



ไผ่ในฐานะวัสดุก่อสร้างในงานสถาปัตยกรรม ช่วง ค.ศ.2010-2021

Bamboo as construction materials in architecture from 2010 to 2021

รัชณูพรรณ คำสิงห์ศรี¹ และ วันดี พินิจวรสิน²
Rutchanoophan Kumsingsree¹ and Wandee Pinijvarasin²

Received: 2021-09-03

Revised: 2022-01-03

Accepted: 2022-01-31

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นบทความปริทัศน์ นำเสนอประเด็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมที่ใช้ไผ่เป็นวัสดุในการก่อสร้างในระดับนานาชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดกลุ่มประเด็นเนื้อหาการศึกษาและค้นหาช่องว่างทางการศึกษา ใช้วิธีการสืบค้นข้อมูลเชิงประจักษ์ ผ่านฐานข้อมูลในระดับนานาชาติ จำนวน 88 บทความระหว่าง ค.ศ.2010-2021 บนเกณฑ์การพิจารณาประเด็นเนื้อหาการศึกษา สามารถจัดกลุ่มได้ 4 ประเด็น ได้แก่ (1) การใช้ไผ่เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม (2) การใช้ไผ่เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม (3) การใช้ไผ่เป็นวัสดุโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและข้อต่อ และ (4) การใช้ไผ่เป็นวัสดุท้องถิ่นในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในวิถีชีวิตและวัฒนธรรม พบประเด็นในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับภาพกว้างในแง่ภูมิที่สถาปัตยกรรมนั้นถูกแวดล้อมเชื่อมโยงในหลายมิติ เช่น มิติสภาพแวดล้อม มิติทรัพยากร มิติเศรษฐกิจ มิติเคหะการ มิติอุตสาหกรรม มิติการท่องเที่ยว ในขณะที่เดียวกันพบประเด็นการศึกษาที่แคบลงในแง่ภูมิที่เกิดขึ้นกับตัวสถาปัตยกรรม เช่น มิติความแข็งแรง มิติการใช้สอย มิติสุนทรียภาพ มิติการออกแบบและการก่อสร้าง มิติภูมิปัญญาเชิงช่าง มิติวิถีชีวิตวัฒนธรรม จากประเด็นการศึกษาที่แตกต่างนี้ ส่งผลให้ยังมีช่องว่างทางการศึกษาที่นำไปสู่การตั้งคำถามได้หลายแง่มุม ทั้งจากกายภาพสถาปัตยกรรม (เชิงรูปธรรม) เช่น ความคลาดเคลื่อนในการออกแบบและก่อสร้าง มาตรฐานอาคาร การบำรุงรักษาอาคาร การประเมินหลังการใช้งานอาคาร การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร และจากการใช้สอยที่ตอบสนองทางด้านจิตใจ (เชิงนามธรรม) เช่น ภูมิปัญญาการอยู่อาศัย การประเมินการรับรู้ การสร้างประสบการณ์เชิงบวก จากข้อสังเกต พบว่า พื้นที่ที่มีการศึกษาและจำนวนบทความที่ถูกเผยแพร่ มีความสัมพันธ์กับภูมิภาคที่มีไผ่เป็นทรัพยากรท้องถิ่นอันอุดมสมบูรณ์

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
(Faculty of Architecture, Kasetsart University)

ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: rutchanoophan.k@msu.ac.th

² คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
(Faculty of Architecture, Kasetsart University)

คำสำคัญ: สถาปัตยกรรมไม้แบบร่วมสมัย สถาปัตยกรรมไม้ไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้าง วัสดุยั่งยืน การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

Abstract

This paper is a review article that present the international study of issues related to international architecture using bamboo as a construction material. The objectives are to grouping content issues and finding study gaps. The empirical data searched through the international database was used to discover 88 articles during 2010 to 2021 which divided into 4 groups as follows: (1) use of bamboo as an alternative material in architectural construction, (2) use of bamboo as a main material in architectural construction, (3) use of bamboo as an structural material in architecture and joints and (4) use of bamboo as a local construction material in livelihoods and culture. The result found that the study contents related to the broader views in which architecture surrounded in many dimensions such as environment dimension, resource dimension, economic dimension, housing dimension, industrial dimension, and tourism dimension. At the same time, narrower view illustrated specific aspects that occurred with the architecture such as strength dimensions, usable dimension, aesthetic dimension, design and construction dimension, local wisdom technique dimension, and cultural way of life dimension. As a result of these different issues, there are remaining gaps in study content which lead to questions to be asked in many aspects from the physical architecture such as design and construction error, building codes, building maintenance, post occupancy evaluation (POE), life cycle assessment (LCA), and the psychological responsive usage such as wisdom living perception, perception assessment, creating a positive experience. The observation revealed that the studies area and the number of articles published were related to regions with abundance of local bamboo resources.

Keywords: contemporary bamboo architecture, bamboo architecture, bamboo as construction materials, sustainable material, systematic review

บทนำ

ช่วงปลาย ค.ศ. 1980 ทวีโลกประสบกับปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะการขาดแคลนไม้ รวมถึงอุตสาหกรรมที่มีไม้เป็นวัสดุหลัก (Manandhar, Kim & Kim, 2019) ก่อให้เกิดการใช้วัสดุทางเลือก ในสถานการณ์ดังกล่าวนี้ ถือเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยทางด้านการศึกษาค้นคว้า คุณสมบัติเชิงกลของไม้ และวงการอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ให้เท่าเทียมไม้ ซึ่งสามารถนำมาใช้งานเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ส่งผลให้ตลอดระยะเวลากว่า 3 ทศวรรษที่ผ่านมา ไม้ ได้รับการพิจารณาว่าเป็นวัสดุที่เชื่อถือได้อย่างมีนัยสำคัญในการก่อสร้าง เมื่อมีการเผยแพร่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงกลของไม้ (mechanical properties of bamboo) โดย Meyer & Ekelund (1923) และในเวลาต่อมา มีงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงโครงสร้างสถาปัตยกรรมและการรับแรงที่โดดเด่นของไม้ เช่น ในปี ค.ศ.1974 Julius Joseph Antonius Janssen ถือเป็นนักวิจัยรุ่นบุกเบิกที่ได้เริ่มศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ ต่อมาในปี ค.ศ.1984 Janssen ได้เริ่มทำวิจัยในระดับปริญญาเอกเรื่อง Bamboo in building structure และในปี ค.ศ.1991 ได้รวบรวมบทความที่เกี่ยวข้องเพื่อเผยแพร่ในรูปแบบหนังสือชื่อ Mechanical properties of bamboo (Harries & Sharma, 2019) ซึ่งเป็นผลงานที่เผยให้เห็นถึงศักยภาพของไม้ในมิติวัสดุก่อสร้างที่มีการศึกษาค้นคว้าอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้สถาปนิกและวิศวกรนำไม้มาใช้งานเชิงโครงสร้างในสถาปัตยกรรม เนื่องจากความยืดหยุ่น ความเบา ที่ช่วยลดภาระเรื่องน้ำหนักบรรทุกของวัสดุ รวมถึงตอบสนองต่อการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายในภูมิภาคเขตร้อน ดังนั้นจึงสามารถพบเห็นอาคารไม้ได้ในประเทศที่มีไม้เป็นทรัพยากรป่าไม้ และพืชท้องถิ่นที่สำคัญ

จุดเปลี่ยนที่ทำให้ไม้ถูกนำกลับมาใช้งานในสถาปัตยกรรมรูปแบบร่วมสมัยอีกครั้งเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2000 เมื่อมีการก่อสร้างอาคาร ZERI pavilion ออกแบบโดย Simon Velez ที่งาน World Expo 2000 ในเมือง Hanover ประเทศเยอรมนี ไม้ได้มีบทบาทและได้รับความสนใจในฐานะวัสดุก่อสร้างในยุคที่กระแสนิยมที่ประชาคมโลกมีความกังวลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้สถาปนิกและวิศวกรค้นหาวัดทางเลือกที่ยั่งยืนเพื่อใช้ในการออกแบบ ในเวลาต่อมาส่งผลให้งาน World EXPO ในปี ค.ศ.2010 ที่ถูกจัดขึ้น ณ กรุงเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน มี Pavilion ที่ใช้ไม้เป็นวัสดุในการก่อสร้างมากกว่าสิบอาคาร อันแสดงถึงศักยภาพคุณสมบัติเชิงกลของไม้ทางด้านการรับแรงในโครงสร้างและวัสดุประกอบสร้างสถาปัตยกรรม ซึ่งทำให้สถาปนิก วิศวกร รวมถึงผู้ใช้งานอาคารมีความเชื่อมั่นในการนำไม้กลับมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างอีกครั้ง

ปี ค.ศ.2015 “ไม้” ได้รับความสนใจและถูกหยิบยกเป็นประเด็นที่นำศึกษาอีกครั้ง ในฐานะวัสดุก่อสร้างที่มีบทบาทตามกรอบนโยบายขององค์การสหประชาชาติ ภายใต้เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals (SDGs)) ทั้งหมด 17 ข้อ ซึ่ง The Global Bamboo and Rattan Congress 2018 (BARC 2018) ได้ชี้ให้เห็นความสำคัญของไม้ในบทบาทที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายต่าง ๆ เช่น SDG 1 ขจัดความยากจนทุกรูปแบบ (no poverty) SDG 7 รับรองการมีพลังงานที่ทุกคนเข้าถึงได้ เชื่อถือได้และยั่งยืน (clean energy use) SDG 11 การตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มีความปลอดภัย พร้อมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างยั่งยืน (sustainable housing) SDG 12 รับรองแผนการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน (efficient and sustainable consumption and production) SDG 13 ดำเนินมาตรการเพื่อรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate action) SDG 15 ปกป้องฟื้นฟู และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จาก

ระบบนิเวศทางบกอย่างยั่งยืน (life on land) SDG 17 สร้างพลังแห่งความร่วมมือระดับสากลต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (effective global partnerships) ประกอบกับการทำงานขององค์กรไผ่นานาชาติ ที่มุ่งเน้นการส่งเสริมศักยภาพของไผ่ในหลายมิติ ตั้งแต่มิติพืชท้องถิ่น สู่วัสดุอุตสาหกรรมในระดับสากล นอกจากนี้ยังมีการใช้งานไผ่ในฐานะตัวแทนภาพลักษณ์ของวัสดุที่คำนึงถึงความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่เพียงแต่ในแวดวงสถาปัตยกรรมเท่านั้น แต่ยังขยายผลไปถึงการใช้ทรัพยากรครบวงจรที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับแวดวงเศรษฐกิจหมุนเวียนอีกด้วย ในขณะที่บทบาทการเป็นวัสดุทางสถาปัตยกรรมที่สำคัญ อันทำหน้าที่เชื่อมโยงอดีตเข้ากับปัจจุบัน ในแง่มุมของสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นในหลายพื้นที่ทั่วโลก และการสนับสนุนจากองค์กรระดับนานาชาติ เช่น World Bamboo Congress และ International Bamboo and Rattan Organisation (INBAR) ทั้งในเชิงนโยบายและเชิงปฏิบัตินั้น ส่งผลให้ไผ่เป็นวัสดุที่ดึงดูดความสนใจในการศึกษาค้นคว้าจากนักวิจัยในหลายมิติ เห็นได้จากจำนวนงานวิจัยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี ดังนั้น ในบทความนี้ จึงเป็นการนำเสนอการศึกษาและวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมที่ใช้ไผ่เป็นวัสดุประกอบสร้าง เพื่อชี้ให้เห็นความแตกต่างของประเด็นเนื้อหา ช่องว่างทางการศึกษา รวมถึงพื้นที่และแนวทางในการวิจัยในระดับนานาชาติ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ รวมถึงงานวิจัยของผู้เขียนในลำดับถัดไป

วิธีการศึกษา

บทความนี้เป็นบทความปริทัศน์ ซึ่งเป็นการรวบรวมและจัดกลุ่มประเด็นเนื้อหาเกี่ยวกับการศึกษาสถาปัตยกรรมที่ใช้ไผ่เป็นวัสดุในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่เชิงประจักษ์ (empirical-archival method) ซึ่งเป็นการตรวจสอบและทบทวนวรรณกรรมวิธีหนึ่ง ที่ถูกประยุกต์ใช้ในการศึกษาสถาปัตยกรรม เบื้องต้นใช้การทบทวนวรรณกรรม (Merchant, 2010) โดยมีขอบเขตการศึกษา คือ บทความภาษาอังกฤษฉบับเต็ม (full texts) ทั้งบทความวิจัยและบทความวิชาการ จำนวน 88 บทความ ที่สืบค้นผ่าน Scopus, SpringerLink และ Taylor and Francis โดยคัดเลือกบทความที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไผ่ในฐานะวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรม ใช้คำค้นหา (search term) ที่มีความสัมพันธ์โดยตรง ได้แก่ สถาปัตยกรรมไผ่ (bamboo architecture) อาคารไผ่ (bamboo building) การออกแบบและก่อสร้างด้วยไผ่ (bamboo design and construction) และ ข้อต่อและการเชื่อมต่อไผ่ (bamboo joints and connectors) ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณซึ่งแยกให้เห็นถึงจำนวนและสัดส่วนพื้นที่ในการศึกษา รวมถึงแนวโน้มบทความที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น

ในขณะเดียวกันการวิเคราะห์เชิงคุณภาพบนฐานการจัดกลุ่มการศึกษาของ Huang (2019) บนแง่มุมต้นทางการศึกษาไผ่ในฐานะวัสดุที่มีศักยภาพด้านความแข็งแรง ที่สามารถนำไปก่อสร้างสถาปัตยกรรม และ Lara & Espinosa (2018) บนแง่มุมของปลายทางในการยกระดับสถาปัตยกรรมไผ่ นำไปสู่การคัดแยกประเด็นการศึกษาสถาปัตยกรรมที่ใช้ไผ่เป็นวัสดุก่อสร้างตามเนื้อหาสาระ (content analysis) 4 ประเด็น ได้แก่ (1) การใช้ไผ่เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม (2) การใช้ไผ่เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม (3) การใช้ไผ่เป็นวัสดุโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและข้อต่อ (4) การใช้ไผ่เป็นวัสดุท้องถิ่นในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในวิถีชีวิต

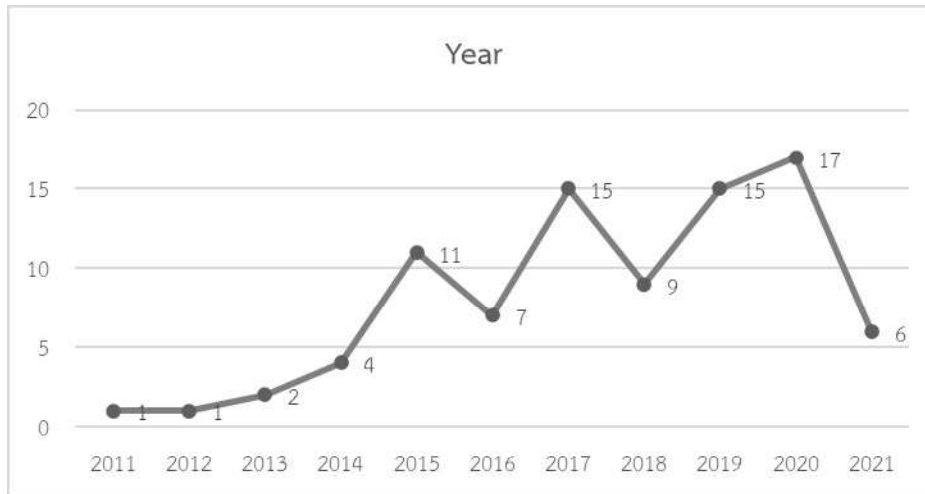
การรวบรวมประเด็นการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อจัดกลุ่มประเด็นเนื้อหาการศึกษา และค้นหาช่องว่างทางการศึกษา ที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมที่ใช้ไม้เป็นวัสดุก่อสร้าง ในระหว่างปี ค.ศ.2010-2021 เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไม้ในมิติวัสดุทางเลือก ซึ่งได้ขยายผลเป็นวงกว้างหลังจากงาน World Expo 2010 ณ กรุงเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน และใน ค.ศ.2015 ไม้มีบทบาทในฐานะวัสดุที่ตอบสนองต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) จากองค์การสหประชาชาติ ดังนั้น การศึกษาในบทความนี้สามารถนำไปสู่การสร้างประเด็นการศึกษาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน อันเกิดจากช่องว่างที่ยังเว้นพื้นที่ในการเพิ่มเติม รวมถึงการตั้งคำถามที่สามารถเชื่อมโยงหรือขยายผลในมิติต่าง ๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดคุณประโยชน์ที่ตามมาในหลายแง่มุม

วิเคราะห์ผลการศึกษา

จากการศึกษาบทความทั้ง 88 บทความนั้น สามารถจำแนกจำนวนการศึกษาได้ตามปีที่เผยแพร่บทความ ดังภาพที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมที่ใช้ไม้เป็นวัสดุก่อสร้างในระดับนานาชาติตั้งแต่ปี ค.ศ.2011-2021 มีทิศทางเพิ่มจำนวนขึ้น ในขณะที่ปี ค.ศ.2021 ผู้เขียนสืบค้นเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงต้นปี ที่การเผยแพร่ผลงานยังไม่มากนัก ในช่วงหลังปี ค.ศ.2015 มีการเผยแพร่บทความในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวัสดุทางเลือก วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม วัสดุยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบาย SDGs จากองค์การสหประชาชาติตามที่กล่าวไปแล้วนั้น แสดงให้เห็นบทบาทและความเคลื่อนไหวของวัสดุธรรมชาติอย่างไม้ ในการทำหน้าที่เป็นวัสดุก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมได้เป็นอย่างดี ในปี ค.ศ.2020 เป็นปีที่มีการเผยแพร่ผลงานมากที่สุดถึง 17 บทความ โดยมีข้อสังเกต คือ นักวิจัยที่เผยแพร่ผลงานนั้น ส่วนหนึ่งมีความเชื่อมโยงกับ INBAR (International Bamboo and Rattan Organisation) ในปีเดียวกันนี้ INBAR ได้จัดสัมมนาในระดับนานาชาติผ่านระบบออนไลน์หลายหัวข้อ โดยมีผู้บรรยายคือกลุ่มนักวิจัยที่เผยแพร่ผลงานดังกล่าว ในขณะที่นักวิจัยบางท่านมีผลงานเผยแพร่มากกว่า 1 บทความ ยกตัวอย่างเช่น Andry Widyowijatnoko, Kent A. Harries, Edwin Zea Escamilla, Sebastian Kaminski, David Trujillo เป็นต้น หากพิจารณาบทความเหล่านี้ แยกตามพื้นที่หรือสถานที่ที่ทำการศึกษา พบว่า พื้นที่ที่มีการศึกษามากที่สุด คือ ภูมิภาคเอเชีย มีการเผยแพร่บทความมากถึง 47 บทความ (53.4%) มากกว่าครึ่งหนึ่งของบทความทั้งหมด (ดังภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการรายงานทรัพยากรป่าไม้ในภูมิภาคเอเชียที่มีจำนวนมากถึง 67% (Lopez, 2003) พื้นที่ที่มีการศึกษามากที่สุด ได้แก่ อินโดนีเซีย 16 บทความ (18.18%) จีน 11 บทความ (12.5%) อินเดีย 9 บทความ (10.22%) ตามลำดับ (ดังภาพที่ 3)

ในทางตรงกันข้ามยุโรปไม่ได้มีไม้เป็นทรัพยากรหรือพืชท้องถิ่น ดังนั้นในภูมิภาคนี้ จึงพบการศึกษาที่เกี่ยวข้องค่อนข้างน้อย (ดังภาพที่ 4) ผู้เขียนได้ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมไม้ในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก โดยมีช่วงเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ.2010 เป็นต้นมา เนื่องจากเป็นปีที่ไม้ได้รับความสนใจในฐานะวัสดุก่อสร้างในยุคที่ประชาคมโลกมีความกังวลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศ ทำให้นักออกแบบมีความพยายามที่จะทำงานร่วมกับวัสดุทางเลือกที่ยั่งยืนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้งาน World Expo 2010 มีศาลา (pavilion) ที่ใช้ไม้เป็นวัสดุในการก่อสร้างมากกว่าสิบอาคาร ซึ่งนำไปสู่กระแสการสร้างสรรค์สถาปัตยกรรมไม้ในภาพลักษณ์ใหม่ ในขณะที่งานวิชาการที่มีอยู่เกี่ยวกับไม้ส่วนใหญ่เน้น พบว่า เกี่ยวข้องกับการศึกษาจากมุมมองของพฤกษศาสตร์ วนศาสตร์ และวัสดุทางวิทยาศาสตร์ ในทางตรงกันข้ามการศึกษาในเชิงทฤษฎีและวิจัยเชิงปฏิบัติการสำหรับการนำไม้ไปประยุกต์ใช้ในสถาปัตยกรรมนั้นค่อนข้างมีน้อย

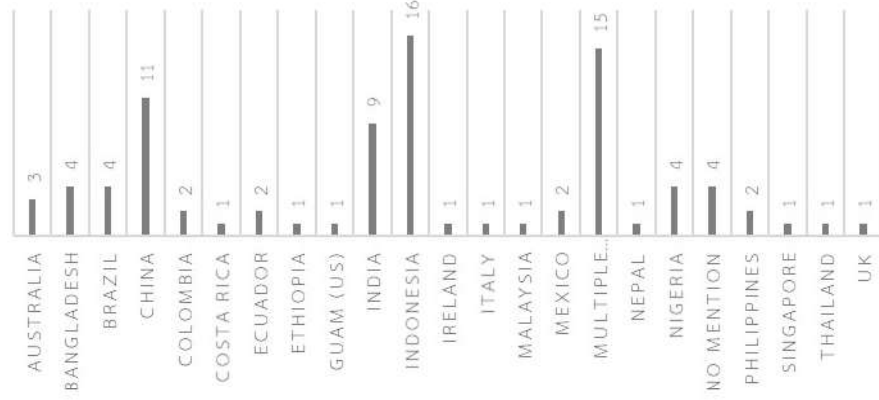
อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในแนวทางดังกล่าวนี้มีแนวโน้มที่จะดึงดูดความสนใจจากนักวิจัยเพิ่มขึ้น (Huang, 2019) โดยเฉพาะการใช้ไผ่ดิบ (raw bamboo) กล่าวคือ ลำไผ่ที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป พบว่า ถูกนำไปใช้ในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมเป็นหลัก



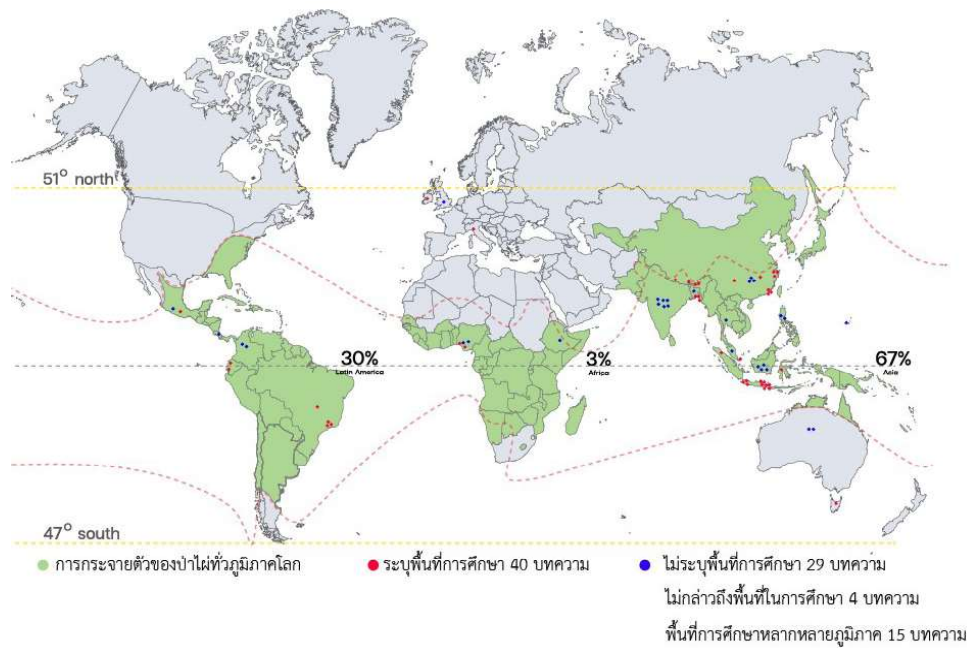
ภาพที่ 1 จำนวนบทความและปีที่เผยแพร่ในระดับนานาชาติ ในปี ค.ศ.2011-กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2021



ภาพที่ 2 การกระจายตัวของการศึกษาในแต่ละภูมิภาคโลก



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของการศึกษาในแต่ละประเทศ



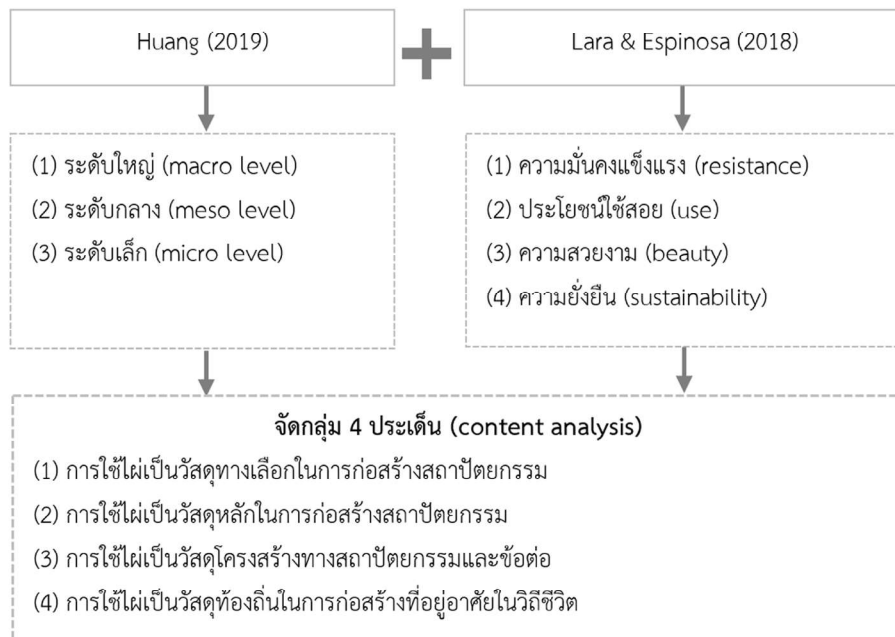
ภาพที่ 4 การกระจายตัวของทรัพยากรป่าไผ่ที่สอดคล้องกับพื้นที่การศึกษา

ที่มา: ปรับปรุงจาก Huang (2019)

ขณะทำงานวิจัยเรื่อง The study on application of bamboo in building envelope โดย Huang (2019) จัดทำขึ้นระหว่าง ค.ศ.2013-2018 มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้จากการใช้ไม้ให้คุ้มค่ากับความ เป็นทรัพยากรป่าที่สำคัญในภูมิภาคที่ไม้เจริญเติบโตได้ดี ในมิติของเทคโนโลยีวัสดุ ที่ใช้ทดแทนการขาดแคลน ไม้อันเป็นผลพวงจากวิกฤตช่วง ค.ศ.1980 ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้น Huang (2019) จึงได้ให้ความสำคัญ เกี่ยวกับคุณสมบัติวัสดุทางด้านความแข็งแรงทนทาน การดูดความชื้น การใช้พลังงาน มากกว่าการศึกษา เทคนิคการก่อสร้าง ข้อต่อ หรือรูปลักษณะสถาปัตยกรรม โดยแบ่งระดับการศึกษา “ไม้” ที่เกี่ยวข้องกับมิติ ทางด้านการใช้งานวัสดุในสถาปัตยกรรม ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับใหญ่ (macro level) ระดับกลาง (meso level) และระดับเล็ก (micro level) อันเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ให้เห็นระดับความแตกต่างของประเด็น การนำไม้ไปใช้ในภาพรวม

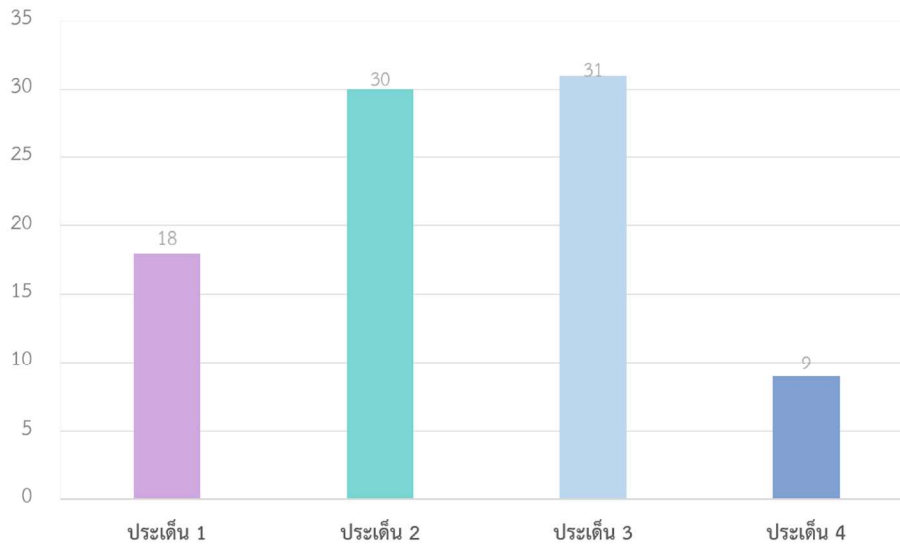
ส่วนการศึกษาเรื่อง Alternative sustainable tourism for community development โดย Lara & Espinosa (2018) ได้แบ่งประเภทการศึกษาตามความสัมพันธ์ในมิติทางสถาปัตยกรรม โดยอ้างอิงหลัก การแนวคิด Vitruvian Concepts of Architecture ใน 3 ประการ คือ ความมั่นคง (firmitas/durability/ firmness) ความสวยงาม (venustas/beauty) และ การใช้ประโยชน์ (utilitas/utility/functionality) จาก แนวคิดดังกล่าวผนวกกับการเชื่อมโยงเนื้อหาในการศึกษาสถาปัตยกรรมไม้ ส่งผลให้ Lara & Espinosa (2018) คัดแยกกลุ่มความสัมพันธ์ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ความมั่นคงแข็งแรง (resistance) ประโยชน์ใช้สอย (use) ความสวยงาม (beauty) และความยั่งยืน (sustainability) ซึ่งมีข้อแตกต่างจากมุมมองของ Huang (2019) ในแง่ของสถาปัตยกรรมที่สร้างคุณค่าโดยละทิ้งแนวคิดที่เชื่อมโยงกับมิติความยากจน กล่าวคือ สถาปัตยกรรม ที่ใช้ไม้เป็นวัสดุในการแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ ในแง่ของราคาและการก่อสร้างด้วยวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นนั้น สามารถตอบสนองต่อความมั่นคง ความสวยงาม และการใช้ประโยชน์ในเชิงวิถีชีวิตได้ด้วยเช่นกัน แม้ว่าจะอยู่ ในรูปแบบของสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นหรือที่อยู่อาศัยขนาดเล็กในระดับครัวเรือน

อย่างไรก็ตามจากการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ของ Lara & Espinosa (2018) ได้ชี้ให้เห็นถึงความ สำคัญของการยกระดับ ไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้างที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสถาปัตยกรรม ลดวาทะกรรมความเป็น ไม้ซุงของคนยาก สู่ภาพลักษณ์และบทบาทของสถาปัตยกรรมในกระแสการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ ผนวกกับ กระแสการท่องเที่ยวเพื่อการถ่ายภาพที่เฟื่องถึงสุนทรีภาพของไม้ในสถาปัตยกรรมและในภูมิทัศน์ สามารถ บ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างนักท่องเที่ยวกับจุดหมายปลายทางที่ไปนั้นว่ามีความสัมพันธ์ตามทฤษฎี Tourist gaze (Urry & Larsen, 2011) ยิ่งส่งผลให้สถาปัตยกรรมที่ใช้ไม้เป็นวัสดุก่อสร้างกลายเป็นจุดมุ่งหมายของ นักท่องเที่ยว (tourist destination) มากขึ้น (Mertens, 2019) ซึ่งปรากฏให้เห็นในการศึกษาสถาปัตยกรรม ไม้ร่วมสมัยของอินโดนีเซีย



ภาพที่ 5 การจัดกลุ่มประเด็นการศึกษาของผู้เขียน

จากการศึกษาการแบ่งกลุ่มของทั้งสองงานที่กล่าวมาแล้วนั้น นำมาสู่การจัดกลุ่มประเด็นการศึกษาผ่านเกณฑ์การพิจารณาความแตกต่างของเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรม โดยมีมุมมองเพิ่มเติมจาก Huang (2019) ในประเด็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการก่อสร้าง รอยต่อ หรือรูปลักษณะของสถาปัตยกรรม และมุมมองที่เพิ่มเติมจาก Lara & Espinosa (2018) ในประเด็นการแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจและมิติความยากจน อย่างไรก็ตาม ทั้งมุมมองของ Huang (2019) และ Lara & Espinosa (2018) ถือเป็นข้อสนับสนุนหนึ่งในการจัดกลุ่มประเด็นการศึกษาให้มีความครอบคลุมและสร้างความน่าสนใจในหลายแง่มุม โดยเฉพาะประเด็นด้านไม้ในฐานะวัสดุในงานสถาปัตยกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิถีชีวิต วัฒนธรรม นับเป็นประเด็นสำคัญ จึงถูกนำมาสู่ข้อพิจารณาในการจัดกลุ่มเป็น 4 ประเด็น โดยแต่ละประเด็นนั้นสามารถคัดแยกจำนวนบทความที่ศึกษา (ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6) ได้แก่ (1) การใช้ไม้เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม 18 บทความ (2) การใช้ไม้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม 30 บทความ (3) การใช้ไม้เป็นวัสดุโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและเชื่อมต่อ 31 บทความ และ (4) การใช้ไม้เป็นวัสดุท้องถิ่นในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในวิถีชีวิต 9 บทความ



ภาพที่ 6 จำนวนบทความในแต่ละประเด็น

อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาทั้ง 88 บทความนั้น สามารถจัดกลุ่มการศึกษาตามเนื้อหาได้ 4 ประเด็น นำไปสู่การอภิปรายผลในรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. การใช้ไฟเป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม (จำนวน 18 บทความ)

การใช้ไฟในประเด็นนี้เป็นไปเพื่อการแก้ปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัย ปัญหาพื้นที่ภัยพิบัติในเขตแผ่นดินไหว หรือการใช้ไฟเพื่อทดแทนวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ทั้งในมิติของทรัพยากร เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม ความยั่งยืน เป็นการศึกษาที่เกิดจากปัญหา (problem based study) ที่พบตามสภาพการณ์ความเป็นจริง นำไปสู่การวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นและความแข็งแรงของเส้นใยไฟสามารถรับแรงดัดและแรงดึงได้ดีกว่าไม้ จากการทดสอบพบว่าบ้านที่สร้างด้วยไฟสามารถทนแรงแผ่นดินไหวได้มากถึง 7.6 ในมาตราริกเตอร์ (Paudel, 2008) ดังนั้นการนำไฟมาใช้งานในฐานะวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรมที่สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว จึงสามารถพบได้ในกลุ่มประเทศที่ต้องเผชิญปัญหาดังกล่าว เช่น กลุ่มประเทศอเมริกาใต้ แม้ว่าสถิติการเกิดแผ่นดินไหวจากการรายงานของ OFDA/CRED International Disaster Data ระบุว่าปี ค.ศ.1991-2005 มีเพียง 4% จากภัยพิบัติทั้งหมด แต่กลับสร้างความเสียหายต่อชีวิตผู้คนมากถึง 43.3% ถือเป็นสัดส่วนการเสียชีวิตที่มากกว่าภัยพิบัติอื่น ๆ และในช่วง ค.ศ.2010-2017 มีบ้านเรือนเสียหายกว่า 150,000 หลัง ในโคลอมเบีย เปรู และเอกวาดอร์ พบว่า บ้านที่สร้างด้วยอิฐและคอนกรีตได้รับผลกระทบ

ในขณะที่บ้านที่สร้างด้วยไม้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความยืดหยุ่นต่อแรงแผ่นดินไหวดังกล่าว ส่งผลให้ภาครัฐผลักดันกฎหมายอาคารโดยมีไม้เป็นวัสดุก่อสร้างในกลุ่มประเทศอเมริกาใต้ เริ่มจากโคลอมเบียในปี ค.ศ.2001 เปรู ในปี ค.ศ.2012 และเอกวาดอร์ในปี ค.ศ.2017 ตามลำดับ (Witte, 2019) ในทำนองเดียวกันงานวิจัยเพื่อการพัฒนาที่อยู่อาศัยในคอ스타ริกา ได้นำเสนอประเด็นการใช้ไม้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยให้กับชุมชนคนอินเดีย และชี้ให้เห็นว่าการเลือกใช้ไม้เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัยนั้น มีความเหมาะสมและสร้างความพึงพอใจให้กับผู้คน ผ่านมิติตัวชี้วัดทางสังคม เศรษฐกิจ และความยั่งยืน (Ham & Shroyer, 1993) งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการแสดงออกถึงการยอมรับวัฒนธรรมและทิศทางการใช้ไม้ในประเทศกำลังพัฒนา มีการเปรียบเทียบเกิดการเปลี่ยนแปลงทัศนคติและมุมมองของผู้คนต่อ “ไม้” ว่ามีลักษณะคล้ายกับสถานการณ์ที่เคยเกิดขึ้นกับ “ข้าวโพด” ซึ่งเดิมคืออาหารสำหรับผู้มีรายได้น้อย จนกระทั่งมีนวัตกรรมใหม่ ที่นำไปสู่การเป็นวัตถุดิบของเอทานอล ส่งผลให้ราคาข้าวโพดนั้นสูงขึ้นในทันที (Garcia-Saenz, 2012) โดยเฉพาะในแง่ของตัวชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน ส่งผลต่อสถานการณ์ของไม้ ที่กลายเป็นวัสดุเขียว (green material) ไม่เพียงแต่ในวงการเกษตรกรรม แต่ยังหมายรวมถึงแวดวงสถาปัตยกรรมด้วยเช่นกัน

ขณะที่หลายประเทศในแอฟริกา เช่น แคเมอรูน เอธิโอเปีย เคนยา ยูกันดา ได้รับการสนับสนุนจาก INBAR มีการพัฒนาโครงการต่าง ๆ ไม้ใช้แค่เรื่องที่อยู่อาศัยเท่านั้น แต่ยังขยายผลไปสู่สาธารณูปโภคอื่น ๆ เช่น โรงเรียนในไนจีเรีย พบปัญหาเรื่องสิ่งอำนวยความสะดวกของโรงเรียน ที่ไม่เป็นมิตรต่อนักเรียน เนื่องด้วยค่าก่อสร้างที่สูง ส่งผลให้รัฐบาลละเลยอาคารเรียนไปหลายปี ลักษณะทางกายภาพเหล่านี้อยู่ในสภาพที่ไม่ส่งเสริมต่อการเรียนการสอน (Ekundayo, 2012) ดังนั้นในหลายพื้นที่ของไนจีเรียพยายามสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาและฟื้นฟูโครงสร้างพื้นฐานของโรงเรียน การปรับปรุงซ่อมแซมโรงเรียนที่มีอยู่ด้วยวัสดุสมัยใหม่นั้นมีต้นทุนที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารใหม่ด้วยวัสดุต้นทุนต่ำ (Akindele, 2012) ดังนั้นไม้จึงเป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนดังกล่าว โดยงานวิจัยเรื่อง Comparison of bamboo and conventional building materials for low-cost classroom construction in Isaran, Nigeria แสดงให้เห็นว่า อาคารเรียนที่ก่อสร้างด้วยไม้ มีต้นทุนต่อหน่วยในการก่อสร้างที่ต่ำกว่าอาคารเรียนที่ก่อสร้างด้วยวัสดุก่อฉาบ ถึง 40.76% (Adetunji, Moyanga & Bayegun, 2015) นอกจากนี้ พบว่า มีการนำไม้มาใช้งานเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดวัสดุก่อสร้างอุตสาหกรรมที่สูงกว่าวัสดุก่อสร้างท้องถิ่น ทั้งในการออกแบบพัฒนาที่อยู่อาศัยและอาคารสาธารณะของชุมชน ผลงานเหล่านี้ถูกเผยแพร่และได้รับความสนใจในเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมอยู่ไม่น้อย ถือเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นว่า ไม้ เป็นวัสดุหนึ่งที่มีบทบาทต่อการเป็นวัสดุทางเลือกในมิติทางเศรษฐกิจ และการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นอย่างคุ้มค่าของกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ส่วนทางฝั่งเอเชียพบกลุ่มการศึกษาที่มีประเด็นเนื้อหาใกล้เคียงกันใน อินเดีย เนปาล ที่ส่วนใหญ่มีการใช้ไม้เป็นวัสดุในการแก้ไขปัญหาที่อยู่อาศัย ในขณะที่ ฟิลิปปินส์ พม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย พบการใช้ไม้เป็นไปเพื่อตอบวัตถุประสงค์ทางด้านการลดความเสียหายของที่พักอาศัยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว หรือแม้กระทั่งทางตอนเหนือของประเทศไทย มีหน่วยงานที่ทำการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ หน่วยงานนวัตกรรมเพื่อการออกแบบสถาปัตยกรรมจากไม้และวัสดุท้องถิ่น คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยกระบวนการศึกษาให้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจในหลายแง่มุม หนึ่งในนั้นคือแนวทางการออกแบบและก่อสร้างที่อยู่อาศัยด้วยไม้สำหรับผู้ประสพภัย เพื่อเป็นต้นแบบสถาปัตยกรรมที่มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณพรมแดนที่ติดต่อกับประเทศเพื่อนบ้าน

2. การใช้ไม้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม (จำนวน 30 บทความ)

การศึกษาในประเด็นนี้ส่วนใหญ่เป็นไปเพื่อยกระดับการใช้งานไม้ในสถาปัตยกรรมที่สนับสนุนแนวคิดวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม วัสดุเขียว ความยั่งยืน โดยนำไม้มาใช้งานพบพื้นฐานคุณสมบัติเชิงกายภาพที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป และคุณสมบัติเชิงกลด้านความยืดหยุ่น รวมถึงความแข็งแรงที่ตอบสนองต่อการออกแบบและก่อสร้างสถาปัตยกรรม โดยสามารถจำแนกตามลักษณะการก่อสร้างและการใช้งานได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

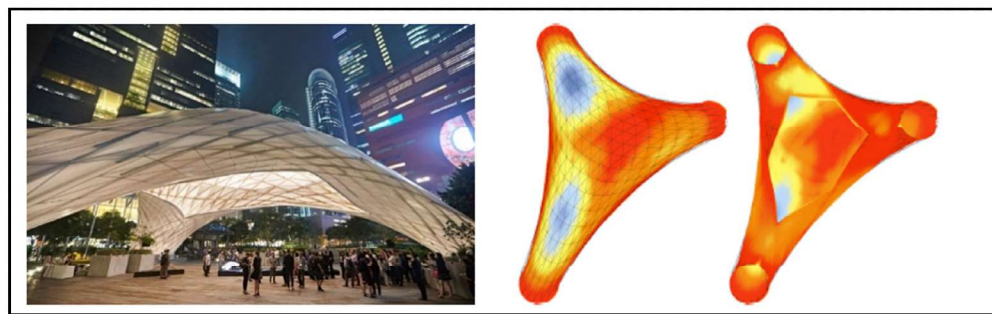
2.1 สถาปัตยกรรมที่มีการก่อสร้างถาวร พบมากในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอาคารสาธารณะ งานวิจัยในกลุ่มนี้ศึกษาจากอาคารที่ก่อสร้างเสร็จ เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในมิติต่างๆ เช่น เทคนิคการก่อสร้าง วัสดุเขียว การระบายความร้อน การท่องเที่ยวในเชิง eco-tourism เป็นต้น ส่วนการศึกษาด้านสุนทรียภาพในมิติการก่อรูปทรงร่วมกับทฤษฎีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมนั้น มีปรากฏให้เห็นบ้างในการศึกษาทางฝั่งอินโดนีเซีย ยกตัวอย่างเช่นบทความเรื่อง The potential of bamboo as building material in organic shaped buildings (Nurdiah, 2016) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของไม้ในการนำมาขึ้นรูปทรงอิสระที่ดึงดูดความสนใจ บนพื้นฐานคุณสมบัติทางกายภาพความเป็นลำยาว คุณสมบัติของสายพันธุ์ไม้พื้นเมืองอย่าง Bambu Tali (*Gigantochloa Apus*) สามารถตัด หรือโค้งงอด้วยเทคนิคการใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อน (Dunkelberg, 1985) รวมถึงคุณสมบัติความเป็นท่อนที่นำมาประกอบกันให้เกิดเป็นโครงสร้างพาดช่วงกว้างที่สามารถรองรับจำนวนคนได้เพิ่มขึ้น (Maurina & Henatta, 2014) นำไปสู่การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้งานอาคารในการสร้างประสบการณ์เชิงบวก พบได้ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้สถาปัตยกรรม ในกลุ่มการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ การศึกษาเชื่อมโยงในมิตินี้ยังพบไม่มากนัก โดยเฉพาะในอาคารที่เกี่ยวข้องกับสถาบันการศึกษา

การศึกษาผ่านกรณีศึกษาที่สอดคล้องกับข้อเสนอของ Van der Lugt, Van der Dobbelssteen & Janssen (2006) ในบทความเรื่อง An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures และงานวิจัยเรื่อง Design Interventions for stimulating bamboo commercialization; Dutch design meets bamboo as a replicable model นักวิจัยได้เสนอแนะแนวทางการศึกษาเปรียบเทียบผ่านอาคารที่มีความถาวรมากกว่าอาคารที่มีลักษณะชั่วคราว (temporary building) เนื่องจากอาคารเหล่านี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำไม้มาใช้เป็นวัสดุสถาปัตยกรรม ในขณะที่นักวิจัยได้เสนอแนะประเด็นการศึกษาเรื่องวงจรชีวิตของอาคาร (life cycle assessment (LCA)) ยังเป็นเรื่องที่ต้องการการตรวจสอบ

นอกจากนี้ยังพบประเด็นเรื่องความแข็งแรงของสกุลไม้ที่ส่งผลต่อการตัดหรือการโค้งงอ ซึ่งเชื่อมโยงถึงลักษณะและรูปทรงสถาปัตยกรรมไม้ในกลุ่มประเทศละตินอเมริกา มีรูปทรงค่อนข้างตรงไปตรงมา เนื่องจากความนิยมในการใช้ไม้แบบเต็มลำ บนคุณสมบัติของไม้ในสกุล Guadua มีข้อแตกต่างจากสถาปัตยกรรมทางฝั่งเอเชีย โดยเฉพาะในอินโดนีเซียที่มีรูปทรงอิสระมากกว่า เป็นปัจจัยสืบเนื่องมาจากสายพันธุ์และเทคนิคการตัดไม้ ซึ่งในภูมิภาคเอเชียนิยมใช้ไม้ผ่าซีกและไม้มัดรวบ อันเป็นอิทธิพลในงานฝีมือหรืองานหัตถกรรม สามารถพบเห็นสถาปัตยกรรมที่มีเส้นสายอ่อนช้อยได้ในงานของสถาปนิกที่มีชื่อเสียง เช่น Wan Wen Chih (Taiwan), Kengo Kuma (Japan), Shigeru Ban (Japan), Vo Trong Nghia (Vietnam) เป็นต้น

2.2 สถาปัตยกรรมที่เป็นการทดลอง (การก่อสร้างชั่วคราว) การศึกษาในแนวทางนี้พบมากในสถาบันการศึกษาเป็นการทำงานเชิงปฏิบัติการ (participatory action research) ของนักศึกษา อาจารย์ ช่าง และชุมชน เช่น งานบริการวิชาการของ School of architecture of Southeast University, China ในบทความเรื่อง Application of bamboo in a design build course: Lianhuadang farm project (Jiao & Tang, 2019) เป็นการเชื่อมโยงพื้นที่เมือง Dingshu, Yixing ซึ่งเป็นเมืองที่มีชื่อเสียงทางด้านหัตถกรรมในภาคตะวันออกของจีน บูรณาการเรียนการสอนของหลักสูตร โดยชี้ให้เห็นประเด็นของเทคนิคการก่อสร้างที่มีฐานจากช่างและประยุกต์กับการออกแบบของนักศึกษา มีลักษณะคล้ายคลึงกับงานของ Department of architecture, Petra Christian University, Indonesia รวมถึง Department of Architecture, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia ซึ่งทั้งสองสถาบันนั้นมีงานวิจัยที่ใช้ไฟในการขับเคลื่อนการเรียนการสอนและการทำงานร่วมกับชุมชนในหลายประเด็น ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของลักษณะทางโครงสร้างที่ใช้ไฟในรูปแบบ Adaptive bamboo structure, deployable structure หรือรวมถึงการพัฒนาไปสู่ระบบ Modular system และ Prefabrication system ในงานของสถาบันการศึกษาจากฝั่งมาเลเซีย

ในขณะเดียวกันงานในกลุ่มนี้ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะพื้นที่ตั้งที่อยู่ในเขตชนบทเท่านั้น ในเขตพื้นที่เมืองอย่างเช่น School of architecture, the Chinese University of Hong Kong (CUHK) มีการออกแบบและพัฒนาโปรเจก Zcb bamboo pavilion ซึ่งเป็นการวิจัยของ Crolla (2017) (ดังภาพที่ 7) ซึ่งให้เห็นว่างานฝีมือที่มาจากการทำนั้งร้านของช่างในฮ่องกงที่กำลังจะสูญหายนั้น สามารถขยายผลไปสู่นวัตกรรมการก่อสร้างด้วยไฟได้อย่างไร โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองข้อมูลอาคาร (building information modelling) รวมถึงการคำนวณทางฟิสิกส์แบบเรียลไทม์ งานวิจัยนี้เปิดเผยข้อเท็จจริงที่ว่าดิจิทัลดีไซน์นั้น สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการจัดการกับความไม่แน่นอนของวัสดุธรรมชาติได้อย่างไร รวมถึงการลดความเสี่ยงและความคลุมเครือในระหว่างการก่อสร้างนั้น ถือเป็นกลยุทธ์ที่ทำให้การใช้งานดิจิทัลดีไซน์ไม่ใช่แค่อุดมคติเท่านั้น แต่ยังสามารถสร้างโอกาสใหม่ ๆ ในการทำงานที่หน้างานได้อีกด้วย



ภาพที่ 7 การออกแบบศาลา Zcb bamboo โดย School of architecture, the Chinese University of Hong Kong
ที่มา: Crolla (2017)

นอกจากนี้ การขยายโอกาสในการใช้แบบจำลองดิจิทัล (digital modeling) พบได้ในงานทางด้าน 3D Printing architecture ที่เป็นการเสนอวิธีทางให้กับการศึกษาสถาปัตยกรรมได้ งานวิจัยนี้เกิดขึ้นภายใต้ AirLab ของ University of technology and design, Singapore โดยออกแบบและทดลองก่อสร้าง Sombra verde urban shelter (ดังภาพที่ 8) ซึ่งเป็นการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติอย่างไผ่ ร่วมกับเทคโนโลยีการปรี้นเชื่อมต่อ (3D-printed connectors) ผ่านแบบจำลองเชิงพารามตริก (parametric models) (Bañón & Raspall, 2020) ใช้คุณสมบัติความเป็นท่อนของไผ่ในการทดแทนวัสดุที่มีความเป็นท่อนอื่น ๆ เช่น ท่อเหล็ก ท่อพลาสติก ท่ออะลูมิเนียม เป็นต้น พบว่า มีความสอดคล้องกับทฤษฎี Bamboo substitutive ของ Widyowijatnoko & Harries (2020) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มการศึกษาข้อต่อในกลุ่ม 3 ข้อสังเกตประการพบว่า กลุ่มที่เป็นการทดลองนั้นเป็นการทำงานของนักศึกษา ร่วมกับอาจารย์จากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ มีการะบวนการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน รวมถึงมีการบันทึกผลอย่างเป็นระบบ ซึ่งส่งเสริมต่อการเผยแพร่ผลงานในรูปแบบบทความ พบลักษณะที่แตกต่างจากกลุ่มการออกแบบสถาปัตยกรรมถาวรที่เน้นไปที่การทำงานของ สถาปนิก วิศวกร ช่างผู้ก่อสร้าง ซึ่งการเผยแพร่สถาปัตยกรรมส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบการประชาสัมพันธ์ ผลงานผ่านเว็บไซต์ ดังนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลผลงาน หรือบันทึกปัญหาในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อนำไปสู่การเผยแพร่ในลักษณะเชิงวิชาการนั้นยังมีอยู่น้อย ส่งผลให้การศึกษาประเด็นต่าง ๆ ส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นหลังจากที่อาคารเหล่านั้นก่อสร้างเสร็จ ในทำนองเดียวกันงานวิจัยบางส่วนในกลุ่มนี้ยังขาดการเชื่อมโยงถึงปัญหาในเรื่องของ Design and construction error ที่เกิดจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งหากข้อมูลพื้นฐานด้านนี้มีจำนวนที่เพียงพอและถูกเผยแพร่ เพื่อชี้ให้เห็นจุดอ่อนและปัญหาในระหว่างการก่อสร้าง จะสามารถนำไปสู่การพัฒนาในประเด็นการจัดการการก่อสร้างอาคารด้วยไผ่ได้มากยิ่งขึ้น แม้ว่าไผ่จะมีคุณสมบัติหลายอย่างที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานในสถาปัตยกรรม อย่างไรก็ตาม การทำงานกับวัสดุธรรมชาติดีย่อมมีข้อจำกัด รวมถึงการแก้ไขปัญหาหน้างานที่เฉพาะเจาะจงมากกว่าวัสดุอุตสาหกรรม



ภาพที่ 8 การประกอบชิ้นส่วนของโครงการ Sombra Verde ประเทศสิงคโปร์
ที่มา: Bañón & Raspall (2020)

3. การใช้ไม้เป็นวัสดุโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและข้อต่อ (bamboo structure and joints) (จำนวน 31 บทความ)

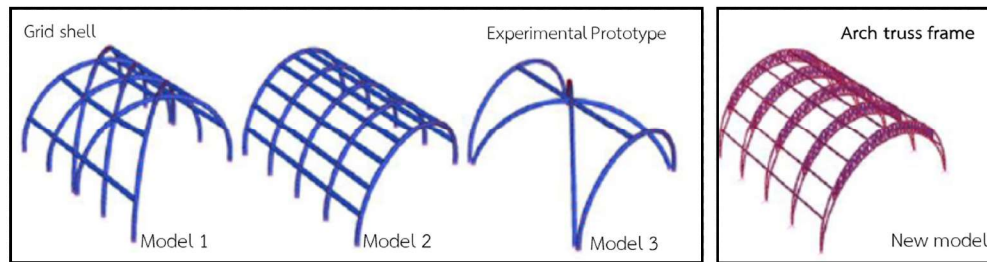
แนวทางการศึกษาในประเด็น Structure and joints exploration นี้เป็นการศึกษาที่พบมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความคิดเห็นของ Maslucha, et al., (2020) ลักษณะนี้มีความเฉพาะเจาะจงในประเด็นที่แคบลงมา เช่น ความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างที่ใช้ไม้ เทคนิคการประกอบข้อต่อไม้ ทั้งที่มาจากไม้แปรรูป (engineered bamboo) และไม้ดิบตามธรรมชาติ (round raw bamboo) แบ่งย่อยได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การศึกษาไม้ที่ใช้ทำโครงสร้างประเภทต่าง ๆ และการศึกษาระบบข้อต่อไม้ โดยทั้งสองกลุ่มมีวัตถุประสงค์บนพื้นฐานการใช้ไม้เพื่อทดแทนโครงสร้างไม้จริง โดยชี้ให้เห็นถึงข้อดีและความเป็นไปได้ของไม้ที่สามารถตอบสนองต่อความแข็งแรงในการทำโครงสร้าง เมื่อไม้นั้นมีอายุที่เหมาะสม คือ 3-4 ปี (Awoyera & Adesina, 2017) นอกจากนี้ไม้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับไม้ แต่สามารถปลูกทดแทนได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่า มีความอ่อนนุ่มและดัดโค้งได้ดีกว่าไม้ (Tahmasebinia, et al., 2021) ประกอบกับคุณสมบัติทางด้านการรับแรงของผิวไม้บริเวณด้านนอกสุดนั้น สามารถรับแรงดึงได้ถึง 40 kN/cm^2 ($400 \text{ N/mm}^2 = 400 \text{ MPa}$) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเหล็ก (Minke, 2016) แม้ว่าไม้จะมีคุณสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับไม้มาก อย่างไรก็ตาม การทำงานกับคุณสมบัติทางกายภาพความเป็นลำยาว มีข้อ (node) มีปล้อง (internode) และความเปราะบางของลำไม้ที่ไม่ใช่เรื่องง่าย ความท้าทายที่ยากที่สุดในการนำไม้มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง คือ การออกแบบข้อต่อที่มีการถ่ายเทแรงทั้งหมดในโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นนักวิจัยหลายท่าน มีความพยายามที่จะหาแนวทางในการเชื่อมต่อความเป็นลำของไม้เข้าด้วยกัน จนเกิดเป็นกลุ่มการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับข้อต่อและการเชื่อมต่อลำไม้ในหลายรูปแบบ สามารถแบ่งการศึกษาได้ดังนี้

3.1 การศึกษาไม้ในฐานะวัสดุที่ใช้ทำองค์ประกอบของโครงสร้างประเภทต่าง ๆ หากจำแนกตามทฤษฎีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม พบลักษณะโครงสร้าง 2 รูปแบบ คือ Skeleton structure (panel truss, 3D truss, portal frame) และ Surface structure (shell, grid shell geodesic dome, hyperbolic paraboloid) โดยระบบโครงสร้างเหล่านี้มีความเชื่อมโยงสัมพันธ์กับรูปทรงที่ปรากฏในงานสถาปัตยกรรมไม้ในกลุ่ม 2 ในขณะที่แนวทางการศึกษาแบ่งออกเป็น การศึกษาผ่านอาคารกรณีศึกษา และการทดลองชิ้นส่วนโครงสร้าง นอกจากนี้ประเด็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสถาปัตยกรรมโดยตรงแล้ว ยังมีประเด็นบางส่วนที่เชื่อมโยงกับการตรวจสอบวิศวกรรมโครงสร้างและวัสดุ ทั้งในมิติการทดสอบกำลังวัสดุ เช่น แรงอัด แรงดัด แรงดึง แรงเฉือน แรงโก่งเดาะ และความยืดหยุ่น เป็นต้น และมีมิติการตรวจสอบการรับแรงภาพรวมของระบบโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงกระทำที่เกิดขึ้น ผ่านเครื่องมือ (platform software) เช่น SAP, Revit, Rhino, Grasshopper เป็นต้น

การศึกษาไม้แปรรูป (engineered bamboo) เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างนั้น เป็นแนวทางการวิจัยรูปแบบหนึ่งในกลุ่ม Structure exploration ซึ่งนำเสนอให้เห็นถึงความเป็นไปได้ว่าไม้แปรรูป สามารถนำมาใช้ทำโครงสร้างสถาปัตยกรรมได้อย่างไร หากย้อนกลับไปที่ต้นบทความในการแบ่งกลุ่มการศึกษาของ Huang (2019) ในระดับเล็ก (micro level) เขาได้กล่าวถึงจุดอ่อนของการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้แปรรูปว่า บางกรณีอาจจะยังไม่สอดคล้องกับการนำไปใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคาร เนื่องจากการวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการทดลอง ปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำ Bamboo scrimber (ไม้อัดเป็นท่อน) ไปเป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง

แบบ Grid shell (ดังภาพที่ 9 (Model 1-3)) ข้อได้เปรียบของ Bamboo scrimber คือ การรับแรงกระจายที่สม่ำเสมอตลอดทั้งท่อน สามารถลดปัญหาเรื่อง Standardize ในเชิงวัสดุอุตสาหกรรมได้ ผลการทดลองพบว่า โครงสร้างดังกล่าวประสบปัญหาในการรับแรงลมที่มากกระทำด้านข้าง ทำให้เกิดการเอนเอียง (sway) อันเป็นผลมาจากความสามารถในการต้านทานการงอ (flexural) และแรงเฉือน (shear) ของ Bamboo scrimber นั้นน้อยกว่าลำไผ่ดิบ นักวิจัยจึงเสนอแนวทางการแก้ปัญหา ด้วยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้เป็น Arch truss frame และเสริมด้วยการยึดรั้ง (bracing) โครงเพร่ไม้แต่ละโครงเข้าด้วยกัน (ดังภาพที่ 9 (new model)) การศึกษานี้ถือเป็นข้อสนับสนุนในประเด็นที่ว่า ลำไผ่ตามธรรมชาติมีความสามารถในการขึ้นรูปทรงโค้งในสถาปัตยกรรมได้ดีกว่า Bamboo scrimber ข้อบ่งชี้เหล่านี้ คือ สาเหตุที่ทำให้ระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมไม่ร่วมสมัยในภูมิภาคเอเชียอาคเนย์ จึงนิยมใช้โครงสร้างที่แสดงถึงศักยภาพการรับแรงของลำไผ่ตามธรรมชาติมากกว่าไผ่แปรรูป (engineered bamboo) ในขณะที่การใช้งานไผ่แปรรูปนั้น พบในลักษณะของวัสดุประกอบอาคารหรือวัสดุปิดผิว (finishing material) โดยที่งานบางส่วนในกลุ่มนี้ ได้มีการหยิบยกการอ้างอิง Standard or building code มาใช้สำหรับตรวจสอบค่ามาตรฐานวัสดุในการก่อสร้าง แม้ว่าค่ามาตรฐานของอาคารไผ่ จะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ ปัจจุบันค่ามาตรฐานวัสดุของไผ่ในระดับสากล ใช้การอ้างอิงเทียบเท่าไม้เนื้อแข็งปานกลางตามมาตรฐาน ISO 2004 ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) ISO 22156: Bamboo—structural design (ฉบับกำลังพัฒนา 2021-2022) (2) ISO 22157-1 Bamboo – determination of physical and mechanical properties (ฉบับปรับปรุง 2019) (3) ISO 22157-2 a laboratory manual for determining material properties (ฉบับปรับปรุง 2019) พบว่าแต่ละประเทศนั้นมีการอ้างอิงค่ามาตรฐานที่แตกต่างกัน

3.2 การศึกษาระบบข้อต่อของลำไผ่ (bamboo joints system) การเชื่อมต่อลำไผ่เข้าด้วยกันถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในระบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมไผ่ เนื่องจากข้อต่อ (joint) ทำหน้าที่หลักคือ ถ่ายแรงจากไผ่ลำหนึ่งไปยังไผ่ลำหนึ่ง ปัญหาที่ส่งผลกระทบกับการประยุกต์ใช้ลำไผ่เป็นวัสดุก่อสร้างนั้น ประเด็นหลักมาจากลักษณะความเป็นท่อนกลวง และผนังลำไผ่ที่บาง ส่งผลให้การพัฒนาโครงสร้างและข้อต่อต่าง ๆ มีความยากเมื่อต้องเชื่อมต่อลำไผ่หลายลำเข้าด้วยกัน นั่นคือสาเหตุที่ทำให้เกิดงานวิจัยทางด้านข้อต่อ บนพื้นฐานการออกแบบและพัฒนาข้อต่อที่สามารถนำมาใช้งานในสถาปัตยกรรมได้จริง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับข้อต่อของโครงสร้างไม้สมัยใหม่มากกว่าการศึกษาข้อต่อของโครงสร้างอาคารไผ่ (Hong, et al., 2019) ซึ่งถือเป็นพื้นที่ที่ยังเปิดโอกาสในการศึกษาวิจัยอยู่เช่นกัน แนวทางการศึกษาข้อต่อนี้มีความคล้ายคลึงกับการศึกษาทางด้านโครงสร้าง กล่าวคือ ใช้วิธีการศึกษาจากอาคารกรณีศึกษาและวิธีการทดลองสร้างต้นแบบแต่มีข้อแตกต่างในรายละเอียดบางประเด็น เช่น การศึกษาข้อต่อสามารถพบได้ในหลายระดับ ตั้งแต่มิติของสถาปัตยกรรมพื้นที่ที่เกิดเทคโนโลยีระดับล่าง จนถึงข้อต่อไผ่ที่เกิดจากเทคโนโลยีระดับสูงอย่าง 3D-printed connectors ในงานของสถาบันการศึกษาที่ AirLAB, Singapore และ Digital building technology, Zurich, Switzerland ถือเป็นการศึกษาข้อต่อไผ่ในรูปแบบการจำลองเชิงพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นข้อสนับสนุนหนึ่งในการลดปัญหาค่าความเคลื่อนไหวของวัสดุธรรมชาติ และรูปแบบการศึกษาอยู่ในลักษณะของ Research Lab ภายใต้การทำงานร่วมกันของนักศึกษาและอาจารย์



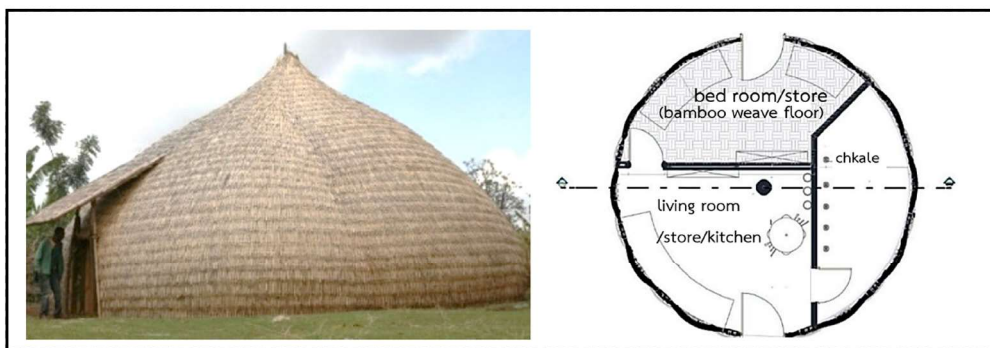
ภาพที่ 9 การทดลองใช้ Bamboo scrimber เพื่อทำโครงสร้างสถาปัตยกรรม

ที่มา: Tahmasebinia, et al. (2021)

4. การใช้ไม้เป็นวัสดุท้องถิ่นในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในวิถีชีวิต (จำนวน 9 บทความ)

การศึกษาเพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณค่าของไม้ที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับวิถีชีวิตการอยู่อาศัย และวัฒนธรรมการก่อสร้าง ในแง่มุม “วัสดุท้องถิ่น” ที่ “หาง่าย ใช้คล่อง” ซึ่งคำว่า หาง่าย นั้นแสดงออกถึงความเป็นพืชอเนกประสงค์ที่หากินได้ เจริญเติบโตในพื้นที่หัวไร่ปลายนา ในขณะที่คำว่า ใช้คล่อง แสดงถึงวัสดุในพื้นที่ที่สะดวกต่อการนำมาใช้งานในชีวิตประจำวัน ผ่านเครื่องมืออย่างง่าย เช่น มีด พร้า ส่ว ขวาน เป็นต้น โดยการศึกษาในกลุ่มนี้ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงรูปแบบการแสดงออกของไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงการเผยให้เห็นฝีมือเชิงช่าง (traditional construction skills) ที่สืบทอดผ่านคนในครอบครัวจากรุ่นสู่รุ่น จนเกิดเป็นภูมิปัญญาในการก่อสร้างและภูมิปัญญาในการอยู่อาศัย ที่ส่งผลให้เกิดลักษณะเฉพาะของที่อยู่อาศัยของกลุ่มชาติพันธุ์ในแต่ละภูมิภาคทั่วโลก ยกตัวอย่างผลงานในประเทศไทย เช่น สถาปัตยกรรมพื้นถิ่นที่ใช้ไม้เป็นองค์ประกอบในภาคต่าง ๆ โดย สมใจ นิ่มเล็ก เรือนเครื่องผูก โดย เสนอนิลเดช สถาปัตยกรรมเครื่องผูกไม้ไผ่ โดย วชิร สวามิวิศรต์ เป็นต้น ประเด็นเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า ไม้ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นวัสดุประกอบสร้างในสถาปัตยกรรมดั้งเดิมเท่านั้น แต่ยังแฝงไปด้วยการเป็นเครื่องมือสื่อสาร ที่แสดงถึงความคิดสร้างสรรค์ของเทคนิคและวิธีการในการก่อสร้าง รวมถึงการเอาตัวรอดที่ตอบสนองต่อสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกันของกลุ่มชาติพันธุ์ได้เป็นอย่างดี

การศึกษาในกลุ่มนี้พบว่า การเผยแพร่ผลงานเป็นภาษาอังกฤษนั้นมีอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาจากกลุ่มอื่น ๆ โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับมิติเชิงสังคมและวัฒนธรรมของการก่อสร้างที่อยู่อาศัยด้วยวัสดุท้องถิ่นอย่างไผ่ จากบทความเรื่อง Social and culture aspects of construction with bamboo (Garcia-Saenz, 2012) เผยให้เห็นถึงคุณค่าของไม้ที่ตอบสนองต่อความต้องการในวิถีชีวิตการอยู่อาศัยของสังคมชนบท อันสะท้อนถึงสภาพแวดล้อม วัฒนธรรม และประวัติศาสตร์ ผ่านการปรากฏในสถาปัตยกรรมที่อยู่อาศัยของพวกเขา ซึ่งปราศจากการแทรกแซงอิทธิพลจากภายนอกโดยเฉพาะสถาปนิกและวิศวกร ก่อให้เกิดความหลากหลายของรูปแบบสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น ด้วยเทคนิควิธีการที่เฉพาะเจาะจงของแต่ละพื้นที่นำไปสู่การสั่งสมภูมิปัญญาการก่อสร้าง ยกตัวอย่างเช่น ทางตอนใต้ของเอธิโอเปีย มีป่าไผ่เป็นทรัพยากรในท้องถิ่น จึงสามารถพบเห็นที่อยู่อาศัยที่ทำจากไผ่ของชาวพื้นเมือง Sidama (ดังภาพที่ 10) และชาว Dorze ที่มีเทคนิคการสานไผ่ เทคนิคการมุงด้วยกาบไผ่ และเทคนิคการถนอมเนื้อไผ่จากแมลงด้วยการรมควัน ทำให้ไผ่ที่อยู่ด้านในมีสีดำ ส่วนด้านนอกมีลักษณะรูปทรงโดมคล้ายส้อมไก่ขนาดใหญ่ ก่อให้เกิดลักษณะเฉพาะของสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นในเอธิโอเปีย ที่สัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อนหรือสะวันนา



ภาพที่ 10 สถาปัตยกรรมพื้นถิ่นที่ทำจากไม้ของชาวพื้นเมือง Sidama ทางตอนใต้ของเอธิโอเปีย

ที่มา: Dalbiso & Nuramo (2019)

ขณะเดียวกันวัฒนธรรมการก่อสร้างด้วยไม้ของฝั่งเอเชียแปซิฟิก โดยเฉพาะในจีน มีปรากฏให้เห็นไม่น้อยไปกว่ากัน เนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้ที่กระจายตัวอยู่ทุกภาคนั้น ส่งผลให้วัฒนธรรมการก่อสร้างด้วยไม้ในบางพื้นที่ยังคงปรากฏให้เห็นอยู่บ้าง แม้ว่าที่อยู่อาศัยดั้งเดิมบางส่วนจะสูญหายไปพร้อมกับการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตความเป็นวิถีอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามยังพบกรณีศึกษาชุมชน Linpan เมืองเฉิงตู ซึ่งตั้งอยู่บริเวณที่ราบเสฉวนตะวันตก เป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุกและมีความชื้นสูง การตอบสนองต่อลักษณะภูมิอากาศดังกล่าวทำให้เกิดที่อยู่อาศัยที่มีหลังคาลาดชัน ชายคายื่นยาว ส่งผลให้รูปลักษณะของสถาปัตยกรรมและลักษณะทางโครงสร้าง รวมถึงเทคนิคการใช้ไม้มีความแตกต่างกับที่อยู่อาศัยแบบเดิมของชาวพื้นเมือง Sidama และชาว Dorze ในแอฟริกาอย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้ ลักษณะภูมิประเทศโดยรอบชุมชน Linpan นั้น คือ พื้นที่ที่แวดล้อมด้วยผืนนาและป่าไม้ ทำให้ชุมชนยังคงหลงเหลือช่างผู้มีทักษะในการก่อสร้างด้วยวัสดุธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้วัสดุไม้ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงภูมิปัญญาทางสถาปัตยกรรมของช่างฝีมือในท้องถิ่น จากบทความเรื่อง Activation of traditional construction techniques used in Linpan based on the concept of sustainability: case study of bamboo materials ที่มนักวิจัยได้นำเสนอประเด็นการถอดกระบวนการภูมิปัญญาการก่อสร้างที่อยู่อาศัยจากช่องท้องถื่น ไม่เพียงแต่เชิงเทคนิคการก่อสร้างด้วยไม้แบบดั้งเดิมเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการตรวจสอบการถ่ายเทความร้อนของผนังไม้สาน ที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนร่วมกับวัสดุอื่น พบว่า หากกรรมนี้ก่ออิฐความหนา 240 มิลลิเมตร และเสริมด้วยผนังไม้สานความหนา 5 มิลลิเมตร สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ประมาณ 0.15 W/m² K (Ding, et al., 2020) แม้ว่าตัวเลขดังกล่าวไม่ได้แสดงถึงนัยสำคัญทางสถิติ ในทางตรงข้ามกลับแสดงให้เห็นถึงการศึกษาในประเด็นสภาวะน่าสบายที่เกิดจากภูมิปัญญาการอยู่อาศัยอันนอกเหนือจากมิติการก่อสร้างได้เช่นกัน กระบวนการก่อสร้างที่มาจากภูมิปัญญาดังกล่าว ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกระตุ้นการใช้วัสดุไม้ นอกเหนือจากที่อยู่อาศัยในระดับครัวเรือน การขยายขอบเขตสู่อาคารสาธารณะในรูปแบบสถาปัตยกรรมร่วมสมัย เพื่อสืบสานวัฒนธรรมการใช้ไม้ให้คงอยู่ในพื้นที่จากชนบทสู่เขตเมือง ยังเป็นแนวทางที่ถูกนำมาพิจารณาในโปรแกรมการออกแบบ Chengdu bamboo culture exhibition center การประกวดแบบที่จัดขึ้นในเมืองเฉิงตู อาคารเหล่านี้ไม่เพียงแต่เป็นตัวแทนของวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นเท่านั้น แต่ยังสื่อสารถึงวัฒนธรรมการอยู่อาศัยในสถาปัตยกรรมอีกด้วย

ในสถานการณ์ที่การขยายตัวของเมือง และการเปลี่ยนแปลงวัสดุก่อสร้างท้องถิ่นเป็นวัสดุอุตสาหกรรม คือปัจจัยหนึ่งที่ทำให้องค์ความรู้เชิงช่างในงานสถาปัตยกรรมไม้พื้นถิ่นค่อย ๆ เลือนลาง และกำลังเผชิญกับความเสี่ยงที่จะสูญหายหากไม่ได้รับการสืบสาน บางพื้นที่กล่าวได้ว่าแทบจะสูญหาย บางพื้นที่อาจปรากฏบ้าง หรือบางพื้นที่ถูกพัฒนาให้เกิดความผสมกลมกลืนในหลากหลายรูปแบบ เช่น กรณีศึกษาของชุมชน Linpan เมืองเฉิงตู ประเทศจีน แม้ว่าจะมีจุดอ่อนของการศึกษาที่เป็นเพียงโปรแกรมการออกแบบ ซึ่งยังไม่ได้พัฒนาสู่การก่อสร้างอาคารด้วยไม้อย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงหนึ่งในแนวทางของการสืบสาน ต่อยอดมิติทางวัสดุ มิติเชิงช่าง รวมถึงมิติการอยู่อาศัย ซึ่งถูกถ่ายทอดจากสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นขนาดเล็ก ขยายผลไปยังอาคารขนาดใหญ่ที่มีความเป็นสาธารณะมากยิ่งขึ้น

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษารวบรวมบทความที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรม ในระดับนานาชาติ ตั้งแต่ ค.ศ.2010-2021 จำนวน 88 บทความนั้น พบว่า การศึกษาและการเผยแพร่ผลงานในระดับนานาชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม้ได้รับความเชื่อถืออย่างมีนัยสำคัญในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรม หลังจากทีอาคาร ZERI Pavilion ถูกสร้างขึ้นที่งาน World Expo 2000 ในเมือง Hanover ประเทศเยอรมนี ทำให้ไม้มีบทบาทในฐานะวัสดุธรรมชาติที่ตอบสนองต่อการใช้งานในช่วงเวลาที่ผู้คนให้ความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก โดยคำนึงถึงวัสดุก่อสร้างทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การเลือกใช้วัสดุที่ยั่งยืน การลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น สถานการณ์เหล่านี้ส่งผลต่อเนื่องไปยังงาน World Expo 2010 ณ กรุงเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน เกิดกระแสการนำไม้มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรม อันแสดงให้เห็นถึงศักยภาพเชิงกลในการรับแรงและความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานที่มีความคงทนถาวรมากยิ่งขึ้น เห็นได้จากการก่อสร้างสถาปัตยกรรมด้วยไม้ในรูปแบบร่วมสมัยที่ได้รับความนิยมในหลายภูมิภาคของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เช่น อเมริกาใต้ แอฟริกา เอเชียเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นต้น ดังนั้นการพิจารณาช่วงเวลาการศึกษาบทความตั้งแต่ ค.ศ.2010 เป็นต้นมาจึงคาบเกี่ยวสัมพันธ์กับสถานการณ์การใช้ไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรมในเชิงวิชาชีพด้วย ในขณะเดียวกัน ปี ค.ศ.2015 องค์การสหประชาชาติได้ประกาศนโยบายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) ทำให้ไม้ได้รับบทบาทวัสดุก่อสร้างธรรมชาติที่ตอบสนองต่อประเด็นดังกล่าวด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนบทความในระดับนานาชาติที่มีการเผยแพร่เพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ.2015 พบการเผยแพร่ 11 บทความ (12.50%) ปี ค.ศ.2017 และ ค.ศ.2019 พบการเผยแพร่ 15 บทความ (17.05%) ปี ค.ศ.2000 พบการเผยแพร่ 17 บทความ (19.32%) เป็นต้น

การนำเสนอการจัดกลุ่มประเด็นการศึกษานี้ แสดงถึงภาพรวมของการศึกษาไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรม โดยมีประเด็นการศึกษาที่แตกต่างกันในภาพกว้างในแง่มุมที่สถาปัตยกรรมนั้นถูกแวดล้อมเชื่อมโยงในหลายมิติ เช่น มิติสภาพแวดล้อม มิติทรัพยากร มิติเศรษฐกิจ มิติเคหะการ มิติอุตสาหกรรม มิติการท่องเที่ยว ในขณะเดียวกันพบประเด็นการศึกษาที่แคบลงในแง่มุมที่เกิดขึ้นกับตัวสถาปัตยกรรมโดยตรง เช่น มิติความแข็งแรง มิติการใช้สอย มิติสุนทรียภาพ มิติเทคนิคการก่อสร้าง มิติภูมิปัญญาเชิงช่าง มิติวิถีชีวิต เป็นต้น มิติเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า ไม้ ได้ถูกศึกษา สืบค้น รวมถึงอธิบายขยายความเชิงลึก ในแง่มุมของ

วัสดุที่มีความสามารถในการเป็นวัสดุประกอบสร้างที่หลากหลาย ตั้งแต่สถาปัตยกรรมที่อยู่อาศัยขนาดเล็ก อันเกิดจากการสร้างสรรค์ผ่านทักษะเชิงช่างในกลุ่มชาติพันธุ์ โดยปราศจากการแทรกแซงหรือการได้รับอิทธิพลจากกระแสภายนอก ไปจนถึงอาคารสาธารณะขนาดใหญ่ที่ถูกออกแบบโดยสถาปนิกและวิศวกรที่มีชื่อเสียง สามารถพบเห็นสถาปัตยกรรมในหลากหลายรูปแบบได้ในบริเวณภูมิภาคที่มีไม้เป็นทรัพยากรอันอุดมสมบูรณ์ และมีความสัมพันธ์กับจำนวนงานวิจัยที่ถูกเผยแพร่ดังที่กล่าวไปแล้ว โดยสามารถสรุปการจัดกลุ่มประเด็น เนื้อหาการศึกษา และค้นหาช่องว่างทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับไม้ในฐานะวัสดุก่อสร้างใน 4 ประเด็น ดังนี้

1. ประเด็นการใช้ไม้เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม

เพื่อตอบสนองการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัย สถาปัตยกรรมในเขตพื้นที่แผ่นดินไหว หรือพื้นที่ภัยพิบัติใน รวมถึงวัสดุทางเลือกในการช่วยเหลือปัญหาเศรษฐกิจและลดค่าก่อสร้าง ด้วยความเป็น วัสดุธรรมชาติที่ราคาถูกกว่าวัสดุอุตสาหกรรม โดยใช้ไม้เพื่อทดแทนวัสดุอื่น ๆ ในพื้นที่ที่มีไม้เป็นทรัพยากรที่สามารถจัดหาได้สะดวกและสามารถปลูกทดแทนทันต่อการใช้งาน เช่น อเมริกาใต้ แอฟริกา อินเดีย เนปาล ฟิลิปปินส์ พม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย ไทย เป็นต้น การศึกษาวิจัยในประเด็นนี้ส่วนใหญ่ได้รับการสนับสนุนจาก องค์กรที่ทำงานด้านไม้ในระดับนานาชาติ เช่น INBAR และ World bamboo ประเด็นการศึกษาที่นอกเหนือ จากการใช้ไม้ในฐานะวัสดุทางเลือกแล้วนั้น การเชื่อมโยงขยายผลเชิงสังคมศาสตร์ และการวัดความพึงพอใจ ของผู้ใช้งานอาคารนั้นยังเปิดช่องว่างทางการศึกษาให้ตั้งคำถามอยู่เช่นกัน ว่าอาคารไม้เหล่านั้นตอบสนองต่อ การใช้งานและการแก้ไขปัญหาได้มากน้อยเพียงใด ทั้งในอาคารที่อยู่อาศัย และอาคารสาธารณะ เช่น โรงเรียน ศูนย์บริการชุมชน หอสมุด เป็นต้น

2. ประเด็นการใช้ไม้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม

เพื่อพัฒนาและยกระดับการใช้ไม้เป็นวัสดุในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม ที่สนับสนุนและสอดคล้อง แนวคิดวัสดุเขียว (green materials) วัสดุยั่งยืน (sustainable materials) วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-friendly materials) ในฐานะที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น สามารถจำแนกตามลักษณะการก่อสร้างได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1 สถาปัตยกรรมที่มีการก่อสร้างถาวร

กลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้างสถาปัตยกรรมที่มุ่งเน้นไปที่ ความแข็งแรง รูปลักษณ์ สุนทรียภาพ เทคนิคการก่อสร้าง เป็นต้น โดยมีการศึกษาร่วมกับคุณสมบัติเชิงกลของสกุลไม้และการบำรุงรักษา เนื้อไม้ที่สามารถตอบสนองต่อการเป็นวัสดุก่อสร้างถาวร รวมถึงตอบสนองต่อการใช้งาน กิจกรรมที่สอดคล้อง กับวิถีชีวิตในปัจจุบัน เช่น อาคารประเภทโรงเรียน สถาบันการศึกษา ร้านอาหารและเครื่องดื่ม กลุ่มอาคาร ในรีสอร์ทและโรงแรม กลุ่มอาคารในสถานที่ท่องเที่ยว เป็นต้น อย่างไรก็ตามประเด็นการศึกษาในกลุ่มนี้ยังมี อีกหลายแง่มุม ที่เปิดโอกาสในการเติมเต็มช่องว่างทางการศึกษาในเรื่องต่าง ๆ โดยเฉพาะมิติที่เกี่ยวข้องกับ สถาปัตยกรรมโดยตรง เช่น Building codes, Building maintenance, Post occupancy evaluation (POE), Life cycle assessment (LCA) เป็นต้น ซึ่งบางประเด็นสามารถขยายผลเชื่อมโยงกับคำถามในเชิง การเปิดใช้งานอาคารหลังก่อสร้างเสร็จ การดูแลรักษาเพื่อยืดอายุการใช้งานอาคาร เป็นต้น

2.2 สถาปัตยกรรมที่เป็นการทดลอง (การก่อสร้างชั่วคราว)

กลุ่มนี้พบมากในสถาบันการศึกษาซึ่งส่วนใหญ่เป็นการทำงานทดลองหรือออกแบบต้นแบบ (prototype) ของนักศึกษา อาจารย์ ช่าง ทั้งพื้นที่ในเขตเมืองและพื้นที่ในเขตชุมชน เป็นต้น เป็นการพัฒนาไฟในฐานวัสดุที่ใช้ทดแทนวัสดุอื่น ๆ เช่น ไม้จริง พลาสติก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น การศึกษาในกลุ่มนี้มีลักษณะที่เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (mixed method) มีการใช้แบบจำลองข้อมูลอาคาร (building information modelling) และการประมาณผลแบบเรียลไทม์ เพื่อสร้างความแม่นยำและลดความคลาดเคลื่อนของวัสดุ แนวโน้มงานวิจัยในกลุ่มนี้มีการพัฒนาต้นแบบไปสู่การก่อสร้างในระบบ Modular system และ Prefabrication system รวมถึงการเปิดโอกาสใหม่ในการทดลองร่วมกับเทคโนโลยี 3D printing ในการทดลองเชื่อมต่อลำไม้เข้าด้วยกันด้วยข้อต่อ 3D-printed connectors ซึ่งเชื่อมโยงกับงานวิจัยในประเด็นโครงสร้างและข้อต่อ ในขณะเดียวกันการทดลองในกลุ่มนี้ยังขาดการกล่าวถึงปัญหาในเรื่องของ Design and construction error ที่เกิดจากการใช้งานวัสดุธรรมชาติ

นอกจากนี้ พบข้อสังเกตเพิ่มเติมเกี่ยวกับการศึกษาที่ใช้ไม้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างสถาปัตยกรรม ทั้งสิ่งปลูกสร้างถาวรและชั่วคราว ส่วนใหญ่ทำการศึกษาลงลึกที่ตัวสถาปัตยกรรมเป็นหลัก พบการเชื่อมโยงกับมิติที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้อยู่ หรือตอบสนองต่อผู้ใช้งานอาคารในด้านต่าง ๆ ค่อนข้างน้อย แม้ว่าสถาปัตยกรรมที่ใช้ไม้เป็นวัสดุหลักจะถูกนำไปใช้ในบริบทที่เชื่อมโยงกับมิติสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์กับธรรมชาติค่อนข้างสูง แต่การศึกษาในประเด็นนี้ยังมีไม่มากนัก

3. ประเด็นการใช้ไม้เป็นวัสดุโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและข้อต่อ

เพื่อพัฒนาการใช้งานวัสดุไม้ในการทดแทนไม้จริง เนื่องจากการศึกษาในกลุ่มนี้มีความเชื่อมโยงกับงานวิศวกรรม พบแนวโน้มที่ไม้ถูกศึกษาในประเด็นวัสดุโครงสร้าง ที่สามารถนำมาใช้ในองค์ประกอบสถาปัตยกรรมมากขึ้น จากกลุ่มนักวิจัย Structural engineering ที่มีฐานทางวิศวกรรมโครงสร้างและวิศวกรรมวัสดุ ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (platform software) เช่น SAP, Revit, Rhino, Grasshopper เป็นต้น

3.1 การศึกษาไฟในฐานวัสดุที่ใช้ทำองค์ประกอบของโครงสร้างประเภทต่าง ๆ

เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของโครงสร้างสถาปัตยกรรมที่ทำจากวัสดุไฟ ทั้งในแง่ของคุณสมบัติเชิงกลในการรับแรง และการทดสอบกำลังวัสดุของไฟแต่ละชนิดพันธุ์ว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาก่อสร้าง โดยมีการศึกษาการนำไฟมาใช้ทำโครงสร้างอาคาร ทั้งการใช้ไฟแบบเต็มลำที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป (raw bamboo) และไฟแปรรูป (engineered bamboo) โดยเฉพาะการศึกษาในประเด็นของ Industrialized bamboo products ซึ่งสามารถทดแทนอุตสาหกรรมไม้ที่พบมากในจีน ส่งผลให้เกิดการขยายวงของการศึกษาไปยังเรื่องมาตรฐานอุตสาหกรรม รวมถึงเปิดโอกาสในการพัฒนาโครงสร้างอาคารช่วงพาดกว้างด้วยไฟแปรรูปมีมากขึ้น แม้ว่าการศึกษาประเด็นเนื้อหาในกลุ่มนี้จะมีความคาบเกี่ยวกับวิศวกรรมโครงสร้าง มาตรฐานวัสดุต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการทนไฟของโครงสร้างอาคารทำจากไฟยังมีจำนวนไม่มากนัก สามารถเปิดพื้นที่ในการศึกษาหรือทดสอบกับไฟสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานได้เช่นกัน ซึ่งถือเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องได้รับการศึกษาและมีการตรวจสอบในเชิงลึก เพื่อสร้างมาตรฐานด้านความปลอดภัยให้สถาปัตยกรรมและผู้ใช้งานอาคาร

3.2 การศึกษาระบบข้อต่อไผ่ (bamboo joints)

การศึกษาค้นคว้าในประเด็นนี้เป็นไปเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการนำไผ่มาเชื่อมต่อซึ่งกันและกัน มีการออกแบบลักษณะการประกอบข้อต่อร่วมกับวัสดุร่วมกับวัสดุอื่น ๆ เช่น เพลทเหล็ก มีแนวโน้มและทิศทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไผ่เพื่อทดแทนวัสดุที่มีความเป็นท่อน ร่วมกับการออกแบบและพัฒนาข้อต่อที่มาจากเทคโนโลยี 3D Printing ในกลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีหน่วยวิจัย (research lab or research unit) ทางด้านนี้โดยเฉพาะ ส่วนใหญ่เป็นงานศึกษาทดลองในสถาปัตยกรรมชั่วคราวและงานออกแบบพัฒนาต้นแบบ เช่น ศาลาขนาดเล็ก (pavilion) เป็นต้น

4. ประเด็นการใช้ไผ่เป็นวัสดุท้องถิ่นในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในวิถีชีวิต

การเผยแพร่บทความในระดับนานาชาติของการศึกษาในลักษณะนี้พบไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในประเด็นอื่น ๆ เนื่องจากมีความเชื่อมโยงเกี่ยวข้องกับการใช้ไผ่ในฐานะวัสดุท้องถิ่น พบได้ในสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นของกลุ่มชาติพันธุ์ หรือกลุ่มชนพื้นเมืองในบางพื้นที่ที่วัสดุอุตสาหกรรมยังเข้าไปไม่ถึงพื้นที่เหล่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่ถูกศึกษารวบรวมและเผยแพร่ในภาษาท้องถิ่น เช่น สถาปัตยกรรมไผ่รูปแบบพื้นถิ่นของประเทศอินโดนีเซีย จีน เวียดนาม รวมถึงประเทศไทย ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตการเผยแพร่บทความในระดับนานาชาติ อย่างไรก็ตามการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ในประเด็นนี้ ถือเป็นการศึกษาที่สร้างคุณค่าให้กับสถาปัตยกรรมไผ่ในฐานะวัสดุธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตและวัฒนธรรม ทั้งในมิติภูมิปัญญาการก่อสร้าง ภูมิปัญญาการอยู่อาศัย ภูมิปัญญาเชิงช่าง ถือเป็นประเด็นที่สำคัญในการสืบสาน แม้ว่าสถาปัตยกรรมไผ่รูปแบบพื้นถิ่นบางส่วนจะเกิดลักษณะการผสมผสานการใช้งานวัสดุอื่น ๆ ร่วมด้วย ในขณะเดียวกันทักษะดั้งเดิมที่เกิดจากความเข้าใจในคุณลักษณะตามธรรมชาติของไผ่อย่างลึกซึ้งนั้น กล่าวได้ว่ายังมีความจำเป็นที่ต้องถูกบันทึก เพื่อรักษาองค์ความรู้เหล่านี้เอาไว้

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับดุษฎีบัณฑิต เรื่องสถาปัตยกรรมไผ่แบบร่วมสมัย (Contemporary Bamboo Architecture) ได้รับทุนสนับสนุนจากกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

- Adetunji, O.S., Moyanga, D.T. & Bayegun, A.O. (2015). Comparison of bamboo and conventional building materials for low-cost classroom construction in Isarun, Nigeria. **Proceeding of the 2nd Research Conference of The Nigerian Institute of Quantity Surveyors on Confluence of Research** (pp 807-818). Akure: Federal University of Technology
- Akindele, I. (2012). Poverty in early childhood care, development and education: the Nigeria's case. **International Journal of Early Childhood Education Research**, 1(3), 20-36.
- Awoyera, P.O. & Adesina, A. (2017). Structural integrity assessment of bamboo for construction purposes. In Hashmi, S. & Choudhury, I. A. (Eds.). **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials** (pp.326-336). Oxford: Elsevier.
- Banon, C. & Raspall, F. (2020). **3D printing architecture: workflows, applications, and trends**. New York: Springer.
- Crolla, K. (2017). Building indeterminacy modelling—the 'ZCB bamboo pavilion' as a case study on nonstandard construction from natural materials. **Visualization in Engineering**, 5(1), 1-12.
- Dalbiso, A.D. & Nuramo, D.A. (2019). **Modern engineered bamboo structures**. London: CRC Press.
- Ding, D., et al. (2020). Activation of traditional construction techniques used in Linpan based on the concept of sustainability: case study of bamboo materials. **Proceedings of the 2020 International Conference on Resource Sustainability: Sustainable Urbanisation in the BRI Era (icRS Urbanisation 2020)** (pp.169-180). Singapore: Springer.
- Dunkelberg, K. (1985). **Bamboo: bamboo as a building material: building with vegetal rods**. Stuttgart: Institut fuer leichte Flachentragwerke (IL).
- Ekundayo, H.T. (2012). School facilities as correlates of students' achievement in the affective and psychomotor domains of learning. **European scientific journal**, 8(6), 208-215.
- Garcia-Saenz, M. (2012). Social and cultural aspects of constructions with bamboo. **Proceeding of the 10th LACCEI Latin American and Caribbean Conference** (pp.1-7). Panama City: LACCE publishing.
- Ham, A.C. & Shroyer, J. (1993). Bamboo housing in Costa Rica: an analysis of a Pilot housing program. **Housing and Society**, 20(2), 25-33.

- Harries, K.A. & Sharma, B. (2019). **Nonconventional and vernacular construction materials: characterisation, properties and applications**. Amsterdam: Elsevier Publishing.
- Hong, C., et al. (2019). Review on connections for original bamboo structures. **Journal of Renewable Materials**, 7(8), 713-730.
- Huang, Z. (2019). **Application of bamboo in building envelope**. New York: Springer Publishing.
- Jiao, J. & Tang, P. (2019). Application of bamboo in a design–build course: Lianhuadang Farm project. **Frontiers of Architectural Research**, 8(4), 549-563.
- Lara, R. & Espinosa, R. (2018). **Bamboo: alternative sustainable tourism for community development**. Liège: University of Liège Press.
- Lopez, O.H. (2003). **Bamboo: the gift of the gods**. Bogota: O. Hidalgo-López.
- Manandhar, R., Kim, J.H. & Kim, J.T. (2019). Environmental, social and economic sustainability of bamboo and bamboo-based construction materials in buildings. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, 18(2), 49-59.
- Maslucha, L., et al. (2020). Contribution of bamboo materials in architecture education towards sustainable community development. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, doi:10.1088/1755-1315/456/1/012047
- Maurina, A. & Henatta, B. (2014). Promoting sustainable living through contemporary bamboo architecture. **Proceeding of International Conferences on 15th SENVAR (Sustainable Environmental Architecture) and 2nd AVAN (Asian Vernacular Architecture Network)** (pp.1-8). Makassar: Hasanuddin University.
- Merchant, K.A. (2010). Paradigms in accounting research: a view from North America. **Management Accounting Research**, 21(2), 116-120.
- Mertens, A. (2019). **Bamboo construction: qualitative indicators for housing-case study in Bali, Indonesia** (Master's thesis). Liège: University of Liège.
- Meyer, H.F. & Ekelund, B. (1923). Tests on the mechanical properties of bamboo. **The Engineering Society of China**, 22 (7), 141-169.
- Minke, G. (2016). **Building with bamboo: design and technology of a sustainable architecture**. Berlin: Walter de Gruyter GmbH.
- Nurdiah, E.A. (2016). The potential of bamboo as building material in organic shaped buildings. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 216, 30-38.

- Paudel, S. (2008). **Engineered bamboo as a building material**. London: CRC Press.
- Tahmasebinia, F., et al. (2021). Sustainable architecture creating arches using a bamboo grid shell structure: numerical analysis and design. **Sustainability (Switzerland)**, 13(5), 2598.
- Urry, J. & Larsen, J. (2011). **The tourist gaze 3.0**. California: Sage Publications.
- Van der Lugt, P., Van der Dobbelen, A.A.J.F. & Janssen, J.J.A. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. **Construction and Building Materials**, 20(9), 648-656.
- Widyowijatnoko, A. & Harries, K.A. (2020). Joints in bamboo construction. In Harries, K.A. & Sharma, B. (Eds.). **Nonconventional and Vernacular Construction Materials**. (pp.561-596). Sawaton: Woodhead Publishing.
- Witte, D. (2019). Structural bamboo building codes: catalysts for industry, Research and Construction Technology. **Technology Architecture Design**, 3(1), 50-64.