยอาศัยเทคโนโลยีการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ในการวิเคราะห์ข้อความ คำตอบ และกระบวนการคิดของผู้เรียน เพื่อทำหน้าที่เป็น “การโค้ช” ที่คอยให้คำแนะนำ ตั้งคำถามกระตุ้นการคิด ชี้แนะข้อบกพร่อง และให้ข้อมูลป้อนกลับอย่างเหมาะสมโดยไม่เฉลยคำตอบโดยตรง ผู้เรียนจึงได้ฝึกการอธิบายปรากฏการณ์ทางพันธุกรรมตามกฎของเมนเดล การวิเคราะห์และตีความข้อมูลจากผลการทดลอง ตลอดจนการใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างข้อสรุปด้วยตนเอง นอกจากนี้ ระบบยังสามารถปรับการสนับสนุนให้สอดคล้องกับศักยภาพและความต้องการของผู้เรียนแต่ละคน ส่งผลให้ผู้เรียนพัฒนาสมรรถนะความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ทั้งด้านการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ การใช้ประจักษ์พยานเชิงวิทยาศาสตร์ และการคิดตัดสินใจบนพื้นฐานของเหตุผลและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยผลการสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่ได้นั้นเป็นไปตามหลักการและทฤษฎีในทุก

องค์ประกอบ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการสังเคราะห์กรอบแนวคิดทฤษฎีการออกแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่ถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตามหลักการที่ได้ศึกษาอย่างเป็นลำดับขั้นตอนและมีความชัดเจน เพื่อให้สามารถนำไปสู่การออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในระยะต่อไป



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการออกแบบ

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎี เพ็ชรมาก และ ธิดยา บงกชเพชร. (2566). การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปรากฏการณ์เป็นฐานเพื่อพัฒนาความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เรื่อง มนุษย์และการเปลี่ยนแปลงลมฟ้าอากาศ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1) วารสารร้อยแก่นสาร (Journal of Roi Kaensarn Academi), 8(4), 208-225.

- วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551) โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2566). ผลการประเมิน PISA 2022 <https://pisathailand.ipst.ac.th/>.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้*.
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). *แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560 - 2579*) พริกหวานกราฟฟิค.
- สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ. (2561). *ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561 - 2580)*. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- Aprilia, C., Anggereini, E., Nazarudin, N., & Ahda, Y. (2023). The development of web-based learning media (Glideapps) to improve digital literacy and science literacy about materials human digestive systems. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(3), 1112-1117. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i3.2618>
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1986). *Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing, and mathematics* (Technical Report No. 6459). BBN Laboratories
- Hannafin, M. J., Land, S. M., & Oliver, K. M. (1999). Open learning environments: Foundations, methods, and models. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. 2, pp. 115-140). Lawrence Erlbaum Associates
- Herrington, J., & Oliver, R. (2000). An instructional design framework for authentic learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 48(3), 23-48
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. 2, pp. 215-239). Lawrence Erlbaum Associates
- Mayer, R. E. (1996). Learning strategies for making sense out of expository text: The SOI model for guiding three cognitive processes in knowledge construction. *Educational Psychology Review*, 8(4), 357-371
- OECD. (2023). *PISA 2025 science framework (Draft)*. <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2025-science-framework-draft.pdf>
- Partnership for 21st Century Skills. (2007). *Framework for 21st century learning*
- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence* (M. Piercy & D. E. Berlyne, Trans.). Routledge. (Original work published 1947)
- 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.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).