

แนวทางการปรับปรุงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม เชิงนิเวศเพื่อส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ: กรณีศึกษาอาคาร ศูนย์บริการนักท่องเที่ยว อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

The improvement guidelines of materials used in eco-architecture construction for promoting biodiversity: A case study of Khao Yai National Park Visitor Center

ธนกร วีระวุธ^{1*} ผศ.ดร.ภูมิชาย พันธุ์ไพโรจน์²
และ ผศ.ดร.สาดิศา สกุลรัตนกุลชัย³

¹นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อำเภอกลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อำเภอกลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อำเภอกลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

Tanakorn Weerawut^{1*} Poomchai Punpairoj² and
Satida Sakulrattanakulchai³

¹Master Degree Student, Faculty of Architecture and Planning Thammasat
University, Khlong Luang District, Pathum Thani, 12121

²Assistant Professor, Faculty of Architecture and Planning Thammasat
University, Khlong Luang District, Pathum Thani, 12121

³Assistant Professor, Faculty of Architecture and Planning Thammasat
University, Khlong Luang District, Pathum Thani, 12121

*Email: gototanakorn@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมเชิงนิเวศ เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ จากการสำรวจอาคารและพื้นที่ป่าในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่พบว่า มีการก่อสร้างอาคารโดยไม่คำนึงถึงความหลากหลายทางชีวภาพ นำไปสู่การทดลองสร้างระบบนิเวศจำลอง ผลการทดลอง พบว่า มีสัตว์เข้ามาอยู่อาศัยหลายชนิด โดยมีค่าดัชนีความหลากหลายมากที่สุด 1.08 (ค่าดัชนีความหลากหลายขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดไฟล์ล์ของสัตว์ที่พบ โดยมีค่าเท่ากับ 0 ถึง 5) ในสภาพแวดล้อมที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82.45% ปัจจัยสำคัญที่ ส่งผลต่อการเข้ามาอยู่อาศัยและดำรงอยู่ของพืชและสัตว์ ได้แก่ 1) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม 2) การมีอยู่ของสารอาหาร 3) การมีพื้นที่

หลากหลายทางชีวภาพ มีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมเพื่อควบคุมแสงแดด ความชื้นให้เหมาะสมแก่พืชแต่ละชนิด และมีรูปแบบที่เอื้อต่อการดำรงอยู่ของพืชและสัตว์ ประกอบกับการสร้างการเชื่อมต่อทางนิเวศในแต่ละหน่วยย่อยของกำแพง การสร้างทางเชื่อมป่า และการปรับเปลี่ยนวัสดุปิดผิวผนังและวัสดุผนังหลังคาของอาคาร

คำสำคัญ: ความหลากหลายทางชีวภาพ, สถาปัตยกรรมเชิงนิเวศ, สิ่งแวดล้อม, ระบบนิเวศ, สถาปัตยกรรมเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ, ศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

Abstract

An approach to eco-architecture design for biodiversity was presented in this study. From the survey of buildings and forest areas in Khao Yai National Park, it was found that the buildings were constructed regardless of biodiversity. The experiment was set up to create a simulated ecosystem. The results showed that many species of animals were inhabited with the highest diversity index of 1.08 in an environment with an average relative humidity of 82.45%. Key factors affecting the inhabit and existence of plants and animals which led to biodiversity were 1) appropriate relative humidity 2) availability of nutrients 3) enough living space and 4) proper sunlight. These factors led to the architectural design for biodiversity in the prototype area at the Khao Yai National Park Visitor Center by improving the walls, roofing materials, and the landscape surrounding the building to accommodate the inhabitants of the existing life. The design result is that the building enclosures promote biodiversity with architectural elements to optimize sunlight and humidity for each plant and form contributing to the existence of flora and fauna coupled with the creation of ecological connections in each subunit of the walls, the construction of forest bridges, and the modification of wall coverings and roofing materials of buildings.

Keywords: Biodiversity, Ecological Architecture, Environment, Ecosystem, Biodiversity Architecture, Khao Yai National Park Visitor Center

Received: July 29, 2021; **Revised:** July 17, 2022; **Accepted:** August 8, 2022

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ความหลากหลายทางชีวภาพมีความเกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรม เนื่องจากการก่อสร้างสถาปัตยกรรมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์หลายชนิด นำไปสู่การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ การใช้คอนกรีตในงานสถาปัตยกรรมส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพเป็นอย่างมาก เนื่องจากวัสดุคอนกรีตมีที่มาจากอุตสาหกรรมเหมือง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ส่งผลต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการทำเหมืองเป็นการทำลายระบบนิเวศเขาหินปูน ซึ่งเป็นพื้นที่อยู่อาศัยของสัตว์หลายชนิด (Hughes, 2017) รวมถึงการปล่อยมลพิษจากอุตสาหกรรมส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพที่มีอยู่ในพื้นที่สัตว์ป่าและป่าไม้ในพื้นที่ใกล้เคียงนิคมอุตสาหกรรมมีจำนวนลดลง (Rathoure, 2020)

ปัจจุบันมีความเคลื่อนไหวเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมเชิงนิเวศในประเทศไทย มีผลจากการรณรงค์เกี่ยวกับการดูแลรักษาสีเขียวอย่างยั่งยืนทั่วโลก ทำให้สถาปัตยกรรมเชิงนิเวศมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีการออกเกณฑ์มาตรฐานเพื่อการรักษาสีเขียวแต่มีประเด็นที่ถูกละเลย คือ เรื่องการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียวในประเทศไทยให้ค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญไปที่หมวดของพลังงาน (จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์ และ สิงห์ อินทรชูโต, 2556, น. 14-16)

ในปัจจุบันชนิดพันธุ์สัตว์มีกระดูกสันหลังในประเทศไทยมีจำนวน 4,731 ชนิด โดยสัตว์มีกระดูกสันหลังได้มีการประเมินสถานภาพการถูกคุกคามในปี พ.ศ. 2559 จำนวน 2,276 ชนิด ประกอบด้วย สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม 345 ชนิด นก 1,012 ชนิด สัตว์เลื้อยคลาน 392 ชนิด สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 157 ชนิด และปลา 370 ชนิด พบว่า มีสัตว์มีกระดูกสันหลังที่อยู่ในสถานภาพชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคาม (Threatened Species) ซึ่งประกอบด้วย ใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (Critically Endangered) ใกล้สูญพันธุ์ (Endangered) และมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable) จำนวน 569 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 12.03 ของสัตว์มีกระดูกสันหลังที่พบในประเทศไทย แบ่งเป็น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม 123 ชนิด นก 171 ชนิด สัตว์เลื้อยคลาน 49 ชนิด สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 18 ชนิด และปลา 208 ชนิด (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

จากที่กล่าวมาพบว่าในประเทศไทยมีพื้นที่หลายแห่งที่มีการก่อสร้างสถาปัตยกรรมซึ่งไม่เหมาะสมกับความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ เช่น กลุ่มอาคารของเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เนื่องจากอาคารดังกล่าวก่อสร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่อุทยาน มีความใกล้ชิดกับธรรมชาติ ป่าไม้ และสัตว์นานาชนิด แต่กลุ่มอาคารดังกล่าวกลับถูกสร้างขึ้นอย่างไม่คำนึงถึงระบบนิเวศ ดังนั้นการก่อสร้างอาคารในพื้นที่เขตอุทยานส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์หลายชนิด นำไปสู่การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ทำให้อาคารในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่เป็นพื้นที่ตัวอย่างของประเด็นปัญหาเรื่องการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพจากการก่อสร้างสถาปัตยกรรม

1.2 คำถามงานวิจัย

สถาปัตยกรรมเชิงนิเวศรูปแบบใดที่ส่งเสริมให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพ

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมเชิงนิเวศ ซึ่งส่งผลดีต่อความหลากหลายทางชีวภาพ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาเพื่อหาแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมเชิงนิเวศเพื่อส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ

1.5 สมมติฐานของงานวิจัย

หากสามารถสร้างองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมให้มีลักษณะคล้ายคลึงหรือเปรียบเสมือนกับพื้นที่ธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต จะสามารถสร้างความหลากหลายทางชีวภาพให้แก่สถาปัตยกรรมและบริบทโดยรอบได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

นำเสนอปัญหาของการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพซึ่งยังขาดการแก้ไขในปัจจุบัน และสามารถนำต้นแบบของงานวิจัยไปพัฒนาสำหรับงานสถาปัตยกรรมที่ส่งเสริมให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่อื่นต่อไป

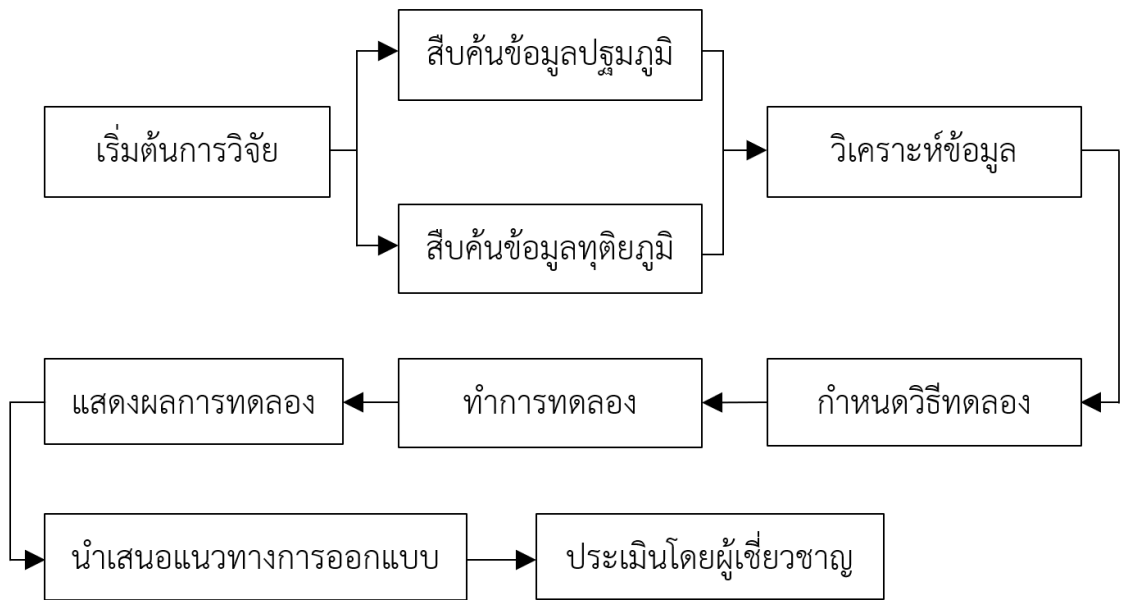
2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ และเชิงทดลอง เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมเชิงนิเวศซึ่งส่งผลดีต่อความหลากหลายทางชีวภาพ โดยศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ ผ่านการทบทวนวรรณกรรม และการลงพื้นที่สำรวจเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เพื่อทดลองจำลองสภาพแวดล้อม โดยออกแบบผังทดลองตัวอย่าง และทำการทดลองผล แล้วนำผลที่ได้ไปสู่แนวทางการออกแบบ

2.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) สืบค้นข้อมูลทุติยภูมิจากการทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บข้อมูลปฐมภูมิจากการลงพื้นที่สำรวจ
- 3) วิเคราะห์ข้อมูล
- 4) ทำการทดลอง
- 5) แสดงผลการทดลอง
- 6) นำเสนอแนวทางการออกแบบ และ
- 7) ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ



ภาพที่ 1 แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.2 การลงพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูล

2.2.1 วิธีการเก็บข้อมูล

ลงพื้นที่สำรวจศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ และเส้นทางศึกษาระบบนิเวศน้ำตกกองแก้ว จังหวัดนครราชสีมา เพื่อศึกษาลักษณะของพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ที่พบ และชนิดของวัสดุของสิ่งปลูกสร้าง

2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูล ประกอบด้วย 1) กล้องถ่ายภาพ 2) สมุดบันทึก และ 3) ตลับเมตร

2.3 การทดลอง

2.3.1 การออกแบบผนังทดลองเพื่อสิ่งมีชีวิต

ความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศมีความสัมพันธ์กับความหลากหลายในปัจจัยสิ่งแวดล้อมของระบบนิเวศนั้น ในพื้นที่ที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหมาะสมกับชีวิตมากรูปแบบ ย่อมมีสิ่งมีชีวิตปรากฏอยู่มากชนิด และมีปริมาณสูง (ดอกรัก มารอด และอุทิศ ภูฏินทร์, 2552)

การออกแบบผนังทดลองเพื่อสิ่งมีชีวิต คือ การสร้างระบบนิเวศจำลอง โดยการสร้างระบบนิเวศต้องคำนึงถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อม การทดลองครั้งนี้ให้ความสนใจกับผลที่เกิดจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่อสิ่งมีชีวิต ประกอบกับการสร้างระบบนิเวศจำลองจากต้นไม้ และเศษวัสดุ โดยคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านระบบนิเวศ

การส่งผ่านพลังงานและธาตุอาหารต่อกันของสิ่งมีชีวิตเป็นปัจจัยสำคัญต่อการมีอยู่ของระบบนิเวศซึ่งจะเกิดขึ้นได้ เมื่อส่วนประกอบชีวณะทำหน้าที่ร่วมกัน ได้แก่ ผู้ผลิตอินทรีย์วัตถุ ผู้บริโภคอินทรีย์วัตถุ และผู้สลายอินทรีย์วัตถุ ทำให้เกิดการไหลเวียนของสสารและพลังงาน (ดอกรัก มารอด และอุทิศ ภูฏินทร์, 2552) ซึ่งในระบบนิเวศจำลอง เป็นการก่อโครงสร้างรองรับต้นไม้ เพื่อให้ต้นไม้ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงและผลิตอินทรีย์วัตถุแล้วให้สัตว์เข้ามาเป็นผู้บริโภคอินทรีย์วัตถุในลำดับต่อ ๆ ไป เพื่อให้เกิดวงจรของระบบนิเวศขึ้น

2.3.2 วิธีการทดลอง

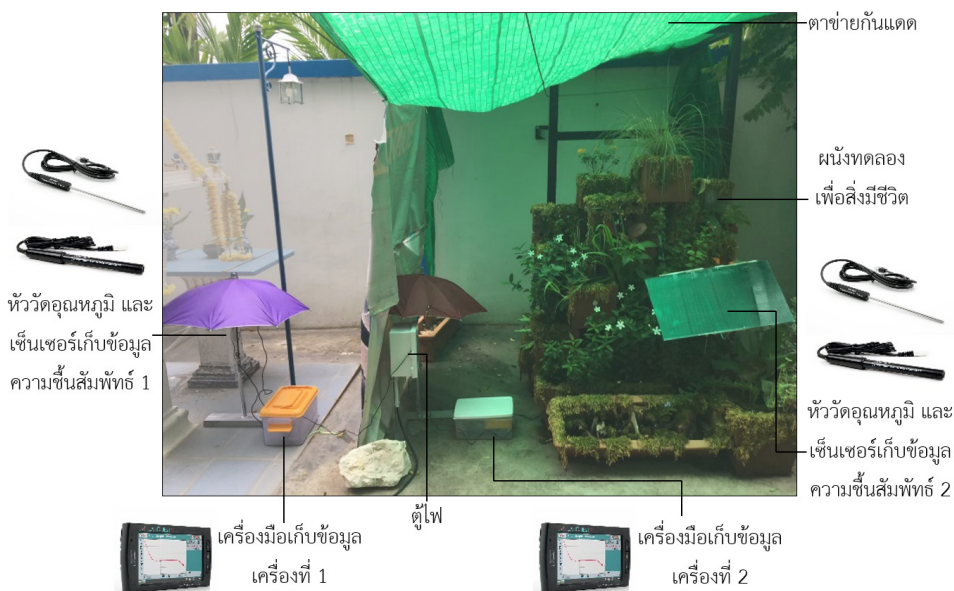
ออกแบบผังทดลองเพื่อสร้างระบบนิเวศจำลอง เลือกใช้กระถางดินเผาเป็นภาชนะปลูกพืชเนื่องจากเป็นวัสดุที่เก็บความชื้นได้ดี โดยการเรียงขึ้นไปเป็นโครงสร้างแบบขั้นบันไดพิงตัวไปที่โครงเหล็ก และใช้ดินปลูกต้นไม้ผสมปุ๋ยมูลไส้เดือนเนื่องจากภายในปุ๋ยจะมีไส้เดือนและไข่ไส้เดือนติดมาจากการรวมตัวกันของมูลไส้เดือน ซึ่งไส้เดือนที่เกิดจากไข่และไส้เดือนที่มีชีวิตอยู่ จะทำหน้าที่เป็นผู้สลายอินทรีย์วัตถุให้กับระบบนิเวศจำลอง จึงเลือกใช้กระถางดินเผาที่มีความลึกเหมาะสมกับการอยู่อาศัยของไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่ในดินชั้นบนที่มีความลึก 20 - 30 เซนติเมตร (อานัฐ ตันโช, 2549) รวมถึงการใช้ตาข่ายกันแดด รุนกรองแสงร้อยละ 80 เพื่อสร้างร่มเงาให้กับพืช เปรียบเสมือนการกระทำระหว่างกันของพืชในธรรมชาติที่ต้นไม้ใหญ่ให้ร่มเงาแก่ไม้ชั้นล่าง (ดอกรัก มารอด และอุทิศ ภูฏินทร์, 2552)

โดยพืชในผังทดลองเป็นไม้ดอก ไม้พุ่ม และมอส รวม 17 ชนิด ประกอบด้วย ฐานน้ำพุ หยกมรกต รับเงินรับทอง พุดพิชญา เข็มชมพู หน้าวัว ชิงโลโบพาย สังกรณี ทองอุไร นีออน กระเจียว เงินเต็มบ้าน หยกมรกต พลูดุ เพชรน้ำหนึ่ง ไอริส และมอสน้ำ ทำการแบ่งพื้นที่การเก็บข้อมูลในขอบเขตพื้นที่ทดลองทั้งหมด โดยแบ่งเป็น พื้นที่ 1 ซึ่งไม่มีการติดตั้งผังทดลอง และพื้นที่ 2 ที่มีการติดตั้งผังทดลอง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลจำนวนประชากรสัตว์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของทั้งพื้นที่ 1 และพื้นที่ 2 แล้วแสดงผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ (ภาพที่ 2)

โดยพืชในผังทดลองเป็นไม้ดอก ไม้พุ่ม และมอส รวม 17 ชนิด ประกอบด้วย ฐานน้ำพุ หยกมรกต รับเงินรับทอง พุดพิชญา เข็มชมพู หน้าวัว ชิงโลโบพาย สังกรณี ทองอุไร นีออน กระเจียว เงินเต็มบ้าน หยกมรกต พลูดุ เพชรน้ำหนึ่ง ไอริส และมอสน้ำ ทำการแบ่งพื้นที่การเก็บข้อมูลในขอบเขตพื้นที่ทดลองทั้งหมด โดยแบ่งเป็น พื้นที่ 1 ซึ่งไม่มีการติดตั้งผังทดลอง และพื้นที่ 2 ที่มีการติดตั้งผังทดลอง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลจำนวนประชากรสัตว์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของทั้งพื้นที่ 1 และพื้นที่ 2 แล้วแสดงผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ (ภาพที่ 2)

2.3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ประกอบด้วย 1) แบบฟอร์มตารางเก็บข้อมูลจำนวนสัตว์ 2) กล้องถ่ายภาพ และ 3) เครื่องมือเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ จำนวน 2 เครื่อง



ภาพที่ 2 อุปกรณ์เก็บข้อมูลในพื้นที่ทดลอง

2.3.4 วิธีการเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) บันทึกจำนวนสัตว์ ด้วยแบบตารางเก็บข้อมูล ทำการเก็บบันทึกทุกข้อมูล ทุก 1 ชม. แบ่งคาบการเก็บ คือ ช่วงเช้า 06:00 - 09:00 น. ช่วงบ่าย 13:00 - 16:00 น. และช่วงเย็น 18:00 - 20:00 น. โดยนับจำนวนประชากรสัตว์เป็นรายวัน ไม่นับสัตว์ที่พบในคาบก่อนหน้าซ้ำ และไม่นับความหลากหลายของพืช และ 2) เก็บข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ด้วยเครื่องมือ Lab Quest เป็นเวลา 13 วัน คือ ในวันที่ 2 - 14 สิงหาคม พ.ศ. 2563 โดยเก็บจำนวน 6 ค่า ต่อ 1 ชั่วโมง ที่เปลี่ยนแปลง หรือทุก ๆ 10 นาที

2.3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ค่าความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตที่พบ โดยใช้ดัชนีที่นิยมใช้ในการอธิบายความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศ คือ Shanon - Wiener index มีสมการในการคำนวณ คือ $H' = - \sum p_i \ln(p_i)$ โดย H' คือค่าดัชนีความหลากหลายชนิด Shannon-Wiener index และ p_i คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนไฟล์ชนิด i ต่อจำนวนไฟล์ทั้งหมด (อุทิศ ภูมิอินทร์, 2542, อ้างถึงใน ธรรมนูญ เต็มไชย และคณะ, 2559) แล้วนำค่าดัชนีความหลากหลายดังกล่าวเปรียบเทียบกับ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และความหลากหลายทางชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการสร้างผนังทดลอง

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการลงพื้นที่สำรวจ

3.1.1 ทางเดินศึกษาธรรมชาติศูนย์บริการนักท่องเที่ยว-น้ำตกกองแก้ว

จากการลงพื้นที่สำรวจบริเวณทางเดินศึกษาธรรมชาติน้ำตกกองแก้วพบว่า มีสิ่งปลูกสร้าง คือ สะพานแขวนไม้ เชื่อมระหว่างศูนย์บริการนักท่องเที่ยวเข้าสู่เส้นทางศึกษาธรรมชาติ ด้านหนึ่งของสะพานแขวนมีต้นไทร และพืชตามริมลำตะคอง ส่วนภายในตั้งแต่พื้นที่ป่าเข้าไป เป็นพื้นที่ทางเดินคอนกรีตตลอดเส้นทาง โดยพบเลววัลย์และกิ่งไม้บนพื้นผิวทางเดินตลอดเส้นทาง

ภายในส่วนของทางเดินศึกษาธรรมชาติน้ำตกกองแก้วใกล้กับศูนย์บริการนักท่องเที่ยวเขาใหญ่ มีความหลากหลายทางชีวภาพอยู่มาก โดยยังคงมีความอุดมสมบูรณ์ของพันธุ์พืชและสัตว์ ภายในทางเดินเป็นป่าดงดิบผลัดกับพื้นที่คูคลองในบางช่วงของเส้นทาง แสงแดดส่องถึงได้ปานกลาง เนื่องจากร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ ในเขตที่มีความชื้นสูง อากาศมีความเย็นสบาย พบแมลงเข้ามามีอาศัยตามลำต้นและใบของต้นไม้ พบมอสและเฟิร์นขึ้นตามต้นไม้ โดยมักพบมอสตามโคนหิน พบไลเคนขึ้นตามเปลือกของต้นไม้ในพื้นที่ นอกจากนั้นยังพบไลเคนขึ้นอยู่บนโครงเหล็กของสะพานในบริเวณค้ำน้ำ รวมถึงพบร่องรอยของหมีป่าหาอาหารบนต้นไม้ เตาบนขอนไม้บริเวณริมลำตะคอง และร่องรอยการลอกคราบของสัตว์เลื้อยคลาน

3.1.2 ศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

การสำรวจพื้นที่ศูนย์รับนักท่องเที่ยวเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่พบว่า วัสดุก่อสร้างของอาคารศูนย์บริการนักท่องเที่ยว ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐฉาบปูน และกระเบื้องหลังคาคอนกรีต วัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุก่อสร้างที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และไม่คำนึงถึงการเข้ามาอาศัยของพืชและสัตว์ เนื่องจากการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากวัสดุดังกล่าว และพื้นผิวของวัสดุดังกล่าวไม่เอื้อต่อการเข้ามาของสิ่งมีชีวิต ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพของพื้นที่โดยรอบ

3.2 ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า มีความหลากหลายทางชีวภาพมากที่สุด ในวันที่ 4 สิงหาคม ค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ที่ 1.08 โดยมีจำนวนประชากรสัตว์ที่พบรวม 26 ตัว ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.56 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 82.45 มีชนิดสัตว์ที่พบ ประกอบด้วย

- 1) ไฟล์ม Mollusca ชั้น Gastropoda ชนิดที่พบ คือ หอยทาก จำนวน 4 ตัว
- 2) ไฟล์ม Mollusca ชั้น Gastropoda ชนิดที่พบ คือ หอยเป่า จำนวน 6 ตัว
- 3) ไฟล์ม Annelida ชั้น Oligochaeta ชนิดที่พบ คือ ไส้เดือน จำนวน 9 ตัว
- 4) ไฟล์ม Arthropoda ชั้น Insecta ชนิดที่พบ คือ มด จำนวน 7 ตัว

โดยค่าดัชนีความหลากหลายและค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตลอดการทดลอง แต่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกลับมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพ

นอกจากนี้ยังพบว่า พืชที่คัดเลือกมาใช้ในผนังทดลองมีความต้องการแสงแดดที่แตกต่างกัน โดยผลที่เกิดขึ้นจากการใช้ตะข่ายกันแดด ทำให้พืชไม่พุ่มและไม่ดอกบางชนิดเหี่ยวเฉา เนื่องจากขาดแสงแดด และพืชตระกูลมอสที่อยู่ในจุดที่มีร่มเงามากสามารถเติบโตได้ดีกว่ามอสในจุดที่โดนแสงแดด

ดังนั้นจากการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเข้ามาอยู่อาศัยของสัตว์ภายในผนังทดลอง คือ

- 1) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์
- 2) การมีสารอาหารให้แก่พืชและสัตว์
- 3) การมีพื้นที่อยู่อาศัยให้แก่พืชและสัตว์
- 4) แสงแดดที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด

โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยด้านภูมิอากาศ และสิ่งแวดล้อมในแต่ละวันที่เปลี่ยนแปลงไป เพราะฉะนั้น การออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ ควรที่จะต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่พอเหมาะ แสงแดดที่เหมาะสม สารอาหาร และพื้นที่อยู่อาศัย เพื่อการดำรงชีวิตสำหรับทั้งพืชและสัตว์

4. แนวทางการออกแบบ

4.1 แนวคิดในการออกแบบ

ปัญหาที่พบจากการลงพื้นที่สำรวจ คือ อาคารบริการนักท่องเที่ยวและบริบทโดยรอบส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งพื้นที่ของอาคารมีความใกล้เคียงธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์อยู่มาก การก่อสร้างอาคารเป็นการทดแทนพื้นที่ระบบนิเวศทางธรรมชาติที่เคยมีอยู่ รวมถึงอาคารใช้วัสดุก่อสร้างที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้อาคารแห่งนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งบนพื้นที่ที่บริบทก่อสร้าง และพื้นที่ภายนอกจากแหล่งที่มาของวัสดุก่อสร้าง

จากการลงพื้นที่สำรวจและทำการทดลอง นำไปสู่แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ด้วยการวางแผนรวมให้ส่งผลดีต่อความหลากหลายทางชีวภาพ พื้นที่บนพื้นที่ทางระบบนิเวศให้กับอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เพื่อให้สถานที่แห่งนี้เป็นพื้นที่ต้นแบบในการสร้างสถาปัตยกรรมเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ

โดยการปรับปรุงผนัง วัสดุผนังหลังคา และภูมิทัศน์โดยรอบอาคาร เพื่อรองรับการเข้ามาอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต มีผลการออกแบบ คือ เปลือกอาคารส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ ที่มีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมเพื่อควบคุมแสงแดดให้เหมาะสมแก่พืชแต่ละชนิด และมีรูปแบบที่เอื้อต่อการดำรงอยู่ของพืชและสัตว์ ประกอบกับสร้างการเชื่อมต่อทางนิเวศในแต่ละหน่วยย่อยของกำแพง การสร้างทางเชื่อมป่า รวมถึงการปรับเปลี่ยนวัสดุปิดผิวผนัง และวัสดุผนังหลังคาของอาคารให้เหมาะสมต่อการเกิดความหลากหลายทางชีวภาพ (ภาพที่ 3 - 4 และภาพที่ 26 - 27)

4.2 การปรับปรุงภูมิทัศน์และเปลี่ยนวัสดุอาคาร

จากการลงพื้นที่สำรวจพบว่า วัสดุผนังหลังคาของอาคารบริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงเลือกใช้กระเบื้องไม้ทดแทน เนื่องจากเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำ รวมถึงสามารถเก็บความชื้นได้ดีเพื่อให้พืช เช่น มอส และเฟิร์น สามารถขึ้นได้ นอกจากนี้ยังปรับปรุงภูมิทัศน์โดยรอบด้วยการปลูกต้นไม้จากพันธุ์พืชพื้นถิ่นของเขาใหญ่บริเวณด้านหน้าอาคาร รวมถึงปรับปรุงรูปลักษณ์ของอาคารด้วยการใช้วัสดุไม้ ปิดผิวผนังก่ออิฐฉาบปูนบริเวณทางเข้าอาคารบริการนักท่องเที่ยว (ภาพที่ 5 - 8)



ภาพที่ 3 ผังรวมศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่
ที่มา: Google Earth, 2019, ปรับปรุงโดยผู้วิจัย, 2564



ภาพที่ 4 จินตภาพโครงการผังรวมศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่หลังปรับปรุง



ภาพที่ 5 บริเวณด้านหน้าศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่
ที่มา: Google Earth, 2017, ปรับปรุงโดยผู้วิจัย, 2565



ภาพที่ 6 จินตภาพโครงการด้านหน้าศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่หลังปรับปรุง



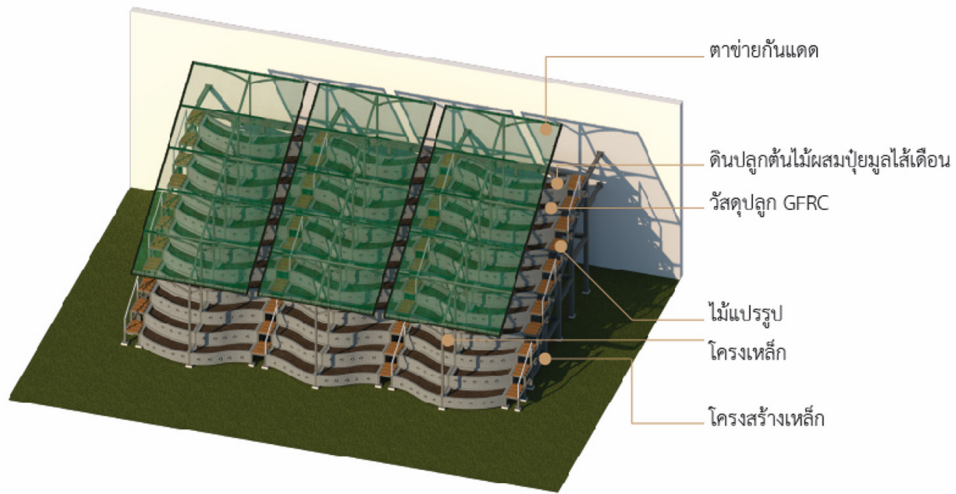
ภาพที่ 7 บริเวณทางเข้าอาคารศูนย์บริการนักท่องเที่ยวเขาใหญ่



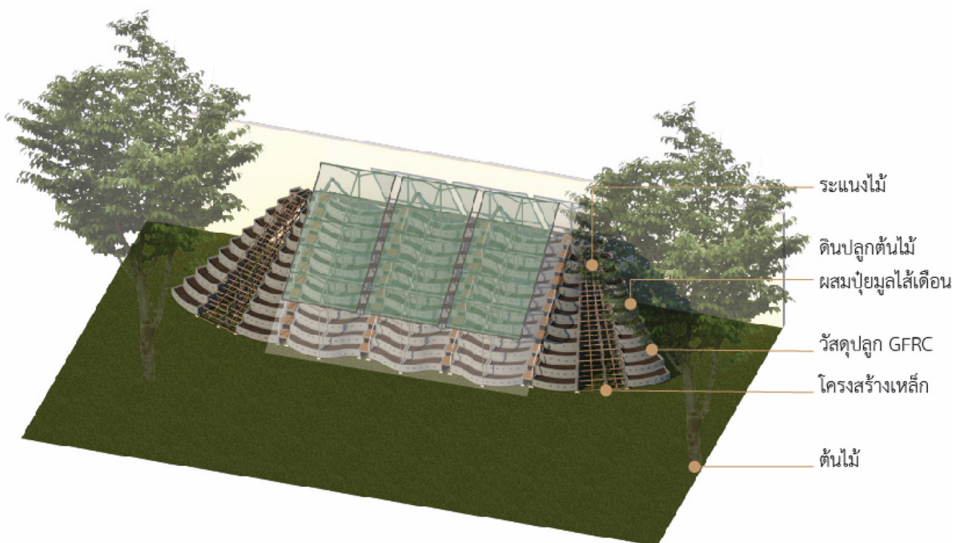
ภาพที่ 8 จินตภาพโครงการบริเวณทางเข้าอาคารศูนย์บริการนักท่องเที่ยวเขาใหญ่หลังปรับปรุง

4.3 ผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ

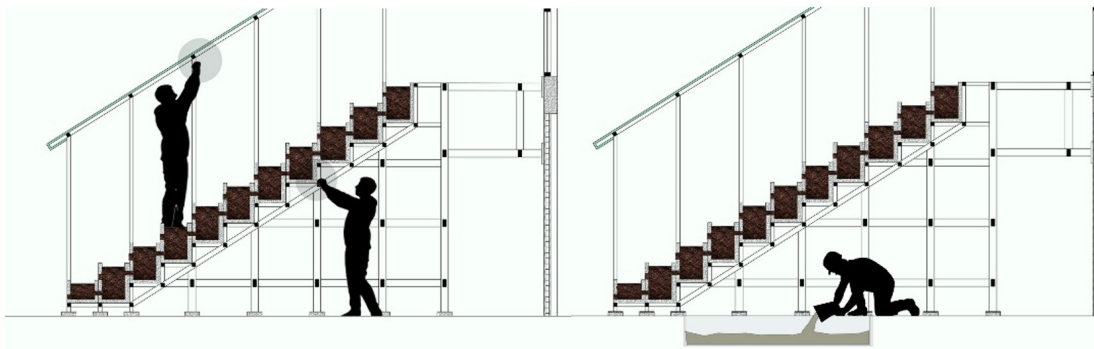
จากการลงพื้นที่สำรวจพบว่า อาคารไม่เหมาะสมกับการเข้ามาอาศัยของสัตว์และพืช จึงนำผลจากการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ สำหรับรองรับการมาอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต โดยใช้ GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) เป็นวัสดุปลูกพืช วางบนโครงสร้างเหล็กลักษณะเป็นชั้นบันได โดยโครงสร้างเชื่อมกับโครงสร้างเดิมของอาคารบริการนักท่องเที่ยว รวมถึงการออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับการบำรุงรักษาทั้งทางด้านหน้าและหลัง (ภาพที่ 9 - 11)



ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพรูปแบบที่ 1

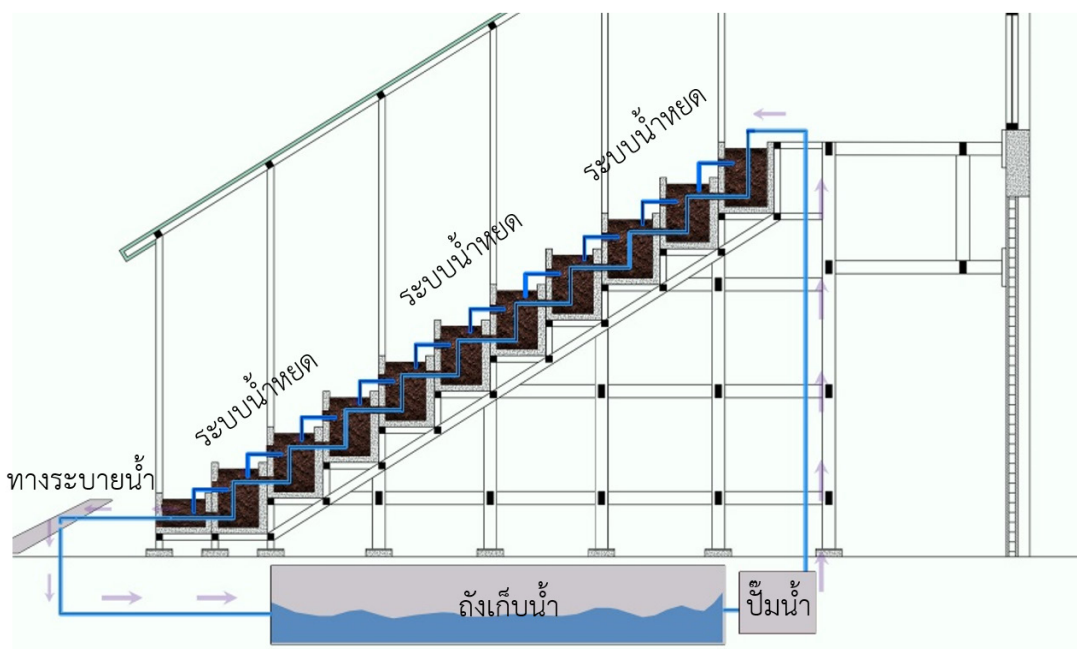


ภาพที่ 10 ส่วนประกอบของผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพรูปแบบที่ 2



ภาพที่ 11 การบำรุงรักษาน้ำเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ และการเติมน้ำหมักชีวภาพ

ภายในผนังมีระบบหมุนเวียนน้ำ โดยออกแบบให้ใช้น้ำที่มีสารอาหารไหลจากภาชนะปลูกต้นไม้จากด้านบนลงล่าง เพื่อให้แร่ธาตุหมุนเวียนในระบบผนังทั้งหมด ด้วยการเชื่อมต่อผ่านภาชนะปลูกแต่ละอัน การเชื่อมต่อท่อภายในภาชนะปลูกนี้ยังทำให้เกิดการเชื่อมต่อภายในดินของสัตว์ขนาดเล็กด้วย รวมถึงการเจาะรูภาชนะด้านข้างเพื่อสร้างการไหลของน้ำจากด้านบนลงสู่หน้าดิน เพื่อเพิ่มความชื้น (ภาพที่ 12 - 13)

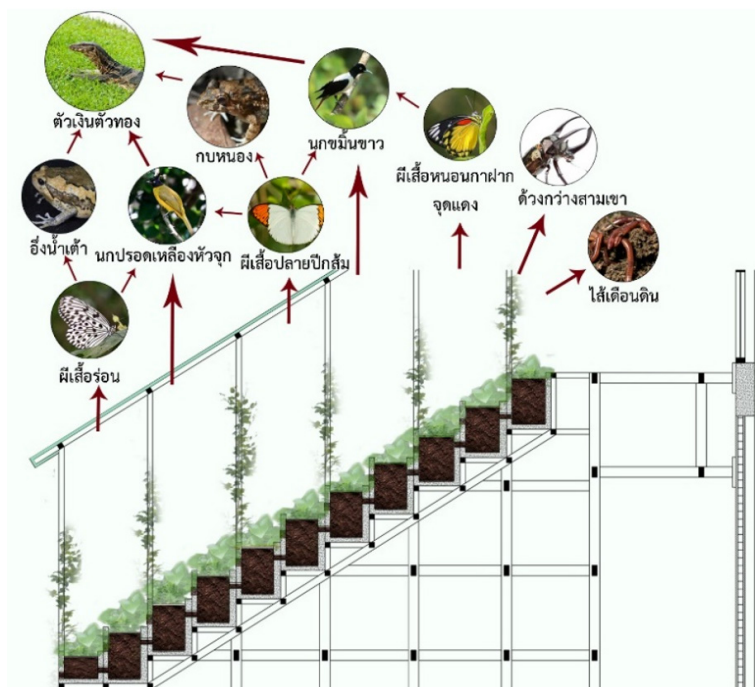


ภาพที่ 12 ระบบการหมุนเวียนน้ำของผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ



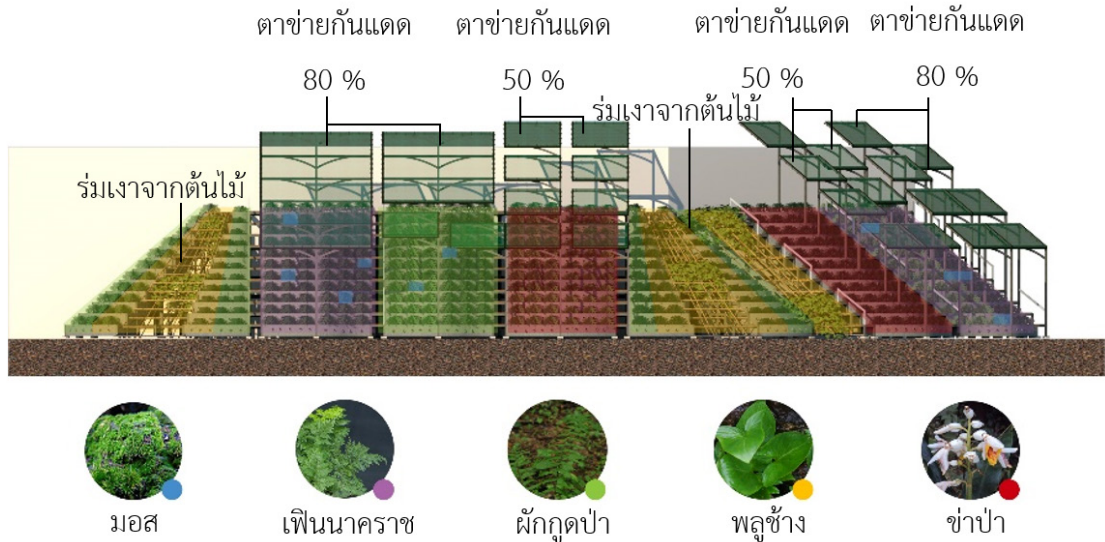
ภาพที่ 13 ท่อปล่อยน้ำของวัสดุ GRC เพื่อให้ความชุ่มชื้นแก่พืชและหน้าดิน

ภายในภาชนะปลูก GFRC ถูกเติมด้วยดินปลูกต้นไม้ผสมปุ๋ยมูลไส้เดือน เพื่อสร้างระบบนิเวศจำลอง ภาชนะปลูกเหล่านี้เป็นที่อยู่อาศัยของพืช ซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตสารอินทรีย์วัตถุให้กับระบบนิเวศ โดยพืชเป็นแหล่งอาหารให้กับสัตว์ที่เป็นผู้บริโภคในลำดับต่อไป โดยภายในปุ๋ยมูลไส้เดือนมีไข่ของไส้เดือน และไส้เดือนขนาดเล็ก ที่ติดมากับกระบวนการผลิตปุ๋ย ไส้เดือนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุ รวมถึงพืชยังเป็นที่อยู่อาศัยให้กับสัตว์ขนาดเล็กอีกด้วย ส่งผลให้เกิดวงจรในระบบนิเวศขึ้น สร้างความหลากหลายทางชีวภาพให้กับพื้นที่และบริบทโดยรอบของอาคารบริการนักท่องเที่ยว (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ห่วงโซ่อาหารในผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ

จากผลการทดลองพบว่า ควรตั้งค่านิ่งถึงค่าแสงแดดที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเข้ามาอาศัยของสัตว์ นำไปสู่การออกแบบชั้นสำหรับกันแสง เพื่อควบคุมไม่ให้ผนังรับแสงแดดมากเกินไป ด้วยการเลือกใช้วัสดุตาข่ายกันแดดสีเขียว ที่กรองแสงได้ร้อยละ 50 และร้อยละ 80 สำหรับความเหมาะสมของแต่ละพันธุ์พืช โดยพันธุ์พืชที่อยู่ในผนังประกอบด้วย เฟินนาคราช ผักกูดป่า พลูช้าง ข่าป่า และมอส รวมถึงการกันแดดบางส่วนของผนังด้วยร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ (ภาพที่ 15 - 18)



ภาพที่ 15 การเลือกใช้พันธุ์พืชและตาข่ายกรองแสงในผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ



ภาพที่ 16 ภาพบริเวณทิศตะวันตกของอาคารศูนย์บริการนักท่องเที่ยวใหญ่



ภาพที่ 17 จินตภาพโครงการเมื่อติดตั้งผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพในทิศตะวันตก
ของอาคารบริการนักท่องเที่ยวขนาดใหญ่



ภาพที่ 18 จินตภาพโครงการเมื่อติดตั้งผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ
มุมมองจากทางเดินศึกษาธรรมชาติน้ำตกกองแก้ว

4.3.4 ทางเดิน Board Walk ชมธรรมชาติ

จากการลงพื้นที่สำรวจภูมิทัศน์และบริเวณโดยรอบศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ พบว่า พื้นที่ค่อนข้างมีความแห้งแล้ง มีหญ้าขึ้นไม่หนา เนื่องจากโดนแดดในเวลากลางวันตลอด เพราะไม่มีร่มเงาของต้นไม้ให้บังแสงแดด และใกล้กับอาคารเป็นพื้นที่จอดรถซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม จากการนำรถขึ้นมาใช้บนพื้นที่ นำไปสู่การเปลี่ยนพื้นที่จอดรถเป็นพื้นที่ป่า โดยการปลูกต้นไม้ใหญ่ พืชไม้พุ่ม และไม้ดอก ที่ขึ้นในเขาใหญ่ เพื่อสร้างพื้นที่เชื่อมต่อระหว่างป่าผ่านกลุ่มอาคารของอุทยานฯ รวมถึงออกแบบทางเดิน Board Walk เพื่อให้นักท่องเที่ยวชมธรรมชาติ โดยเป็นทางเดินยกระดับสูง 1 เมตร ทางเดินเป็นโครงสร้างหลักปูพื้นด้วยไม้ ทางเดินเชื่อมต่อจากพื้นที่ด้านหน้าทางเข้าของอาคารบริการนักท่องเที่ยวสู่ทางเดินศึกษาธรรมชาติน้ำตกกองแก้ว โดยมีต้นไม้ใหญ่ให้ร่มเงาสำหรับนักท่องเที่ยว ทำให้นักท่องเที่ยวได้ชมธรรมชาติได้ตั้งแต่บริเวณศูนย์บริการนักท่องเที่ยวไปจนถึงภายในทางเดินศึกษาธรรมชาติน้ำตกกองแก้ว (ภาพที่ 19 - 21)

4.3.5 สะพานยกระดับ

จากการลงพื้นที่สำรวจพบว่า สัตว์ไม่สามารถข้ามผ่านบริเวณสิ่งปลูกสร้างของอาคารในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ได้ นำไปสู่แนวทางการออกแบบสะพานยกระดับเพื่อให้สัตว์สามารถลอดผ่านทางด้านใต้ได้ รวมถึงเป็นการเชื่อมต่อพื้นที่ป่าทางธรรมชาติ เพื่อฟื้นคืนความหลากหลายทางชีวภาพของบริบทโดยรอบ (ภาพที่ 22 - 25)



ภาพที่ 21 จินตภาพโครงการแสดงทางเดิน Board Walk
ด้านหน้าอาคารศูนย์บริการนักท่องเที่ยวเขาใหญ่หลังปรับปรุง



ภาพที่ 20 บริเวณพื้นที่จอดรถของกลุ่มอาคารในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่



ภาพที่ 21 จินตภาพโครงการแสดงทางเดิน Board Walk
ด้านหน้าอาคารศูนย์บริการนักท่องเที่ยวเขาใหญ่หลังปรับปรุง



ภาพที่ 23 จินตภาพโครงการผังรวมแสดงแนวคิดการเชื่อมป่าบริเวณศูนย์บริการนักท่องเที่ยวเขาใหญ่



ภาพที่ 24 ถนนบริเวณทางเข้าพื้นที่กลุ่มอาคารของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่
ที่มา: Google Earth, 2021, ปรับปรุงโดยผู้วิจัย, 2565



ภาพที่ 25 จินตภาพโครงการของสะพานยกระดับบริเวณทางเข้าพื้นที่
กลุ่มอาคารของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่หลังปรับปรุง



ภาพที่ 26 บริบทโดยรวมก่อนปรับปรุงศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่
ที่มา: <http://www.khaoyainationalpark.com/752/>,
โดย อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่, 2557, ปรับปรุงโดยผู้วิจัย, 2564



ภาพที่ 27 จินตภาพโครงการโดยรวมหลังปรับปรุงศูนย์บริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

5. สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยพบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเข้ามาอยู่อาศัยของสัตว์ภายในผนังทดลอง ซึ่งจะนำมาสู่ความหลากหลายทางชีวภาพ ได้แก่ 1) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ 2) การมีสารอาหารให้แก่พืชและสัตว์ 3) การมีพื้นที่อยู่อาศัยให้แก่พืชและสัตว์ และ 4) แสงแดดที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด จากการทำการทดลองได้นำปัจจัยที่พบ ไปสู่การออกแบบสถาปัตยกรรมเชิงนิเวศเพื่อส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ ณ อาคารบริการนักท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ มีผลการออกแบบ คือ เลือกอาคารส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพที่มีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมเพื่อควบคุมแสงแดดให้เหมาะสมแก่พืชแต่ละชนิด และมีรูปแบบที่เอื้อต่อการดำรงอยู่ของพืชและสัตว์ ประกอบกับการสร้างการเชื่อมต่อทางนิเวศในแต่ละหน่วยย่อยของกำแพง การสร้างทางเชื่อมป่า และการปรับเปลี่ยนวัสดุผิวผนังและวัสดุผนังหลังคาของอาคาร เพื่อให้เหมาะสมต่อการเกิดความหลากหลายทางชีวภาพ

โดยจากผลการออกแบบมีความสอดคล้องกับการตั้งสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่า หากสามารถสร้างองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมให้มีลักษณะคล้ายคลึงหรือเปรียบเสมือนกับพื้นที่ธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตจะสามารถสร้างความหลากหลายทางชีวภาพให้แก่สถาปัตยกรรมและบริบทโดยรอบได้ เนื่องจากระบบการทำงานของผนังเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ เปรียบเสมือนกับการทำงานทางธรรมชาติของระบบนิเวศที่มีการไหลเวียนของสารจากระบบการหมุนเวียนน้ำให้เชื่อมถึงกัน มีความลึกของวัสดุที่รับดินมาก เพื่อเป็นที่อยู่อาศัยให้กับสัตว์ในดิน ซึ่งมีหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้กับระบบนิเวศ และการมีชั้นบังแดดที่เปรียบเสมือนกับร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ในป่าที่คอยให้ร่มเงาแก่พืชชั้นล่าง รวมถึงผลการออกแบบมีรูปลักษณะที่คล้ายคลึงกับลักษณะของภูมิประเทศที่ถูกปกคลุมด้วยต้นไม้ อันเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้แก่สัตว์หลากหลายชนิด

6. ข้อเสนอแนะ

ปัญหาการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ จากการก่อสร้างสถาปัตยกรรมเป็นประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นนอกเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติ โดยการก่อสร้างอาคารในเขตเมือง ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพที่เคยมีอยู่เดิมเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่เมืองเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์หลากหลายชนิดด้วย งานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปปรับใช้อาคารในเมืองได้ สามารถสร้างแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับสัตว์ได้มาก ทดแทนพื้นที่ที่สูญเสียไปจากการก่อสร้างอาคารที่ไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

7. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ อยู่ภายใต้กลุ่มคลัสเตอร์วิจัยใหม่ เพื่อพัฒนาความเป็นเลิศทางวิชาการ ปี 2562 เรื่อง "ต้นแบบสถาปัตยกรรมเชิงนิเวศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในแหล่งมรดกทางธรรมชาติ" คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

8. เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์, และ สิงห์ อินทรชูโต. (2556). เกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืน: ความเหมือน ความต่าง และค่าความสำคัญที่ให้อต่อสิ่งแวดล้อม ทรัพยากร และพลังงาน. *Journal of Architectural Research and Studies*, 10(1), 5-18.
- ดอกรัก มารอด, และ อุทิศ ภูอินทร์. (2552). นิเวศวิทยาป่าไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรสยามการพิมพ์.
- ธรรมบุญ เต็มไชย และคณะ. (2559). ภูมิภาพความหลากหลายของไม้ยืนต้นในอุทยานแห่งชาติกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. การประชุมวิชาการการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 3 (น. 81). น่าน: ศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมอุทยานแห่งชาติ จังหวัดเพชรบุรี.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). สรุป ชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามของประเทศไทย: สัตว์มีกระดูกสันหลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด
- อานัฐ ตันโช. (2549). ไล่เดือนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- Hughes, A. C. (2017). Southeast Asia is in the grip of a biodiversity crisis. [Online]. Retrieved from https://www.deccanherald.com/content/614313/Southeast-asia-grip-biodiversity-crisis.html?utm_source=Mekong+Eye&utm_campaign=a4aa62c1dd-EMAIL_CAMPAIGN_2017_05_30&utm_medium=email&utm_term=0_5d4083d243-a4aa62c1dd-380869617 [accessed 20 July 2021]
- Rathoure, A. K. (2020). Carbon Footprint and Impact on Biodiversity. *Biodiversity International Journal*, 4(2), 109-110.

ออนไลน์

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2562). ความหลากหลายทางชีวภาพ. [ออนไลน์].
ได้จาก: <https://www.onep.go.th/ความหลากหลายทางชีวภาพ/> [สืบค้นเมื่อ วันที่ 20 กรกฎาคม 2564]