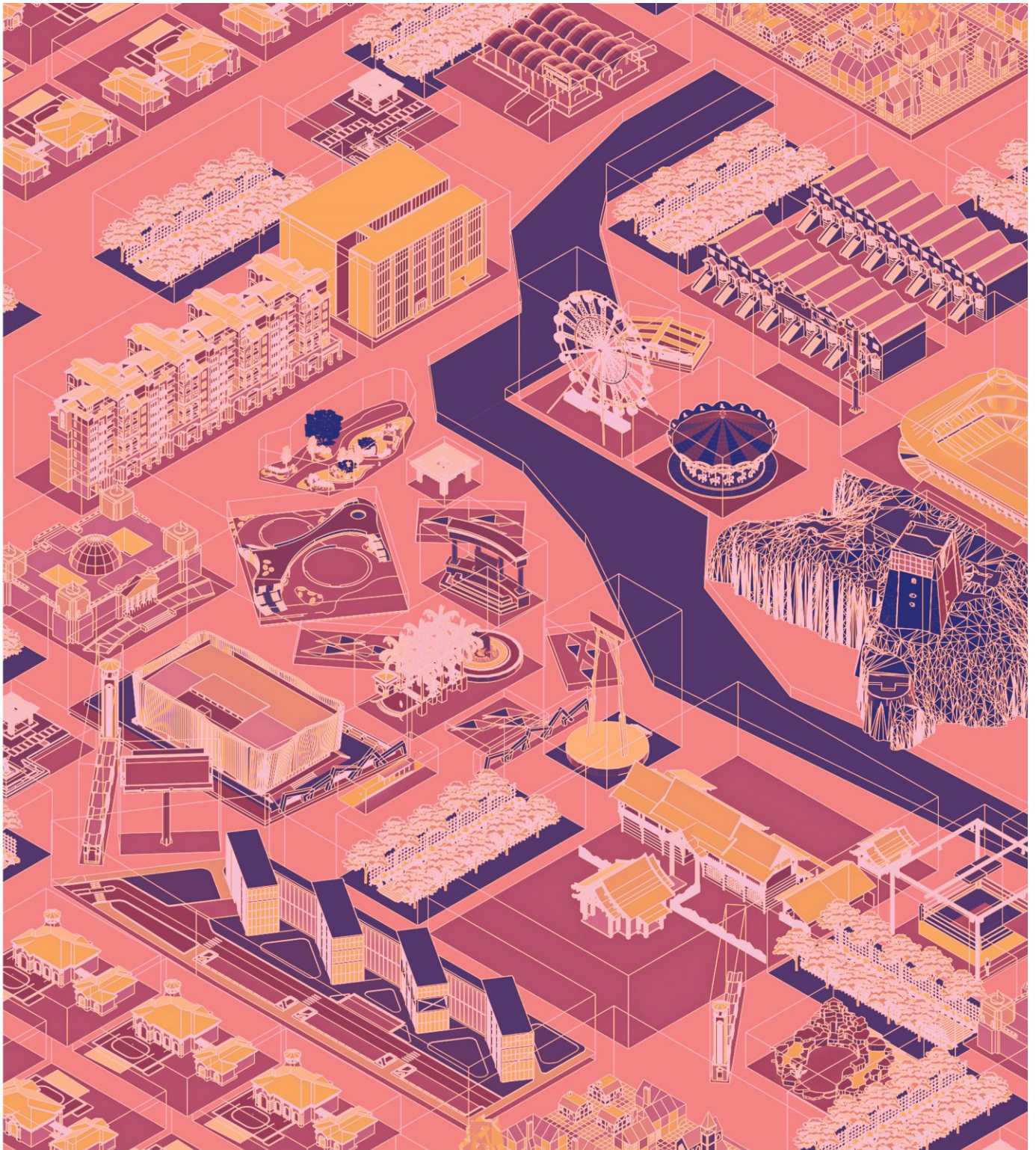






วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ ผังเมือง และสภาพแวดล้อม
Journal of Built environment, Urban planning and
Architectural design ISSN 3088-2613 (Online)
โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2568
Vol.1 No.1 July - December 2025

- เจ้าของ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- วาระการออก : ราย 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน, กรกฎาคม – ธันวาคม)
- วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย บทความทางวิชาการ มีขอบเขตทางด้านประวัติศาสตร์ แนวคิดและทฤษฎีทางสถาปัตยกรรม ศิลปะและงานสร้างสรรค์ สถาปัตยกรรมไทย สถาปัตยกรรมพื้นถิ่น สภาพแวดล้อมทางวัฒนธรรม การอนุรักษ์สถาปัตยกรรม การออกแบบสถาปัตยกรรม การออกแบบชุมชนเมือง ภูมิสถาปัตยกรรม การวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม การออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน เทคโนโลยีนวัตกรรม วัสดุอาคาร และการบริหารจัดการงานสถาปัตยกรรม โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือคณาจารย์ นักศึกษา และนักวิจัยทั้งในและนอกสถาบัน
- กระบวนการ : บทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย
- พิจารณาบทความ : 3 ท่าน แบบผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่งไม่ทราบชื่อกันและกัน (double-blind review)
- ภาษาที่รับตีพิมพ์ : ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ

คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน
รองคณบดีฝ่ายวิจัยพัฒนาและบริการวิชาการ
รองคณบดีฝ่ายพัฒนานักศึกษา
หัวหน้าสาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
หัวหน้าสาขาสถาปัตยกรรมภายใน

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ วงษ์บำรุง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ
อาจารย์สุทาลักษณ์ ตันติวงศ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ ผังเมือง และสภาพแวดล้อม

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

Journal of Built environment, Urban planning and Architectural design

Vol.1 No.1 July - December 2025

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ณวิทย์ อ่องแสงวงษ์ชัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.อมร กฤษณพันธุ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนา อนันต์อาชา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี เอี่ยมตระกูล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วชิระ แสงรัศมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ สรชา ไวรกรกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความวารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ ผังเมือง และสภาพแวดล้อม

ศาสตราจารย์ ดร.วีระ อินพันทัง	นักวิชาการอิสระ
ศาสตราจารย์ ดร.ต้นข้าว ปาณินท์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยัมประยูร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ศรีมัยขยวานิช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤต ไ้วธนสุวรรณ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร. สิริมาส เสงรัศมี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.พัสดราภรณ์ ทิพย์โสธร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาณินทร์ รังวงศ์วาน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ นพดล เนตรดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรสิน น้อยไร่ภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมลักษณ์ บุญณรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ดวงธิดา	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณษา น้อยจันทร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีชญา โรจน์ฤตากร	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ดร.ขวัญชนก อ่ำภา	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
รองศาสตราจารย์ ดร.ณวัสน์ ฐานวิเศษ พิสิฐพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ จันทร์วัฒนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นฤมล แสนเสนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมพ์ณภัท จันทร์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ปรางนาฏ ชินินทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ภูริวัฒน์ ไชยมีสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ ผังเมือง และสภาพแวดล้อม

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

Journal of Built environment, Urban planning and Architectural design

Vol.1 No.1 July - December 2025

ผู้ประสานงาน

นางเบญจวรรณ สีหามาศย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

นางสาวไพลิน โพธิประสาท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สำนักงาน

ฝ่ายวิจัยพัฒนาและบริการวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 คลองหก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 02-549-4768

E-mail: buajournal@rmutt.ac.th website: <https://so08.tci-thaijo.org/index.php/BUA>

พิมพ์เมื่อ พฤศจิกายน 2568

วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ ผังเมือง และสภาพแวดล้อม

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

Journal of Built environment, Urban planning and Architectural design

Vol.1 No.1 July - December 2025

บรรณาธิการแถลง

วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ ผังเมืองและสภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อม (Journal of Built environment, Urban planning and Architectural design) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย บทความทางวิชาการ บทความวิจัยของคณาจารย์ นักวิชาการ นักศึกษา และผู้ที่สนใจ มีขอบเขตทางด้านประวัติศาสตร์ แนวคิดและทฤษฎีทางสถาปัตยกรรม ศิลปะและงานสร้างสรรค์ สถาปัตยกรรมไทย สถาปัตยกรรมพื้นถิ่น สภาพแวดล้อมทางวัฒนธรรม การอนุรักษ์สถาปัตยกรรม การออกแบบสถาปัตยกรรม การออกแบบชุมชนเมือง ภูมิสถาปัตยกรรม การวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม การออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน เทคโนโลยี นวัตกรรม วัสดุอาคาร และการบริหารจัดการงานสถาปัตยกรรม ในการแลกเปลี่ยนความรู้ได้อย่างต่อเนื่อง พัฒนาต่อยอด โดยมีการเผยแพร่วารสารในลักษณะวารสารอิเล็กทรอนิกส์ ปีละ 2 ฉบับ ได้แก่ (มกราคม –มิถุนายน และกรกฎาคม –ธันวาคม) บทความทุกเรื่องที่จะได้รับการพิจารณาจะผ่านกระบวนการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่านตามระบบ Double-Blinded Peer Review เพื่อให้แน่ใจว่าบทความมีคุณภาพ ถูกต้องตามหลักวิชาการ และมีความทันสมัยก่อนการเผยแพร่ เนื้อหาบทความในฉบับนี้ประกอบไปด้วยแนวคิดทางวิชาการที่หลากหลาย ได้แก่ บทความที่ 1 Basic Drawing Framework for Architecture Students Pursuing a Bachelor's Degree: A Case Study on Undergraduate student in Thailand บทความที่ 2 การศึกษาวิธีการก่อรูปเวทีด้วยไม้ไผ่ บทความที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างต่อการป้องกันอาชญากรรมบนทางเท้าสาธารณะสำหรับคนไทย บทความที่ 4 นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม: เรียนรู้จากวังนกระจาบ และ บทความที่ 5 นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม ที่สามารถนำไปต่อยอดพื้นฐานทางสถาปัตยกรรมและประยุกต์ใช้ในการออกแบบได้หลากหลายบริบท

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาเผยแพร่ในวารสาร ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประเมินผลงานและให้ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพบทความ ทั้งนี้กองบรรณาธิการมุ่งมั่นพัฒนาวารสารให้มีมาตรฐานทางวิชาการและความน่าเชื่อถือในระดับชาติและนานาชาติ โดยอยู่ระหว่างการดำเนินการเข้าสู่ฐานข้อมูลศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย Thai Journal Citation Index (TCI) เพื่อให้วารสารเป็นแหล่งองค์ความรู้ทางสถาปัตยกรรม การออกแบบ ผังเมือง และสภาพแวดล้อม ที่มีคุณภาพ และเป็นประโยชน์ต่อวงวิชาการอย่างยั่งยืน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ วงษ์บำรุง

บรรณาธิการวารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ

ผังเมือง และสภาพแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญ

บทความวิจัย

Basic Drawing Framework for Architecture Students Pursuing a Bachelor's Degree: A Case Study on Undergraduate student in Thailand	1
Pimolpun Phetsombat and Nawhath Thanvisitthapon	
การศึกษาวิธีการก่อรูปเวทีด้วยไม้ไผ่	23
The Study of Stage Construction Methods Using Bamboo	
แสงจันทร์ กลัญชัย และ เสสินี นิมสุวรรณ (Sangjan Kalunchai and Sesinee Nimsuwan)	
การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างต่อการป้องกันอาชญากรรม บนทางเท้าสาธารณะสำหรับคนไทย	35
Effect of Luminance Ratio for Crime Prevention in Thai Pedestrian Walkways	
พรรณวดี โรจนศิริ และ สุทาลักษณ์ ตันติวงศ์ (Panwadee Rojanasiri and Sutralak Tantiwong)	
นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม: เรียนรู้จากรังนกกระจาบ	49
Architectural Ecology: Learning from Baya Weaver Nests	
วีระ อินพันทัง และ ปริญญามรรคศิริสุข (Vira Inpuntung and Prinya Mruksirisuk)	
นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม	64
Innovative Underground Stormwater Storage System for Water Retention and Flood Prevention	
กานต์ ศรีสุวรรณ และ พลพัฒน์ นิลอุบล (Karnt Srisuwan and Polpat Nilubon)	

Basic Drawing Framework for Architecture Students Pursuing a Bachelor's Degree: A Case Study on Undergraduate student in Thailand

Pimolpun Phetsombat¹, Nawhath Thanvisitthapon^{2*}

¹Associate Professor, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand, 12110

²Associate Professor, Faculty of Architecture,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand, 12110

*Email: Nawhath_t@rmutt.ac.th

Received: Jul 17, 2024

Revised: Oct 2, 2025

Accepted: Nov 20, 2025

Abstract

This study proposed a basic hand-drawn technical drawings skill (BHTDS) assessment framework to evaluate the BHTDSs of undergraduate students in terms of six indicators, namely (S1) cleanliness, (S2) line transparency, (S3) drawing weight, (S4) precision in drawing, (S5) completeness, and (S6) text. The relevance of the six indicators was evaluated by a random sample of 25 experts in structural design, architecture, engineering, and academia and a questionnaire was developed to collect data from the sample. This study employed a quantitative methodology using IOC analysis, confirmatory factor analysis (CFA), and structural equation modeling (SEM). Statistical analysis and structural equation modeling were performed to validate the indicators by using a random sample of 200 experts, architects, and engineers. All BHTDS indicators were acceptable, with factor loadings of 0.86–0.94 ($R^2 = 0.74–0.88$), a composite reliability of 0.96, and an average variance extracted of 0.81. The validated BHTDS framework was used to assess the skills of 39 undergraduate students. The purpose of this research was to develop and validate a Basic Hand-Drawn Technical Drawing Skills (BHTDS) assessment framework for undergraduate architecture students. The students achieved the highest average score for cleanliness (6.54), followed by perfection (6.49). According to the results of the assessment, the aspect that required the least effort to perfect was the correctness of the students' drawings, which had the lowest score (6.07).

Keywords: Assessment, Basic drawing skills, Hand-drawn, Technical drawing, Validation indicators

1. Introduction

Technical drawings are a cornerstone of professional practice in architecture, engineering, and technology, facilitating crucial communication between the creators of ideas and the producers who bring those ideas to life (Eckert & Boujut, 2003; Gao, Walters, Jaselskis, & Wipf, 2006; Stacey, Eckert, & McFadzean, 1999; Tai, 2022). These drawings function as a universal language, designed to be clearly understood by engineers, contractors, and architects alike. Given their essential role, professionals in these fields must master technical drawing skills, beginning with the fundamental competence of Basic Hand-Drawn Technical Drawing Skills (BHTDS) (Oakley, 2019; Sharma, Murugadoss, & Rambabu, 2020).

In higher education systems globally—including those in Thailand, Malaysia, Indonesia, Japan, the United Kingdom, and the United States—BHTDS is recognized as the foundational basis for a wide range of skills related to architecture, engineering, and industrial operations (Triyono, Trianingsih, & Nurhadi, 2018). Even with the increasing prevalence of digital drawing tools, the practice of manual sketching has retained its importance, and in countries like Thailand, BHTDS-related courses remain a mandatory component for all technician programs, from vocational certificates and diplomas to university degrees. The enduring value of BHTDS is also seen in its ability to help students engage more deeply with technical subjects they might otherwise find unappealing (Ware, 1896). In higher education, including Thailand, Malaysia, Indonesia, Japan, the United Kingdom, and the United States, BHTDS serves as the basis for the vast majority of basic skill related to architecture, engineering, and industrial operations (Triyono, Trianingsih, & Nurhadi, 2018).

Within the specific context of architecture, students are required to learn construction technical drawing alongside a broad curriculum that includes design, history, commerce, and law. Technical drawing is an indispensable skill for architects, allowing them to effectively communicate their design concepts to the builders, contractors, and other professionals involved in the construction process. This involves using specialized tools like rulers, compasses, and protractors to create precise drawings that convey critical details such as dimensions, materials, and construction techniques, ensuring a project is built correctly and safely. Coursework typically begins with basic techniques like sketching and shading, progressing to more advanced topics such as perspective drawing, rendering, and 3D modeling (Ching, 2019; Yee, 2012). Students learn to produce a full range of technical documents,

including plans, elevations, sections, and details (Robbins & Cullinan, 1994). While traditional drafting techniques are central, many architecture programs now integrate computer-aided design (CAD) software, enabling students to create adaptable digital models. Ultimately, the goal is to equip students with the skills needed to communicate their design ideas effectively to all industry stakeholders, from clients to building officials (Iulo, Weinreb, Aviles, & Ling, 2017; Meyer & Norman, 2020).

The quality of hand-drawn technical work is determined by several crucial factors, including line weight, correctness, and the consistency of text type and font (Ching, 2019; Fakhry, Kamel, & Abdelaal, 2021; Herbert, 1993; Mahmoud, Kamel, & Hamza, 2020; Peters, 2020; Ware, 1896; Xu, 2020). Assessing these qualities is vital, as assessment results can reveal the strengths and limitations of students, which in turn informs their growth and the ongoing development of educational curricula (Henderson & Phillips, 2014; Lew & Nelson, 2016). By analyzing these results, educators can identify areas where students are excelling or struggling, allowing for tailored instruction to meet individual needs (Bates, Konkin, Suddards, Dobson, & Pratt, 2013). Furthermore, if a significant number of students consistently face difficulties with a particular concept, it may signal a need to revise teaching methods or the curriculum itself (Sundberg, 2002).

To create a standardized and effective method for this evaluation, a recent study was conducted to identify and validate key indicators of BHTDS. These indicators are designed to assess the skills of architectural, engineering, and technical students at all educational levels and ensure they meet the needs of employers. The six proposed BHTDS indicators are:

- (S1) Cleanliness
- (S2) Line transparency
- (S3) Drawing weight
- (S4) Precision
- (S5) Completeness
- (S6) Text

These indicators underwent a rigorous validation process. First, they were subjected to expert validation using item-objective congruence (IOC) analysis. Following this, their applicability and relevance were evaluated through questionnaires distributed to a sample of entrepreneurs (in structural design and architecture), architects, and engineers. The data from

these questionnaires were then statistically analyzed using confirmatory factor analysis (CFA) to identify the factor loadings of each indicator. In structural equation modelling (SEM), a factor loading of 0.6 or higher suggests a strong effect. This analysis was performed using the Analysis of Moment Structures (AMOS) statistical program, a module of SPSS. The results of the analysis verified the proposed indicators, providing a powerful, validated tool for assessing BHTDS. The findings of this study can be directly incorporated into the evaluation process for architecture students and others in technical fields, promoting student growth and improving the overall quality of education by aligning academic skills with professional necessities (Ware, 1896).

The contextual "problems" of BHTDS skills assessment in Thailand have been clarified by elucidating the discrepancy between teaching and assessment. The theoretical aspects of hand-drawing are still emphasised in Thai architecture curricula, but the assessment process lacks standardised and validated criteria. Consequently, there is a discrepancy between the curriculum and the assessment of student performance. This research endeavours to resolve this issue by creating and verifying a systematic assessment framework that will serve as a bridge.

2. Indicator Review and Research Framework

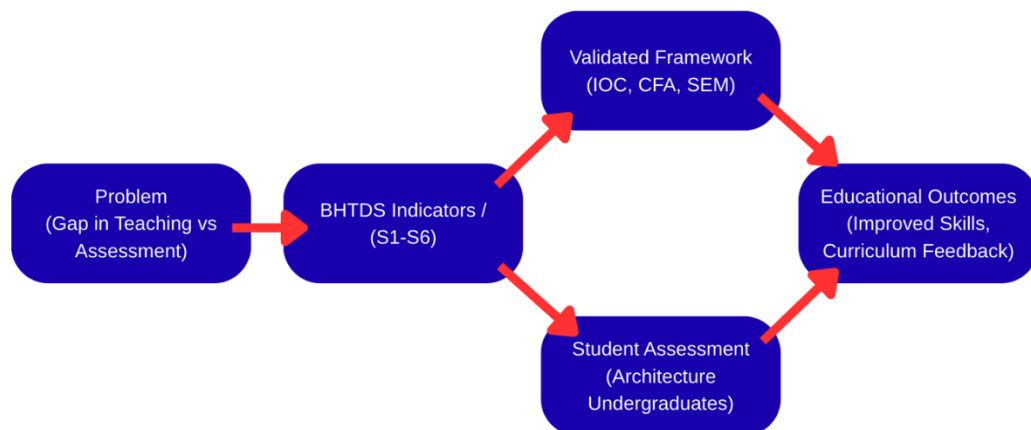


Figure 1 Conceptual framework of the study

Figure 1 demonstrates the connection between the identified issue (the divide between instruction and assessment), the six BHTDS indicators (S1–S6), the validation process (IOC, CFA, SEM), and their implementation in student assessment. The results emphasise

enhanced drawing abilities and feedback on curriculum development for architectural education.

The BHTDS (Building and Housing Technical Drawing Standards) holds immense importance for architectural students as it serves as a valuable benchmark for evaluating their technical drawing skills in the context of building and housing projects. Each indicator within the BHTDS provides specific insights and benefits for architectural students:

(S1) Cleanliness:

For architectural students, cleanliness holds significant importance as it directly reflects their professionalism and attention to detail. Technical drawings serve as essential tools for communicating and visualizing architectural concepts, making their clarity and neatness paramount (Ceylan, Şahin, Seçmen, Somer, & Süher, 2021; Charitonidou, 2023). By following standards for legible lettering, pristine paper, and correct pagination, students develop the discipline needed to produce work that meets industry expectations. Clean, well-organized drawings facilitate effective communication with clients, contractors, and other stakeholders, which is critical during the construction phase. The precision and accuracy demonstrated through cleanliness minimize the risk of misunderstandings and errors, contributing to successful project outcomes. This practice nurtures an architect's ability to be meticulous, a fundamental skill for ensuring design accuracy and functionality (Liu, Castronovo, Messner, & Leicht, 2020; Milo, 2020). Furthermore, the habit of cleanliness translates into visually appealing drawings that enhance a student's professional portfolio, showcasing their skills to potential employers and boosting career prospects in a competitive industry (Ostime, 2019). This principle also extends to comprehensive project documentation. Properly organized drawings with correct pagination streamline reviews and revisions, demonstrating a student's capacity to manage complex projects effectively (Baduge et al., 2022). Ultimately, an emphasis on cleanliness equips architectural students with the foundational habits for professional excellence, positively impacting their future projects and contributions to the built environment.

(S2) Line Transparency:

Line Transparency (S2) is a crucial indicator for architectural students, directly influencing the clarity and visual impact of technical drawings (Rosales, 2022; Charitonidou, 2023). By focusing on creating crisp, well-defined lines, students learn to precisely convey

design elements, spatial relationships, and construction details, which fosters a high degree of precision and consistency in their work (Ching, 2019). This clarity is vital for delineating different architectural components, ensuring drawings are coherent and organized. By avoiding overlapping or indistinct lines, students enhance the legibility of complex designs, which helps prevent potential misunderstandings and errors during the construction phase (Charitonidou, 2023). Furthermore, this practice develops an eye for aesthetically pleasing presentations, as drawings with sharp, uninterrupted lines evoke a sense of professionalism and visual appeal. Effective line transparency also underpins successful collaboration. When technical drawings have well-defined lines, they facilitate seamless communication among design teams and stakeholders, creating an efficient working environment essential for any project's success. Mastering line clarity equips students with the skills to produce drawings that are technically accurate, visually engaging, and easily understandable, laying a strong foundation for a career where precision and effective communication are paramount.

(S3) Drawing Weight:

For architectural students, the indicator of Drawing Weight (S3) is of significant importance, as it involves the skillful use of varying line thicknesses to convey depth, dimension, and visual hierarchy in technical drawings (Charitonidou, 2023). The ability to control line weight is fundamental to shaping the visual representation of a design and enhancing its overall clarity and impact (Ching, 2019). By employing different line weights purposefully, students learn to create a clear visual distinction between elements. Heavier lines can represent objects closer to the viewer or define primary structural forms, while lighter lines can indicate finer details or background elements. This technique imbues flat drawings with a sense of three-dimensionality, making them more comprehensible and visually engaging. This nuanced precision elevates the quality of architectural representations and fosters a keen understanding of visual priority. Furthermore, mastering drawing weight is crucial for effective communication throughout the design and construction process. Clear line weights help articulate materiality and spatial relationships, enabling clients and construction teams to accurately visualize the final project. Adherence to industry standards for drawing weight ensures that technical documents are professional and unambiguous, facilitating seamless collaboration among all stakeholders in the architectural field (Sharifjanovna, 2022). Ultimately, this skill combines technical proficiency with aesthetic sensibility, empowering

students to produce drawings that are not only accurate but also communicate design ideas with depth and finesse, laying the groundwork for a successful career.

(S4) Precision in Drawing:

The indicator of Precision in Drawing (S4) is immensely important for architectural students, evaluating their ability to produce accurate and meticulously detailed technical drawings (Charitonidou, 2023; Ching, 2019). Precision is a cornerstone of architectural documentation, ensuring that drawings reliably convey design intent through the correct use of line weights and standard symbols for floors, doorways, levels, and directional arrows. When executed with precision, these drawings become dependable references for construction teams, enabling them to accurately translate concepts into tangible structures (Adilov, 2022; Bianconi, Filippucci, & Buffi, 2019). A focus on precision enhances a student's ability to create documents that are readily interpretable, reducing the likelihood of costly misunderstandings and errors during project implementation. The correct application of annotations and symbols ensures that drawings provide a comprehensive and accurate representation of the design (Adilov, 2022). This practice instills a professional mindset of meticulousness and attention to detail, which is critical for adhering to building codes, regulations, and safety standards in professional practice (Alnusairat, Al Maani, & Al-Jokhadar, 2021; Sharifjanovna, 2022). Moreover, this indicator teaches students to critically review their work, identify errors, and continuously refine their skills (Al-Malah, Hamed, & Alrikabi, 2020). By mastering precision, architectural students enhance their ability to communicate effectively with all stakeholders and develop the foundational skills necessary for a successful career where accuracy is essential for turning architectural visions into reality.

(S5) Completeness:

The indicator of Completeness (S5) is vital for architectural students, assessing their ability to deliver well-organized, comprehensive, and timely technical drawings (Charitonidou, 2023). This extends beyond including all essential plans, sections, and elevations; it also encompasses meeting project deadlines, a critical aspect of professional practice (Alnusairat et al., 2021; Ching, 2019). By delivering complete drawings on time, students demonstrate professionalism and reliability, traits highly valued in the industry (Al-Malah et al., 2020). Comprehensive documentation is crucial for effective collaboration. When drawings are complete, they enhance communication and coordination between project teams and

stakeholders, minimizing the risk of misunderstandings or delays during construction (Alnusairat et al., 2021; Bianconi et al., 2019). This indicator fosters a meticulous, detail-oriented approach, encouraging students to review their work thoroughly to ensure no critical information is omitted. Ultimately, completeness is essential for building a strong professional portfolio that showcases a student's capability to manage and document projects thoroughly. Adhering to standards of completeness prepares students to meet industry expectations, where comprehensive technical drawings are fundamental to successful project execution and clear communication among all parties involved.

(S6) Text: The Text (S6)

The effective use of text in technical drawings is a critical indicator of an architectural student's communication skills, providing essential context that drawings alone cannot convey (Charitonidou, 2023). This skill involves more than just legible penmanship; it requires thoughtful text organization and font selection to ensure all annotations, captions, and specifications are clear and concise. By mastering written communication within their drawings, students produce documents that are easily understood by clients, contractors, and other stakeholders. Aesthetically organized text not only enhances the professionalism of a presentation but also streamlines the construction process by providing unambiguous information on materials, dimensions, and other critical elements. This attention to detail reflects a student's commitment to precision and helps build a cohesive narrative that effectively explains the design intent. Ultimately, proficiency in textual communication extends beyond technical drawings into professional reports and proposals, making it a foundational skill for a successful career (Veza, 2021). Evaluating this and other manual skills requires a standardized approach, which is why a Basic Hand-drawn Technical Drawing Skill (BHTDS) assessment framework is indispensable in architectural education. While digital tools are prevalent, fundamental hand-drawing remains essential for conceptual development and rapid ideation (Al-Malah et al., 2020; Khodeir & Nessim, 2020). The BHTDS framework provides an objective method for assessing a student's mastery of core principles like line weight, scale, proportion, and spatial relationships. This structured evaluation allows instructors to provide targeted feedback, helping students improve specific weaknesses (Al-Malah et al., 2020). By implementing a consistent assessment framework, architectural institutions uphold academic rigor and ensure their graduates possess the competencies required to meet demanding

industry standards (Al-Malah et al., 2020; Veza, 2021). Furthermore, the framework serves as a valuable tool for curriculum development, enabling educators to identify and address common deficiencies in their instructional approach. It fosters a culture of continuous improvement, encouraging students to actively refine their hand-drawing abilities throughout their education (Veza, 2021). In essence, the BHTDS framework is crucial for empowering students with the foundational skills needed to excel in the dynamic field of architecture, ensuring they can communicate their visions with clarity, precision, and confidence.

The six indicators of Basic Hand-Drawn Technical Drawing Skills (BHTDS)—(S1) purity, (S2) line transparency, (S3) drawing weight, (S4) precision in drawing, (S5) completeness, and (S6) text—were determined through a methodical approach. Initially, a comprehensive examination of the literature on architectural and engineering drawing standards revealed recurring criteria for evaluating the quality of technical drawings. Secondly, these criteria were further refined through consultation with professionals and academicians in the fields of architecture and engineering, thereby guaranteeing that the indicators accurately represented both academic requirements and industry practices. Lastly, the indicators were validated using the Item–Objective Congruence (IOC) method and subsequently confirmed through confirmatory factor analysis (CFA) and structural equation modelling (SEM).

The six indicators are interconnected and collectively function to establish a comprehensive framework for evaluation. Visual precision is crucial for the interpretation of technical drawings, and cleanliness (S1) and line transparency (S2) underscore this importance. The accuracy and effective representation of design intent are ensured by the drawing weight (S3) and precision (S4), which ensure that technical details are communicated reliably. By guaranteeing that the drawings are not only technically accurate but also exhaustive and readily comprehensible to stakeholders, the documentation is fortified by completeness (S5) and text (S6). Collectively, these indicators establish a comprehensive framework that ensures that academic training is in accordance with professional standards, thereby facilitating the consistent and dependable assessment of student performance.

3. Research Methodology

This study developed Basic Hand-drawn Technical Drawing Skills (BHTDS) indicators for Thai university curricula based on surveys of architectural and engineering businesses. Six key skills were identified: (S1) cleanliness, (S2) line transparency, (S3) drawing weight, (S4)

precision, (S5) completeness, and (S6) text. To validate these skills, a questionnaire using IOC analysis was sent to 100 experts from the Association of Siamese Architects and the Engineering Institute of Thailand, from which 25 replies were received. This sample size was deemed statistically sufficient, as the relevancy score was >0.86 , exceeding the minimum 0.60 threshold cited for smaller expert groups (Chaisanit and Suksakulchai, 2009; Thanvisitthpon et al., 2020; Turner and Carlson, 2003). All six BHTDS indicators proved valid, achieving high relevancy scores of 0.86–0.96. Based on this expert validation, a subsequent questionnaire using a 10-point Likert scale was created. This was distributed to a random sample of entrepreneurs, architects, and engineers to further verify the indicators' relevance in professional practice.

Table 1 Basic Hand-Drawn Technical Drawings Skill Indicators

BHTDS indicators				
Dimension	ID	Indicator	Definition	IOC
BHTDS	S1	Cleanliness	No tears on the paper and legible penmanship; no folds or stains and correct pagination	0.88
	S2	Line transparency	Sharp and distinct linework; elegant and meticulous structuring with no indication that the collision line has been crossed	0.91
	S3	Drawing weight	Awareness of line weight; deep understanding of dimension	0.96
	S4	Precision in drawing	Understanding of line weights and symbols such as floor symbols, doors, level signals, directions, and sales patterns	0.89
	S5	Completeness	Clean and detailed composition, on-time delivery	0.86
	S6	Text	Correct spelling; neat and organized layout; appropriate font size	0.89

The BHTDS indicators were the basis for a six-item questionnaire (Supplementary S2). According to Dawson, Peppe, and Wang (2011); Thanvisitthpon (2023), an appropriate sample size is at least 10 times the total number of items and >200 . Because the present study developed six questionnaire items for each BHTDS indicator, the sample size was 200 respondents. Prior to SEM analysis, the data from the 200 responses were subjected to a Kolmogorov–Smirnov test, with the null hypothesis (H_0) being that the data would be normally distributed. If the observed value is larger than the crucial value (>0.05), H_0 is supported, and the data are normally distributed (Bayraktar, Tatoglu, & Zaim, 2008; Thanvisitthpon, 2021). The six BHTDS indicators were verified using CFA, and SEM analysis was used to evaluate their factor loadings and reliability. The relevance of the BHTDS indicators was determined using factor loadings (0–1). The reliability (R^2) of the BHTDS indicators was used to assess the factors' composite reliability

(CR). SEM-based CFA was conducted using means and variance–covariance matrices rather than a correlation matrix (Table 2).

Table 2 Correlation Matric of BHTDS Indicators

Indicator	A	B	C	D	E	F
A	1					
B	0.81**	1				
C	0.8**	0.81**	1			
D	0.82**	0.79**	0.86**	1		
E	0.77**	0.72**	0.84**	0.9**	1	
F	0.8**	0.82**	0.78**	0.82**	0.81**	1

The correlation coefficients of 15 pairs were substantially different from 0 at the 0.05 level, indicating that the correlation coefficients were statistically significant. These results are displayed in TABLE I with the significance of the correlation coefficients. The association between D and E and the variable with the greatest correlation coefficient had values ranging from 0.77 to 0.90, with the highest correlation coefficient being 0.90. The smallest value was 0.77, representing the correlation between A and E. The results of the investigation of the BHTDS indicators were developed into grading criteria with five levels, namely distinction, medium, pass, resubmit, and fail (Table 3). The BHTDS indicators were applied to a group of 39 students studying architecture at a tertiary institution.

Table 3 Scoring Criteria for BHTDS Exam Based on BHTDS Indicators

Indicator	Scoring criteria				
	Distinction 10–8	Medium 7–6	Pass 5–4	Resubmit 3–2	Fail 1–0
(S1) Cleanliness	Lettering is legible, paper is not ripped or wrinkled, and no erasure is visible; pagination is correct	Lettering is legible, paper is a bit ripped or wrinkled, and some erasure is visible; pagination is correct	Numerous messy and unclean areas	Messy and careless work in general; improvement required	Messy work requiring improvement
(S2) Line transparency	Lines are crisp and distinct; beautiful; no disruption of the line	Most lines are clean	Some overlapping lines that are not crisp	Black lines used to soften lines and prevent them from seeming messy and angular	Lines incredibly sloppy and lacking sharpness
(S3) Drawing weight	Able to discriminate between line weights, which indicates a solid grasp of drawing proportions	Strong line weight but a lack of clarity; able to properly divide the load	Draft lines adding bulk and negatively affecting already poor work	Line weights not separated and proportions and significance of lines incomprehensible	Lack of separation of the weight of the lines; proportions and significance of the lines incomprehensible

Indicator	Scoring criteria				
	Distinction 10–8	Medium 7–6	Pass 5–4	Resubmit 3–2	Fail 1–0
(S4) Precision in drawing	Ability to draw accurately using the right line weights and symbols for, for example, floors, doorways, levels, and directional arrows	Text written properly; application of line weights, but symbolic representations of, for example, floor symbols, doorways, level indicators, and extended directions have minor errors	Incorrect writing in places, indicating improper use of symbols and incomplete measurements	Written on several occasions; no model display sign and missing measurements	Incomprehensible shapes and inability to accurately convey size or appearance
(S5) Completeness	Written in full; comprehensive; delivered on time	Full attention to task yet disregard for some details; organized overall and comprehensive; delivered on time	Insufficiently polished in many ways; some crucial aspects not included, causing the work to seem unfinished and preventing it from being delivered on time	Lack of attention to detail and refinement; requiring more time to complete; work submitted late	Failure to focus, resulting in a lack of quality in many areas and failure to submit work on time
(S6) Text	Proper spelling; letters well-organized and clean; appropriate font use	Aesthetically pleasing; well-organized; correct spelling	Poorly written in many respects; not aesthetically pleasing; correct spelling	Further work required to develop characters; characters not visually appealing or well-written	Several places impossible to read; inelegant; immediate correction required; numerous misspelled words

Table III presents the Scoring Criteria for the BHTDS (Building and Housing Technical Drawing Standards), a comprehensive framework designed to evaluate technical drawings. This system utilizes a five-level grading scheme to ensure a detailed and nuanced assessment of a candidate's skills and competencies. Adopting a five-level scoring system is essential for moving beyond simple binary classifications to achieve a more thorough evaluation of quality. This multi-level approach allows evaluators to distinguish subtle differences in skill, knowledge, and outcomes, facilitating a more precise and objective assessment process.

Furthermore, this detailed scale enables the provision of specific, constructive feedback. By pinpointing exact strengths and weaknesses, individuals gain valuable insights into their performance, empowering them to target areas for improvement effectively. This fosters a culture of continuous learning and professional development. The standardized framework also promotes objectivity and impartiality, reducing subjectivity and ensuring consistent evaluation across different contexts. This aligns with the principles of academic integrity and meritocracy. Additionally, the nuanced scale facilitates effective benchmarking and the establishment of clear performance standards, making comparisons between

individuals or projects more meaningful. In summary, the five-level scoring system enhances the precision, fairness, and clarity of assessments. By offering detailed insights and promoting objectivity, the BHTDS framework contributes significantly to the advancement of academic excellence and professional growth in architecture and engineering.

4. Results and Discussion

A. CFA of BHTDS indicators

CFA was used to evaluate the first-order factor loadings and reliability of the six BHTDS indicators. The associations between the BHTDS indicators were analyzed using SEM. **Figure 2** presents the structural equation model and factor loadings of the BHTDS indicators, where $\chi^2 = 2.49$, degrees of freedom (df) = 4, $p = 0.65$, root mean squared residual = 0.05, root mean square error of approximation = 0.038, goodness of fit index (GFI) = 0.995, adjusted GFI (AGFI) = 0.945, normed fit index = 0.997, and confirmatory fit index = 0.999. GFI, AGFI, normed fit index, and confirmatory fit index values should be close to 1, and root mean square error of approximation and root mean squared residual values should be less than 0.05.

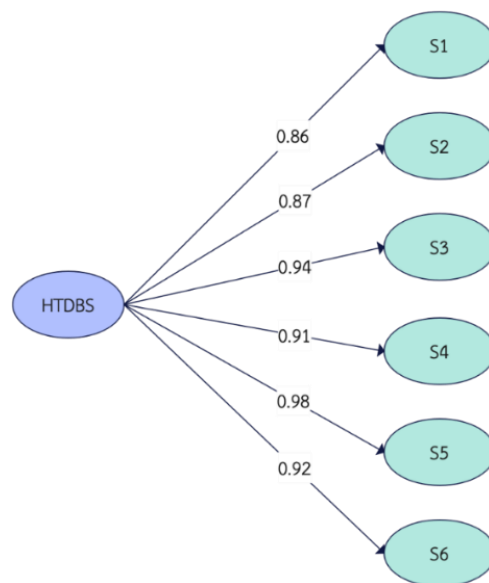


Figure 2 Structural equation model and factor loadings of BHTDS indicators.

The indicators' first-order factor loadings are presented in **Table 4**. The factor loadings for S1–S6 ranged from 0.86 to 0.94 ($R^2 = 0.74$ to 0.88). According to Kim and Mueller (1978), a factor loading of >0.3 is statistically significant. The CR of the BHTDS indicators was 0.96, with average

variance extracted values of 0.81. According to Fornell and Larcker (1981), a CFA construct is legitimate if the CR value is greater than 0.6 or the AVE is greater than 0.5.

Table 4 First-order factor loadings of BHTDS Indicators

Latent factor	CFA construct validity		BHTDS indicator	Factor loading	R^2
	CR	Average variance extracted			
BHTDS	0.96	0.81	S1	0.86	0.74
			S2	0.87	0.77
			S3	0.94	0.88
			S4	0.91	0.82
			S5	0.89	0.79
			S6	0.92	0.84

B. Implementing Scoring Criteria for BHTDS

Architectural drawing was analyzed through an evaluation of the 39 students' BHTDSs, each of which was scored using criteria derived from an analysis of the indicators. The BHTDS evaluation was completed over the course of a semester (4 months, July to October 2022). Each student completed 13 tasks that were scored using the BHTDS criteria.

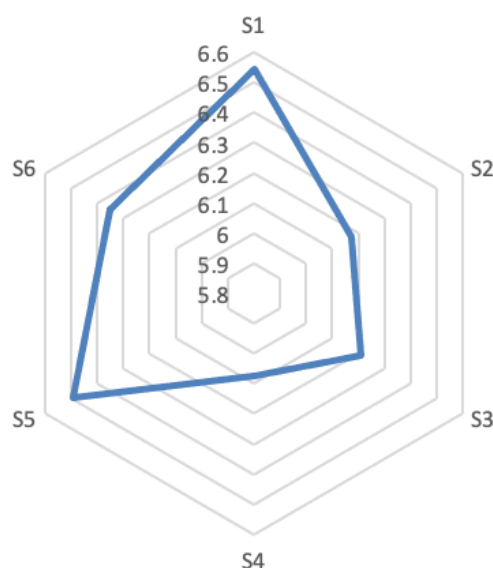


Figure 3 presents the BHTDS evaluation outcomes for each task related to architectural drawing

Figure 3 presents the evaluation results across six key indicators, providing a granular look at the strengths and weaknesses of architectural drawing students. The average scores were as follows: (S1) Cleanliness at 6.54, (S2) Line Transparency at 6.13, (S3) Drawing Weight at 6.21, (S4) Precision in Drawing at 6.07, (S5) Completeness at 6.49, and (S6) Text at 6.35. The data indicates that students performed best in Cleanliness (S1), achieving the highest average score of 6.54. The second-highest score was for Completeness (S5) at 6.49. However, a nuanced look at this category reveals a specific issue: while students demonstrated a good understanding of how to use line weight, they frequently erred in the presentation of standard symbols for floors, doorways, level indications, and other forms. The most significant finding is the lowest average score in Precision in Drawing (S4) at 6.07. This identifies a clear and critical skill gap, suggesting that students struggle with accuracy in their work. This lack of precision may be attributable to traditional teaching methods that overemphasize theory at the expense of applied practice.

To address these identified deficiencies, a shift in pedagogy is warranted. Methodologies such as Active Learning can significantly improve students' comprehension and application of theory. This approach facilitates content analysis, synthesis, and evaluation through dynamic activities like reading, writing, conversation, and collaborative problem-solving, while also providing students with valuable informal feedback (Freeman et al., 2014; Kozanitis & Nenciovici, 2022). Complementing this, Project-Based Learning (PBL) offers a powerful hands-on solution. By engaging in planning, developing, and creating practical solutions to complex, unstructured problems within small teams, students can directly improve their BHTDS (Bilgin, Karakuyu, & Ay, 2015; Mahasneh & Alwan, 2018; Zen & Ariani, 2022).

Beyond its diagnostic capabilities, the implementation of the BHTDS framework has had a demonstrably positive effect on the learning environment itself. Student satisfaction with the assessment process significantly increased from an average of 3.82 in previous years to 4.21 after the tool was introduced. This improvement can be attributed to several factors. Primarily, the six indicators provide a transparent, objective, and standardized method for evaluation, which minimizes ambiguity and subjective judgment. Students appreciate a fair process with clear performance criteria that align with industry standards. As research indicates, effective teaching and learning models paired with robust evaluation tools are proven to

enhance student abilities (Dow, DiazGranados, Mazmanian, & Retchin, 2014; Dunn & Mulvenon, 2009; Kimball, White, Milanowski, & Borman, 2004).

Furthermore, the BHTDS framework fosters more constructive and individualized feedback. Instructors can pinpoint specific areas of strength and weakness, allowing students to better understand their progress and focus their efforts. This targeted feedback loop enhances the learning experience and empowers students to take ownership of their skill development. Consequently, this has led to increased student motivation and engagement. Knowing that their work will be assessed against well-defined criteria encourages students to invest more time and effort in refining their hand-drawing skills. Finally, by reflecting real-world architectural conventions, the BHTDS framework better prepares students for the challenges of their future careers, smoothing the transition from academia to professional practice.

In conclusion, the development and implementation of reliable skill evaluation instruments are essential for enhancing student abilities. A consistent and objective tool like the BHTDS framework allows educators to identify areas where students need additional support and to personalize instruction accordingly (Idris, Talib, & Razali, 2022; Nieminen & Carless, 2023). This data-driven insight into student performance is crucial for validating the effectiveness of teaching models. For instance, strong student performance on assessments following hands-on activities provides evidence for the efficacy of those techniques (Najah Ahmed et al., 2019; Patel, Shukla, Huang, Ussery, & Wang, 2020). Ultimately, the synergy between a dependable evaluation framework like BHTDS and effective teaching strategies is fundamental to providing high-quality instruction and preparing students for success in their future endeavors.

5. Conclusion

This study proposed and validated a set of Basic Hand-drawn Technical Drawing Skills (BHTDS) indicators for evaluating university-level architecture and engineering students. The six indicators are: (S1) cleanliness, (S2) line transparency, (S3) drawing weight, (S4) precision in drawing, (S5) completeness, and (S6) text. The indicators underwent a rigorous validation process, beginning with IOC expert validation and followed by a questionnaire administered to 200 industry professionals. A Confirmatory Factor Analysis (CFA) of the data confirmed the model's robustness. The Structural Equation Modeling (SEM) validation was successful, with all indicators demonstrating high factor loadings of 0.86–0.94 ($R^2 = 0.74–0.88$), a composite

reliability of 0.96, and an average variance extracted of 0.81. In a practical application, these indicators were used to assess architecture students in a fundamental sketching course. The results identified specific areas for improvement, with "precision in drawing" (S4) receiving the lowest average score (6.07), while "cleanliness" (S1) scored the highest (6.54). This study concludes that the validated BHTDS indicators are a reliable evaluation instrument. They provide educators with a tool to identify student weaknesses and offer targeted feedback. Developing and implementing such effective evaluation tools, which are aligned with learning objectives, is crucial for ensuring students acquire the essential technical competencies necessary for future success in professions like architecture.

6. Reference

- Adilov, Z. R. (2022). Peculiarities of Construction Drawings. *EUROPEAN JOURNAL OF INNOVATION IN NONFORMAL EDUCATION*, 2(4), 227-230.
- Al-Malah, D. A.-R., Hamed, S. I., & Alrikabi, H. (2020). The interactive role using the Mozabook digital education application and its effect on enhancing the performance of eLearning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15(20), 21-41.
- Alnusairat, S., Al Maani, D., & Al-Jokhadar, A. (2021). Architecture students' satisfaction with and perceptions of online design studios during COVID-19 lockdown: the case of Jordan universities. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 15(1), 219-236.
- Baduge, S. K., Thilakarathna, S., Perera, J. S., Arashpour, M., Sharafi, P., Teodosio, B., . . . Mendis, P. (2022). Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. *Automation in Construction*, 141, 104440.
- Bates, J., Konkin, J., Suddards, C., Dobson, S., & Pratt, D. (2013). Student perceptions of assessment and feedback in longitudinal integrated clerkships. *Medical education*, 47(4), 362-374.
- Bayraktar, E., Tatoglu, E., & Zaim, S. (2008). An instrument for measuring the critical factors of TQM in Turkish higher education. *Total Quality Management*, 19(6), 551-574.

- Bianconi, F., Filippucci, M., & Buffi, A. (2019). Automated design and modeling for mass-customized housing. A web-based design space catalog for timber structures. *Automation in Construction*, 103, 13-25.
- Bilgin, I., Karakuyu, Y., & Ay, Y. (2015). The effects of project based learning on undergraduate students' achievement and self-efficacy beliefs towards science teaching. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 11(3).
- Ceylan, S., Şahin, P., Seçmen, S., Somer, M. E., & Süher, K. H. (2021). An evaluation of online architectural design studios during COVID-19 outbreak. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 15(1), 203-218. doi:10.1108/ARCH-10-2020-0230
- Chaisanit, S., & Suksakulchai, S. (2009). *A development of the online audio streaming recorder for blind learner*. Paper presented at the 2009 ICCAS-SICE.
- Charitonidou, M. (2023). *Architectural Drawings as Investigating Devices: Architecture's Changing Scope in the 20th Century*: Taylor & Francis.
- Ching, F. D. (2019). *Design drawing*: John Wiley & Sons.
- Dawson, R. J., Peppe, R., & Wang, M. (2011). An agent-based model for risk-based flood incident management. *Natural Hazards*, 59, 167-189.
- Dow, A. W., DiazGranados, D., Mazmanian, P. E., & Retchin, S. M. (2014). An exploratory study of an assessment tool derived from the competencies of the interprofessional education collaborative. *Journal of interprofessional care*, 28(4), 299-304.
- Dunn, K. E., & Mulvenon, S. W. (2009). A critical review of research on formative assessments: The limited scientific evidence of the impact of formative assessments in education. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 14(1), 7.
- Eckert, C., & Boujut, J.-F. (2003). The role of objects in design co-operation: communication through physical or virtual objects. *Computer Supported Cooperative Work*, 12(2), 145-151.
- Fakhry, M., Kamel, I., & Abdelaal, A. (2021). CAD using preference compared to hand drafting in architectural working drawings coursework. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 3331-3338.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50.

- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.
- Gao, Z., Walters, R. C., Jaselskis, E. J., & Wipf, T. J. (2006). Approaches to improving the quality of construction drawings from owner's perspective. *Journal of construction engineering and management*, 132(11), 1187-1192.
- Henderson, M., & Phillips, M. (2014). *Technology enhanced feedback on assessment*. Paper presented at the Australian Computers in Education Conference.
- Herbert, D. M. (1993). *Architectural study drawings*: John Wiley & Sons.
- Idris, N., Talib, O., & Razali, F. (2022). Strategies in mastering science process skills in science experiments: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(1), 155-170.
- Iulo, L., Weinreb, R., Aviles, R., & Ling, M. (2017). Integrative Design and Project-Based Learning in AE Education—A Critical Review. *AEI* 2017, 49-61.
- Khodeir, L. M., & Nessim, A. A. (2020). Changing skills for architecture students employability: Analysis of job market versus architecture education in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(3), 811-821. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.11.006>
- Kim, J.-O., & Mueller, C. W. (1978). *Factor analysis: Statistical methods and practical issues* (Vol. 14): sage.
- Kimball, S. M., White, B., Milanowski, A. T., & Borman, G. (2004). Examining the relationship between teacher evaluation and student assessment results in Washoe County. *Peabody Journal of Education*, 79(4), 54-78.
- Kozanitis, A., & Nenciovici, L. (2022). Effect of active learning versus traditional lecturing on the learning achievement of college students in humanities and social sciences: a meta-analysis. *Higher Education*. doi:10.1007/s10734-022-00977-8
- Lew, M. M., & Nelson, R. F. (2016). New Teachers' Challenges: How Culturally Responsive Teaching, Classroom Management, & Assessment Literacy Are Intertwined. *Multicultural Education*, 23, 7-13.

- Liu, Y., Castronovo, F., Messner, J., & Leicht, R. (2020). Evaluating the impact of virtual reality on design review meetings. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(1), 04019045.
- Mahasneh, A. M., & Alwan, A. F. (2018). The effect of project-based learning on student teacher self-efficacy and achievement. *International Journal of Instruction*, 11(3), 511-524.
- Mahmoud, N. E., Kamel, S. M., & Hamza, T. S. (2020). The relationship between tolerance of ambiguity and creativity in architectural design studio. *Creativity Studies*, 13(1), 179-198.
- Meyer, M. W., & Norman, D. (2020). Changing design education for the 21st century. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 6(1), 13-49.
- Milo, A. (2020). The acoustic designer: Joining soundscape and architectural acoustics in architectural design education. *Building Acoustics*, 27(2), 83-112.
- Najah Ahmed, A., Binti Othman, F., Abdulmohsin Afan, H., Khaleel Ibrahim, R., Ming Fai, C., Shabbir Hossain, M., . . . Elshafie, A. (2019). Machine learning methods for better water quality prediction. *Journal of Hydrology*, 578, 124084.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124084>
- Nieminen, J. H., & Carless, D. (2023). Feedback literacy: a critical review of an emerging concept. *Higher Education*, 85(6), 1381-1400. doi:10.1007/s10734-022-00895-9
- Oakley, D. J. (2019). Draw first, ask questions later: The value of manual sketching in elementary architectural structures education. In *Structures and Architecture: Bridging the Gap and Crossing Borders* (pp. 451-458): CRC Press.
- Ostime, N. (2019). *RIBA Architect's Handbook of Practice Management*: Routledge.
- Patel, L., Shukla, T., Huang, X., Ussery, D. W., & Wang, S. (2020). Machine learning methods in drug discovery. *Molecules*, 25(22), 5277.
- Peters, O. R. (2020). Assessment methods in free-hand sketching and drawing related courses in visual communication education. *International Journal of Research in Education Humanities and Commerce*, 1(1), 56-71.
- Plant, K., Barac, K., & Sarens, G. (2019). Preparing work-ready graduates—skills development lessons learnt from internal audit practice. *Journal of Accounting Education*, 48, 33-47.

- Rebele, J. E., & Pierre, E. K. S. (2019). A commentary on learning objectives for accounting education programs: The importance of soft skills and technical knowledge. *Journal of Accounting Education*, 48, 71-79.
- Robbins, E., & Cullinan, E. (1994). *Why architects draw*: MIT press.
- Rosales, C. (2022). *Spatial transparency in architecture: light, layering, and porosity*: Taylor & Francis.
- Sharifjanovna, Q. M. (2022). Methods of using fine arts in the process of developing the professional competencies of future architects. *INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH IN COMMERCE, IT, ENGINEERING AND SOCIAL SCIENCES ISSN: 2349-7793 Impact Factor: 6.876*, 16(5), 49-51.
- Sharma, G., Murugadoss, J. R., & Rambabu, V. (2020). Fostering higher order thinking skills in engineering drawing. *Journal of Engineering Education Transformations*, 34(1), 28-40.
- Stacey, M. K., Eckert, C. M., & McFadzean, J. (1999). *Sketch interpretation in design communication*. Paper presented at the Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design.
- Sundberg, M. D. (2002). Assessing student learning. *Cell Biology Education*, 1(1), 11-15.
- Tai, N.-C. (2022). On-Site Architectural Drawing with Hand-held Mobile Instructions. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(1), 1-6.
- Thanvisitthpon, N. (2021). Statistically Validated Component- and Indicator-Level Requirements for Sustainable Thai Homestay Businesses. *Sustainability*, 13(2). doi:10.3390/su13020936
- Thanvisitthpon, N. (2023). Statistically Validated Urban Heat Island Risk Indicators for UHI Susceptibility Assessment. *International journal of environmental research and public health*, 20(2), 1172. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph20021172>
- Thanvisitthpon, N., Shrestha, S., Pal, I., Ninsawat, S., & Chaowiwat, W. (2020). Assessment of flood adaptive capacity of urban areas in Thailand. *Environmental Impact Assessment Review*, 81, 106363.
- Triyono, M. B., Trianingsih, L., & Nurhadi, D. (2018). Students' employability skills for construction drawing engineering in Indonesia. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 16(1), 29-35.

- Turner, R. C., & Carlson, L. (2003). Indexes of item-objective congruence for multidimensional items. *International journal of testing*, 3(2), 163-171.
- Veza, O. (2021). Quality of teacher learning implementation plan and its implementation in preparing vocational school students for ready to work. *Technical and Vocational Education International Journal (TAVEIJ)*, 1(01), 41-48.
- Ware, W. R. (1896). *The Study of Architectural Drawing in the School of Architecture*: New era printing house.
- Xu, H. (2020). Distinguishing hand drawing style based on multilevel analytics framework. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, 1-10.
- Yee, R. (2012). *Architectural drawing: a visual compendium of types and methods*: John Wiley & Sons.
- Zen, Z., & Ariani, F. (2022). Academic achievement: the effect of project-based online learning method and student engagement. *Heliyon*, 8(11), e11509.

การศึกษาวิธีการก่อรูปเวทีด้วยไม้ไผ่ The Study of Stage Construction Methods Using Bamboo

แสงจันทร์ กลัญชัย¹ และ เสสินี นิมสุวรรณ^{2*}

¹สถาปนิกอิสระ แขวงคลองถนน เขตสายไหม กรุงเทพฯ 10220

²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

Sangjan Kalunchai and Sesinee Nimsuwan*

¹Freelance architect, Khlong Thanon, Sai Mai, Bangkok, 10220

²Lecturer, Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Pathum Thani, 12110

*Email: xa01in.ar16@gmail.com

Received: Oct 21, 2024

Revised: Oct 26, 2025

Accepted: Nov 25, 2025

บทคัดย่อ

ไม้ไผ่ คือ พรรณไม้ท้องถิ่นพบได้มากในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งมีปริมาณไม้ไผ่เป็นจำนวนมาก ไม้ไผ่ถือเป็นวัสดุที่สามารถปลูกทดแทนได้ในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่น ๆ ไม้ไผ่จึงเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ไม้ไผ่จะถูกนำมาใช้ในการทำเครื่องเรือนและที่อยู่อาศัยแล้ว ไม้ไผ่มักถูกนำไปใช้เป็นนั่งร้านสำหรับงานก่อสร้างด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา ขนย้ายสะดวก ทนทาน ยึดหยุ่นสูง ประกอบและรื้อถอนง่าย และมีราคาถูกกว่าเหล็กนั่งร้าน บทความนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาข้อจำกัดในการก่อรูปโครงสร้างด้วยไม้ไผ่ เพื่อพัฒนา “Guidebook” หรือชุดแนวทางการต่อประกอบไม้ไผ่สำหรับการทำเวที ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างไม้ไผ่มีศักยภาพในการออกแบบเวทีได้ที่ดีแสดงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปแบบ ซ่อมแซมได้ง่าย ราคาประหยัด สามารถถอดประกอบได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง

คำสำคัญ: ไม้ไผ่, แนวทางการต่อประกอบ, เวที

Abstract

Bamboo is a native plant commonly found in Southeast Asia, particularly in Thailand, where it is abundantly available. It is considered a renewable material that can regrow much faster than other types of wood. Consequently, bamboo has been widely used in vernacular architecture. Beyond its applications in furniture and housing, bamboo is also frequently employed as scaffolding in construction due to its lightweight nature, ease of transport, durability, flexibility, and simple assembly and dismantling processes, as well as its lower cost compared to metal scaffolding. This study investigates the structural limitations of bamboo in order to develop a “guidebook” a set of design and assembly guidelines for bamboo structures specifically intended for stage construction. The findings indicate that bamboo possesses strong potential for stage design, demonstrating eco-friendliness, flexibility for design modifications, ease of repair, cost efficiency, and the capacity for assembly and dismantling without requiring specialized expertise.

Keywords: Bamboo, Guidebook, Stage

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การจัดงานเทศกาลประจำปีเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญ ทั้งในด้านวัฒนธรรม และเศรษฐกิจ โดยเฉพาะกับประเทศไทย ที่มีเทศกาลที่เป็นแรงดึงดูดนักท่องเที่ยวทั่วโลกให้หลั่งไหลเข้าสู่ประเทศ สร้างรายได้มหาศาล โดยเทศกาลจะประกอบไปด้วยสถาปัตยกรรมชั่วคราวหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น เวที ชุมนร้านค้า ห้องน้ำสาธารณะ ซึ่งมักจะถูกออกแบบให้มีลักษณะของสถาปัตยกรรมชั่วคราว โดยส่วนมากจะใช้โครงสร้างนั่งร้านเหล็ก อย่างไรก็ตามไม้ไผ่ก็เป็นวัสดุที่มีศักยภาพที่สามารถใช้ทดแทนได้ เนื่องจากไม้ไผ่เป็นวัสดุท้องถิ่นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ใช้เวลาปลูกทดแทนไม่นาน มีน้ำหนักเบา

การออกแบบเวทีเทศกาลโดยการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลักในการก่อรูป จะถือได้ว่าเป็นการใช้วัสดุทดแทนเพื่อสร้างความยั่งยืน และสามารถสร้างอัตลักษณ์ของสถานที่จัดเทศกาล ซึ่งจำเป็นต้องมีกระบวนการก่อรูปและออกแบบที่ต้องใช้ผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง

การศึกษาในครั้งนี้ต้องการที่จะศึกษาคุณสมบัติ เงื่อนไขในการก่อรูป และทดลองสร้างรูปแบบจำลองของเวที จึงได้แยกส่วนการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การศึกษาทฤษฎีเพื่อทบทวนวรรณกรรม ตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการนำไม้ไผ่มาใช้กับงานสถาปัตยกรรม 2) การศึกษาวิธีการก่อรูปด้วยไม้ไผ่ 3) ออกแบบเวทีด้วยโครงสร้างไม้ไผ่

2. วัตถุประสงค์

การศึกษารูปแบบการก่อรูปโครงสร้างเวทีด้วยไม้ไผ่ ผ่านรวบรวมข้อมูลวิธีการก่อรูปโครงสร้างไม้ไผ่รูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์และพัฒนาออกแบบเวทีด และเสนอวิธีการก่อรูปเพื่อให้ได้แนวทาง (Guidebook) สำหรับผู้ที่สนใจนำไม้ไผ่ไปใช้ทำเวทีด

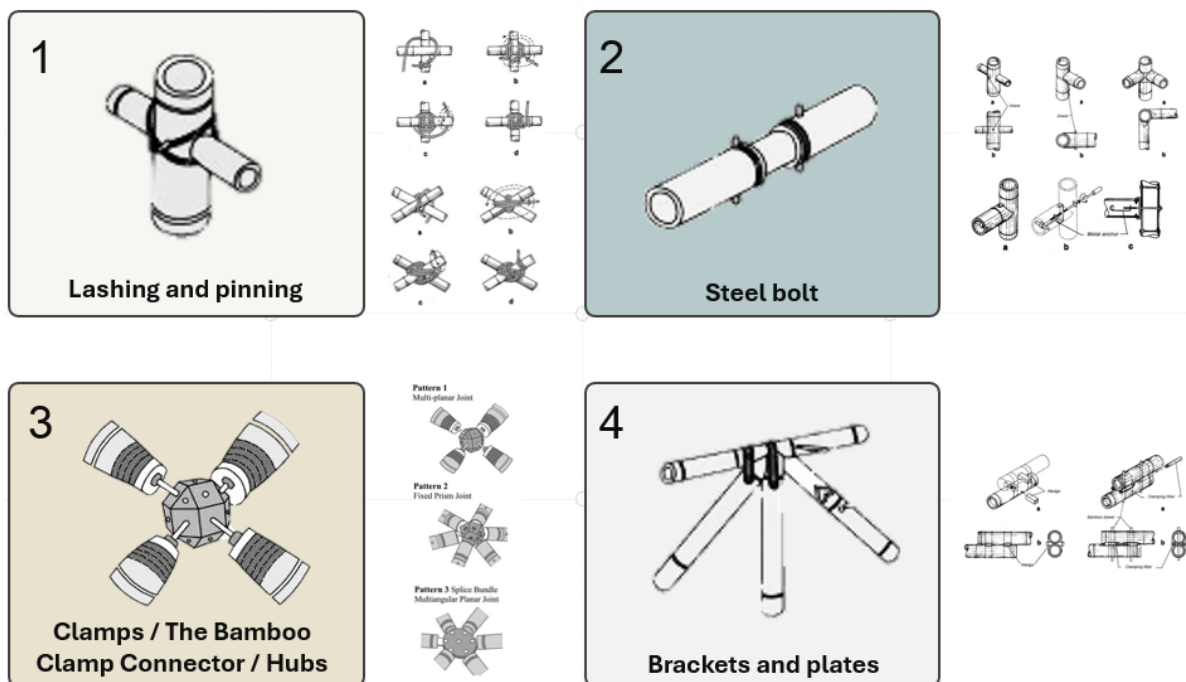
3. การดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้ได้ข้อมูลในการนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์และสรุปผล มีกระบวนการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 1 การรวบรวมข้อมูล การต่อประกอบไม้ไผ่ และการก่อรูปด้วยไม้ไผ่
- 2 การวิเคราะห์ ข้อดีข้อเสีย ของการก่อรูปด้วยข้อต่อรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้ได้เข้าใจเงื่อนไขและข้อจำกัดของการก่อรูปโครงสร้างไม้ไผ่
- 3 สรุปผล เสนอแนวทางในการออกแบบเวทีดด้วยไม้ไผ่

4. ผลการศึกษา

4.1 การศึกษาการต่อประกอบไม้ไผ่



ภาพที่ 1 วิธีการต่อประกอบไม้ไผ่

ไม้ไผ่ คือ พรรณไม้ท้องถิ่นพบได้มากในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ไม้ไผ่จึงเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานสถาปัตยกรรม ไม้ไผ่แบ่งขนาดออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ไม้ไผ่ขนาดเล็ก (เส้น

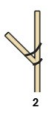
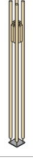
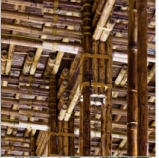
ผ่านศูนย์กลาง 2-5 cm.) ไม้ไผ่ขนาดกลาง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 7-8 cm.) และไม้ไผ่ขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10cm.) (ทองประไพ, 2562)

ไม้ไผ่เป็นวัสดุท้องถิ่นที่หาได้มากจากธรรมชาติ การจะนำมาใช้เพื่อออกแบบก่อสร้างสถาปัตยกรรมจะต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดเรื่องของความต่างขนาด มวล และความยาวของไม้ไผ่แต่ละต้น โดยในปัจจุบันสามารถต่อไม้ไผ่ด้วยเทคนิคที่หลากหลาย จากการศึกษาผ่านการรวบรวมข้อมูล พบว่าการต่อไม้ไผ่นั้นประกอบไปด้วย 4 วิธีการ (ภาพที่ 1) ประกอบด้วย 1) การผูกมัด (Lashing and Pinning) 2) การยึดด้วยน็อตโลหะ (Steel bolt) 3) ข้อต่อยึด (Clamp Connector) และ 4) การรัดด้วยเข็มขัดโลหะ (Brackets and Plates)

1) การผูกมัด (Lashing and Pinning) การผูกมัดประกอบด้วย 5 รูปแบบ ประกอบด้วย

แบบที่ 1 (ภาพที่ 2) การผูกไม้ไผ่เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มหน้าตัดให้เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นเสาที่มีความสูงเป็นพิเศษ สามารถจำแนกย่อยได้ 3 วิธีการ 1) การมัดรวบตลอดความสูง 2) การมัดรวบเป็นช่วง 3) การมัดรวบช่วงฐานและกลางเสาและตัดโค้งส่วนปลายยอด

แบบที่ 2 (ภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3) การผูกผสมการบากไม้ไผ่แนวทแยงเหมาะกับการนำไปใช้การก่อรูปโครงสร้างหลังคาที่มีองศาลาดเอียง หรือนำไปใช้เป็นค้ำยันโครงสร้าง สามารถนำไปใช้ก่อรูปได้ 3 รูปแบบ 1) ค้ำยันยอดเสา 2) หลังคาหมาแหงน 3) หลังคาจั่ว

CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY
 Lashing and pinning	 Nylon Rope/ Galvanized wire	 1			 2		
							
							

ภาพที่ 2 การต่อประกอบด้วยเทคนิค Lashing and Pinning (1)

แบบที่ 3, 5, 6 (ภาพที่ 3) การผูกไม้ไผ่จากการพาด ขัด

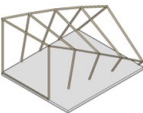
แบบที่ 4 (ภาพที่ 3) การผูกผสมการเหลาบาง เป็นการต่อประกอบไม้ไผ่ที่ต้องการชำนาญแม่นยำสูง

แบบที่ 7 (ภาพที่ 3) การผูกยึดจุดผสมที่เกิดขึ้นจากการนำไม้ไผ่มาตัดโค้งเพื่อให้เกิดที่ว่าง

CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY
 Lashing and pinning	 Nylon Rope/ Galvanized wire	 2						 5		
		 3						 6		
					 4			 7		

ภาพที่ 3 การต่อประกอบด้วยเทคนิค Lashing and Pinning (2)

2) การยึดด้วยน็อตโลหะ (Steel bolt) (ภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5) โดยทั่วไปแล้วการยึดไม้ไผ่เพื่อใช้งานสถาปัตยกรรม คือการประยุกต์จากองค์ความรู้พื้นฐานของการก่อรูปโครงสร้างไม้ไผ่ทำให้สามารถก่อรูปได้ไม่ต่างไปจากการก่อรูปไม้ไผ่จากการผูกมัด แต่ด้วยความสะดวกในการต่อประกอบและความทนทานของโลหะทำให้การยึดด้วยน็อตโลหะมีข้อจำกัดที่น้อยกว่า ทำให้ไม้ไผ่สามารถใช้ร่วมกับวัสดุอื่น ๆ ได้ง่ายกว่า รวมถึงสามารถยึดโครงสร้างไม้ไผ่กับพื้นคอนกรีต (ภาพที่ 5)

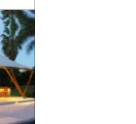
CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY
 Steel bolt	 Bolt	 1			 3		
		 2					
		 3					

ภาพที่ 4 การต่อประกอบด้วยเทคนิค Steel Bolt (1)

CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY
 Steel bolt	 Bolt	 4			 4		
		 5			 5		
		 6			 6		

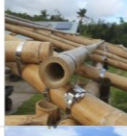
ภาพที่ 5 การต่อประกอบด้วยเทคนิค Steel Bolt (2)

3) ข้อต่อยึด (Clamp Connector) (ภาพที่ 6) ข้อต่อยึดแบบปรับ/ถอนประกอบ เป็นการประยุกต์ใช้ อุปกรณ์ร่วมกัน 4 ชนิด ประกอบด้วย 1) ข้อต่อร่วมทรงกลม (Joint Connector) 2) ขาเชื่อมต่อกับไม้ไผ่ด้วยการสวม (Clamp) 3) ข้อต่อสำหรับติดตั้งกับพื้น (Docking Connector) 4) เพลท (Plate) ทำให้การก่อรูป โครงสร้างด้วยไม้ไผ่มีความยืดหยุ่นในการปรับแต่งได้หลากหลาย ลดข้อจำกัดในการก่อรูป

CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY
 The Bamboo Clamp Connector / Hubs		 1			 3		
		 2					
			 4		 4		
					 5		
							
							

ภาพที่ 6 การต่อประกอบด้วยเทคนิค Clamp / The Bamboo Clamp Connector / Hubs

4) การรัดด้วยเข็มขัดโลหะ (Brackets and Plates) (ภาพที่ 7) เป็นวิธีการที่นำมาใช้แทนการผูกด้วยเชือก ทำให้การความแน่นยำในติดตั้ง ทำให้ผู้ติดตั้งไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญมาก

CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY
 Brackets and plates	 Plate	1			4		
		2			5		
		3			6		

ภาพที่ 7 การต่อประกอบด้วยเทคนิค Brackets and Plates

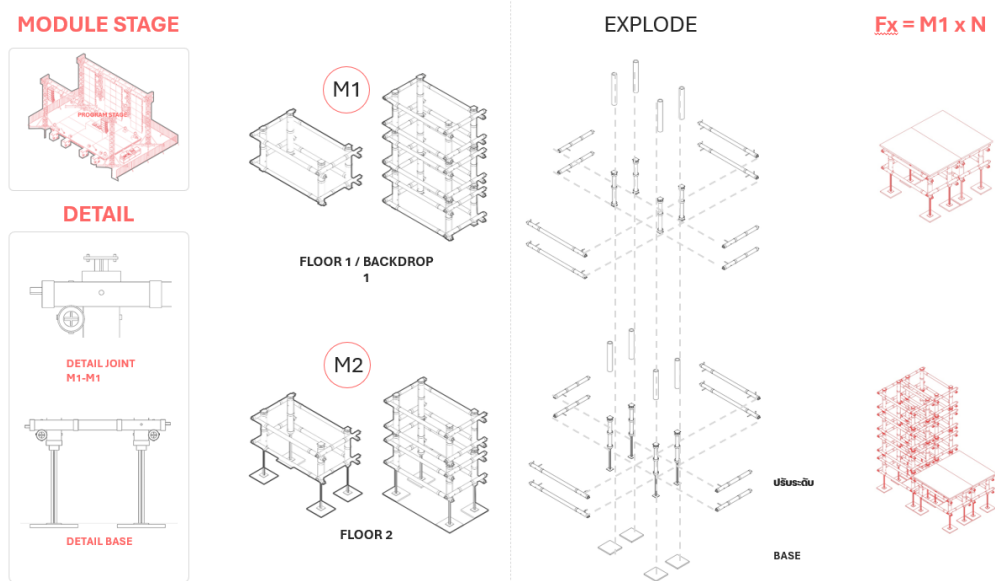
CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY	CONNECTOR	MATERIAL	TYPE	MODEL STUDY	CASE STUDY
 1	 1	 1			 2	 2	 2			 3	 3	 3			 4	 4	 4		
																			
																			
																			
																			
																			
																			
																			
																			
																			

ภาพที่ 8 ภาพสรุปการก่อรูปโครงสร้างไม้ไผ่จากการต่อรูปแบบต่าง ๆ

4.2 การออกแบบเวทีด้วยโครงสร้างไม้ไผ่

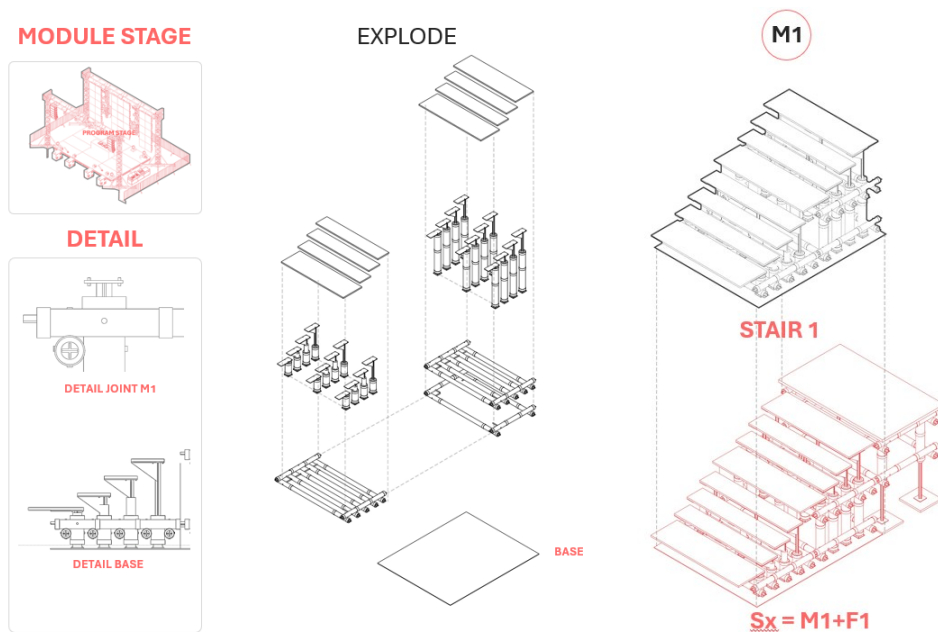
ภาพที่ 9 ภาพแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเวที

30



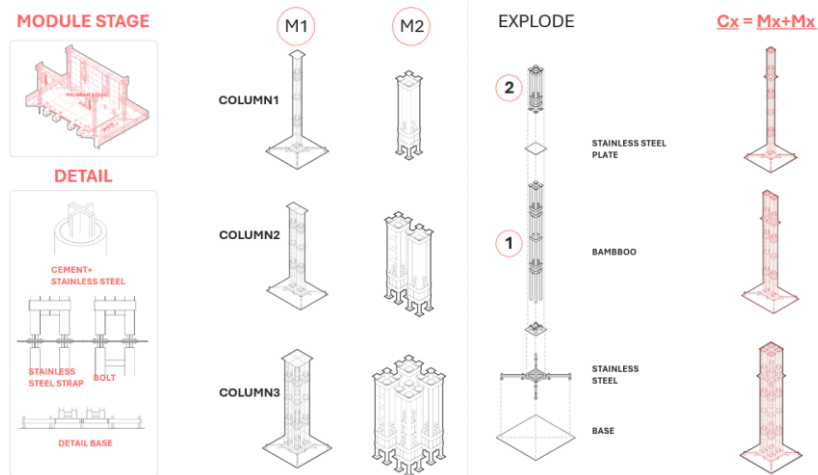
ภาพที่ 10 ภาพวิธีการก่อรูปพื้นเวที และฉากหลัง

2) ฉากหลัง คือส่วนที่ทำหน้าที่ฉากสำหรับการแสดงรายละเอียด การประดับต่าง ๆ เพื่อให้เวทีมีภาพลักษณ์ที่สะดุดตาและมีความน่าสนใจ สามารถสร้างภาพจำของเทศกาลต่งนั้นฉากของเวทีจำเป็นต้องมีระนาบของฉากที่มีขนาดใหญ่เหมาะสมกับขนาดของเทศกาล และเมื่อฉากมีระนาบขนาดใหญ่ทำหน้าที่ฉากของเวทีจะต้องสามารถรับแรงกระทำจากลมได้ (Wind Load) ทำให้ฉากของเวทีจะต้องมีความแข็งแรงทั้งสามารถรับน้ำหนักของฉากที่มีขนาดใหญ่ และแรงกระทำจากลมได้ เพื่อความไม่ซับซ้อนในการก่อสร้างจึงออกแบบให้มีรูปแบบ (Pattern) เดียวกันกับการก่อต่อประกอบพื้น (ภาพที่ 10 M1)



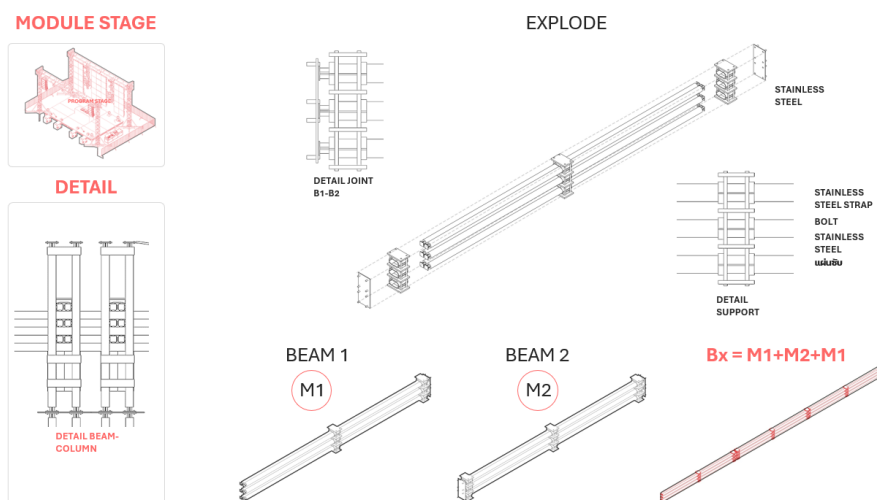
ภาพที่ 11 ภาพแสดงวิธีการก่อรูปบันได

3) บันได คือส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมการใช้สอยพื้นที่ระหว่างพื้นที่ที่มีระดับที่แตกต่างกัน ดังนั้นบันไดจึงนับได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนประกอบหนึ่งของเวที และเพื่อให้บันไดมีความเรียบง่ายไม่ซับซ้อนในการต่อประกอบจึงออกแบบให้โครงสร้างไม้ไม่มีขนาดที่เท่ากัน และทำการติดตั้งใช้ค้ำปรับระดับเข้าไปที่บริเวณหัวของโครงสร้างไม้ไผ่ เพื่อสร้างความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนระดับในการใช้งาน (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 12 ภาพแสดงวิธีการก่อรูปเสาเวที

4) เสา ทำหน้าที่รับน้ำหนักของโครงสร้างช่วงพาดกว้างที่มีหน้าที่ในการติดตั้งชุดเครื่องเสียง ชุดงานระบบส่องสว่าง ที่เป็นอุปกรณ์สำคัญของเทศกาล แต่จะต้องไม่บดบังวิสัยทัศน์การมองเห็นเพื่อให้กิจกรรมบนเวทีสร้างผลกระทบต่อบรรยากาศเทศกาล ดังนั้นเสาจึงจะต้องมีลักษณะที่ผอมบางแต่สูงจึงออกแบบเสาด้วยเทคนิคการผูกมัดเสาเป็นช่วง ๆ เพื่อให้เสามีความโปร่ง และออกแบบให้เสาดัดตั้งลงบนเพรท (Plate) ขนาดใหญ่ 1.2x1.2 เมตร ที่ทำหน้าที่เป็นฐานของเสา การติดตั้งจะต้องยึดเสาเข้ากับโครงสร้างพื้นเวที (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 13 ภาพแสดงวิธีการก่อรูปโครงสร้างช่วงพาดกว้างของเวที

5) ช่วงพาดกว้าง มีหน้าที่สำหรับติดตั้งงานระบบชุดเครื่องเสียง งานระบบไฟส่องสว่าง และป้ายงาน ช่วงพาดกว้างจึงนับเวลาเป็นอีกหนึ่งส่วนประกอบที่มีความสำคัญจำเป็นต้องให้ความแข็งแรงในส่วนรอยต่อของโครงสร้างไม้ไผ่ เนื่องจากไม้ไผ่มีความยาวที่จำกัด จึงออกแบบด้วยการต่อไม้ไผ่ด้วยการประกบไม้ไผ่เข้าด้วยกัน และเสริมความแข็งแรงด้วยชุดเชื่อมต่อโลหะ ก่อรูปลักษณะเป็นโครง



ภาพที่ 14 ภาพจำลองเวทีสำหรับจัดเทศกาลที่สร้างด้วยโครงสร้างไม้ไผ่

เมื่อนำทุกส่วนมาประกอบร่วมกันเวทีจะมีความแข็งแรง สามารถรองรับกิจกรรมการแสดงของเทศกาล ให้ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน เพิ่มลดขนาดให้สอดคล้องกับขนาดของเทศกาลได้ มีภาพลักษณ์และโทนสีที่เป็นเอกลักษณ์ สามารถสร้างภาพลักษณ์ที่ดี ที่แสดงออกถึงการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ไม้ไผ่คือวัสดุท้องถิ่นที่หาได้ง่ายที่มีระยะเวลาในการปลูกทดแทนในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่น ๆ การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่ เพื่อศึกษาการก่อรูปโครงสร้างไม้ไผ่เพื่อใช้ทำเวทีสำหรับการจัดเทศกาล ผลการศึกษาพบว่าไม้ไผ่มีเทคนิคในการต่อประกอบขึ้นรูปที่หลากหลายไปตามความชำนาญในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามเทคนิคที่แตกต่างกันแทบไม่ส่งผลต่อผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นอาจกล่าวได้ว่า โครงสร้างที่เกิดขึ้นนั้นหากออกแบบให้มีความซับซ้อนที่น้อยเข้าใจง่ายจะสามารถเลือกประกอบด้วยเทคนิคใดก็ได้ แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของการก่อสร้างสถานที่ ที่ไม่จำเป็นต้องมีช่างที่มีความชำนาญในงานไม้ไผ่เสมอไป เมื่อออกแบบเวทีด้วยไม้ไผ่ที่มีรูปแบบ (Pattern) ที่เรียบง่ายและเป็นระบบสามารถสร้างภาพลักษณ์ที่ดี ที่แสดงออกถึงการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

จากการออกแบบพบว่าชุดแนวคิดในการก่อรูปโครงสร้างไม้ไผ่ในลักษณะนี้สามารถนำไปประยุกต์ออกแบบได้ สามารถศึกษาต่อยอดขยายผลทางความคิดเพื่อให้เห็นคุณสมบัติของไม้ไผ่ ด้านการสร้างควมยั่งยืนที่มีเอกลักษณ์เฉพาะภูมิภาคกับงานสถาปัตยกรรม โดยเฉพาะสถาปัตยกรรมชั่วคราวที่ต้องการความยืดหยุ่นในการปรับใช้

7. เอกสารอ้างอิง

- นิศารัตน์ ทองประไพ และ ยุทธนา ทองท้วม. (2562). แนวทางการออกแบบข้อต่อแบบถอดประกอบได้ให้เหมาะสมกับโครงสร้างบ้านไม้ไฟขนาดเล็กกลุ่มสมัย. *วารสารศิลปสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 10(1), 39-54.
- รุ่งพรธนา น้อยจันทร์. (2557). *การพัฒนาข้อต่อโครงถักไม้ไฟสำหรับโครงสร้างสถาปัตยกรรม* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วรารัตนา วงศ์อ้อย และ ปิยะภัทร เต็มแย้ม. (2565). การพัฒนารูปแบบแผงบังแดดไม้ไฟสำหรับงานสถาปัตยกรรม. *สารศาสตร์*, 1(2565), 166-176.

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างต่อการป้องกันอาชญากรรม
บนทางเท้าสาธารณะสำหรับคนไทย
Effect of Luminance Ratio for Crime Prevention
in Thai Pedestrian Walkways

พรรณวดี โรจนศิริ^{1*} และ สุทาลักษณ์ ตันติวงศ์²

¹สาขาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

Panwadee Rojanasiri ^{1*} and Satalak Tantiwong²

¹Lecturer, Department of Architecture, Faculty of Industrial Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

²Lecturer, Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Phathum Thani 12110

*Email: panwadee041@hotmail.com

Received: Nov 15, 2024

Revised: Sep 11, 2025

Accepted: Nov 25, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio) ต่อการป้องกันอาชญากรรมบนทางเท้าสาธารณะสำหรับคนไทย จากการศึกษาความส่องสว่างจากมาตรฐานของ IESNA ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าอัตราส่วนความสว่างที่เหมาะสมอยู่ที่ 4:1 (พื้นหลัง : ใบหน้า) แต่ยังไม่พบอัตราส่วนความสว่างที่เหมาะสมสำหรับคนไทย จึงทำการทดลองโดยใช้หลอดไฟที่ปรับระดับความส่องสว่างได้ฉายไปยังคนและพื้นหลัง เพื่อให้ผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม พฤติกรรมคนเดินเท้า และการระบุตัวตนของอาชญากร ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างนำมาเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติ ANOVA ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความสว่างที่ 5:1 มีความเหมาะสมต่อการป้องกันอาชญากรรมบนทางเท้าสาธารณะสำหรับคนไทยมากที่สุด

คำสำคัญ: อัตราส่วนความสว่าง, การป้องกันอาชญากรรม, ความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม, พฤติกรรมคนเดินเท้า, การระบุตัวตนของอาชญากร

Abstract

Study of the influence of the luminance ratio on crime prevention on pedestrian walkways for Thai people. From exploring the luminance standards of IESNA in the United States, the appropriate luminance ratio is 4:1 (background: face). However, a proper brightness ratio has yet to be found for Thai people. Therefore, an experiment was conducted using a light bulb with an adjustable brightness level projected onto people and the background for participants to answer a questionnaire assessing their feelings of perceived safety, pedestrian behavior, and criminal identification. Laboratory tests were carried out at the Faculty of Architecture, Kasetsart University. The results of the study of luminance values were compared using ANOVA statistics. The study's results showed that a luminance ratio of 5:1 was most appropriate for preventing crime on public sidewalks for Thai people.

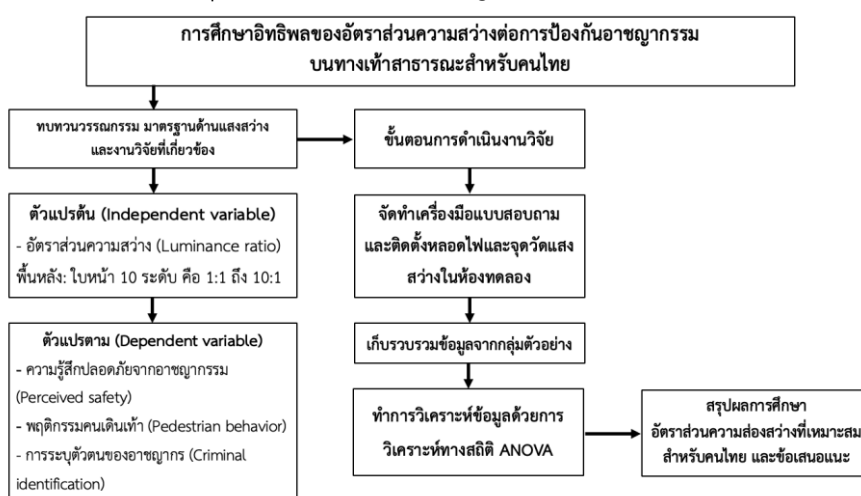
Keywords: Luminance ratio, Crime prevention, Perceived safety, Pedestrian behavior, Criminal identification

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ทางเท้าที่มีแสงสว่างเพียงพอทำให้ผู้คนรู้สึกปลอดภัย เป็นองค์ประกอบสำคัญของทางเดินเท้าที่ควรมี (H. H. Cohen & Sloan, 2016) ปัจจุบันประเทศไทยยังพบปัญหาการเกิดอาชญากรรมโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนในพื้นที่สาธารณะ จังหวัดที่พบคดีมากที่สุดคือกรุงเทพมหานครร้อยละ 46.5 เกิดในช่วงเวลา 18:00-06:00 น. (สำนักงานกิจการยุติธรรม, 2552) มีสาเหตุอันเนื่องมาจากปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอ (กองบรรณาธิการ M2F, 2561) จากการศึกษางานวิจัยในอดีตเป็นการศึกษาจากการวัดอัตราการเกิดอาชญากรรมก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงแสงสว่างในพื้นที่เพื่อเปรียบเทียบ (Painter 1994, 1996) รวมถึงการสัมภาษณ์ความรู้สึกกลัวการเกิดอาชญากรรม (Fear of crime) เมื่อผู้เข้าร่วมอยู่ในพื้นที่ (Painter & Farrington, 1997, 1999) ยิ่งอัตราการเกิดอาชญากรรมสูงขึ้นความกลัวจะเพิ่มขึ้นตาม อาทิ งานวิจัยของ Sakipa, S.R.M., et al. ความสัมพันธ์ระหว่างการป้องกันอาชญากรรมด้วยการออกแบบสิ่งแวดล้อมและความกลัวของอาชญากรรม แสดงให้เห็นถึงการใช้ทฤษฎีการป้องกันอาชญากรรมผ่านการออกแบบสภาพแวดล้อม (Crime prevention through environmental design, CPTED) สามารถลดความกลัวของอาชญากรรมได้ (Sakip et al., 2012) และในงานของ Day, K., etc. 2007 การสังเกตพื้นที่ทางเท้าเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของอาชญากรรมที่รายงานก่อนและหลังการปรับปรุงถนนด้วยความช่วยเหลือของกรมตำรวจในการระบุจำนวนอาชญากรรม ผลการศึกษามีข้อแนะนำในเรื่องของการวัดจำนวนการเกิดอาชญากรรมทำได้ยาก เนื่องจากมีปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้คือความถี่ในการเดินตรวจตราของเจ้าหน้าที่ รวมถึงสภาพอากาศที่เปลี่ยนไปตลอดในช่วงเก็บข้อมูลส่งผลต่อจำนวนอาชญากรรมที่เกิดขึ้น

(Day et al., 2007) ในปัจจุบันการวัดผลของอัตราการเกิดอาชญากรรมจึงถูกเปลี่ยนเป็นการลดความกลัวและการสร้างความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม (Perceived safety) ในพื้นที่แทน

ในเรื่องของพฤติกรรมคนเดินเท้า (Pedestrian behavior) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการป้องกันอาชญากรรมบนทางเดินเท้าโดยมีหลายงานวิจัยกล่าวถึงการให้แสงสว่างสำหรับคนเดินเท้าให้คำนึงถึง การตรวจจับอุปสรรค การวางแผนภาพ และการจดจำใบหน้าของคนเดินเท้าคนอื่น ๆ ในบรรดาสิ่งเหล่านี้การจดจำใบหน้าต้องการความสว่างมากที่สุด (Caminada & Bommel, 1980) ใกล้เคียงกับงานของ Fujiyama พบว่าระยะการจดจำใบหน้ามีความสัมพันธ์กับระดับความสว่าง และเมื่อคนเดินถนนเริ่มการหลบเลี่ยงการชนกันจำเป็นต้องมีความสว่างมากกว่ามาตรฐานแสงในปัจจุบัน (Fujiyama, T, et al., 2005) รวมถึงปัจจัยการระบุตัวตนของอาชญากร (Criminal identification) ประกอบไปด้วยความส่องสว่างของแสง, สีของแสง, เพศ, เครื่องแต่งกาย, สีมุข จากการศึกษที่เกี่ยวข้องกับการระบุตัวตน โดยส่วนใหญ่การศึกษาการระบุตัวตนของอาชญากรมักจะเกี่ยวข้องกับการใช้ DNA หลักฐานทางพันธุกรรม และการตรวจจับใบหน้าของผู้ต้องสงสัย (Pavlich, 2009) ทำให้พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องค่อนข้างน้อย แต่การระบุตัวตนของอาชญากรจากการรับรู้ด้วยสายตาของผู้เห็นเหตุการณ์มีบทบาทสำคัญในสถานการณ์ฉุกเฉิน และยังส่งผลต่อการช่วยหน่วยงานบังคับใช้กฎหมายในการค้นหาอาชญากร โดยความส่องสว่างแบบแนวตั้งช่วยในการระบุใบหน้าหรือวัตถุ (Identification of faces or objects) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการใช้แสงสว่างเพื่อความปลอดภัย สามารถระบุใบหน้าและภาษากายที่แสดงออกว่าคุกคามหรือไม่ได้อย่างชัดเจนภายในระยะอย่างน้อย 9.10 เมตร (สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2550) โดยอัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio) เป็นปัจจัยสำคัญ หากความสว่างพื้นหลังมากกว่า 4 เท่าของใบหน้า หรือ 4:1 ใบหน้าจะเกิดเงาทำให้การระบุใบหน้าทำได้ยากยิ่งขึ้น (IESNA, 2016) เนื่องจากหลายการศึกษาพบว่า การรับรู้แสงสว่างนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละชนชาติ (Miller, Rowe, & Lund, 1992) จึงควรมีการศึกษาหาอัตราส่วนความสว่างที่เหมาะสมสำหรับคนไทย โดยเฉพาะและนำผลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบแสงสว่างโดยสถาปนิกและหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง โดยมีกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework Diagram) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดการวิจัย (Conceptual Framework Diagram)

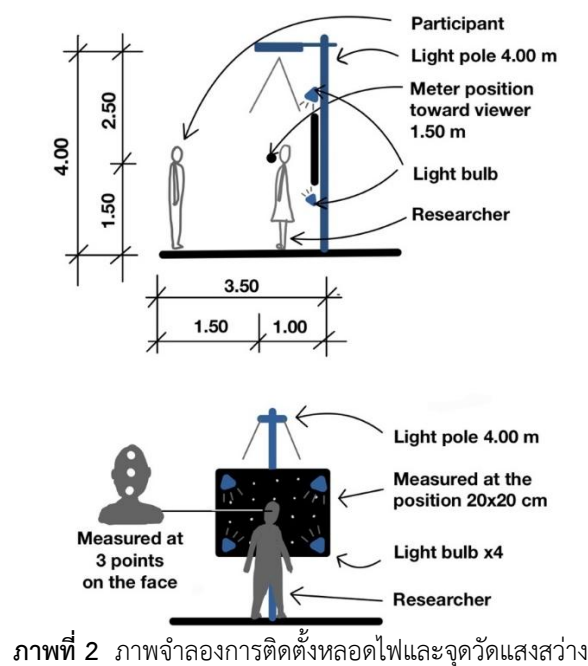
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio) ต่อการป้องกันอาชญากรรมบนทางเท้าสาธารณะสำหรับคนไทย โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยคือ

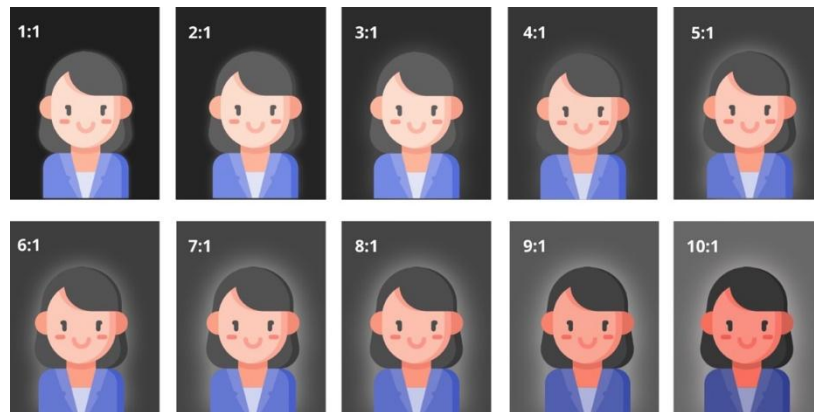
1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างต่อการสร้างความรู้สึกลดภัยจากอาชญากรรม
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างต่อพฤติกรรมคนเดินเท้า
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างต่อการระบุตัวตนของอาชญากร

3. การดำเนินงานวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือช่วงแนะนำการทดลองโดยทีมผู้วิจัย ช่วงเตรียมตัวของผู้เข้าร่วม และช่วงเข้าร่วมการทดลองของผู้เข้าร่วม โดยผู้วิจัยทำหน้าที่ให้ข้อมูลด้านจริยธรรมและขั้นตอนแก่ผู้เข้าร่วมฯ เพื่อขอความยินยอมและลงนามในหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย การทดลองเริ่มในช่วงเดือนมกราคม 2565 ผู้เข้าร่วมจะถูกสุ่มวันและเวลาเข้าร่วม (Randomization) (Ranjith, 2005) ณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขนาด $3.00 \times 3.50 \times 4.00$ เมตร (10.5 ตารางเมตร) โดยจะใช้เวลาเข้าร่วมโดยประมาณ 15 นาที/คน ในห้องทดลองที่มีการควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนในเรื่องของแสงรบกวนโดยการปิดหน้าต่างให้ทึบไว้ (Park et al., 2008) โดยวางโคมไฟไว้ด้านหลังทีมผู้วิจัยและทีมผู้วิจัย และตั้งค่าในสัดส่วนตั้งแต่ 1:1 ถึง 10:1 เพื่อให้ผู้เข้าร่วมเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยการติดตั้งจะต้องวัดความส่องสว่างใน 2 พื้นที่คือ พื้นที่ใบหน้าของผู้วิจัยที่อยู่ใต้แสงสว่าง 3 จุด และพื้นที่ฉากหลังในระยะที่สายตามองเห็นในแนวตั้ง (Visual field) มุมบน 50° มุมล่าง 70° ด้านซ้ายและขวา 90° ทุก ๆ จุดตัด 20×20 เซนติเมตร ให้ได้ค่าเฉลี่ย 5 แคนเดลา/ตารางเมตร ตำแหน่งพื้นที่สูงจากพื้น 1.50 เมตร ดังภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 ภาพจำลองการติดตั้งหลอดไฟและจุดวัดแสงสว่าง



ภาพที่ 3 ภาพจำลองการทดลองอัตราส่วนความสว่าง 10 แบบ

กลุ่มประชากรตัวอย่างมีอายุ 18-60 ปี เพศชายและหญิงในสัดส่วนที่เท่ากัน การเลือกกลุ่มประชากรอ้างอิงจากข้อมูลรายงานข้อมูลสถิติอาชญากรรมภาคประชาชนทั่วประเทศ พ.ศ. 2550 ที่มีอายุ 18-60 ปี พบว่าข้อมูลผู้ประสบภัยทั่วประเทศจะเกิดเหตุกับเพศชายมากที่สุดคือ ร้อยละ 61.5 ในขณะที่ในเพศหญิงจะพบเป็นสัดส่วนมากที่สุดในจังหวัดกรุงเทพมหานครร้อยละ 53.6 โดยอายุเหยื่ออาชญากรรมเป็นวัยผู้ใหญ่ (สำนักงานกิจการยุติธรรม, 2552) จำนวนผู้เข้าร่วม 50 คน (ไม่ต่ำกว่า 30 คน) เนื่องจาก (1) เป็นจำนวนน้อยที่สุดที่สร้างโค้งปกติได้ (2) โค้งปกตินั้นสามารถให้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีความคาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่ยอมรับได้ (3) โค้งปกติสามารถแจกแจงข้อเท็จจริงที่ได้ค่อนข้างดี (fairly) แม้จะใช้สถิติที่ไม่จำเป็นต้องใช้การกระจายแบบโค้งปกติ (Gosset, 1908) ตัวแปรต้น (Independent variable) ประกอบด้วย 1 ปัจจัย อัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio) พื้นหลัง: ใบหน้า 10 ระดับ คือ 1:1 ถึง 10:1 ในการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรมโดยการมองเห็นใบหน้าและท่าทางของผู้อยู่ภายใต้แสงสว่าง โดยการติดตั้งโคมและหลอดไฟในสถานที่ควบคุมเท่าขนาดจริงฉายไปยังคนเพื่อหาความส่องสว่างที่เหมาะสมในแนวตั้ง ดังตารางที่ 13 เพื่อให้ผู้เข้าร่วมเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 1 โดยความส่องสว่างที่แนะนำสำหรับพื้นหลังคือ 5 แคนเดลา/ตารางเมตร (Thorn, 2017)

ตารางที่ 1 ตัวแปรต้นของการทดลองอัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio)

ลำดับ	ตัวแปร	ที่มา
1	1:1 (5:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างอื่น ๆ ที่ต้องการศึกษา
2	2:1 (10:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	
3	3:1 (15:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างที่แนะนำของพื้นที่รปภ. (IESNA, 2003)
4	4:1 (20:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างที่แนะนำของพื้นที่ทางเดินเท้าภายนอก (IESNA, 2003)
5	5:1 (25:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างอื่น ๆ ที่ต้องการศึกษา
6	6:1 (30:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างที่แนะนำของพื้นที่ในอาคาร (IESNA, 2003)
7	7:1 (35:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างอื่น ๆ ที่ต้องการศึกษา
8	8:1 (40:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างที่แนะนำของกรอบอาคาร (IESNA, 2003)
9	9:1 (45:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	ความส่องสว่างอื่น ๆ ที่ต้องการศึกษา
10	10:1 (50:5 แคนเดลา/ตารางเมตร)	

ตัวแปรตาม (Dependent variable) ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลักได้แก่ ความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม ใช้เทคนิคมาตรวัดเจตคติ (Semantic differential technique) ด้วยการใช้มาตรา (Scales) วัดในแต่ละระดับของความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม 7 ระดับ (Boyce et al., 2000) โดยปัจจัยทั้งหมดประกอบด้วย 3 คำถาม คือ 1) ฉันรู้สึกพอใจที่จะต้องเดินเข้าไปในถนนสายนี้ 2) ฉันรู้สึกสบาย ๆ ที่ถนนสายนี้ 3) ฉันรู้สึกปลอดภัยบนถนนสายนี้ (Blöbaum & Hunecke, 2005; Boomsma & Steg, 2014) พฤติกรรมคนเดินเท้า ด้วยการสังเกตและมองเห็นใบหน้าชัดเจน และการระบุตัวตนของอาชญากร ด้วยการระบุเพศ สีผม และสีเสื้อผ้า (Davis et al., 2015) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรตามของการทดลองอัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio)

ลำดับ	ตัวแปร	ที่มา
1	ความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม 3 คำถาม	
1.1	ฉันรู้สึกพอใจที่จะต้องเดินเข้าไปในถนนสายนี้	(Blöbaum & Hunecke, 2005; Boomsma & Steg, 2014)
1.2	ฉันรู้สึกสบาย ๆ ที่ถนนสายนี้	
1.3	ฉันรู้สึกปลอดภัยบนถนนสายนี้	
2	พฤติกรรมคนเดินเท้า	
2.1	การรับรู้ใบหน้าของคน ในเรื่องความชัดเจนในการเห็นใบหน้า ความถูกต้อง	(Boyce et al., 2000)
3	การระบุตัวตนของอาชญากร	
3.1	เพศ	(กองอำนวยการรักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร, 2561; Davis et al., 2015)
3.2	สีผม-สีเสื้อผ้า	

4. ผลการศึกษา

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1. ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมแบบสอบถาม 2. ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันต่อความรู้สึกปลอดภัยของคนเดินทางเท้า และ 3. ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันต่อพฤติกรรมของคนเดินทางเท้าและการระบุตัวตนของอาชญากร จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างกลุ่มประชากรที่มีอายุ 18-60 ปี จำนวน 50 คน โดยผู้เข้าร่วมการทดลองไม่มีปัญหาทางด้านสายตา สามารถสื่อสารภาษาไทยในระดับที่เข้าใจและยินดีให้ความร่วมมือจริยธรรมในงานวิจัย

1. ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมแบบสอบถาม สามารถสรุปเพศและอายุของกลุ่มตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

เพศชายมีจำนวน 25 คน (ร้อยละ 50) และเพศหญิงมีจำนวน 25 (ร้อยละ 50) อายุระหว่าง 18-20 ปี มีจำนวน 18 คน (ร้อยละ 36), อายุระหว่าง 21-30 ปีมีจำนวน 24 คน (ร้อยละ 48) อายุระหว่าง 31-40 ปี มีจำนวน 3 คน (ร้อยละ 6) อายุระหว่าง 41-60 ปีมีจำนวน 4 คน (ร้อยละ 8) และอายุระหว่าง 51-60 ปี มีจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2)

2. ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันต่อความรู้สึกปลอดภัยของคนเดินทางเท้า

2.1 ผลคำถามความพึงพอใจที่ต้องเดินไปบนถนนสายนี้ภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจที่ต้องเดินไปบนถนนสายนี้ภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติ ANOVA ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนความสว่างแตกต่างกันจะทำให้เกิดการตอบสนองของผู้เข้าร่วมการทดลองต่อความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาของคำถามความพึงพอใจที่ต้องเดินไปบนถนนของผู้เข้าร่วมภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ความส่องสว่าง	ความพึงพอใจที่ต้องเดินไปบนถนนสายนี้		
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	p-value
1:1	2.22	0.71	0.00**
2:1	3.54	0.81	
3:1	5.16	0.87	
4:1	5.98	0.68	
5:1	6.50	0.54	
6:1	5.44	0.81	
7:1	4.80	0.93	
8:1	4.12	1.06	
9:1	3.56	0.84	
10:1	3.10	0.89	

หมายเหตุ: * ค่า $p < 0.05$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงโดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

จากค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความสว่างที่ก่อให้เกิดความพึงพอใจให้ผู้เข้าร่วมอยากที่จะอยู่ในสถานที่แห่งจำลองที่มากที่สุดคือ อัตราส่วนความสว่าง 5:1 (ค่าเฉลี่ย = 6.50) รองลงมาคือ 4:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.98) 6:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.44) 3:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.16) 7:1 (ค่าเฉลี่ย = 4.80) 8:1 (ค่าเฉลี่ย = 4.12), 9:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.56) 2:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.54) 10:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.10) และ 1:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.22) ตามลำดับ

2.2 ผลการศึกษาความรู้สึกสบายในการเดินบนถนนสายนี้ภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกสบายในการเดินบนถนนสายนี้ภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติ ANOVA ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนความสว่างแตกต่างกันจะทำให้เกิดการตอบสนองของผู้เข้าร่วมการทดลองต่อความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) ดังตารางที่ 4

จากค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความสว่างที่ก่อให้เกิดความรู้สึกสบายให้ผู้เข้าร่วมอยากที่จะอยู่ในสถานที่แห่งจำลองที่มากที่สุดคือ อัตราส่วนความสว่าง 5:1 (ค่าเฉลี่ย = 6.34) รองลงมาคือ 4:1

(ค่าเฉลี่ย = 5.88) 3:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.06) 6:1 (ค่าเฉลี่ย = 4.96) 7:1 (ค่าเฉลี่ย = 4.16) 2:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.52) 8:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.38) 9:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.92) 10:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.62) และ 1:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.20) ตามลำดับ
ตารางที่ 4 ผลการศึกษาของคำถามความรู้สึกสบายในการเดินบนถนนของผู้เข้าร่วมจากอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ความส่องสว่าง	ความรู้สึกสบายในการเดินบนถนนสายนี้		
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	p-value
1:1	2.20	0.70	0.00**
2:1	3.52	0.79	
3:1	5.06	0.87	
4:1	5.88	0.75	
5:1	6.34	0.59	
6:1	4.96	1.01	
7:1	4.16	0.98	
8:1	3.38	0.83	
9:1	2.92	0.88	
10:1	2.62	0.85	

หมายเหตุ: * ค่า $p < 0.05$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงโดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

2.3 ผลการศึกษาความรู้สึกปลอดภัยในการเดินบนถนนสายนี้ภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน

แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกปลอดภัยบนถนนสายนี้ภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติ ANOVA ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนความสว่างแตกต่างกันจะทำให้เกิดการตอบสนองของผู้เข้าร่วมการทดลองต่อความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) ดังตารางที่ 5

จากค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความสว่างที่ก่อให้เกิดความรู้สึกปลอดภัยที่ผู้เข้าร่วมอยากที่จะอยู่ในสถานที่แห่งจำลองที่มากที่สุดคือ อัตราส่วนความสว่าง 5:1 (ค่าเฉลี่ย = 6.30) รองลงมาคือ 4:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.92) 3:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.00) 6:1 (ค่าเฉลี่ย = 4.94) 7:1 (ค่าเฉลี่ย = 4.26) 2:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.40) 8:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.40) 9:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.94) 10:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.70) และ 1:1 (ค่าเฉลี่ย = 1.88) ตามลำดับ

2.4 ผลคำถามความพึงพอใจทุกข้อภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน

แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรมในคำถามความพึงพอใจทุกข้อ ภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติ ANOVA ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนความสว่างแตกต่างกันจะทำให้เกิดการตอบสนองของผู้เข้าร่วมการทดลองต่อความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาของคำถามความรู้สึกปลอดภัยบนถนนของผู้เข้าร่วมจากอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ความส่องสว่าง	ความรู้สึกปลอดภัยบนถนนสายนี้		
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	p-value
1:1	1.88	0.80	0.00**
2:1	3.40	0.83	
3:1	5.00	0.88	
4:1	5.92	0.75	
5:1	6.30	0.58	
6:1	4.94	0.98	
7:1	4.26	1.03	
8:1	3.40	1.01	
9:1	2.94	0.98	
10:1	2.70	0.95	

หมายเหตุ: * ค่า $p < 0.05$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงโดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

จากค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความสว่างที่ก่อให้เกิดความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรมผู้เข้าร่วมใกล้เคียงกันโดยสูงที่สุดคือ 5:1 (ค่าเฉลี่ย = 6.38) รองลงมาคือ 4:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.93) 6:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.11) 3:1 (ค่าเฉลี่ย = 5.07) 7:1 (ค่าเฉลี่ย = 4.41) 8:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.63) 2:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.49) 9:1 (ค่าเฉลี่ย = 3.14) 10:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.81) และ 1:1 (ค่าเฉลี่ย = 2.10) ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันต่อพฤติกรรมของคนเดินทางเท้าและการระบุตัวตนของอาชญากรผลของการตอบสนองภายใต้อัตราส่วนความสว่างของ พื้นหลัง: ใบหน้า 10 ระดับ คือ 1:1 ถึง 10:1 ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยคือ 1. การระบุเพศได้ถูกต้อง 2. การระบุสีเสื้อผ้า-ผมได้ถูกต้อง และ 3. การระบุท่าที่ได้ถูกต้อง ที่สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7 ต่อไปนี้

ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันต่อพฤติกรรมของคนเดินทางเท้า การมองเห็นใบหน้าได้ชัดเจนถูกต้องเป็นการระบุท่าของผู้ต้องสงสัยว่าเป็นมิตรหรือคุกคามได้ถูกต้อง ในอัตราส่วนความสว่างที่ 4:1 และ 5:1 จะสูงที่สุดที่ร้อยละ 98 รองลงมาคือ อัตราส่วนความสว่างที่ 3:1 ที่ร้อยละ 86, อัตราส่วนความสว่างที่ 6:1 ที่ร้อยละ 68 อัตราส่วนความสว่างที่ 2:1 ที่ร้อยละ 44 อัตราส่วนความสว่างที่ 1:1 ที่ร้อยละ 36 อัตราส่วนความสว่างที่ 7:1 ที่ร้อยละ 22 และอัตราส่วนความสว่างที่ 8:1-10:1 สามารถระบุความถูกต้องเพียงร้อยละ 4

ตารางที่ 6 สรุปความรู้สึกลดภัยจากคำถามความพึงพอใจทุกข้อของผู้เข้าร่วมภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ความส่องสว่าง	ความรู้สึกลดภัยจากคำถามความพึงพอใจทุกข้อ		
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	p-value
1:1	2.10	0.75	0.00**
2:1	3.49	0.81	
3:1	5.07	0.87	
4:1	5.93	0.72	
5:1	6.38	0.58	
6:1	5.11	0.96	
7:1	4.41	1.01	
8:1	3.63	1.03	
9:1	3.14	0.94	
10:1	2.81	0.92	

หมายเหตุ: * ค่า $p < 0.05$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

** ค่า $p < 0.01$ หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงโดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ one-way ANOVA

ตารางที่ 7 ร้อยละพฤติกรรมของคนเดินทางเท้าและการระบุตัวตนของอาชญากรภายใต้อัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกัน

ข้อมูล	ร้อยละ	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
1. ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันต่อพฤติกรรมของคนเดินทางเท้า (การมองเห็นใบหน้าได้ชัดเจนถูกต้อง)		
1:1	36	64
2:1	44	56
3:1	86	14
4:1	98	2
5:1	98	2
6:1	68	32
7:1	22	78
8:1	4	96
9:1	4	96
10:1	4	96
2. ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่แตกต่างกันต่อการระบุตัวตนของอาชญากร		
การระบุเพศ (ทุกอัตราส่วนความสว่าง)	100	0
การระบุสีเสื้อผ้า-ผมได้ถูกต้อง (ทุกอัตราส่วนความสว่าง)	100	0

ตารางที่ 8 สรุปผลการทดลองอัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio)

ตัวแปรตาม	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1	7:1	8:1	9:1	10:1
2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่ต่างกันต่อความรู้สึกปลอดภัยของคนเดินทางเท้า										
1) ฉันรู้สึกพอใจที่จะต้องเดินเข้าไปในถนนสายนี้					✓					
2) ฉันรู้สึกสบาย ๆ ที่ถนนสายนี้					✓					
3) ฉันรู้สึกปลอดภัยบนถนนสายนี้					✓					
4) เฉลี่ยรวมทั้ง 3 คำถาม					✓					
2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่ต่างกันต่อพฤติกรรมของคนเดินทางเท้า										
1) การมองเห็นใบหน้าได้ชัดเจนถูกต้อง				✓	✓					
2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่ต่างกันต่อการระบุตัวตนของอาชญากร										
1) เพศ	ถูกต้องทั้งหมด									
2) การระบุสีผม-สีเสื้อผ้าได้ถูกต้อง	ถูกต้องทั้งหมด									

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความสว่างที่ต่างกันต่อการระบุตัวตนของอาชญากรผลของการตอบสนองภายใต้อัตราส่วนความสว่างของ พื้นหลัง : ใบหน้า 10 ระดับ คือ 1:1 ถึง 10:1 แสดงผลการระบุเพศ สีเสื้อผ้า-ผม และการระบุท่าทีของผู้กระทำผิด ผู้เข้าร่วมทุกคนสามารถระบุเพศของอาชญากรและการระบุสีเสื้อผ้า-ผมได้อย่างถูกต้องทั้งหมด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแสงสว่างและการป้องกันอาชญากรรมจากการทดลองหาค่าอัตราส่วนความสว่างที่ได้ผลดีที่สุด ต่อตัวแปรตาม 3 ตัวคือ 1. ความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม 3 คำถาม ค่าอัตราส่วนความสว่างที่ดีที่สุดคือ 5:1 2. พฤติกรรมคนเดินเท้า อยู่ในการมองเห็นใบหน้าได้ชัดเจนถูกต้อง ค่าอัตราส่วนความสว่างที่ดีที่สุดคือ 4:1 และ 5:1 และ 3. การระบุตัวตนของอาชญากร ทุกความส่องสว่างสามารถระบุเพศ สีผม-สีเสื้อผ้าได้ถูกต้องในทุกอัตราส่วน สูงกว่าอัตราส่วนความสว่างที่แนะนำโดยมาตรฐาน IES G-1-016 ที่ 4:1 สามารถมองเห็นได้ชัดเจนโดยที่การเกิดเงาไม่รบกวน

นอกเหนือจากการศึกษาบนพื้นที่ทางเท้าสาธารณะ พื้นที่อื่น ๆ เช่น สวนสาธารณะ ทางเดินริมน้ำรวมถึงทางเท้าในพื้นที่พักอาศัยส่วนบุคคลรวมถึงผู้เข้าร่วมในช่วงวัยอื่น ๆ ยังขาดการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อสร้างมาตรฐานความส่องสว่าง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้ทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) รหัส SCA-CO-2561-7572-TH

7. เอกสารอ้างอิง

- กองบรรณาธิการ M2F. (2561). แสงสว่างไม่เพียงพอ. <https://www.m2fnews.com/news/bkknews/column/yakbok/9658>
- กองอำนวยการรักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร. (2561). วิธีสังเกตบุคคลต้องสงสัย. <https://www.isoc.go.th/?p=10169>
- สำนักงานกิจการยุติธรรม. (2552). รายงานข้อมูลสถิติอาชญากรรมภาคประชาชนทั่วประเทศ พ.ศ. 2550. โครงการสำรวจ ปี พ.ศ. 2551. www.oja.go.th/TH/wp-content/uploads/2017/07/cjs01-1.pdf
- สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2550). *คู่มือการป้องกันอาชญากรรม โดยการออกแบบสภาพแวดล้อม*. โรงพิมพ์ตำรวจ.
- Blöbaum, A., & Hunecke, M. (2005). Perceived Danger in Urban Public SpaceThe Impacts of Physical Features and Personal Factors. *Environment and Behavior*, 37(4), 465-486. https://www.researchgate.net/publication/254088121_Perceived_Danger_in_Urban_Public_SpaceThe_Impacts_of_Physical_Features_and_Personal_Factors
- Boomsma, C., & Steg, L. (2014). Feeling Safe in the Dark: Examining the Effect of Entrapment, Lighting Levels, and Gender on Feelings of Safety and Lighting Policy Acceptability. *Environment and Behavior*, 46(2), 193 –212. <https://doi.org/10.1177/0013916512453838>
- Boyce, P. R., Eklund, N. H., Hamilton, B. J., & Bruno, L. D. (2000). Perceptions of safety at night in different lighting conditions. *Lighting Research & Technology*, 32(2), 79-91. https://www.researchgate.net/publication/245385238_Perceptions_of_safety_at_night_in_different_lighting_conditions
- Caminada, I. J. F., & Bommel, K. W. J. M. v. (1980). New lighting considerations for residential areas. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(3), 69-75.
- Cohen, H. H., & Sloan, G. D. (2016). The science behind codes and standards for safe pedestrian walkways: Lighting and visual cues. *Applied Ergonomics*, 52, 112-119. https://www.researchgate.net/publication/281680224_The_science_behind_codes_and_standards_for_safe_pedestrian_walkways_Lighting_and_visual_cues
- Davis, J. P., Valentine, T., Memon, A., & Roberts, A. J. (2015). Identification on the street: A field comparison of police street identifications and video line-ups in England. *Psychology Crime and Law*, 21(1), 1-35.

- <https://www.researchgate.net/publication/267875766>
_Identification_on_the_street_A_field_comparison_of_police_street_identifications_and_video_line-ups_in_England
- Day, K., Anderson, C., Powe, M., McMillan, T., & Winn, D. (2007). Remaking Minnie Street: The Impacts of Urban Revitalization on Crime and Pedestrian Safety. *Journal of Planning Education and Research*, 26, 315-331. https://www.researchgate.net/publication/238430223_Remaking_Minnie_Street_The_Impacts_of_Urban_Revitalization_on_Crime_and_Pedestrian_Safety
- Gosset, W. S. (1908). The Probable Error of a Mean. *Biometrika*, 6, 1-25. <https://www.jstor.org/stable/2331554>
- IESNA. (2003). *Guideline for Security Lighting for People, Property, and Public Spaces*. Security Lighting Committee. <https://webstore.ansi.org/standards/iesna/iesna03>
- IESNA. (2016). *Guide for Security Lighting for People, Property, and Critical Infrastructure*. United States of America: IESNA.
- Miller, L. K., Rowe, P. J., & Lund, J. (1992). Correlation of Eye Color on Self-Paced and Reactive Motor Performance. *Perceptual and Motor Skills*, 75(1), 91-95. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2466/pms.1992.75.1.91>
- Painter, K. (1994). The Impact of Street Lighting on Crime, Fear, and Pedestrian Street Use. *Security Journal*, 5(3), 116-124. https://popcenter.asu.edu/sites/default/files/137-painter-the_impact_of_street_lighting_on_crime_fear_an.pdf
- Painter, K. (1996). The influence of street lighting improvements on crime, fear and pedestrian street use, after dark. *Landscape and Urban Planning*, 35(2-3), 193-201. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0169204696003118>
- Painter, K., & Farrington, D. P. (1997). *The Crime Reducing Effect of Improved Street Lighting: The Dudley Project*. Harrow and Heston. https://popcenter.asu.edu/sites/default/files/141-Painter_and_Farrington.pdf
- Painter, K., & Farrington, D. P. (1999). STREET LIGHTING AND CRIME: DIFFUSION OF BENEFITS IN THE STOKE-ON-TRENT PROJECT. *Crime Prevention Studies*, 10, 77-122. <https://ojp.gov/ncjrs/virtual-library/abstracts/street-lighting-and-crime-diffusion-benefits-stroke-trent-project>
- Park, A. J., Calvert, T. W., Brantingham, P. L., & Brantingham, P. J. (2008). The Use of Virtual and Mixed Reality Environments for Urban Behavioural Studies. *PsychNology Journal*,

6(2), 119-130.

https://www.researchgate.net/publication/220168818_The_Use_of_Virtual_and_Mixed_Reality_Environments_for_Urban_Behavioural_Studies

Pavlich, G. (2009). The subjects of criminal identification. *PUNISHMENT & SOCIETY*, 11(2), 171-190. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1462474508101491>

Ranjith, G. (2005). Interferon- α -induced depression: when a randomized trial is not a randomized controlled trial. *Psychother Psychosom*, 74(6), 387-387. https://www.researchgate.net/publication/7521200_Interferon-a-Induced_Depression_When_a_Randomized_Trial_Is_Not_a_Randomized_Controlled_Trial

Sakip, S. R. M., Johari, N., & MohdSalleh, M. N. (2012). The Relationship between Crime Prevention through Environmental Design and Fear of Crime. *Social and Behavioral Sciences*, 68, 628-636. https://www.researchgate.net/publication/257718535_The_Relationship_between_Crime_Prevention_through_Environmental_Design_and_Fear_of_Crime

Thorn. (2017). *Technical Handbook* (P. T. B. H. C. M. MSLL Ed.). Australia: Thorn Lighting Main Offices Australia Thorn Lighting Pty Limited.

นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม: เรียนรู้จากรังนกกระจาบ Architectural Ecology: Learning from Baya Weaver Nests

วีระ อินพันทั้ง¹ และ ปริญญ มรรคสิริสุข^{2*}

¹นักวิชาการอิสระ ²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

Vira Inpuntung¹ and Prinya Mruksirisuk^{2*}

¹ Professor, Independent academic, Bangkok Yai, Bangkok, 10600

² Lecturer, Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Pathum Thani, 12110

*Email: prinya_m@rmutt.ac.th

Received: Jul 1, 2025

Revised: Oct 26, 2025

Accepted: Nov 20, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งทำความเข้าใจถึงการส่งผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่างสถาปัตยกรรมกับสิ่งแวดล้อม หรือที่นิยามว่า นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม วัตถุประสงค์หลักคือ การศึกษาสถาปัตยกรรมสัตว์-รังนกกระจาบ การหาความรู้จากรังนกกระจาบนี้อิงหลักการทางสถาปัตยกรรมเป็นกรอบแนวคิดและการวิเคราะห์ข้อมูล ครอบคลุมประเด็นด้านฤดูกาลทำรัง สถานที่ตั้งรัง วัสดุและวิธีการสร้างรัง ลักษณะพื้นที่และรูปทรงของรัง ตลอดจนหน้าที่ใช้สอย โดยเลือกศึกษากรณีรังนกกระจาบธรรมดา ด้วยวิธีการสำรวจภาคสนาม ทั้งการสังเกตการณ์การทำรังของนกกระจาบและการเก็บรัง (ที่เลิกใช้งานแล้ว) มาศึกษารายละเอียดในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาปรากฏว่า นกกระจาบซึ่งมีถิ่นอาศัยอยู่ตามท้องไร่ ท้องนา พุ่มหญ้า ป่าละเมาะ มีฤดูกาลทำรัง ในช่วงต้นฤดูฝน อันเป็นช่วงที่มีความอุดมสมบูรณ์ทั้งวัสดุในการทำรัง-เส้นหญ้า และอาหารเลี้ยงดูลูกอ่อน- เมล็ดธัญพืชและแมลงเล็ก ๆ สถานที่ทำรังมักเลือกต้นไม้ที่มีหนามและขึ้นอยู่ชายน้ำซึ่งเป็นทำเลที่ปลอดภัย ยากแก่การเข้าถึงของศัตรู โดยรวมกลุ่มทำรังอยู่บนต้นไม้เดียวกันนับเป็นสิบ ๆ รังเพื่อช่วยกันปกป้องผองภัย นกกระจาบใช้เส้นหญ้าในละแวกที่อยู่อาศัยนั้นเป็นวัสดุหลักในการสร้างรังด้วยวิธีการสาน จนเป็นรังที่มีรูป น้ำเต้าคอยาว ซึ่งคอที่ยาวลงมาด้านล่างนี้เป็นปล่องทางเข้ารัง มีพื้นที่เลี้ยงดูลูกอ่อนอยู่ภายในอย่างดี บรรลุถึง ทั้งความสวยงาม ความแข็งแรงทนทาน และความเหมาะสมต่อประโยชน์ใช้สอย ทั้งหมดนี้ สะท้อนการก่อรูป สิ่งสร้างที่สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมธรรมชาติได้เป็นอย่างดี และเป็นองค์ความรู้ที่สามารถประยุกต์สู่การ สร้างสรรค์สถาปัตยกรรมจากฝีมือมนุษย์ที่สอดคล้องกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อมได้ในลำดับต่อไป

คำสำคัญ: นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม, สถาปัตยกรรมสัตว์, รังนกกระจาบ

Abstract

This research focuses on understanding the interrelationships between architecture and the environment, defined as architectural ecology. The main objective is to study the animal architecture of the baya weaver nests. The research adopts architectural principles as the framework for analyzing the nests, considering aspects such as nesting seasons, locations, materials, construction methods, nest morphology, and functions. The results found that in Nesting Season: Baya weavers typically build nests during the early rainy season, benefiting from abundant nesting materials (grass stems) and food sources (grains and small insects). Location: Nests are often found on thorny trees near water sources, providing safety from predators. Multiple nests are built in clusters on the same tree for collective protection. Materials and Construction: The birds use locally available grass stems as the primary material, weaving them into elongated gourd-shaped nests. The long neck of the nest serves as an entrance tunnel, while the inner chamber is designed for nurturing the young, ensuring functionality, strength, and aesthetic appeal. This study highlights the intricate relationship between natural architecture and environmental adaptation. The findings could inspire sustainable human architectural designs that harmonize with the natural environment, drawing from the efficient and eco-friendly principles observed in further studies.

Keywords: Architectural ecology, Animal architecture, Baya weaver nests

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จะโดยรู้อยู่แก่ใจหรือไม่รู้อะไรเลยก็ตาม มนุษย์ทำลายสิ่งแวดล้อมโลกอันเป็นบ้านของตัวเองลงไปทุกขณะ ผลสะท้อนอันเกิดจากการทำลายสิ่งแวดล้อม (ธรรมชาติ) ดังกล่าวปรากฏชัดในการถิ่ตัวสูงขึ้นของอุณหภูมิโลกตามลำดับเรื่อยมา ซึ่งรู้จักกันทั่วไปในนามวิกฤตการณ์ “ภาวะโลกร้อน”

“หากมนุษย์ทำลายโลก

ก็เท่ากับว่า

มนุษย์กำลังทำลายบ้านหลังสุดท้ายของตัวเอง”

(พระเมธีวชิโรดม (ว. วชิรเมธี), 2565)

มีอาจปฏิเสธได้ว่า หนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้สิ่งแวดล้อมสูญหายไป คือการถูกแทนที่ด้วยบ้านเมือง ซึ่งเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของมนุษย์ โดยมีสถาปัตยกรรมทั้งหลายแหล่เป็นส่วนประกอบหลัก กระบวนการก่อสร้างสถาปัตยกรรมเริ่มต้นจากการโค่น ขุด คั่นหาวัตถุดิบจากพื้นผิวโลกสู่โรงงาน ผ่านการแปรรูปเป็นวัสดุก่อสร้างขนส่งมายังสถานที่ปลูกสร้าง สร้างอาคารทับลงบนพื้นผิวโลก และใช้สอยอาคารต่อเนื่องไปยาวนานทุก

กระบวนการล้วนสร้างผลกระทบทำลายสิ่งแวดล้อมโลก ทั้งจากการทำลายสิ่งแวดล้อมโดยตรงและการเผาผลาญพลังงานแล้วปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนออกสู่บรรยากาศ

มีอาจหยุดยั้งการก่อสร้างสถาปัตยกรรมใด ๆ บนโลกใบนี้ได้ “กิจกรรมการก่อสร้างและการใช้งานอาคารเป็นกิจกรรมที่ใช้พลังงานมหาศาล และล้วนปล่อยก๊าซเรือนกระจก... ดังนั้น การช่วยบรรเทาภาวะโลกร้อนได้ก็คือการสร้างอาคารที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมากขึ้น” (อรรถน์ เศรษฐบุตร, 2557) ทั้งนี้ ในวงการสถาปัตยกรรมมีกระแสความคิดในการสร้างสรรค์สถาปัตยกรรมที่ลดการส่งผลกระทบทำลายสิ่งแวดล้อมมากระหนึ่งแล้ว เช่น แนวคิดเรื่องสถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable architecture) สถาปัตยกรรมสีเขียว (Green architecture) เป็นต้น

แต่แนวทางดังกล่าวข้างต้นเป็นการจำกัดกรอบที่เน้นพิจารณาเฉพาะตัวอาคารเป็นหลัก ไม่ได้มองเชิงความสัมพันธ์ระหว่างอาคารกับสิ่งแวดล้อม หรือมองเชิงผลกระทบที่ต่างมีซึ่งกันและกันระหว่างอาคารและสิ่งแวดล้อม อนึ่ง การพิจารณาถึงความสัมพันธ์ซึ่งกันระหว่างสิ่งที่มนุษย์สร้างกับสิ่งแวดล้อม เข้าข่ายองค์ความรู้แนวนิเวศวิทยาวัฒนธรรม (Cultural ecology) โดยมองว่าวัฒนธรรมซึ่งครอบคลุมทั้งวัฒนธรรมทางวัตถุและจิตใจนั้น เป็นเครื่องมือช่วยให้มนุษย์ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ สถาปัตยกรรมเป็นหนึ่งในวัฒนธรรมทางวัตถุ เมื่อจำกัดกรอบเจาะจงศึกษาผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่างสถาปัตยกรรมกับสิ่งแวดล้อม จึงเรียกเป็นการเฉพาะว่า นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม (Architectural ecology) (ปริญญา มรรคศิริสุข และ วีระ อินพันทัง, 2563) อย่างไรก็ตามความรู้เชิงนิเวศวิทยาสถาปัตยกรรมซึ่งว่าด้วยความเกี่ยวเนื่องกันระหว่างมนุษย์ สถาปัตยกรรม และสิ่งแวดล้อม ยังเป็นเรื่องที่ไม่มีการศึกษาโดยตรงอย่างจริงจัง บทความนี้มุ่งย้อนกลับไปศึกษาสถาปัตยกรรมสัตว์-สิ่งสร้างที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยแท้ สิ่งสร้างเช่นรวงรังของสัตว์นั้นเกิดขึ้นจากปัจจัยแห่งธรรมชาติที่แวดล้อมอยู่โดยรอบชีวิตของสัตว์นั้น ๆ สิ่งสัตว์นำมาสร้างรวงรังล้วนมีอยู่ในละแวกที่สัตว์ใช้ชีวิตอยู่ รวงรังของสัตว์สอดคล้องต้องตามหลักการของสิ่งสร้างที่ยั่งยืน ในประการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และท้ายที่สุดจะเสื่อมสลายกลายเป็นดินดังเดิม (Biodegradable) (Ingo Arndt, 2013) สถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อมอย่างสถาปัตยกรรมสัตว์จึงควรเป็นสิ่งสร้างลำดับต้น ๆ ในการศึกษาเชิงนิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม ซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาสถาปัตยกรรมที่สร้างโดยมนุษย์ในลำดับต่อ ๆ ไป

2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย คือ

1. ศึกษาสถาปัตยกรรมสัตว์ ซึ่งเป็นสิ่งสร้างที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในที่นี้เน้นศึกษารังนกกระจาบ เพื่อตอบคำถามว่า รังนกกระจาบก่อร่างสร้างขึ้นได้อย่างไร อาศัยหลักพื้นฐานทางสถาปัตยกรรมอันเป็นสิ่งสร้างโดยมนุษย์ในการทำความเข้าใจ ในประเด็นฤดูกาล สถานที่ วิธีการสร้าง และลักษณะทางกายภาพ

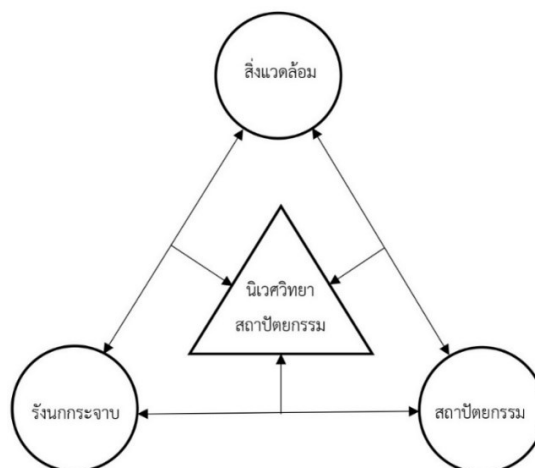
2. เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างรังนกกระจาบกับสิ่งแวดล้อมบริเวณถิ่นอาศัย เพื่อตอบคำถามว่า รังนกกระจาบสอดคล้องกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อมอย่างไร หรืออีกนัยหนึ่ง ระบบนิเวศของสถาปัตยกรรมสัตว์-รังนกกระจาบเป็นอย่างไร

3. กรอบแนวคิด

ในการศึกษาใช้หลักการทางนิเวศวิทยาวัฒนธรรม (Cultural ecology) เป็นฐานความคิด ซึ่งเป็นการนำแนวทางนิเวศวิทยามาใช้อธิบายงานทางมานุษยวิทยา ตามที่จูเลียน เอช. สตวอด (Julian H. Steward) ชี้ให้เห็นว่า สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและวัฒนธรรม (ของมนุษย์) มีความเกี่ยวพันต่อกันและกัน (ชนัญ วงษ์วิภาค, 2532) สอดคล้องกับความหมายของนิเวศวิทยา (วัฒนธรรม) ตามที่พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน ได้ให้ความหมายไว้ว่า “(มนุษย์) การศึกษาเกี่ยวกับการดัดแปลงวัฒนธรรมของมนุษย์ให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม” ทั้งนี้ สถาปัตยกรรมเป็นหนึ่งในวัฒนธรรมที่จับต้องได้ ในการศึกษาเจาะลึกถึงความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมกับสิ่งแวดล้อม การศึกษาในครั้งนี้เป็นการย้อนกลับไปทำความเข้าใจสิ่งสร้างโดยสัตว์ หรืออีกนัยหนึ่ง ‘สถาปัตยกรรมสัตว์’ ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ กล่าวได้ว่า เป็นการกลับไปเรียนรู้สิ่งสร้างตามแนวนิเวศวิทยา บนสมมติฐานว่า สิ่งสร้างโดยสัตว์สอดคล้องกับหลักการเรื่องความยั่งยืน มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Ingo Arndt, 2013) ทั้งนี้ สัตว์สร้างรังเทียบได้กับมนุษย์สร้างบ้าน ซึ่งทำขึ้นเพื่อประโยชน์สุขต่อการดำรงชีวิตท่ามกลางสิ่งแวดล้อม ประเด็นนี้นำไปสู่การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างรังนกกระจาบ สิ่งแวดล้อม และสถาปัตยกรรม กล่าวคือ

- ความสัมพันธ์ระหว่างรังนกกระจาบ กับ สิ่งแวดล้อม
- ความสัมพันธ์ระหว่างรังนกกระจาบ กับ สถาปัตยกรรม
- ความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรม กับ สิ่งแวดล้อม

ด้วยวิธีนี้ หลักการที่ประมวลสรุปได้จากการศึกษาสิ่งสร้างโดยสัตว์ ย่อมสามารถนำไปประยุกต์สู่การศึกษาสถาปัตยกรรมที่มนุษย์สร้างสรรค์ในประเด็นความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ-นิเวศวิทยา สถาปัตยกรรมได้ในลำดับต่อไป (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงกรอบแนวคิด

4. การดำเนินงานวิจัย

การแสวงหาความรู้เกี่ยวกับรังนกกระจาบน้ำเป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ มีกระบวนการวิจัยตามขั้นตอน ได้แก่ 1) รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง 2) กำหนดพื้นที่ในการศึกษาวิจัย 3) เก็บข้อมูลปฐมภูมิจากพื้นที่วิจัย ด้วยการสังเกตการณ์ บันทึกภาพ และเก็บรังนกกระจาบน้ำมาศึกษารายละเอียดในห้องปฏิบัติการ 4) วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อทำความเข้าใจรายละเอียดของสถาปัตยกรรมสัตว์-รังนกกระจาบน้ำและสิ่งแวดล้อมของถิ่นที่อยู่อาศัย และ 5) สังเคราะห์ข้อมูล ประมวลความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมสัตว์ สถาปัตยกรรมมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 พื้นที่วิจัย

การเลือกพื้นที่วิจัยใช้วิธีเลือกแบบแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยเลือกย่านชนบทของอำเภอเมืองฯ และพื้นที่ต่อเนื่องในอำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี เป็นพื้นที่วิจัย ลักษณะโดยทั่วไปเป็นทุ่งนา ป่าละเมาะ ที่มีต้นไม้ใหญ่ขึ้นอยู่บ้าง และมีบ้านเรือนปลูกอยู่ห่าง ๆ ตา ซึ่งในการสำรวจเบื้องต้น พบว่าเป็นแหล่งที่ยังคงมีฝูงนกกระจาบน้ำบินไป-มาเป็นปกติวิสัย และยังคงมีรังนกกระจาบน้ำแขวนห้อยอยู่บนกิ่งไม้ไม่น้อย สะท้อนความเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยอันเหมาะสมของเหล่านกชนิดนี้ได้เป็นอย่างดี

4.2 ระยะเวลาในการวิจัย

การเก็บข้อมูลภาคสนามกำหนดดำเนินการในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ.2566 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน อันเป็นช่วงเวลาที่นกกระจาบน้ำทำรัง-จับคู่ หรืออีกนัยหนึ่งอยู่ในช่วงฤดูผสมพันธุ์ (นอกฤดูผสมพันธุ์ นกจะไม่ทำรัง โดยเกาะนอนตามกิ่งไม้) ช่วงเวลาดังกล่าวจะสังเกตเห็นรังนกกระจาบน้ำ ทั้งที่เพิ่งทำและทำเสร็จแล้วแขวนห้อยอยู่ตามต้นไม้ใหญ่น้อย โดยมีตัวนกกระจาบน้ำส่งเสียงเจี๊ยะจ้าวบินเข้า-ออกง่วนอยู่กับการทำรังอย่างเห็นได้ชัด

4.3 ประชากรในการวิจัย

ในจำนวนนกกระจาบน้ำที่มีอยู่ในประเทศไทย 3 ชนิด คือ นกกระจาบน้ำธรรมดา นกกระจาบน้ำอกลาย และ นกกระจาบน้ำทอง ซึ่งแต่ละชนิดมีขนาดตัวใกล้เคียงกัน แต่มีลักษณะสีขนแตกต่างกันบ้างตามสายพันธุ์ รวมทั้งมีลักษณะรังที่แตกต่างกันไปด้วย โดยรังนกกระจาบน้ำธรรมดานับว่าสวยงามและเป็นที่รู้จักและคุ้นตาคนทั่วไปมากที่สุด (ภาพที่ 2) งานวิจัยนี้จึงเจาะจงเลือกรังนกกระจาบน้ำธรรมดาเป็นกรณีศึกษาต่อไป



ภาพที่ 2 รังนกกระจาบบรรณดา

4.4 การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลปฐมภูมิด้วยวิธีการสำรวจภาคสนามในบริเวณพื้นที่วิจัยที่กำหนดไว้ โดยเฉพาะบริเวณที่มีรังกนกระจาบบรรณดาอยู่บนต้นไม้ ด้วยการสังเกตการณ์พร้อมทั้งบันทึกภาพถ่ายสถานที่ทำรังและวิธีการสร้างรัง (โดยไม่รบกวนวิถีชีวิตของนกกระจาบบแต่อย่างใด) พร้อมทั้งเก็บรังนกกระจาบบที่ไม่มีใช้งานหรือเลิกการใช้งานแล้วจำนวน 6 รัง เพื่อนำมาศึกษารายละเอียด ทั้งลักษณะภายนอกทั่วไปและการผ่ารัง เพื่อศึกษาลักษณะภายใน

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลอิงหลักการทางสถาปัตยกรรมศาสตร์เป็นต้นแบบ ประกอบด้วยหลายวิธีการร่วมกัน ดังนี้

- การวิเคราะห์ที่ตั้ง (Site analysis) เน้นศึกษาสถานที่ทำรังของนกกระจาบบและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เชื่อมโยงกับเงื่อนไข/ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- การวิเคราะห์วัสดุ (Material analysis) เพื่อแยกแยะประเภทของวัสดุที่นำมาสร้างรังและค้นหาแหล่งที่มาของวัสดุแต่ละประเภท รวมทั้งคุณสมบัติของวัสดุนั้น ๆ
- การวิเคราะห์ลักษณะ (Morphological analysis) เพื่อทำความเข้าใจมิติทางกายภาพของรูปทรง และองค์ประกอบต่าง ๆ ของรัง
- การวิเคราะห์การใช้งาน (functional analysis) เพื่อทำความเข้าใจหน้าที่ของพื้นที่ภายในรัง รวมทั้งหน้าที่ขององค์ประกอบต่าง ๆ ของรัง

5. ผลการศึกษา

5.1 สถาปัตยกรรมสัตว์: รังนกระจาบ

การศึกษารายละเอียดของสถาปัตยกรรมสัตว์-รังนกระจาบ ครอบคลุมทั้งประเด็นด้านฤดูกาลทำรัง สถานที่ทำรัง วิธีการสร้างรัง และลักษณะทางกายภาพ ปรากฏผล ดังนี้

5.1.1 ฤดูกาลทำรัง

นกระจาบก็เช่นเดียวกับนกทั่วไป ตามปกติวิสัยจะใช้ชีวิตอาศัยอยู่ตามแหล่งหากิน ยามค่ำคืนก็อาศัยกิ่งไม้เป็นคอนในการเกาะนอน จะทำรังอยู่อาศัยเฉพาะในระยะออกไข่ กกไข่ และเลี้ยงดูลูกอ่อนเท่านั้น ช่วงเวลาทำรังของนกระจาบอยู่ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม (ปศุสัตว์.คอม, ม.ป.ป.) อันเป็นฤดูผสมพันธุ์ของนกชนิดนี้ ซึ่งเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูฝนของประเทศไทย ในช่วงเวลาดังกล่าวจะเห็นนกระจาบรวมกลุ่มกันทำรังนับเป็นสิบ ๆ รังอยู่บนต้นไม้เดียวกัน เมื่อหมดฤดูกาลทำรัง เหล่านกระจาบจะทิ้งรังไว้เบื้องหลัง และพากันรวมกลุ่มบินออกหากินเมล็ดธัญพืชและแมลงเล็ก ๆ

5.1.2 สถานที่ทำรัง

บริเวณพื้นที่ที่เป็นทำเลทำรังของนกระจาบมีลักษณะเป็นท้องไร่ ท้องนาทุ่งหญ้า ป่าละเมาะ (ไม่ใช่ป่าดิบ) ซึ่งก็คือพื้นที่ปลูกข้าวและพืชไร่ของเกษตรกรนั่นเอง มักมีแหล่งน้ำและต้นไม้ใหญ่ขึ้นแซมสลับอยู่ทั่วไป โดยมีบ้านเรือนปลูกอยู่ห่าง ๆ ตา กล่าวได้ว่าพื้นที่หากินของเกษตรกรคือสิ่งแวดล้อมที่นกระจาบชอบทำรัง ในบริเวณพื้นที่เช่นนี้ มักเห็นรังนกระจาบแขวนห้อยอยู่บนต้นไม้เดียวกัน 20-30 รัง หรือมากกว่านั้นก็มี เป็นที่น่าสังเกตว่า รังนกระจาบมักอยู่บนต้นไม้ที่ประกอบด้วยคุณลักษณะ ดังนี้

- ต้นไม้ที่มีหนาม
- ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ชายน้ำ
- ต้นไม้เดี่ยวที่อยู่กลางทุ่งโล่ง

ในบริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดเพชรบุรีพบว่านกระจาบเลือกทำรังบนต้นไม้ซึ่งล้วนมีหนาม เช่น มะขามเทศ ไมยราบยักษ์ รวมทั้งการทำรังที่พุ่มหนามพุดด้วย (ภาพที่ 3) ในประเทศอื่น ๆ ที่มีนกระจาบอาศัยอยู่ก็เช่นกัน มีรายงานว่า มันชอบทำรังบนต้นอาคาเซีย (Acacia tree) ซึ่งเป็นต้นไม้ที่มีหนาม (Lina D., 2014) พร้อมกันนี้ ต้นไม้ที่กล่าวข้างต้นมักขึ้นอยู่ชายน้ำ อย่าง ลำคลอง หนอง บึง หรือไม้ก็เป็นต้นไม้ที่ขึ้นอยู่โดด ๆ กลางทุ่งโล่ง ห่างจากต้นไม้อื่น ๆ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 นกกระจาบทำรังบนต้นหนามพุดोरिमน้ำ



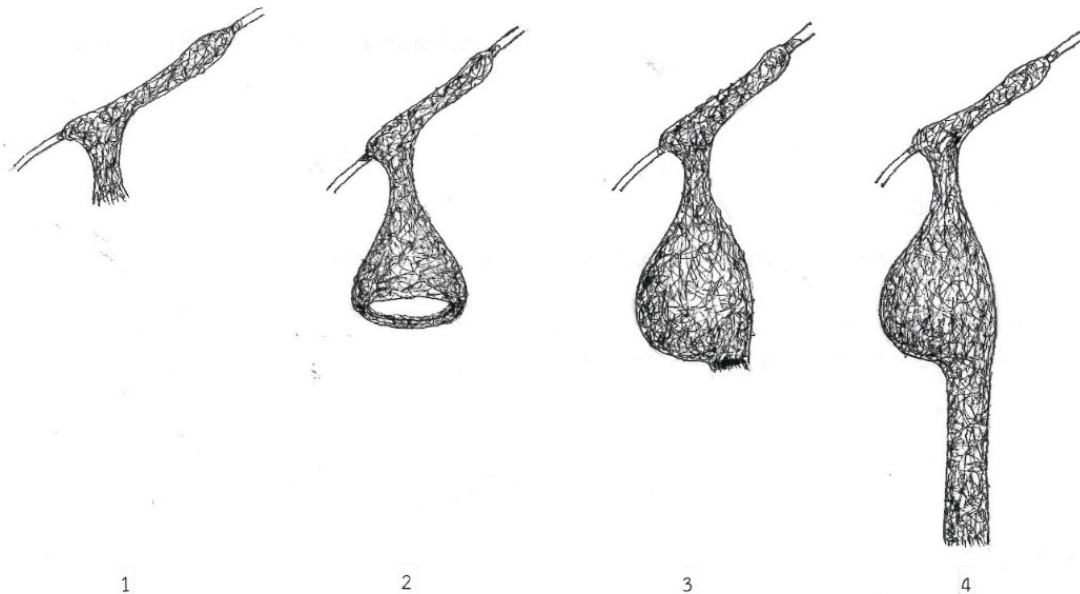
ภาพที่ 4 นกกระจาบทำรังบนต้นมะขามเทศกลางทุ่งโล่ง

5.1.3 วิธีการสร้างรัง

นกกระจาบใช้ใบไม้ที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว โดยเฉพาะใบของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าว กล้วย เป็นต้น เป็นวัสดุหลักในการทำรัง รวมทั้งอาจใช้ใบหรือส่วนที่เป็นเส้นใยของพืชตระกูลปาล์ม เช่น มะพร้าว ตาล เป็นต้น โดยนกจะใช้ปากที่แข็งแรงฉีกใบออกเป็นเส้นยาว (ไม่ติดแกนใบ) เส้นหนึ่ง ๆ อาจยาวถึง 20-60 เซนติเมตร (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ม.ป.ป.) แล้วคาบกลับมาสร้างรังด้วยวิธีการสานให้เส้นใบไม้สอดขัดสลับกันไปมา

โดยมีปากและตีนเป็นเครื่องมือในการสร้าง นอกเหนือจากนี้ ยังพบว่ามีการนำมูลวัว-ควายหรือโคลนมาฉาบยาพื้นผิวบางส่วนภายในรังด้วย

นกกระจาบสร้างรังลักษณะเป็นกระเปาะคล้ายรูปน้ำเต้าที่มีคอยาวลงมาด้านล่าง กว่าจะมาเป็นรังที่มีลักษณะสมบูรณ์ดังกล่าว มีขั้นตอนการสร้างแบ่งได้เป็น 4 ระยะ (ภาพที่ 5) ดังนี้ ระยะที่ 1 แขนงรัง ระยะที่ 2 รูปหมวกยอดแหลม ระยะที่ 3 รูปน้ำเต้า และ ระยะที่ 4 รูปน้ำเต้าคอยาว



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการสร้างรังนกกระจาบ 4 ระยะ

ระยะที่ 1 แขนงรัง การสร้างรังของนกกระจาบเริ่มต้นจากการใช้เส้นหญ้าที่แข็งแรงและความยาวมากมาร้อยพันไปมาที่ปลายกิ่งไม้หลาย ๆ รอบ และทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จนมีความแน่นหนา มั่นคง ขั้นตอนนี้มีความสำคัญเพราะจะต้องรับน้ำหนักรังที่แขวนห้อยอยู่ให้ได้ ไม่หลุดร่วงเสียก่อนแม้จะถูกลมพัดแกว่งไปมาอยู่บ่อย ๆ

ระยะที่ 2 รูปหมวกยอดแหลม เมื่อผูกมัดที่แขวนรังได้มั่นคงแข็งแรงดีแล้ว นกจะสร้างรังห้อยลงมาจากจุดแขวนค้อย ๆ ขยายบานออกด้านล่างจนมีลักษณะคล้ายหมวกยอดแหลม จากนั้นจะใช้เส้นหญ้าสานถักเป็นห่วงห้อยไว้คล้ายสายรัดคางของหมวก ซึ่งจะกลายเป็นคอนสำหรับเกาะในลำดับต่อไป เป็นอันเสร็จการสร้างรังระยะที่ 2

หลังจากการสร้างรังระยะที่ 2 แล้ว ตัวผู้จะหยุดสร้างรัง (ประมาณ 2 วัน) แล้วบินออกไปหาเกี้ยวพาราสีนกตัวเมีย นกตัวเมียจะบินตามมาที่รังและเริ่มทำการทดสอบ ด้วยการบินไปเกาะที่คอนแล้วจิกดึงเส้นหญ้าที่ถักสานไว้ หากไม่แข็งแรง เส้นหญ้าหลุดลุ่ยออกมา ตัวเมียจะไม่ยอมจับคู่ด้วย แต่ถ้าหากรังแข็งแรงดีก็จะยอมจับคู่ผสมพันธุ์ด้วย

ระยะที่ 3 รูปน้ำเต้า กรณีที่รังผ่านการทดสอบและเป็นที่ยอมรับของนกตัวเมีย การจับคู่ผสมพันธุ์จะเกิดขึ้นที่บริเวณคอนของรังนั่นเอง หลังจากนั้น นกตัวผู้จะบินไปคาบเส้นหญ้าที่ยาวแล้วเทียวเล่าเพื่อนำมาสานรังต่อลงมา จนมีลักษณะเป็นกระเปาะคล้ายรูปน้ำเต้าห้อยแขวนอยู่กับปลายกิ่งไม้ โดยมีแอ่งสำหรับวางไข่และเป็นที่อยู่ของลูกอ่อนอยู่ด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งเป็นช่องทางเข้า-ออก ลักษณะเป็นรูกลมขนาดพอดี ๆ กับตัวนก

ระยะที่ 4 รูปน้ำเต้าคอยาว ถัดจากนั้นเป็นการต่อช่องทางเข้ารังให้เป็นปล่องยาวลงมาด้านล่าง โดยนกกระจาบจะเปลี่ยนวัสดุในการสานจากเส้นหญ้าเป็นรกตาล (เส้นใยที่โคนกาบของใบตาล) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นกลม เรียวเล็ก แต่มีความแข็ง อยู่ตัว ไม่อ่อนนิ่มเหมือนเส้นของใบข้าวหรือหญ้า ปล่องทางเข้ารังเป็นการสานแบบโปรง เส้นใยสอดประสานกันบาง ๆ การใช้รกตาลจึงทำให้แข็งแรง อยู่ตัว ไม่ย้วยและเสียรูปได้ง่าย

ทั้งนี้ การสร้างรังจากระยะที่ 1-4 ใช้เวลาประมาณ 2-2 ½ สัปดาห์ (ปศุสัตว์.คอม, ม.ป.ป.; วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ม.ป.ป.) รังนกกระจาบที่แข็งแรงและสวยงามก็เสร็จสมบูรณ์ พร้อมทั้งจะทำหน้าที่พุ่มพืกลูกอ่อนต่อไป

5.1.4 ลักษณะทางกายภาพ

รังนกกระจาบมีลักษณะโดยรวมเป็นกระเปาะคล้ายรูปน้ำเต้าที่มีคอยาวห้อยลงมาด้านล่าง (ภาพที่ 6) โดยมีส่วนบนซึ่งแขวนอยู่กับต้นไม้เป็นจุดเริ่มต้น แล้วค่อย ๆ ขยายทรงโดยรอบบานลงเบื้องล่าง ส่วนสำคัญเป็นกระเปาะซึ่งเป็นส่วนขยายกว้างที่สุดของรัง ที่ด้านหนึ่งของกระเปาะมีลักษณะเป็นท่อที่ต่อยาวลงมาด้านล่างใช้เป็นปล่องทางเข้าออก ปล่องทางเข้ารังนี้อาจมีความยาวถึง 20 เซนติเมตรหรือมากกว่า ตรงส่วนของกระเปาะนั้นภายในเป็นห้องกลวง มีแอ่งสำหรับวางไข่ กกไข่ และเป็นที่อยู่อาศัยของลูกอ่อน (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 6 ลักษณะของรังนกกระจาบ



ภาพที่ 7 ภาพตัดแสดงพื้นที่ภายในร่าง

5.2 นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรมสัตว์

นิเวศวิทยานี้เน้นว่าด้วยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมของถิ่นที่อยู่ สำหรับการศึกษานี้มุ่งความสนใจไปที่รังนกกระจาบซึ่งมันสร้างขึ้นเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยพุ่มฟักลูกอ่อน รังนกกระจาบเป็นตัวแทนสถาปัตยกรรมสัตว์ที่สะท้อนวิถีชีวิตท่ามกลางสิ่งแวดล้อม จึงกำหนดกรอบการมองที่ความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมสัตว์-รังนกกระจาบกับสิ่งแวดล้อมบริเวณสถานที่ทำรัง

5.2.1 ความสัมพันธ์เชิงเวลา สถานที่ และสิ่งแวดล้อม

ช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นฤดูผสมพันธุ์ของนกกระจาบนั่น เป็นช่วงเวลาที่น่าทำอุดมสมบูรณ์ ต้นพืชชนิดต่าง ๆ เจริญงอกงาม โดยเฉพาะต้นข้าวและหญ้าอันเป็นวัสดุทำรังมีใบยาวเรียวยาวเขียวจี ขึ้นเป็นดงเห็นได้หนาตา มีให้นกเก็บเกี่ยวมาทำรังได้อย่างไม่ขาดแคลน ทั้งนี้ นกจะหาเก็บใบไม้จากบริเวณที่ไม่ไกลจากสถานที่ทำรังนัก หรืออีกนัยหนึ่ง ใช้วัสดุท้องถิ่น ซึ่งง่ายต่อการเก็บเกี่ยวมาใช้ทำรัง ไม่ต้องสิ้นเปลืองเวลาในการหาและขนวัสดุ (การใช้วัสดุจากไกล ๆ ย่อมสิ้นเปลืองพลังงานในการขนส่ง)

อีกประการหนึ่ง ช่วงแห่งความอุดมแน่นทำในฤดูฝนนั้น เป็นระยะเวลาที่เกษตรกรทำไร่ทำนา ในไม่ช้าก็จะให้ผลผลิตเป็นเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ ซึ่งไม่เพียงเป็นอาหารของมนุษย์เท่านั้น แต่ยังเป็นอาหารหลักของนกกระจาบในเวลาเดียวกันด้วย นอกเหนือจากนี้ ยังเป็นฤดูที่มีหนอนและแมลงเล็ก ๆ มากมาย ซึ่งแม่มักใช้เป็นอาหารเลี้ยงลูกอ่อน

การทำรังในช่วงฤดูฝนนับว่าเอื้อต่อวิถีชีวิตของนกกระจาบเป็นอย่างยิ่ง ย่อมทำให้มีโอกาสพุ่มฟักลูกอ่อนให้รอดปลอดภัย เติบโตเป็นนกเต็มวัยได้ในอัตราสูง อันเป็นปัจจัยสำคัญในการสืบสานเผ่าพันธุ์ให้ดำรงอยู่ต่อไป

สำหรับสถานที่ทำรังซึ่งนกกระจาบเลือกทำรังอยู่บนต้นไม้ที่มีหนาม ทำให้ศัตรูที่จะมาขโมยกินไข่และลูกอ่อน อย่าง กิ้งก่า หนู และงู เป็นต้น เข้าถึงรังได้ยาก เพราะต้องฝ่าดงหนามของต้นไม้เข้าไป นอกจากเป็นต้นไม้ที่มีหนามแล้ว ต้นไม้นั้นยังขึ้นอยู่ชาน้ำอีกด้วย ย่อมเป็นอุปสรรคต่อศัตรูในการผ่านน้ำเข้าไป หรือหากสามารถฝ่าเข้าไปถึงต้นไม้ได้ การปีนป่ายท่ามกลางคหนามอาจพลัดพลั้งและตกลงน้ำได้โดยง่าย หากไม่เป็นต้นไม้หนามที่อยู่ริมน้ำ ก็เป็นต้นไม้หนามที่อยู่กลางทุ่งโล่ง ในกรณีหลังนี้ ศัตรูจะเข้าถึงได้ก็ต่อเมื่อเคลื่อนตัวผ่านพื้นที่โล่งเข้ามาเท่านั้น นอกจากจะเป็นอันตรายต่อตัวมันเองแล้ว ยังเป็นที่สังเกตเห็นได้ง่ายจากฝูงนกกระจาบอีกด้วย ทำให้สามารถส่งเสียงร้องเตือนภัยให้แก่กันได้ก่อนที่ศัตรูจะจู่โจมเข้าถึงรัง

นอกเหนือจากนี้ ยังมีข้อสังเกตเพิ่มเติมอีกว่า บนต้นไม้ที่เลือกแล้วนั้น ตำแหน่งที่แขวนรังไม่ได้ สะเปะสะปะกระจายไปทั่ว หากแต่มีความเฉพาะเจาะจง กล่าวคือ

- รังรวมกลุ่มอยู่บนต้นไม้เดียวกันนับเป็นสิบ ๆ รัง
- รังส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันออกของต้นไม้
- รังแขวนห้อยอยู่ที่ส่วนปลายของกิ่งไม้

การที่นกกระจาบซึ่งเป็นนกขนาดเล็กรวมกลุ่มอยู่ด้วยกัน สามารถช่วยกันเป็นหูเป็นตายามเมื่อมีศัตรูเข้าใกล้ และส่งเสียงเตือนภัยให้ทั้งกลุ่มรับรู้ ทั้งยังช่วยกันส่งเสียงร้องขับไล่ ก่อนที่ศัตรูจะเข้าถึงตัว ส่วนการที่เห็นรังนกกระจาบมักแขวนห้อยอยู่ทางด้านตะวันออกของต้นไม้ มีข้อสันนิษฐานกันว่า เพื่อเลี่ยงการรับแดดจัดตอนบ่าย ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะทำความเสียหายต่อไข่ในรังได้ (ปศุสัตว์.คอม, ม.ป.ป.) ทั้งยังเป็นการเลี่ยงกระแสลมแรงในฤดูมรสุมของไทยที่พัดมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ม.ป.ป.) ได้เป็นอย่างดี

สำหรับการแขวนรังห้อยอยู่ที่ส่วนปลายของกิ่งไม้นั้น ความอ่อนตัวของกิ่งไม้ย่อมเกิดการไหวโยกเยกเมื่อมีอะไรมากระทบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อสัตว์ศัตรูสามารถปีนต้นไม้ขึ้นมาได้ การไต่มาที่กิ่งไม้ เล็ก ๆ ซึ่งโยกไหว นอกจากจะเป็นอุปสรรคแก่ตัวมันเองแล้ว ยังทำให้แม่นกที่อยู่ในรังรับรู้ได้ก่อนที่ภัยจะมาถึงตัว อย่างน้อยก็รีบพาตัวอ่อนหนีรอดออกมาได้ทัน ทั้งหมดสะท้อนให้เห็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่ปลอดภัยจากอันตรายทั้งปวง นำไปสู่การบรรลุจุดมุ่งหมายในการสร้างรังเพื่อสืบทอดเผ่าพันธุ์ให้ยืนยาวสืบไป

5.2.2 ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ รูปทรง และสิ่งแวดล้อม

รังนกกระจาบมิใช่เพียงสิ่งสร้างอันประณีตสวยงามเท่านั้น แต่ยังสามารถกันน้ำได้ดีและคงสภาพ อยู่ได้ท่ามกลางกระแสลมแรงของประเทศเขตร้อนชื้นโดยไม่แตกพัง (Ingo Arndt, 2013) วิถีธรรมชาติผลักดันให้นกตัวเมียเลือกเฟ้นนกตัวผู้เพื่อจุดมุ่งหมายในการส่งต่อพันธุกรรมที่ดีไปยังรุ่นต่อไป และการสร้างรังที่มั่นคงแข็งแรงเป็นสิ่งบ่งชี้อย่างหนึ่งถึงการมีสมรรถนะที่สูงของนกตัวผู้ (Ingo Arndt, 2013) นกกระจาบหนุ่มที่เพิ่งสร้างรังเป็นปีแรกซึ่งยังขาดประสบการณ์ รังจึงดูยุ่งเหยิงและไม่แข็งแรง มักไม่มีนกตัวเมียโดยอมจับคู่ด้วย ทั้งนี้รังนกกระจาบที่ห้อยแขวนให้เห็นในสภาพสมบูรณ์ในช่วงปลายฤดูผสมพันธุ์เป็นสิ่งยืนยันได้เป็นอย่างดี

รูปทรงอันสวยงามนั้นมีส่วนบนสุดเป็นจุดแขวนรังแล้วค่อย ๆ ขยายทรงออกมีลักษณะคล้ายกรวย เป็นส่วนที่มีเส้นหญ้าถักสานซ้อนทับกันอยู่หนาแน่นที่สุด จึงเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่พื้นที่ภายในที่อยู่

เบื้องล่างได้เป็นอย่างดี ขณะที่ส่วนกลางซึ่งขยายออกเป็นกระเปาะ ผังหน้าสานที่หุ้มห่ออยู่โดยรอบเป็นส่วนป้องกันผองภัยให้กับพื้นที่ภายใน-ส่วนพุ่มพีกลูก่ออ่อน ริมด้านหนึ่งของกระเปาะมีช่องเปิดเป็นรูปกลม ใช้สำหรับเป็นทางเข้าออกสู่ภายใน นักใช้วิธีพุ่งตัวจากปากปล่องด้านล่างเข้าไปได้โดยสะดวกง่ายดาย ขณะที่สัตว์ศัตรูอย่างหนูหรืองู การจะไต่/เลื้อยลงมาตามความยาวของปล่องทางเข้าแล้วอตัววกกลับขึ้นไปภายในเป็นเรื่องที่ทำได้ยากมาก ปล่องทางเข้าจึงเป็นเสมือนด่านสุดท้ายในการป้องกันศัตรูให้แก่ครอบครัวนกที่อยู่ภายในรัง ทั้งนี้ ปล่องทางเข้ารังสานด้วยรกตาลเป็นแบบโปร่ง หากสานแบบทึบเช่นเดียวกับส่วนอื่นของรังย่อมทำให้ภายในรังมืด การสานแบบโปร่งเปิดช่องให้แสงรอดผ่านเข้าสู่ภายในรังได้

เป็นที่น่าสังเกตว่า นกกระจาบยังมักใช้มูลวัว-ควายหรือโคลนมายาบริเวณภายในกระเปาะรังทั้ง 2 ข้าง เป็นรูปวงกลม (ขนาดประมาณเหรียญ 10 บาท) สันนิษฐานกันว่า เมื่อแห้งจะช่วยยึดโยงรังให้แข็งแรงยิ่งขึ้น (ปศุสัตว์.คอม, ม.ป.ป.) หรือถ่วงน้ำหนักช่วยต้านลม ลดการแกว่ง (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ม.ป.ป.)

ในแง่การใช้ประโยชน์ แม่นกจะวางไข่ราว 2-3 ฟองหรืออาจมากถึง 5 ฟอง โดยใช้เวลาก่อไข่ประมาณ 12-15 วัน ไข่ก็ฟักเป็นตัว ลูกนกจะได้รับการเลี้ยงดูอยู่ในรังราว 15-17 วัน ก็สามารถบินออกจากรังไปสู่โลกภายนอกได้ (ปศุสัตว์.คอม, ม.ป.ป.) หลังจากที่ลูกนกบินออกจากรังไปแล้ว รังนั้นจะถูกทิ้งกลายเป็นรังร้าง เมื่อเวลาผ่านไปก็ค่อย ๆ เสื่อมโทรมและหลุดร่วงลงสู่พื้นดินในที่สุด

5.3 ประมวลความรู้เชิงนิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม

นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรมมุ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมที่มนุษย์สร้างกับสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ สถาปัตยกรรมที่มนุษย์สร้างเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นใหม่ ขณะที่สิ่งแวดล้อมธรรมชาตินั้นมีอยู่ก่อน ซึ่งต่างก็ส่งผลกระทบซึ่งกันและกันอย่างมีอาจหลีกเลี่ยงได้ หรืออีกนัยหนึ่ง สัมพันธ์ซึ่งกันและกัน การศึกษานี้มีรังนกกระจาบเป็นจุดเริ่มต้น นำไปสู่การเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างรังนกกระจาบ สิ่งแวดล้อม และสถาปัตยกรรม

ความสัมพันธ์ระหว่าง “รังนกกระจาบ กับ สิ่งแวดล้อม” นกกระจาบใช้ใบไม้ใบหญ้าเป็นวัสดุในการสร้างรัง วัสดุเหล่านี้มีอยู่ตามธรรมชาติในถิ่นที่อยู่อาศัย การฉีก ดึง ทิ้ง รัง ย่อมกระทบต่อต้นไม้ แต่อยู่ในขีดขึ้นที่ไม่มากนัก ต้นไม้ยังคงยืนต้นอยู่และเติบโตต่อไป แม้การรวมกลุ่มกันห้อยแขวนรังไว้กับกิ่งไม้ก็ก่อผลกระทบต่อต้นไม้เช่นกัน แต่ไม่ทำให้ต้นไม้ต้นนั้นกระทบกระเทือนหรือแคระแกร็น รังนกกระจาบเป็นสิ่งสร้างที่สอดคล้องกับกาละแห่งฤดูกาลและเทศะแห่งถิ่นที่ มีความสัมพันธ์แนบแน่นกับสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ สอดคล้องกับที่ Ingo Arndt (2013) กล่าวว่า สิ่งสร้างจากสัตว์เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ความสัมพันธ์ระหว่าง “รังนกกระจาบ กับ สถาปัตยกรรม” รังนกกระจาบคือบ้านของนกกระจาบที่สร้างขึ้นจากวัสดุในละแวกใกล้ ๆ กับที่ทำรัง หรืออีกนัยหนึ่ง วัสดุท้องถิ่น โดยใช้วิธีการสานในการก่อรูป เกิดเป็นสิ่งสร้างที่มีรูปทรงและพื้นที่ใช้สอยอยู่ภายใน ทั้งวิธีการเลือกวัสดุ การก่อรูป จนบรรลุเป็นสิ่งสร้างที่มีรูปทรงและพื้นที่เอื้อประโยชน์ต่อการอยู่อาศัย คือวิธีการเช่นเดียวกับการก่อรูปสถาปัตยกรรมโดยฝีมือมนุษย์ ทำให้มีการขนานนามว่า สถาปัตยกรรมสัตว์ (animal architecture) ตามนัยดังกล่าว รังนกกระจาบจึงเทียบได้กับสถาปัตยกรรม

ความสัมพันธ์ระหว่าง “สถาปัตยกรรม กับ สิ่งแวดล้อม” สถาปัตยกรรมทั้งหลายอันเกิดจากมนุษย์ ย่อมตั้งอยู่ท่ามกลางสิ่งแวดล้อมเสมอ ในด้านหนึ่ง สิ่งแวดล้อมอาจเป็นปัจจัยในการกำหนดรูปแบบ สถาปัตยกรรม อาทิ ความสูงต่ำของพื้นที่ ทิศทางแดดลม ฯลฯ ในทางกลับกัน สถาปัตยกรรมสร้างขึ้นจากวัสดุ ที่ล้วนมีที่มาจากสิ่งแวดล้อม และวางเปียดลงท่ามกลางสิ่งแวดล้อม จึงมีอาจหลีกเลี่ยงได้ในการก่อผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อม สถาปัตยกรรมที่ก่อผลกระทบทางลบน้อยยิ่งจรจรสิ่งแวดล้อมธรรมชาติมากเป็นเงาตามตัว

ทั้งนี้ ผลจากการศึกษารัณนกระจาบสรุปเป็นหลักการเชิงนิเวศวิทยาสถาปัตยกรรมในมิติต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) ช่วงเวลาการก่อสร้างและการใช้ประโยชน์ที่ตอบรับกับฤดูกาล 2) สถานที่ตั้งที่สะดวกและปลอดภัยตามเงื่อนไขของบริบทโดยรอบที่เอื้ออำนวย รวมทั้งความสอดคล้องกับทิศทางแดด-ลม 3) การใช้วัสดุ ท้องถิ่นผนวกกับวิธีการสร้างที่เหมาะสม โดยเครื่องมือพื้นฐาน 4) ลักษณะรูปทรงที่แข็งแรงและงดงาม ประสานกับพื้นที่ภายในที่สนองประโยชน์ใช้สอย มีขนาดพอดีพอดี

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษารัณนกระจาบในมิติสาระเชิงนิเวศวิทยานี้ อิงหลักการทางสถาปัตยกรรมในการกำหนด ประเด็นเนื้อหาในรายละเอียด ประกอบด้วย ฤดูกาลทำรัง สถานที่ทำรัง วิธีการสร้างรัง และลักษณะทาง กายภาพของรัง โดยเน้นศึกษารัณนกระจาบธรรมชาติ ด้วยการเก็บข้อมูลภาคสนามในฤดูกาลทำรังของนกชนิด นี้ พื้นที่ศึกษาคือถิ่นอาศัยของนกย่านชนบทจังหวัดเพชรบุรี วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่ตั้ง การ วิเคราะห์วัสดุ การวิเคราะห์ลักษณะ และการวิเคราะห์การใช้งาน ตามลำดับ

ผลการวิจัยปรากฏว่า รังนกระจาบทำขึ้นในฤดูกาลที่มีความอุดมสมบูรณ์ไม่เฉพาะอาหารเพื่อเลี้ยงดู ลูกอ่อนเท่านั้น แต่ยังอุดมด้วยหญ้าใบยาวอันเป็นวัสดุหลักในการทำรัง โดยมีการเลือกสถานที่ตั้งอย่าง เหมาะสมตามเงื่อนไขความสะดวกในการหาอาหารและความปลอดภัยจากการคุกคามของศัตรู ด้วยวิธีการ สานเส้นหญ้าและเส้นรตาลเข้าด้วยกัน จนสำเร็จเป็นรังรูปน้ำเต้าคอยาวที่มีพื้นที่วางไข่และเลี้ยงดูลูกอ่อนอยู่ ภายใน รังนกระจาบมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนทาน ทั้งยังมีรูปลักษณะสวยงามท่ามกลางสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ โดยรอบ ในเชิงนิเวศวิทยา สถาปัตยกรรมสัตว์-รังนกระจาบนั้นเป็นผลจากแรงขับของสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้าน เวลา สถานที่ วิธีการสร้าง และรูปลักษณะ จนก่อเกิดเป็นสถาปัตยกรรมที่สนองประโยชน์ใช้สอยตามวิถีชีวิต เมื่อเลิกการใช้สอยก็ปล่อยให้ค่อย ๆ ทรุดโทรมและสลายกลายสภาพเป็นดินในที่สุด เข้าข่ายเป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อมด้วยในเวลาเดียวกัน

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการรังนกระจาบซึ่งเป็นหนึ่งในสถาปัตยกรรมสัตว์ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับ ต้นแบบสิ่งสร้างที่มีความสัมพันธ์แนบแน่นกับสิ่งแวดล้อม ในโลกนี้ยังมีงานสถาปัตยกรรมสัตว์อีกหลากหลาย ชนิด เช่น จอมปลวก รูหนู รังต่อ เป็นต้น ที่ควรแก่การศึกษาเพื่อถอดรหัสความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมในลำดับ ต่อไป นอกเหนือจากนี้ ที่อยู่อาศัยตามแบบแผนดั้งเดิมของชนกลุ่มชาติพันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งสร้างขึ้นเอง (โดยไม่มี สถาปนิก) ตามเงื่อนไขปัจจัยของสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ก็อยู่ในข่ายสถาปัตยกรรมที่น่าศึกษาในเชิงความ

สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน สิ่งสร้างดังกล่าวน่าจะเป็นต้นแบบในการประยุกต์สู่การสร้าง
ความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมกับสิ่งแวดล้อมในบริบทร่วมสมัยได้เป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

- ชนัญ วงษ์วิภาค. (2532). *นิเวศวิทยาวัฒนธรรม*. ภาควิชามานุษยวิทยา คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร.
ปริญญา มรรคสิริสุข และ วีระ อินพันทัง. (2563). จาก “นิเวศวิทยาวัฒนธรรม” สู่ “นิเวศวิทยา
สถาปัตยกรรม”. *วารสารหน้าจั่ว*, 35(1), B3 – B18.
- ปศุสัตว์.คอม. (ม.ป.ป.). *นกกระจาบ ราชานกสร้างรัง*. <https://pasusat.com/นกกระจาบ/>
- พระเมธีวชิโรดม (ว. วชิรเมธี). (2565). *บวชป่า: พุทธนิเวศวิทยาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน*. ศูนย์วิปัสสนาสากล
ไร่เชิญตะวัน.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (ม.ป.ป.). *นกจาบธรรมดา*. <https://wikipedia.org/wiki/นกจาบธรรมดา>
- อรจัน ศรีฐบุตร. (2557). *นิเวศวิทยาสถาปัตยกรรม*. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Arndt, I. (2013). *Animal Architecture*. Abrams.
- Linda, D. (2014). *Animal Architects and the Beautiful Homes they Built*. Boredpanda.
<http://www.boredpanda.com/animal-architect-widelife-home>

นวัตกรรมกักเก็บใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม Innovative Underground Stormwater Storage System for Water Retention and Flood Prevention

กานต์ ศรีสุวรรณ¹ และ พลพัฒน์ นิลอุบล^{2, 3*}

¹บริษัท บีทีเค เมเนจเม้นท์จำกัด ²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ศูนย์นวัตกรรมเพื่อการปรับตัวกับภัยน้ำ

Karnt Srisuwan¹ and Polpat Nilubon^{2, 3*}

¹Founder, BPK Management Co.,Ltd., 959/3, Itsaraphap Rd., Thonburi, Bangkok, 10600

²Assistant Professor, Department of Architecture, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Pathum Thani 12110

³Director, Water Adaptation Innovation Center, Pathum Thani 12110

*Email: polpat_n@rmutt.ac.th

Received: Jul 31, 2025

Revised: Nov 2, 2025

Accepted: Nov 25, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินหลังจากการติดตั้งนวัตกรรม กักเก็บใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม เพื่อเป็นการเสริมสร้างความสามารถในการรับมือน้ำท่วมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานครซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อปัญหาน้ำท่วมจากแม่น้ำและน้ำฝนอันเกิดจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น (SLR) การขยายตัวของเมือง และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 พร้อมกับเครื่องมือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สร้างแผนที่แสดงระดับน้ำท่วมที่มีความละเอียดสูง ภายใต้เงื่อนไขของช่วงเวลาการเกิดซ้ำของน้ำท่วม (Return Periods) และสถานการณ์ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น และทำการคำนวณมูลค่าความเสียหายคาดการณ์รายปีโดยอิงจากการเปลี่ยนแปลงของประเภทอาคารและการใช้ที่ดินที่คาดการณ์ไว้ในปี 2025

คำสำคัญ: กักเก็บใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำ, มาตรการปรับตัวและป้องกันน้ำท่วม, การปรับตัวต่อสภาวะภูมิอากาศในเมือง, แนวทางการแก้ปัญหาที่อาศัยธรรมชาติเป็นพื้นฐาน, กรุงเทพมหานคร

Abstract

This study evaluates the effectiveness of an underground rainwater storage system following the installation of an innovative underground stormwater retention system, inspired by the "Monkey Cheek" concept, for flood prevention. The project aims to enhance flood resilience in Dusit District, Bangkok, a high-risk area prone to both riverine and pluvial flooding, exacerbated by sea level rise (SLR), urban expansion, and climate change. Using the MIKE 11 hydrodynamic model in combination with Geographic Information System (GIS) tools, high-resolution flood inundation maps were developed under various flood return periods and sea level rise scenarios. Furthermore, the study calculates the estimated annual damage cost based on projected changes in building typologies and land use by the year 2025.

Keywords: Underground stormwater storage, Flood adaptation and flood prevention, Urban climate adaptation, Nature based solutions, Bangkok

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุทกภัยเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของเมืองทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคที่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการขยายตัวของเมืองส่งผลให้พื้นที่เมืองมีความเปราะบางมากขึ้น (United Nations, 2022) ปัญหานี้ไม่ได้เป็นเพียงแค่ภัยธรรมชาติ แต่ยังเกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่เพียงพอและการบริหารจัดการน้ำที่ไม่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดฝนตกหนักบ่อยขึ้นและมีปริมาณน้ำฝนสูงขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ (IPCC, 2021) นอกจากนี้ภัยแล้งที่รุนแรงขึ้นในบางพื้นที่ยังส่งผลให้ดินมีความสามารถในการซึมน้ำลดลง เมื่อฝนตกหนักน้ำจึงไม่สามารถซึมลงดินได้ดีและเพิ่มความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลัน

สำหรับประเทศไทย ปัญหาภัยแล้งและน้ำท่วมได้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และยังไม่สามารถจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในเขตเมืองและชนบท ในอดีตการแก้ไขปัญหาล้วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของการก่อสร้างเขื่อนหรือบ่อกักเก็บน้ำเพื่อรองรับปริมาณน้ำฝนและเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้งซึ่งเป็นมาตรการที่ต้องใช้พื้นที่จำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถนำพื้นที่นั้นไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีแนวคิดในการสร้างแหล่งกักเก็บน้ำใต้ดิน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองระบบหลัก ได้แก่ 1) ระบบเปิด ซึ่งต้องมีการขุดบ่อลงลึกถึงชั้นหินอุ้มน้ำเพื่อกักเก็บน้ำ โดยเมื่อน้ำเต็มบ่อก็จะเอ่อล้นขึ้นมาโดยอัตโนมัติและสามารถนำไปใช้เพื่อการเกษตรได้ อย่างไรก็ตามระบบนี้มีข้อเสียคือ น้ำสามารถระเหยได้จากแสงแดด และ 2) ระบบปิด ซึ่งเป็นการเปิดผิวดินเพื่อเติมน้ำลงสู่ใต้ดินโดยตรงโดยพื้นที่ด้านบนจะถูกปิดคลุมด้วยดินและทราย ทำให้สามารถใช้พื้นที่นั้นได้ตามปกติ อย่างไรก็ตามระบบปิดมี

ขนาดเล็กและเหมาะสมสำหรับระดับครัวเรือนเท่านั้น เนื่องจากไม่ได้มีโครงสร้างที่แข็งแรงรองรับน้ำปริมาณมหาศาล จากการตระหนักถึงภัยคุกคามที่เพิ่มขึ้นจากอุทกภัยหรือน้ำท่วมที่ก่อให้เกิดผลกระทบหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็น 1) ความเสียหายทางเศรษฐกิจ อันได้แก่ ความเสียหายต่อโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน สะพาน และระบบขนส่งสาธารณะ ตลอดจนทรัพย์สินของประชาชนและธุรกิจ ในบางกรณี เมืองอาจต้องหยุดกิจกรรมทางเศรษฐกิจเป็นเวลานาน 2) ผลกระทบต่อสังคมและสุขภาพ เช่น โรคที่เกิดจากน้ำเสียปนเปื้อน และ 3) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารเคมีอุตสาหกรรมและของเสียจากครัวเรือนที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (UNEP, 2021) สำหรับพื้นที่เขตเมืองรูปแบบของปัญหาของอุทกภัยคือ อุทกภัยจากแม่น้ำล้นตลิ่ง และอุทกภัยจากน้ำท่วมขัง เนื่องจากปริมาณฝนที่มากเกินไป บริษัท บีพีเค เมเนจเม้นท์ จำกัด จึงได้นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหามาจากนวัตกรรมทางวิศวกรรมเพื่อมาใช้ในการป้องกันน้ำท่วม ในรูปแบบของการพัฒนาโครงสร้างกักเก็บน้ำใต้ดินให้มีความแข็งแรงและสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องสูญเสียพื้นที่ไปโดยเปล่าประโยชน์ เพื่อเป็นการเสริมความสามารถในการรับมืออุทกภัย มีเป้าหมายเพื่อลดความเสี่ยงจากอุทกภัย ขณะเดียวกันก็ส่งเสริมประโยชน์ด้านนิเวศวิทยาและสังคม (Kabisch et al., 2016; Schipper, 2007) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพที่แท้จริงของมาตรการเหล่านี้ยังต้องได้รับการประเมินเพิ่มเติม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เขตเมือง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำนวัตกรรม “แก้มลิงใต้ดิน” มาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำท่วมในเขตพื้นที่เมือง และประเมินประสิทธิภาพของนวัตกรรมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและรูปแบบปริมาณน้ำฝนที่รุนแรงขึ้น เพื่อการบริหารจัดการความเสี่ยงจากอุทกภัยเพื่อลดผลกระทบในอนาคต และเพื่อให้แน่ใจว่ามาตรการที่นำมาใช้สามารถปรับตัวได้ตามการเปลี่ยนแปลงของพลวัตน้ำท่วม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ดำเนินการนำนวัตกรรม “แก้มลิงใต้ดิน” มาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำท่วมในเขตพื้นที่เมือง
2. ประเมินประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินในสภาพแวดล้อมจริง
3. พัฒนาแนวทางการบริหารจัดการน้ำเพื่อรองรับสถานการณ์ในอนาคต

3. สมมติฐาน/กรอบแนวคิด

3.1 สมมติฐานในการวิจัย

1. นวัตกรรม “แก้มลิงใต้ดิน” สามารถลดปัญหาน้ำท่วมในเขตเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด?
2. ปัจจัยใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินในสภาพแวดล้อมจริง?

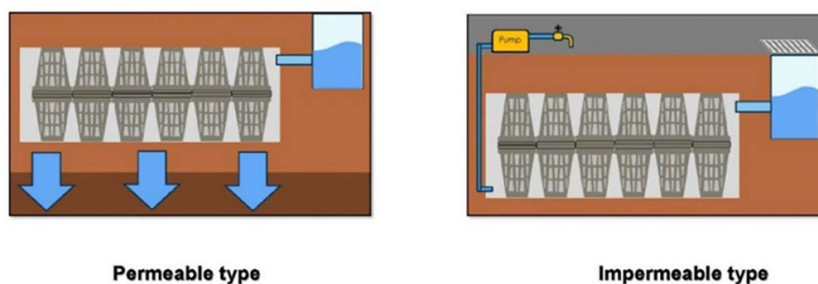
3.2 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาผลกระทบของอุทกภัย โดยวิเคราะห์ผลกระทบที่อุทกภัยมีต่อชุมชน โครงสร้างพื้นฐาน และเศรษฐกิจ
2. การวิเคราะห์กลยุทธ์การปรับตัวด้วยการประเมินประสิทธิภาพของแนวทางการปรับตัว
3. บริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการขยายตัวของเมือง ศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและการพัฒนาเมืองส่งผลกระทบต่อระดับความรุนแรงของอุทกภัยอย่างไร
4. การใช้ข้อมูลและเทคโนโลยีในการวางแผน ด้วยประเมินการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเฝ้าระวังและคาดการณ์อุทกภัย
5. การมีส่วนร่วมของชุมชนด้วยการวิเคราะห์บทบาทของชุมชนในการปรับตัวและการวางแผนมาตรการบรรเทาผลกระทบ

4. การดำเนินงานวิจัย

4.1 นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม

นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำช่วยป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจสูง และยังเป็นวิธีที่ยั่งยืนในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการจัดหาพื้นที่จัดน้ำจืดในระยะยาว (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ความสามารถในการใช้งาน

นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำสามารถติดตั้งได้ในหลากหลายพื้นที่ โดยสามารถปรับการใช้งานให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละพื้นที่ ได้แก่

1. ใต้ตัวอาคาร: ระบบสามารถติดตั้งใต้พื้นอาคารหรือใต้โครงสร้างของอาคารต่าง ๆ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บน้ำโดยไม่ทำให้เสียพื้นที่ใช้งานภายนอก
2. ใต้ที่จอดรถ: การติดตั้งในพื้นที่จอดรถช่วยให้สามารถจัดการน้ำฝนที่ไหลมาจากการจอดรถยนต์หรือการใช้พื้นที่จอดรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่กีดขวางการใช้งานพื้นที่
3. พื้นที่สวน: ในสวนหรือพื้นที่เปิดโล่ง ระบบนี้สามารถติดตั้งได้โดยไม่รบกวนการใช้พื้นที่สวนและยังช่วยในการจัดการน้ำสำหรับการรดน้ำต้นไม้หรือการใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ภายในสวน

4. ถนนและทางเดิน: ระบบสามารถติดตั้งได้ถนนหรือทางเดินในพื้นที่เมือง ซึ่งช่วยในการจัดการน้ำฝนที่ไหลลงมาจากถนนและลดปัญหาน้ำท่วมขัง

5. พื้นที่ที่อยู่อาศัยและสำนักงาน: การติดตั้งระบบในพื้นที่ที่อยู่อาศัยหรือสำนักงานช่วยในการจัดการน้ำฝนที่ตกในพื้นที่เหล่านี้ โดยการเก็บน้ำฝนไว้ใช้ในช่วงที่ต้องการ เช่น การรดน้ำต้นไม้หรือใช้ในกิจกรรมภายในสำนักงาน

4.2 ระเบียบวิธีวิจัย

ติดตั้งนวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร ตามหลักการทางวิศวกรรม หลังการติดตั้งดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินในสภาพแวดล้อมจริง และพัฒนาแนวทางการบริหารจัดการน้ำเพื่อรองรับสถานการณ์ในอนาคตใช้วิธีการเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.2.1 การศึกษาเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกลยุทธ์การปรับตัวในการพัฒนาเมืองและความเสี่ยงจากน้ำท่วมที่แตกต่างกัน รายละเอียด ดังนี้

1) วิธีการเก็บข้อมูล ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ขนาดของพื้นที่โครงการ ปริมาณการไหล คุณภาพน้ำ การเคลื่อนตัวของตะกอนในแหล่งน้ำประเภทต่าง ๆ (แม่น้ำ คลอง และพื้นที่ลุ่มน้ำ) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ข้อมูลแผนที่น้ำท่วม (5 ช่วง ได้แก่ 1/2, 1/10, 1/25, 1/50 และ 1/100 ปี)

2) ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง คือ นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

3) เครื่องมือที่ใช้ คือ แบบจำลอง MIKE 11 พร้อมกับเครื่องมือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สร้างแผนที่แสดงระดับน้ำท่วมที่มีความละเอียดสูง

4) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกลยุทธ์การปรับตัวในการพัฒนาเมืองและความเสี่ยงจากน้ำท่วมที่แตกต่างกัน รายละเอียด ดังนี้

- สร้างแบบจำลองน้ำท่วมด้วยการสร้างเหตุการณ์น้ำท่วมภายใต้ระยะเวลาการเกิดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถแสดงผลกระทบจากน้ำท่วมด้วยความแม่นยำทางพื้นที่สูง ช่วยให้เห็นภาพของขอบเขตน้ำท่วมและความลึกของน้ำท่วมอย่างละเอียด ซึ่งมีความสำคัญต่อการประเมินความเสียหายจากน้ำท่วมและกลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมในเมืองที่กว้างขึ้น อีกทั้งทำให้เข้าใจทั้งความเสี่ยงจากน้ำท่วมในระยะสั้นและผลกระทบระยะยาวจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในกรุงเทพมหานคร เช่น ในช่วงระยะเวลา 1/100 ปี พื้นที่ต่ำในเขตดุสิตบางแห่งอาจประสบกับความลึกของน้ำท่วมถึง 1.5 เมตร ซึ่งทำให้ทั้งพื้นที่ที่อยู่อาศัยและพื้นที่การค้าต้องเผชิญกับความเสี่ยง

อย่างมาก (กรุงเทพมหานคร, 2020) ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวางแผนระยะยาวของเมืองและการออกแบบกลยุทธ์การบรรเทาน้ำท่วม

- สร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเมือง เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเมืองอันเกิดจากการใช้ที่ดินและการขยายเมือง ซึ่งจะรวมเข้ากับแบบจำลองความเสียหายเพื่อคำนวณความเสียหายประจำปีที่เกิดการฉีก (EAD: Expected Annual Damage) สำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ

4.2.2 การศึกษาเชิงคุณภาพ

กลุ่มตัวอย่าง คือ ประชาชน ตัวแทนจากรัฐบาลกลาง หน่วยงานท้องถิ่น สมาชิกในชุมชน ภาคเอกชน และภาคการศึกษา ในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร การเก็บรวบรวมข้อมูล คือ การประชุมเชิงปฏิบัติการ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เน้นประเด็นเรื่องของการจัดการน้ำท่วมในเขตดุสิต สถานการณ์น้ำท่วมในปัจจุบัน การคาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วมในอนาคต และการเปลี่ยนแปลงเมือง

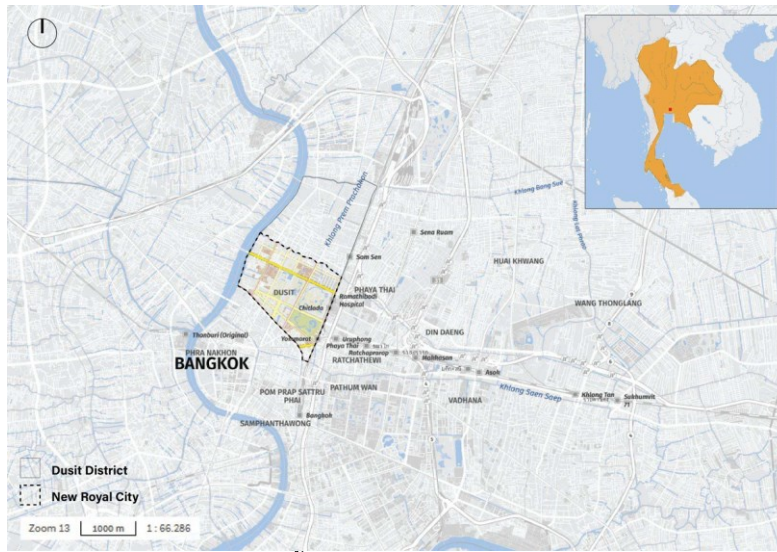
ประเด็นการประชุมเชิงปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งกลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมที่เหมาะสมกับพื้นที่ มุ่งเน้นการวิเคราะห์สถานการณ์ ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเพิ่มระดับน้ำทะเล (SLR) ความเข้มข้นของฝนที่เพิ่มขึ้น และการขยายตัวของเมือง ซึ่งเป็นการรวบรวมความคิดเห็นและแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถจัดการกับความเสียหายจากน้ำท่วมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งจะช่วยในการจัดกลุ่มข้อมูล เมื่อมีข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่มก็จะนำคุณลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูลนั้นมาเปรียบเทียบกับเส้นทางในต้นไม้จนถึงคลาสปลายทาง ซึ่งก็คือ กลุ่มของข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกัน ภายในต้นไม้จะประกอบด้วยโหนด (Node) ซึ่งแต่ละโหนดจะใช้คุณลักษณะในการทดสอบ กิ่ง (Branch) แสดงถึงค่าที่เป็นไปได้ของคุณลักษณะที่ทดสอบ และใบ (Leaf) คือจุดปลายของต้นไม้ที่แสดงถึงกลุ่มข้อมูลหรือคลาส ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายจะอยู่ที่ใบของต้นไม้ และโหนดที่อยู่จุดเริ่มต้นของต้นไม้จะเรียกว่า โหนดราก (Root node) ซึ่งเป็นเครื่องเพื่อช่วยในการประเมินและเลือกมาตรการจัดการน้ำท่วม โดยเป็นกระบวนการที่มีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้าร่วม เพื่อให้ได้มาซึ่งกลยุทธ์การปรับตัวที่พัฒนามาจากความรู้ในท้องถิ่นและได้รับการยอมรับทางสังคม (Patil et al., 2010)

5. ผลการวิจัย

5.1 ข้อมูลภาพรวมของพื้นที่ศึกษาในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

ลักษณะของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่เขตดุสิตส่วนใหญ่เป็นอาคารที่อยู่อาศัย คิดเป็นร้อยละ 60 อาคารพาณิชย์ คิดเป็นร้อยละ 20 และอาคารรัฐบาล คิดเป็นร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งหมดในเขตดุสิต คิดเป็นมูลค่าสะสมประมาณ 350 ล้านบาท (ภาพที่ 2) และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงความสำคัญของพื้นที่และความจำเป็นในการวางแผนการใช้ที่ดินและมาตรการปรับตัวในการจัดการน้ำท่วมเพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วม

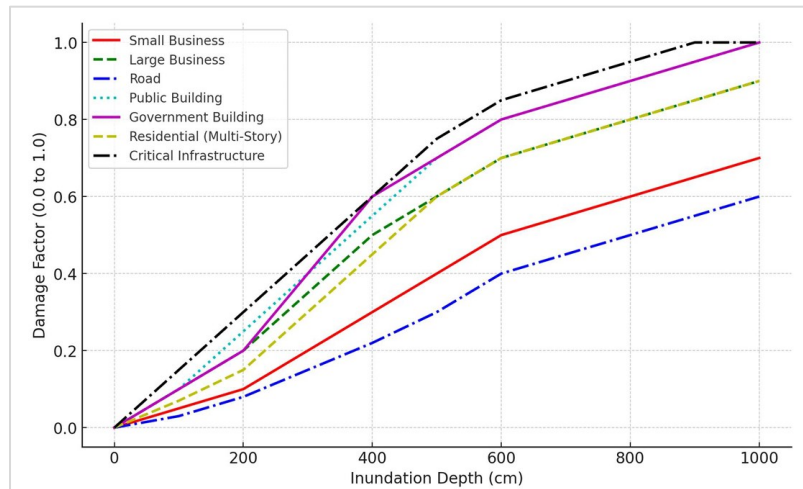


ภาพที่ 2 แผนที่พื้นที่ศึกษาในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

การคำนวณความเสียหายประจำปีที่เกิดจากน้ำท่วม (EAD) และสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงเมืองใช้วิธีการที่เสนอโดย Klijn & Skelcher (2007) และ De Moel & Aerts (2011) ด้วยการใช้ข้อมูลหลัก คือ 1) แผนที่ประเภทอาคารที่ระบุสินทรัพย์ที่เสี่ยง และ 2) แผนที่น้ำท่วมที่แสดงวลีของน้ำในเหตุการณ์น้ำท่วม เพื่อประมาณความเสียหายที่เกิดกับสินทรัพย์ตามลักษณะของอาคารต่าง ๆ โดยใช้กราฟความน่าจะเป็นการเกินขีดจำกัด-ความเสียหาย หรือกราฟความเสี่ยง (de Moel et al., 2015; Grossi & Kunreuther, 2005; Meyer, 2018) เพื่อเป็นการพิจารณาถึงทั้งเหตุการณ์น้ำท่วมที่มีความน่าจะเป็นต่ำและสูง อีกทั้งเป็นเพื่อประเมินผลกระทบจากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมต่อความเสี่ยงจากน้ำท่วม โดยทำการใช้แผนที่ประเภทอาคารที่คาดการณ์ไว้ในปี ค.ศ. 2025 ซึ่งพัฒนาเป็นส่วนหนึ่งของแผนแม่บทเศรษฐกิจและสังคม DDBT ปี 2025 (DPA, 2010) สำหรับการวิเคราะห์ เพื่อคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของเมืองและความเสี่ยงจากน้ำท่วมในช่วงเวลาต่าง ๆ

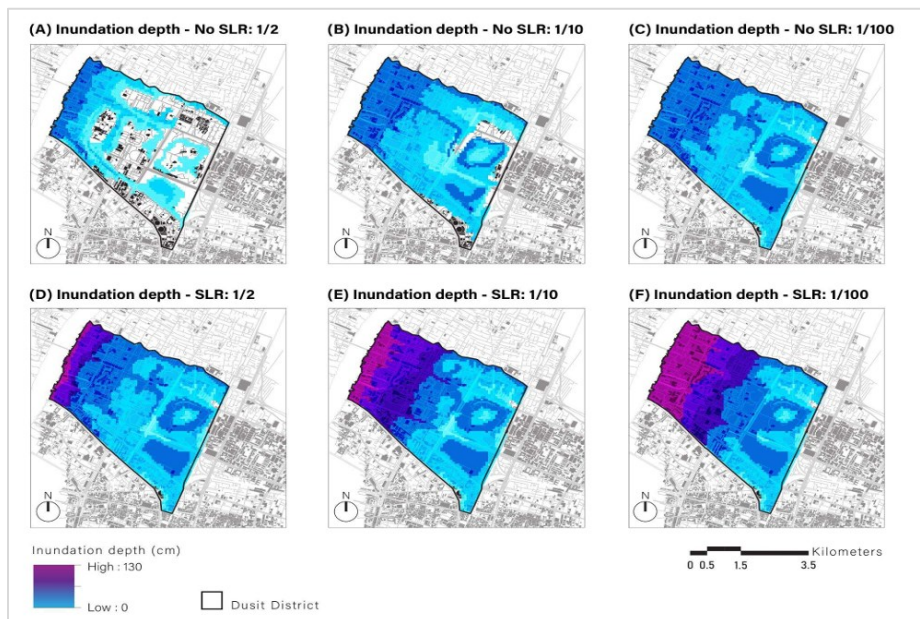
ตารางที่ 1 คำนวณความเสียหายสูงสุดและปัจจัยความเสียหายต่อความลึกของน้ำท่วมแต่ละเซกเมนต์

Building Type	Max Damage (USD per m²)	Damage Factor (%) per cm Inundation Depth				
		10	50	100	300	500
Small Business	36.2	0.05	0.25	0.5	0.75	1
Large Business	36.2	0.04	0.25	0.45	0.68	1
Road	0.4	0.02	0.1	0.2	0.4	0.75
Public Building	26.1	0.04	0.25	0.4	0.6	0.8
Government Building	45	0.08	0.35	0.53	0.85	1
Residential (Multi -Story)	28.3	0.065	0.3	0.48	0.75	0.85
Critical Infrastructure	50	0.09	0.4	0.6	0.95	1



ภาพที่ 3 กราฟความเสียหาย

ความเสี่ยงจากน้ำท่วมปัจจุบันและในอนาคตเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร พิจารณาจากระยะเวลาการเกิดน้ำท่วม 3 ช่วง ได้แก่ 1/2 ปี, 1/10 ปี และ 1/100 ปี โดยมีและไม่มีการเพิ่มระดับน้ำทะเล (SLR) ที่ +30 ซม. ภายในปี ค.ศ.2050 แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ด้านตะวันตกของเขตมีความเสี่ยงน้ำท่วมที่ลึกที่สุด โดยระดับน้ำท่วมในกรณีที่รุนแรงที่สุด (1/100 ปี พร้อมกับ SLR) อาจสูงถึง 100-130 ซม. ในขณะที่พื้นที่ทางตะวันออกจะมีน้ำท่วมที่ตื้นกว่าปกติ โดยระดับน้ำท่วมมักจะต่ำกว่า 50 ซม. หากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น +30 ซม. ความลึกของน้ำท่วมในพื้นที่ตะวันตกจะเพิ่มขึ้น 20-30 ซม. แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงจากน้ำท่วมจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ภายในเขต โดยพื้นที่ทางตะวันตกมีความเปราะบางที่สุด



ภาพที่ 4 แผนที่ความลึกของน้ำท่วมที่จำลองเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความเสียหายจากน้ำท่วม (USD/ตร.ม.) ในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานครภายใต้สถานการณ์การใช้ที่ดินทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยคำนึงถึงระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น (SLR) แสดงช่วงเวลาการเกิดซ้ำของน้ำท่วมที่แตกต่างกัน (1/2 ปี, 1/10 ปี และ 1/100 ปี) ทั้งในกรณีที่ไม่มี SLR และในกรณีที่คาดการณ์ว่า SLR จะเพิ่มขึ้น 30 ซม. ภายในปี 2050 (SLR+30) การประเมินความเสียหายนี้อ้างอิงจากระดับความลึกของน้ำท่วม ความไวของอาคารประเภทต่าง ๆ และมูลค่าของอาคาร

กรณีที่ไม่มี SLR (A, B, C) ความเสียหายจากน้ำท่วมจะกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ตอนกลางและตะวันออกของเขตเป็นหลัก สำหรับช่วงเวลาเกิดซ้ำ 1/2 ปี (A) ความเสียหายจากน้ำท่วมยังค่อนข้างต่ำ โดยส่วนใหญ่พื้นที่ได้รับผลกระทบน้อยกว่า 5 USD/ตร.ม. อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการเกิดซ้ำยาวขึ้น ความเสียหายจะกระจายกว้างขึ้นและรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของช่วงเวลาเกิดซ้ำ 1/100 ปี (C) ซึ่งความเสียหายเกิน 20USD/ตร.ม. ในหลายพื้นที่ เมื่อพิจารณาสถานการณ์ SLR+30 ความเสียหายจากน้ำท่วมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั่วทั้งเขต โดยเฉพาะพื้นที่ทางตะวันตกและตอนกลาง ซึ่งได้รับผลกระทบอย่างหนักในช่วงเวลาเกิดซ้ำ 1/100 ปี (F) โดยมีความเสียหายสูงถึง 20 USD/ตร.ม. หรือมากกว่าในหลายจุด การเพิ่มขึ้นของระดับความลึกของน้ำท่วมและความเปราะบางของอาคารส่งผลให้เกิดความเสียหายจากน้ำท่วมมากขึ้นในทุกช่วงเวลาเกิดซ้ำ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มี SLR ซึ่งเน้นให้เห็นถึงความเปราะบางที่เพิ่มขึ้นของเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร โดยมีอาคารที่หลากหลายประกอบด้วยอาคารที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ และอาคารราชการ โดยอาคารราชการคิดเป็น 20% ของอาคารทั้งหมด ในขณะที่อาคารที่พักอาศัยมีสัดส่วนประมาณ 60% และอาคารพาณิชย์และอุตสาหกรรมรวมกันอีก 20% ค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจที่คาดการณ์ต่อปี (EAD) สำหรับอาคารในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 10 ล้าน USD ต่อปี และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 15 ล้าน USD ต่อปี ภายในปี 2025 เนื่องจากการขยายตัวของเมืองและผลกระทบจาก SLR การเพิ่มขึ้นนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญอย่างยิ่งของการวางแผนการใช้ที่ดินและมาตรการปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมที่เพิ่มขึ้น

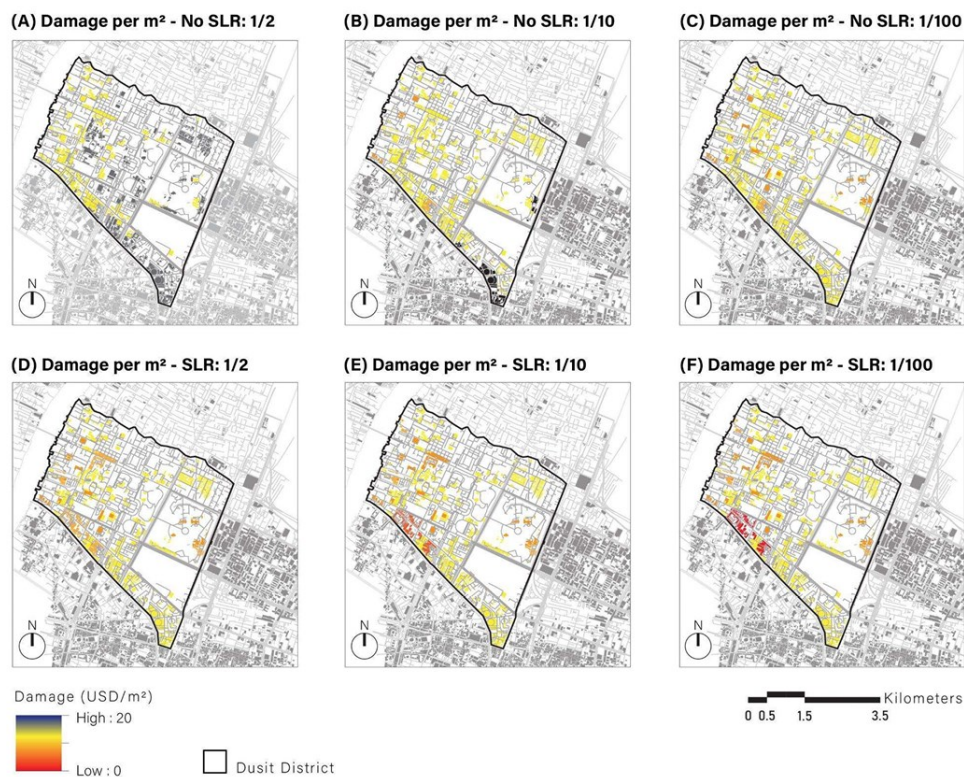
ภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำที่แตกต่างกันในส่วนของการเปรียบเทียบรายละเอียดของการไหลของน้ำ ความจุน้ำและความสามารถในการลดน้ำท่วมภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำของปริมาณฝนที่แตกต่างกันในเขต DDBT ข้อมูลถูกจัดแบ่งออกเป็นสองสถานการณ์ ได้แก่ สภาวะปกติก่อนเกิดฝนตกหนัก และสภาวะระบายน้ำโดยการลดระดับน้ำลง 1.00 เมตร เพื่อกักเก็บน้ำไว้นอกพื้นที่โครงการ ซึ่งทั้งสองสถานการณ์ได้รับการประเมินภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน 10 ปี (142 มม./วัน) และ 100 ปี (202 มม./วัน) โดยมีการคำนวณค่าปริมาณน้ำไหลเข้าของแต่ละกรณี แต่ละกรณีมีรายละเอียดดังนี้

1) กรณีสภาวะปกติ ในสถานการณ์ปกติค่าการระบายน้ำ ความจุน้ำและความสามารถในการกักเก็บน้ำขององค์ประกอบหลักสามส่วน ได้แก่ บ่อ 9 (Pond 9), คลองระบายน้ำ (Canals), และระบบ USSS พร้อมทั้งค่ารวมทั้งหมด รวมถึงความสามารถในการกักเก็บน้ำจากพื้นที่นอกโครงการ สังเกตได้ว่าระบบคลองระบายน้ำแสดงค่า

ความสามารถในการกักเก็บน้ำเป็นลบ ซึ่งบ่งชี้ถึงภาวะน้ำล้นหรือการกักเก็บที่ไม่เพียงพอในทั้งสองช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน

2) กรณีสภาวะระบายน้ำในสถานการณ์ที่มีการปรับระดับน้ำลง 1.00 เมตร พบว่าความจุน้ำรวมและความสามารถในการกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะบ่อ 9 ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มพื้นที่กักเก็บน้ำ โดยเฉพาะภายใต้เงื่อนไขฝนที่รุนแรง นอกจากนี้ ระบบจัดการน้ำโดยรวมสามารถลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำเป็นบวก โดยเฉพาะในบริเวณ WB และบ่อ 9

ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่สามารถลดน้ำท่วมได้ โดยอยู่ที่ 496,000 ตร.ม. สำหรับช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน 10 ปี และ 184,000 ตร.ม. สำหรับช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน 100 ปี ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของมาตรการบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร ที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการบรรเทาปัญหาน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

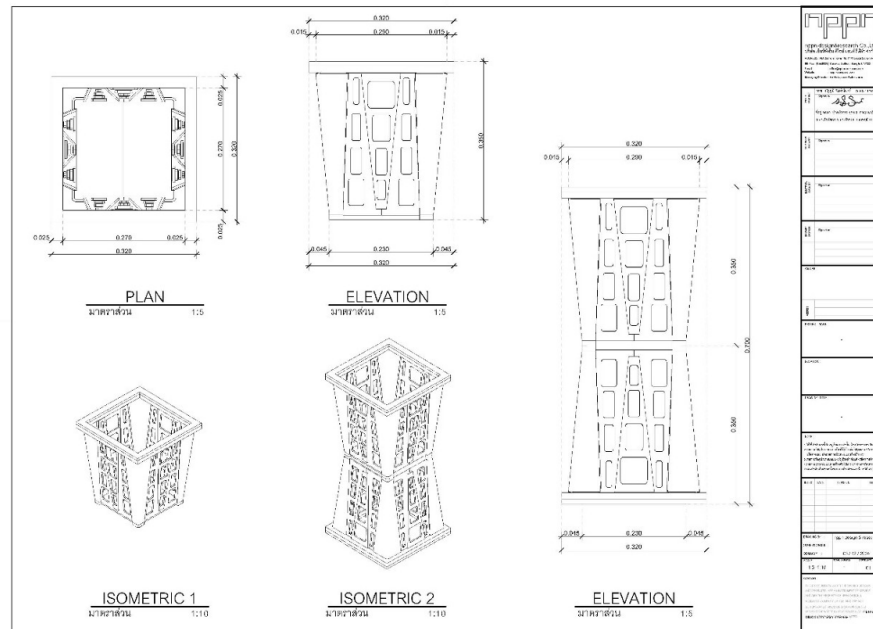


ภาพที่ 5 การประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม (USD/ตร.ม.) ภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำที่แตกต่างกัน

5.2 นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำ

นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำมีโครงสร้างกักเก็บน้ำ ประกอบด้วย ส่วนกักเก็บน้ำ และส่วนท่อหุ้มร่วมกัน โดยส่วนกักเก็บน้ำจะเป็นโครงสร้างของบล็อกเก็บน้ำที่ถูกบรรจุอยู่ในส่วนท่อหุ้ม ที่ถูก

ออกแบบมาเพื่อห่อหุ้มกลุ่มบล็อกเก็บน้ำที่ทำจากเรซินสังเคราะห์ที่ถูกฝังอยู่ใต้ดินที่มีระบบน้ำจากหลังคาหรือพื้นดิน และสามารถระบายน้ำส่วนเกินออกได้ เพื่อให้ได้โครงสร้างกักเก็บน้ำที่ถูกพัฒนามาจากโครงสร้างเก็บน้ำฝนใต้ดินที่ฝังถึงเก็บน้ำใต้ดินแบบดั้งเดิมที่สามารถป้องกันการรั่วซึมโดยที่ไม่ต้องจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและลดขั้นตอนความยุ่งยากของการติดตั้ง



ภาพที่ 6 ภาพรวมส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างกักเก็บน้ำ

ผลการทดสอบโครงสร้างกักเก็บน้ำของนวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม ผลการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ครอบคลุมขนาด 700x700x690 รายละเอียด ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ผลการทดสอบแรงหรือความดันที่กระทำในทิศทางแนวนอน โดยแรงที่กระทำอยู่ที่ 157.8 กิโลนิวตันต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และการทดสอบที่มีทิศทางการกระทำของแรงในแนวตั้ง ซึ่งค่าความดันหรือแรงที่กระทำมีค่าน้อย 173.5 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

ตัวอย่างที่ 2 ผลการทดสอบแรงหรือความดันที่กระทำในทิศทางแนวนอน โดยแรงที่กระทำอยู่ที่ 151.1 กิโลนิวตันต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และการทดสอบที่มีทิศทางการกระทำของแรงในแนวตั้ง ซึ่งค่าความดันหรือแรงที่กระทำมีค่าน้อย 173.5 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

ตัวอย่างที่ 3 ผลการทดสอบแรงหรือความดันที่กระทำในทิศทางแนวนอน โดยแรงที่กระทำอยู่ที่ 150.3 กิโลนิวตันต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และการทดสอบที่มีทิศทางการกระทำของแรงในแนวตั้ง ซึ่งค่าความดันหรือแรงที่กระทำมีค่าน้อย 173.5 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

Specimen	Horizontal test direction, kN/m ²	Vertical test direction, kN/m ²	Size, mm
1	157.8	>173.5	700 x 700 x 690
2	151.1	>173.5	
3	150.3	>173.5	

Note: 1) Compression speed : 12.7 mm/min
2) Condition of testing : Temperature (23 ± 2)°C, Relative humidity (50 ± 5) %
3) Maximum capacity of compression tester : 85 kN



Horizontal test direction



Vertical test direction

ภาพที่ 7 ผลการทดสอบโครงสร้างกักเก็บน้ำ

การทดสอบตามมาตรฐาน RoHS เป็นการประเมินสารที่อาจเป็นอันตรายหลายอย่าง เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม เฮกซะวาเลนท์โครเมียม และโบรมีน โดยในการทดสอบโครงสร้างกักเก็บน้ำตามมาตรฐาน RoHS ด้วยเทคนิคเคมีเปิก เพื่อวัดปริมาณสาร RoHS ที่ถูกห้ามภายในหลอดทดลอง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน RoHS โดยทั่วไปแล้ว RoHS จะสงวนอัตราส่วนที่แน่นอนของค่าความเข้มข้นสูงสุดสำหรับสารต้องห้ามแต่ละชนิด แคดเมียมมีขีดจำกัดประมาณ 0.01% ในขณะที่ระดับอื่น ๆ มักจะตั้งไว้ที่ 0.1%

(A) Test Result Summary:

Test	Result	LOD	LOQ
	Submitted samples		
Lead (Pb) Content (mg/kg)	<13	2	13
Cadmium (Cd) Content (mg/kg)	ND	1	5
Mercury (Hg) Content (mg/kg)	ND	3	13
Chromium (VI) (Cr ^{VI}) Content (mg/kg)	ND	1	10
Polybrominated Biphenyls (PBBs) (mg/kg)			
Monobromobiphenyl (MonoBB)	ND	2	5
Dibromobiphenyl (DiBB)	ND	2	5
Trisbromobiphenyl (TriBB)	ND	2	5
Tetrabromobiphenyl (TetraBB)	ND	2	5
Pentabromobiphenyl (PentaBB)	ND	2	5
Hexabromobiphenyl (HexaBB)	ND	2	5
Heptabromobiphenyl (HeptaBB)	ND	2	5
Octabromobiphenyl (OctaBB)	ND	2	5
Nonabromobiphenyl (NonaBB)	ND	2	5
Decabromobiphenyl (DecaBB)	ND	2	5
Sum of Polybrominated Biphenyls (PBBs) (mg/kg)	ND	2	5
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) (mg/kg)			
Monobromodiphenyl Ether (MonoBDE)	ND	2	5
Dibromodiphenyl Ether (DiBDE)	ND	2	5
Trisbromodiphenyl Ether (TriBDE)	ND	2	5
Tetrabromodiphenyl Ether (TetraBDE)	ND	2	5
Pentabromodiphenyl Ether (PentaBDE)	ND	2	5
Hexabromodiphenyl Ether (HexaBDE)	ND	2	5
Heptabromodiphenyl Ether (HeptaBDE)	ND	2	5
Octabromodiphenyl Ether (OctaBDE)	ND	2	5
Nonabromodiphenyl Ether (NonaBDE)	ND	2	5
Decabromodiphenyl Ether (DecaBDE)	ND	2	5
Sum of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) (mg/kg)	ND	2	5
Phthalate Content (mg/kg)			
Diethyl hexyl phthalate (DEHP)	ND	15	25
Benzyl butyl phthalate (BBP)	ND	15	25
Dibutyl phthalate (DBP)	ND	15	25
Di-isobutyl phthalate (DIBP)	ND	15	25

Remark: mg/kg = Milligram per kilogram based on weight of sample = ppm
LOD = Limit of detection
LOQ = Limit of quantitation
ND = Not detected (Less than LOD)
< = Less than

Tested component: Black plastic

(B) RoHS Requirement:

Restricted substances	Limits
Lead (Pb)	0.1% (1000 mg/kg)
Cadmium (Cd)	0.01% (100 mg/kg)
Mercury (Hg)	0.1% (1000 mg/kg)
Chromium (VI) (Cr ^{VI})	0.1% (1000 mg/kg)
Polybrominated Biphenyls (PBBs)	0.1% (1000 mg/kg)
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)	0.1% (1000 mg/kg)
Diethyl hexyl phthalate (DEHP)	0.1% (1000 mg/kg)
Benzyl butyl phthalate (BBP)	0.1% (1000 mg/kg)
Dibutyl phthalate (DBP)	0.1% (1000 mg/kg)
Di-isobutyl phthalate (DIBP)	0.1% (1000 mg/kg)

ภาพที่ 8 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน RoHS

5.3 กลยุทธ์การจัดการน้ำท่วม

กลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร ได้แก่

1) กลยุทธ์คันกันน้ำตามแนวแม่น้ำ (River Dike Strategy) เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างระบบคันกันน้ำ (Levee System) ตลอดแนวแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อเป็นแนวป้องกันทางกายภาพเพื่อลดโอกาสเกิดน้ำท่วม โดยคันกันน้ำถูกออกแบบให้รับมือกับระดับน้ำสูงสุดถึง 2.8 เมตร ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการป้องกันน้ำท่วมที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในเขตนี้ (BMA, 2023) อย่างไรก็ตามหากระดับน้ำเกินกว่าจุดวิกฤต คันกันน้ำอาจล้นและก่อให้เกิดน้ำท่วมรุนแรงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี แผนรับมือฉุกเฉินและมาตรการป้องกันชั่วคราว เพื่อรับมือกับสถานการณ์น้ำล้น (Goeyssinsup, 2022)

2) ระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดิน (Underground Stormwater Storage System - USSS) เป็นแนวทางเชิงกลยุทธ์ในการลดความเสี่ยงจากน้ำท่วม โดยการกักเก็บน้ำฝนส่วนเกินไว้ใต้ดิน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องการน้ำดื่มได้ ระบบนี้ช่วยลดปริมาณน้ำไหลบ่าบนพื้นผิวในช่วงที่ฝนตกหนัก ทำให้ลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Citaristi, 2022) ระบบ USSS ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ โดยสามารถรองรับปริมาณน้ำจำนวนมากในสภาวะอากาศรุนแรง (MacLean et al., 2020; Peterson et al., 2022) มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูง

3) แนวทางที่ใช้ธรรมชาติเป็นพื้นฐาน (Nature-Based Solutions - NBS) กลยุทธ์นี้ใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure) เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำในเมือง (Urban Wetlands), สวนซับน้ำฝน (Rain Gardens), และหลังคาเขียว (Green Roofs) เพื่อช่วยลดความไวต่อการเกิดน้ำท่วมและเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำตามธรรมชาติ (Badura et al., 2021) นอกจากการลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมแล้วยังช่วยปรับปรุงคุณภาพระบบนิเวศของเขตเมืองโดยเสริมสร้างความหลากหลายทางชีวภาพในเมืองและช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน (Debele et al., 2023; Pinto et al., 2023; Wang et al., 2024)

4) กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมือง (Combined Strategy with Adjusted Urban Transformation - WSC) เป็นแนวทางแบบองค์รวมที่ผสมผสานแนวคิดของทั้งสามกลยุทธ์ก่อนหน้านี้ และปรับการใช้ที่ดินเพื่อบรรเทาความเสี่ยงจากน้ำท่วม โดยมีแนวทางสำคัญ ได้แก่

4.1 ย้ายทรัพย์สินที่เปราะบางออกจากพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม

4.2 ปรับโซนนิ่ง เพื่อรองรับระบบระบายน้ำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.3 พัฒนา NBS เพื่อส่งเสริมการไหลเวียนและกักเก็บน้ำตามธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาจากประเภทอาคารและสถานการณ์ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น พบว่า

1. ระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดิน (USSS - S2) และแนวทางที่ใช้ธรรมชาติเป็นพื้นฐาน (NBS - S3) สามารถลดมูลค่าความเสียหายที่คาดการณ์ (EAD) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่ 20% ถึง 100% ขึ้นอยู่กับสถานการณ์
2. กลยุทธ์กันกั้นน้ำตามแนวแม่น้ำให้ผลลัพธ์ที่ยอดเยียมภายใต้สภาวะปัจจุบัน โดยสามารถลดความเสียหายจากน้ำท่วมได้ถึง 100% อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนึงถึงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (SLR) ประสิทธิภาพลดลงเหลือ 78% ทำให้เกิด EAD มูลค่า 0.155 ล้านดอลลาร์สหรัฐ
3. กลยุทธ์ที่มีความแข็งแกร่งและสามารถปรับตัวได้ดีที่สุดคือ กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมือง ซึ่งสามารถลดความเสียหายจากน้ำท่วมได้อย่างสมบูรณ์ โดยมูลค่าความเสียหายที่คาดการณ์ลดลงได้ 100% อีกทั้งยังช่วยประหยัดงบประมาณได้ทั้งหมด 12 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลนวัตกรรมแก้มลิงใต้ดิน หรือ Underground Stormwater Storage System (USSS) เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อการจัดการน้ำฝนและการป้องกันน้ำท่วม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการพัฒนาเมืองหนาแน่นและพื้นที่จำกัด ระบบนี้มีลักษณะเด่นในการกักเก็บน้ำฝนส่วนเกินใต้ดิน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีจุดเด่นในเรื่องของประหยัดพื้นที่ไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่การใช้งานอื่น ๆ เช่น ถนนหรือสวนสาธารณะ ช่วยลดปัญหาน้ำท่วมในเมืองที่มีการพัฒนาอย่างหนาแน่น โดยการจัดการน้ำฝนส่วนเกินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถรองรับน้ำได้มากถึง 95% ของปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บและสามารถจัดเก็บน้ำได้ในปริมาณมาก โดยไม่ต้องใช้พื้นที่บนผิวดิน ทำให้สามารถใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด กล่าวได้ว่าการออกแบบที่ยืดหยุ่นสามารถติดตั้งได้ง่ายและยืดหยุ่น โดยใช้วัสดุพลาสติกที่ทนทาน สามารถวางซ้อนกันได้หลายชั้น ซึ่งช่วยประหยัดพื้นที่ และสามารถใช้พื้นที่ที่มีข้อจำกัดได้ การศึกษานี้เน้นย้ำถึงบทบาทสำคัญของ กลยุทธ์การปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงน้ำท่วมแบบบูรณาการ ในการเสริมสร้างความสามารถในการรับมือของพื้นที่เมือง จากการศึกษากลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร สรุปได้ว่า กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมืองเป็นแนวทางที่ดีที่สุดสำหรับการจัดการน้ำท่วมในระยะยาว สามารถรองรับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นทางเลือกที่ยั่งยืนที่สุดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความเสียหายจากน้ำท่วมเพิ่มขึ้น 112 – 115% ภายในปี 2050 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่เมืองร็อตเตอร์ดัม ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดย de Moel et al. (2015) และ Poussin et al. (2016) ที่คาดการณ์ว่าความเสี่ยงจากน้ำท่วมจะเพิ่มขึ้น 97 – 185% ภายในปี 2050

นอกจากนี้การศึกษาผลกระทบของกลยุทธ์การปรับตัวต่อ EAD จากการศึกษาของ Poussin et al. (2012) ซึ่งพบว่าการป้องกันน้ำท่วมแบบ “dry-proofing” ในพื้นที่อื่นลด EAD ได้เพียง 40% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของ กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมืองในเขตดุสิต กรุงเทพมหานครทั้งนี้

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมเกิดขึ้นจากการเติบโตของเศรษฐกิจทำให้มูลค่าทรัพย์สินสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของประชากรและอาคารส่งผลให้พื้นที่รับน้ำลดลง โครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ไม่ได้รับการออกแบบรองรับการขยายตัวของเมือง อีกทั้งมีความหนาแน่นสูง และโอกาสพัฒนาโครงสร้างป้องกันน้ำท่วมเพิ่มเติมมีจำกัด

ความเสียหายจากน้ำท่วมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 15.5 – 17.1% ในระยะสั้นอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมกล่าวได้ว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมสูงเนื่องจากอยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยาและเผชิญน้ำท่วมตามฤดูกาลบ่อยครั้งความสำคัญของการพัฒนากลยุทธ์ที่หลากหลายและสามารถตอบสนองต่อความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สถานการณ์ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นและการขยายตัวของเมือง การวางแผนเพื่อสร้างความสามารถในการรับมือกับน้ำท่วมในอนาคต จำเป็นต้องผสานทั้งมาตรการเชิงโครงสร้างและแนวทางที่อิงกับธรรมชาติ เพื่อให้สามารถจัดการความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างความยั่งยืนของเมืองในระยะยาว นอกจากนี้จำเป็นต้องมีแผนที่น้ำท่วมที่มีความละเอียดสูงสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการตอบสนองฉุกเฉิน มีข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนเมืองในระยะยาว รวมถึงใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบมาตรการป้องกันน้ำท่วม

ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการหรือการนำไปใช้

1) กรอบการประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม ผู้วางแผนเมืองสามารถ ระบุพื้นที่สำคัญที่ต้องการมาตรการป้องกัน และ จัดสรรงบประมาณด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบระบายน้ำ คันกั้นน้ำ และ แนวทางที่ใช้ธรรมชาติเป็นพื้นฐานได้ (NBS)

2) มาตรการเชิงรุกเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อสร้างความสามารถในการรับมือต่ออุทกภัยระยะยาว และเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของเมืองให้สอดคล้องกับความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศในอนาคต

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1) ในการศึกษาครั้งต่อไปควรการบูรณาการโมเดลจำลองน้ำท่วมหลายมิติทั้งในเรื่องของการผสมผสานข้อมูลจาก Internet of Things (IoT) เช่น เซ็นเซอร์ระดับน้ำ อากาศ และการระบายน้ำ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง

2) พิจารณาผลกระทบของพายุที่รุนแรงขึ้นและเปลี่ยนแปลงของรูปแบบฝนตก

7. กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จขึ้นได้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายภาคส่วน ผู้วิจัยขอขอบคุณทีมวิจัยจาก ACTEC ประเทศญี่ปุ่น สำหรับการสนับสนุนด้านเทคนิคและความร่วมมือระหว่างประเทศ คณะทำงานจากศูนย์นวัตกรรมเพื่อการปรับตัวกับภัยน้ำ (Water Adaptation Innovation Center: WAIC) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ร่วมพัฒนาแนวคิด ออกแบบ วิเคราะห์ และจัดทำรายงานอย่าง

ครบถ้วน และทีมจาก NPPN Design and Research ที่มีบทบาทในการถ่ายทอดแนวคิดสู่ภาคปฏิบัติอย่างสร้างสรรค์

8. เอกสารอ้างอิง

- Aerts JCJH, Botzen WJW, Emanuel K, Lin N, de Moel H, Michel-Kerjan EO. (2014). Climate adaptation. Evaluating flood resilience strategies for coastal megacities. *Science*.344(6183):473–75
- Asian Development Bank (ADB) (2022). Urban Climate Change Resilience in Southeast Asia: Flood Risk and Adaptation Strategies.
- Badura T, Krkoška Lorencová E, Ferrini S, Vačká řová D. (2021). Public support for urban climate adaptation policy through nature-based solutions in Prague. *Landscape and Urban Planning*. 215:104215
- Bangkok Metropolitan Administration (2020). Flood Risk Management in Bangkok: An Integrated Approach.
- Brown RR, Keath N, Wong THF. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water science and technology*
- Budhathoki A, Tanaka T, Tachikawa Y. (2023). Assessing extreme flood inundation and demographic exposure in climate change using large ensemble climate simulation data in the Lower Chao Phraya River Basin of Thailand. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 50:101583
- Canton, H. (2021). United Nations Environment Programme—UNEP. In *The Europa directory of international organizations 2021* (pp. 188-214). Routledge.
- Citaristi I. (2022). Asian Development Bank—ADB. In *The Europa Directory of International Organizations 2022*, pp. 453–57. London: Routledge
- de Moel H, Aerts JCJH. (2011). Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Nat. Hazards*. 58(1):407–25
- de Moel H, Jongman B, Kreibich H, Merz B, Penning-Rowsell E, Ward PJ. (2015). Flood risk assessments at different spatial scales. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*. 20(6):865–90

- Debele SE, Leo LS, Kumar P, Sahani J, Ommer J, et al. (2023). Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards: A global analysis of NBS case studies. *Sci. Total Environ.* 902:165824
- Dutta D, Niu S. (2005). Impacts of Sea level rising on flooding in coastal cities: a case study in Bangkok, Thailand. *SEISAN KENKYU*
- Goeyinsup K. (2022). Impacts of future sea level rise on fluvial and coastal flood risk in Bangkok, Thailand
- Grossi P, Kunreuther H, eds. (2005). *Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk*. Boston: Kluwer Academic Publishers
- Haasnoot M, Di Fant V, Kwakkel J, Lawrence J. (2024). Lessons from a decade of adaptive pathways studies for climate adaptation. *Global Environmental Change.* 88:102907
- Hobbie SE, Grimm NB. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 375(1794):20190124
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Iturbide M, Fernández J, Gutiérrez JM, Pirani A, Huard D, et al. (2022). Implementation of FAIR principles in the IPCC: the WGI AR6 Atlas repository. *Sci. Data.* 9(1):629
- Jha AK, Bloch R, Lamond J. (2012). *Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*
- Jones L, Harvey B, Cochrane L, Cantin B, Conway D, et al. (2018). Designing the next generation of climate adaptation research for development. *Reg. Environ. Change.* 18(1):297–304
- Jongman B, Winsemius HC, Fraser SA, Muis S, Ward PJ. (2018). Assessment and Adaptation to Climate Change-Related Flood Risks. In *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*. Oxford University Press
- Klijn E-H, Skelcher C. (2007). Democracy and governance networks: compatible or not? *Public Adm.* 85(3):587–608

- Kumar P, Debele SE, Sahani J, Rawat N, Marti-Cardona B, et al. (2021). An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews*. 217:103603
- Lee H, Calvin K, Dasgupta D, Krinner G, Mukherji A. 2023. IPCC, (2023): Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the ...
- MacLean SB, Vytiniotis A, Sykora DW. (2020). Laboratory testing and engineering analysis of an underground stormwater detention system. *Geo-Congress 2020*, pp. 60–69. Reston, VA: American Society of Civil Engineers
- Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. ... sixth assessment report ...
- Meyer V. (2018). Decision support on flood management in complex urban settings. is risk assessment the right approach or do we need decision heuristics? In *Urban Transformations*, Vol. 10, eds. S Kabisch, F Koch, E Gawel, A Haase, S Knapp, et al., pp. 363–73. Cham: Springer International Publishing
- Nicholls RJ, Cazenave A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*. 328(5985):1517–20
- Nilubon P, Laeni N. (2024). Re-thinking new possibilities for urban climate resilience planning in Bangkok: Introducing adaptation pathways through a multidisciplinary design workshop. *Environmental Science & Policy*. 154:103711
- Nilubon P, Veerbeek W, Zevenbergen C. (2016). Amphibious architecture and design: A catalyst of opportunistic adaptation? – case study bangkok. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 216:470–80
- Nilubon P, Veerbeek W, Zevenbergen C. (2019). Integrating climate adaptation into asset management planning – Assessing the adaptation potential and opportunities of an urban area in Bangkok. *International Journal of Water Resources Engineering*
- Nilubon P. (2021). *Opportunistic Adaptation: Using the Urban Renewal Cycle to Adapt to Climate Change*. London: CRC Press

- Patel A, Keriwala N, Mehta D, Shaikh M, Eslamian S. (2023). Flood resilient plan for urban area: A case study. In *Disaster Risk Reduction for Resilience: Climate Change and Disaster Risk Adaptation*, eds. S Eslamian, F Eslamian, pp. 161–90. Cham: Springer International Publishing
- Patil DD, Wadhai VM, Gokhale JA. (2010). Evaluation of decision tree pruning algorithms for complexity and classification accuracy. *IJCA*. 11(2):23–30
- Peterson LA, Gallagher PM, Spatari S. (2022). Life cycle environmental impact of underground plastic recharge chambers in stormwater management. *Buildings*. 12(6):867
- Pinto LV, Inácio M, Pereira P. (2023). Green and blue infrastructure (GBI) and urban nature-based solutions (NbS) contribution to human and ecological well-being and health. *Oxford Open Infrastructure and Health*. 1:
- Quinlan JR. (1987). Simplifying decision trees. *Int. J. Man Mach. Stud*. 27(3):221–34
- Raška P, Bezak N, Ferreira CSS, Kalantari Z, Banasik K, et al. (2022). Identifying barriers for nature-based solutions in flood risk management: An interdisciplinary overview using expert community approach. *J. Environ. Manage*. 310:114725
- Rosenzweig B, Montalto FA, Orton P, Kaatz J, Maher N, et al. (2024). NPCC4: Climate change and New York City’s flood risk. *Ann. N. Y. Acad. Sci*.
- Rosenzweig BR, McPhillips L, Chang H, Cheng C, Welty C, et al. (2018). Pluvial flood risk and opportunities for resilience. *WIREs Water*. 5(6):e1302
- Rossi B, Marique A-F, Glaumann M, Reiter S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building and Environment*. 51:395–401
- Schipper ELF. (2007). *Climate change adaptation and development: Exploring the linkages*. Tyndall centre for climate change research working ...
- Scolobig A, Linnerooth-Bayer J, Pelling M, Martin JGC, Deubelli TM, et al. (2023). Transformative adaptation through nature-based solutions: a comparative case study analysis in China, Italy, and Germany. *Reg. Environ. Change*. 23(2):69
- Shi L, Chu E, Anguelovski I, Aylett A, Debats J, et al. (2016). Roadmap towards justice in urban climate adaptation research. *Nat. Clim. Chang*. 6(2):131–37

- Singkran N, Kandasamy J. (2016). Developing a strategic flood risk management framework for Bangkok, Thailand. *Nat. Hazards*. 84(2):933–57
- Smith A, Bates PD, Wing O, Sampson C, Quinn N, Neal J. (2019). New estimates of flood exposure in developing countries using high-resolution population data. *Nat. Commun*. 10(1):1814
- United Nations (UN). (2022). *World Cities Report (2022)*. United Nations (UN).
- Wang L, Zhao J, Lin Y, Chen G. 2024. Exploring ecological carbon sequestration advantage and economic responses in an ecological security pattern: A nature-based solutions perspective. *Ecol. Modell*. 488:110597
- Ward PJ, Marfai MA, Yulianto F, Hizbaron DR, Aerts JCJH. (2011). Coastal inundation and damage exposure estimation: a case study for Jakarta. *Nat. Hazards*. 56(3):899–916
- Wise RM, Fazey I, Stafford Smith M, Park SE, Eakin HC, et al. (2014). Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change*. 28:325–36
- World Bank (2012). *Thai flood 2011: Rapid assessment for resilient recovery and reconstruction planning: Overview (English)*. Washington, DC: World Bank.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/677841468335414861/Overview>
- Zheng HW, Shen GQ, Wang H. (2014). A review of recent studies on sustainable urban renewal. *Habitat Int*. 41:272–79