การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไผ่โดยวิธีการรวบลำ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

The Study of Load Bearing Capacity of Bamboo Culm Bundles for The Design Applications in Small Public Building

ภัทฐิตา พงศ์ธนา[1] และ สุปรีดี ฤทธิรงค์[2]

Phattita Pongthana[1] and Supreedee Rittironk[2]

[1] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000

Faculty of Architecture, Rajamangala University of technology Srivijaya, Songkhla 90000, Thailand

[2] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand

E-mail: nan_phatita@hotmail.com[1] , dukenow@hotmail.com[2]

บทคัดย่อ

ไม้ไผ่เป็นวัสดุธรรมชาติ หาง่าย สวยงาม และมีความแข็งแรง เหมาะกับการนำมาใช้ในงานก่อสร้างทางสถาปัตยกรรม เนื่องจากไผ่เป็นพืชโตเร็วจึงทำให้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม การนำไม้ไผ่มาใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมต้องมีการคำนึงถึงการรับน้ำหนักของอาคาร แต่ไผ่มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของลำไผ่ ทำให้ไม่สามารถรับแรงอาคารขนาดใหญ่ได้ จึงต้องมีการเพิ่มลำไผ่โดยการใช้วิธีการรวบลำไผ่ด้วยวิธีการต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับน้ำหนักของอาคาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาและคานโดยวิธีการรวบลำไผ่ เพื่อศึกษารูปแบบและวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการรวบลำไผ่ให้เหมาะสมกับการรับน้ำหนักของประเภทอาคาร และเป็นแนวทางในการประยุกต์การเลือกใช้จำนวนลำไผ่และวิธีการรวบลำไผ่เพื่อใช้ในการออกแบบเสาและคานทางสถาปัตยกรรม

การทดสอบเพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักกำหนดให้ใช้ไผ่ซางหม่น ขนาดความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 8–10 เซนติเมตร วิธีที่ใช้ในการรวบลำไผ่ ประกอบด้วย ใช้ลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน และนอตเกลียวจำนวนลำไผ่ที่ใช้ในการรวบเสาและคานเพื่อทดสอบการรับน้ำหนักใช้จำนวน 1–4 ลำ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO–22157 และนำผลการทดสอบไปเลือกใช้ในการออกแบบและการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาและคานปรากฏว่าจำนวนการรวบลำไผ่และระยะของการรวบลำไผ่ที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น แต่วิธีการรวบไผ่โดยใช้วิธีการใช้นอตเกลียวสามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าการใช้ลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน จากนั้นนำไปออกแบบและจำลองโดยใช้โปรแกรม SAP2000 Educational Version การเลือกใช้เสาและคานจากวัสดุต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับขนาดหน้าตัด ความยาว และอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

Abstract

Bamboo is a natural material which is easy to find around the world. It is beautiful, strong, and suitable for using in construction. It can grow fast; it can be used as an alternative construction material that can become friendly to the environment. In bamboo construction, we know that bamboo has the limit of each culm to the loading carrying. Therefore, in order for the structure to carry more loads, quantity of bamboo culms should be increased. Most common method is to put culms together called “bundling”. There are also many techniques to do bundles. This research is aimed to study the loading capacity of bamboo culm bundles with various bundling methods in both column and beam application. The bundles of columns and beams are very straight forward method, so it is chosen to be investigated. The research also will provides the design guideline in choosing the right amount of culms and the right bundling method to design columns and beams.

The research is the experimental research that does the finding by testing the loading capacity of setting specimens. The bamboo specie is selected to be Pai Sang Mon (Dendrocalamus Munro). The diameter is set to be the diameter of 8-10 centimeters. The variables in bundling methods are set to be 2 types. They are bamboo dowels with nylon rope and nuts and bolts. The amount of bamboo columns used in bundling in order to test the load carrying capacity is one to four culms. The method is to find load carrying capacity of bamboos by using ISO-22157 standards (Determination of physical and mechanical properties of bamboo). The load carrying capacity of bamboo columns and beams result appears to be highly increased if the amount of bamboo column increases. The load carrying from the bundling method with nuts and bolts appears to be higher than the bundling method with be bamboo dowels with nylon rope. The result of experimental research testing then are put to do modeling program, SAP2000 Educational Version. It is a tool to design and calculate the structural to finding sizing cross sectional, long culm and small public building.

คำสำคัญ (Keywords)

การรวบลำไผ่ (Bamboo Bundle)
วิธีการรวบลำไผ่ (Bamboo Bundling Method)
การทดสอบการรับน้ำหนักของลำไผ่ (The Load Carrying Capacity of Bamboo)
ลิ่มไผ่ (Bamboo Dowels)
นอตเกลียว (Nut and Bolt)

1. บทนำ

ในปัจจุบันสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมของโลกเปลี่ยนไปทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและภัยพิบัติธรรมชาติมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดแนวคิดในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่คำนึงถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น จึงทำให้การออกแบบต้องคำนึงถึงการออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการอยู่ร่วมกับธรรมชาติอย่างยั่งยืนประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ทำให้มีวัสดุจากธรรมชาติหลากหลายให้ในด้านการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรม แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งในด้านความสามารถของวัสดุและการนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทน

ไผ่เป็นพืชที่ขึ้นง่ายในทุกสภาวะอากาศ และเติบโตเร็วจึงสามารถนำไม้ไผ่มาใช้ประโยชน์ได้ภายในเวลา 1–4 ปี ไม้ไผ่มีคุณสมบัติพิเศษคือ ความแข็งแรง ความเหนียว การยืดหดตัว ความโค้งงอ และการสปริงตัว เป็นต้น โดยประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการกระจายพันธุ์ไผ่แห่งหนึ่งของโลก (Dransfield & Widjaja, 1995) จึงเป็นที่ยอมรับว่าทรัพยากรไม้ไผ่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของคนไทยในชนบทมาเป็นเวลาช้านาน (Forest Bureau, 2001) จึงทำให้เกิดภูมิปัญญาในการประยุกต์ใช้ให้เข้ากับการดำรงชีวิต ในอดีตจึงมักมีการนำไม้ไผ่มาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรม แต่เนื่องด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เข้ามาแทนที่ทำให้การนำไม้ไผ่มาใช้ในชีวิตประจำวันเริ่มลดน้อยลง ทำให้การพัฒนาภูมิปัญญา เทคนิค และองค์ความรู้ในการพัฒนาในการนำไม้ไผ่มาใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมยังมีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้ไม่สามารถนำความสามารถของวัสดุมาใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงมีความสนใจในการศึกษาการนำเอาไม้ไผ่มาใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมโดยเน้นด้านการออกแบบโครงสร้างเสาและคานที่ใช้ในการรับน้ำหนักในงานสถาปัตยกรรม

งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นความสำคัญของไม้ไผ่เพื่อนำมาพัฒนาและทดสอบโดยการนำเอาภูมิปัญญาและเทคโนโลยีที่ใช้ในการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมมาประยุกต์เพื่อให้สามารถนำไม้ไผ่ไปใช้ในการออกแบบและงานก่อสร้างได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากการก่อสร้างสถาปัตยกรรมกรรมไม้ไผ่ในปัจจุบัน การออกแบบโครงสร้างเสาและคานยังไม่มีการทดสอบและการคำนวณการรับน้ำหนักของโครงสร้างอย่างมีมาตรฐาน ทำให้ในการออกแบบและการก่อสร้างมักจะมีการเผื่อไว้ก่อนทำให้โครงสร้างที่ใช้เกินความจำเป็นทั้งในด้านการใช้วัสดุ การรับน้ำหนัก และงบประมาณการก่อสร้าง งานวิจัยนี้จึงนำทฤษฎีในการออกแบบโครงสร้างเสาและคานมาใช้ในการทดสอบการรับน้ำหนัก จากทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเสาและคาน ขนาดของเสาและคานแปรผันตามขนาดของหน้าตัดและการรับน้ำหนักของอาคาร แต่ในการออกแบบอาคารโครงสร้างไม้ไผ่ ไผ่มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของลำไผ่ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักอาคารขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นการที่จะเพิ่มขนาดของเสาและคานไผ่จึงต้องนำลำไผ่มารวบเพื่อให้มีความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้น โดยวิธีการรวบไผ่มีหลายวิธี เช่น ใช้ลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน และนอตเกลียว เป็นต้น และแต่ละวิธีมีผลต่อการรับน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิจัยจึงต้องการที่จะทดสอบว่าพันธุ์ไม้ไผ่ จำนวน และวิธีการรวบลำไผ่ให้เหมาะสม สอดคล้องกับการรับน้ำหนักและง่ายต่อการนำไปเลือกใช้ในการออกแบบและการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นการเลือกใช้ไม้ไผ่ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถช่วยในการประหยัดงบประมาณ สวยงามตามธรรมชาติ และเป็นการส่งเสริมให้ใช้วัสดุจากธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1.ศึกษาวิธีการต่างๆ ของการรวบลำไผ่เพื่อนำไปใช้เป็นชิ้นส่วนในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

2.ศึกษาการรับน้ำหนักของเสาและคานโดยใช้วิธีการเพิ่มจำนวนลำไผ่และวิธีการรวบลำไผ่ด้วยวิธีการใช้ลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน และนอตเกลียว

3.เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักโครงสร้างเสาและคานของวัสดุต่างๆ

4.นำเสนอแนวทางในการออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมไม้ไผ่สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยใช้รูปแบบและวิธีการรวบลำไผ่ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการศึกษา

3.1 วิธีการต่าง ๆ ของการรวบลำไผ่

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตารางที่ 1 ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการรวบลำไผ่ 2 วิธี คือ วิธีการรวบลำไผ่โดยใช้การเข้าลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน และวิธีการรวบลำไผ่ด้วยนอตเกลียว เนื่องจากทั้งสองวิธีเป็นวิธีที่มีความนิยมใช้อย่างแพร่หลาย มีความแข็งแรง คงทน ราคาที่เหมาะสม และวัสดุหาได้ง่าย

ตารางที่ 1 วิธีการรวบลำไผ่

วิธีการรวบลำไผ่		ราคา	ความยาก-ง่ายในการรวบลำ	ความแข็งแรงความคงทน	ความหาง่ายของวัสดุ	ความนิยม
1. เข้าลิ่ม		ถูกมาก	ง่ายมาก	แข็งแรงไม่คงทน	หาได้ทั่วไป	ไม่นิยม
2. เข้าลิ่มแล้วมัดเชือกไนลอน		ถูกมาก	ง่าย	แข็งแรงมากคงทนมาก	หาได้ทั่วไป	นิยม
3. เข้าลิ่มแล้วมัดหวาย		แพง	ยาก	แข็งแรงมากคงทนมาก	ค่อนข้างยาก	นิยม
4. เข้าลิ่มแล้วมัดเชือกมะนิลา		ปานกลาง	ง่าย	แข็งแรงมากคงทนมาก	ค่อนข้างยาก	ไม่นิยม
5. เข้าลิ่มแล้วมัดลวดเหล็ก		ปานกลาง	ง่าย	แข็งแรง คงทน	หาได้ทั่วไป	ไม่นิยม
6. เข้าด้วยนอตเกลียว		ถูก	ง่ายมาก	แข็งแรง คงทน	หาได้ทั่วไป	นิยม
7. มัดด้วยเข็มขัดรัดท่อ		ค่อนข้างแพง	ง่ายมาก	แข็งแรง คงทน	หาได้ทั่วไป	ไม่นิยม

นอกจากนี้แล้วในทางสถาปัตยกรรมการรวบลำไผ่โดยใช้ลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน และการรวบลำไผ่ด้วยนอตเกลียวสามารถทำให้มีผลต่อการออกแบบรูปด้านและความสวยงามที่แตกต่างกัน

3.2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ไผ่ซางหม่น (Dendrocalamus sericeus Munro) อายุ 3-4 ปี ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร

2. ความยาวไผ่ที่ใช้ในการทดสอบเสายาว 1.5 เมตร และคานยาว 3 เมตร

3. จำนวนไผ่ที่ใช้ในการรวบ (1 2 3 และ 4)

รูปที่ 1 จำนวนไผ่ที่ใช้ในการรวบทดสอบตัวอย่าง

4. วิธีการรวบลำไผ่

4.1 ลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน

วิธีการรวบลำไผ่โดยใช้การลิ่ม (1)

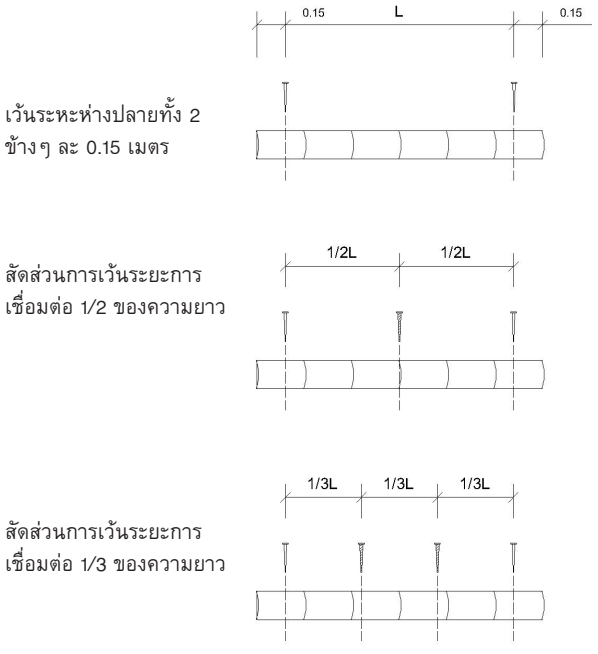
มัดด้วยเชือกไนลอน (2)

รูปที่ 2 วิธีการรวบลำไผ่โดยใช้การเข้าลิ่ม (1) แล้วมัดด้วยเชือกไนลอน (2)

4.2 นอตเกลียว

รูปที่ 3 วิธีการรวบลำไผ่โดยใช้นอตเกลียว

4.3 ระยะห่างจากของการรวบไผ่



รูปที่ 4 ระยะห่างจากของการรวบไผ่

3.3 วิธีการทดสอบ

1. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ตามมาตรฐาน ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties of bamboo

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย การทดสอบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (moisture content) การทดสอบความหนาแน่น (density) และการทดสอบความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

1.2 คุณสมบัติเชิงกล ประกอบด้วย การทดสอบแรงดึง (tension test) การทดสอบแรงอัด (compression test) การทดสอบแรงดัด (bending test) และการทดสอบแรงเฉือน (shear test)

2. ทดสอบหาแรงอัดและดัดของลำไม้ไผ่ 1 ลำ โดยใช้ค่ามาตรฐาน ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties of bamboo เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดัดของการรวบลำไผ่

3. ทดสอบการรวบลำไผ่โดยกำหนดจำนวนและวิธีการรวบลำไผ่ที่แตกต่างกัน โดยใช้ค่ามาตรฐาน ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties of bamboo เพื่อหาค่าความสามารถในการรับแรงอัดของเสาและแรงดัดของคาน

4. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองโดยการนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาใช้ในการคำนวณแบบจำลองคณิตศาสตร์กำหนดให้

4.1 การคำนวณแบบจำลองของเสา

ความยาวประสิทธิผล (K) เท่ากับ 1

ความยาวของเสาไม้ไผ่ (L) เท่ากับ 4 เมตร

4.2 การคำนวณแบบจำลองของคาน

ความยาวของเสาไม้ไผ่ (L) เท่ากับ 4 เมตร

5. ออกแบบและจำลองการเลือกใช้เสาและคานจากวัสดุต่างๆ ให้เหมาะสมกับการเลือกใช้ขนาดหน้าตัดความยาว สำหรับประเภทอาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SAP2000 Educational Version)

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล (ตารางที่ 2) การทดสอบปรากฏว่าส่วนโคนของลำไผ่และความหนาของเนื้อไผ่ที่มีความหนามากมีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลสูงมากขึ้น

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

คุณสมบัติทางกายภาพ		
1. ปริมาณความชื้น	12.30	เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความหนาแน่น	711.76	กก./ลบ.ม.
3. ค่าความถ่วงจำเพาะ	69.83	เปอร์เซ็นต์
คุณสมบัติเชิงกล		
4. กำลังรับแรงดึงเฉลี่ย	1,521.27	กก./ตร.ซม.
5. กำลังรับแรงอัดเฉลี่ย	267.84	กก./ตร.ซม.
6. กำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ย	263.62	กก./ตร.ซม.
7. กำลังรับแรงดัดเฉลี่ย	794.24	กก./ตร.ซม.
8. ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น	27,436.62	กก./ตร.ซม.

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงอัดของการรวบลำไผ่

จากการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงอัดของการรวบลำไผ่ปรากฏว่าลักษณะการวิบัติของวัสดุไผ่ 1 ลำ ที่ส่วนปลายของลำไผ่ทั้ง 2 ด้าน ติดกับส่วนข้อ (node) มีลักษณะการวิบัติแบบการโก่งเดาะ (Buckling) ดังรูปที่ 5 ส่วนไผ่ 1 ลำ ที่ส่วนปลายของลำไผ่ทั้ง 2 ด้าน ไม่ติดกับส่วนข้อ (node) และการรวบลำไผ่ตั้งแต่ 2–4 ลำ

มีลักษณะการวิบัติของวัสดุแบบ Bearing และ Splits ดังรูปที่ 6 โดยบริเวณที่เกิดการวิบัติส่วนใหญ่มักอยู่บริเวณจุดเชื่อมต่อ เนื่องจากการการเข้าลิ่มหรือนอตเกลียวทำให้วัสดุได้รับความเสียหาย (micro-crack)

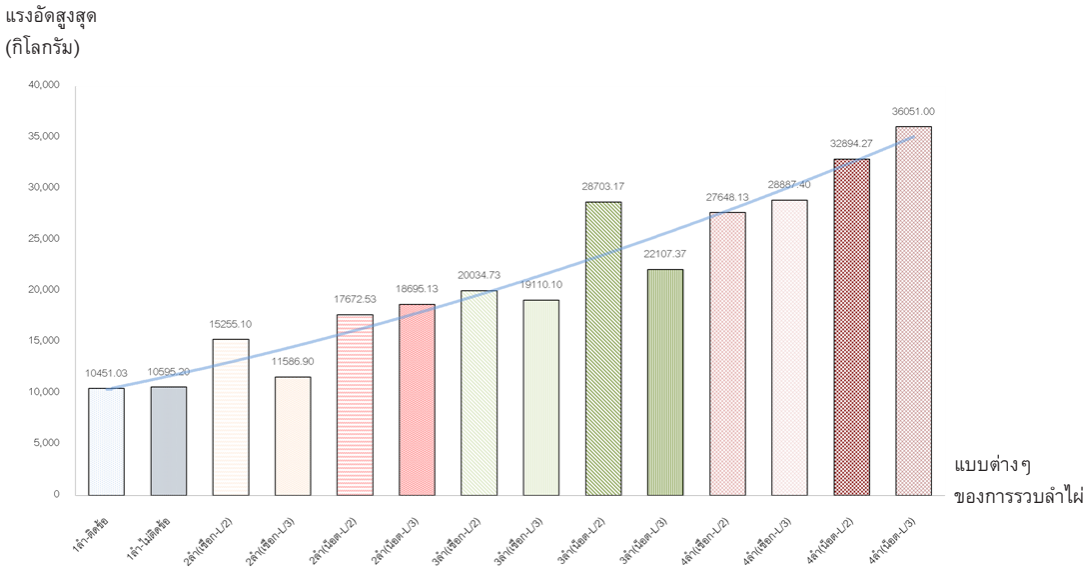
การเพิ่มลำไผ่ส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น และการรวบลำไผ่โดยใช้วิธีการเชื่อมด้วยนอตเกลียวสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าวิธีการเข้าลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน นอกจากนั้นการรวบลำไผ่โดยใช้วิธีการเข้าลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอนที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวเสามีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวเสา แต่การรวบลำไผ่โดยใช้วิธีการเชื่อมด้วยนอตเกลียวที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวเสามีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวเสา แต่ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าการรวบไผ่โดยใช้วิธีการเชื่อมต่อแบบต่างๆ ทำให้เนื้อวัสดุที่อยู่ในช่วงของจุดเชื่อมต่อเกิดความเสียหายทำให้มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักลดลงได้ ดังรูปที่ 7–8

รูปที่ 5 ลักษณะการวิบัติจากการโก่งงอ (buckling)

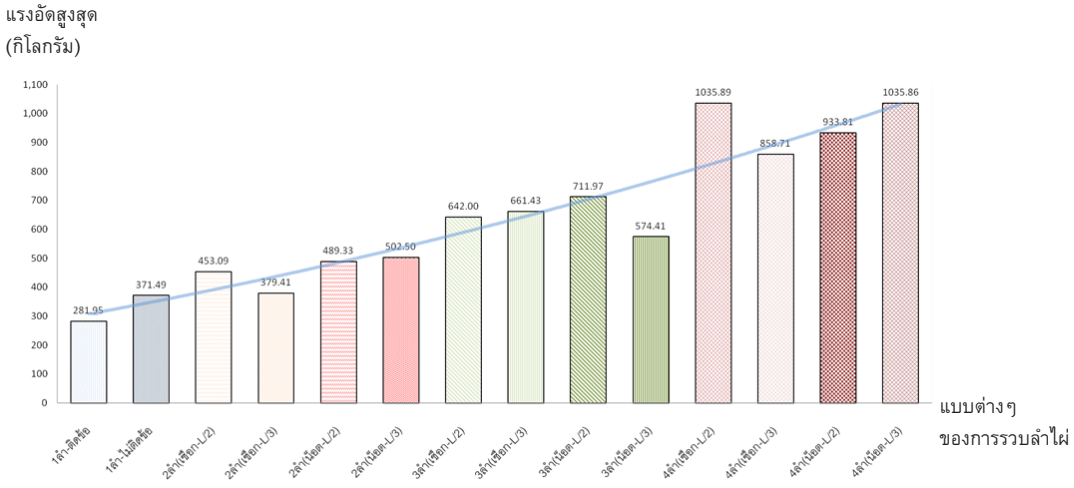
ลักษณะการวิบัติแบบ Bearing (1)

ลักษณะการวิบัติแบบ Splits (2)

รูปที่ 6 ลักษณะการวิบัติจากเนื้อวัสดุ



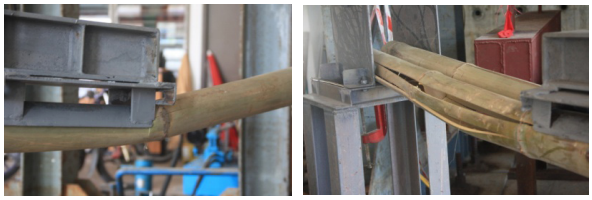
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดสูงสุดและแบบต่างๆ ของการรวบลำไผ่



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดสูงสุดและแบบต่างๆ ของการรวบลำไผ่

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดัดของการรวบลำไผ่

จากการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดัดของการรวบลำไผ่มีการลักษณะการวิบัติของวัสดุมี 2 แบบ คือ การวิบัติแบบแรงเฉือน (local crushing) และการวิบัติที่มีรอยแตกตามความยาว (splitting) ดังรูปที่ 9 จากการทดสอบสังเกตได้ว่าการรวบลำไผ่ไม่ทำให้หน้าตัดของคานทำงานเป็นระบบเดียวกัน



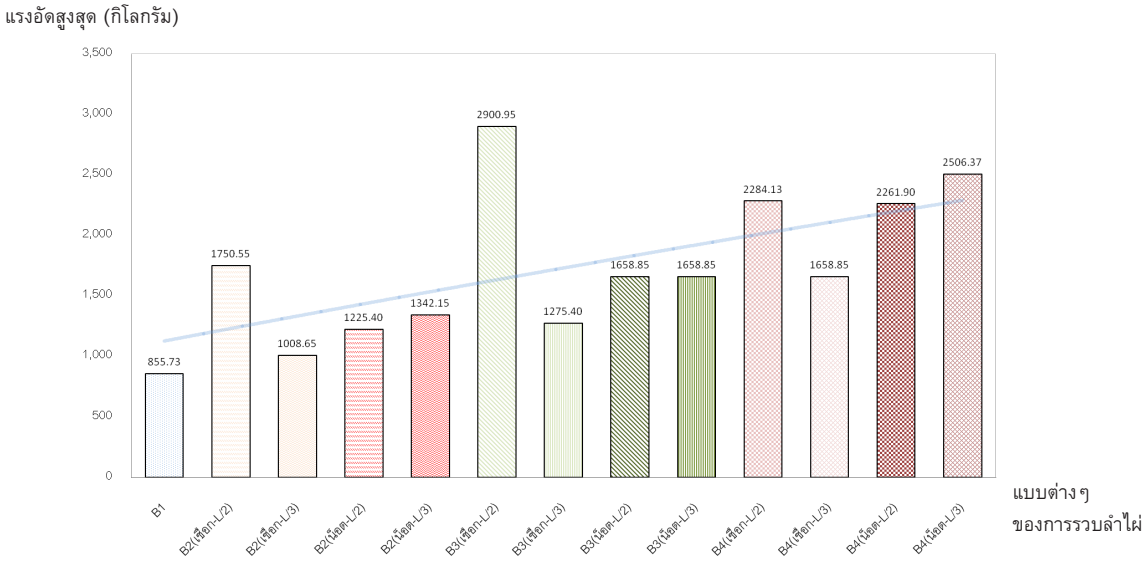
การวิบัติแบบ Local crushing (1) | การวิบัติแบบ Splitting (2)

รูปที่ 9 ลักษณะการวิบัติของวัสดุจากแรงดัด

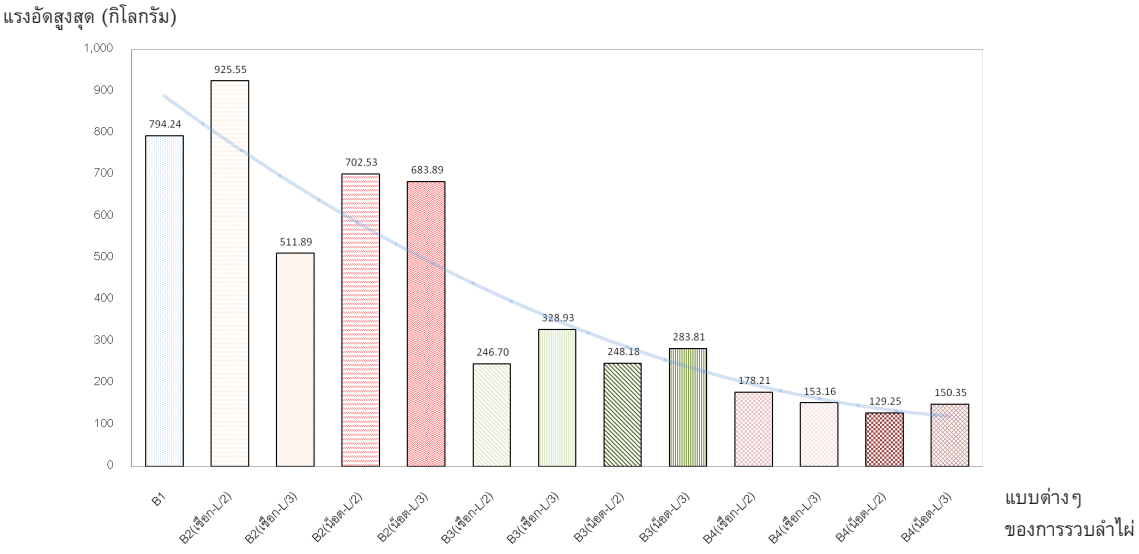
การเพิ่มลำไผ่มีผลให้ความสามารถในการรับแรงดัดเพิ่มมากขึ้นแต่กำลังรับแรงดัดลดลง แสดงให้เห็นว่าขนาดหน้าตัดของคานมีผลต่อการรับแรงดัด คือหน้าตัดคานที่มีขนาดเล็กมีความแข็งแรงมากกว่าหน้าตัดขนาดใหญ่

การรวบลำไผ่โดยใช้วิธีการเชื่อมด้วยนอตเกลียวสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าวิธีการเข้าลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอน เนื่องจากนอตเกลียวมีหัวนอตปิดปลายทั้งสองด้านช่วยรัดลำไผ่ที่รวบไว้ให้แน่นยิ่งขึ้นทำให้การทำงานเป็นระบบมากยิ่งขึ้น และระยะห่างของการเชื่อมต่อระยะ 1/3 ของความยาวคานมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวคานอย่างไม่มีนัยสำคัญ จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดสูงสุดและแบบต่างๆ ของการรวบลำไผ่ ดังรูปที่ 10 การรวบลำไผ่โดยใช้วิธีการเข้าลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอนที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวคานมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคานอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเข้าลิ่มแล้วมัดด้วยเชือกไนลอนจึงไม่ได้ช่วยคานรับแรงอย่างเป็นระบบ และการรวบลำไผ่ที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวคาน บริเวณจุดที่ถ่ายน้ำหนักไม่ลงตรงจุดเชื่อมต่อของลำไผ่ทำให้ไม่เกิดแรงเฉือนขึ้น ณ บริเวณนั้นจึงทำให้สามารถรับแรงดัดได้มากยิ่งขึ้น แต่การรวบลำไผ่ที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคาน บริเวณจุดที่ถ่ายน้ำหนักลงตรงจุดเชื่อมต่อของลำไผ่พอดี ดังรูปที่ 10 ทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นในบริเวณนั้นจนทำให้วัสดุและจุดเชื่อมต่อเกิดการวิบัติก่อนส่วนอื่นๆ

รูปที่ 10 การรวบลำไผ่ที่มีระยะห่างของการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคาน บริเวณจุดที่ถ่ายน้ำหนักลงตรงจุดเชื่อมต่อของลำไผ่



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดสูงสุดและแบบต่างๆ ของการรวบลำไผ่



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดสูงสุดและแบบต่างๆ ของการรวบลำไผ่

5. สรุปผลการศึกษา

5.1 ความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การรับแรงอัดและดัดของการรวบลำไผ่

ค่าความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าการรับแรงอัดและดัดของการเพิ่มจำนวนลำไผ่ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนของลำไผ่ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากจำนวนและวิธีการรวบลำไผ่ ดังนั้นการนำค่าคุณสมบัติของไผ่ไปใช้ในการคำนวณจึงต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ (factor) เพื่อช่วยให้ผลการคำนวณแม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของการรับแรงอัดและค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่

จำนวน ระยะเชื่อมต่อ และวิธีการรวบลำไผ่ของเสา	ความสัมพันธ์ของการรับแรงอัด	ค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่
1 ลำ	1.00	1
2 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/2)	1.46	0.73
2 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/3)	1.11	0.55
2 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	1.69	0.85
2 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	1.79	0.89
3 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/2)	1.92	0.64
3 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/3)	1.83	0.61
3 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	2.75	0.92
3 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/3)	2.12	0.71
4 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/2)	2.65	0.66
4 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/3)	2.76	0.69
4 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	3.15	0.79
4 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/3)	3.45	0.86

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของการรับแรงดัดและค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่

จำนวน ระยะเชื่อมต่อ และวิธีการรวบลำไผ่ของคาน	ความสัมพันธ์ของการรับแรงดัด	ค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่
1 ลำ	1.00	1.00
2 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/2)	2.05	1.02
2 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/3)	1.18	0.59
2 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	1.43	0.72
2 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	1.57	0.78
3 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/2)	3.39	1.13
3 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/3)	1.49	0.50
3 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	1.94	0.65
3 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/3)	1.94	0.65
4 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/2)	2.67	0.67
4 ลำ (ลิ่มมัดเชือก-ระยะ L/3)	1.94	0.48
4 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/2)	1.29	0.32
4 ลำ (นอตเกลียว-ระยะ L/3)	2.93	0.73

5.2 ผลการจำลองอาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยใช้การรวบลำไผ่เป็นโครงสร้างในการออกแบบ

ข้อกำหนดในการออกแบบการจำลองอาคาร

1. ประเภทอาคารเป็นอาคารสาธารณะขนาดเล็กมีลักษณะการใช้งานประกอบด้วยพื้นที่จัดแสดงนิทรรศการและร้านอาหาร ดังรูปที่ 13-15
2. ระยะช่วงพาด 4X4 เมตร
3. อาคารสูงชั้นละ 4 เมตร
4. น้ำหนักบรรทุกจร เท่ากับ 300 kg/m^2
5. น้ำหนักบรรทุกคงที่ ดังตารางที่ 2.15

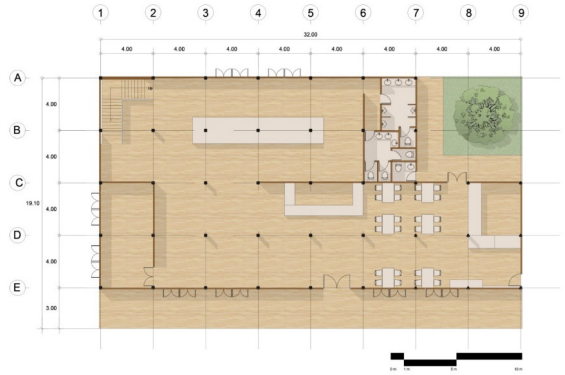
5.1 หลังคาเมทัลชีต (สังกะสี) เท่ากับ 5 kg/m^2

5.2 ฝาไม้ ½" รวมคร่าว เท่ากับ 20 kg/m^2

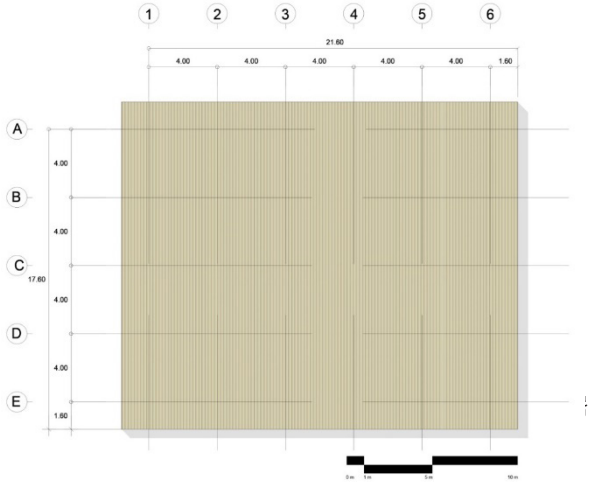
5.3 พื้นไม้ 1" รวมตง เท่ากับ 30 kg/m^2

6. ค่าส่วนความปลอดภัยของไม้ไผ่ เท่ากับ 3 โดยพิจารณาจากส่วนความปลอดภัยสำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 1 และ 2 งานในร่ม เท่ากับ 2.5 – 6.5

ในการออกแบบผังอาคารใช้แนวความคิดการจัดองค์ประกอบเพื่อความยืดหยุ่นในพื้นที่ใช้สอยเพื่อรองรับกิจกรรมที่หลากหลายเป็นเอกลักษณ์ของเรือนไทย โดยมีพื้นที่หนึ่งสามารถรองรับประโยชน์ใช้สอยที่หลากหลายในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Prasertsuk, 2015, p. 38)



รูปที่ 13 แบบพื้นชั้น 1 อาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยการนำวิธีการรวบลำไผ่มาประยุกต์ในการออกแบบโครงสร้าง



รูปที่ 15 แบบหลังคา อาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยการนำวิธีการรวบลำไผ่มาประยุกต์ในการออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างเสาใช้วิธีการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรแล้วนำค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้ นำไปหาขนาดหน้าตัดเสาที่ต้องใช้เพื่อนำมาหาจำนวนของลำไผ่ที่ต้องสำหรับโครงสร้างเสา ดังนี้

$$\text{จำนวนเสาไผ่ที่ต้องใช้} = \frac{\text{ขนาดหน้าตัดเสา}}{\text{พื้นที่หน้าตัดไผ่ 1 ลำ}}$$

วิธีการเลือกประเภทการรวบลำไผ่ของเสา ดังนี้

จำนวนลำไผ่ที่ต้องใช้

x ค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่ของเสา

หมายเหตุ: ค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่ของเสา (ตารางที่ 3)

การออกแบบโครงสร้างคานออกแบบโดยใช้โปรแกรม SAP 2000 for Educational ในการช่วยคำนวณค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M) นำค่าที่ได้มาคำนวณออกแบบขนาดหน้าตัดของคานเพื่อหาจำนวนลำไผ่ที่ต้องใช้ในการออกแบบคาน ดังนี้

$$0.3Fb > \frac{Mc}{I}$$

โดย Fb = กำลังรับแรงดัด, kg/cm^2

M = โมเมนต์รับแรงดัดสูงสุด, kg/cm^2

c = ระยะที่วัดห่างจากแรงสะเทิน, cm.

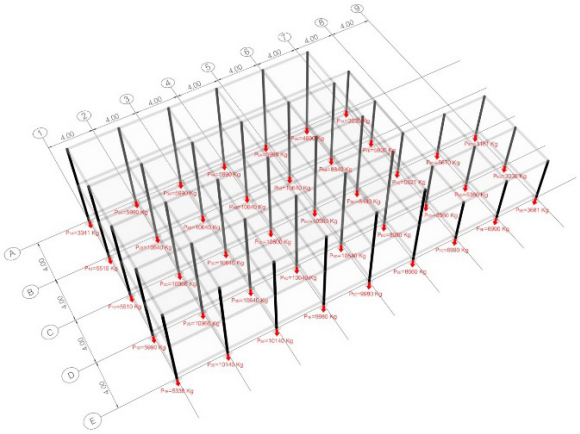
I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของรูปตัดรอบแกนที่รับโมเมนต์ดัด, cm^4

การเลือกประเภทการรวบลำไผ่ของคาน

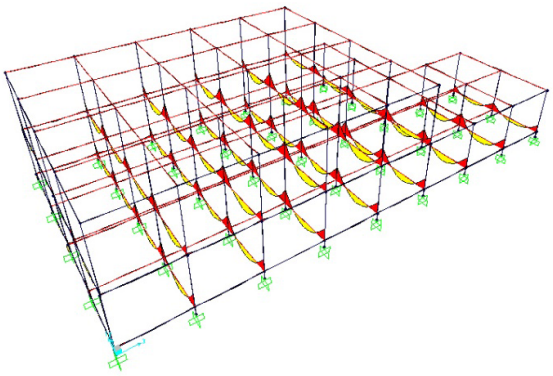
$$\text{วิธีการเลือกประเภทการรวบลำไผ่} = \frac{\text{ค่า Fb ที่สามารถใช้ได้}}{\text{ค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่ของคาน}}$$

หมายเหตุ: ค่าสัมประสิทธิ์ของการรวบลำไผ่ของคาน (ตารางที่ 4)

โดยผลการคำนวณโครงสร้างเสาและคาน ดังรูปที่ 16



น้ำหนักบรรทุกของเสา (1)

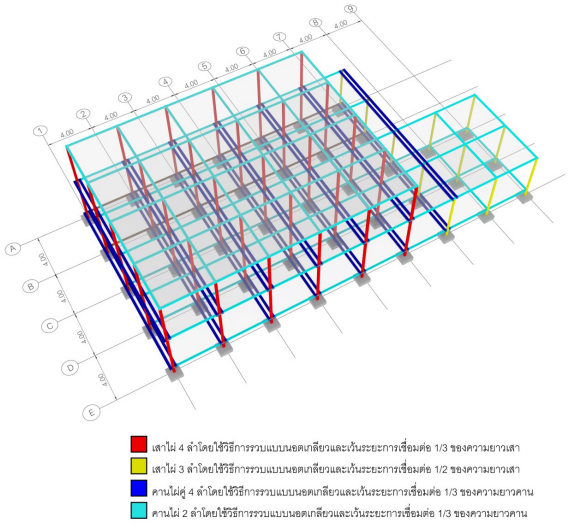


การจำลองโครงสร้างเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด
โดยการใช้โปรแกรม (2)

รูปที่ 16 น้ำหนักบรรทุกของเสา (1) และ การจำลองโครงสร้างเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดโดยการใช้โปรแกรม (2)

จากผลการคำนวณการออกแบบโครงสร้างเสาและคาน การออกแบบโครงสร้างเสากำหนดให้เสาที่รับน้ำหนักบรรทุกส่วนของอาคารที่มี 2 ชั้น ใช้เสาไผ่ 4 ลำโดยใช้วิธีการรวบแบบนอตเกลียวและเว้นระยะการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวเสา และเสาที่รับน้ำหนักบรรทุกส่วนของอาคารที่มี 1 ชั้น ใช้เสาไผ่ 3 ลำโดยใช้วิธีการรวบแบบนอตเกลียวและเว้นระยะการเชื่อมต่อ 1/2 ของความยาวเสา การออกแบบโครงสร้างคานกำหนดให้คานชั้นหลังคาและคานชั้น 1 และ 2 ในแนวนอน ใช้คานไผ่ 2 ลำโดยใช้วิธีการรวบแบบนอตเกลียวและเว้นระยะการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคาน และคานชั้น 1 และ 2 ในแนวตั้งใช้คานคู่ 4 ลำโดยใช้วิธีการรวบแบบนอตเกลียวและเว้นระยะการเชื่อมต่อ 1/3 ของความยาวคาน ดังรูปที่ 17

การออกแบบโครงสร้างอาคารโดยใช้วิธีการรวบลำไผ่สามารถใช้วิธีการคำนวณและการจำลองโครงสร้างเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนลำไผ่และรูปแบบของการรวบลำไผ่ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการออกแบบยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของวัสดุที่นำมาใช้ในการรวบลำไผ่และระยะการเชื่อมต่อของความยาว อาทิ การรวบลำไผ่โดยใช้เชือกถ้าไผ่เกิดการหดตัวทำให้เชือกที่มัดไว้ไม่แน่นเหมือนเดิมต้องมีการมัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นการใช้มัดด้วยเชือกควรจะเป็นส่วนของโครงสร้างที่อยู่ในสามารถแก้ไขได้ง่าย และระยะการเชื่อมต่อที่มากขึ้นทำให้สามรถรับน้ำหนักได้ดียิ่งขึ้น แต่ในกรณีของการรวบลำไผ่โดยวิธีการเข้าลิ่มไม่แนะนำให้ใช้กับโครงสร้างคาน เนื่องจากลิ่มสามารถคลายตัวได้ง่ายไม่เหมาะสมกับการรับน้ำหนักบริเวณที่เกิดถ่ายน้ำหนักโดยตรง



รูปที่ 17 ขนาดของเสาและคานของผลการออกแบบจำลองโครงสร้างอาคาร

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2557 ซึ่งให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยนี้

References

Anusiri, M. (2002). *การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก* [Structural timber and steel design] (8th ed.). Bangkok: SE-ED Public Company Limited.

Chovichien, V. (2002). *การออกแบบโครงสร้างไม้* [Structural timber design] (8th ed.). Bangkok: POR.SAMPHAN Printing.

Chung, K. F. & Yu, W. K. (2002). Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Journal of Engineering, 6*(4), 275-281.

Computer & Structures INC. (2011). *Introductory tutorial for SAP2000 linear and nonlinear static and dynamic analysis and design of three-dimensional structures*. California: University Avenue Berkeley.

Fan, H. & Fan, C. (n.d). *Test method for determination of mechanical properties of bamboo*. Harbin: Civil Engineering and Architecture Harbin University.

International Organization for Standardization [ISO]. (2004). *Bamboo-determination of physical and mechanical properties*. ISO 22157-1: 2004(E)., Switzerland: Author.

Khongyon, A. (2011). *พฤติกรรมการรับแรงดัดของลำไม้ไผ่ตง* [Bending behavior of Pai Tong (Dendrocalamus asper backer) bamboo culms]. Master of Engineering Thesis, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Malanit, P. (2009). *The suitability of dendrocalamus asper basker for oriented strand lumber*. Doctor of Philosophy's Thesis, University of Hamburg, Hamburg.

Nienhuys, S. (2012). *Thin bamboo culms for trusses-use of two and three culms in composite beams*. Retrieved November 17, 2012, from http://www.nienhuys.info

Prasertsuk, S. (2015). การจัดองค์ประกอบเพื่อการใช้สอยและการเชื่อมต่อที่ว่างในสถาปัตยกรรมไทยสมัยใหม่ [Architectural composition for utilities and spatial connection in modern Thai architecture]. *Journal of Architecture/Planning Research and Studies, 12*(1), 38.

Prasongpornsakul, P. (2011). *การศึกษาพฤติกรรมและกำลังรับน้ำหนักตามแนวแกนของเสาไม้ไผ่* [Behavior and load carrying capacity of bamboo columns]. Master of Engineering Thesis, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.