

Designs Inspired by Nature: a Case Study Among Tenth-grade Students

Kittisak Manopattanakron^{1*}, Pongprapan Pongsophon², and Vudipong Davivongs³

Received: April 7, 2024 Revised: July 2, 2024 Accepted: July 2, 2024

Abstract

There are numerous instances of architectural and engineering designs that draw inspiration from nature, but there is still a lack of promotion of this concept to students, especially in Thailand. This is a qualitative research study using biological science knowledge and organizing it into learning activities for students to design approaches to solving human problems. It aims to study the designs by tenth-grade students that are inspired by nature. The case study involved 40 tenth-grade students at a large special secondary school in Bangkok. They participated in activities for 4 weeks according to the lesson plan, and the collected data were subjected to content analysis. It was found that most students take inspiration from the forms of living organisms when creating their work. They can showcase their design concepts through annotated drawings, highlighting the application of biological science knowledge. However, their designs frequently fail to consider the practical limitations in real-world application. The research underscores the importance of promoting nature-inspired designs among students.

Keyword: Designing; Inspired by Nature; High School Student; Biomimicry

¹ Department of Science and Technology, Bodindecha (Sing Singhasena) School

² Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University

³ Department of Landscape Architecture, Faculty of Architecture, Kasetsart University

* Corresponding author e-mail: kittisak.ma@ku.th

การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ: กรณีศึกษานักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

กิตติศักดิ์ มโนพัฒนกร¹, พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ² และ วุฒิพงษ์ ทวีวงศ์³

รับบทความ: 7 เมษายน 2567 แก้ไขบทความ: 2 กรกฎาคม 2567 รับผิดชอบ: 2 กรกฎาคม 2567

บทคัดย่อ

การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติมีตัวอย่างเป็นจำนวนมากในผลงานทางด้านสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ แต่การส่งเสริมการออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติให้นักเรียนโดยเฉพาะในประเทศไทยยังมีไม่มาก งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพโดยนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาจัดเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักเรียนออกแบบผลงานสำหรับแก้ปัญหาของมนุษย์ มีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กรณีศึกษาคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 40 คนจากโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ดำเนินกิจกรรมเป็นเวลา 4 สัปดาห์ตามแผนการจัดการเรียนรู้ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ออกแบบผลงานโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิตมาเป็นแรงบันดาลใจ นักเรียนสามารถนำเสนอความคิดการออกแบบผลงานในลักษณะของภาพวาดได้ดี ซึ่งภาพวาดพร้อมคำอธิบายประกอบช่วยแสดงให้เห็นถึงความคิดในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาใช้ในการออกแบบผลงานของนักเรียน แต่การออกแบบผลงานของนักเรียนยังไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดในการสร้างจริง ซึ่งจากผลการวิจัยที่ได้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการส่งเสริมการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติให้กับนักเรียน

คำสำคัญ: การออกแบบ; แรงบันดาลใจจากธรรมชาติ; นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย; ชีวโลกเลียน

¹ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

² ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* Corresponding author e-mail: kittisak.ma@ku.th

บทนำ

โลกปัจจุบันเสมือนเป็นเวทีการแข่งขันด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรมทั้งในการแข่งขันทางวิชาการ การแข่งขันทางธุรกิจ ไปจนถึงการนำนวัตกรรมไปใช้เพื่อทำให้ความเป็นอยู่ของมนุษย์ดีขึ้น (Well-being) มนุษย์มีการสร้างสรรค์นวัตกรรมโดยได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติมาเป็นระยะเวลายาวนาน และกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่การออกแบบนวัตกรรมในระดับเครื่องมือและอุปกรณ์ขนาดเล็กไปจนถึงงานสถาปัตยกรรมขนาดใหญ่ (ElDin, Abdou, & ElGawad, 2016; Aziz & El Sherif, 2016) โดยนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาตินั้นมีความแข็งแรงทนทาน เป็นผลผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถใช้แก้ปัญหาของมนุษย์ได้ และช่วยให้เกิดความยั่งยืน ทำให้มีการส่งเสริมการออกแบบและสร้างนวัตกรรมให้กับคนทุกเพศวัย โดยเฉพาะนักเรียนนักศึกษาที่จะเติบโตไปเป็นกำลังสำคัญของประเทศ หน่วยงานทางการศึกษาต่าง ๆ ทั้งในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานไปจนถึงระดับอุดมศึกษาจึงมีการส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง สำหรับประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการกำลังผลักดันการจัดการศึกษาฐานสมรรถนะ (Competency-based Education: CBE) โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาสมรรถนะหลักของผู้เรียนที่เหมาะสมตามช่วงวัย จัดสภาพแวดล้อมและเส้นทางการเรียนรู้ (Learning Pathways) ที่หลากหลาย จัดระบบสนับสนุนการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับธรรมชาติของผู้เรียน (Differentiated Learning) ใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ใช้สื่อและสถานการณ์การเรียนรู้ที่ร่วมสมัย หลากหลายและยืดหยุ่นตามความสนใจและความถนัดของผู้เรียน บริบท และจุดเน้นของสถานศึกษาและชุมชนแวดล้อม (Office of the Basic Education Commission, 2021) ซึ่งความสามารถในการสร้างสรรค์นวัตกรรมของนักเรียนถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการศึกษาฐานสมรรถนะ (Duval-Couetil & Dyrenfurth, 2012) และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ ทำให้ควรส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมและความเป็นนวัตกรรมให้กับนักเรียนในทุกระดับชั้น ซึ่งความเป็นนวัตกรรมจัดได้ว่าเป็นสมรรถนะหนึ่งที่สำคัญทั้งในปัจจุบันและอนาคต (Khongcharoen, 2021)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2015) ได้ส่งเสริมการสอนการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ หรือสะเต็มศึกษา (STEM Education) โดยมีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้ผู้เรียนสามารถประยุกต์ความรู้และทักษะการแก้ปัญหาในชีวิตจริง ซึ่งการออกแบบนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติสามารถจัดได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา (Vasinayanuwatana & Vanichanon, 2022) แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทย การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษารวมไปถึงการจัดการเรียนรู้ที่นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการออกแบบนวัตกรรมมักจะเป็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์กายภาพมาประยุกต์ใช้มากกว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Faikhamta, Awae, Suknarusaitagul, & Mutchu, 2023) ซึ่งแนวคิดชีวลอกเลียนหรือ Biomimicry เป็นแนวคิดหนึ่งที่มีความนิยม เพราะเป็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพหรือใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติมาออกแบบนวัตกรรมหรือผลงานที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ (Arumugam, Abidin, Kusumo, & Jain, 2023) อีกทั้งยังมีลักษณะสำคัญที่สอดคล้องกับแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (Putwattana, 2018)

จากความเป็นมาและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติซึ่งเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน และศึกษาการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในภาคการศึกษาแรกของระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่นักเรียนได้ศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความเฉพาะมากกว่าระดับชั้นก่อนหน้ารวมไปถึงการศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพในวิชาชีววิทยา โดยประยุกต์ใช้กับนักเรียนห้องเรียนโครงการวิทยาศาสตร์พลังสิบตามนโยบายของกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งห้องเรียนดังกล่าวกำหนดวิชาเรียนตามแผนการเรียนรู้ที่เน้นวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ตามแนวทางของ สสวท. มีเป้าหมายสำคัญคือการสร้างและพัฒนานักเรียนให้เป็นกำลังสำคัญในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม โดยมุ่งเน้นการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลายโดยเฉพาะการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ซึ่งจะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของประเทศไทยในการแข่งขันกับนานาชาติในอนาคต

วัตถุประสงค์

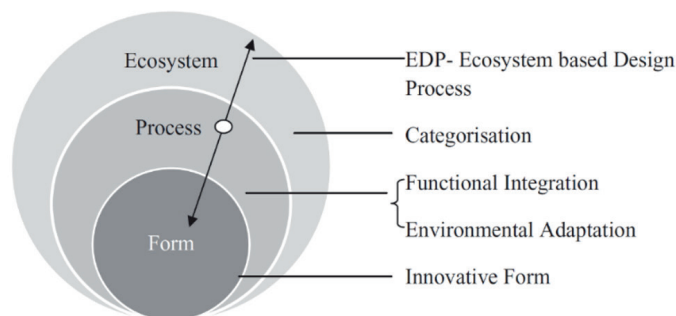
เพื่อศึกษาความสามารถในการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

การทบทวนวรรณกรรม

Janine Benyus หนึ่งในผู้ก่อตั้งสถาบัน Biomimicry Institute หน่วยงานที่มีชื่อเสียงระดับโลกด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาของมนุษย์โดยใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้กล่าวถึงการเลียนแบบธรรมชาติหรือ Biomimicry ไว้ว่า “ธรรมชาติเป็นแบบอย่างได้ (Nature as Model) การเลียนแบบธรรมชาติเป็นวิทยาศาสตร์แขนงใหม่ที่ศึกษาแบบจำลองทางธรรมชาติแล้วเลียนแบบ หรือใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติในการออกแบบแนวทางเพื่อแก้ปัญหาของมนุษย์ เช่น เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบไม้” (Benyus, 1997)

การออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ (Pathak, 2019) ได้แก่ ระดับของการเลียนแบบรูปร่างและลักษณะของสิ่งมีชีวิต (Organism Level) เป็นการเลียนแบบลักษณะของสิ่งมีชีวิต เช่น สีสัน รูปร่าง รูปทรง ฯลฯ ดังเช่น อาคาร Gherkin tower ในสหราชอาณาจักรได้รับแรงบันดาลใจมาจากฟองน้ำ Venus Basket โดยใช้รูปร่างลักษณะของฟองน้ำที่ทนทานต่อกระแสน้ำได้มหาสมุทรมาใช้ในการออกแบบและสร้างตึกให้มีความทนทานต่อกระแสลมและสภาพอากาศต่าง ๆ (Nkandu & Alibaba, 2018) ระดับของการเลียนแบบพฤติกรรมและการทำงานของร่างกายสิ่งมีชีวิต (Behavior Level) เป็นการเลียนแบบโครงสร้างและกระบวนการทำงานของสิ่งมีชีวิตไปจนถึงการแสดงออกของสิ่งมีชีวิตในรูปแบบของพฤติกรรม เช่น Zare and Falahat (2013) ได้ออกแบบผนังอัจฉริยะที่ช่วยระบายความร้อนโดยได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะผิวของสัตว์เลื้อยคลาน Park and Dave (2014) ได้ออกแบบระบบการกระจายแสงตามความเข้มแสงในแต่ละช่วงของวันโดยได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะการทำงานของดวงตาสัตว์มีชีวิต อาคาร Harare’s Eastgate Centre ในประเทศ Zimbabwe มีระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ดีโดยได้รับแรงบันดาลใจมาจากจอมปลวก (Turner & Soar, 2013) และระดับของการเลียนแบบนิเวศวิทยา (Ecosystem Level) เป็นการเลียนแบบลักษณะทาง

ธรรมชาติในภาพรวมทั้งระบบ เช่น โครงการ The Eden Project England ในสหราชอาณาจักร ได้สร้างอาคารที่จำลองระบบนิเวศป่าฝนและพื้นที่แถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนโดยสามารถรักษาระดับอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชในแถบเส้นศูนย์สูตร ทำให้สามารถปลูกพืชต่างถิ่นในอาคารนี้ได้ (Nkandu & Alibaba, 2018) ซึ่งสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นจากการเลียนแบบธรรมชาติมีความยั่งยืนมากกว่า (Zari & Storey, 2007) ไม่ว่าจะเป็นการเลียนแบบในระดับใดสามารถพัฒนาเป็นนวัตกรรมได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่ต้องการนำนวัตกรรมไปแก้ไข

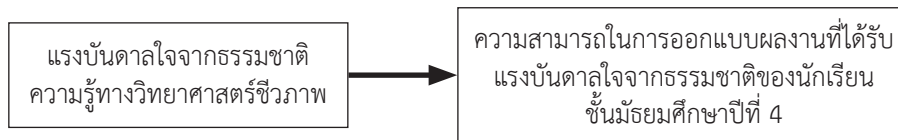


ภาพที่ 1 ระดับของการออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ
ที่มา: Gamage and Hyde (2012)

จากภาพที่ 1 ในแต่ละระดับของการเลียนแบบธรรมชาติเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมจะมุ่งเน้นไปที่การทำความเข้าใจวิธีการหรือรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตใช้ในการแก้ปัญหา ตั้งแต่ระดับรูปร่าง (Form) ของสิ่งมีชีวิตที่มีการพัฒนาให้เหมาะสมกับการดำเนินชีวิต ระดับกระบวนการของสิ่งมีชีวิต (Process) ว่ากลไกหรือระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีการผสมการทำงานกันอย่างไร (Functional Integration) และมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่อย่างไร (Environmental Adaptation) และระดับทางนิเวศวิทยา (Ecosystem) ซึ่งเป็นระดับที่นำความรู้ตั้งแต่ระดับรูปร่างและระดับกระบวนการของสิ่งมีชีวิตมาใช้ในการจัดหมวดหมู่ (Categorisation) และออกแบบสภาพแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่ (Ecosystem Based Design Process) ในการเลียนแบบระดับนี้จึงถือว่าเป็นระดับที่ทำหายที่สุดในการเลียนแบบธรรมชาติเพื่อสร้างสรรค์เป็นนวัตกรรม

ในต่างประเทศมีงานวิจัยที่น่าแนวคิดเกี่ยวกับชีวโลกเลียนมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนให้กับนักเรียน เช่น งานวิจัยของ Coban and Coştu (2021) ที่ให้นักเรียนศึกษาลักษณะ กลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบ (Model) เพื่อใช้เป็นแรงบันดาลใจในการออกแบบและสร้างต้นแบบนวัตกรรม (Prototype) เพื่อแก้ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถเลียนแบบลักษณะหรือกลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิตโดยการวาดภาพและสร้างแบบจำลองอย่างง่ายได้ กิจกรรมดังกล่าวช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพไปสู่การสร้างสรรค์ผลงานได้ ส่วนในประเทศไทยงานวิจัยของ Duangrata naekachai and Faikhamta (2023) ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้นวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติตามแนวสะเต็มให้กับนักเรียน ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนสามารถประยุกต์และเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาใช้ในการออกแบบผลงานได้ และผลการจัดการเรียนรู้สามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียนได้

กรอบแนวคิด



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารายกรณี (Case Study) เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content Analysis) มีระเบียบวิธีวิจัยดังนี้

กรณีศึกษา

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 40 คน ซึ่งเป็นนักเรียนห้องเรียนโครงการวิทยาศาสตร์พลังสิบของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง โดยในปีการศึกษา 2566 โรงเรียนเปิดรับนักเรียนเข้าศึกษาในโครงการนี้เป็นปีแรก โดยมีจุดมุ่งหมายสำคัญเพื่อพัฒนาความรู้ความสามารถด้านวิทยาศาสตร์และการสร้างนวัตกรรมของนักเรียน จากลักษณะดังกล่าว ผู้วิจัยจึงใช้นักเรียนที่กำลังศึกษาในห้องเรียนนี้เป็นกรณีศึกษาทั้งห้องเรียน

เครื่องมือวิจัยและการพัฒนา

ผู้วิจัยออกแบบและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ที่เป็นกิจกรรมให้นักเรียนได้ศึกษาทำความเข้าใจเพื่อออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ จำนวน 4 แผน แต่ละแผนใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 1 คาบเรียน (คาบเรียนละ 50 นาที) รวมเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ 4 คาบเรียนรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดแผนการจัดการเรียนรู้

สัปดาห์ที่	ชื่อแผนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการเรียนรู้และการดำเนินงานของนักเรียน
สัปดาห์ที่ 1	การระบุปัญหา	นักเรียนศึกษาลักษณะของปัญหาในชีวิตประจำวันที่สนใจ และสามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์
สัปดาห์ที่ 2	การหาตัวแบบทางธรรมชาติ	นักเรียนสืบค้นหาตัวแบบทางธรรมชาติที่มีลักษณะปัญหาใกล้เคียงกับปัญหาที่นักเรียนสนใจ และสามารถนำลักษณะดังกล่าวมาใช้ในการเลียนแบบเพื่อออกแบบผลงานได้
สัปดาห์ที่ 3-4	การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ	นักเรียนออกแบบผลงานในการแก้ปัญหาที่ได้รับแรงบันดาลใจจากตัวแบบทางธรรมชาติ โดยการนำเสนอออกมาในลักษณะที่ผู้อื่นสามารถเข้าใจได้โดยง่าย เช่น การวาดภาพ การใช้สื่อต่าง ๆ ประกอบ

หมายเหตุ: แผนการจัดการเรียนรู้ในสัปดาห์ที่ 3-4 มีรายละเอียดเนื้อหากิจกรรมเหมือนกัน เพื่อให้นักเรียนได้ปรับปรุงผลงานให้มีความเหมาะสมที่สุด

ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม และนำผลการประเมินมาปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เพิ่มเติมการนำเสนอตัวอย่างปัญหาที่เชื่อมโยงกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพให้กับนักเรียน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เพิ่มเติมแหล่งสืบค้นลักษณะหรือกลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต เช่น <https://asknature.org> แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3-4 เพิ่มเติมกิจกรรมให้นักเรียนได้นำเสนอความคิดในการออกแบบผลงาน และการแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นร่วมกันกับเพื่อน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยชี้แจงลักษณะและขอบเขตของการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน (Buddy) เพื่อร่วมกันทำกิจกรรม โดยมีนักเรียนทั้งหมด 20 คู่
2. ผู้วิจัยจัดกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ศึกษาทำความเข้าใจเพื่อออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติตามแผนการจัดการเรียนรู้
3. ผู้วิจัยรวบรวมผลงานการออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติจากนักเรียนได้ทั้งหมด 20 ผลงานวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์เนื้อหาจากผลงานของนักเรียนแต่ละคู่ โดยการเชื่อมโยงประเด็นที่เหมือนและประเด็นที่แตกต่างจากผลงานทั้งหมด และสรุปเป็นประเด็นสำคัญที่สอดคล้องกัน ซึ่งมีหัวข้อสำคัญที่ผู้วิจัยใช้เป็นแนวทางหลักในการวิเคราะห์ผลงานของนักเรียน ดังนี้

1.1 ระดับของการใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติในการสร้างสรรค์ผลงาน ได้แก่ ระดับรูปร่างของสิ่งมีชีวิต ระดับกลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต และระดับระบบนิเวศ โดยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนนำมาใช้ในแต่ละระดับ

1.2 การนำเสนอแนวคิดในการสร้างสรรค์ผลงานของนักเรียน เช่น ภาพวาดของนักเรียนแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพหรือการใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติมาสร้างสรรค์ผลงานหรือไม่ อย่างไร รวมไปถึงความเชื่อมโยงกับข้อมูลที่นักเรียนนำมาใช้ในข้อ 1.1

1.3 ความเป็นไปได้ในการต่อยอดจากแนวคิดการออกแบบสู่การพัฒนาเป็นนวัตกรรม เป็นการพิจารณาเหตุผลที่นักเรียนอธิบายในผลงานเกี่ยวกับการนำแนวคิดนวัตกรรมไปสร้างและใช้งานจริง

2. ผู้วิจัยนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ให้ผู้มีประสบการณ์ในการจัดกิจกรรมการออกแบบนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติตรวจสอบโดยใช้เทคนิคหาความเชื่อมั่นระหว่างผู้ตรวจอิสระ (Inter-rater Reliability) เป็นการวิเคราะห์ที่ความข้อมูลที่ได้อีกครั้งหนึ่ง โดยการนำผลการวิจัยที่ได้มาอภิปรายร่วมกัน หากข้อคิดเห็นของผู้วิจัยและผู้ตรวจสอบสอดคล้องกันจึงจะนำไปสรุปและอภิปรายผล หากข้อคิดเห็นของผู้วิจัยและผู้ตรวจสอบไม่สอดคล้องกันจะทำการอภิปรายแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อสรุปร่วมกัน

เอกสารรับรองการวิจัยในมนุษย์

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยคำนึงถึงหลักจริยธรรมการทำวิจัยในมนุษย์โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะจากผลงานของนักเรียนเท่านั้น ไม่มีการระบุชื่อหรือข้อมูลที่สามารถอ้างอิงไปถึงตัวนักเรียนได้ เมื่อมีการกล่าวถึงนักเรียนผู้วิจัยจะใช้รหัสแทนนักเรียนทั้งหมด

ผลการวิจัย

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 4 สัปดาห์ นักเรียนทุกคนสามารถระบุปัญหาหรือประเด็นที่เป็นหัวข้อในออกแบบผลงาน โดยทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาที่ต้องการแก้ไขได้ในสัปดาห์ที่หนึ่ง จากนั้นในสัปดาห์ที่สอง นักเรียนสืบค้นและศึกษาเกี่ยวกับลักษณะ หรือการทำงานของสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบในการแก้ปัญหา และระบุสิ่งมีชีวิตที่ใช้เป็นตัวแบบได้ ส่วนในสัปดาห์ที่สามและสัปดาห์ที่สี่ นักเรียนแต่ละคู่มีการออกแบบผลงานได้สำเร็จแตกต่างกัน บางคู่สามารถร่างแบบผลงานได้เห็นภาพชัดเจนภายในสัปดาห์ที่สาม แต่บางคู่ต้องพัฒนาผลงานของตนเองต่อในสัปดาห์ที่สี่และนอกเวลาเรียน

ผลงานการออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การออกแบบนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียน

รหัสแทน คู่นักเรียน	ตัวแบบธรรมชาติ ที่เป็นแรงบันดาลใจ	ผลงานของนักเรียน	การประยุกต์ใช้ความรู้ ในการออกแบบ
A	ปลาไหลไฟฟ้า	เครื่องให้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ปลาไหลไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน	ใช้สิ่งมีชีวิตเป็นองค์ประกอบของผลงาน
B	ค้างคาว	แว่นตาที่ใช้คลื่นสะท้อนช่วยคนตาบอดในการเดินทาง	กลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต
C	ยุง	เข็มฉีดยารูปทรงเลียนแบบปากยุง	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
D	วาฬหลังค่อม	หางเสือลักษณะแบบเดียวกับครีบบาฬ	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
E	ปลาบิน	เครื่องบินที่สามารถสำรวจใต้น้ำรูปทรงปลาบิน	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
F	กิ่งก่าคาเมเลียน	เครื่องสำอางเปลี่ยนสีได้	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
G	แมลงวัน	กล้องตรวจจับวัตถุแบบตาของแมลงวัน	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
H	กาบหอยแครง	ร่มเปิดปิดอัตโนมัติเมื่อฝนตก	กลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต
I	โลมา	กล้องบันทึกวิดีโอโดยใช้คลื่นความถี่สูง	กลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต
J	วาฬ	ใบพัดกังหันแบบครีบบาฬ	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
K	นกฮูก	คอนแทคเลนส์ที่ช่วยมองเห็นในเวลากลางคืน	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
L	ไฮดร่า	ป็นยิงเข็มพิษ	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
M	แมงกะพรุน	ยานอวกาศที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบแมงกะพรุน	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รหัสแทน คู่ นักเรียน	ตัวแบบธรรมชาติ ที่เป็นแรงบันดาลใจ	ผลงานของนักเรียน	การประยุกต์ใช้ความรู้ ในการออกแบบ
N	หมี	ถุงมือรูปทรงกรงเล็บหมี	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
O	ผีเสื้อ	เสื้อผ้าสะท้อนแสงแดด	กลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต
P	นกเพนกวิน	วิทยุสื่อสารทางไกล	กลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต
Q	หมิน้ำ	ผิวนอกของยานอวกาศที่ทนต่อสภาวะ นอกโลก	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
R	ค้างคาว	ปืนที่ปล่อยคลื่นสะท้อนสำหรับตรวจหา ตำแหน่งของวัตถุใต้น้ำ	กลไกการทำงานของสิ่งมีชีวิต
S	แมงกะพรุน	ชุดนักบินอวกาศที่กักเก็บน้ำเพื่อใช้ในการ เคลื่อนที่	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต
T	กิ้งก่าคาเมเลียน	เสื้อเปลี่ยนสีได้	รูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิต

จากตารางที่ 2 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ทั้ง 40 คนสามารถนำรูปร่าง ลักษณะหรือการทำงานของสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบมาออกแบบผลงานได้ แต่มีบางงานที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการออกแบบผลงานที่ใช้แรงบันดาลใจจากสิ่งมีชีวิต แต่เป็นการนำสิ่งมีชีวิตมาใช้ในการออกแบบเป็นผลงาน เช่น ผลงานของนักเรียน A ที่นำปลาไหลไฟฟ้ามาใช้เป็นแหล่งให้กำเนิดกระแสไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่ได้นำการเลียนแบบลักษณะหรือการทำงานของสิ่งมีชีวิตตัวแบบดังภาพที่ 3 ผลงานของนักเรียนบางงานมีลักษณะของผลงานการออกแบบเชิงความคิดมากกว่าที่จะสามารถสร้างเป็นนวัตกรรมจริงได้โดยง่าย เช่น ผลงานของนักเรียน M ที่ศึกษาโครงสร้างของแมงกะพรุนแล้วนำมาออกแบบเป็นยานอวกาศ

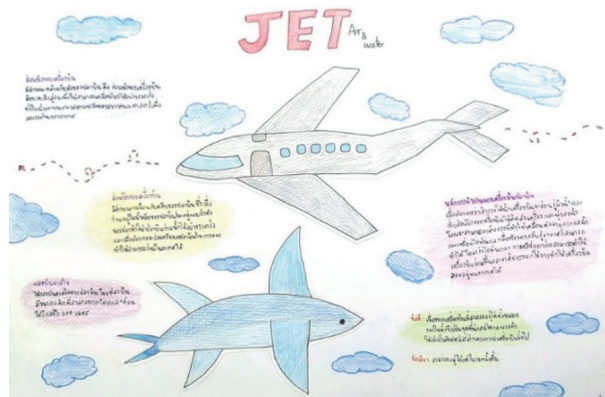


ภาพที่ 3 ผลงานของนักเรียน A การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะของปลาไหลไฟฟ้า

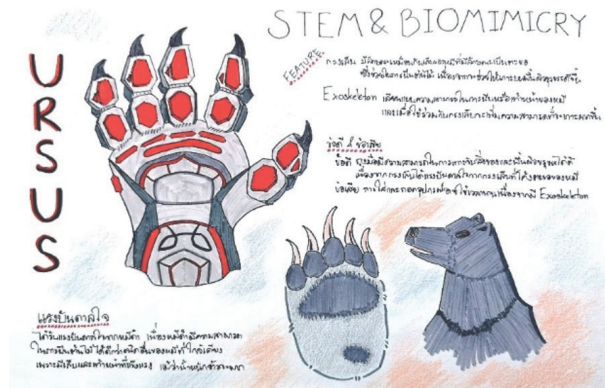
จากผลการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยสามารถสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ 3 ประเด็น ดังนี้

1. นักเรียนส่วนใหญ่ออกแบบผลงานโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิตมาเป็นแรงบันดาลใจ

ผลงานของนักเรียนส่วนใหญ่เป็นการนำรูปร่าง ลักษณะของสิ่งมีชีวิตมาใช้ในการออกแบบโดยตรง เช่น ผลงานของนักเรียน E ที่ใช้แรงบันดาลใจจากรูปร่างลักษณะของปลาบินมาออกแบบเป็นเครื่องบิน จะเห็นได้ว่าเป็นการลอกแบบมากกว่าเลียนแบบดังภาพที่ 4 และผลงานของนักเรียน N ที่ใช้แรงบันดาลใจจากรูปร่างลักษณะของอุ้งมือหมีมาออกแบบเป็นถุงมือที่ใกล้เคียงกับรูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตตัวแบบมาก แม้ว่าผลงานบางอย่างจะถูกสร้างและพัฒนาโดยอ้างอิงจากรูปร่างและลักษณะของสิ่งมีชีวิต แต่การหาวัสดุสำหรับสร้างนวัตกรรมที่มีคุณสมบัติเฉพาะใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตนั้นมักจะทำได้ยาก และวัสดุที่สร้างอาจมีข้อจำกัดในการทำงานที่แตกต่างจากของสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบ หากนักเรียนได้ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการทำงานหรือสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบผลงานเพื่อแก้ไขปัญหา จะทำให้ผลงานของนักเรียนมีการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาประยุกต์ใช้มากขึ้น



ภาพที่ 4 ผลงานของนักเรียน E การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะของปลาบิน

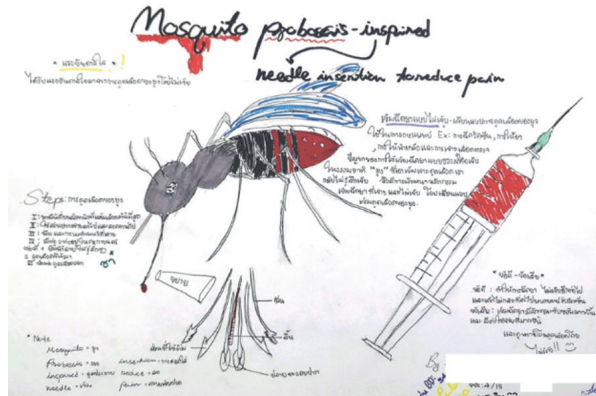


ภาพที่ 5 ผลงานของนักเรียน N การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะของอุ้งมือหมี

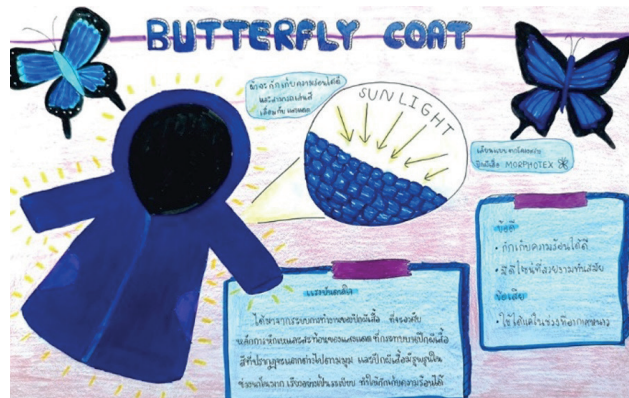
2. นักเรียนสามารถนำเสนอความคิดในการออกแบบผลงานในลักษณะของภาพวาดได้ดี

การออกแบบผลงานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่นำเสนอความคิดการออกแบบในลักษณะของภาพวาดช่วยแสดงให้เห็นแนวโน้มแนวทางการประยุกต์ใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาออกแบบเป็นผลงานได้อย่างชัดเจน เช่น ผลงานของนักเรียน C ที่ศึกษาลักษณะของปากงูมาออกแบบเป็นเข็มฉีดยา โดยวาดภาพให้เห็นถึงลักษณะทางกายวิภาคของปากงู และเขียน

อธิบายโดยสรุปเกี่ยวกับการออกแบบผลงานดังภาพที่ 5 และผลงานของนักเรียน O ที่ศึกษาการสะท้อนคลื่นรังสี UV ของผิวปีกผีเสื้อช่วยให้อุณหภูมิในร่างกายไม่สูงเกินไปมาออกแบบเป็นเสื้อคลุมที่สะท้อนรังสี UV เช่นเดียวกัน ซึ่งการออกแบบในลักษณะที่เป็นภาพวาดควรแสดงให้เห็นทั้งการศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิตตัวแบบโดยละเอียด และแสดงความเชื่อมโยงจากผลการศึกษาลู่ผลงานที่ออกแบบ



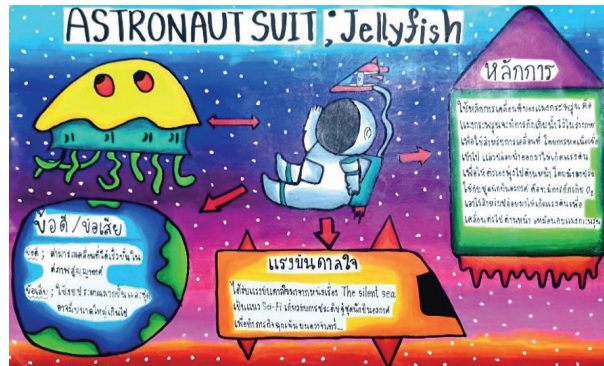
ภาพที่ 6 ผลงานของนักเรียน N การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะของอู้งมอหมี



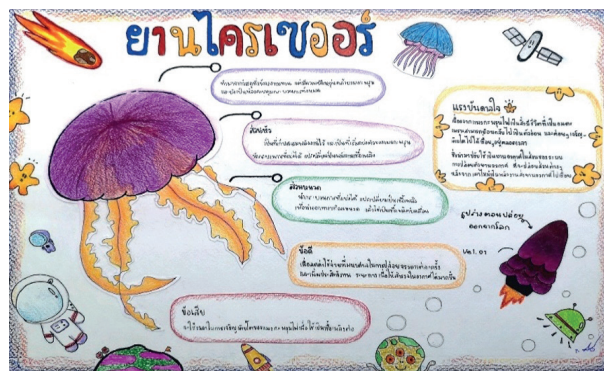
ภาพที่ 7 ผลงานของนักเรียน O การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะของผิวของผีเสื้อ

3. การออกแบบผลงานของนักเรียนยังไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดในการสร้างจริง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ส่วนใหญ่ออกแบบผลงานโดยไม่ได้คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมจริง เช่น ผลงานของนักเรียน M และ S ที่ใช้ลักษณะทางกายวิภาคของแมงกะพรุนเป็นแรงบันดาลใจในการออกแบบผลงาน ทั้งชุดนักบินอวกาศที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดันน้ำและยานอวกาศที่มีลักษณะโครงสร้างแบบเดียวกับแมงกะพรุนดังภาพที่ 8-9 ซึ่งอาจสร้างจริงได้ยากด้วยข้อจำกัดทางด้านวิศวกรรม อาจเนื่องมาจากนักเรียนเข้าใจว่าเป็นงานที่สิ้นสุดแค่การนำเสนอความคิดในการออกแบบผลงานเท่านั้น ไม่ได้เป็นการสร้างนวัตกรรมจริง แต่อย่างไรก็ตาม ผลงานดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและการเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน และความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบของนักเรียน



ภาพที่ 8 ผลงานของนักเรียน M การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะของแมงกะพรุน



ภาพที่ 9 ผลงานของนักเรียน S การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะของแมงกะพรุน

ทั้งนี้ มีผลงานของนักเรียนบางส่วนที่ออกแบบโดยใช้ความรู้และประสบการณ์เดิมของนักเรียนที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นมาเป็นแรงบันดาลใจในการออกแบบผลงาน เช่น ผลงานของนักเรียน K ที่ออกแบบคอนแทคเลนส์ที่ช่วยมองเห็นในเวลากลางคืนโดยได้รับแรงบันดาลใจจากการมองเห็นในเวลากลางคืนของนกฮูก แต่ผลงานยังไม่ได้แสดงให้เห็นถึงการศึกษางานของโครงสร้างร่างกายของนกฮูกที่ช่วยในการมองเห็นตอนเวลากลางคืน



ภาพที่ 10 ผลงานของนักเรียน K การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการมองเห็นในเวลากลางคืนของนกฮูก

สรุปและอภิปรายผล

สรุปผล

การออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์พบว่า นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพหรือใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติในการออกแบบผลงานได้ โดยนักเรียนส่วนใหญ่ใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิตมาเป็นแรงบันดาลใจและนำเสนอผลงานการออกแบบในลักษณะของภาพวาดได้ดี แต่ผลงานยังไม่ได้คำนึงถึงรายละเอียดของการนำไปสร้างจริง

อภิปรายผล

นักเรียนส่วนใหญ่ออกแบบผลงานโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิตมาเป็นแรงบันดาลใจในการออกแบบ ได้แก่ การใช้รูปร่าง ลักษณะ สี สัน หรือโครงสร้างภายนอกของสิ่งมีชีวิตมาออกแบบผลงานซึ่งการเลียนแบบดังกล่าวจัดว่าเป็นระดับของการเลียนแบบในระดับล่างสุด (AliEl-Zeiny, 2012) เพราะนักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่ได้ศึกษารายละเอียดทางกายวิภาคหรือสรีรวิทยาในการทำงานของโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตตัวแบบที่อาจจะช่วยให้นักเรียนได้ค้นพบแนวทางในการแก้ปัญหาที่หลากหลายมากขึ้น

การนำเสนอแนวคิดการออกแบบผลงานของนักเรียนในลักษณะของภาพวาดพบว่า นักเรียนสามารถนำเสนอความคิดการออกแบบผลงานในลักษณะของภาพวาดได้ดี เนื่องจากภาพวาดช่วยแสดงให้ผู้อื่นเห็นถึงความคิดของนักเรียนที่ใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวแบบในการออกแบบผลงาน อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงแบบแผนความคิดในการสร้างสรรค์นวัตกรรมในลำดับถัดไป การใช้ภาพวาดในการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาตินี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schleicher, Kontominas, Makker, Tatli and Yavaribajestani (2019) ที่ให้นักเรียนวาดภาพและร่างแบบความคิดในการออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติก่อนนำไปสร้างจริง และภาพวาดของนักเรียนช่วยให้ครูผู้สอนตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพของนักเรียน

การออกแบบผลงานของนักเรียนยังไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดในการสร้างจริง ถึงแม้ว่าความคิดของนักเรียนในการนำสิ่งมีชีวิตมาเป็นตัวแบบในการออกแบบผลงานของนักเรียนจะมีความหลากหลายและน่าสนใจ แต่ความเป็นไปได้ในการสร้างจริงได้มาน้อยแตกต่างกัน โดยมีผลงานหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนอาจจะยังมองข้ามข้อจำกัดในการสร้างเป็นนวัตกรรมจริง เช่น การสร้างจรวดหรือยานอวกาศที่เลียนแบบสิ่งมีชีวิตที่จำเป็นต้องมีการศึกษารายละเอียดให้ลึกซึ้งมากกว่าการเลียนแบบเพียงลักษณะภายนอกของสิ่งมีชีวิต แต่ต้องอาศัยความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ วัสดุศาสตร์ และความรู้ทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ มาใช้ในการออกแบบเพิ่มเติมและสร้างนวัตกรรมนี้ ผลการวิจัยในงานนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Coban and Costu (2021) และ Qureshi (2020) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้ออกแบบผลงานโดยใช้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติในช่วงแรก นักเรียนต้องหาความเชื่อมโยงระหว่างกลยุทธ์ทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิตตัวแบบ จากนั้นนักเรียนต้องสังเกตและทำความเข้าใจถึงโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของโครงสร้างนั้น โดยนำเสนอในรูปแบบของสื่อต่าง ๆ ในช่วงที่สองนักเรียนต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดของการเลียนแบบ และเชื่อมโยงลักษณะของสิ่งมีชีวิตกับแนวคิดการออกแบบที่เป็นไปได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถออกแบบผลงาน

ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติตามลักษณะดังกล่าวข้างต้นได้อย่างครบถ้วน ถ้าหากมีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ต่อไป อาจให้นักเรียนได้ศึกษาทำความเข้าใจการสร้างต้นแบบนวัตกรรม ต่อยอดจากที่นักเรียนได้ออกแบบ ซึ่งจะทำให้นักเรียนได้ปรับปรุงแก้ไขความคิดในการออกแบบของตนเองให้สามารถพัฒนาเป็นนวัตกรรมได้จริง

การจัดกิจกรรมการออกแบบนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติให้กับนักเรียน นอกจากเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ไขปัญหาในชีวิตประจำวันของมนุษย์แล้วยังสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นการจัดกิจกรรมแบบสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมให้นักเรียนแก้ไขปัญหาโดยค้นหาแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ และนำมาใช้เป็นตัวแบบในการออกแบบและสร้างนวัตกรรมที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานได้จริง อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมสีเขียว (Green Innovation) ซึ่งเป็นการสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย (Pancharoen, Phonphuak, Nithisirwaritkun, & Waleeprathanporn, 2020) ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงเป็นทั้งตัวอย่างในการจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมการสร้างสรรค์ผลงานโดยประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพให้กับนักเรียน และเป็นข้อควรระวังที่ครูผู้สอนอาจพบเจอจากผลงานการออกแบบของนักเรียน

ข้อเสนอแนะ

1. การให้นักเรียนออกแบบผลงานที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ครูผู้สอนอาจกำหนดเงื่อนไขของชิ้นงานเพิ่มเติม เช่น การให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางกายวิภาคหรือลักษณะทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบในเชิงลึก เพื่อให้นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพมาใช้ในการออกแบบผลงานได้ละเอียดมากขึ้น และหลีกเลี่ยงโอกาสที่นักเรียนจะออกแบบผลงานโดยใช้แรงบันดาลใจเพียงรูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแบบ

2. ควรขยายผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถออกแบบและสร้างนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติให้กับนักเรียนทุกระดับชั้น และศึกษาผลของการออกแบบและสร้างนวัตกรรมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติของนักเรียน ครูผู้สอนอาจบูรณาการการสร้างผลงานของนักเรียนในเนื้อหาวิชาต่าง ๆ โดยใช้วัสดุในการทำต้นแบบนวัตกรรมที่ราคาไม่แพง และหาได้ง่ายทั่วไป เช่น กระดาษ กาว กรรไกร หรือขยะเหลือทิ้งที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างต้นแบบนวัตกรรมได้

เอกสารอ้างอิง

- AliEl-Zeiny, R. M. (2012). Biomimicry as a problem solving methodology in interior architecture. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 50, 502-512. doi:10.1016/j.sbspro.2012.08.054
- Arumugam, G., Abidin, S. N. Z., Kusumo, C. M. L., & Jain, A. (2023). Teaching nature and architecture: student-led account of biomimicry innovations in the tropics. *Biomimetics*, 8(1), 13. doi:10.3390/biomimetics8010013
- Aziz, M. S., & El Sherif, A. Y. (2016). Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 707-714. doi:10.1016/J.AEJ.2015.10.015
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: Morrow.
- Coban, M., & Costu, B. (2021). Integration of biomimicry into science education: biomimicry teaching approach. *Journal of Biological Education*, 55(1), 1-25. doi:10.1080/00219266.2021.1877783

- Duangratanaekachai, S., & Faikhamta, C. (2023). Development of Grade-11 students' collaborative problem-solving skills using biomimicry stem approach. *Journal of Education and Innovative Learning*, 3(2), 101-117. Retrieved from <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/jeil/article/view/261169> [in Thai]
- Duval-Couetil, N., & Dyrenfurth, M. (2012). Teaching students to be innovators: examining competencies and approaches across disciplines. *International Journal of Innovation Science*, 4(3), 143-154. doi:10.1260/1757-2223.4.3.143
- ElDin, N. N., Abdou, A., & ElGawad, I. A. (2016). Biomimetic potentials for building envelope adaptation in Egypt. *Procedia Environmental Sciences*. 34, 375-386. doi:10.1016/j.proenv.2016.04.033
- Faikhamta, C., Awae, M., Suknarusaitagul, N., & Mutch, P. (2023). Research trends in STEM education in Thailand. *CMU Journal of Education*, 7(1), 29-43. Retrieved from <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/cmujedu/article/view/261269> [in Thai]
- Gamage, A., & Hyde, R. (2012). A model based on biomimicry to enhance ecologically sustainable design. *Architectural Science Review*, 55(3), 224-235, doi:10.1080/00038628.2012.709406
- Khongcharoen, P. (2021). Learning and innovation skills: The important characteristic of global citizens in a value-based economy. *Journal of Humanities and Social Sciences Thonburi University*, 15(3), 165-177. Retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/trujournal/article/view/251117> [in Thai]
- Nkandu, M. I., & Alibaba, H. Z. (2018). Biomimicry as an alternative approach to sustainability. *Architecture Research*, 8(1), 1-11. doi:10.5923/j.arch.20180801.01
- Office of the Basic Education Commission. (2021). *Competency-based education*. Retrieved November 14th, 2023, from <https://cbethailand.com> [in Thai]
- Pancharoen, N., Phonphuak, S., Nithisiriwaritkun, W., & Waleeprathanporn, N. (2020). Green innovation and environmental management for sustainable: the role of competitive advantage for Thai entrepreneurs. *Journal of Local Governance and Innovation*, 4(2), 339-356. Retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/JLGISRRU/article/view/242765> [in Thai]
- Park, J. J., & Dave, B. (2014). Bio-inspired parametric design of adaptive stadium facades. *Australasian Journal of Construction Economics and Building - Conference Series*, 2(2), 27-35. doi:10.5130/ajceb-cs.v2i2.3886
- Pathak, S. (2019). Biomimicry: (innovation inspired by nature). *International Journal of New Technology and Research*, 5(6), 34-38. doi:10.31871/IJNTR.5.6.17
- Putwattana, N. (2018). Engineering design and biomimicry in STEM education. *STOU Educational Journal*, 11(2), 31-42. Retrieved from https://so05.tci-thaijo.org/index.php/edjour_stou/article/view/162004 [in Thai]
- Qureshi, S. (2020). How students engage in biomimicry. *Journal of Biological Education*, 56(4), 450-464. doi:10.1080/00219266.2020.1841668
- Schleicher, S., Kontominas, G., Makker, T., Tatli, I., & Yavaribajestani, Y. (2019). Studio one: A new teaching model for exploring bio-inspired design and fabrication. *Biomimetics*, 4(2), 34. doi:10.3390/biomimetics4020034
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2015). *STEM education standards*. Bangkok: IPST. [in Thai]
- Turner, J. S., & Soar, R. (2013). Beyond biomimicry: what termites can tell us about realising the living building. In I. Wallis, L. Bilan, M. Smith, & A. S. Kazi (Eds.), *Industrialised, Integrated, Intelligent Sustainable Construction I3CON Handbook 2* (233-248). 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. Retrieved from <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/edupsu/article/view/247543> [in Thai]

- Zare, M., & Falahat, M. (2013). Characteristics of reptiles as a model for bionic architecture. *Journal of Advanced Research in Civil and Environmental Engineering*, 1(3), 124-135.
- Zari, M. P., & Storey, J. B. (2007). An ecosystem based biomimetic theory for a regenerative built environment. In *Lisbon Sustainable Building Conference 7*. Lisbon, Portugal.