

DEVELOPING A DESIGN FRAMEWORK FOR AN AI-INTEGRATED SIMULATION LEARNING ENVIRONMENT TO ENHANCE SCIENTIFIC MENTAL MODELS: PHASE 1 - THEORETICAL ANALYSIS AND FRAMEWORK DESIGN

Thipyabhorn NAMWISSET¹ and Nutthakarn MOEIKAO^{1*}

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

ARTICLE HISTORY

Received: 10 April 2026

Revised: 24 April 2026

Published: 16 May 2026

ABSTRACT

This research, part of a Development Research initiative, seeks to formulate a theoretical framework for an AI-integrated simulation learning environment to improve scientific mental models, with a specific emphasis on Phase 1: theoretical analysis and synthesis. The methodology involved documentary research, synthesizing key principles from Constructivist learning theory, Open Learning Environments (OLEs), and AI in education. The results indicated that the synthesized framework, designed for grade 11 students, consists of six core components: 1) Problem-based learning and Learning Tasks to stimulate cognitive processes, 2) Learning resources to support self-directed inquiry, 3) Collaboration Center for communication and conceptual validation, 4) Activating Mental Model Laboratory for constructing and testing internal representations, 5) Scaffolding integrated with AI systems for personalized support, and 6) Coaching to guide and stimulate metacognitive skills. The developed framework serves as a critical foundation for the functional design and innovation development in Phase 2. It aims to empower learners to construct accurate and systematic scientific mental models within a modern, technology-enhanced learning environment.

Keywords: Learning Environment, Artificial Intelligence, Simulation, Scientific Mental Models, Design and Development Research

CITATION INFORMATION: Namwiset, T., & Moeikao, N. (2026). Developing a Design Framework for an AI-Integrated Simulation Learning Environment to Enhance Scientific Mental Models: Phase 1-Theoretical Analysis and Framework Design. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5), 22

การออกแบบกรอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบ สถานการณ์จำลองบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเสริมสร้างเมนทอลโมเดล ทางวิทยาศาสตร์: ระยะที่ 1 การวิเคราะห์ทฤษฎีและออกแบบกรอบแนวคิด

ทิพยาภรณ์ นามวิเศษ¹ และ ณัฐกานต์ เมย์คำ^{1*}

1 สาขานวัตกรรม เทคโนโลยีและวิทยาการการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น;
nuttmo@kku.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเชิงพัฒนา (Development Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีของสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบสถานการณ์จำลองบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อเสริมสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์ โดยนำเสนอผลการวิจัยระยะที่ 1 คือ การวิเคราะห์และสังเคราะห์เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องวิธีดำเนินการวิจัยใช้การวิจัยเชิงเอกสาร สังเคราะห์ฐานคิดจากทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ สิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิดและแนวคิดปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา ผลการวิจัยพบว่า กรอบแนวคิดสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประกอบด้วย 6 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) สถานการณ์ปัญหาและภารกิจการเรียนรู้เพื่อกระตุ้นกระบวนการทางปัญญา 2) แหล่งการเรียนรู้เพื่อสนับสนุนการสืบเสาะ 3) ห้องแลกเปลี่ยนเรียนรู้สำหรับการตรวจสอบแนวคิดร่วมกัน 4) ห้องปฏิบัติการการกระตุ้นเมนทอลโมเดลเพื่อสร้างและทดสอบแบบจำลองในใจ 5) ฐานความช่วยเหลือที่บูรณาการระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อสนับสนุนรายบุคคล และ 6) การโค้ชเพื่อแนะแนวทางการรู้คิดเกี่ยวกับการคิดของตนเอง ซึ่งกรอบแนวคิดนี้จะเป็นฐานรากสำคัญในการพัฒนานวัตกรรมในระยะถัดไปเพื่อส่งเสริมการสร้างมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องผ่านสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่ทันสมัย

คำสำคัญ: สิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้, ปัญญาประดิษฐ์, สถานการณ์จำลอง, เมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์, การวิจัยการออกแบบและพัฒนา

ข้อมูลการอ้างอิง: ทิพยาภรณ์ นามวิเศษ และ ณัฐกานต์ เมย์คำ. (2569). การออกแบบกรอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบสถานการณ์จำลองบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเสริมสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์: ระยะที่ 1 การวิเคราะห์ทฤษฎีและออกแบบกรอบแนวคิด. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5),

บทนำ

ในศตวรรษที่ 21 การศึกษาวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นการสร้าง "เมนทอลโมเดล" (Mental Models) ซึ่ง Van Merriënboer (1997) อธิบายว่า เป็นโครงสร้างทางปัญญาที่ใช้แสดงแทนองค์ประกอบและการทำงานของระบบที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่พบในระดับสากล คือ มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่มักมีความเป็นนามธรรมสูงและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนและเผชิญกับภาระทางปัญญา (Cognitive Load) ที่สูงเกินขีดความสามารถในการประมวลผลข้อมูล จนไม่สามารถพัฒนาแบบจำลองในใจที่ถูกต้องและเป็นระบบได้ (Sweller, 1994) สำหรับประเทศไทย ปัญหานี้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยรายงานผล PISA 2022 (OECD, 2023) ระบุว่า คะแนนด้านวิทยาศาสตร์และการแก้ปัญหาของนักเรียนไทยลดลงสู่ระดับต่ำสุดเป็นประวัติการณ์ ซึ่งสะท้อนถึงจุดอ่อนในการคิดวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองเชิงระบบ ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากสื่อการเรียนรู้ในปัจจุบันยังไม่สามารถพาผู้เรียนก้าวข้ามขีดจำกัดของเนื้อหาที่เป็นนามธรรมได้ ทำให้ผู้เรียนขาดโอกาสในการสำรวจและเชื่อมโยงมโนทัศน์ไปสู่ภาพจำลองที่สมบูรณ์อย่างเป็นขั้นตอน

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การบูรณาการ "สถานการณ์จำลอง" (Simulations) ร่วมกับ "ปัญญาประดิษฐ์" (Artificial Intelligence: AI) จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูง โดยสถานการณ์จำลองจะทำหน้าที่เปลี่ยนมโนทัศน์นามธรรมให้เห็นเป็นรูปธรรมผ่านการปฏิสัมพันธ์ ขณะที่ AI จะเข้ามาเสริมในฐานะ "ฐานความช่วยเหลือ" (Scaffolding) ที่ยืดหยุ่นเพื่อปรับระดับการช่วยผู้เรียนรายบุคคลตามความต้องการที่แตกต่างกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้ระเบียบวิธีวิจัยการออกแบบและพัฒนา (DDR) (Richey & Klein, 2007) โดยเริ่มจาก ระยะที่ 1 (Phase 1) คือ การวิเคราะห์ทฤษฎีและการสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงออกแบบ เพื่อใช้เป็นรากฐานในการพัฒนาวัตรกรรมสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่สามารถยกระดับการสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

การทบทวนวรรณกรรม

ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivist Theory) เชื่อว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่ผู้เรียนสร้างความรู้ (Construct) ขึ้นด้วยตนเองผ่านการปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและประสบการณ์เดิม โดยมีรากฐานมาจากแนวคิดของ Vygotsky (1978) ที่เน้นความสำคัญของการมีส่วนร่วมทางสังคมและวัฒนธรรม และ Piaget (1964) ที่เน้นการปรับสมดุลทางปัญญา (Equilibration) การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางนี้จึงมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและมีบทบาทเชิงรุก (Active Learning) ในการสร้างมโนทัศน์ให้มีความหมายสอดคล้องกับโครงสร้างทางปัญญาของตนเอง

สิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิด (Open Learning Environments: OLEs) เป็นแนวคิดการออกแบบที่มุ่งเน้นการสนับสนุนกระบวนการคิดระดับสูงของผู้เรียน โดยมีองค์ประกอบสำคัญคือ สถานการณ์ปัญหา (Problem Situation) ที่ซับซ้อนและท้าทาย แหล่งการเรียนรู้ (Learning Resources) ที่หลากหลาย และเครื่องมือทางปัญญา (Cognitive Tools) เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถสำรวจ ทดสอบ และตรวจสอบสมมติฐานได้ตามความต้องการ Hannafin, Land, & Oliver (1999) OLEs จึงเป็นพื้นที่ทางปัญญาที่เอื้อต่อการเรียนรู้แบบสืบเสาะและการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

เมนทอลโมเดล (Mental Models) คือ โครงสร้างทางปัญญาภายในจิตใจที่ผู้เรียนสร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวแทน (Representation) ของวัตถุ ปรากฏการณ์ หรือระบบที่ซับซ้อน ตามนิยามของ Van Merriënboer (1997) เมนทอลโมเดล ประกอบด้วย องค์ประกอบและความสัมพันธ์เชิงหน้าที่ที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถอธิบายและทำนายเหตุการณ์ต่างๆ ได้ การส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างเมนทอลโมเดลที่ถูกต้องสอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นดัชนีชี้วัดความเข้าใจในระดับมโนทัศน์ที่ยั่งยืน

โมเดลสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง คือ Constructivist Learning Environments (CLEs) ของ Jonassen (1999) ซึ่งเน้นการใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based) บูรณาการร่วมกับฐานความช่วยเหลือ (Scaffolding) และการโค้ช (Coaching) นอกจากนี้ยังมีโมเดลของ Wilson (1996) ที่นิยามสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ว่าเป็นพื้นที่ที่ผู้เรียนและผู้สอนทำงานร่วมกันโดยใช้เครื่องมือและแหล่งทรัพยากรที่

หลากหลายเพื่อบรรลุเป้าหมายการเรียนรู้ร่วมกัน ซึ่งโมเดลเหล่านี้เป็นต้นแบบสำคัญในการจัดองค์ประกอบห้องปฏิบัติการทางปัญญาในงานวิจัยนี้

การนำสถานการณ์จำลอง (Simulations) มาบูรณาการในสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ ช่วยเปลี่ยนมโนทัศน์ที่เป็นนามธรรมให้เห็นเป็นรูปธรรม (Visualization) สอดคล้องกับแนวคิดของ Sweller (1994) ในการลดภาระทางปัญญา สถานการณ์จำลองทำหน้าที่เป็น "พื้นที่สำหรับปฏิบัติการ" (Manipulation Space) ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปรและสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงในระบบจำลอง ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดการปรับปรุง (Revision) และเสริมสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ามามีบทบาทสำคัญในฐานะระบบระดับประคองการเรียนรู้ที่มีความฉลาด (Intelligent Scaffolding) โดยทำหน้าที่วิเคราะห์พฤติกรรม การสืบเสาะ และระดับความเข้าใจของผู้เรียนรายบุคคล AI สามารถให้ข้อมูลป้อนกลับที่ยืดหยุ่นและการโค้ช (Coaching) ที่เหมาะสมกับเขตพัฒนาการใกล้เคียง (Zone of Proximal Development: ZPD) ตามทฤษฎีของ Vygotsky (1978) การบูรณาการ AI จึงช่วยให้สิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้สามารถตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลและระดับประคองผู้เรียนให้บรรลุการสร้างเมนทอลโมเดลในมิติของแนวคิด ความคิดรวบยอด กระบวนการ และกลยุทธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อออกแบบกรอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้บนเครือข่ายตามแนวคอนสตรัคติวิสต์โดยใช้แบบสถานการณ์จำลองบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเสริมสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์: ระยะที่ 1 ของการวิจัยเชิงพัฒนา

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) ประเภท Product Research (Type I) ตามกรอบแนวคิดของ Richey & Klein (2007) และ อิศรา ก้านจักร (2559) โดยมุ่งเน้นการดำเนินงานในระยะที่ 1 คือ การออกแบบและพัฒนา (Design and Development) เพื่อกำหนดโครงสร้างของสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับรายวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งแบ่งกระบวนการดำเนินงานออกเป็น 2 ขั้นตอนสำคัญ ดังนี้ 1) การวิเคราะห์และสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี: ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยเอกสาร (Documentary Research) อย่างเป็นระบบ โดยกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลระดับชาติและนานาชาติ (เช่น TCI และ SCOPUS) ครอบคลุมช่วงปี พ.ศ.2559-2569 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยและเป็นปัจจุบัน การวิเคราะห์มุ่งเน้นการวางรากฐานทางปัญญา ที่ประกอบด้วย ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ สิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิด (OLEs) และทฤษฎีเมนทอลโมเดล (Van Merriënboer, 1997) รวมถึงการศึกษาศักยภาพของสถานการณ์จำลอง (Simulations) ในการลดภาระทางปัญญา (Sweller, 1994) และบทบาทของปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการทำหน้าที่เป็นฐานความช่วยเหลือ (Scaffolding) ในมิติต่าง ๆ 2) การสังเคราะห์กรอบการออกแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้: ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำหลักการย่อยของทฤษฎีที่วิเคราะห์ไว้มาดำเนินการถอดรหัสเชิงหน้าที่ (Functional Decoding) เพื่อหลอมรวมเป็นองค์ประกอบย่อยอย่างเป็นเหตุเป็นผล ตัวอย่างเช่น การนำแนวคิดการปรับสมดุลทางปัญญาและความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive Conflict) ของ Piaget (1964) มาใช้เป็นหลักการเบื้องหลังในการออกแบบ "สถานการณ์ปัญหา" เพื่อกระตุ้นกระบวนการคิดของผู้เรียน การนำทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคมของ Vygotsky (1978) ที่เน้นการต่อรองทางสังคม (Social Negotiation) มาออกแบบ "ห้องแลกเปลี่ยนเรียนรู้" (Collaboration Center) และการประยุกต์ใช้แนวคิดเครื่องมือทางปัญญา (Cognitive Tools) จากโมเดล OLEs และ CLEs มาออกแบบ "ห้องปฏิบัติการการกระตุ้นเมนทอลโมเดล" เพื่อให้ผู้เรียนได้ทดสอบแบบจำลองในใจผ่านสถานการณ์จำลอง

กระบวนการดังกล่าวทำให้ได้โครงสร้างสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ 6 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ สถานการณ์ปัญหา แหล่งการเรียนรู้ ห้องแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ห้องปฏิบัติการการกระตุ้นเมนทอลโมเดล ฐานความช่วยเหลือ และการโค้ช และเพื่อ

สร้างความหนักแน่นให้กับความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) ผู้วิจัยได้กำหนดการตรวจสอบคุณภาพและความเหมาะสมของกรอบแนวคิดในระยะที่ 1 โดยผู้เชี่ยวชาญด้านวัดและประเมินผลทั้งหมด 3 ท่าน ก่อนจะนำผลการประเมินมาปรับปรุงเพื่อพัฒนาเป็นต้นแบบเชิงหน้าที่ (Functional Prototype) และประเมินประสิทธิภาพในระยะที่ 2 และระยะที่ 3 ของการวิจัยเชิงพัฒนาในลำดับถัดไป

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในระยะที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนสำคัญ ประกอบด้วย 1) ผลการสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี (Theoretical Framework) และ 2) ผลการสังเคราะห์กรอบแนวคิดสำหรับการออกแบบนวัตกรรม (Design Framework) **การสังเคราะห์กรอบทฤษฎี**

การสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีในงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการฐานคิดสำคัญ 5 ด้าน เพื่อรองรับความซับซ้อนของเนื้อหาวิชาเคมีและการพัฒนาสมรรถนะผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 โดยเริ่มจาก ฐานด้านบริบทการเรียนรู้ (Contextual Base) ที่มุ่งแก้ปัญหาสมรรถนะการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยที่ลดลงตามรายงานผล PISA 2022 เพื่อให้สอดคล้องกับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และมาตรฐานการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางฯ ที่เน้นการสืบเสาะหาความรู้ บูรณาการร่วมกับ ฐานด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ (Psychological Base) ตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ของ Piaget (1964) เรื่องการปรับสมดุลทางปัญญา และแนวคิดเขตพัฒนาการใกล้เคียง (ZPD) ของ Vygotsky (1978) เสริมด้วยทฤษฎีภาระทางปัญญา (Cognitive Load Theory) ของ Sweller (1994) เพื่อลดภาระทางปัญญาที่ไม่เกี่ยวข้องและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลลงสู่หน่วยความจำระยะยาว

ในด้านพื้นฐานทางด้านการสอน (Pedagogical Base) ผู้วิจัยได้สังเคราะห์รูปแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิด (OLEs) และแบบคอนสตรัคติวิสต์ (CLEs) เพื่อใช้สถานการณ์ปัญหาที่ซับซ้อนเป็นตัวขับเคลื่อนการเรียนรู้ผ่านกลยุทธ์การให้ฐานความช่วยเหลือ (Scaffolding) และการโค้ช (Coaching) ที่กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการสะท้อนคิด เพื่อบรรลุเป้าหมายใน ฐานด้านการสร้างเมนทอลโมเดล (Mental Modeling Base) ตามนิยามของ Van Merriënboer (1997) ที่มองว่า เมนทอลโมเดลคือโครงสร้างทางปัญญาภายในที่เป็นตัวแทนของระบบที่ซับซ้อน โดยเฉพาะในเนื้อหาเรื่อง "เคมีไฟฟ้า" ที่มีการนำเสนอแบบสามมุม (Chemical Triplet) ซึ่งในระดับจุลภาค (Sub-microscopic) มักมีความเป็นนามธรรมสูงจนผู้เรียนเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน

สำหรับพื้นฐานทางเทคโนโลยี (Technological Base) ผู้วิจัยได้บูรณาการสถานการณ์จำลอง (Simulations) ในฐานะเครื่องมือทางปัญญาเพื่อสร้างภาพลักษณ์ (Visualization) ระดับจุลภาคให้เป็นรูปธรรม ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบ Chatbot ที่ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ทำหน้าที่เป็นฐานความช่วยเหลืออัจฉริยะ (Intelligent Scaffolding) โดยมีกลไกติดตามและวิเคราะห์ร่องรอยการคิดเพื่อนำเสนอ "คำใบ้" (Hints) หรือการตั้งคำถามชี้แนะแทนการเฉลยคำตอบโดยตรง กลไกนี้ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการตอบสนองต่อระดับความเข้าใจรายบุคคล (Personalized Learning) และช่วยให้การโค้ชมีความแม่นยำและทันท่วงทีมากขึ้น กล่าวโดยสรุป กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีที่สังเคราะห์ขึ้นนี้เป็นการบูรณาการอย่างเป็นระบบเพื่อสร้างสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่ชาญฉลาดสำหรับเสริมสร้างเมนทอลโมเดลเรื่องเคมีไฟฟ้าให้ถูกต้องและเป็นระบบ ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมในระยะถัดไป

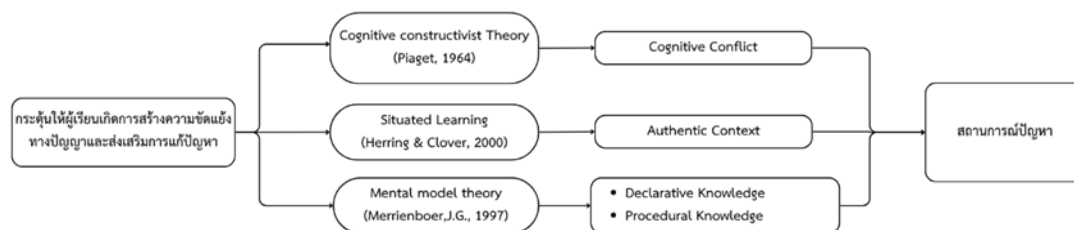


ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบสถานการณ์จำลองบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเสริมสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

การสังเคราะห์กรอบแนวคิดการออกแบบนวัตกรรม

การออกแบบกรอบแนวคิดนวัตกรรมในระยะที่ 1 นี้ เป็นการแปลงหลักการทางทฤษฎีสู่โครงสร้างการเรียนรู้เชิงหน้าที่ (Functional Structure) โดยมีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนกระบวนการทางปัญญาของผู้เรียนอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ผู้วิจัยได้สังเคราะห์กระบวนการออกแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบสถานการณ์จำลองบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการหลัก ดังนี้

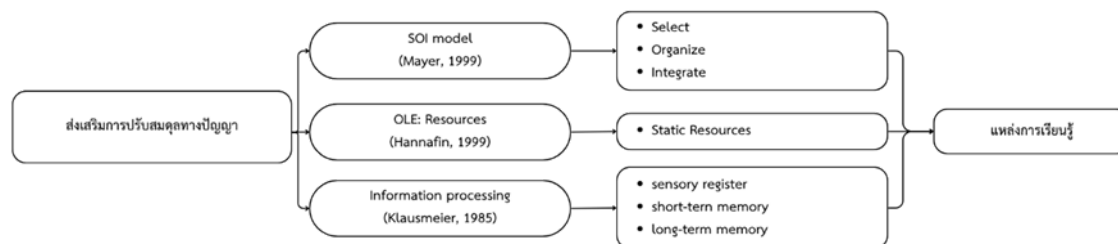
กระบวนการที่ 1 การกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความขัดแย้งทางปัญญาและส่งเสริมการแก้ปัญหา กระบวนการนี้เชื่อมโยงกับทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญา (Cognitive Constructivism) ของเพียเจต์ (Piaget, 1964) ที่เน้นการเผชิญกับสภาวะไม่สมดุลทางปัญญา และแนวคิดสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิด (OLEs: Enabling Contexts) ของฮันนาฟิน (Hannafin et al., 1999) ที่เน้นการใช้บริบทที่กำหนดปัญหาเฉพาะ นำสู่การออกแบบ สถานการณ์ปัญหา (Problem Situations) และ ภารกิจการเรียนรู้ (Learning Tasks) โดยกำหนดสถานการณ์เรื่องเคมีไฟฟ้าที่มีลักษณะซับซ้อนและไม่มีโครงสร้างชัดเจน (Ill-structured) เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive Conflict) ระหว่างความรู้เดิมและความจริงที่เผชิญ ซึ่งเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าสู่กระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบตามแนวคิดของโจนาสเซน (Jonassen, 1999)



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการออกแบบการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการสร้างความขัดแย้งทางปัญญาและส่งเสริมการแก้ปัญหา

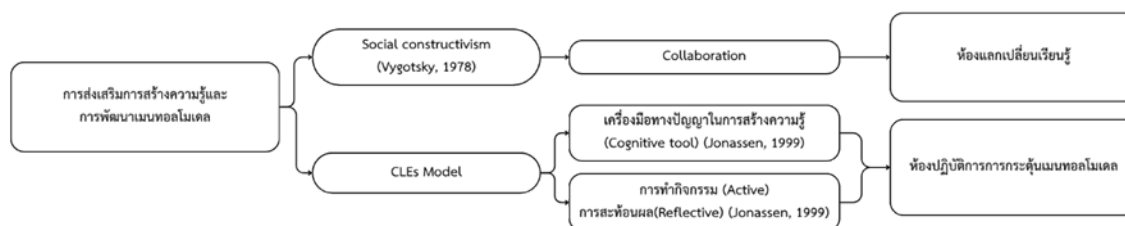
กระบวนการที่ 2 การส่งเสริมการปรับสมดุลทางปัญญา เชื่อมโยงกับทฤษฎีการประมวลผลสารสนเทศ (Information Processing) และทฤษฎีภาระทางปัญญา (Cognitive Load Theory) ของสเวลเลอร์ (Sweller, 1994) ที่เน้นการจัดระบบสารสนเทศเพื่อลดภาระทางปัญญาที่ไม่เกี่ยวข้อง นำสู่การออกแบบ แหล่งการเรียนรู้ (Learning Resources) ที่ทำ

หน้าที่เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการปรับสมดุลทางปัญญา (Equilibration) โดยนำเสนอเนื้อหาเคมีไฟฟ้าผ่านสื่อประสมที่ครอบคลุมมโนทัศน์ทั้ง 3 ระดับ (Chemical Triplet) ได้แก่ ระดับมหภาค ระดับสัญลักษณ์ และระดับจุลภาค เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเลือกรับข้อมูลที่จำเป็นมาใช้ในการประมวลผลและลดความสับสนในการเชื่อมโยงมโนทัศน์ที่เป็นนามธรรม



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดการออกแบบการส่งเสริมการปรับสมดุลทางปัญญา

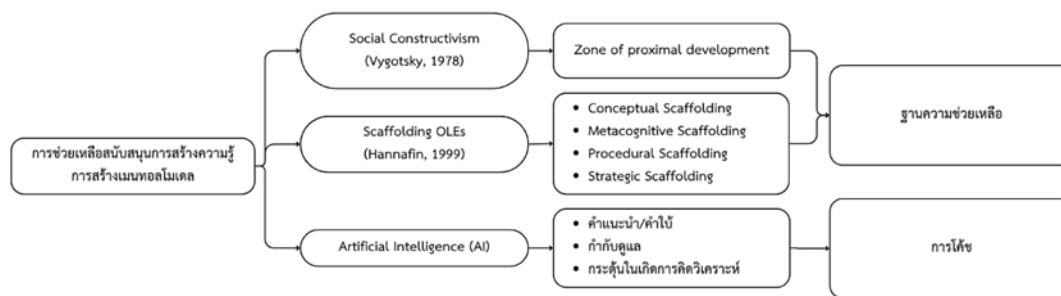
กระบวนการที่ 3 การส่งเสริมการสร้างความรู้และการพัฒนาเมนทอลโมเดล กระบวนการนี้เชื่อมโยงกับทฤษฎีเมนทอลโมเดลของ แวน เมอร์เรียนโบเออร์ (Van Merriënboer, 1997) และทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคม (Social Constructivism) ของวิกตอว์สกี (Vygotsky, 1978) นำสู่การออกแบบพื้นที่ปฏิบัติการ 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ห้องปฏิบัติการการกระตุ้นเมนทอลโมเดล (Activating Mental Model Laboratory) ซึ่งใช้สถานการณ์จำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Simulations) เป็นเครื่องมือทางปัญญาให้ผู้เรียนได้ทดลองและเห็นภาพลักษณะระดับอนุภาค และ ห้องแลกเปลี่ยนเรียนรู้ (Collaboration Center) ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้นำแบบจำลองในใจ (Internal Representation) มาอภิปรายและตรวจสอบความถูกต้องผ่านการต่อรองทางสังคม (Social Negotiation) จนเกิดเป็นการสร้างความรู้ที่มีความหมายและพัฒนาเป็นเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์ที่ยั่งยืน



ภาพที่ 4 กรอบแนวคิดการออกแบบการส่งเสริมการสร้างความรู้และการพัฒนาเมนทอลโมเดล

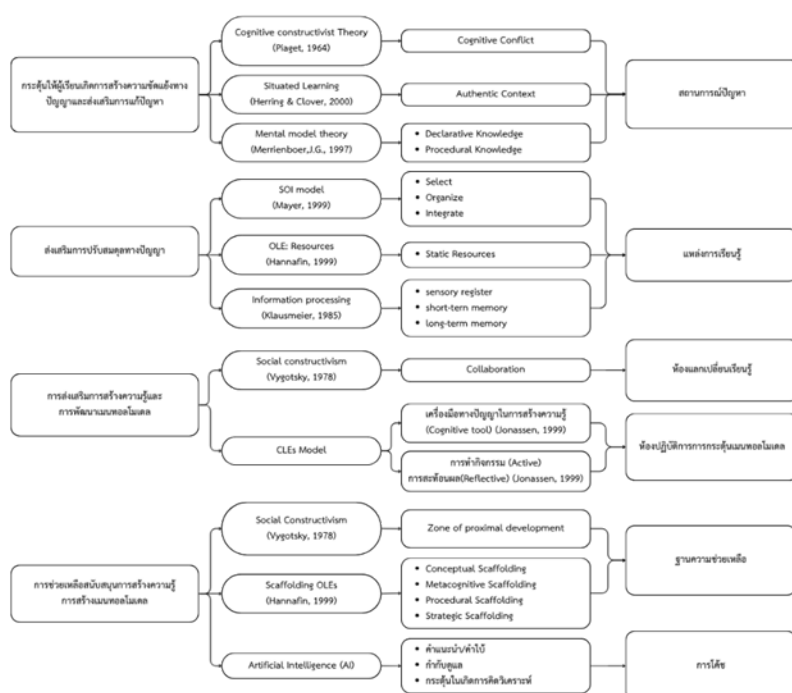
กระบวนการที่ 4 มุ่งสร้างกลไกการสนับสนุนทางปัญญาที่ยืดหยุ่นและเป็นระบบ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดเขตพัฒนาการใกล้เคียง (Zone of Proximal Development: ZPD) เพื่อวางรากฐานความช่วยเหลือที่สอดคล้องกับขีดความสามารถเฉพาะบุคคล บูรณาการร่วมกับการประคับประคอง (Scaffolding) 4 มิติจากแนวคิดสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบเปิด (OLEs) ได้แก่ ด้านมโนทัศน์ อภิปัญญา ขั้นตอน และกลยุทธ์ เพื่อวางกรอบความคิดและกำกับกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จุดเด่นสำคัญของกระบวนการนี้ คือ การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในรูปแบบ Chatbot ที่พัฒนาด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) ทำหน้าที่เป็นระบบประคับประคองอัจฉริยะ (Intelligent Scaffolding) ซึ่งมีกลไกการโต้ตอบที่เน้นการให้แนวทางชี้แนะแทนการเฉลยคำตอบโดยตรง ระบบจะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการสืบเสาะรายบุคคลเพื่อระบุรูปแบบการช่วยเหลือที่เหมาะสมผ่านกลวิธีการฝึกหัดเชิงพุทธิภาวะ (Cognitive Apprenticeship) ตัวอย่างการทำงานที่เป็นรูปธรรม เช่น ในสถานการณ์จำลองเรื่องการไหลของอิเล็กตรอน หากผู้เรียนเกิดความสับสนและตั้งคำถามเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องโดยตรง ระบบ AI จะไม่เฉลยคำตอบในทันที แต่จะตอบสนองด้วยการตั้งคำถามกระตุ้นหรือให้คำใบ้ เช่น "ลองสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่

ข้อไฟฟ้าดูสิ นักเรียนคิดว่าอะไรคือสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยานี้?" เพื่อนำทางให้ผู้เรียนเกิดการคิดวิเคราะห์เชิงลึกและสามารถก้าวข้ามขีดจำกัดทางปัญญา จนนำไปสู่การสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องและยั่งยืนด้วยตนเอง



ภาพที่ 5 กรอบแนวคิดการออกแบบการช่วยเหลือสนับสนุนการสร้างความรู้และการสร้างเมนทอลโมเดล

เมื่อรวมทั้ง 4 กระบวนการเข้าด้วยกัน กรอบแนวคิดการออกแบบนวัตกรรมที่ได้จึงเป็นโครงสร้าง ที่ประกอบด้วย สถานการณ์ปัญหาและภารกิจการเรียนรู้ แหล่งการเรียนรู้ ห้องแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ห้องปฏิบัติการการกระตุ้นเมนทอลโมเดล ฐานความช่วยเหลือ และการโค้ช ซึ่งทำงานสอดประสานกันด้วยหลักการสำคัญ เช่น ความขัดแย้งทางปัญญา (cognitive conflict), บริบทที่เน้นปัญหาจริง (authentic context), การลดภาระทางปัญญา (cognitive load reduction), การสร้างเมนทอลโมเดล (mental modeling), การประคับประคองอัจฉริยะ (AI-based scaffolding) และการโค้ช (coaching) องค์ประกอบเหล่านี้ไม่เพียงตอบโจทย์ผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีประสบการณ์ความเข้าใจคลาดเคลื่อนในเนื้อหาเคมีไฟฟ้าที่มีความนามธรรมสูง แต่ยังสอดคล้องกับทิศทางการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นสมรรถนะและการสร้างความเข้าใจระดับโมโนทัศน์อย่างยั่งยืน กรอบแนวคิดเชิงออกแบบนี้จึงวางรากฐานสำคัญในการพัฒนานวัตกรรมที่จะถูกนำไปผลิตเป็นต้นแบบและประเมินประสิทธิภาพในระยะถัดไปของการวิจัยการออกแบบและพัฒนา



ภาพที่ 6 การออกแบบกรอบแนวคิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้แบบสถานการณ์จำลองบูรณาการปัญหาประดิษฐ์ เพื่อเสริมสร้างเมนทอลโมเดลทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

บทสรุป

กรอบแนวคิดการออกแบบนวัตกรรมสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นผลลัพธ์จากการสังเคราะห์ฐานคิดเชิงทฤษฎีอย่างเป็นระบบ โดยบูรณาการแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์ การเรียนรู้ในบริบทจริง ทฤษฎีภาระทางปัญญา และทฤษฎีเมนทอลโมเดล เข้ากับศักยภาพของเทคโนโลยีอุบัติใหม่ เพื่ออธิบายกลไกทางปัญญาของผู้เรียนอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ตั้งแต่การเผชิญสถานการณ์ปัญหาที่ซับซ้อนเพื่อกระตุ้นความขัดแย้งทางปัญญา การสืบค้นสารสนเทศเพื่อลดภาระทางปัญญา ไปจนถึงกระบวนการสร้างและตรวจสอบแบบจำลองในใจ (Internal Representation) ผ่านพื้นที่จำลองและระบบสนับสนุนที่สอดคล้องกับระดับความสามารถเฉพาะบุคคล นำไปสู่โครงสร้างเชิงหน้าที่ 6 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ สถานการณ์ปัญหา แหล่งการเรียนรู้ ห้องแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ห้องปฏิบัติการการกระตุ้นเมนทอลโมเดล ฐานความช่วยเหลือ และการโค้ช ซึ่งทำงานสอดประสานกันเพื่อขับเคลื่อนกระบวนการทางปัญญาของผู้เรียนตั้งแต่การเผชิญปัญหาไปจนถึงการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

นวัตกรรมที่ออกแบบขึ้นนี้มุ่งตอบโจทย์ความท้าทายระดับชาติที่สะท้อนผ่านผลการประเมิน PISA 2022 ของไทย ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่ยังขาดสมรรถนะในการทำความเข้าใจโมทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน การใช้สถานการณ์จำลองเพื่อแปลงเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ระดับจุลภาคให้เป็นรูปธรรม ร่วมกับการประคับประคองรายบุคคลผ่านระบบปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบ Chatbot ที่ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) จึงเป็นกลไกสำคัญที่จะช่วยลดภาระทางปัญญาและแก้ปัญหามโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญในการยกระดับความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) ของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในระยะที่ 1 นี้ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากการเป็นการสังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีและการออกแบบเชิงหน้าที่เบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้ผ่านกระบวนการตรวจสอบเชิงประจักษ์โดยผู้ใช้จริง ผู้วิจัยจึงกำหนดขั้นตอนสำคัญที่จะต้องดำเนินการต่อไปคือการตรวจสอบความตรงและความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยคณะผู้เชี่ยวชาญด้านวัดและประเมินผลทั้งหมด 3 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพและความเป็นไปได้ (Heuristic Evaluation) ของกรอบแนวคิดอย่างรอบด้าน ผลการประเมินดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ปรับปรุงงานวิจัยก่อนก้าวเข้าสู่ระยะที่ 2 เพื่อพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมดิจิทัล (Functional Prototype) ตามกรอบแนวคิดที่วางไว้ และมุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพในระยะที่ 3 โดยการนำไปทดลองใช้จริงในชั้นเรียนเพื่อวิเคราะห์ความคงทนของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนต่อไป กระบวนการวิจัยและพัฒนาที่เป็นระบบนี้จะช่วยยืนยันประสิทธิภาพของนวัตกรรม และสร้างความมั่นใจว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นจะสามารถส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- อิศรา ก้านจักร. (2559). *พื้นฐานทางด้านเทคโนโลยีการศึกษา (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2)*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 317-337.
- Brown & Collins (1991). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Lawrence Erlbaum Associates.

- Hannafin, M. J., Land, S., & Oliver, K. (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.
- 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. (1999). *The promise of educational psychology: Learning in the content areas*. Prentice Hall.
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing.
- Piaget, J. (1964). Development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(3), 176-186.
- Richey, R. C., & Klein, J. D. (2007). *Design and development research: Methods, strategies, and issues*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- Van Merriënboer, J. J. G. (1997). *Training complex cognitive skills: A four-component instructional design model for technical training*. Educational Technology Publications.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wilson, B. G. (1996). *Constructivist learning environments: Case studies in instructional design*. Educational Technology Publications.

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).