



Academic Article

BIOMIMICRY DESIGN SPIRAL INSTRUCTIONAL METHOD FOR SCIENCE TEACHER

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียนสำหรับครูวิทยาศาสตร์

Received: February 3, 2024

Revised: April 11, 2024

Accepted: April 21, 2024

Kittisak Manopattanakron^{1*} and Pongprapan Pongsophon²

กิตติศักดิ์ มโนพัฒนกร^{1*} และพงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ²

¹Bodindecha (Sing Singhaseni) School, Bangkok 10310, Thailand

²Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

¹โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

²คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*Corresponding Author, E-mail: Kittisak.ma@ku.th

Abstract

This article introduces a new instructional method for learning management that incorporates the concept of biomimicry design spiral or designs inspired by nature. The method aims to motivate students to apply their scientific knowledge related to living things and ecosystems to tackle human problems. The article provides valuable information for science teachers who wish to use this learning management method in their teaching and learning practices. It covers the history of design inspired by nature, the biomimicry design spiral concept, examples of learning management activities based on the biomimicry design spiral concept instructional method, evaluation of learning outcomes, and suggestions for implementation in a classroom.

Keywords: Instructional Method, Biomimicry Design Spiral, Inspired by Nature, Science Teacher

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจัดการเรียนรู้แบบใหม่ที่ใช้แนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน หรือการออกแบบที่ใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสามารถนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศมาใช้ในการแก้ปัญหาของมนุษย์ โดยนำเสนอข้อมูลสำคัญเพื่อเป็นประโยชน์ต่อครูวิทยาศาสตร์ในการนำการจัดการเรียนรู้ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนให้กับนักเรียน ตั้งแต่ความเป็นมาของการออกแบบที่ใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติ แนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน การประเมินผลการจัดการเรียนรู้ และข้อเสนอแนะในการนำการจัดการเรียนรู้ไปใช้

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้ เกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน แรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ครูวิทยาศาสตร์

บทนำ (Introduction)

การจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันมีความท้าทายเพิ่มขึ้นมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยลักษณะการเรียนรู้ของนักเรียนที่เปลี่ยนแปลงไป ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่มาช่วยในการจัดการเรียนรู้ อีกทั้งนโยบายและจุดเน้นของกระทรวงศึกษาธิการยังกำหนดให้มีการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมพหุปัญญาให้กับผู้เรียนโดยเน้นการเรียนรู้จากการปฏิบัติจริงในรูปแบบ Active Learning, STEM Education, Coding ฯลฯ และกระบวนการส่งต่อในระดับที่สูงขึ้น (Ministry of Education, 2023) อย่างไรก็ตาม โปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (Programme for International Student Assessment หรือ PISA) โดยองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Co-operation and Development หรือ OECD) ได้ประเมินความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในประเทศสมาชิก ซึ่งการประเมินในปี ค.ศ. 2022 (OECD, 2023) ความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์เฉลี่ยของนักเรียนไทยต่ำสุดในรอบ 20 ปี สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ต้องได้รับการส่งเสริมอย่างมาก (IPST, 2023)

ประเทศไทยโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology หรือ IPST) ได้ส่งเสริมการสอนโดยการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ หรือสะเต็มศึกษา (STEM education) ซึ่งมีเป้าหมายที่สำคัญคือ ส่งเสริมให้ผู้เรียนรักและเห็นคุณค่าของการเรียนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ และนำความรู้ของการเรียนในวิชาดังกล่าวมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน (IPST, 2015) แต่ที่ผ่านมามีการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามักเน้นการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์กายภาพ เช่น ฟิสิกส์ เคมี มาใช้ในการออกแบบและสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาที่มากกว่าการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Vasinayanuwatana & Vanichanon, 2022) ส่งผลให้ครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพหรือวิชาชีววิทยาไม่ค่อยได้นำการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามาใช้ในชั้นเรียน (Faikhamta et al., 2023) ผู้เขียนจึงได้ศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพหรือความรู้ทางธรรมชาติมาใช้ในการแก้ปัญหาของมนุษย์ซึ่งเป็นรูปแบบที่น่าสนใจในการประยุกต์แนวคิดสะเต็มศึกษาในวิชาชีววิทยา

ตั้งแต่อดีต มนุษย์มีการเลียนแบบธรรมชาติเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันมาอย่างยาวนาน ทั้งการประดิษฐ์คิดค้นสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในชีวิตประจำวันไปจนถึงการออกแบบและสร้างอาคารสถานที่ ตัวอย่างสถาปัตยกรรมที่เลียนแบบสิ่งมีชีวิตที่มีชื่อเสียงได้แก่ อาคาร Eastgate Centre ในประเทศ Zimbabwe (Okeke et al., 2017) ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อระบายอากาศและระบายความร้อนด้วยวิธีทางธรรมชาติทั้งหมด (Turner & Soar, 2008) ดัง Figure 1 ซึ่งในต่างประเทศ (Benyus, 1997) ได้นิยามการเลียนแบบการแก้ปัญหาของธรรมชาติหรือการออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาตินี้ว่า Biomimicry หรือ ชีวลอกเลียน

ในการแก้ปัญหาที่มนุษย์โดยมีหลักการสำคัญว่า มนุษย์สามารถเรียนรู้จากธรรมชาติอย่างไรได้บ้าง จากความหมายและมุมมองเกี่ยวกับการเลียนแบบธรรมชาติดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า การเลียนแบบธรรมชาติ หรือชีวลอกเลียนเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาของมนุษย์โดยใช้ธรรมชาติเป็นต้นแบบ

การออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ (Pathak, 2019) ดังนี้

ระดับที่หนึ่ง การเลียนแบบรูปร่างและลักษณะของสิ่งมีชีวิต (organism level) เป็นการเลียนแบบลักษณะของสิ่งมีชีวิตโดยตรง เช่น Lotus Temple ในประเทศอินเดีย Figure 2 (left) วัดแห่งนี้เป็นที่รู้จักกันดีในด้านสถาปัตยกรรมอันงดงาม สร้างเสร็จในปี ค.ศ. 1986 โครงสร้างของวัดมีลักษณะคล้ายดอกบัวลอยอยู่กลางบึง ซึ่งวัดนี้เป็นศูนย์รวมความศรัทธาและวัฒนธรรมแห่งหนึ่งของประเทศ (Sahil & Kothari, 2020)

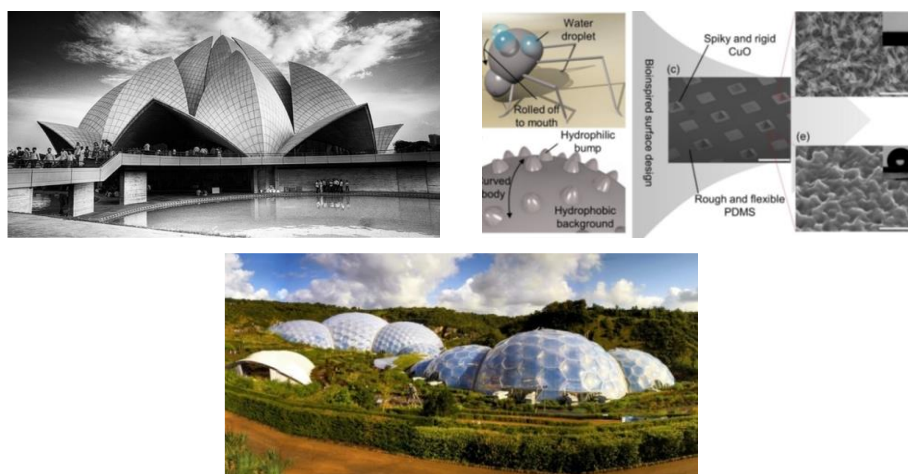
ระดับที่สอง การเลียนแบบพฤติกรรมและการทำงานของสิ่งมีชีวิต (behavior level) เป็นการเลียนแบบกระบวนการทำงานของสิ่งมีชีวิตหรือเลียนแบบผลลัพธ์ที่ได้แบบเดียวกับสิ่งมีชีวิต เช่น การออกแบบวัสดุที่สามารถกักเก็บน้ำในอากาศเลียนแบบตัวหะเลทรายนามิเบีย (Namib desert beetles) Figure 2 (right) โดยการศึกษาโครงสร้างที่กักเก็บน้ำของตัวด้วง และนำมาสร้างเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน (Park & Kim, 2019)

ระดับที่สาม การเลียนแบบทางนิเวศวิทยา (ecosystem level) เป็นการเลียนแบบลักษณะทางธรรมชาติในภาพรวมทั้งปัจจัยทางกายภาพ ปัจจัยทางชีวภาพ รวมไปถึงผลลัพธ์ที่ได้จากระบบนิเวศ เช่น The Eden Project ใน Cornwall ประเทศอังกฤษ Figure 2 (bottom) เป็นกลุ่มอาคารเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ที่รวบรวมพืชจากทั่วโลก แต่ละอาคารพยายามทำให้เหมือนกับระบบนิเวศแต่ละแห่งของโลก อาคารเหล่านี้มีลักษณะโปร่งแสง สร้างขึ้นจากพลาสติก โดยอาคารแห่งแรกนั้นเลียนแบบระบบนิเวศในเขตร้อนทำให้สามารถเพาะพันธุ์ในเขตร้อนได้ (Nkandu & Alibaba, 2018)

Figure 2

Example biomimicry levels; organism level (Sahil & Kothari, 2020) (left), behavior level (Park & Kim, 2019) (right), ecosystem level (Nkandu & Alibaba, 2018) (bottom)

ตัวอย่างการเลียนแบบธรรมชาติในแต่ละระดับ; การเลียนแบบรูปร่างและลักษณะของสิ่งมีชีวิต (ซ้าย) การเลียนแบบพฤติกรรมและการทำงานของสิ่งมีชีวิต (ขวา) การเลียนแบบทางนิเวศวิทยา (ล่าง)



Storey and Pedersen Zari (2006) ได้สร้างกรอบการประยุกต์ใช้การออกแบบชีวลอกเลียนโดยใช้ลักษณะของปลวก และการสร้างจอมปลวกไว้ซึ่งได้รับการอ้างอิงในงานวิจัยต่างๆ (Arora & McIntyre, 2021; Verbrugge et al., 2023) โดยมีรายละเอียดดัง Table 1

Table 1

A framework for applying biomimetic design by imitating termite characteristics and termite mound construction

กรอบการประยุกต์ใช้การออกแบบชีวลอกเลียนโดยเลียนแบบลักษณะของปลวกและการสร้างจอมปลวก

ระดับของการเลียนแบบ	การเลียนแบบ	รายละเอียดการเลียนแบบ
ลักษณะของสิ่งมีชีวิต	รูปร่าง	โครงสร้างเหมือนปลวก
	วัสดุ	ใช้วัสดุแบบเดียวกับตัวปลวก เช่น เลียนแบบเปลือกนอกของปลวก
	การสร้าง	การสร้างใช้ขั้นตอนแบบเดียวกับปลวก เช่น การเจริญเติบโต
	กระบวนการ	กระบวนการสร้างแบบเดียวกับปลวก เช่น ใช้กระบวนการทางพันธุกรรม
	การทำงาน	การทำงานแบบเดียวกับปลวก เช่น สามารถเปลี่ยนของเสียเซลล์สู่โลสเป็นสารองค์ประกอบในดิน
การทำงานของสิ่งมีชีวิต	รูปร่าง	โครงสร้างเหมือนกับจอมปลวกที่สร้างโดยปลวก
	วัสดุ	ใช้วัสดุเหมือนกับที่ปลวกใช้ เช่น ใช้อุณหภูมิในดินในการสร้าง
	การสร้าง	การสร้างใช้ขั้นตอนคล้ายกับของปลวก เช่น การขุดเจาะพื้นผิวดิน
	กระบวนการ	กระบวนการเลียนแบบการทำงานของปลวก เช่น เลียนแบบการทำงานร่วมกันของฝูงปลวก
	การทำงาน	การทำงานมีเงื่อนไขลักษณะคล้ายกับของปลวก เช่น การรักษาอุณหภูมิได้เหมือนกับจอมปลวก
นิเวศวิทยา	รูปร่าง	โครงสร้างเหมือนกับระบบนิเวศที่ปลวกอาศัยอยู่
	วัสดุ	วัสดุเหมือนกับสภาพแวดล้อมที่ปลวกอาศัยอยู่ เช่น ใช้วัสดุจากธรรมชาติ
	การสร้าง	การสร้างใช้ขั้นตอนคล้ายกับที่เกิดในระบบนิเวศที่ปลวกอาศัยอยู่ เช่น ใช้ขั้นตอนของการแทนที่และอาศัยเวลาแบบเดียวกับจอมปลวก
	กระบวนการ	กระบวนการทำงานเหมือนกับระบบนิเวศที่ปลวกอาศัยอยู่ เช่น มีการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และเก็บสะสมพลังงานไว้ในน้ำ
	การทำงาน	การทำงานมีเงื่อนไขลักษณะคล้ายกับระบบนิเวศที่ปลวกอาศัยอยู่ เช่น การทำงานมีความเกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนไฮโดรเจน คาร์บอน และไนโตรเจน

แนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน (Biomimicry Design Spiral)

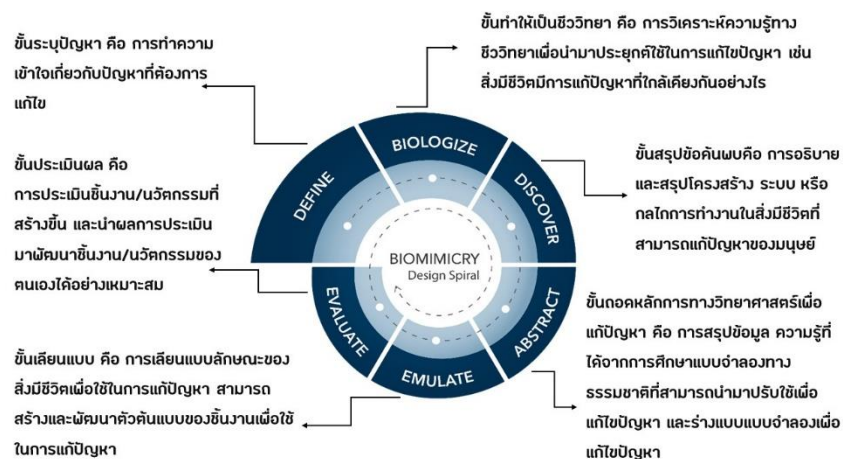
จากแนวคิดการออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้มีนักการศึกษาและหน่วยงานต่างๆ ได้พัฒนาแนวคิดการออกแบบที่ประยุกต์ใช้หลักการที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติ และนำการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตและธรรมชาติมาปรับใช้โดย Biomimicry Institute (2017) ได้นำเสนอแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน (Biomimicry design spiral)

โดยมีการพัฒนาลำดับขั้นตอนและรายละเอียดในแต่ละขั้นของการออกแบบอย่างต่อเนื่องจนได้เป็นรูปแบบ 6 ขั้นตอน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบโดยเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางในแวดวงสถาปนิก นักออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Sankaewthong et al., 2022; Distaporn et al., 2022) โดยผู้เขียนได้นำมาประยุกต์กับการจัดการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ดัง Figure 3

Figure 3

Biomimicry design spiral improved from Biomimicry Design Process

แนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน ปรับปรุงจาก Biomimicry Design Process (Biomimicry Institute, 2017)



จาก Figure 3 แนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียนประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นระบุปัญหา (Define) ซึ่งควรทำความเข้าใจลักษณะของปัญหาและวิเคราะห์ผลกระทบของปัญหาในหลากหลายมิติ รวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อจำกัดของการแก้ปัญหาไว้ด้วย 2) ขั้นทำให้เป็นชีววิทยา (Biologize) เมื่อได้ลักษณะของปัญหาที่ต้องการแก้แล้ว ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศที่มีโครงสร้างหรือการทำงานที่สามารถแก้ปัญหาในลักษณะที่คล้าย ๆ กัน เช่น การศึกษาโครงสร้างและลักษณะของปูเสฉวน ดัง Figure 4 โดยควรศึกษาจากตัวอย่างที่หลากหลาย 3) ขั้นสรุปข้อค้นพบ (Discover) จากการศึกษาการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิต ในขั้นนี้จะเป็นการหาข้อสรุปว่าสิ่งมีชีวิตใดหรือระบบนิเวศแบบใดที่จะใช้เป็นตัวแบบในการแก้ปัญหา โดยทำการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด 4) ขั้นถอดหลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา (Abstract) ในขั้นนี้ควรวิเคราะห์ลักษณะการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบ และร่างแบบของต้นแบบนวัตกรรมที่จะใช้ในการแก้ปัญหา โดยควรแสดงให้เห็นถึงการถอดแบบการแก้ปัญหาจากสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบให้เห็นเป็นรูปธรรม เช่น การวาดภาพลักษณะของเกล็ดปลาฉลามเพื่อออกแบบวัสดุที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวแบบเดียวกันดัง Figure 5 5) ขั้นเลียนแบบ (Emulate) นำวัสดุอุปกรณ์มาสร้างต้นแบบนวัตกรรม (prototype) ตามแบบที่ได้ร่างไว้ และ 6) ขั้นประเมินผล (Evaluate) ทำการทดสอบประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบนวัตกรรม โดยทั้ง 6 ขั้นตอนไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นตามลำดับ แต่สามารถเกิดขึ้นวนซ้ำไปซ้ำมาได้ โดยเฉพาะในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับสร้างและพัฒนาชิ้นงาน/นวัตกรรมต้นแบบ (ขั้นถอดหลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา ขั้นสรุปข้อค้นพบ ขั้นเลียนแบบ และขั้นประเมินผล) เพื่อให้ได้ต้นแบบนวัตกรรมที่เหมาะสมที่สุด

สามารถจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา (Awae et al., 2019, Vasinayanuwatana & Vanichanon, 2022) และเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้แบบใหม่ที่มุ่งเน้นการออกแบบทางวิศวกรรมโดยใช้ความรู้ทางชีววิทยา (Awae et al., 2023) ผู้เขียนในฐานะนักวิจัย นักการศึกษา และครูอาจารย์ผู้มีความประสงค์ในการนำแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวกลไกไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน จึงนำเสนอตัวอย่างการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวกลไกในรายวิชาวิทยาศาสตร์ที่ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย และใช้ต้นทุนต่ำ ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวกลไก กิจกรรมเครื่องร่อนเลียนแบบธรรมชาติ โดยจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวกลไกดัง Table 2

Table 2

Learning management according to biomimicry design spiral, Glider imitating nature activity

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวกลไก กิจกรรมเครื่องร่อนเลียนแบบธรรมชาติ

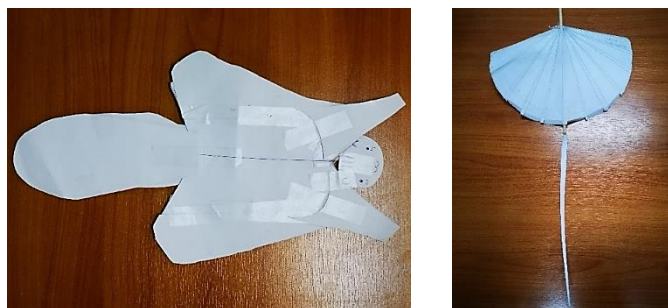
ขั้น	รายละเอียดกิจกรรม	บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
การระบุปัญหา	ศึกษาลักษณะของปัญหาเกี่ยวกับการส่งของที่มีอุปสรรคด้านระยะทางและสิ่งกีดขวางอื่นๆ	ทำความเข้าใจลักษณะของปัญหา รวมไปถึงข้อจำกัดในการแก้ปัญหา เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของพาหนะส่งของกับการส่งของ	นำเสนอตัวอย่างสถานการณ์ปัญหา และกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับลักษณะของปัญหา
การทำให้เป็นชีววิทยา	ศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ใช้การเคลื่อนที่ในลักษณะเดียวกับการร่อน เช่น ตัวอย่างสัตว์ Wallace's Flying Frog (<i>Rhacophorus nigropalmatus</i>) ตัวอย่างพืช Elm Seed (<i>Ulmaceae</i>)	ศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิตโดยเน้นที่ลักษณะการร่อนและผลที่ได้จากการร่อนของสิ่งมีชีวิต	เตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายทั้งพืชและสัตว์ อาจเป็นสื่อวีดิทัศน์หรือใบความรู้
การสรุปข้อค้นพบ	สรุปสิ่งมีชีวิตที่จะใช้เป็นตัวแบบในการออกแบบนวัตกรรมที่แก้ปัญหา โดยกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกที่เหมาะสม เช่น มีโครงสร้างที่ช่วยให้เกิดการร่อนได้ดีและสามารถส่งของที่ต้องการได้	เปรียบเทียบลักษณะการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด และเลือกสิ่งมีชีวิตที่จะใช้เป็นตัวแบบ โดยมีเหตุผลในการเลือกที่น่าเชื่อถือ	ใช้คำถามที่กระตุ้นให้นักเรียนวิเคราะห์ สรุป และอภิปรายจนได้สิ่งมีชีวิตตัวแบบที่เหมาะสม
การถอดหลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา	ถอดลักษณะการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตเพื่อเลียนแบบเป็นนวัตกรรม โดยการออกแบบต้นแบบนวัตกรรม พร้อมทั้งกำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการสร้างต้นแบบนวัตกรรม	วาดภาพหรือจัดทำสื่อที่แสดงให้เห็นถึงการถอดลักษณะการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตมาออกแบบเป็นนวัตกรรมโดยสามารถสร้างชิ้นงานได้จริง เช่น วาดภาพเปรียบเทียบโครงสร้างที่ใช้ร่อนของสิ่งมีชีวิตกับ	ตรวจสอบการถอดหลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาของนักเรียนว่ามีความถูกต้องเหมาะสม และสามารถสร้างได้จริงหรือไม่

ชั้น	รายละเอียดกิจกรรม	บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
การเลียนแบบ	สร้างต้นแบบนวัตกรรมที่เลียนแบบ การแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิต	ต้นแบบนวัตกรรมที่ต้องการ สร้าง	ตรวจสอบ ประเมิน ให้
		สร้างต้นแบบนวัตกรรมตามที่ได้ ออกแบบ ทำการทดสอบ ปรับปรุง และพัฒนาต้นแบบ นวัตกรรมให้เหมาะสมกับการ นำไปใช้แก้ปัญหามากที่สุด	ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการสร้าง ต้นแบบนวัตกรรมของนักเรียน
การประเมินผล	ประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบ นวัตกรรมในการแก้ปัญหา	ทดสอบประสิทธิภาพของ ต้นแบบนวัตกรรม เช่น ความสามารถในการร่อน ประสิทธิภาพในการขนส่งของ ไปยังจุดหมายที่อยู่ไกล บนทีก ผลที่ได้ นำข้อมูลที่ได้มาสรุป และอภิปรายเพื่อพัฒนา นวัตกรรม	ร่วมประเมินประสิทธิภาพของ ต้นแบบนวัตกรรมของนักเรียน และให้ข้อเสนอแนะ

Figure 6

Examples of students' work on gliders that are inspired by nature

ตัวอย่างผลงานเครื่องร่อนเลียนแบบธรรมชาติของนักเรียน



จาก Figure 6 นักเรียนมีการเลียนแบบรูปร่างลักษณะของกระรอกบิน (Flying Squirrel; *Glaucomys sabrinus*) (ซ้าย) และกิ้งก่าบิน (Draco Lizard; *Draco volans*) (ขวา) ซึ่งจากภาพจะพบว่าการทำเครื่องร่อนโดยการเลียนแบบกระรอกบินเป็นการเลียนแบบตามรูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตโดยตรงโดยใช้กระดาษเป็นวัสดุในการเลียนแบบเท่านั้น แต่การทำเครื่องร่อนโดยการเลียนแบบกิ้งก่าบิน นักเรียนใช้ลักษณะของกิ้งก่าบินขณะทำการร่อนโดยใช้กระดาษเลียนแบบการกางบริเวณลำตัวของกิ้งก่า แสดงให้เห็นการเลียนแบบในระดับที่ลึกกว่าการเลียนแบบรูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตโดยตรง

ตัวอย่างที่ 2 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวโลกเลียน กิจกรรมแขนกลจำลอง โดยจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวโลกเลียนดัง Table 3

Table 3

Learning management according to biomimicry design spiral, Simulated mechanical arm activity

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน กิจกรรมแขนกลจำลอง

ชั้น	รายละเอียดกิจกรรม	บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
การระบุปัญหา	ศึกษาลักษณะของปัญหาเกี่ยวกับการหยิบจับวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ	ทำความเข้าใจลักษณะของปัญหา รวมไปถึงข้อจำกัดในการแก้ปัญหา เช่น ความสามารถในการสร้างนวัตกรรมที่มีระบบกลไกในการหยิบจับสิ่งของ	นำเสนอตัวอย่างสถานการณ์ปัญหา และกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น
การทำให้เป็นชีววิทยา	ศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ใช้การเคลื่อนที่ในลักษณะเดียวกับหยิบจับวัตถุ เช่น การทำงานของกระดุกและข้อต่อ รวมไปถึงกล้ามเนื้อของมือมนุษย์ การใช้หนวดหรือ tentacle ของสัตว์ในกลุ่ม Cnidarians	ศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิตโดยเน้นที่ลักษณะการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการหยิบจับวัตถุ	เตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายทั้งพืชและสัตว์ อาจเป็นสื่อวิดีโอหรือใบความรู้
การสรุปข้อค้นพบ	สรุปสิ่งมีชีวิตที่จะใช้เป็นตัวแบบในการออกแบบนวัตกรรมที่แก้ปัญหา โดยกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกที่เหมาะสม เช่น มีโครงสร้างและขนาดที่สามารถเลียนแบบเป็นต้นแบบนวัตกรรมในการแก้ปัญหาได้	เปรียบเทียบลักษณะการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด และเลือกสิ่งมีชีวิตที่จะใช้เป็นตัวแบบ โดยมีเหตุผลที่น่าเชื่อถือ	ใช้คำถามที่กระตุ้นให้นักเรียนวิเคราะห์ สรุป และอภิปรายจนได้สิ่งมีชีวิตตัวแบบที่เหมาะสม
การถอดหลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา	ถอดลักษณะการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตเพื่อเลียนแบบเป็นนวัตกรรม โดยการออกแบบต้นแบบนวัตกรรม พร้อมทั้งกำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการสร้างต้นแบบนวัตกรรม	วาดภาพหรือจัดทำสื่อที่แสดงให้เห็นถึงการถอดลักษณะการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิตมาออกแบบเป็นนวัตกรรมโดยสามารถสร้างชิ้นงานได้จริง เช่น วาดภาพเปรียบเทียบโครงสร้างหรือสรีรวิทยาการทำงานของโครงสร้างนั้นในการหยิบจับสิ่งของมาออกแบบเป็นต้นแบบนวัตกรรม	ตรวจสอบการถอดหลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาของนักเรียนว่ามีความถูกต้องเหมาะสม และสามารถสร้างได้จริงหรือไม่
การเลียนแบบ	สร้างต้นแบบนวัตกรรมที่เลียนแบบการแก้ปัญหาของสิ่งมีชีวิต	สร้างต้นแบบนวัตกรรมตามแบบร่าง ทำการทดสอบ ปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมให้เหมาะสมกับการนำไปใช้แก้ปัญหามากที่สุด	ตรวจสอบ ประเมิน ให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการสร้างต้นแบบนวัตกรรมของนักเรียน

ชั้น	รายละเอียดกิจกรรม	บทบาทนักเรียน	บทบาทครู
การประเมินผล	ประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบ นวัตกรรมในการแก้ปัญหา	ทดสอบประสิทธิภาพของ ต้นแบบนวัตกรรม เช่น ความสามารถในการเคลื่อนไหว ประสิทธิภาพในการหยิบจับ สิ่งของต่างๆ บันทึกผลที่ได้ นำ ข้อมูลที่ได้มาสรุปและอภิปราย เพื่อพัฒนานวัตกรรม	ร่วมประเมินประสิทธิภาพของ ต้นแบบนวัตกรรมของนักเรียน และให้ข้อเสนอแนะ

Figure 7

Examples of students' work on simulated mechanical arm

ตัวอย่างผลงานแขนกลจำลองของนักเรียน



จาก Figure 7 นักเรียนมีการเลียนแบบการทำงานของมือมนุษย์เพื่อสร้างเป็นแขนกลจำลองเช่นเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันที่จำนวนหลอด และความยาวของหลอดที่ใช้ ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบการเคลื่อนไหวโดยการกระตุกปลายด้าย จะพบว่าการเคลื่อนไหวของแขนกลจำลองมีความแตกต่างกัน โดยครูผู้สอนสามารถให้นักเรียนวิเคราะห์ผลการทดสอบและอภิปรายผลการทดสอบที่ได้ร่วมกันกับเพื่อน เพื่อนำผลมาพัฒนาการสร้างแขนกลจำลองในครั้งถัดไป

การประเมินผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน (Evaluation of Learning Management)

ในการออกแบบและพัฒนาชิ้นงานหรือผลงานของนักเรียนที่ได้จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวลอกเลียน ครูผู้สอนสามารถประเมินได้ทั้งการประเมินระหว่างเรียน (formative assessment) โดยประเมินการทำงานของนักเรียนตั้งแต่เริ่ม และการประเมินผลลัพธ์ (summative assessment) โดยประเมินประสิทธิภาพของชิ้นงาน ทั้งนี้ ผู้เขียนได้ศึกษาเกณฑ์การประเมินชิ้นงานต้นแบบนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติในการแข่งขัน “Biomimicry Youth Design Challenge” ของ Biomimicry Institute (2020) และเกณฑ์การประเมินผลงานนักเรียนจากงานวิจัยต่างๆ (Gvili et al., 2016;

Mejia-Villa et al., 2023) มาออกแบบเป็นกรอบการประเมินผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวโลกเลียนไว้ดัง Table 4 ประกอบไปด้วยการระบุปัญหา การได้มาของตัวแบบทางชีววิทยา กระบวนการออกแบบและพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมการทำงานของต้นแบบนวัตกรรม (Optimized Prototype) และการนำเสนอของนักเรียน

Table 4

Evaluation of learning management according to biomimicry design spiral

การประเมินผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวโลกเลียน

ข้อที่	รายการประเมิน	กรอบการประเมิน
1. การระบุปัญหา		
1.1	การระบุและอธิบายลักษณะของปัญหาที่ต้องการแก้ไข	มีการระบุและอธิบายลักษณะเฉพาะของปัญหาโดยเชื่อมโยงกับความเป็นจริง อธิบายแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติไปพัฒนาวัสดุ เครื่องมือ หรือกระบวนการได้อย่างชัดเจน และมีหลักฐานสนับสนุนเพียงพอ
1.2	การทำความเข้าใจสาเหตุของปัญหาที่ต้องการแก้ไข	มีการเปรียบเทียบสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และให้เหตุผลที่หลากหลายเกี่ยวกับการเลือกปัญหานี้ โดยสามารถระบุได้ว่าสาเหตุของปัญหาที่สำคัญที่สุดคืออะไร
1.3	การอธิบายเกณฑ์ เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาที่ต้องการแก้ไข	มีการระบุและอธิบายไว้อย่างชัดเจนและหลากหลายเกี่ยวกับเกณฑ์ เงื่อนไข และข้อจำกัดในการแก้ปัญหา และอธิบายถึงผลกระทบในการแก้ปัญหานี้ที่จะเกิดขึ้นได้อย่างหลากหลาย
2. การได้มาของตัวแบบทางชีววิทยา		
2.1	การระบุและเปรียบเทียบตัวแบบทางชีววิทยา	มีการระบุและเปรียบเทียบตัวแบบทางชีววิทยาตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไปโดยการอธิบายถึงแนวทางที่เป็นไปได้ในการนำมาเป็นต้นแบบในการแก้ปัญหาได้อย่างชัดเจน
2.2	การอธิบายที่มาและเหตุผลของการคัดเลือกตัวแบบทางชีววิทยา	มีการอธิบายอย่างละเอียดและถูกต้องเกี่ยวกับที่มาและเหตุผลของการคัดเลือกตัวแบบทางชีววิทยา โดยมีการอธิบายที่ใช้ภาพประกอบเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของตัวแบบทางชีววิทยา และมีการใช้ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.3	การลงข้อสรุปเกี่ยวกับการคัดเลือกตัวแบบทางชีววิทยา	มีการลงข้อสรุปของการคัดเลือกตัวแบบทางชีววิทยาที่เหมาะสมที่สุด โดยการแสดงหลักฐานเชิงประจักษ์ประกอบที่เชื่อถือได้
3. กระบวนการออกแบบและพัฒนาต้นแบบนวัตกรรม		
3.1	การร่างแบบของต้นแบบนวัตกรรม	มีการร่างแบบของต้นแบบนวัตกรรมที่หลากหลายโดยใช้ภาพวาด แผนภาพ หรือการแสดงผลในลักษณะอื่นที่ผู้อื่นเข้าใจได้ และมีการวางแผนการทดสอบแบบที่ร่างไว้อย่างชัดเจน
3.2	การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบนวัตกรรม	มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของต้นแบบนวัตกรรมโดยการทดสอบอย่างเป็นระบบ และมีการตรวจประเมินอย่างละเอียดโดยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่ต้องใช้นวัตกรรมต้นแบบในการแก้ปัญหา
3.3	การวิเคราะห์ผลของการทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบนวัตกรรม	มีการวิเคราะห์ผลการทดสอบและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่ต้องใช้ต้นแบบนวัตกรรมในการแก้ปัญหาโดยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ เงื่อนไข และข้อจำกัดในการแก้ปัญหานั้นที่กำหนดไว้ และสามารถให้ข้อสรุปเกี่ยวกับการปรับปรุง แก้ไข พัฒนาต้นแบบนวัตกรรม

ข้อที่	รายการประเมิน	กรอบการประเมิน
4. การทำงานของต้นแบบนวัตกรรม (Optimized Prototype)		
4.1	การอธิบายการทำงานของต้นแบบนวัตกรรม	มีการอธิบายรายละเอียดของการทำงานต้นแบบนวัตกรรมอย่างละเอียด ได้แก่ ทำงานอะไร ทำงานอย่างไร มีความเหมือนและความแตกต่างจากการทำงานของตัวแบบทางชีววิทยาอย่างไร มีการอธิบายประโยชน์ของต้นแบบนวัตกรรมที่มีต่อผู้ใช้
4.2	การใช้หลักฐานเชิงประจักษ์มาสนับสนุนประสิทธิภาพของต้นแบบนวัตกรรม	มีการใช้หลักฐานเชิงประจักษ์มาสนับสนุนประสิทธิภาพของต้นแบบนวัตกรรม และมีการเปรียบเทียบว่าต้นแบบนวัตกรรมมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่แตกต่างจากเดิมอย่างไร
4.3	การอธิบายกระบวนการทำงานเพื่อพัฒนาต้นแบบนวัตกรรม	มีการอธิบายกระบวนการทำงานเพื่อพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมโดยการนำเสนอให้เห็นเป็นขั้นตอน ระบุข้อจำกัดในการพัฒนา และมีการนำเสนอแนวคิดใหม่ๆ ในการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรม
5. การนำเสนอของนักเรียน		
5.1	การสื่อสาร	มีการอธิบายอย่างละเอียด และน่าสนใจถึงกระบวนการทำงานของนักเรียนในการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรม โดยมีการลำดับให้ผู้ฟังเข้าใจตั้งแต่ที่มาของปัญหา การได้มาของต้นแบบทางชีววิทยา และการออกแบบและพัฒนานวัตกรรม
5.2	สื่อที่ใช้นำเสนอ	สื่อที่ใช้นำเสนอมีการจัดวางเป็นระเบียบ ไวยากรณ์ที่ใช้มีความถูกต้อง มีการใช้ภาพประกอบที่มีความเหมาะสมและมีคุณภาพดี มีการอ้างอิงที่ถูกต้อง
5.3	หลักฐานประกอบการนำเสนอ	หลักฐานประกอบการนำเสนอครบถ้วนตามที่กำหนด ได้แก่ บันทึกการทำงานกลุ่ม บันทึกการพัฒนานวัตกรรมตั้งแต่การออกแบบจนได้เป็นต้นแบบนวัตกรรม (Optimized Prototype)

จาก Table 4 กรอบการประเมินผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวโลกเลียนนี้ ครูผู้สอนสามารถใช้ประเมินผู้เรียนได้ตลอดการจัดการเรียนรู้ และประเมินสรุปผลลัพธ์ของนักเรียนอีกครั้งเพื่อแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของนักเรียน โดยครูผู้สอนสามารถกำหนดเกณฑ์เพิ่มเติมหรือระดับคะแนนเพื่อให้่ายต่อการประเมินนักเรียน

ข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวโลกเลียนสำหรับครูวิทยาศาสตร์ (Suggestion)

การนำแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบชีวโลกเลียนไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ ครูวิทยาศาสตร์ควรคำนึงถึงประเด็นสำคัญ ได้แก่ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เดิมของนักเรียน ความสามารถตามช่วงวัยในการสร้างชิ้นงาน/ต้นแบบนวัตกรรมของนักเรียน และทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานและต้นแบบนวัตกรรม ดังนี้

ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เดิมของนักเรียน ครูผู้สอนควรประเมินความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาของนักเรียนเป็นระยะๆ ควบคู่ไปกับการจัดการเรียนการสอนตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เพราะนักเรียนต้องใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา และสร้างนวัตกรรมที่จะช่วยแก้ปัญหา อย่างไรก็ตาม ครูผู้สอนอาจกำหนดลักษณะของเนื้อหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนจะต้องไปสืบค้นให้สอดคล้องกับธรรมชาติรายวิชา เนื้อหารายวิชา และตัววัดหรือผลการเรียนรู้ของแต่ละวิชาได้ เช่น การใช้ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาโมเลกุล การใช้ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับกายวิภาคศาสตร์ และสรีรวิทยาของพืชและสัตว์ การใช้ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด

เกลียวการออกแบบชีวโลกเลียนสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ได้ทั้งวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ รวมไปถึงวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์

ความสามารถตามช่วงวัยในการสร้างชิ้นงาน/ต้นแบบนวัตกรรมของนักเรียน นักเรียนแต่ละช่วงวัยมีความสามารถและข้อจำกัดในการสร้างชิ้นงาน/ต้นแบบนวัตกรรมที่ต่างกัน เช่น นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา ครูผู้สอนอาจให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน/ต้นแบบนวัตกรรมจากกระดาษและวัสดุอย่างง่าย นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ครูผู้สอนอาจให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน/ต้นแบบนวัตกรรมจากวัสดุที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หรือบางสถานศึกษาที่มีความพร้อมด้านเครื่องมืออาจให้นักเรียนสร้างต้นแบบนวัตกรรมจากเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printer)

ทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานและต้นแบบนวัตกรรม สถานศึกษาบางแห่งมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการนำทรัพยากรในท้องถิ่นมาสร้างชิ้นงาน/ต้นแบบนวัตกรรม เช่น ส่วนต่างๆ ของพืชของพืชในท้องถิ่น ลักษณะทางภูมิประเทศหรือระบบนิเวศในท้องถิ่นมาเป็นแรงบันดาลใจและตัวแบบในการออกแบบต้นแบบนวัตกรรม แต่สถานศึกษาที่อยู่ในชุมชนเมืองอาจต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในการหาวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างต้นแบบนวัตกรรม โดยครูผู้สอนอาจกำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง ซึ่งการกำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่จะส่งผลต่อข้อจำกัดในการสร้างต้นแบบนวัตกรรมของนักเรียน ซึ่งครูผู้สอนต้องพิจารณา

บทสรุป (Conclusion)

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวโลกเลียนมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยลดข้อจำกัดในการสอนแบบสะเต็มศึกษาศึกษาที่มักจะไม่ค่อยพบการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาใช้ในการออกแบบและสร้างนวัตกรรมในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ และช่วยส่งเสริมให้ครูวิทยาศาสตร์สามารถจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการสอนและเทคนิคการสอนใหม่ๆ ซึ่งมีผลลัพธ์ของการจัดการเรียนรู้ที่สำคัญคือ การส่งเสริมความสามารถในการสร้างนวัตกรรมโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และส่งเสริมความเป็นนวัตกรรมของนักเรียน และยังช่วยเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่สามารถนำแนวคิดเกลียวการออกแบบชีวโลกเลียนไปบูรณาการร่วมกันได้ ซึ่งผู้เขียนมีความคาดหวังว่าความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยจะได้รับการพัฒนาให้สูงขึ้นต่อไป

References

- Arora, A., & McIntyre, J. R. (2021). Biogeneration Bio-Inspired Architecture for Regenerative Built Environments. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(7), 1-16.
- Awae, M., Duangratanaekachai, S., Faikhamta, C., & Pongsophon, P. (2023). Biomimicry Design Spiral Learning Management: STEM Education in Biology Classroom. *Journal of Education Prince of Songkla University*, 34(3), 1-12.
- Awae, M., Worakitchanon, Y., Sakpirom, P., & Pongsophon, P. (2019). Teaching Nature of Technology in Modern Science Classroom by Engineering Design Process. *Journal of Education Studies*, 47(3), 309-327.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: Morrow.
- Biomimicry Institute. (2017). *The Biomimicry Design Process*. Retrieved December 23, 2023, from <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process>.

- Biomimicry Institute. (2020). *Biomimicry Youth Design Challenge Rubric, v4.0*. Retrieved December 23, 2023, from <https://www.youthchallenge.biomimicry.org/challenge-details>.
- Coban, M., & Costu, B. (2021). Integration of biomimicry into science education: biomimicry teaching approach. *Journal of Biological Education*, 55(1), 1-25.
- Distaporn, S., Sompoangeon, S., & Wangcharoen, V. (2022). The Creation of Products from the Concept of Biomimicry: A Case Study of Vegetable Grow Kit. *Journal of Fine Arts Research and Applied Arts*, 9(1), 111-136.
- Faikhamta, C., Awae, M., Suknarusaitagul, N., & Mutch, P. (2023). Research Trends in STEM Education in Thailand. *CMU Journal of Education*, 7(1), 29-43.
- Gvili, I. E., Weissburg, M. J., Yen, J., Helms, M. E., & Tovey, C. A. (2016). Development of scoring rubric for evaluating integrated understanding in an undergraduate biologically-inspired design course. *International Journal of Engineering Education*, 32, 123-135.
- Mejía-Villa, D. A., Torres-Guevara, D. L., Prieto-Sandoval, D. V., Cabra, D. J., & Jaca, D. C. (2023). Training for Sustainability through Biomimicry and Creative Problem-Solving Processes. *Thinking Skills and Creativity*, 49, 1-17.
- Ministry of Education. (2023). *Announcement of the Ministry of Education on Educational Policy of the Ministry of Education Fiscal year 2024 – 2025*. Retrieved January 31, 2024, from <https://moe360.blog/2023/12/06/p55122>.
- Nkandu, M. I., & Alibaba, H. Z. (2018). Biomimicry as an Alternative Approach to Sustainability. *Architecture Research*, 8(1), 1-11.
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education*. PISA, OECD Publishing: Paris.
- Okeke, F. O., Okekeogbu, C. J., & Adibe, F. A. (2017). Biomimicry and Sustainable Architecture: A Review of Existing Literature. *Journal of Environmental Management and Safety*, 8(1), 11-24.
- Park, J. K., & Kim, S. (2019). Three-Dimensionally Structured Flexible Fog Harvesting Surfaces Inspired by Namib Desert Beetles. *Micromachines*, 10, 201.
- Pathak, S. (2019). Biomimicry: (Innovation Inspired by Nature). *International Journal of New Technology and Research*, 5(6), 34-38.
- Pedersen Zari, M., & Storey, J. B. (2007). An ecosystem based biomimetic theory for a regenerative built environment. *Lisbon Sustainable Building Conference 07*, Lisbon, Portugal.
- Putwattana, N. (2018). Engineering Design and Biomimicry in STEM Education. *STOU Education Journal*, 11(2), 31-42.
- Qureshi, S. (2020). How students engage in biomimicry. *Journal of Biological Education*, 56(4), 450-464.
- Sahil, M., & Kothari, P. (2020). Case Study on Architecture of Lotus Temple. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(5), 1355-1360.

- Sankaewthong, S., Horanont, T., Miyata, K., Karnjana, J., Busayarat, C., Xie, H. (2022). Using a Biomimicry Approach in the Design of a Kinetic Façade to Regulate the Amount of Daylight Entering a Working Space. *Buildings*, 12, 1-26.
- Storey, J. B., & Pedersen Zari, M. (2006). Factor X - well being as a key component of next generation green buildings. *Rethinking Sustainable Construction Conference*, Sarasota, FL.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2015). *STEM education standards*. Bangkok: IPST.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2023). *PISA 2022 results*. Retrieved January 28, 2024, from <https://pisathailand.ipst.ac.th/news-21>.
- Turner, J. S., & Soar, R. (2008). *Beyond biomimicry: what termites can tell us about realising the living building*. 1st International Conference on Industrialised, Intelligent Construction. Loughborough University, UK.
- Vasinayanuwatana, T., & Vanichanon, A. (2022). Biomimicry: An Alternative Way of STEM Education in Biology. *Journal of Education Prince of Songkla University*, 33(1), 1-11.
- Verbrugghe, N., Rubinacci, E., & Khan, A. Z. (2023). Biomimicry in Architecture A Review of Definitions, Case Studies, and Design Methods. *Biomimetics*, 8, 107, 1-29.