

สมรรถนะในการรับแรงดัดของคานไม้ด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่น
คาร์บอนไฟเบอร์

FLEXURAL PERFORMANCE OF TIMBER BEAMS
STRENGTHENED WITH PRESTRESSED CFRP SHEETS

ชัชวาล พันศร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สมรรถนะในการรับแรงดัดของคานไม้ด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่น
คาร์บอนไฟเบอร์

ชัชวาล พันสร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมรรถนะในการรับแรงคดของคานไม้ด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์
Flexural Performance of Timber Beams Strengthened with Prestressed CFRP Sheets

ชื่อ - นามสกุล นายชัชวาล พันสร

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์หมิง จิ่ง, D.Eng.

ปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิติสานต์ กร้ามาตร, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(อาจารย์บุญมี ชินนาบุญ, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(อาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์หมิง จิ่ง, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 5 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะในการรับแรงค้ำของคานไม้ด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์
ชื่อ - นามสกุล	นายชัชวาล พันศร
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์หมิง จิ่ง, D.Eng.
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

วิธีในการซ่อมแซมโครงสร้างไม้มีหลายวิธี แต่เนื่องจากวิธีการซ่อมแซมส่วนใหญ่ทำให้รูปลักษณะของโครงสร้างไม้เปลี่ยนไป ในงานวิจัยนี้จะเสริมการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือสามารถทนต่อการรับแรงได้เป็นอย่างดี แล้วยังคงสภาพให้โครงสร้างไม้ไม่เปลี่ยนรูปลักษณะอีกด้วย

ในงานวิจัยนี้โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่หนึ่งการทดสอบหาคุณสมบัติของไม้และประเภทที่สอง การทดสอบของคานไม้ทั้ง 10 ตัวอย่างโดยจัดกลุ่มดังนี้ คานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จำนวน 2 ตัวอย่าง คานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตันและค่าอัดแรงที่ 14550 นิวตัน จำนวนอย่างละ 2 ตัวอย่าง คานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตัน จำนวน 2 ตัวอย่างและคานไม้ธรรมดา จำนวน 2 ตัวอย่าง

จากผลการทดสอบพบว่า คานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่าอัดแรงที่ 14550 นิวตันจะรับโมเมนต์ค้ำสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 62.67 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ธรรมดา คานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตันจะรับโมเมนต์ค้ำสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 48.54 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ธรรมดา คานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ 14550 นิวตัน จะมีระยะ โกงตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 22.61 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ธรรมดา คานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตัน จะมีระยะ โกงตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 46.25 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ธรรมดา และคานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงจะรับโมเมนต์ค้ำสูงสุดได้มากกว่าและระยะ โกงตัวน้อยกว่า เมื่อเทียบกับคานไม้ที่เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยไม่ให้ค่าอัดแรง

คำสำคัญ: คานไม้ แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ อัดแรงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และสมรรถนะในการรับแรง

Thesis Title Flexural Performance of Timber Beams Strengthened with Prestressed CFRP Sheets

Name - Surname Mr. Chatchawan Phunsorn

Program Civil Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Meng Jing, D.Eng.

Academic Year 2015

ABSTRACT

There are variety of ways to retrofit timber structures. However, some methods induce change of the appearance. So, in this research timber beams are strengthened with carbon fiber sheets. This new method can improve the flexural performance of timber beams without changing the appearance of it.

In this study, the research divides two parts. The first part is testing the mechanical properties of timber samples. The second part is testing ten timber beams. Two timber beam samples are strengthened with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) sheets. Four timber beams are strengthened by CFRP sheets with prestressing. Two timber beam samples with small damage at mid-span are repaired and strengthened by CFRP sheets with prestressing and other two timber beams are un-strengthened.

The results showed that, the maximum bending moment of timber beams strengthened by CFRP sheets with prestressing force of 14550 N is about 62.67 percent more than that of timber beams without strengthening. The maximum bending moment of timber beams strengthened by CFRP sheets with prestressing force of 5820 N is about 48.54 percent more than that of timber beams without strengthening. The deflection at failure point of timber beams strengthened by CFRP sheets with prestressing force of 14550 N is about 22.61 percent less than of timber beams without strengthened. The deflection at failure point of timber beams strengthened by CFRP sheets with prestressing force of 5820 N is about 46.25 percent less than of timber beams without strengthened. Timber beams strengthened with prestressed CFRP sheets have higher flexural capacity and less deflection when compared with timber beams strengthened by CFRP sheets without prestressing.

Keywords: timber beams, Carbon fiber reinforced polymer, prestressed CFRP sheets, flexural performance



กิตติกรรมประกาศ

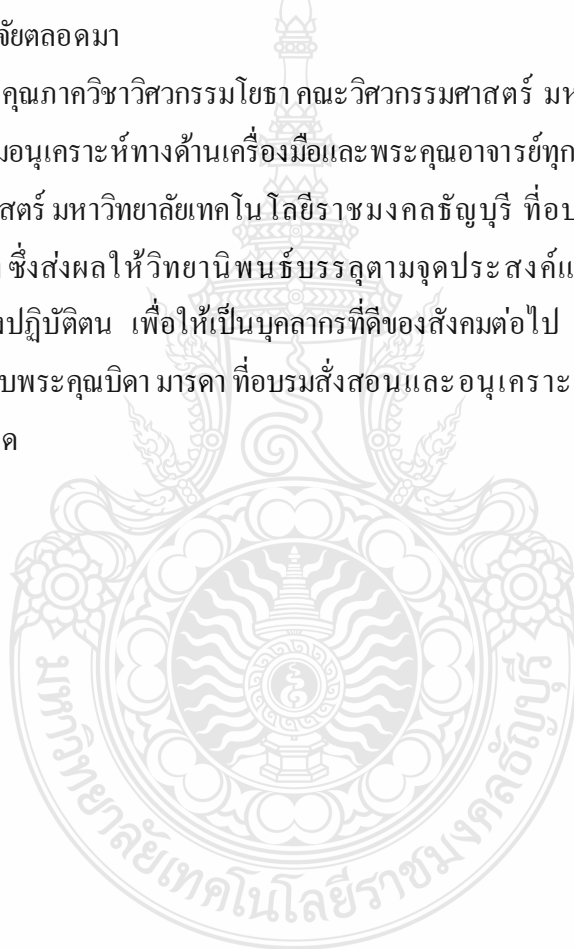
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากการอนุเคราะห์ และให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งการให้ความสนับสนุนเป็นอย่างดีจากหลายฝ่าย ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.หมีมิ่ง จิ่ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและแนะนำความรู้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต และดร.บุญมี ชินนาบุญ ที่เสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้าในครั้งนี้ รวมถึงการให้ข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล-ธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือและพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมโยธา ซึ่งส่งผลให้วิทยานิพนธ์บรรลุตามจุดประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ อีกทั้งปลูกฝังแนวคิดแนวทางปฏิบัติตน เพื่อให้เป็นบุคลากรที่ดีของสังคมต่อไป

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อบรมสั่งสอนและอนุเคราะห์อุปถัมภ์การศึกษา ทั้งยังเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ชัชวาล พันศร



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	4
กิตติกรรมประกาศ.....	6
สารบัญ	7
สารบัญตาราง.....	9
สารบัญรูป.....	10
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	13
1.2 วัตถุประสงค์	14
1.3 ขอบเขตการวิจัย	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 งานวิจัยและ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบคานไม้รับแรงอัด	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	43
3.1 วัสดุการทดสอบ.....	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	48
3.3 การทดสอบคุณสมบัติของไม้.....	49
3.4 วิธีการคำนวณค่าอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์	54
3.5 การทดสอบแรงคัดของคานไม้.....	55
3.6 ขั้นตอนการทดสอบ	57
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	60
4.1 คุณสมบัติของวัสดุไม้.....	60
4.2 คานไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	68
4.3 ผลการทดสอบแรงคัดคานไม้.....	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	88
5.1 สรุปผลการศึกษา	88
5.2 ข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม	91
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบกำลังต้านแทนแรงอัด แรงดัด แรงดึงของไม้และคานไม้	94
ภาคผนวก ข. มาตรฐานการทดสอบ	118
ภาคผนวก ค. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	163
ประวัติผู้เขียน	177



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดสอบแรงดึงในแนวแกนหลัก	17
ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคาน	17
ตารางที่ 2.3 แสดงผลการทดลอง	19
ตารางที่ 2.4 แสดงสมการการถดถอย	23
ตารางที่ 2.5 แสดงผลการทดลอง	28
ตารางที่ 2.6 แสดงความแข็งแรงของไม้และความต้านทานของไม้	30
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของแผ่น CFRP	46
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Epoxy	47
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงรูปแบบตัวอย่างการทดลอง (หมายเหตุในตารางเป็นหน่วยมิลลิเมตร)	56
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้	61
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้	62
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้	64
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังต้านแรงดึงของไม้	65
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแรงดึง แรงอัด และแรงดัดของคานไม้	69
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบโมเมนต์ดัดและระยะ โกงตัวของคานไม้	73

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงเครื่อง Universal Testing Machine และการติดตั้งการทดสอบแรงดึงของแผ่น CFRP	16
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ยึดแบบ Gradient	18
รูปที่ 2.3 แสดงภาพตัดของไม้ที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 2.4 แสดงแผนภูมิจำลองการทดลอง	20
รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิค่าของแรงที่ทำให้ไม้ถึงจุดแตกหัก	20
รูปที่ 2.6 แสดงไม้ที่ใช้ในการทดลอง	21
รูปที่ 2.7 แสดงผลการทดลอง	22
รูปที่ 2.8 แสดงจุดเหมาะสมของการเสริมกำลังคาน A ด้วย CFRP (ก) ความหนาที่เหมาะสม (ข) ความยาวที่เหมาะสม	23
รูปที่ 2.9 ผลการทดลองของงานวิจัย.....	24
รูปที่ 2.10 สรุปผลการทดลอง.....	25
รูปที่ 2.11 (ก) แสดงรูปแบบของไม้ที่ใช้ทำการทดสอบ (ข) แสดงการทดสอบไม้.....	26
รูปที่ 2.12 แสดงผลการทดลองงานวิจัยการประเมินประสิทธิภาพของไม้พาราประสานซึ่งเสริมแรง ด้วยแผ่นเสริมแรง	26
รูปที่ 2.13 รูปแบบของไม้ที่ใช้ทำการทดลอง	27
รูปที่ 2.14 รูปแบบการทดลอง	28
รูปที่ 2.15 แสดงเสาคาน ดง และพื้น ไม้.....	35
รูปที่ 2.16 ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์	40
รูปที่ 2.17 แสดงการใช้งานแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์	40
รูปที่ 2.18 พฤติกรรมรับแรงหลังจากการอัดแรง	41
รูปที่ 2.19 (ก) พฤติกรรมรับแรงหลังจากการอัดแรงให้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (ข) แรงกระทำและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายในคาน ไม้.....	41
รูปที่ 3.1 ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 50x50x150 มิลลิเมตร	43
รูปที่ 3.2 ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 50x50x200 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 3.3 ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 50x50x760 มิลลิเมตร (กว้างxหนาxยาว)	44
รูปที่ 3.4 ไม้ที่ใช้ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง	45

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 ไม้ขนาด 100x100x1200 มิลลิเมตร	45
รูปที่ 3.6 แผ่น CFRP SCB Brace CF® 300	46
รูปที่ 3.7 Epoxy CONCRETSIVE 1001 LPL	47
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ขนาด 100 ตัน	48
รูปที่ 3.9 เครื่องอ่านค่าการยืดหดตัวและระยะ โคง่ตัว (Data Logger)	48
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดระยะ โคง่ตัว Linear Variable Differential Transformer (LVDT)	49
รูปที่ 3.11 Strain Gauge รุ่น PL-60-11-1L.....	49
รูปที่ 3.12 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของ ไม้.....	50
รูปที่ 3.13 การทดสอบหาค่าแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของ ไม้.....	51
รูปที่ 3.14 การทดสอบแรงดัดของ ไม้.....	53
รูปที่ 3.15 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง ไม้.....	54
รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งคาน ไม้ที่ใช้ทดสอบ	58
รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการอัดแรงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และติดตั้งคาน ไม้.....	59
รูปที่ 4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของ ไม้.....	60
รูปที่ 4.2 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของตัวอย่าง ไม้.....	63
รูปที่ 4.3 ลักษณะการวิบัติกำลังต้านทานแรงดัดของ ไม้.....	64
รูปที่ 4.4 ลักษณะการวิบัติกำลังต้านทานแรงดึงของ ไม้.....	68
รูปที่ 4.5 การวิบัติของคาน ไม้ไม่ได้เสริมแรง B2 และ B3.....	70
รูปที่ 4.6 การวิบัติของคาน ไม้เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ B4 และ B6	70
รูปที่ 4.7 การวิบัติของคาน ไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และเสริมแรงด้วยการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ที่ 5820 นิวตัน	71
รูปที่ 4.8 การวิบัติของคาน ไม้เสริมแรงด้วยการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ 5820 นิวตัน.....	72
รูปที่ 4.9 การวิบัติของคาน ไม้เสริมแรงด้วยการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ 14550 นิวตัน	72
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับระยะ โคง่ตัวของกลุ่มที่ 1	74
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับระยะ โคง่ตัวของกลุ่มที่ 2	75
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคาน ไม้ตัวอย่าง (B2).....	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โบราณสถานในประเทศไทยเป็นสิ่งก่อสร้างที่มีอารยะธรรมมาช้านาน และเป็นสิ่งสำคัญในการบ่งบอกถึงประเพณีวัฒนธรรม ตลอดจนความรู้ ความชำนาญ ในการใช้เทคโนโลยีในงานก่อสร้างในแต่ละยุค โบราณสถานในสมัยก่อนจะใช้ไม้เป็นวัสดุก่อสร้างหลัก พอที่จะใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างโบราณสถานได้ ด้วยลักษณะของโครงสร้างโบราณสถานเป็น โครงสร้างไม้ และมีอายุหลายร้อยปี จึงเกิดการเสื่อมสภาพชำรุดเสียหายและอาจนำไปสู่การวิบัติได้ ดังนั้นการบูรณะซ่อมแซมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อคงสภาพของโบราณสถานเอาไว้

ในอดีตจนถึงปัจจุบันการซ่อมแซมไม้ที่มีการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นเวลานาน ทั้งความร้อน ความชื้น สภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้มีความจำเป็นต้องหาวิธีการซ่อมบำรุงซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การติดคานเหล็กที่ไม้เพื่อเสริมการรับน้ำหนักของคานไม้ และการเทคอนกรีตหุ้มเสาไม้เพื่อเพิ่มการรับน้ำหนัก แต่เนื่องจากวิธีการดังกล่าวทำให้โครงสร้างไม้มีการเปลี่ยนแปลงไปจึงจำเป็นต้องหาวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างไม้แบบอื่นๆ เพื่อคงสภาพเดิมมากที่สุด ซึ่งในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการใช้วัสดุเสริมแรง Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนทาน มีความยืดหยุ่น ทนทานต่อ สภาพอากาศ การผุกร่อนต่อฤทธิ์สารเคมี กรด ด่าง ได้ดี ไม้เป็นสนิม อายุการใช้งานยาวนาน และโดยเฉพาะคุณสมบัติเด่นที่มีความแข็งแรงสามารถทนแรงดึงได้

เนื่องจากแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเสริมกำลังรับน้ำหนักให้กับโครงสร้างไม้ จึงกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น การเสริมกำลังคานไม้ให้มีกำลังรับแรงดึงสูงขึ้น ทำโดยยึดติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ไว้ที่ผิวด้านล่างของคานไม้ในส่วนที่รับแรงดึง เมื่อคานรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะช่วยในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้นทำให้คานไม้มีความสามารถในการรับกำลังดึงได้สูงขึ้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเสริมกำลังรับแรงดึงด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ให้กับคานไม้จากการใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ยึดติด ไว้ในตำแหน่งรับแรงดึงด้วย Epoxy จนกระทั่งไปสู่ระบบอัดแรงโดยการดึงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่ออัดแรงเข้าสู่คาน แล้วยึดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ไว้ที่ผิวล่างของคานไม้ด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม ทำให้โครงสร้างไม้มีพฤติกรรมแบบคานไม้อัดแรง ซึ่งสามารถรับโมเมนต์ดัดสูงกว่าการเสริมกำลังแบบไม้อัดแรง อีกทั้งยังช่วยลดการโก่งตัวของคานไม้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาขั้นตอนและอุปกรณ์อัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อใช้ในการทดสอบคานไม้

1.2.2 ศึกษาการรับโมเมนต์ดัดของคานไม้ที่ไม่เสริมแรงเปรียบเทียบกับคานไม้ที่มีการเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

1.2.3 ศึกษาการรับโมเมนต์ดัดของคานไม้ที่ไม่เสริมแรงเปรียบเทียบกับคานไม้ที่มีการเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ต่างกัน

1.2.4 ศึกษาการรับโมเมนต์ดัดของคานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และมีการเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ทดสอบคุณสมบัติของคานไม้ประเภทไม้เนื้อแข็ง ตามมาตรฐานการทดสอบ มยผ. 1104-52, มยผ. 1221-51, มยผ. 1222-51, มยผ. 1224-51 และ มยผ. 1225-51

1.3.2 ทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานไม้ที่เสริมด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP)

1.3.3 ทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานไม้ที่เสริมด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตัน

1.3.4 ทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานไม้ที่เสริมด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) โดยให้ค่าอัดแรงที่ 14550 นิวตัน

1.3.5 ทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และเสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถหาวิธีติดตั้งอุปกรณ์ในการอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

1.4.2 เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างการรับโมเมนต์คัตของคานไม้ด้วยวิธีการทดสอบในรูปแบบที่ต่างกัน

1.4.3 ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) และความสามารถในการนำมาใช้ประโยชน์ร่วมกับไม้

1.4.4 เพื่อพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างไม้ที่มีประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่ายต่อไปในอนาคต



บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายกฤษดา ตันทองคำ (2007) จากมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือได้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่องการทดสอบและวิเคราะห์การเสริมสร้างกำลังคานเหล็กโดยการอัดแรงด้วยแผ่น Carbon Fiber Laminates แบบ Multidirectional Carbon Fiber Laminate การเตรียมการทดสอบหาค่าแรงดึงและค่าการยืดตัวของแผ่น CFRP ใช้ชิ้นตัวอย่างขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ความหนา 1.8 มิลลิเมตร ความยาว 900 มิลลิเมตร ทำการติดอุปกรณ์ยึดจับแผ่นเหล็ก ขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร กับแผ่นตัวอย่างด้วยกาว Epoxy โดยติดกาวทั้งสอง ด้านที่ปลายทั้งสองข้างจากขอบนอกเข้ามา 120 มิลลิเมตร ตามแนวแกนที่จะทำการดึงของแผ่นตัวอย่างแล้วรอให้กาวแห้ง โดยทิ้งไว้ 1-2 วัน การทดสอบหาแรงดึง การยืดตัว ของแผ่น CFRP และ การยึดเกาะระหว่างแผ่นเหล็ก กับแผ่น CFRP โดยวัดขนาด ความกว้าง ความหนา และความยาวของตัวอย่างทดสอบ ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง พร้อมทั้งติดตั้ง Strain Gauge ทำการติดตั้งสายสัญญาณของ Strain Gauge และสายสัญญาณของเครื่องดึง Universal Testing Machine เข้ามายัง Data Logger เพื่อส่งข้อมูลไปเก็บที่คอมพิวเตอร์ [1]



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่อง Universal Testing Machine และการติดตั้งการทดสอบแรงดึงของแผ่น CFRP [1]

หลังจากนั้นเพิ่มแรงดึงให้กับตัวอย่างทดสอบซ้ำๆ จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ และนำข้อมูลที่ได้ออกไปวิเคราะห์ผล ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดสอบแรงดึงในแนวแกนหลัก [1]

ตัวอย่างที่	1	2	3
E_x (N/mm ²)	159,086	124,973	143,538
Ultimate Stress (N/mm ²)	1,197	906	1,066
Ultimate Load (N)	215,540	163,000	191,854

หลังจากนั้นทำการทดสอบหาแรงค้ำของเหล็กคาน โดยทำการทดสอบ 4 ตัวอย่าง โดยคานเหล็กตัวที่ 1 เป็นคานเหล็กไม่เสริมกำลังสำหรับอ้างอิง คานเหล็กตัวที่ 2 เสริมกำลังโดยการยึดติดแผ่น CFRP ไม่อัดแรงไว้ได้ผิวท่อนคาน คานเหล็กตัวที่ 3 เป็นคานเหล็กเสริมกำลังอัดแรง 59,000 N. และคานเหล็กตัวที่ 4 เป็นคานเหล็กเสริมกำลังอัดแรง 63,800 N. คิดเป็น 31.30 เปอร์เซ็นต์ และ 33.56 เปอร์เซ็นต์ของกำลังดึงสูงสุดที่แผ่น CFRP รับผิดชอบค่าการโก่งตัวของคาน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

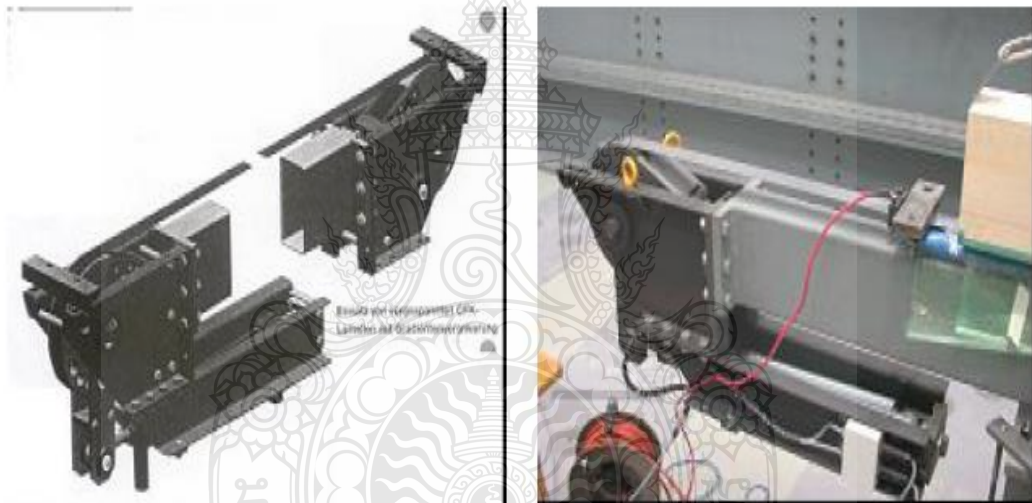
ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงค้ำของคาน [1]

Beam	External Strengthening	Yielding		Ultimate	
		Load (kN)	Displacemet (mm.)	Load (kN)	Displacemet (mm.)
SB1	Not Strengthened	145.35	19.93	156.55	87.38
SB2	Non Prestressed CFRP	169.58	23.42	191.86	105.42
SB3	Prestressed CFRP	181.23	27.38	200.66	94.23
SB4	Prestressed CFRP	177.35	22.93	193.69	78.98

การทดสอบพบว่าการวิบัติของคานเหล็กเสริมกำลังจะวิบัติที่แผ่น CFRP และพบว่าในสถานะยืดหยุ่นตัวแบบเส้นตรง (Linear Elastic) คานเหล็กเสริมกำลังสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าคานเหล็กไม่เสริมกำลัง ประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งสามารถลดการแอ่นตัวลงได้ประมาณ 20

เปอร์เซ็นต์ การบิดของคานเหล็กเสริมกำลังจะ บิดเมื่อใช้แรงกระทำมากกว่าแรงที่กระทำให้คานเหล็กไม่เสริมกำลังบิดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ [1]

Maurice Brunner และ Marco Schnueriger (2005) จาก University of Applied Science Bern ได้ทดลองเรื่องการเสริมความแข็งแรงของคานไม้ด้วยการติดแผ่น CFRP แบบอัดแรงโดยใช้อุปกรณ์ยึดแบบ Gradient ทดสอบโดยกดแรงบนไม้กอล์ฟเบอร์ GL32 ทั้งหมด 3 แบบ โดยแบบแรกไม่มีการติดแผ่น CFRP จำนวน 6 ท่อน แบบที่สองติดแผ่น CFRP แบบไม่อัดแรง จำนวน 6 ท่อน และแบบที่สามติดแผ่น CFRP แบบอัดแรงโดยใช้อุปกรณ์ยึดแบบ Gradient (รูปที่ 2.2) จำนวน 6 ท่อน โดยทั้งหมดใช้แผ่น CFRP ชนิด S&P 150/2000 จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.3 โดยตารางแสดงค่า Bending stiffness และ Ultimate bending- moment จากการทดสอบและการคำนวณ [2]



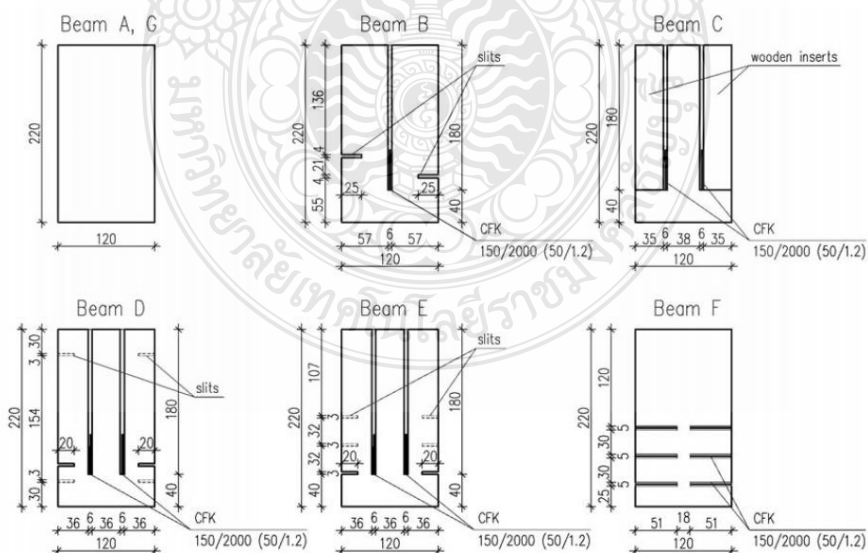
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ยึดแบบ Gradient [2]

ตารางที่ 2.3 แสดงผลการทดลอง [2]

Test Series	Bending Stiffness EI (kN.m ²)		Ultimate bending moment M (kNm)	
	Average test values	Calculated values	Average test values	Calculated values
Naked glulam	1,200	1,300	41	40
With FRP slack	1,430	1,420	50	45
With FRP prestressd	1,460	1,420	55	52

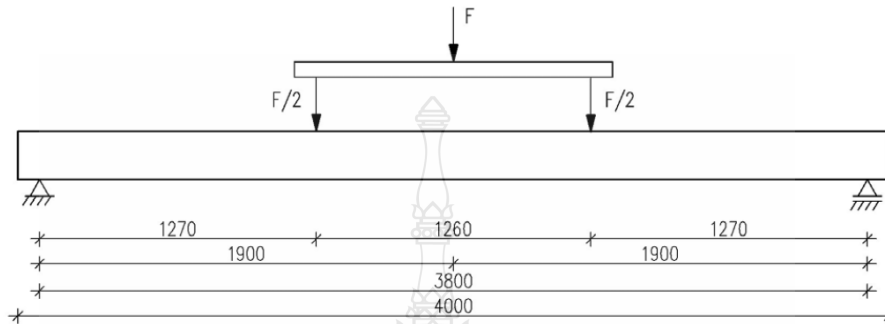
จากผลการทดลองพบว่าไม้ที่ติดแผ่น CFRP มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในไม้ที่มีการเสริมแรงแบบไม้อัดแรง 22 เปอร์เซ็นต์ และในไม้ที่มีการเสริมแรงแบบไม้อัดแรง 32 เปอร์เซ็นต์ [2]

Jerzy Jasienko และ Tomasz Nowak (2007) จาก Wroclaw University of Technology ได้ทดลองการเสริมสร้างแข็งแรงในการโค้งงอของไม้โบราณ (Strengthening of Bent Timber Beams in Historical Object) โดย Beam A, B, C, D และ E เป็น ไม้สน 100 ปี จำนวน 18 ท่อน มาบากให้แตกต่างกัน 6 แบบ แบบละ 3 ท่อน ดังรูปที่ 2.3 และ Beam G เป็น ไม้ใหม่จำนวน 3 ท่อน มาทำการทดลองซึ่งไม้ที่บากจะมีการแทรกแผ่น CFRP ในตำแหน่งที่โดนบาก โดย Beam B ใ้ 1 แผ่น Beam C, D, E, และ F ใ้สองแผ่น

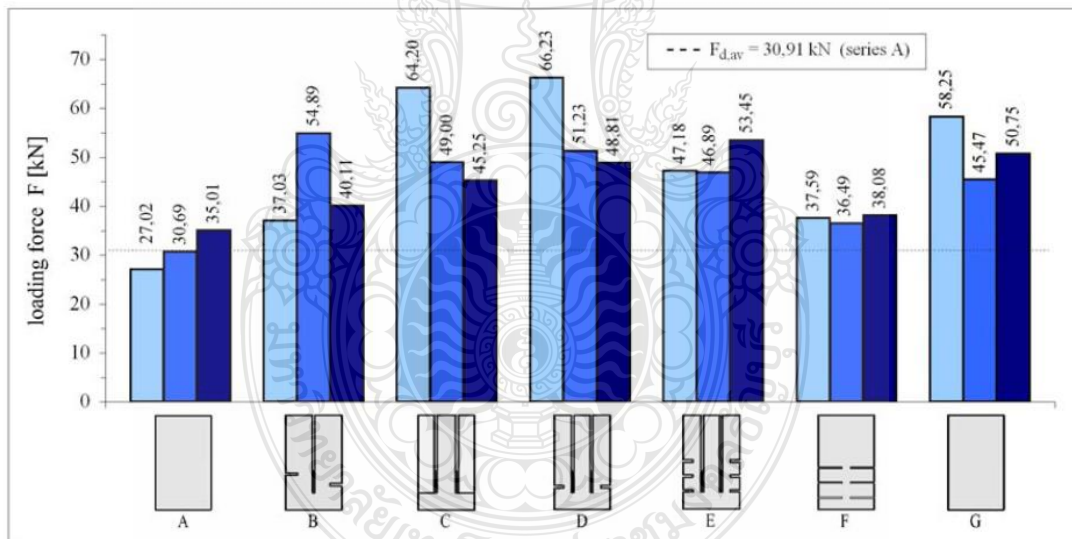


รูปที่ 2.3 แสดงภาพตัดของไม้ที่ใช้ในการทดลอง [3]

ทดลอง โดยการกดไม้ตรงกลางท่อนไม้ซึ่งจะเพิ่มขนาดแรงกดมากขึ้นเรื่อยๆตามรูปที่ 2.4 และวัดความโก่งของไม้จะได้แรงที่ทำให้ไม้ถึงจุดแตกหักแสดงในรูปที่ 2.5 จากผลการทดลองพบว่าการเสริมสร้างความแข็งแรงของไม้โดยการแทรกแผ่น CFRP จะได้ผลดีเมื่อแทรกแผ่นในแนวตั้ง [3]



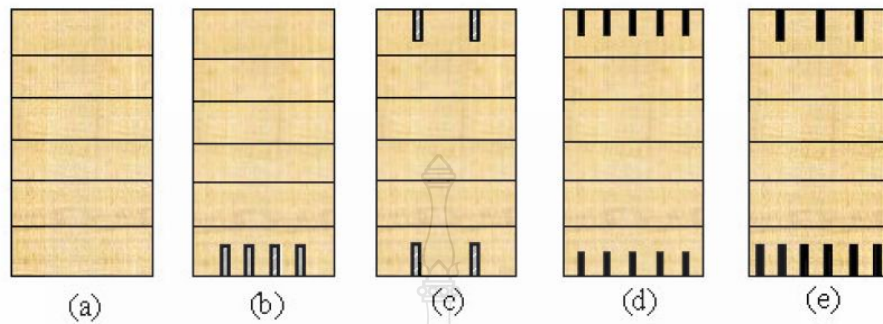
รูปที่ 2.4 แสดงแผนภูมิจำลองการทดลอง [3]



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิค่าของแรงที่ทำให้ไม้ถึงจุดแตกหัก [3]

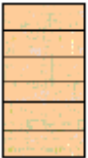
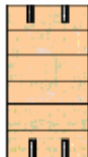
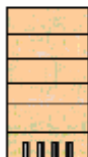
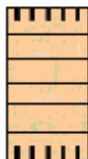
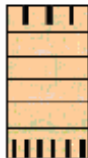
Jobin Jacob, Olga Lucia และ GarzonBarragan (2007) จาก Chalmers University of Technology ประเทศสวีเดน ทำงานวิจัยเรื่อง Flexural Strengthening of Glued Laminated Timber Beams with Steel and Carbon Fiber Reinforced Polymers โดยกดแรงบนไม้ประสาน ซึ่งมีลักษณะ

การเสริมแรงที่ต่างกันดังรูป โดยไม้ (a) เป็นไม้มาตรฐาน (b) และ (c) เสริมแรงด้วยแผ่นเหล็กเสริมแรง และ (d) และ (e) เสริมแรงด้วยแผ่นเสริมแรงชนิดคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) [4]



รูปที่ 2.6 แสดงไม้ที่ใช้ในการทดลอง [4]

จากผลการทดลองดังรูปที่ 2.7 คาน ไม้ที่เสริมแรงด้วยเหล็กมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 88% และ 57% สติฟเนสเพิ่มขึ้น 107% และ 85% ส่วนคาน ไม้ที่เสริมแรงด้วย CFRP มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 72% และ 96% สติฟเนสเพิ่มขึ้น 109% และ 87% ซึ่งการเสริมแรงทั้งสองเป็นการช่วยเพิ่มความแข็งแรงของไม้ได้มาก ซึ่งการเลือกใช้วัสดุแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและสภาวะแวดล้อมต่างๆ ประกอบกัน [4]

Geometry	Reinforcement	Beam Nomenclature	P_{ult} kN	δ mm	Mult kN.m	Increment %	EI N.mm ²	Increment %
	No Reinforcement	Beam-1	20,58	57,83	24,69		6,12E+11	
		Beam-2	24,11	56,83	28,93		7,06E+11	
		Average	22,34	58,23	26,81	0	6,59E+11	0
	Steel E=210GPa 4x(4mm x 30mm) 2% of Gross c/s 50% ten 50% com	Beam-3	47,71	92,86	52,25		1,34E+12	
		Beam-5	40,38	70,28	48,45		1,39E+12	
		Average	47,54	81,57	50,35	87.8	1,36+E12	107
	Steel E=210GPa 4x(4mm x 30mm) 2% of Gross c/s 100% ten 0% com	Beam-4	37,11	66,48	44,25		1,36E+12	
		Beam-6	30,3	77,34	39,96		1,12E+12	
		Average	35,21	71,96	42,11	57	1,19E+12	80.57
	CFRP Sika CarboDur H E=200GPa 10x(1.4mm x 25mm) 1.5% of Gross c/s 50% ten 50% com	Beam-7	41,84	83,77	50,21		1,38E+12	
		Average	41,84	83,77	46,16	72,21	1,38E+12	109
	CFRP Sika CarboDur S E=165GPa 9x(1.4mm x 30mm) 2.8% of Gross c/s 66.6% ten 33.3% com	Beam-9	45,24	65,79	54,82		1,33E+12	
		Beam-10	42,02	59,61	50,45		1,24E+12	
		Average	43,64	65,74	52,49	95,78	1,24E+12	87.4

รูปที่ 2.7 แสดงผลการทดลอง[4]

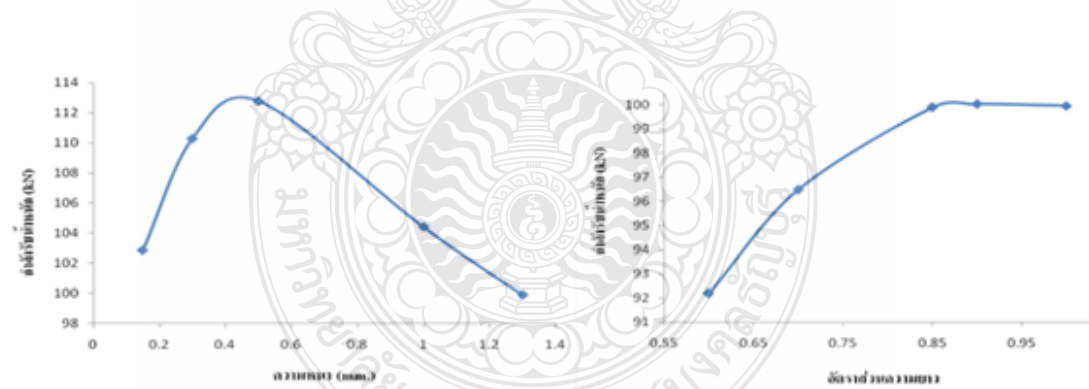
จ่านง พงษ์วัน และจักรพล นาจวง (2011) จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ สุชาติ ถิ่นกัตัญญ และกิตติศักดิ์ ชันติยวิชัย จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้นำเสนองานวิจัยในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16 เรื่อง “จุดเหมาะสมของการเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต” ซึ่งใช้วิธีการทางสถิติที่เรียกว่า Statistical Design of Experiment โดยจะใช้วิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต 3 แบบ คือ CFRP GFRP และ AFRP โดยสร้างสมการการถดถอย เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

ระหว่างตัวแปรของการเสริมกำลัง ที่มีผลต่อกำลังของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีแบบจำลองที่สร้างขึ้นทั้งหมด 137 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นคานที่เสริมกำลังด้วย CFRP GFRP และ AFRP อย่างละ 39 ตัวอย่าง ซึ่งสมการถดถอยแสดงในตารางที่ 2.4 [5]

ตารางที่ 2.4 แสดงสมการการถดถอย [5]

Model	สมการถดถอย		
	CFRP	AFRP	GFRP
A	$y = 74.14 - 2.59x_1 + 39.65x_3$	$y = 81.98 - 2.3x_1 + 25.69x_3$	$y = 66.52 + 33.85x_3$

โดยจากสมการ X_1 คือ ความหนาของแผ่นเสริมแรง และ X_3 คือ ความยาวของแผ่นเสริมแรง พบว่าความหนาและความยาวมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของคานที่เสริมแรงด้วย CFRP และ AFRP ส่วน GFRP มีเพียงความยาวเท่านั้นที่เป็นผล ซึ่งหากหากแยกพิจารณาผลของแต่ละตัวแปรต่อกำลังรับน้ำหนักของคานผลที่ได้ก็จะคือจุดเหมาะสมในการเสริมกำลังแก่คานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต โดยในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างของคาน A ที่เสริมกำลังด้วย CFRP ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงจุดเหมาะสมของการเสริมกำลังคาน A ด้วย CFRP (ก) ความหนาที่เหมาะสม (ข) ความยาวที่เหมาะสม [5]

พบว่าความหนาที่เหมาะสมของการเสริมกำลังมีค่าเท่ากับ 0.4 mm ทำให้มีกำลังรับน้ำหนักสูงสุด หากทำการเพิ่มความหนาต่อไปจะส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักลดลงเนื่องจากจะเกิดการวิบัติที่ชั้น

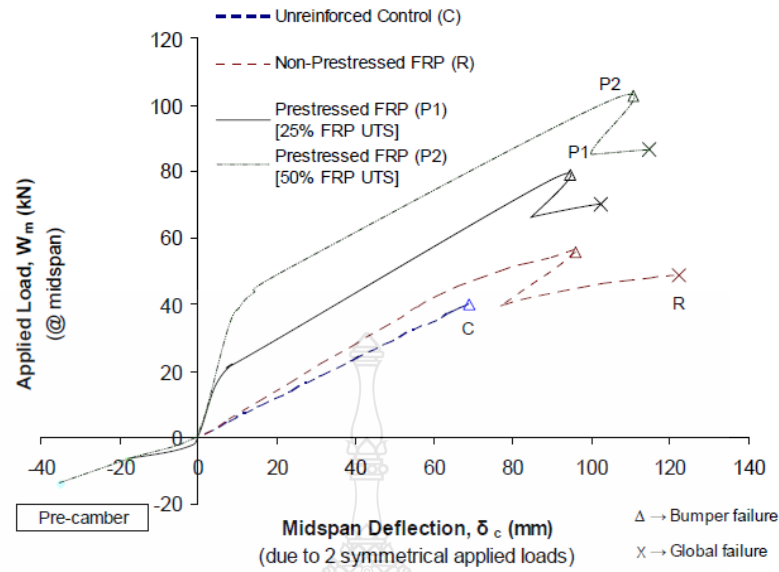
กาก่อน ส่วนความยาวที่เหมาะสมได้แก่ 0.8 เท่าของความยาวคาน ดังนั้นการเสริมกำลังที่ได้พิจารณาหาจุดเหมาะสมจะสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเสริมกำลังได้ [5]

James F. Brady และ Annette M. Harte (2007) ได้ทำวิจัยเรื่อง “Prestressed FRP Flexural Strengthening of Softwood Glue – Laminated Timber Beams” ศึกษาเกี่ยวกับการเสริมแรงในไม้ประกอบด้วยแผ่นเสริมแรง GFRP แบบอัดแรง ซึ่งจะทดลองโดยใช้ไม้ตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง คือ ไม้ที่ไม่มีการเสริมแรง ไม้ที่เสริมแรงแบบไม่อัดแรง ไม้ที่เสริมแรงแบบอัดแรง 25% ของ Ultimate tensile strength ของแผ่น GFRP และ ไม้ที่เสริมแรงแบบอัดแรง 50% ของ Ultimate tensile strength ของแผ่น GFRP ผลการทดลองดังรูปที่ 2.9 [6]

Beam No. (#)	Beam Type (-)	Stiffness		Failure Mode (-)	Load - Deflection		Ultimate Capacity	
		Beam Lay - Up (-)	$E E I E$ ($Nmm^2 \times 10^{12}$)		W_{mu} (kN)	δ_c (mm)	M_u (kNm)	f_{mu} (N/mm^2)
C	Unreinforced Control	With Bumper	0.674	(c) Bumper Laminate	39.80	68.3	26.27	34.15
		Without Bumper	0.482					
R	Non-Prestressed FRP $p_i = 0\%$ FRP UTS	With Bumper	0.777	(c) Bumper Laminate	55.62	96.1	36.71	44.75
		Without Bumper	0.589	(d) Laminate Above FRP	48.79	122.3	32.20	45.10
P2	Prestressed FRP $p_i = 50\%$ FRP UTS	With Bumper	0.777	(c) Bumper Laminate	78.99	94.6	52.13	44.98
		Without Bumper	0.589	(d) Laminate Above FRP	70.00	102.3	46.20	45.30
P1	Prestressed FRP $p_i = 25\%$ FRP UTS	With Bumper	0.777	(c) Bumper Laminate	96.86	102.5	63.93	46.30
		Without Bumper	0.589	(d) Laminate Above FRP	86.67	114.6	57.20	46.64

รูปที่ 2.9 ผลการทดลองของงานวิจัย [6]

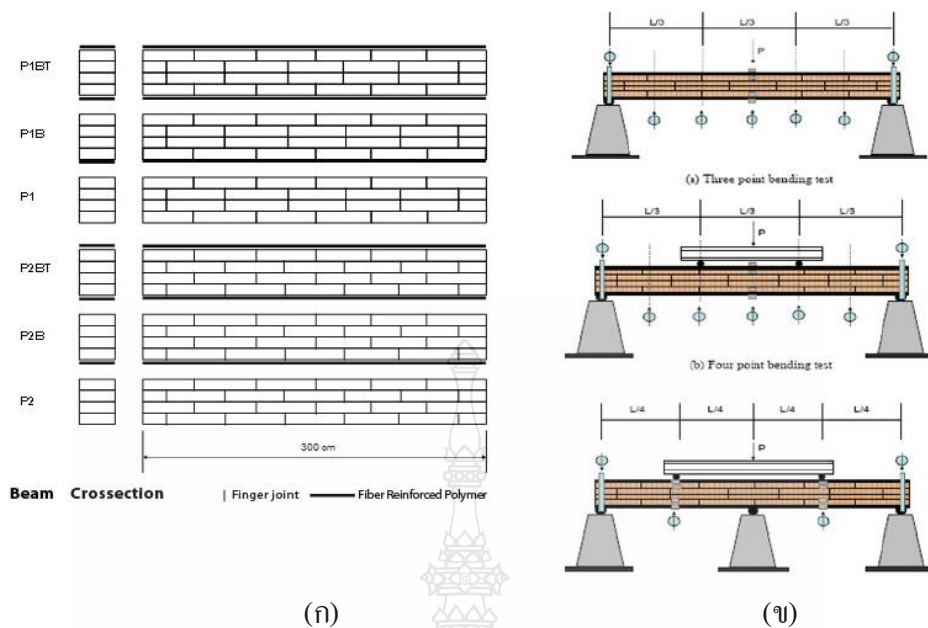
จากการทดลองพบว่า การเสริมแรงด้วย GFRP สามารถเพิ่มสติเฟนสได้ 15% และมีความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นในไม้ที่มีการเสริมแรงแบบอัดแรง 25% ของ Ultimate tensile strength 32% และไม้เสริมแรงแบบอัดแรง 50% ของ Ultimate tensile strength 36% ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปเป็นกราฟดังในรูปที่ 2.10 [6]



รูปที่ 2.10 สรุปผลการทดลอง [6]

ดังนั้น การเสริมแรงสามารถเพิ่มความแข็งแรง ความเหนียว และความยืดหยุ่นของไม้ได้ และจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสริมแรงแบบอัดแรง [6]

รศ.ดร.สุชาติ ลีมกัตัญญ และ ผศ.ดร.วรวจน์ ประชาเสรี (2012) จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทำวิจัยเรื่อง “การประเมินประสิทธิภาพของไม้พาราประสานซึ่งเสริมแรงด้วยแผ่นเสริมแรงไฟเบอร์: Performance Evaluation of FRP Reinforced Para Wood Glued Laminated Beams” โดยที่ติดตั้ง GFRP ที่ไม้พาราประสานที่มีรูปแบบโครงสร้างต่างกันสองรูปแบบ (P1 และ P2) และทำการทดลองโดยกดแรงลงบนไม้ดังรูปที่ 2.11



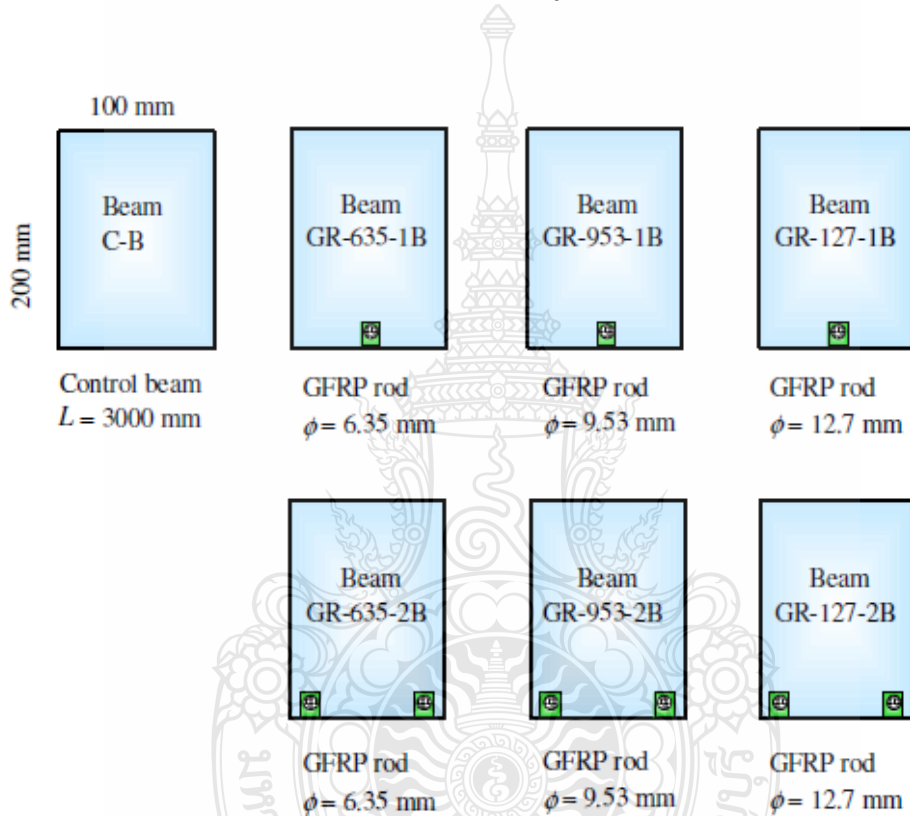
รูปที่ 2.11 (ก) แสดงรูปแบบของไม้ที่ใช้ทำการทดสอบ (ข) แสดงการทดสอบไม้ [7]

ซึ่งการทดลองนี้ได้แสดงถึงความแข็งแรงของการเสริมแรงในแบบต่างๆ ซึ่งสามารถใช้ในการคำนวณการลงทุนเพื่อใช้ในการเสริมแรงได้ จากการทดลองพบว่ากรณีที่ถนนไม่มีโครงสร้างต่างกัน ส่งผลให้ความแข็งแรงในต้นไม้ต่างกัน และแผ่นเสริมแรงสามารถเพิ่ม stiffness ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของไม้ได้ และยังเพิ่มโมดูลัสของความคงรูป (modulus of rigidity) ถึง 28% ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2.12 [7]

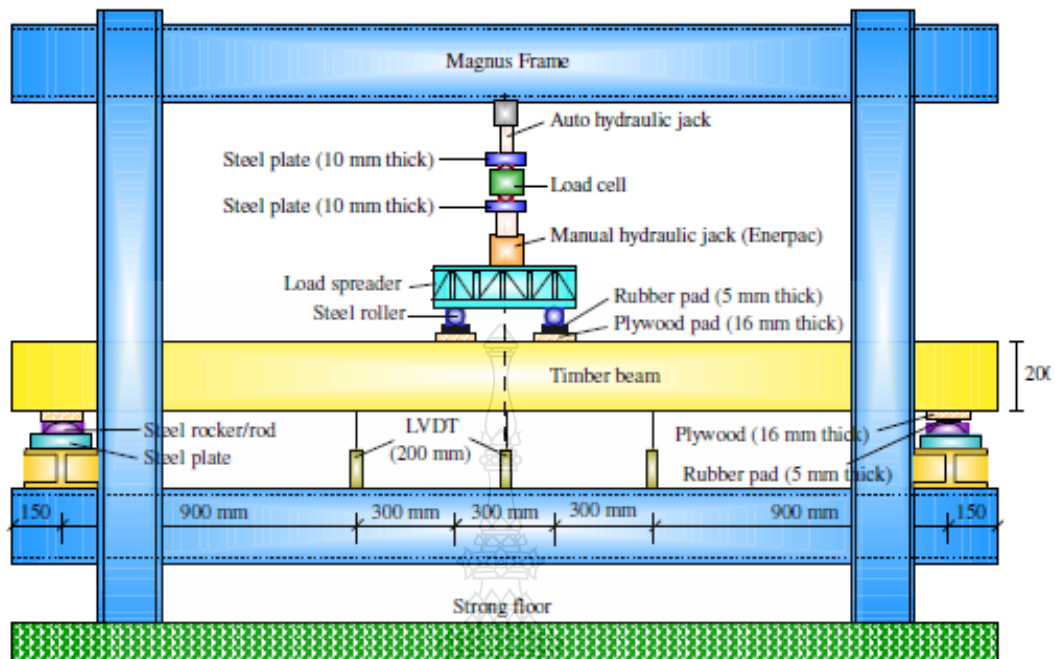
Beam	4 Points				Avg. EI (MN.m ²)	5 Points		3 Points
	Avg. max. load (kN)		Strain @ max. load (10 ⁻⁶)			Avg. max. load (kN)	Avg. KGA (MN)	Avg. KGA (MN)
	Exp.	Theor.	Top	Bottom	Exp.			
P1	33.4	29.3	1585	1715	0.508	41.5	24.7	31.5
P2	31.1	24.8	1592	2015	0.493	47.1	29.5	41.1
P1B	50.8	44.7	2139	1801	0.758	66.2	48.8	42.5
P2B	49.0	42.6	2072	1878	0.714	53.0	86.5	70.7
P1BT	60.1	66.7	2021	3729	0.851	72.6	93.4	99.8
P2BT	55.6	56.5	1704	2875	0.823	70.6	143.5	131.0

รูปที่ 2.12 แสดงผลการทดลองงานวิจัยการประเมินประสิทธิภาพของไม้พาราประสานซึ่งเสริมแรงด้วยแผ่นเสริมแรง [7]

A. Yusof and A.L. Saleh (2009) จาก Universiti Teknologi Malaysia (UTM) ทำงานวิจัยเรื่อง “Flexural Strengthening of Timber Beams Using Glass Fiber Reinforced Polymer” โดยศึกษาพฤติกรรมการโก่งตัวของคานไม้ที่เสริมแรงด้วยแท่ง GFRP ซึ่งทดลองกับไม้ขนาด 100x200x3000 mm ที่มีลักษณะการเสริมแรงต่างกันดังรูปที่ 2.13 โดยแบบแรกไม่มีการเสริมแรง แบบที่ 2 – แบบที่ 4 ใช้แท่ง GFRP ในการเสริมแรงหนึ่งแท่งแต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน และแบบที่ 5 – 7 เสริมแรงโดยใช้แท่ง GFRP สองแท่งแต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน [8]



รูปที่ 2.13 รูปแบบของไม้ที่ใช้ทำการทดลอง [8]



รูปที่ 2.14 รูปแบบการทดลอง [8]

ทดลองโดยการกดแรงลงบนไม้ ซึ่งรูปแบบการทดลองแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงผลการทดลอง [8]

Beam	Area of GFRP (%)	Stiffness (E) (kN/mm ²)	P_{uls} (kN)	δ_{uls} (mm)	% increase in E	% load increase in ULS
C-B		6.079	44.3	68.31	0.0	0.0
GR-635-1B	0.16	7.547	52.7	63.34	24.1	19.0
GR-635-2B	0.32	8.030	53.7	74.47	32.1	21.2
GR-953-1B	0.35	7.819	53.3	77.08	28.6	20.3
GR-127-1B	0.63	7.595	58.3	77.47	24.9	31.6
GR-953-2B	0.71	9.329	55.8	75.62	53.5	26.0
GR-127-2B	1.27	9.752	55.3	49.91	60.4	24.8

จากการทดลองคานไม้ที่ถูกเสริมแรงด้วยแท่ง GFRP จะสามารถเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักได้ถึง 20%-30% และเพิ่มสติเฟนสได้ 24 % - 60 % [8]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบคานไม้รับแรงอัด

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไม้

www.tatc.ac.th/ [10] ไม้เป็นวัสดุแข็งที่ทำจากแก่นลำต้นของต้นไม้ ส่วนใหญ่เป็นไม้ยืนต้น โดยนิยามแล้วไม้จะหมายถึงเนื้อเยื่อไซลิมชั้นที่สอง (Xylem) ของต้นไม้ แต่ในความเข้าใจไม้อาจหมายถึงรวมถึงวัสดุใดๆ ที่มีส่วนประกอบทำมาจากไม้ด้วย ไม้สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ประโยชน์อย่างหนึ่งคือ ไม้เป็นเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหรือฟืน บางครั้งก็ใช้ในงานศิลปะ ทำเฟอร์นิเจอร์ ทำอาวุธ หรือเป็นวัสดุก่อสร้าง ไม้ยังคงเป็นส่วนประกอบสำคัญในการก่อสร้าง ตั้งแต่มนุษย์เริ่มสามารถสร้างบ้านที่อยู่อาศัย หรือเรือ โดยเรือแทบทุกลำในช่วงปี 80 ทำมาจากไม้แทบทั้งสิ้น ซึ่งในปัจจุบันบ้านหรือเรือที่ทำจากไม้เริ่มมีจำนวนลดลง โดยปัจจุบันมีการนำวัสดุอื่นมาใช้ในการสร้างแทน แต่ไม้ยังคงมีส่วนสำคัญในด้านการเสริมโครงสร้าง หรือเป็นวัสดุเสริม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสร้างหลังคา และของประดับนอกบ้าน ไม้จัดเป็นอินทรีย์สารชนิดหนึ่งประกอบด้วย

1. กระจก ที่ ส่วนที่ถัดจากเปลือกเข้าไปจะมีสารที่จำเป็นแก่การดำรงชีวิตของพืชได้แก่ แป้ง น้ำตาล และ โปรตีน ทำให้ไม้เกิดเชื้อราได้ง่ายและมอดชอบกิน
2. แก่นไม้ ส่วนที่ถัดจากกระจก
3. ใจไม้ ใจกลางของไม้จะมีจุดหยุนๆ

2.2.2 ประเภทของไม้

ไม้อาจจำแนกแบ่งเป็นไม้เนื้ออ่อน (softwood) ซึ่งปกติจะเป็นไม้ใบแคบและไม้เนื้อแข็ง (hardwood) ซึ่งเป็นไม้จากต้นไม้ใบกว้างอย่างไรก็ตามในปัจจุบัน เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันจึงแยกประเภทของไม้ตามหนังสือของกรมป่าไม้ที่ กส.0702/6679 ลงวันที่ 3 พฤษภาคม 2517 ดังนี้คือ ให้แบ่งไม้ออกเป็น 3 ประเภท โดยถือเอาค่าความแข็งแรงในการคัดของไม้แข็งและความทนทานตามธรรมชาติของไม้นั้นๆ เป็นเกณฑ์ตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงความแข็งแรงของไม้และความต้านทานของไม้ [6]

ประเภทไม้	ความแข็งแรง (kg.cm^2)	ความทนทาน (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	> 1000	> 10
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	$600 - 1000$	$2 - 10$
ไม้เนื้ออ่อน	< 600	< 2

2.2.3 คุณสมบัติและประโยชน์ของไม้แต่ละชนิด

ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติและประโยชน์ของไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อแข็งปานกลาง และไม้เนื้ออ่อนที่ควรทราบตามลำดับ ดังนี้

1. ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติและประโยชน์ของไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อแข็งปานกลาง และไม้เนื้ออ่อนที่ควรทราบตามลำดับ ดังนี้

(1) ไม้เต็ง เป็นต้น ไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ตามป่าแดดทั่วไป ยกเว้นภาคใต้ลักษณะเนื้อไม้เป็นสีน้ำตาลอ่อนเมื่อแรกตัดทิ้งไว้นานจะเป็นสีน้ำตาลแก่แกมแดง เสี้ยนสับสน เนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอแข็งเหนียวแข็งแรงและทนทานมากแห้งแล้วเลื่อยไสกบตกแต่งได้ยาก น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,040 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำหมอนรางรถไฟ เครื่องมือกลึงกรรม โครงสร้างอาคาร เช่น ตง คาน วงกบ ประตูหน้าต่าง โครงหลังคา เสา

(2) ไม้รัง เป็นต้น ไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ตามในป่าแดดทั่วไป ลักษณะเนื้อไม้มีสีน้ำตาลอมเหลือง เสี้ยนสับสน เนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอ แข็ง หนัก แข็งแรง และทนทานมาก เลื่อยไสกบตกแต่งค่อนข้างยากเมื่อแห้งจะมีลักษณะคุณสมบัติคล้ายไม้เต็งจึงในบางครั้งเรียกว่าไม้เต็งรังน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำเสาและ โครงสร้างอาคารต่างๆ ทำหมอนรางรถไฟ ทำเครื่องมือกลึงกรรม

(3) ไม้แดง เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นทั่วไปในป่าเบญจพรรณแล้งและขึ้นลักษณะของเนื้อไม้มีสีแดงเรื่อๆ หรือ สีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนเป็นลูกคลื่นหรือสับสน เนื้อละเอียดพอประมาณ แข็ง เหนียวแข็งแรงและทนทาน เลื่อยไสกบแต่งได้เรียบร้อยชักงาได้ดีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม้ชนิดนี้นิยมในการก่อสร้างในส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น พื้น วงกบประตูหน้าต่าง ทำเกวียน ทำเรือहनอนรางรถไฟ เครื่องเรือน เครื่องมือกลกรรม ด้านเครื่องมือ คันชั่ง ไม้แดงนี้ปลวกหรือเพรียงจะไม่ค่อยรบกวน และเป็นไม้ที่ต้านทานไฟในตัวด้วย ไม้แดง เป็นไม้ที่มีความแข็งแรงมาก ทำให้เวลาเกิดความชื้นหรือร้อน และขยายตัว จะดันจนกำแพงแตกได้ (กรณีเป็นพื้น) หรือ หากไปตีชิด ทำฝ้าเพดาน (ชายคา) ด้านนอกบ้าน ก็จะดันจน เครื่องหลังคา มีปัญหาต่างกับไม้สักหรือมะค่า ที่อ่อน/แข็ง แต่ขีดหดตัวน้อยกว่าครับ ยิ่งถ้าเป็น ตะเคียนทองแท้ (ต้องมีรอยมอดป่า) การขีดหดค่อนข้างน้อยมาก ครับ เอาไปทำวงกบละก็ ดีมากเลย

(4) ไม้ตะเคียนทอง เป็นต้นไม้ใหญ่และสูงมากขึ้นเป็นหมู่ตามป่าดิบชื้นทั่วไป ลักษณะเนื้อไม้มีสีเหลืองหม่นสีน้ำตาลอมเหลืองมักมีเส้นสีขาวหรือเทาขาวผ่านเสมอ สีที่ผ่านนี้เป็นท่อน้ำมันหรือยาง เสี้ยนมักสับสนเนื้อละเอียดปานกลางแข็ง เหนียว ทนทาน ทนปลวกได้ดี เมื่อนำไปเลื่อย ไสกบตกแต่งและชักงาได้ดีมาก น้ำหนักโดยเฉลี่ย 750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในการก่อสร้างอาคาร ไม้หมอนรางรถไฟ ไม้ชนิดนี้นิยมใช้ทำเรือมาก และยังใช้การได้ดีทุกอย่างที่ต้องการ ความแข็งแรง

(5) ไม้ตะแบก เป็นต้นไม้สูงใหญ่ตอนโคนมีลักษณะเป็นพู ขึ้นในป่าเบญจพรรณชื้นและแล้งทั่วไปลักษณะเนื้อไม้สีเทาจนถึงสีน้ำตาลอมเทาเสี้ยนตรงหรือเกือบตรง เนื้อละเอียดปานกลาง เป็นมัน แข็งเหนียว แข็งแรงทนทานดีถ้าใช้ในร่ม ไม้ตากแดดตากฝนใช้ทำเสาบ้าน ทำเรือ แพ เกวียน เครื่องกลกรรม ไม้ตะแบกชนิดลายใช้ทำเครื่องเรือนได้สวยงามมาก ใช้ทำค้ำมิมัด ไม้ถ้อ กรอบรูป ค้ำมปีน เป็นต้น

(6) ไม้สัก เป็นต้น ไม้ขนาดใหญ่ขึ้นเป็นหมู่ในป่าเบญจพรรณทางภาคเหนือและบางส่วนของภาคกลางและตะวันตกลักษณะเนื้อไม้สีเหลืองทองน่านเข้าจะกลายเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแกมกลิ่นเหมือนหนังฟอกเก่าๆ และมีน้ำมันในตัวมักมีเส้นสีแก่แทรกเสี้ยนตรงเนื้อหยาบและไม้สม่ำเสมอ แข็งพอประมาณแข็งแรงทนทานที่สุด ปลวกมอดไม่ทำอันตราย นำไปเลื่อย ไซกบ ตกแต่งง่าย แกะสลักได้ดี ชักเงาได้ง่ายและดีมากเป็นไม้ที่ฝังให้แห้งได้ง่ายและอยู่ตัวดี น้ำหนักโดยประมาณ 640 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม้สักเป็นที่นิยมมากในการทำเครื่องเรือนทำบานประตูหน้าต่าง ทำเรือ แกะสลักต่างๆ ปริมาณที่ส่งออกจำหน่ายยังมีมากพอสมควร ไม้สักเป็นไม้ที่เป็นสินค้าขาออกและเป็นที่ยอมรับของชาวต่างประเทศมาก ไม้สักที่ใหญ่ที่สุดในโลกปัจจุบันนี้ขึ้นอยู่ที่บ้านปางเกลือ ตำบลน้ำไคร้ อำเภอน้ำป่าด จังหวัดอุตรดิตถ์ มีความสูง 51 เมตร วัดรอบต้นได้ 10.58 เมตร ใช้คนกางแขนโอบรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 8 คน กรมป่าไม้ได้ประมาณอายุต้นสักนี้ไว้ไม่น้อยกว่า 1,500 ปี

(7) ไม้สัก เป็นต้น ไม้ขนาดใหญ่ขึ้นตามป่าดิบและป่าเบญจพรรณขึ้นทั่วประเทศเว้นแต่ทางภาคเหนือลักษณะเนื้อไม้สีน้ำตาลอ่อนถึงแก่เสี้ยนตรงพอประมาณ เนื้อหยาบและสับสน แข็งพอประมาณเหนียวทนทานนำไปเลื่อย ไซกบ ตกแต่งได้ยาก บางครั้งเรียกว่า เต็งคอง น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 961 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำหมอนรองรถไฟ ใช้ก่อสร้าง เช่น ทำโครงสร้าง ตงคาน โครงหลังคา พื้น

(8) ไม้เคี่ยม เป็นต้น ไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงตรง ขึ้นชุกชุมในป่าดิบชื้นทางภาคใต้บางแห่งใหญ่ วัดเส้นผ่าศูนย์กลาง ได้ถึง 3 เมตร ลักษณะเนื้อไม้สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลอ่อนถึงไว้นานเป็นสีน้ำตาลแก่หรือเกือบดำ เสี้ยนค่อนข้างสั้นเนื้อละเอียดแข็ง เหนียวหนัก แข็งแรงมาก ใช้น้ำได้ทนทานดี นำไปเลื่อย ไซกบ ตกแต่งได้ค่อนข้างง่ายน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 800 – 990 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำหมอนรองรถไฟ โครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงมากสะพาน แพร พื้น ใช้น้ำที่เจือปนแดดทนฝนดีมาก

(9) ไม้มะค่าใต้ เป็นต้น ไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นประปรายในป่าแดงและป่าเบญจพรรณแล้วทั่วไปลักษณะเนื้อไม้สีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลแก่ เลื่อยทิ้งไว้นานสีจะเข้มขึ้น มีเส้นเสี้ยน ผ่านซึ่งมีสีแก่กว่าสีพื้นเสี้ยนสับสนเนื้อค่อนข้างหยาบแต่สม่ำเสมอเป็นมันเลื่อม แข็งและทนทานมากทนมอดปลวกได้ดี เลื่อย ไซกบ ตกแต่งได้ยาก ถ้าดอกตะปูลงในแก่นไม้จะตอกไม้ยากและตะปุมักคดงเพราะความแข็งแรงของไม้ น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,090 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ ทำไม้หมอนรองรถไฟทำเครื่องเกวียน เครื่องไถนา เครื่องเรือน เป็นต้น

(10) ไม้ประดู่เป็นไม้ต้นสูงใหญ่ขึ้นในเบญจพรรณชื้นและ แล้งทั่วไปวันแต่ทางภาคใต้ มีชุกชุมทางภาคเหนือและภาคอีสานลักษณะเนื้อไม้สีแดงอมเหลืองถึงสีแดงอย่างสีอิฐแกสีเส้นเสี้ยนแกกว่าสีพื้นบางที่มีลวดลาย สวยงามมาก เสี้ยนสับสนเป็นริ้ว เนื้อละเอียดปานกลาง แข็งและทนทาน ไซกบดบแต่งได้ดีและชักเงาได้น้ำหนักโดยเฉลี่ย 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในการก่อสร้าง ทำเกวียนเครื่องเรือนที่สวยงามทำจากปุ่มประดู่ทำด้ามเครื่องมือและสิ่งอื่นๆ ที่ต้องการความแข็งแรงทนทาน ในประเทศจีนและญี่ปุ่นนิยมใช้ทำเครื่องเรือนกันมาก ไม้ประดู่ ส่วนใหญ่คือ ประดู่แดง หรือ ประดู่เหลือง ความแข็งใกล้เคียงกับไม้แดง แต่ยืดหยุ่นน้อยกว่า (ตามจากช่าง ไม้ และช่างทำวงกบมาหลายราย) แต่คนไม่ค่อยชอบ เพราะ สีบางครั้งออกเป็นจ้ำๆ (ไม่วายเหมือนมะค่า) แต่ก็ไม่เรียบร้อย เหมือน ไม้แดง ตอนแรกๆ ก็เคยไม่เป็นที่นิยมกัน

2. ไม้เนื้อแข็งปานกลาง มีหลายชนิดเช่น ไม้ยาง ไม้กระบากหรือไม้กะบากไม้กระท้อน และอื่นๆ ซึ่งมีคุณสมบัติและประโยชน์ ที่ควรทราบดังต่อไปนี้

(1) ไม้ยาง เป็นต้นไม้สูงใหญ่ สูงชะลูด ไม่มีกิ่งที่ลำต้น มักขึ้นเป็นหมู่ในป่าดิบชื้น และที่ต่ำชุ่มชื้นตามบริเวณใกล้เคียงแม่น้ำลำธารในป่าดิบและป่าอื่นๆ ทั่วไป ต้นบางชนิดสามารถเผาเอาน้ำมันยางได้ (แต่เป็นคนละชนิดกับต้นยางพารา) ลักษณะเนื้อไม้สีแดงเรื่อหรือสีน้ำตาลหม่น เสี้ยนมักตรง เนื้อหยาบแข็งปานกลางใช้ในร่มทนทานดีเลื่อยไซกบดบแต่งได้น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 650 - 720 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

(2) ไม้กระบากหรือไม้กะบาก เป็นต้นไม้สูงใหญ่ขึ้นปะปรายในป่าดิบชื้นและป่าเบญจพรรณชื้นทั่วประเทศ ทางพฤกษศาสตร์จะมีอยู่หลายชนิด แต่ในส่วนเนื้อไม้และการใช้มีลักษณะคล้ายคลึงมากใช้ร่วมกันได้ดีลักษณะเนื้อไม้โดยธรรมมีสีตั้งแต่น้ำตาลเหลืองถึงน้ำตาลอ่อนแกมแดงเรื่อๆ เสี้ยนมักตรงเนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอ แข็งเหนียว เค็งพอประมาณ เลื่อยไซกบดบแต่งได้ไม่ยาก แต่มีข้อเสียคือเนื้อเป็นทรายทำให้กัดคมเครื่องมือ ผึงแห้งง่ายและไม่ค่อยเสื่อมเสีย น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำแบบหล่อคอนกรีตได้ดีเพราะถูกน้ำแล้วไม่บดองหรือโคล้ง ทำเครื่องเรือนราคาถูก ทำกล่องใส่ของเก่า

(3) ไม้ชุมแพรก เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นปะปรายตามป่าดิบชื้นทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางบางแห่ง ลักษณะเนื้อไม้เมื่อเลื่อยหรือตัดใหม่ๆ จะเป็นสีแดงเข้มเมื่อทิ้งไว้ถูกอากาศจะเป็นสีน้ำตาลอมแดงเป็นมันลื่นเสี้ยนมักตรงและสม่ำเสมอ เป็นริ้วห่างๆ เหนียวแข็ง ใช้ในร่มทนทานดี เลื่อยไซกบดบแต่งได้ง่าย ชักเงาได้น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 640 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ก่อสร้าง เช่น ทำพื้น ฝา

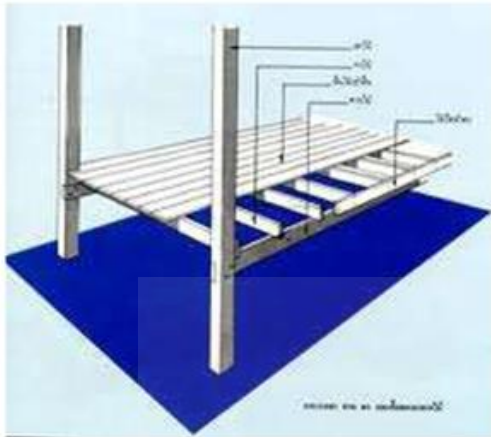
(4) ไม่นนทรี เป็นต้นไม้ขนาดกลาง ขึ้นในป่าดิบชื้นและป่าโปร่งชื้น ลักษณะไม้สีเขียวอ่อน ถึงน้ำตาลแกมชมพู เป็นมันเลื่อม เส้นตรงหรือเป็นลูกคลื่น หรือสับสนบ้างเล็กน้อย เนื้อหยาบปานกลาง เลื่อนผ่าไสกบตกแต่งได้ง่ายๆ น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 575 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำไม้พื้นเพดานและฝา ทำเครื่องเรือน หีบใส่ของต่างๆ

(5) ไม้มะม่วงป่า เป็นต้นไม้ใหญ่ขึ้นห่างๆ กันในป่าดิบชื้นและป่าเบญจพรรณ หรือตามที่ชุ่มชื้นทั่วไป ลักษณะเนื้อไม้ไม่มีแก่นมากนัก สีน้ำตาลไหม้ เส้นค่อนข้างตรง เนื้อเป็นมันเล็กน้อย แข็งเหนียว ใช้ในร่มทันทานดีเลื่อมไสกบง่ายน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำเครื่องเรือน หีบใส่ของ ไม้บรรทัด ปอกออกมาเป็นแผ่นบางๆ ใช้ทำไม้อัด

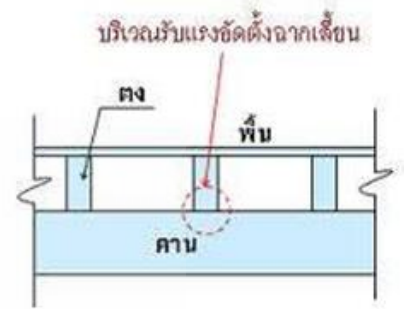
(6) ไม้กระท้อน เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นตามป่าดิบชื้นทั่วประเทศ ลักษณะเนื้อไม้สีแดงเรื่อๆ ปนเทา เส้นไม้ตรง เนื้อค่อนข้างหยาบ แข็งแรงปานกลาง ใช้ในร่มทันทานพอสมควร เลื่อนไสกบตกแต่งได้ง่ายขัดและชักเงาได้พึงให้แห้งได้ง่าย แต่หดตัวมาก ใช้ทำพื้น เพดาน เครื่องเรือน

2.2.4 โครงสร้างไม้

โครงสร้างของอาคารเป็นสิ่งที่กำหนดรูปร่าง เค้าโครง ขนาด รวมทั้งความมั่นคงแข็งแรงของตัวอาคารซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก อาคารที่เกิดความบกพร่องด้านการตกแต่งอาจแก้ไขในภายหลังได้โดยไม่ยาก แต่สำหรับอาคารที่เกิดความบกพร่องด้านโครงสร้างจะทำการแก้ไขได้ยากหรืออาจทำการแก้ไขไม่ได้เลยเพราะการแก้ไขด้าน โครงสร้างมักจะต้องใช้วิธีถอดหรือทุบทำลายแล้วค่อยสร้างขึ้นมาใหม่ ไม้ใช้เป็นที่เปลือกนอกหรือผิวนอก โครงสร้างของอาคารที่ดีจะต้องทำอย่างถูกต้อง เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ การเลือกไม้วัสดุ ตลอดจนถึงกรรมวิธีการปลูกสร้าง โครงสร้างของอาคารหลักๆ ประกอบด้วยโครงสร้างเสา โครงสร้างคาน โครงสร้างพื้น และโครงสร้างหลังคา



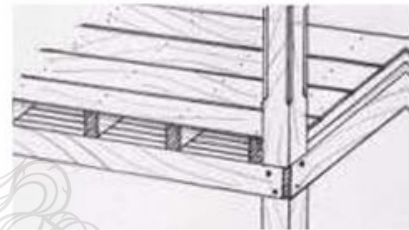
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.15 แสดงเสา คาน ตง และพื้นไม้



1. เสาไม้เนื่องจากเสาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ต้องการความมั่นคงมาก เพราะเป็นส่วนรับน้ำหนักของตัวโครงสร้างอื่นๆ ลงสู่ฐานราก ดังนั้นเสาที่ทำจากไม้จึงนิยมใช้ไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้ตะเคียนทอง ไม้เต็ง ไม้มะค่าโมง ขนาดของเสาไม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว หรือ ขนาด 4x4 นิ้ว ขึ้นไปถึงขนาด 8x8 นิ้ว แล้วแต่สภาพของการรับน้ำหนัก หรือความชะลูดของเสา แต่ในปัจจุบันเสาไม้ที่มีขนาดใหญ่เป็นสิ่งที่มีความสูงมาก จึงต้องระมัดระวัง ไม้ให้มีความเสียหายขณะทำงาน เช่น การบากเสาผิดตำแหน่ง

2. คานและตง ไม้เป็นองค์อาคารที่มีการถ่ายน้ำหนักจากพื้นซึ่งต้องเป็น ไม้ลงมายังตง และจากตงส่งมายังคาน เนื่องจากพื้น ไม้จะรับน้ำหนักทางด้านแบน หากตงห่างกันมากเกินไปจะทำให้พื้นแอ่นคังนั้นตงจึงต้องมีขนาดและวิธีการรับแรงทางแนวตั้ง และมีขนาดและระยะห่างตามที่ผู้ออกแบบกำหนดและปลายตงทั้งสองด้านจะวางอยู่บนคานเพื่อถ่ายน้ำหนักลงไปยังเสา ขนาดของคานจึงมีขนาดหน้าตัดมากกว่าตง และวางรับแรงทางแนวตั้งเหมือนกันหรือวางคานคู่ในกรณีที่มีการรับน้ำหนักมาก

3. พื้น ไม้ ลักษณะของการปูพื้น ไม้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ถ้าเป็นพื้น ไม้ที่อยู่ภายนอกอาคาร เช่น ระเบียง ทำน้ำ สะพาน ไม้ เพื่อจัดเป็นที่พักผ่อนจะเป็นพื้น ไม้ที่ต้องตีเว้นช่องเพื่อป้องกันการยึดตัวเมื่อเวลาไม้โดนความชื้น ส่วนพื้นที่อยู่ภายในบ้านจะเป็น ไม้รางลิ้นซึ่งอบแห้งมาอย่างดี อัดกันสนิทค้อนหัวตะปูและขัดผิวเรียบ ทาน้ำ มันเคลือบเงา การรองรับน้ำหนักจากพื้น ใต้นั้นตงจะเป็นตัวรองรับ ตงที่รองรับอาจจะเป็นตง ไม้ที่ถ่ายน้ำหนักไปยังคานหรือเป็นตงที่ฝังลงในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเป็นการปูพื้น ไม้ปิดทับคอนกรีตอีกทีหนึ่ง การควบคุมงานปูพื้น ไม้ การสร้างพื้น ไม้ จะทำเป็น 2 ลักษณะ

(1) การปูพื้น ไม้บนพื้นคอนกรีตเป็นการนำไม้พื้นที่เป็นท่อนสั้นมาเรียงกันเป็นลวดลายต่างๆ เรียกไม้นี้ว่า ไม้ปาร์เก้ โมเสคปาร์เก้ นอกจากนี้ยังมีชนิดของไม้ เช่น ไม้สัก ไม้เต็ง ไม้แดง ไม้มะค่า เป็นต้น ลักษณะของผิวพื้นคอนกรีต จะเรียบแต่ยังคงความหยาบให้เห็นชัด ก็เพื่อให้กาวลาเท็กซ์ยึดติดได้แน่นด้วย อีกประการหนึ่ง ถ้าผิวไม้ได้ระดับ ก็อาจจะทำให้แผ่น ไม้ที่ปูถูกหนุ่นและกระดกหลุดออกได้ง่าย และจะสอคลื่นกัน ได้ยาก ทำให้เปลืองกาวที่จะปู จึงต้องควบคุมการปรับระดับผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบไม่เป็นหลุม

(2) การปูพื้นไม้บนตง ระยะห่างตงต้องกำหนดให้พอเหมาะกับความหนาพื้น แต่ปัจจุบันพื้นมีความหนา 1 นิ้ว ระยะตงก็ควรห่างอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.50 เมตร อีกประการหนึ่ง เรื่องการปรับหลังตงให้เสมอกัน ควรทำก่อนการปูพื้น ถ้าปล่อยให้ระดับหลังตงสูง - ต่ำ แตกต่างกันตามความโค้ง - แอ่นของไม้แล้ว เมื่อปูพื้นลงไป พื้นก็มีระดับที่ลาดเอียงไปด้วย ถึงแม้จะแก้ในระหว่างการปูพื้นด้วยการหนุนใต้พื้นด้วยเศษไม้ก็ตามความหนาของตงที่จะยึดตะปูที่ตอกยึดจากการปูพื้น อย่างน้อย 1 ½ นิ้ว เป็นต้น ลักษณะการปูพื้นมีหลายชนิด เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงานและความต้องการ

4. โครงหลังคาไม้เนื้อแข็ง โครงหลังคาไม้เนื้อแข็งต้องเป็นไม้ที่ได้รับการอบ หรือผึ่งจนแห้งจะต้องไม่มีรอยแตก ร้าว บิด หรืองอ ต้องเป็นไม้ที่ได้มาตรฐาน ของกรมป่าไม้ นอกจากนี้ควรทาน้ำยากันปลวกอย่างน้อย 2 ครั้ง เพราะปลวกในบ้านเราชุกชุมและขยันเหลือเกิน การขึ้น โครงหลังคาที่เป็นไม้ ควรใช้ไม้เนื้อแข็งให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในแบบทั้งประเภทและขนาดของไม้ หากอาคารมีช่วงกว้างมากส่วนใหญ่วิศวกรจะออกแบบเป็น โครงถัก ที่ภาษาช่างมักเรียกว่า “โครงทรัส (Truss)” ส่วนระยะการวางจันทันต้องเว้นระยะตามที่แบบระบุซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่ถ่ายจากแปรมาลงที่จันทันในการที่จะเลือกใช้โครงหลังคานั้นขึ้นอยู่กับความต้องการให้อายุการใช้งานคงทนควรทาน้ำยารักษาเนื้อไม้และน้ำ ยาป้องกันแมลงกัดกิน

2.2.5 สาเหตุการเสื่อมสภาพของ ไม้และผลิตภัณฑ์ไม้

การผุพังหรือการเสื่อมสภาพของ ไม้ และผลิตภัณฑ์ไม้ มีสาเหตุหลายประการ ลักษณะความเสียหายจะแตกต่างกัน ขึ้นกับกลไกของปฏิกริยานั้นๆ

1. ปฏิกริยากรด เนื่องจากไม้ถูกแรงอัดและกระทบกระเทือนต่างๆ ทำให้ไม้เสียสมดุล บิด และแตกในที่สุด พบว่าไม้แต่ละชนิด มีความสามารถทนทานต่อแรงกดต่างกัน คุณสมบัตินี้จึงเป็นข้อสำคัญ ในการตัดสินใจว่าควรเลือกไม้นั้นเป็นส่วนประกอบโครงสร้างของอาคารหรือไม่

2. ปฏิกริยาทางฟิสิกส์ ในสภาพที่ไม่ได้รับความร้อนสูง เป็นเวลานาน ไม้จะเสื่อมสภาพได้เนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในไม้ ทำให้ เซลลูโลสถูกทำลาย ไม้จึงมีความแข็งแรงน้อยลง นอกจากนี้จะมีลักษณะเปื่อย ยุ่ย สีซีด คล้ายการทำลายของเห็ดรา

3. ปฏิกริยาทางเคมี ปัญหาของไม้ที่เสื่อมสภาพโดยกรด - ด่าง จะทำให้ไม่มีสีซีดจาง บางครั้งจะมีลักษณะการผุพังคล้ายถูกทำลายโดยเชื้อเห็ดหรือแบคทีเรีย

4. ปฏิกริยาทางชีววิทยา เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสารประกอบของไม้ เช่น เซลลูโลส และลิกนิน โดยเชื้อเห็ดราต่างๆ เข้าไปมีบทบาทในการย่อยสลายให้สารประกอบ โมเลกุลใหญ่เปลี่ยนเป็น โมเลกุลเล็ก สภาพของไม้ที่ปรากฏออกมามีสีซีดหรือเข้มกว่าปกติ นอกจากนี้ เนื้อไม้จะเปื่อยยุ่ยหรือแตกเป็นตามขวางของเส้น

2.2.6 วัสดุอัดแรง

วัสดุอัดแรงที่ใช้ในงานอัดแรงในปัจจุบันสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. เหล็กเสริมอัดแรงที่ใช้ในการอัดแรงเป็นเหล็กกำลังสูงมี 3 ชนิด ด้วยกัน คือ ลวดอัดแรง ลวดตีเกลียวอัดแรง และเหล็กเส้นอัดแรง

2. Fiber Reinforced Plastic Tendons (FRP Tendons) แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ Aramid, Glass และ Carbon รูปทรงของ FRP Tendons สามารถผลิตรูปทรงได้เหมือนเหล็กเสริมอัดแรง

2.2.7 คาร์บอน ไฟเบอร์ (Carbon Fiber)

Nontri (1973) [13] วัสดุ Carbon Fiber เป็นวัสดุทางวิศวกรรมชั้นสูงที่สังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมีในอุณหภูมิสูง โดยทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลคาร์บอนเป็นเส้นยาวและมีความแข็งแรงสูง เส้นใย Carbon Fiber มีความสามารถรับแรงดึงได้สูงถึง 10-15 เท่าของเหล็กกล้าที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากัน

วัสดุ Carbon Fiber ได้ถูกใช้งานเป็นส่วนประกอบโครงสร้างอากาศยานและยุทธโศปกรณ์ทางทหารมายาวนานกว่า 50 ปี เนื่องจากมีความแข็งแรงสูงแต่น้ำหนักเบาและมีความคงทนถาวรอย่างยิ่ง ในปัจจุบัน ได้มีการนำ Carbon Fiber มาใช้ในงานวิศวกรรมด้านต่างๆ มากมาย เช่นเดียวกับในงานด้านวิศวกรรมโครงสร้างและโยธา ซึ่งได้มีการนำมาใช้เสริมเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างและซ่อมแซมความเสียหายจากการรับน้ำหนักเกิน แผ่นดินไหว แรงกระแทก ฯลฯ

คุณสมบัติ

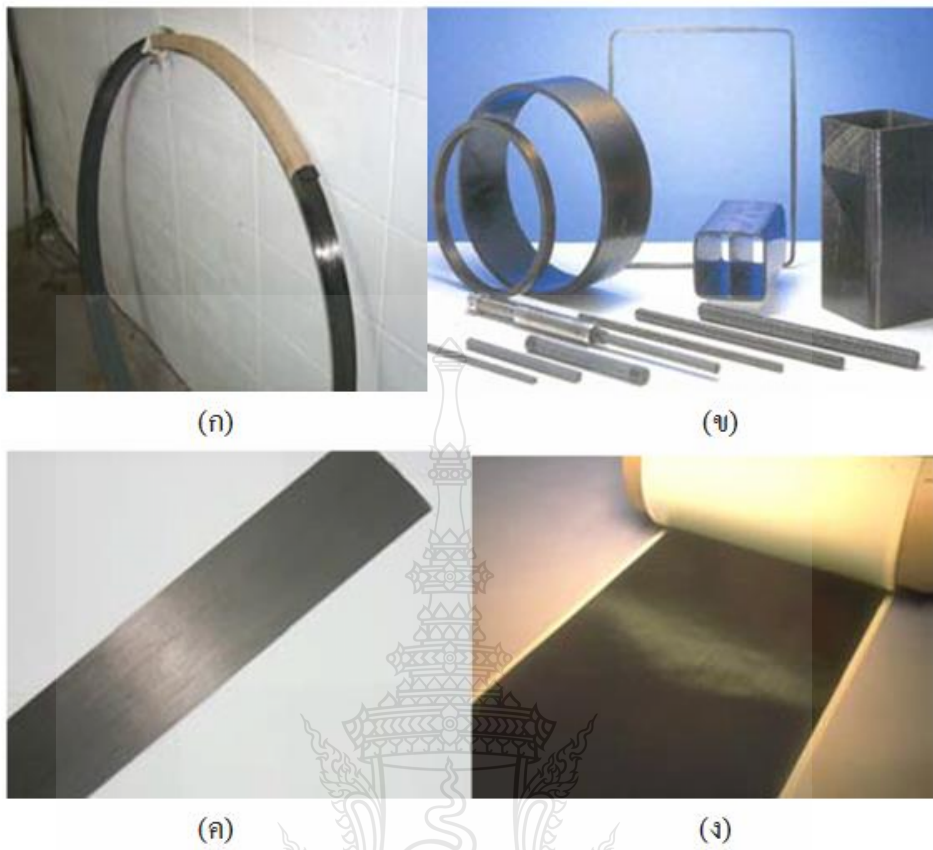
- ความแข็งแรงในการรับแรงดึงสูง (มากกว่าเหล็ก 10 เท่า)
- ไม่เป็นสนิม ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่กัดกร่อนและ สารเคมี ได้ดีกว่าเหล็กมาก
- น้ำหนักเบา
- ติดตั้งได้ง่ายและสะดวก
- ขนาดบาง
- ยึดหยุ่นเข้ากับรูปร่างของ โครงสร้างได้ดี

ประโยชน์

- เพิ่มกำลังให้กับ โครงสร้าง
- เพิ่มความแข็งแรงให้กับ โครงสร้าง
- เพิ่มความคงทนให้กับ โครงสร้าง

ความจำเป็นในการเสริมความแข็งแรงให้กับ โครงสร้าง

- เปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน โครงสร้าง
- การก่อสร้างหรือออกแบบผิดพลาด
- โครงสร้างเสื่อมสภาพ
- เปลี่ยนมาตรฐานการออกแบบ
- ซ่อมแซมโครงสร้างที่เสียหายจากแผ่นดินไหว



รูปที่ 2.16 ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ [13]



(ก) ติดตั้งแผ่นCFRPที่ท้องพื้น



(ข) ติดตั้งแผ่น CFRP ที่ท้องคาน

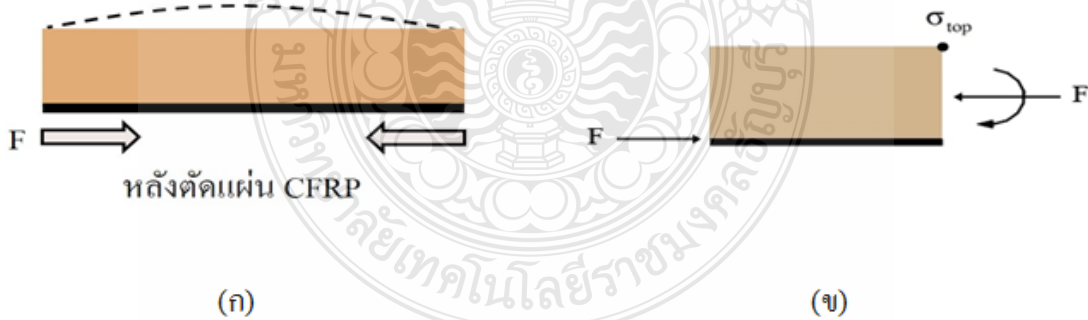
รูปที่ 2.17 แสดงการใช้งานแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ [13]

2.2.8 สมการคำนวณการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP)

ในงานวิจัยนี้สมการที่ใช้คำนวณในการหาค่าอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เป็นสมการที่คิดจากหลังการให้ค่าแรงอัดแบบดึงก่อนให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ดังรูปที่ 2.18 แล้วตัดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ จึงทำให้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ยังมีแรงกระทำภายในอยู่ในทิศทางกลับกัน ดังรูปที่ 2.19 และทำให้พฤติกรรมของคานไม้ที่อัดแรงเปลี่ยนแปลงไปคือ ที่ผิวบนของคานไม้จะรับค่าแรงดึง ที่ผิวล่างของคานไม้จะรับแรงอัด ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบคุณสมบัติหาค่าหน่วยแรงดึงตามมาตรฐาน จึงนำค่าหน่วยแรงดึงดังกล่าวมาคำนวณกลับเพื่อหาค่าแรงดึงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ตามสมการที่ 2 ดังนั้น นำค่าหน่วยแรงดึงตัดแทนค่า σ_{top} แล้วแก้สมการเพื่อหาค่า F (ค่าแรงดึงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์)



รูปที่ 2.18 พฤติกรรมรับแรงหลังจากการอัดแรง



รูปที่ 2.19 (ก) พฤติกรรมรับแรงหลังจากการอัดแรงให้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (ข) แรงกระทำและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายในคานไม้

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{top}} &= \frac{F}{A} \pm \frac{My}{I} & (2.1) \\ &= \frac{F}{bh} - \frac{F\left(\frac{h}{2}\right)\left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{1}{12}bh^3} \\ &= \frac{F}{bh} - \frac{3F}{bh} = -\frac{2F}{bh} \\ &= -\frac{2F}{bh}\end{aligned}$$

จัดรูปแบบสมการเพื่อหาค่า F (ค่าแรงดึงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์)

$$F = -\frac{\sigma_{\text{top}} bh}{2} \quad (2.2)$$

σ_{top} คือ หน่วยแรงดัดที่ผิวบนของคานไม้

F คือ ค่าแรงดึงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

A คือ พื้นที่หน้าตัดของคานไม้

M คือ โมเมนต์ดัดที่กระทำบนพื้นที่หน้าตัด

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน

Y คือ ระยะจากแกนสะเทิน ไปยังตำแหน่งที่ต้องการหน่วยแรงดัด

b คือ ความกว้างของคานไม้

h คือ ความสูงของคานไม้

\pm คือ เครื่องหมายแทนแรงอัดจะใช้เครื่องหมายบวก (+) ส่วนแรงดึงจะใช้เครื่องหมายลบ (-)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุการทดสอบ

แผ่นชิ้นงานที่ประกอบขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงค้ำและการทดสอบแบบการรับน้ำหนักแบบเต็มกำลัง ประกอบด้วยวัสดุ 4 ชนิดและมีขนาดดังนี้

3.1.1 วัสดุทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นไม้

ไม้ไผ่เรียบ ขนาด 50x50x150 มิลลิเมตร (กว้างxหนาxยาว) ตามมาตรฐาน (มยผ.) 1221-51 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ไม้ไผ่เรียบ ขนาด 50x50x150 มิลลิเมตร

3.1.2 วัสดุทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้

ไม้ไผ่เรียบ ขนาด 50x50x200 มิลลิเมตร (กว้างxหนาxยาว) ตามมาตรฐาน (มยผ.) 1222-51 ดังในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 50x50x200 มิลลิเมตร

3.1.3 วัสดุทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้

ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 50x50x760 มิลลิเมตร (กว้างxหนาxยาว) ตามมาตรฐาน (มยผ.)

1224-51 ดังรูปที่ 3.3

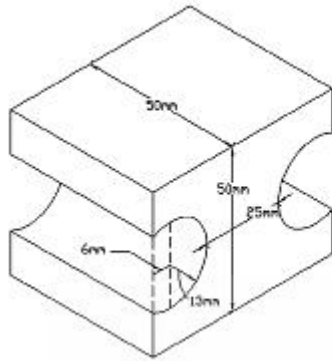


รูปที่ 3.3 ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 50x50x760 มิลลิเมตร (กว้างxหนาxยาว)

3.1.4 ไม้ที่ใช้ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง

ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร (กว้างxหนาxยาว) ตามมาตรฐาน (มยผ.)

1225-51 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ไม้ที่ใช้ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง

3.1.5 วัสดุทดสอบการรับกำลังแรงคัต

ไม้ทดสอบ 100x100x1200 มิลลิเมตร การทดสอบการรับกำลังแรงคัต ตามมาตรฐาน ASTM D143 จำนวน 10 ท่อน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ไม้ขนาด 100x100x1200 มิลลิเมตร

3.1.6 แผ่น CFRP ชื่อทางการค้าว่า SCB Brace CF@300 ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของแผ่น CFRP

TYPICAL PERFORMANCE DATA

SCB Brace CF 300

Fiber Areal Weight	300 g/m ²
Fabric Design Thickness	0.166 mm
Fiber Tensile Strength	4,900 MPa
Fiber Tensile E-Modulus	230 GPa
Elongation at break	2.1%
Fabric Width.	50 cm



รูปที่ 3.6 แผ่น CFRP SCB Brace CF® 300

3.1.7 Epoxy ชื่อทางการค้าว่า CONCRETSIVE 1001 LPL ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Epoxy

TYPICAL PERFORMANCE DATA	
CONCRESlVE 1001 LPL	
7 days cure	
Tensile Strength (ASTM D638)	: >24 N/mm ²
Tensile Elongation (ASTM D638)	: 2.5%
Slant shear bond strength	: 35 N/mm ²

PROPERTIES	Part A	Part B
Ratio	2	1
Supply form	liquid	liquid
Color	White	Black
Viscosity @ 25°C	12,000 cps	350 cps
Density	1.37 kg/L	0.96 kg/L



รูปที่ 3.7 Epoxy CONCRESlVE 1001 LPL

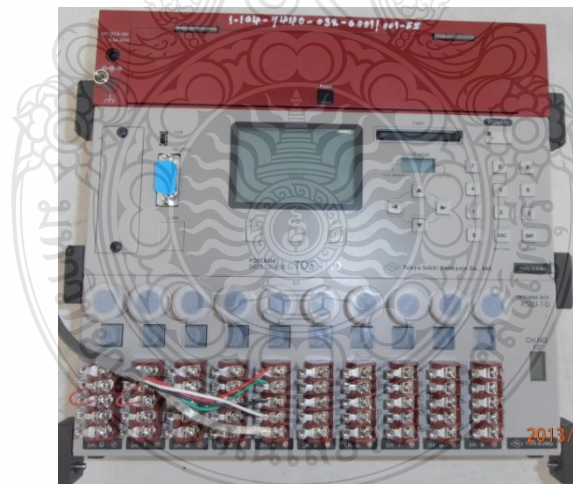
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบแรงอัดและแรงคัต ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ขนาด 100 ตัน

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลของการทดสอบการรับน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องอ่านค่าการขีดหัดตัวและระยะ โกงตัว (Data Logger)

3.2.3 เครื่องวัดระยะ โกงตัว Linear Variable Differential Transformer (LVDT) ดังรูปที่

3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดระยะ โกงตัว Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

3.2.4 Strain Gauge รุ่น PL-60-11-1L ดังรูปที่ 3.11



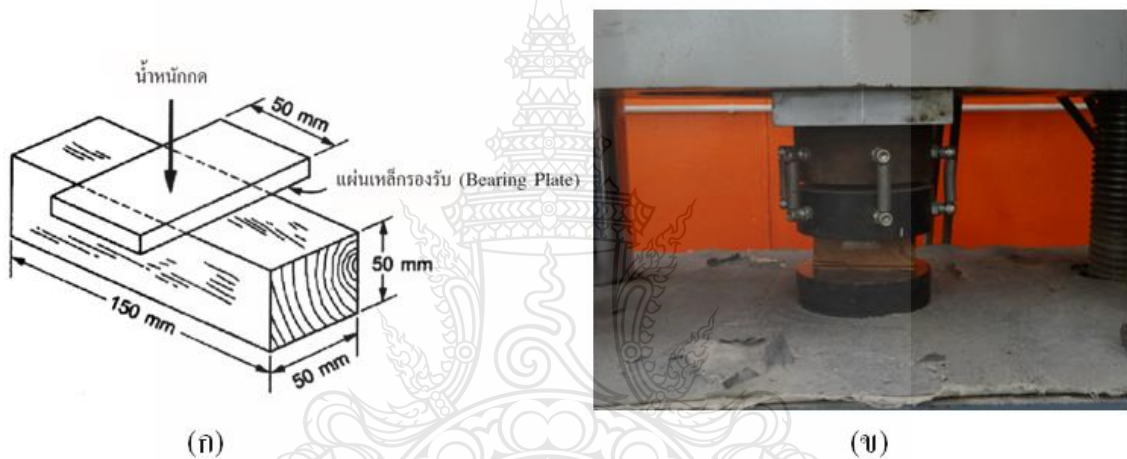
รูปที่ 3.11 Strain Gauge รุ่น PL-60-11-1L

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของไม้

3.3.1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ (Test Method for Compression Perpendicular to Grain)

1. วัดขนาดของไม้ตัวอย่าง โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของมิติที่วัด และหามวลโดยการชั่งให้มี หน่วยเป็นกรัม มีความถูกต้องในการชั่งได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.2 ของมวล ตัวอย่าง

2. วางไม้ตัวอย่างบนแผ่นเหล็กรองรับ (Bearing Block) โดยให้แนวเสี้ยนอยู่ในแนวระดับและให้ผิวด้านตั้งฉากกับวงปี (Radial) อยู่ตอนบนสุดบันทึกความกว้างของผิวด้านนี้วางแผ่นเหล็ก (Bearing Plate) ขนาด 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ซึ่งใช้รองรับน้ำหนักที่กดลง โดยวางตามแนวขวาง ให้ได้กึ่งกลางประมาณ 1 ใน 3 ส่วนของความยาวไม้ตัวอย่างให้แนวยาวของแผ่นเหล็กกดทำมุมตั้งฉากกับแนวยาวของไม้ตัวอย่างดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้

3. ตัดตั้งมาตรวัดค่าการยุบตัวของตัวอย่างไม้โดยปรับระยะให้ปลายแกนของมาตรวัดสัมผัสกับผิวของ ไม้ตัวอย่างเล็กน้อยและปรับเข็มที่หน้าปัดให้ชี้ที่ตำแหน่งขีดศูนย์

4. ให้แรงกด (Load) บนไม้ตัวอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 0.305 มิลลิเมตร ต่อวินาทีอ่านค่าการยุบตัว (Deformation) ทุกครั้งที่เพิ่มน้ำหนักกดขึ้น 1,000 นิวตัน ให้มีความละเอียดถึง 0.002 มิลลิเมตรจนกว่าตัวอย่างจะยุบตัวถึง 2.5 มิลลิเมตรหรือเข็มวัดเริ่มหมุนไปอย่างรวดเร็วโดยไม่หยุด จึงหยุดทำการ ทดสอบแล้วนำตัวอย่างไม้ออกจากเครื่องทดสอบบันทึกค่า

3.3.2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวนานเส้นของไม้ (Test Method for Compression Parallel to Grain)

1. วัดขนาดหน้าตัดและความยาวของไม้ตัวอย่าง โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกิน ร้อยละ 0.3 ของขนาดที่วัดและ หามวลโดยการชั่งให้มีหน่วยเป็นกรัมมีความถูกต้องในการชั่งได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง หากตัวอย่าง ไม่มีรอยตำหนิ ให้ทำเครื่องไว้ให้เห็นชัดเจนบันทึกค่าความยาวพิกัด (Gauge Length)

2. ติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวของไม้เข้ากับไม้ตัวอย่าง โดยวางไม้ตัวอย่างให้ได้ ศูนย์กลางกับเครื่องมือทดสอบปรับเข็มที่หน้าปัดของเครื่องทดสอบและมาตรวัดการยุบตัวของไม้ให้ชี้ที่ขีดศูนย์ ดังรูปที่ 3.13



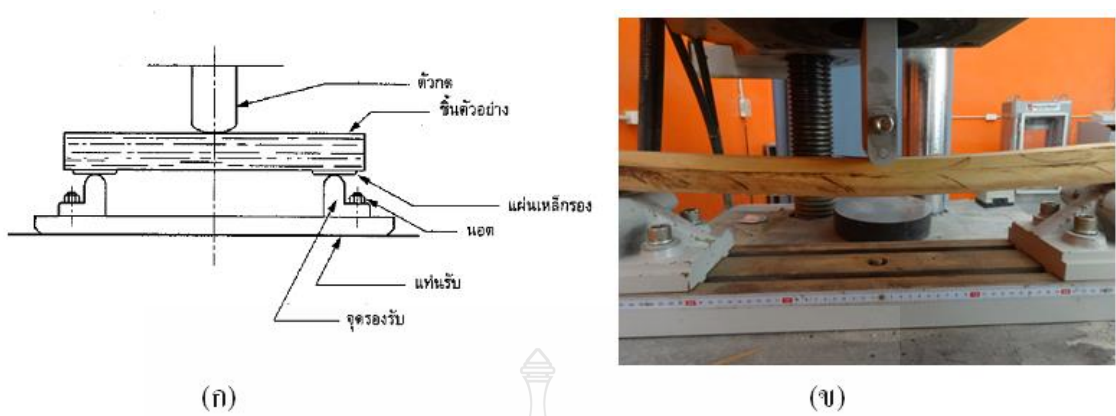
รูปที่ 3.13 การทดสอบหาค่าแรงอัดในแนวนานเส้นของไม้

3. ให้แรงกด (Load) อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอด้วยความเร็วประมาณ 0.6 มม./นาที
4. บันทึกแรงที่กดและวัดการยุบตัว (Deformation) ของไม้ตัวอย่างทุกๆ 2,000 นิวตัน ของแรงที่กดจนกระทั่งเกินช่วงของขีดปฏิบัติการหลังจากนั้นให้ถอดเครื่องมือวัดการยุบตัวของไม้ออกแล้วกดไม้ตัวอย่างไป จนถึงจุดวิบัติพร้อมทั้งบันทึกค่าของแรงที่กดสูงสุด
5. บันทึกลักษณะการวิบัติพร้อมทั้งเขียนภาพรอยแตกของไม้ตัวอย่างแต่ละชิ้นตามรูปแบบการแตกดังนี้
 - (1) รอยแตกแบบบดขยี้เกิดขึ้นเมื่อรอยแตกอยู่ในแนวขนานเสี้ยน
 - (2) รอยแตกรูปลิ้มเกิดขึ้นเมื่อลักษณะการแตกคล้ายรูปลิ้มโดยเส้นที่ถูกผ่าอาจเป็นได้ทั้งในแนวเส้นวงปีหรือแนวเส้นสัมผัสวงปี
 - (3) รอยแตกแบบแรงเฉือนเกิดขึ้นเมื่อรอยแตกทำมุมมากกว่า 45 องศากับด้านบนของตัวอย่างไม้
 - (4) รอยแตกแบบฉีกปลายเกิดขึ้นเมื่อ ไม้ตัวอย่างมีตำหนิภายในมาก่อน
 - (5) รอยแตกแบบแรงอัดและรอยแตกแบบแรงเฉือนขนานเสี้ยนเกิดขึ้นเมื่อมีรอยแตกปรากฏในแนว ขวางเสี้ยน

3.3.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงค้ดของไม้ (Test Method for Static Bending of Timber)

1. วัดขนาดของไม้ตัวอย่าง โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของขนาดที่วัด และทำการชั่งหามวลโดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง
2. ทดสอบความสามารถในการรับแรงค้ด (Flexural Test) ของชิ้น ไม้ตัวอย่าง บนฐานรองรับซึ่งกำหนดตำแหน่งจุดรองรับให้มีระยะห่างกัน 710 มิลลิเมตร โดยจุดรองรับให้มีลักษณะเป็นสันและมีแผ่นเหล็กรองรับระยะจากจุดรองรับถึงระยะกึ่งกลางคานจะต้องไม่เกินความลึกของตัวอย่าง และสามารถปรับเลื่อนทางด้านข้างได้เพื่อให้ตัวอย่างไม้สามารถยึดตัวได้เล็กน้อย ดังรูปที่

3.14



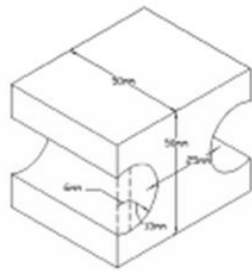
รูปที่ 3.14 การทดสอบแรงดึงของไม้

3.3.4 การทดสอบแรงดึงของไม้ (Standard Test Method for Tensile Test of Timber)

1. วัสดุนาของไม้ตัวอย่าง โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของขนาดที่วัดและทำการชั่ง หามวลโดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง

2. การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของไม้ให้วางไม้ตัวอย่าง โดยใช้อุปกรณ์ยึดตามที่แสดงไว้ในรูปหลังจากนั้นให้แรงดึงกระทำอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 2.5 มิลลิเมตรต่อนาทีจนกระทั่งไม้ตัวอย่างเริ่มแตกบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดและเขียนภาพลักษณะการแตกแล้วคำนวณหาค่ากำลังต้านทานแรงดึงของไม้โดยนำค่าของแรงกระทำสูงสุดที่อ่านได้หารด้วยพื้นที่หน้าตัดบริเวณที่เล็กที่สุดของตัวอย่างไม้

3. การทดสอบความต้านทานการแตกของไม้ให้วางไม้ตัวอย่าง โดยใช้อุปกรณ์ยึดตามที่แสดงไว้ในรูปหลังจากนั้นให้แรงดึงกระทำอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 2.5 มิลลิเมตรต่อนาทีจนกระทั่งไม้ตัวอย่าง เริ่มแตกบันทึกค่าแรงกระทำสูงสุดและเขียนภาพลักษณะการแตกแล้วคำนวณหาความต้านทานการแตกของไม้โดยนำค่าของแรงกระทำสูงสุดที่อ่านได้ หารด้วยความกว้างของตัวอย่างไม้ ดังรูปที่ 3.15



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.15 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงไม้

3.4 วิธีการคำนวณค่าอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

เนื่องจากบทที่ 2 จึงใช้สมการที่ 2 ในการหาค่าอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ดังนี้ จากสมการที่ 2 แทนค่าหน่วยแรงตัดเท่ากับ 1.164 ksc. เพราะจากการทดสอบ (ที่มาของค่าหน่วยแรงตัดจากตารางผนวกที่ ก3) แทนลงใน σ_{top} จะได้

$$F = -\frac{\sigma_{top}bh}{2}$$

$$F = -\frac{(1.164)(100 \times 100)}{2}$$

$$F = -5820 \text{ N}$$

ค่าอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะเท่ากับ 5820 นิวตันซึ่งคิดเป็นร้อยละ 4 ของค่า Tensile Strength ของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ในงานวิจัยนี้เห็นว่าค่าอัดแรงร้อยละ 4 น้อยเกินไปจึงคิดที่ ร้อยละ 10 ของค่า Tensile Strength ของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จึงได้ค่าอัดแรงที่ 14550 นิวตัน ดังนั้น จึงใช้ค่าอัดแรงทั้ง 2 ค่าในการทดสอบ

3.5 การทดสอบแรงดัดของคานไม้

แบบตัวอย่างการทดลองมีทั้งหมด 5 แบบดังนี้

3.5.1 คานไม้ธรรมชาติมีขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร หนา 100 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร มีจำนวน 2 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบ

3.5.2 คานไม้ที่ติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ขนาดของคานไม้มีขนาดเท่ากับคานไม้ในแบบที่ 1 ส่วนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ จะมี 2 ขนาดคือขนาดที่ 1 กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร ใช้ติดกับคานไม้ด้านล่างเพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงดิ่ง และขนาดที่ 2 กว้าง 250 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร ใช้ติดรอบคานไม้ตามตำแหน่งที่แสดงในตาราง 3.1 เพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงเฉือนของคานไม้ จำนวน 2 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบ

3.5.3 คานไม้ที่ติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่าอัดแรงขนาดของคานไม้มีขนาดเท่ากับคานไม้ในแบบที่ 1 ส่วนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ จะมี 2 ขนาดคือขนาดที่ 1 กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 12,00 มิลลิเมตร แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่าอัดแรง ด้วยค่า 5,820 N แล้วติดกับคานไม้ด้านล่างเพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงดิ่ง และขนาดที่ 2 กว้าง 250 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร ใช้ติดรอบคานไม้ตามตำแหน่งที่แสดงในตาราง 3.1 เพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงเฉือนของคานไม้ จำนวน 2 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบ

3.5.4 คานไม้ที่ติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่าอัดแรง ขนาดของคานไม้มีขนาดเท่ากับคานไม้ในแบบที่ 1 ส่วนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ จะมี 2 ขนาดคือขนาดที่ 1 กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่าอัดแรง ด้วยค่า 14,550 N แล้วติดกับคานไม้ด้านล่างเพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงดิ่ง และขนาดที่ 2 กว้าง 250 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร ใช้ติดรอบคานไม้ตามตำแหน่งที่แสดงในตาราง 3.1 เพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงเฉือนของคานไม้ จำนวน 2 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงรูปแบบตัวอย่างการทดลอง (หมายเหตุในตารางเป็นหน่วยมิลลิเมตร)

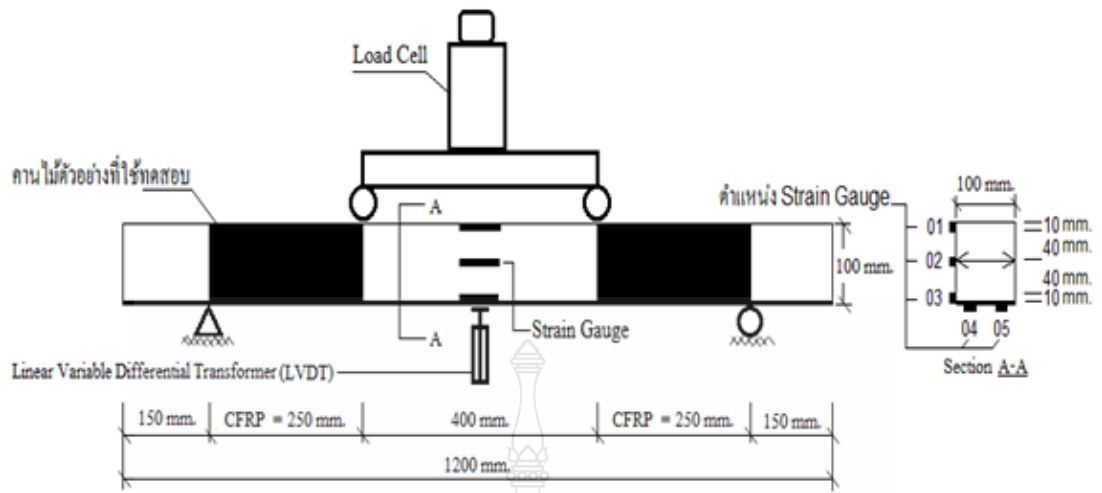
จำนวน	รายการ	ลักษณะ
1	2	<p>คานไม้ (B2,B3)</p>
2	2	<p>คานไม้ที่ติด แผ่น CFRP (B4,B6)</p>
3	-	<p>คานไม้ที่ติด แผ่น CFRP ที่ ได้รับค่าอัด แรง</p>
2	3.1	<p>ค่าอัดแรง = 5,820 N (B11,B12)</p>
2	3.2	<p>ค่าอัดแรง = 14,550 N (B13,B14)</p>
4	2	<p>คานไม้ที่ สูญเสียเนื้อไม้ และติดแผ่น CFRP ที่ค่าอัด แรง</p>
		<p>แรง = 5,820 N (B8,B9)</p>

3.5.5 คานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรง ขนาดของคานไม้มีขนาดเท่ากับคานไม้ในแบบที่ 1 คานไม้จะทำการจำลองให้เนื้อบางส่วนของไม้หายออกไปโดยมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 50 มิลลิเมตร แล้วติดเนื้อไม้รูปครึ่งวงกลมกลับเข้าไปในคานไม้ด้วย Epoxy ส่วนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ จะมี 2 ขนาดคือขนาดที่ 1 กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 1,200 มิลลิเมตร แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรง ด้วยค่า 5820 N แล้วติดกับคานไม้ด้านล่างเพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงดึง และขนาดที่ 2 กว้าง 250 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร ใช้ติดรอบคานไม้ตามตำแหน่งที่แสดงในตาราง 3.1 เพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงเฉือนของคานไม้ จำนวน 2 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบ

3.6 ขั้นตอนการทดสอบ

3.6.1 วิธีการทดสอบกรณีทั่วไป

1. ติดตั้งคานไม้เข้ากับเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง
2. การติดตั้ง Strain Gauge โดยที่ตำแหน่งการติด strain Gauge 01 คือตำแหน่งด้านบนของผิวด้านข้างคานไม้ strain Gauge 02 คือตำแหน่งตรงกลางของผิวด้านข้างคานไม้ strain Gauge 03 คือตำแหน่งด้านล่างของผิวด้านข้างคานไม้ strain Gauge 04 คือตำแหน่งผิวด้านล่างของคานไม้ strain Gauge 05 คือตำแหน่งผิวด้านล่างของคานไม้ ดังรูปที่ 3.16
3. ติดตั้งเครื่องวัดระยะ โคง์ตัว Linear Variable Differential Transformer (LVDT) ไว้ในตำแหน่งตรงกลางของคานไม้
4. ต่อสาย Strain Gauge และ LVDT เข้ากับเครื่อง Data Logger เพื่อเตรียมเก็บข้อมูล
5. เพิ่มน้ำหนักให้กับคานไม้ที่ใช้ทดสอบซ้ำๆ จนกระทั่งคานไม้ที่ใช้ทดสอบเกิดการวิบัติ
6. นำคานไม้ออกจากเครื่องทดสอบ และนำข้อมูลที่ได้ออกไปวิเคราะห์ผล ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งคานไม้ที่ใช้ทดสอบ

3.6.2 วิธีการทดสอบกรณีแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการอัดแรงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และติดตั้งคานไม้

1. ติดตั้งแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เข้ากับอุปกรณ์จับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดยช่วงตรง ระยะอุปกรณ์จับจะเพิ่มแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เข้าไป 2 ชั้นบนล่าง เพื่อเพิ่มความหนาให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ใช้ความยาว 300 มิลลิเมตร ต่อ 1 ช่วง ดังรูปที่ 3.17 (ก) และทา Epoxy ที่แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ดังรูปที่ 3.17 (ข) แล้วทิ้งไว้ 7 วัน
2. ติดตั้งแท่นดึงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ดังรูปที่ 3.17 (ค) และนำอุปกรณ์จับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มาติดกับแท่นดึงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ดังรูปที่ 3.17 (ค)
3. ทำการดึงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยเครื่องดึงลวด ที่ค่าแรงดึง 5,820 N ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง และดึงแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ค่าแรงดึง 14,550 N ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.17 (ค)
4. ทา Epoxy ที่แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และที่คานไม้ ดังรูปที่ 3.17 (ง) และดังรูปที่ 3.17 (จ) ตามลำดับ แล้วติดคานไม้เข้ากับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ดังรูปที่ 3.17 (ฉ)
5. ทา Epoxy รอบคานไม้ ดังรูปที่ 3.17 (ซ) และติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ดังรูปที่ 3.17 (ซ) แล้วทิ้งไว้ 7 วัน ดังรูปที่ 3.17 (ฅ)
6. หลังจาก 7 วันนำชิ้นงานทั้งหมดมาทดสอบเหมือนกับวิธีการทดสอบทั่วไป

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

การทดสอบชิ้นตัวอย่างและการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ (Test Method for Compression Perpendicular to Grain) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้ (Test Method for Compression Parallel to Grain) การทดสอบกำลังต้านทานแรงคดของไม้ (Test Method for Static Bending of Timber) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของไม้ (Tensile) คานไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ คานไม้ที่เสริมแรงด้วยวิธีอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ คานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และเสริมแรงด้วยวิธีอัดแรงให้กับแผ่นคานบอนไฟเบอร์และคานไม้ธรรมชาติ ได้ผลการทดสอบค่าโมเมนต์คด ระยะโก่งตัวของคานไม้ และการค่าความเครียดของคานไม้ ซึ่งมีการผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติของวัสดุไม้

4.1.1 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ (Test Method for Compression Perpendicular to Grain)

การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นไม้ (Test Method for Compression Perpendicular to Grain) ของชิ้นส่วนตัวอย่าง ไม้ตั้งขนาดกว้าง 5 ซม. ยาว 15 ซม.หนา 5 ซม. โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ วางทับบนแผ่นเหล็กก่อนที่จะถึงชิ้นส่วนตัวอย่างไม้ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้

Group	Load (kg)	Deflection (mm)	Stress (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)
1	3632.01	0.85	145.28	139.87
	3493.37	0.92	139.73	
	3364.93	1.03	134.59	
2	2987.77	0.91	119.51	96.65
	2532.10	0.86	101.28	
	2294.59	1.07	91.78	
	2289.50	0.88	91.58	
	2230.37	0.68	89.21	
	2164.12	1.06	86.56	
3	1982.67	1.05	79.31	70.53
	1791.03	0.93	71.64	
	1617.74	0.97	64.71	
	1661.57	0.99	66.46	
4	155.66	0.99	58.23	53.30
	145.46	0.81	57.82	
	1352.70	1.11	54.11	
	1312.95	1.08	52.52	
	1294.59	0.82	51.78	
	1133.54	0.95	45.34	
5	944.95	0.77	37.80	27.55
	798.17	1.03	31.93	
	616.72	0.74	24.67	
	549.44	1.12	21.98	
	534.15	1.07	21.37	

4.1.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้ (Test Method for Compression Parallel to Grain)

การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้ (Test Method for Compression Parallel to Grain) ของชิ้นตัวอย่างไม้ตั้ง ขนาดกว้าง 5 ซม. ยาว 20 ซม. หน้า 5 ซม. โดย

ใช้เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวนอนเสี้ยนของไม้ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวนอนเสี้ยนของไม้

Group	Load (kg)	Deflection (mm)	Stress (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)
1	5815.49	0.90	232.62	217.51
	5467.89	0.94	218.72	
	5029.56	0.92	201.18	
2	4933.74	0.97	197.35	182.58
	4892.97	1.09	195.72	
	4501.53	0.99	180.06	
	4492.35	1.07	179.69	
	4312.95	1.04	172.52	
	4252.8	1.06	170.11	
3	3492.35	1.02	139.69	134.75
	3411.82	1.03	136.47	
	3295.62	1.01	131.82	
	3275.23	1.06	131.01	
4	3237.51	1.02	129.50	117.85
	3165.14	1.02	126.61	
	3134.56	1.08	125.38	
	2889.91	1.38	115.59	
	2682.98	0.91	107.32	
	2567.79	0.94	102.71	
5	2376.15	1.98	95.05	67.60
	1669.72	1.01	66.79	
	1657.49	1.15	66.30	
	1424.06	1.07	56.96	
	1322.12	1.02	52.88	

การวิบัติของชิ้นตัวอย่างไม้ในทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวนอนเฉียงของไม้ในการจะเกิดขึ้นที่ไม้เพราะเป็นตัวรับแรงอัด ลักษณะของการวิบัติของชิ้นตัวอย่างไม้จะเป็นรอยร้าวจากซ้ายไปขวา ซึ่งมีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร และมีเสียงดัง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากการกำลังต้านทานแรงอัดในแนวนอนเฉียงของตัวอย่างไม้

4.1.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ (Test Method for Static Bending of Timber)

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ (Test Method for Static Bending of Timber) ของชิ้นตัวอย่างไม้ขนาดกว้าง 5 ซม. ยาว 76 ซม. หนา 5 ซม. โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงค้ดของไม้

No	Specimen	Size (mm)	Load (kg)	Deflection (mm)	Stress (ksc)
1	2	50x50x760	12.26	9.17	1064.85
2	4	50x50x760	8.11	20.94	704.40
3	1	50x50x760	70.19	15.9	624.50
4	8	50x50x760	6.97	13.54	605.38
5	5	50x50x760	6.96	11.97	604.52
6	9	50x50x760	6.72	15.74	583.67
7	10	50x50x760	6.57	10.9	570.64
8	7	50x50x760	5.98	17.00	519.40
9	6	50x50x760	5.97	13.92	518.53
10	12	50x50x760	5.57	10.09	483.79
11	13	50x50x760	5.57	9.12	422.99
12	3	50x50x760	4.87	16.19	519.40
13	11	50x50x760	4.30	8.89	373.48

การวิบัติของชิ้นตัวอย่างไม้ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงค้ดของไม้ จะเกิดขึ้นตรงกลางของชิ้นตัวอย่างไม้จะแตกจากซ้ายไปขวา และมีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร และมีเสียงดังเล็กน้อย ดังแสดงในรูป 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะการวิบัติกำลังต้านทานแรงค้ดของไม้

4.1.4 ผลการทดสอบกำลังต้านแรงดึงของไม้ (Tensile)

การทดสอบกำลังต้านแรงดึงของไม้ (Tensile) ของชิ้นตัวอย่างไม้ ได้ผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังต้านแรงดึงของไม้

พื้นที่หน้าตัดของไม้ $A = 2.50 \text{ cm} \times 5.00 \text{ cm} = 12.50 \text{ cm}^2$, $\text{Stress} = P/A$

ลำดับ	NO.	Load (kg)	Stress (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)
1	Ex.5/1	542.88	43.43	38.91
	Ex.5/2	355.50	28.44	
	Ex.5/3	560.63	44.85	
2	Ex.21/1	381.00	30.48	38.29
	Ex.21/2	488.00	39.04	
	Ex.21/3	567.00	45.36	
3	Ex.8/1	412.88	33.03	38.29
	Ex.8/2	435.75	34.86	
	Ex.8/3	587.38	46.99	
4	Ex.23/1	494.38	39.55	38.13
	Ex.23/2	490.63	39.25	
	Ex.23/3	444.75	35.58	
5	Ex.4/1	570.88	45.67	38.16
	Ex.4/2	406.50	32.52	
	Ex.4/3	453.63	36.29	
6	Ex.20/1	454.88	36.39	38.09
	Ex.20/2	426.88	34.15	
	Ex.20/3	546.63	43.73	
7	Ex.24/1	442.13	35.37	38.06
	Ex.24/2	426.88	34.15	
	Ex.24/3	558.13	44.65	
8	Ex.3/1	381.00	30.48	29.97
	Ex.3/2	379.75	30.38	
	Ex.3/3	363.13	29.05	

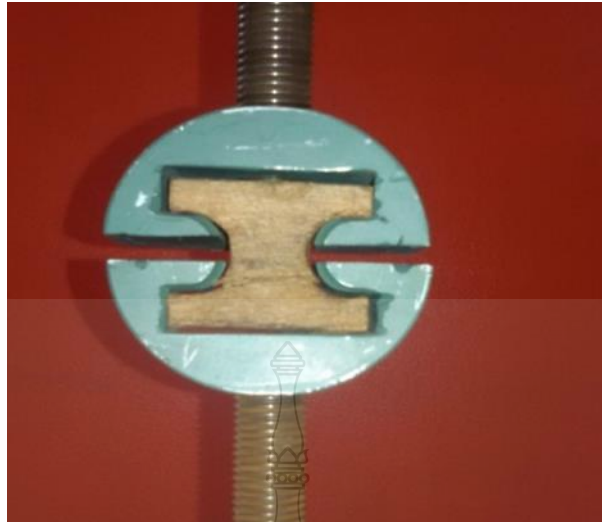
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังต้านแรงดึงของไม้ (ต่อ)

ลำดับ	NO.	Load (kg)	Stress (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)
9	Ex.2/1	442.13	35.37	38.05
	Ex.2/2	428.13	34.25	
	Ex.2/3	556.75	44.54	
10	Ex.10/1	486.75	38.94	37.95
	Ex.10/2	468.88	37.51	
	Ex.10/3	467.63	37.41	
11	Ex.9/1	467.63	37.41	37.99
	Ex.9/2	470.25	37.62	
	Ex.9/3	486.75	38.94	
12	Ex.7/1	438.38	35.07	37.92
	Ex.7/2	426.88	34.15	
	Ex.7/3	556.88	44.55	
13	Ex.22/1	440.88	35.27	37.92
	Ex.22/2	424.38	33.95	
	Ex.22/3	556.88	44.55	
14	Ex.14/1	463.88	37.11	37.86
	Ex.14/2	419.25	33.54	
	Ex.14/3	536.50	42.92	
15	Ex.12/1	428.13	34.25	35.75
	Ex.12/2	467.63	37.41	
	Ex.12/3	444.75	35.58	
16	Ex.16/1	447.25	35.78	36.19
	Ex.16/2	453.63	36.29	
	Ex.16/3	456.13	36.49	

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังต้านแรงดึงของไม้ (ต่อ)

ลำดับ	NO.	Load (kg)	Stress (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)
17	Ex.7/1	439.63	35.17	36.12
	Ex.7/2	466.38	37.31	
	Ex.7/3	448.50	35.88	
18	Ex.18/1	446.00	35.68	36.12
	Ex.18/2	420.50	33.64	
	Ex.18/3	488.00	39.04	
19	Ex.1/1	435.75	34.86	36.08
	Ex.1/2	402.63	32.21	
	Ex.1/3	514.75	41.18	
20	Ex.25/1	442.13	35.37	36.01
	Ex.25/2	458.63	36.69	
	Ex.25/3	449.75	35.98	
21	Ex.15/1	462.50	37.00	35.98
	Ex.15/2	388.63	31.09	
	Ex.15/3	498.25	39.86	
22	Ex.13/1	429.38	34.35	33.98
	Ex.13/2	451.13	36.09	
	Ex.13/3	393.63	31.49	
23	Ex.11/1	424.38	33.95	33.67
	Ex.11/2	415.38	33.23	
	Ex.11/3	423.00	33.84	
24	Ex.3/1	381.00	30.48	29.97
	Ex.3/2	379.75	30.38	
	Ex.3/3	363.13	29.05	

ลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่างไม้ในการทดสอบกำลังต้านแรงดึงของไม้ จะเกิดขึ้นตรงกลางส่วนเว้าของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงดึง และมีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะการวัดกำลังต้านแรงดึงของไม้

4.2 คานไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

เมื่อได้ทดสอบคุณสมบัติหาค่าแรงดึง แรงอัด และแรงคดของ ไม้ เพื่อให้คุณสมบัติของคานไม้ใกล้เคียงกันจึงสามารถแบ่งกลุ่มของคานไม้ตัวอย่างเพื่อทดสอบหาค่าแรงคด โดยใช้ค่าแรงอัดตั้งฉากกับแนวเสี้ยนเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ 1 โดยใช้ค่าแรงอัดตั้งฉากกับแนวเสี้ยนอยู่ในช่วง 75-90 ksc. และกลุ่มที่ 2 โดยใช้ค่าแรงอัดตั้งฉากกับแนวเสี้ยนอยู่ในช่วง 60-75 ksc. ดังที่แสดงในตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแรงดึง แรงอัด และแรงดัดของคานไม้

Group	Tensile Strength (ksc)	Compressive Strength (ksc)		Bending Tensile Strength (ksc)	รูปแบบการทดสอบ ชิ้นงาน
		ตั้งฉากกับ เสี้ยน	ขนาน เสี้ยน		
Group 1					
B2	38.06	91.78	139.69	590.30	ไม่ติดแผ่น CFRP
B6	37.99	76.46	102.71	553.27	ติดแผ่น CFRP
B8	38.02	84.92	193.6	570.17	คานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้
B11	38.02	87.52	105.28	573.67	อัดแรง CFRP = 5820 N
B13	38.33	90.04	137.04	588.74	อัดแรง CFRP=14550 N
Group2					
B3	37.92	71.64	129.50	560.40	ไม่ติดแผ่น CFRP
B4	37.99	74.46	101.71	523.27	ติดแผ่น CFRP
B9	37.92	63.48	93.24	519.40	คานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้
B12	38.02	72.52	105.28	573.67	อัดแรง CFRP = 5820 N
B14	37.92	71.8	105.28	560.64	อัดแรง CFRP=14550 N

4.2.1 รูปแบบการวิบัติ

1. รูปแบบการวิบัติของคานไม้ธรรมดา (B2,B3)

คานไม้ B2 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B2 จนถึงที่น้ำหนัก 7250 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกตรงกลางของหน้าตัดคานไม้และแตกจากซ้ายไปขวายาวประมาณ 40 เซนติเมตร มีเสียงดัง และคานไม้ B3 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B3 จนถึงที่น้ำหนัก 4720 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกตรงด้านล่างของหน้าตัดคานไม้ตรงตำแหน่งตรงกลางของความยาวคานไม้และแตกจากขวาไปซ้ายยาวประมาณ 30 เซนติเมตร มีเสียงดัง ดังรูปที่ 4.5



(ก) การวัดของคานไม้ B2



(ข) การวัดของคานไม้ B3

รูปที่ 4.5 การวัดของคานไม้ไม่ได้เสริมแรง B2 และ B3

2. รูปแบบการวัดของคานไม้ติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (B4,B6)

คานไม้ B4 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B4 จนถึงที่น้ำหนัก 8200 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกเกือบด้านล่างของหน้าตัดคานไม้ที่ตรงตำแหน่งตรงกลางของความยาวคานไม้และแตกจากซ้ายไปขวาประมาณ 40 เซนติเมตรและแผ่น CFRP มีรอยฉีกขาด มีเสียงดัง และคานไม้ B6 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B6 จนถึงที่น้ำหนัก 8150 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกตรงกลางของหน้าตัดคานไม้ที่ตรงตำแหน่งตรงกลางของความยาวคานไม้และแตกจากขวาไปซ้าย เป็นช่วงๆ ยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร มีเสียงดัง ดังรูปที่ 4.6



(ก) การวัดของคานไม้ B4

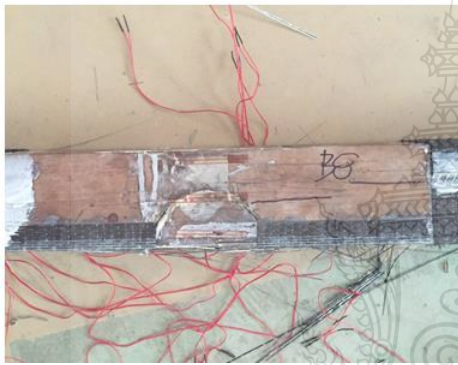


(ข) การวัดของคานไม้ B6

รูปที่ 4.6 การวัดของคานไม้เสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ B4 และ B6

3. รูปแบบการวิบัติของคานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้ (B8,B9)

คานไม้ B8 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B8 จนถึงที่น้ำหนัก 5517 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกตรงกลางของหน้าตัดคานไม้ที่ตรงตำแหน่งตรงกลางของความยาวคานไม้และแตกจากขวาไปซ้ายเป็นช่วงๆ ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร และแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มีรอยฉีกขาดเป็นเส้นๆ ช่วงตรงกลางของความยาวคานยาวประมาณ 40 เซนติเมตร มีเสียงดังและคานไม้ B9 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B9 จนถึงที่น้ำหนัก 4172 กิโลกรัม คานไม้ไม่มีรอยแตกแต่แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มีรอยฉีกขาดเป็นเส้นๆ ช่วงตรงกลางของความยาวคานยาวประมาณ 40 เซนติเมตร มีเสียงดัง ดังรูปที่ 4.7



(ก) การวิบัติของคานไม้ B8



(ข) การวิบัติของคานไม้ B9

รูปที่ 4.7 การวิบัติของคานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และเสริมแรงด้วยการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ 5820 นิวตัน

4. รูปแบบการวิบัติของคานไม้ติดแผ่น CFRP ที่อัดแรงด้วยค่า 5820 N (B11, B12)

คานไม้ B11 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B11 จนถึงที่น้ำหนัก 9780 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกตรงกลางของหน้าตัดคานไม้ที่ตรงตำแหน่งตรงกลางของความยาวคานไม้และแตกจากขวาไปซ้ายเป็นช่วงๆ ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร และแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มีรอยฉีกขาดเป็นเส้นๆ ช่วงตรงกลางของความยาวคานยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีเสียงดังและคานไม้ B12 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B12 จนถึงที่น้ำหนัก 9780 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกตรงกลางของหน้าตัดคานไม้และแตกจากซ้ายไปขวายาวประมาณ 40 เซนติเมตร แต่แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ไม่มีรอยฉีกขาด มีเสียงดัง ดังรูปที่ 4.8



(ก) การวิบัติของคานไม้ B11



(ข) การวิบัติของคานไม้ B12

รูปที่ 4.8 การวิบัติของคานไม้เสริมแรงด้วยการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ 5820 นิวตัน

5. รูปแบบการวิบัติของคานไม้ติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่อัดแรงด้วยค่า 14550 N (B13, B14)

คานไม้ B13 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B13 จนถึงที่น้ำหนัก 12405 กิโลกรัม คานไม้มีรอยแตกตรงกลางของหน้าตัดคานไม้ที่ตรงตำแหน่งตรงกลางของความยาวคานไม้และแตกจากซ้ายไปขวา ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร และแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มีรอยฉีกขาดเป็นเส้นๆ ช่วงตรงกลางของความยาวคานยาวประมาณ 40 เซนติเมตร มีเสียงดังและคานไม้ B14 เมื่อเริ่มให้น้ำหนักแก่คานไม้ B14 จนถึงที่น้ำหนัก 10339 กิโลกรัม คานไม้ไม่มีรอยแตกแต่แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มีรอยฉีกขาดเป็นเส้นๆ ช่วงตรงกลางของความยาวคานยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีเสียงดัง ดังรูปที่ 4.9



(ก) การวิบัติของคานไม้ B13



(ข) การวิบัติของคานไม้ B14

รูปที่ 4.9 การวิบัติของคานไม้เสริมแรงด้วยการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ 14550 นิวตัน

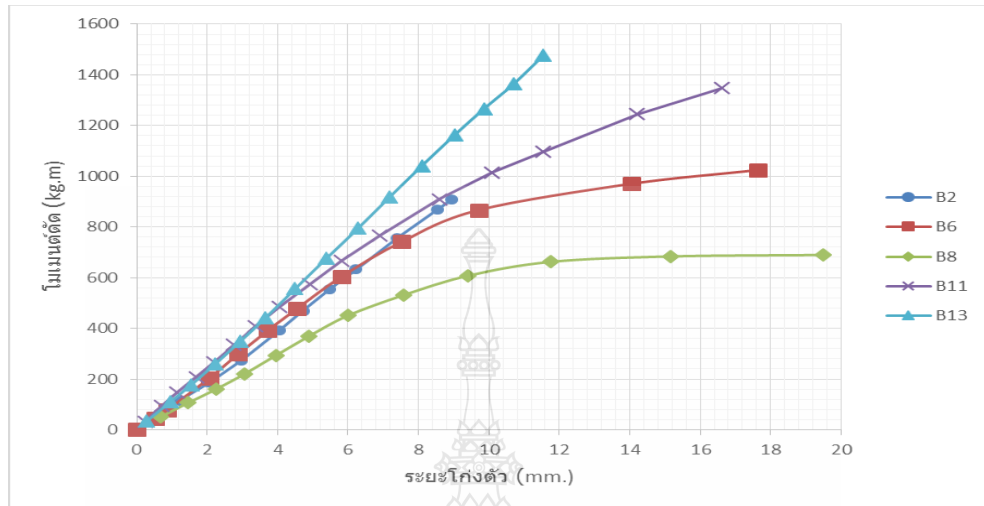
4.3 ผลการทดสอบแรงดัดคานไม้

การทดสอบแรงดัดคานไม้ธรรมชาติจำนวน 2 ท่อน คานไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ จำนวน 2 ท่อน คานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้และเสริมแรงด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่า 5820 นิวตันจำนวน 2 ท่อน คานไม้ที่เสริมแรงด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่า 5820 นิวตันจำนวน 2 ท่อน คานไม้ที่เสริมแรงด้วยวิธีการอัดแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่า 14550 นิวตันจำนวน 2 ท่อน โดยการให้น้ำหนักลงที่ตัวคานไม้เพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดที่ตรงกลางของคานไม้ ทำการวัดระยะ โกงตัวที่ตำแหน่งตรงกลางของคานไม้และหาค่าความเครียดของคานไม้ที่ตำแหน่งต่างๆที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 5 รูปแบบ ได้ค่าการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบโมเมนต์ดัดและระยะ โกงตัวของคานไม้

คานไม้ที่ใช้ทดสอบ	โมเมนต์ดัดที่ระยะ โกงตัว L/180 เท่ากับ 5 mm. (kg.m)	โมเมนต์ดัดสูงสุด (kg.m)	ระยะ โกงตัวที่ตำแหน่งตรงกลางคานไม้สูงสุด (mm.)
Group 1			
B2	480	907.20	8.93
B6	550	1024.82	17.64
B8	380	689.71	19.50
B11	600	1347.62	16.62
B13	680	1475.72	11.54
Group 2			
B3	360	590.53	12.26
B4	520	1024.82	17.64
B9	360	521.56	15.48
B12	600	1247.67	16.62
B14	620	1292.47	12.68

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คัตกับระยะโก่งตัวของคานไม้ทั้ง 5 รูปแบบ



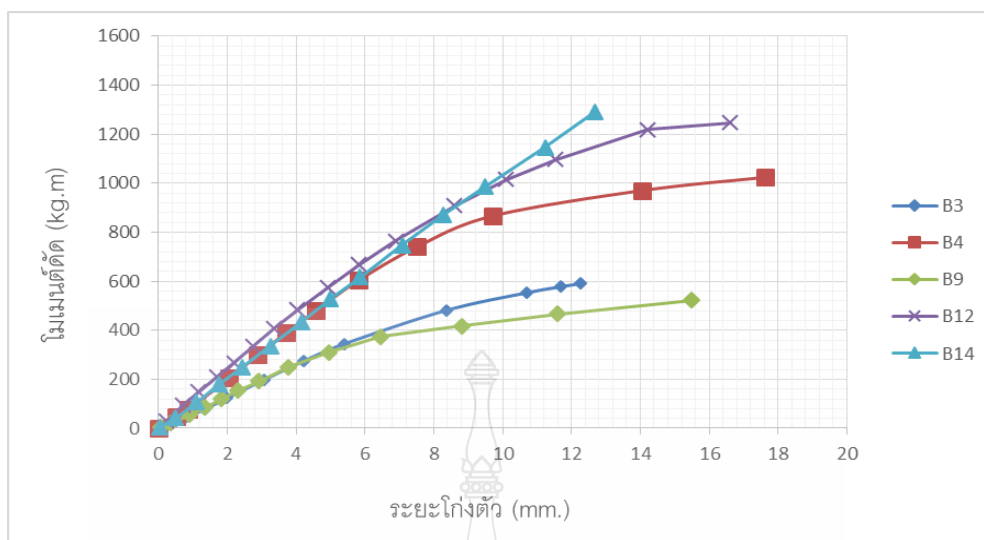
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์คัตกับระยะโก่งตัวของกลุ่มที่ 1

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์คัตกับระยะโก่งตัวของคานไม้

1. เมื่อคิดการรับโมเมนต์คัตที่ L/180 หรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตรนั้นจะพบว่า คานไม้ B13 จะรับโมเมนต์คัตได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 41.67 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B11 จะรับโมเมนต์คัตได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 25.00 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B6 จะรับโมเมนต์คัตได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 14.58 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2

2. เมื่อคิดการรับโมเมนต์คัตสูงสุดจะพบว่า คานไม้ B13 จะรับโมเมนต์คัตสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 62.67 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B11 จะรับโมเมนต์คัตสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 48.54 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B6 จะรับโมเมนต์คัตสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 12.69 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2

3. เมื่อคิดการรับโมเมนต์คัตเทียบกับระยะโก่งตัวของคานไม้จะพบว่า คานไม้ B13 มีระยะโก่งตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B11 มีระยะโก่งตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 13.33 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B6 มีระยะโก่งตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 6.67 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2 ส่วนคานไม้ B8 จากกราฟจะเห็นว่าหลังจากการซ่อมแซมและเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนจะสามารถรับโมเมนต์คัตและค่าระยะโก่งตัวได้น้อยกว่าคานไม้ B2



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์ตัดกับระยะ โก่งตัวของกลุ่มที่ 2

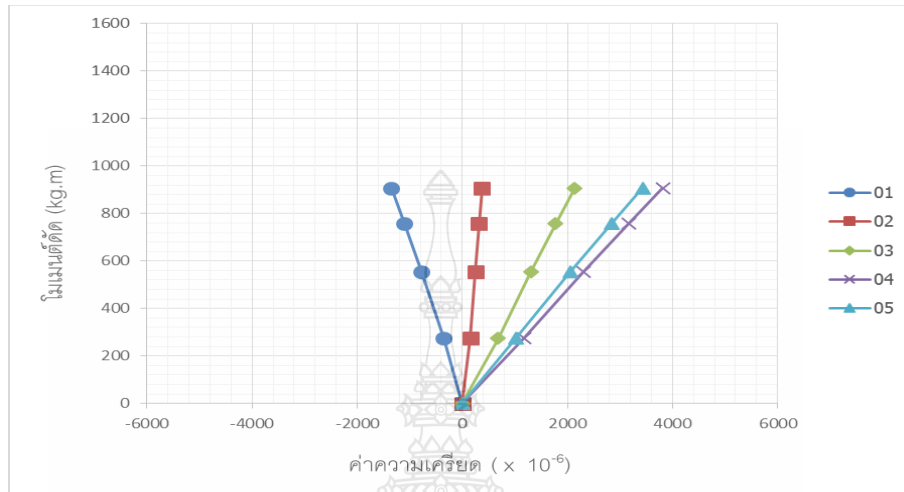
4. เมื่อคิดการรับโมเมนต์ตัดที่ L/180 หรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตรนั้นจะพบว่า คานไม้ B14 จะรับโมเมนต์ตัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 72.22 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3, คานไม้ B12 จะรับโมเมนต์ตัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 57.89 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3, คานไม้ B4 จะรับโมเมนต์ตัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 44.44 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3

5. เมื่อคิดการรับโมเมนต์ตัดสูงสุดจะพบว่า คานไม้ B14 จะรับโมเมนต์ตัดสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 118.86 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3, คานไม้ B12 จะรับโมเมนต์ตัดสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 112.79 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3, คานไม้ B4 จะรับโมเมนต์ตัดสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 73.54 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3

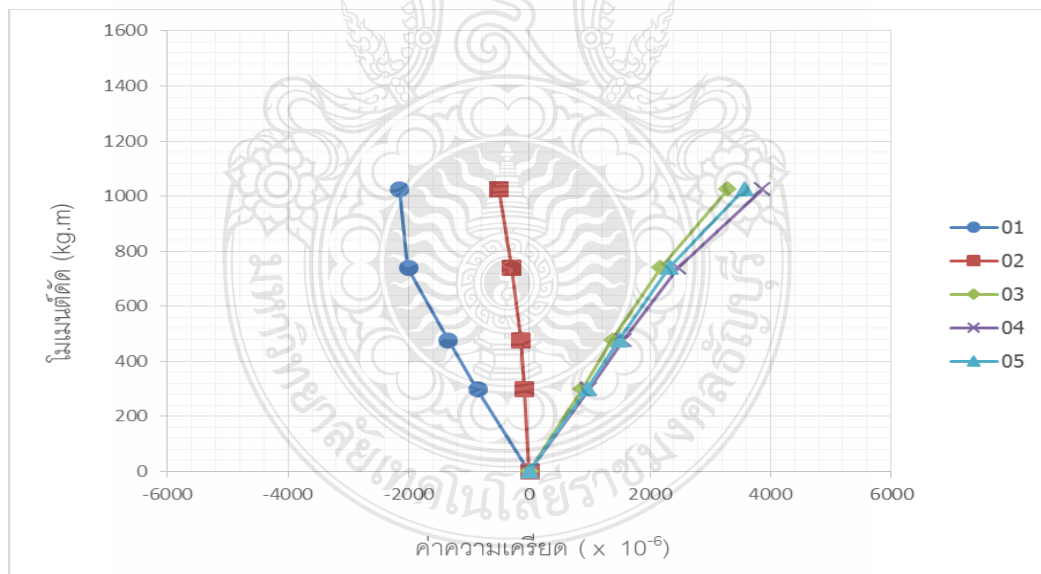
6. เมื่อคิดการรับโมเมนต์ตัดเทียบกับระยะ โก่งตัวของคานไม้จะพบว่า คานไม้ B14 มีระยะ โก่งตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 56.67 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3, คานไม้ B12 มีระยะ โก่งตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 53.33 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3, คานไม้ B4 มีระยะ โก่งตัวน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 50.00 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B3 ส่วนคานไม้ B9 จากกราฟจะเห็นว่าหลังจากการซ่อมแซมและเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนจะสามารถรับโมเมนต์ตัดและค่าระยะ โก่งตัวได้ใกล้เคียงกับคานไม้ B3

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียด

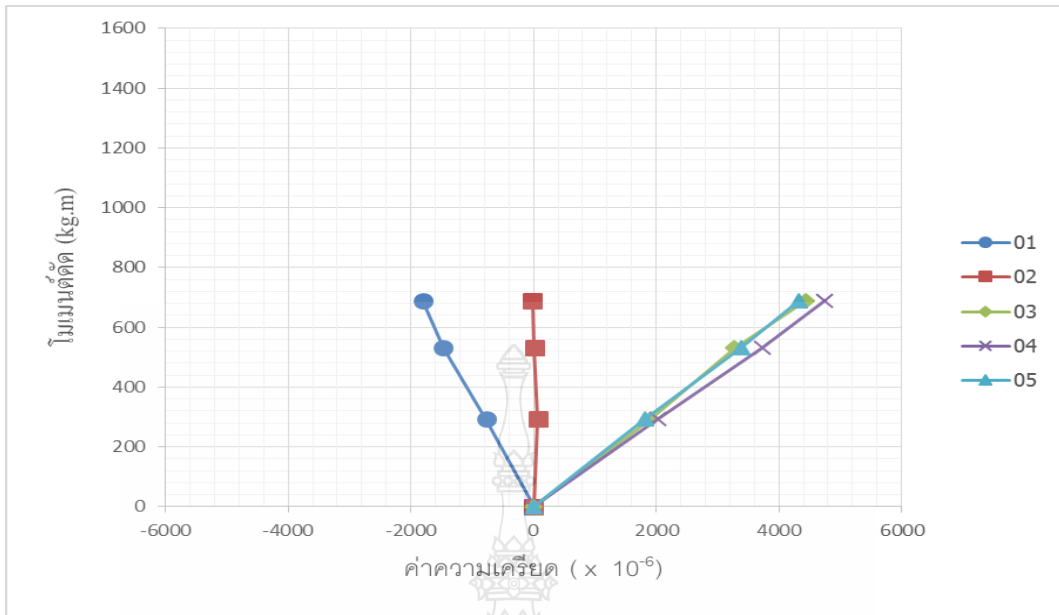
วิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ทั้ง 5 รูปแบบ ดังแสดงในรูป



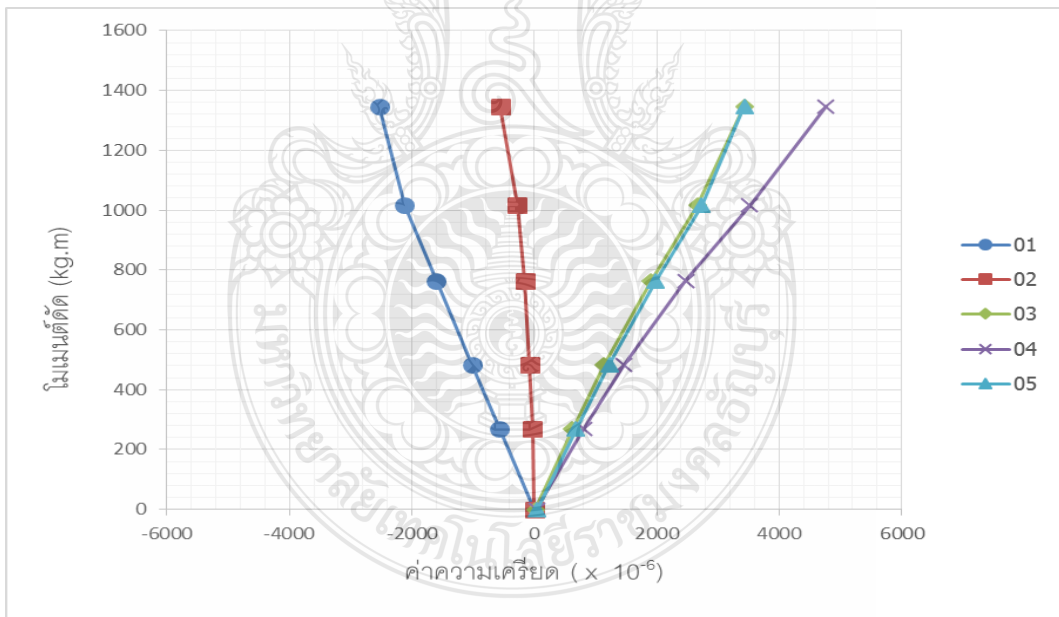
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B2)



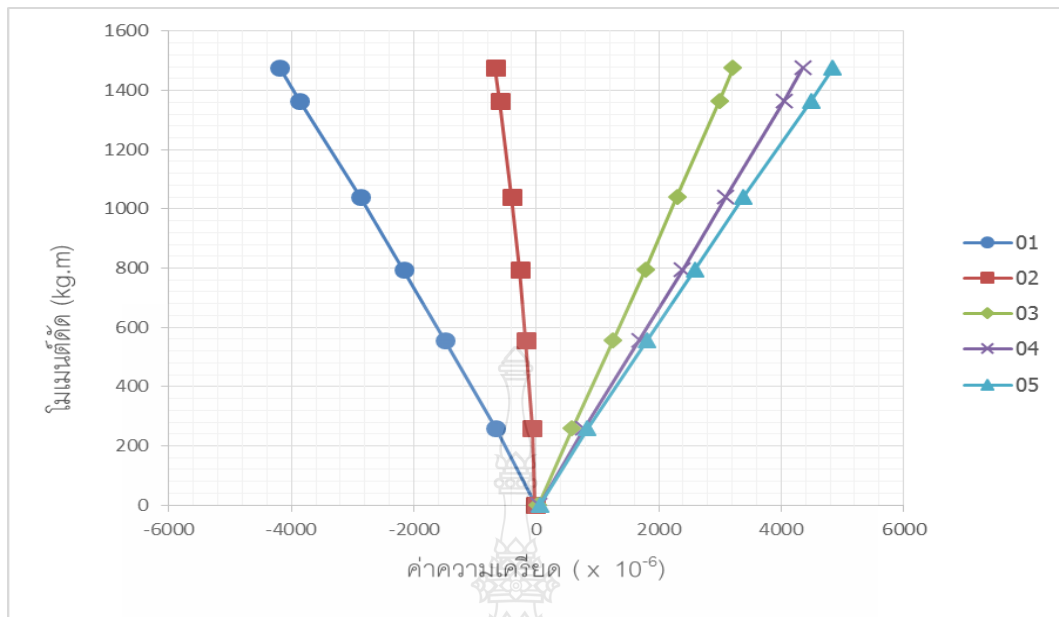
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B6)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดกับค่าความเค้นเฉือน ของคานไม้ตัวอย่าง (B8)

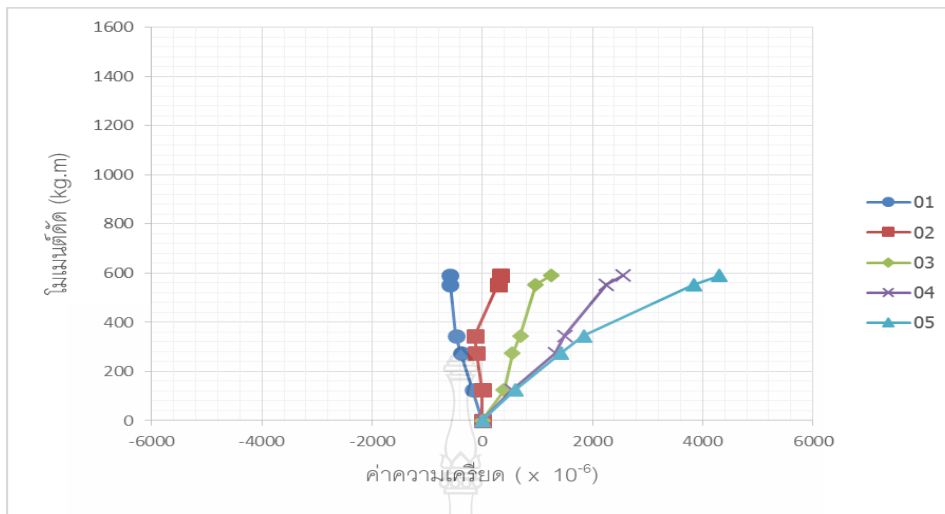


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดกับค่าความเค้นเฉือนของคานไม้ตัวอย่าง (B11)

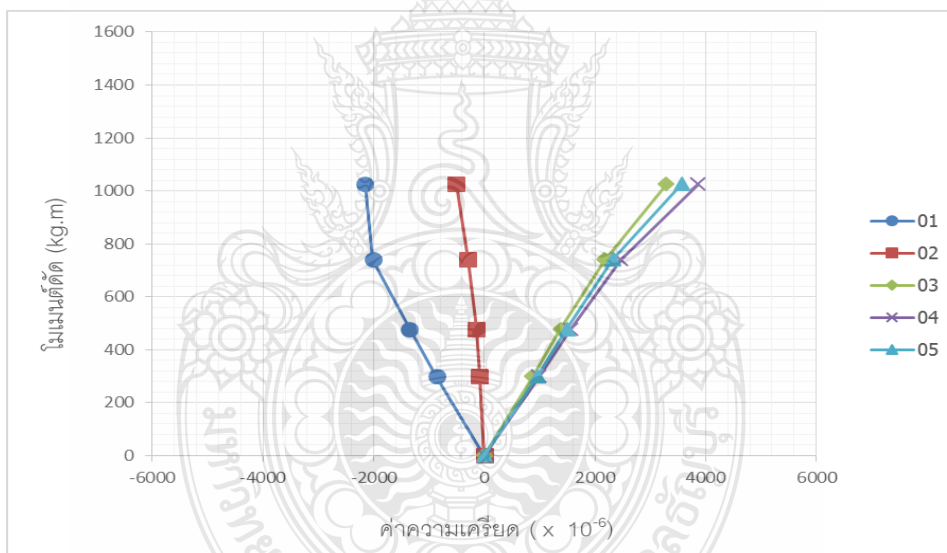


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเคี้ยวของคานไม้ตัวอย่าง (B13)

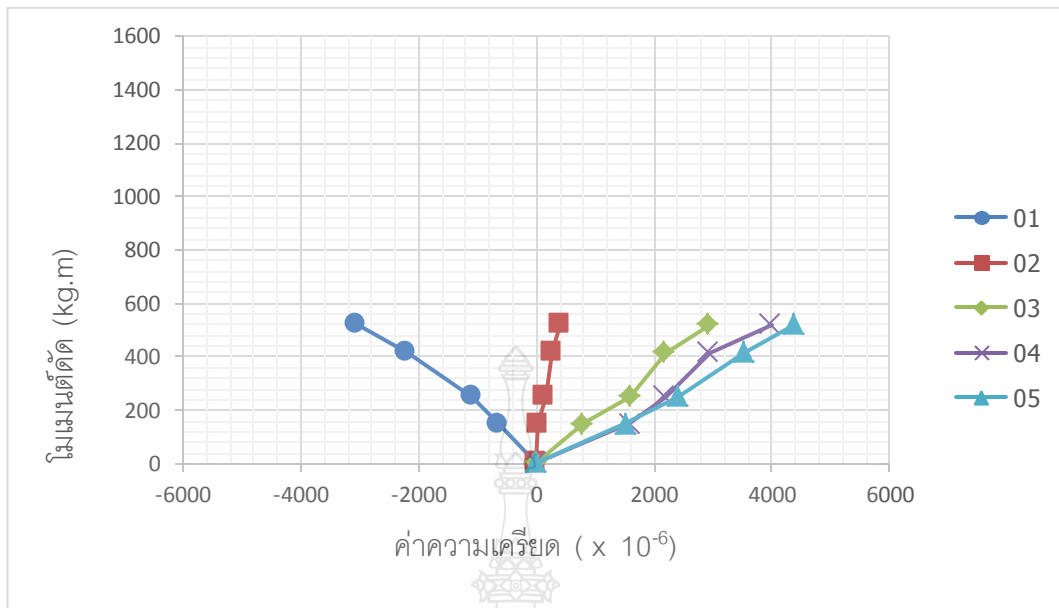
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเคี้ยวของคานไม้ ค่าความเคี้ยวมีค่าเป็นลบ หมายถึงความสามารถในการรับแรงอัด ส่วนค่าความเคี้ยวมีค่าเป็นบวก หมายถึงความสามารถในการรับแรงดึง จากกราฟเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 5 ตัวอย่างของคานไม้ จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มให้น้ำหนักกับคานไม้ โมเมนต์ดัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม เมื่อพิจารณาค่าความเคี้ยวที่จุดตรงกลางของผิวด้านข้างของคานไม้คานไม้ B2 และคานไม้ B8 มีค่าความเคี้ยวเป็นบวก ซึ่งเมื่อเทียบกับคานไม้ B6, คานไม้ B11 และคานไม้ B13 จะมีค่าความเคี้ยวเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าคานไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ทั้งอัดแรงและไม่อัดแรง คานไม้จะต้องรับแรงอัดเพิ่มขึ้นที่ผิวด้านบนของคานไม้เพราะแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเสริมแรงดึงที่ผิวด้านล่างของคานไม้ให้มากขึ้น



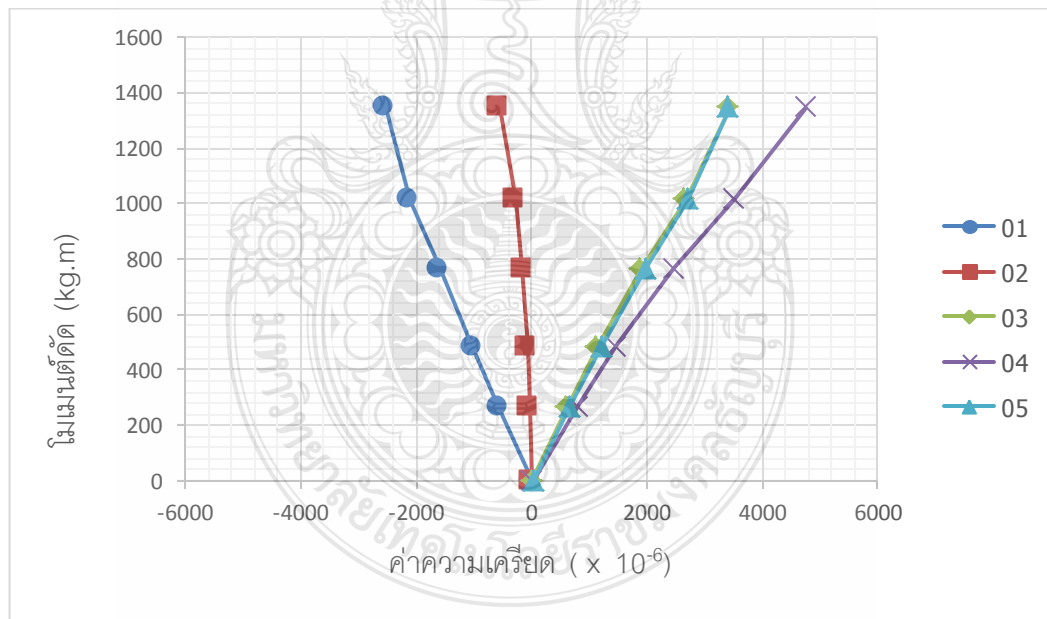
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B3)



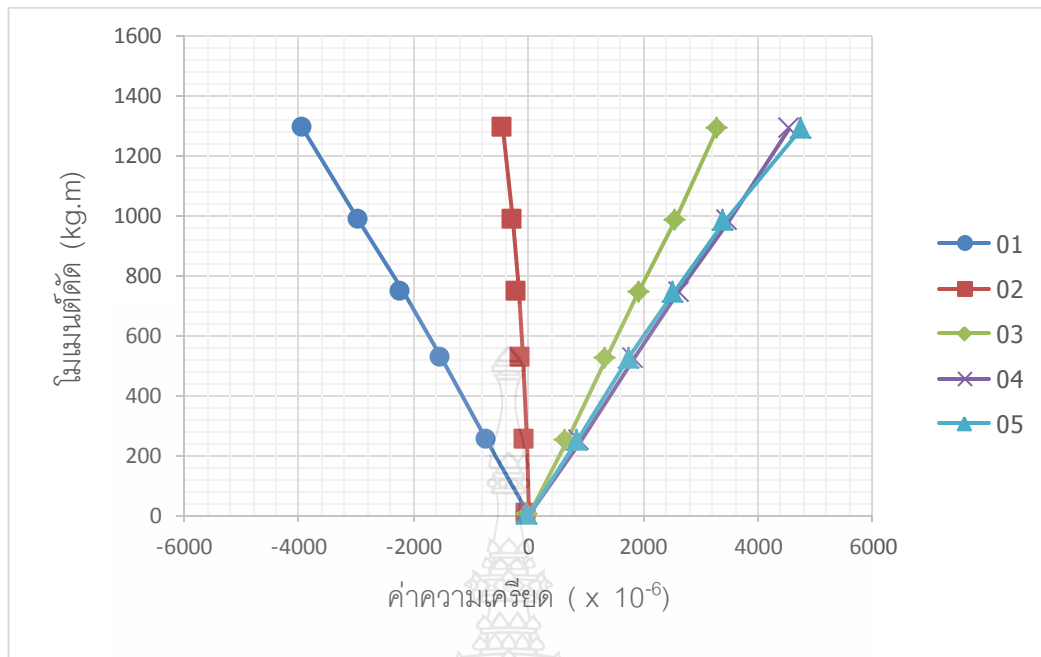
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B4)



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B9)



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B12)

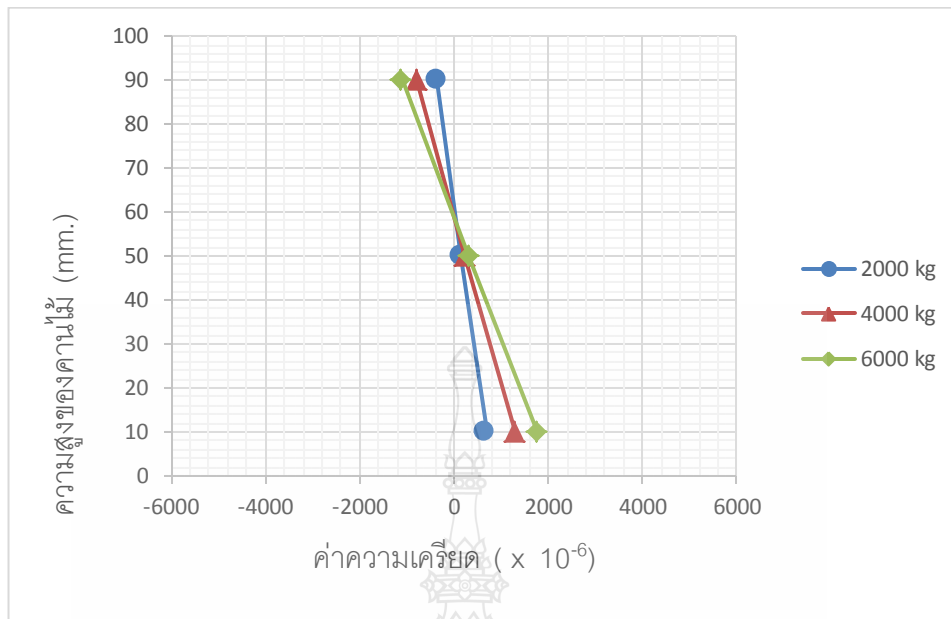


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B14)

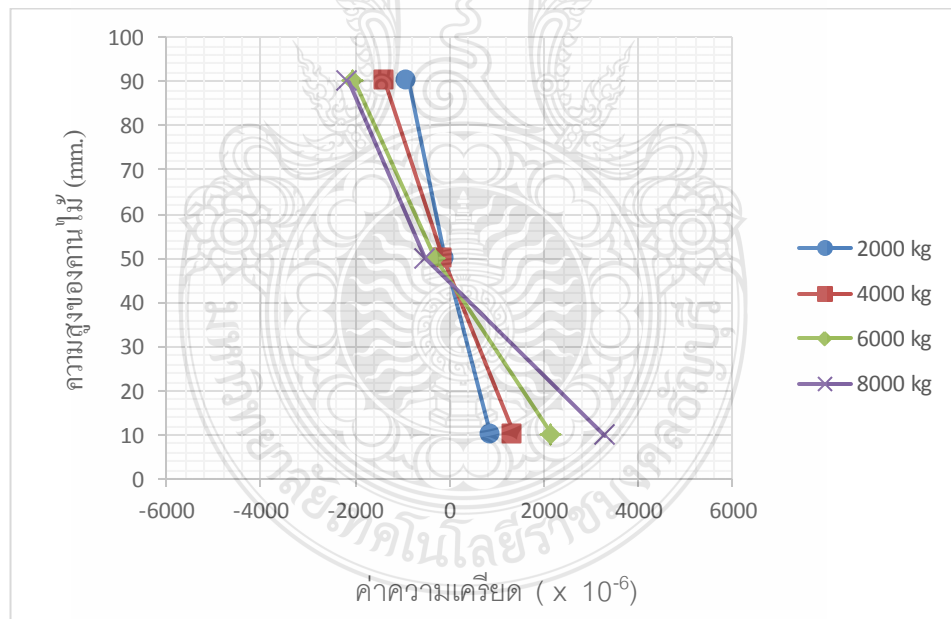
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับค่าความเครียดของคานไม้ ค่าความเครียดมีค่าเป็นลบ หมายถึงความสามารถในการรับแรงอัด ส่วนค่าความเครียดมีค่าเป็นบวก หมายถึงความสามารถในการรับแรงดึง จากกราฟเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 5 ตัวอย่างของคานไม้ จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มให้น้ำหนักกับคานไม้ โมเมนต์ดัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม เมื่อพิจารณาค่าความเครียดที่จุดตรงกลางของผิวด้านข้างของคานไม้ คานไม้ B3 และคานไม้ B9 มีค่าความเครียดเป็นบวก ซึ่งเมื่อเทียบกับคานไม้ B4, คานไม้ B12 และคานไม้ B14 จะมีค่าความเครียดเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าคานไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ทั้งอัดแรงและไม่อัดแรง คานไม้จะต้องรับแรงอัดเพิ่มขึ้นที่ผิวด้านบนของคานไม้ เพราะแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเสริมแรงดึงที่ผิวด้านล่างของคานไม้ให้มากขึ้น

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดคานไม้

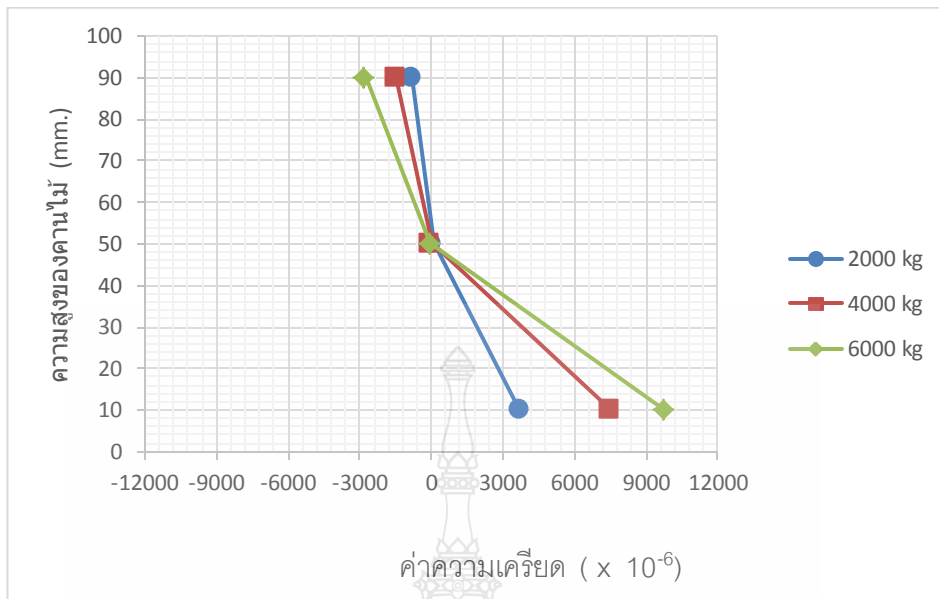
ความสูงของหน้าตัดด้านข้างคานไม้ โดยอ้างอิงจากผิวล่างขึ้นบน ซึ่งผิวล่างเริ่มที่ 0.00 ถึงผิวบน 100.00 มิลลิเมตร โดยมีตำแหน่ง Strain Gauge 01 ที่ระยะ 90.00 มิลลิเมตร, ตำแหน่ง Strain Gauge 02 ที่ระยะ 50.00 มิลลิเมตร และตำแหน่ง Strain Gauge 03 ที่ระยะ 10.00 มิลลิเมตร โดยเส้นกราฟเป็นค่าน้ำหนักต่างๆ ที่กระทำกับคานไม้



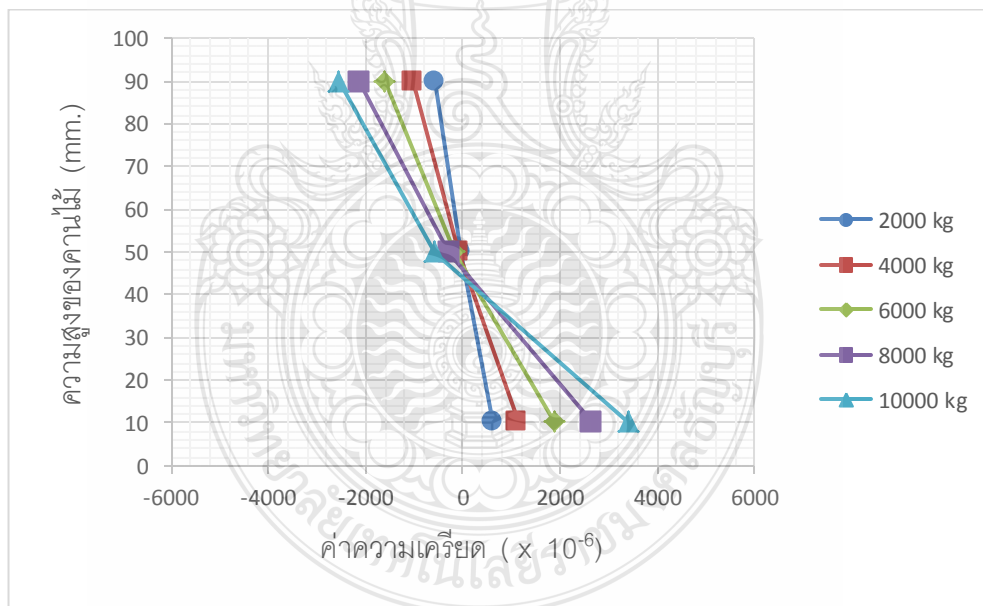
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง (B2)



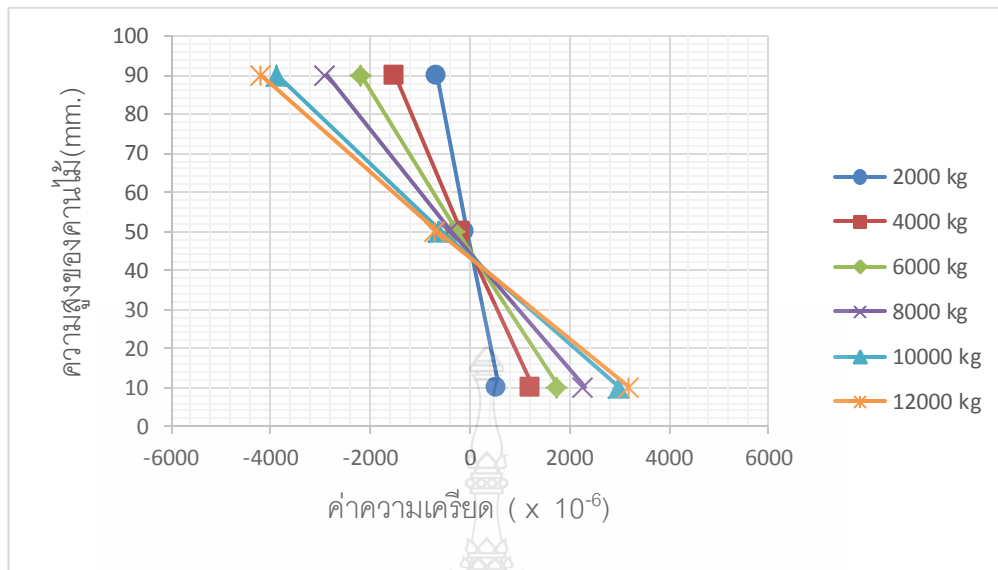
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B6)



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B8)

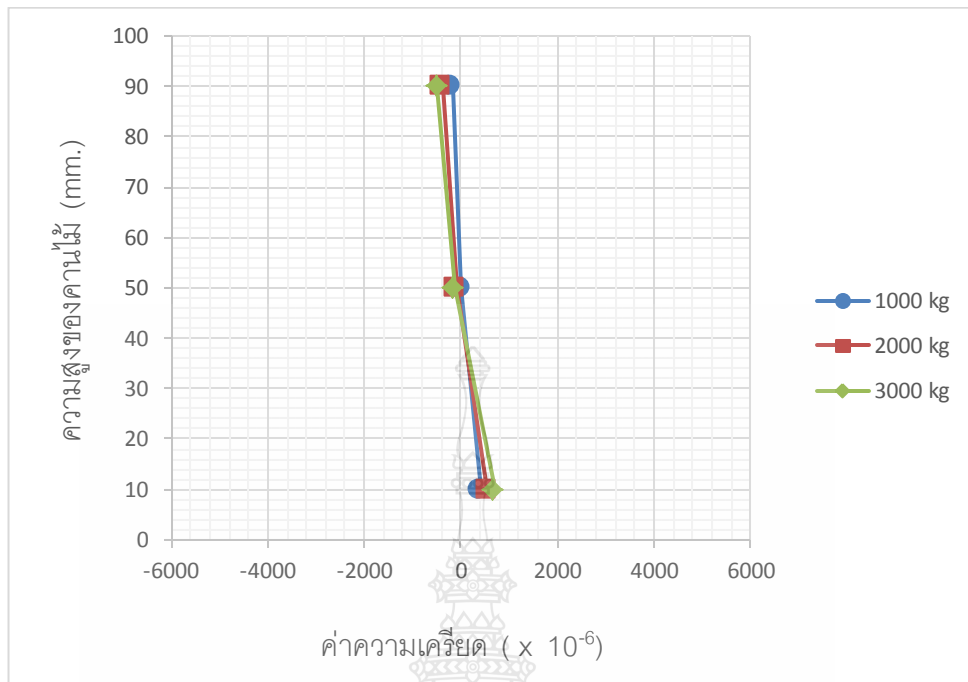


รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B11)

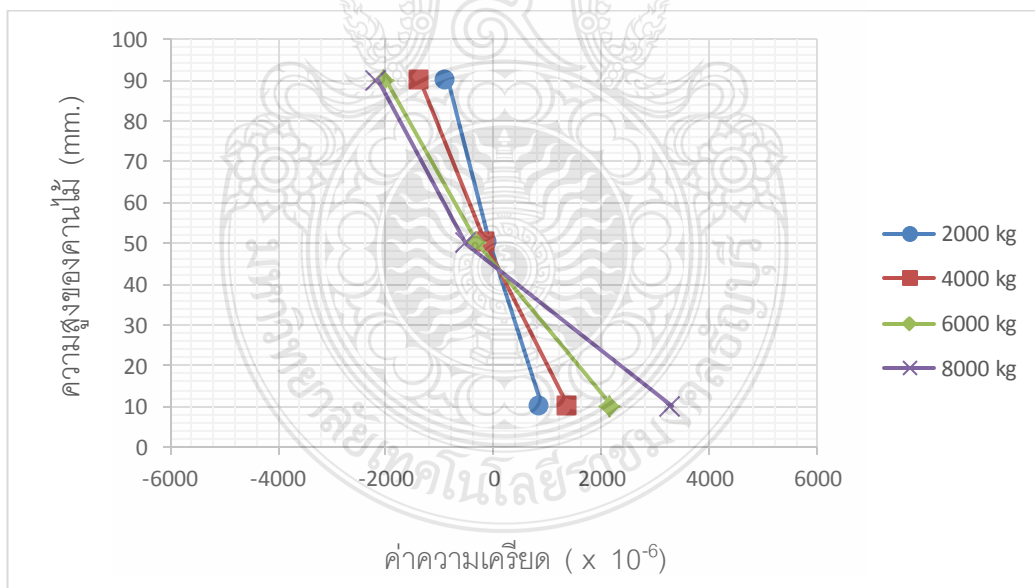


รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B13)

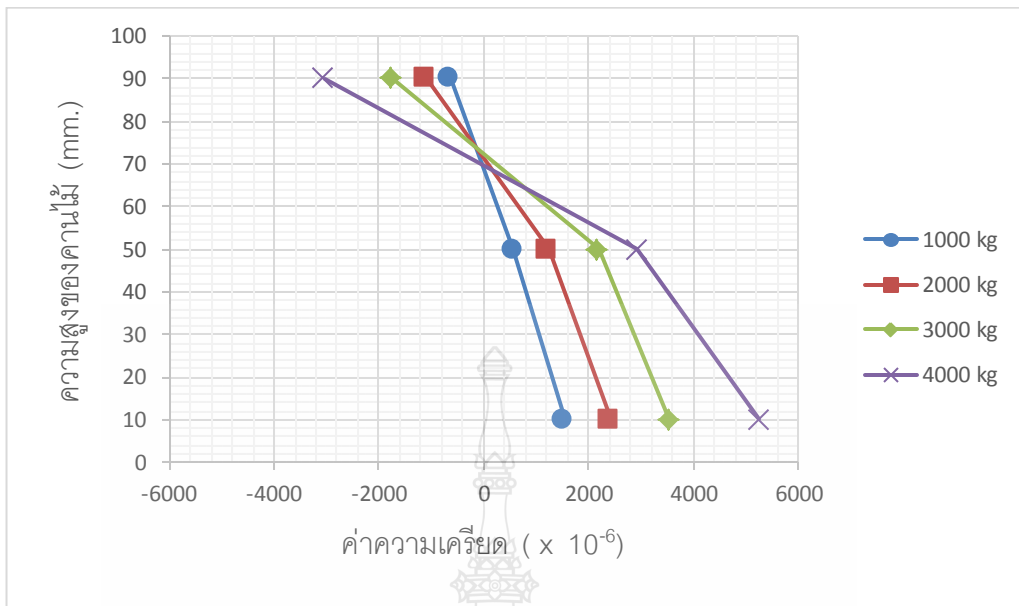
จากการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดของคานไม้จะเห็นว่าแกนสะเทินของคานไม้ B2 และ คานไม้ B8 จะอยู่ตำแหน่งที่ประมาณตรงกลางบนหน้าตัดของคานไม้ (ประมาณที่ตำแหน่ง 50.00 มิลลิเมตร) ส่วนแกนสะเทินของคานไม้ B6 ,คานไม้ B11 และคานไม้ B13 จะเลื่อนต่ำลงมาจากตำแหน่งตรงกลางบนหน้าตัดของคานไม้ (ประมาณที่ตำแหน่ง 45.00 มิลลิเมตร) ซึ่งทำให้มีพื้นที่รับแรงอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเสริมกำลังรับแรงดึง จึงทำให้คานไม้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น คานไม้ B13 ,คานไม้ B11 จากกราฟจะเห็นว่าพื้นที่รับแรงอัดมีพื้นที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B6 และมากกว่าคานไม้ B8 ,คานไม้ B2



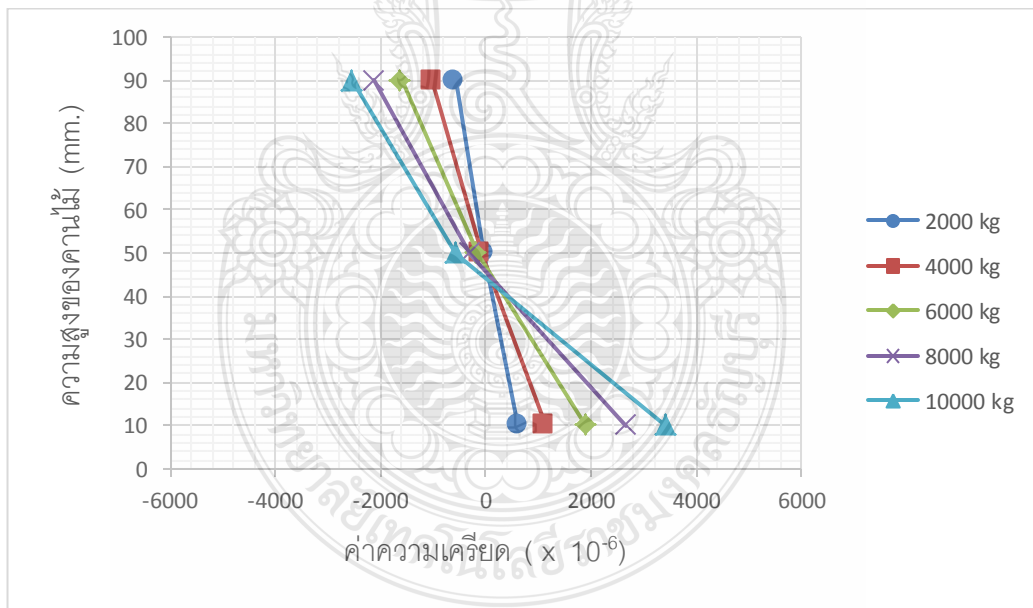
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B3)



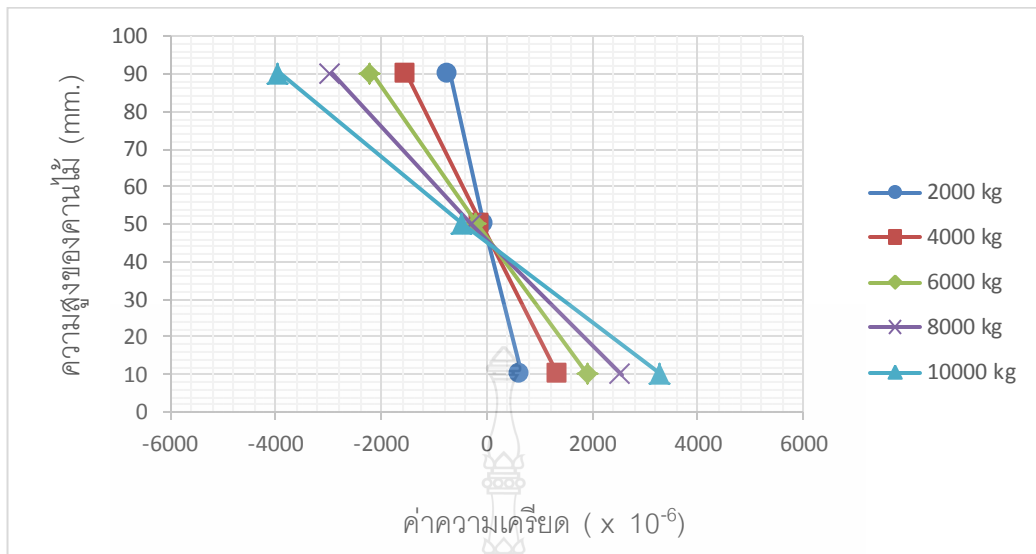
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B4)



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B9)



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B12)



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับค่าความเครียดของคานไม้ตัวอย่าง(B14)

จากการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดของคานไม้ จะเห็นว่าแกนสะเทินของคานไม้ B3 และคานไม้ B9 จะอยู่ตำแหน่งที่ประมาณ ตรงกลางบนหน้าตัดของคานไม้ (ประมาณที่ตำแหน่ง 50.00 มิลลิเมตร) ส่วนแกนสะเทินของคานไม้ B4 ,คานไม้ B12 และคานไม้ B14 จะเลื่อนต่ำลงมาจากตำแหน่งตรงกลางบนหน้าตัดของคานไม้ (ประมาณที่ตำแหน่ง 45.00 มิลลิเมตร) ซึ่งทำให้มีพื้นที่รับแรงอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเสริมกำลังรับแรงดึง จึงทำให้คานไม้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น คานไม้ B14 ,คานไม้ B12 จากกราฟจะเห็นว่าพื้นที่รับแรงอัดมีพื้นที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B4 และมากกว่าคานไม้ B9 ,คานไม้ B3

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาสมรรถนะในการรับแรงคัดของคานไม้ด้วยการเสริมแรงของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยกลุ่มละ 5 รูปแบบการทดสอบคือ คานไม้ที่ไม่มี การเสริมแรง, คานไม้ที่มีการเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์, คานไม้ที่มีการเสริมแรงด้วยแผ่น คาร์บอนไฟเบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตัน, คานไม้ที่มีการเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยให้ค่าอัดแรงที่ 14550 นิวตัน, คานไม้ที่มีการสูญเสียเนื้อไม้และเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟ เบอร์โดยให้ค่าอัดแรงที่ 5820 นิวตัน

5.1.1 กลุ่มที่ 1

1. จากการวิเคราะห์ที่โมเมนต์คัดสูงสุดจะพบว่าคานไม้ B13 จะรับโมเมนต์คัดสูงสุด ได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 62.67 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B11 จะรับโมเมนต์คัดสูงสุดได้ มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 48.54 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B6 จะรับโมเมนต์คัดสูงสุดได้ มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 12.69 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2 และคานไม้ B8 จะรับโมเมนต์คัดสูงสุดได้ เท่ากับ 689.71 kg.m

2. จากการวิเคราะห์ระยะ โกงตัวที่ L/180 เท่ากับระยะ 5 มิลลิเมตรนั้นจะพบว่าคาน ไม้ B13 จะรับโมเมนต์คัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 41.67 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B11 จะรับโมเมนต์คัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 25.00 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2, คานไม้ B6 จะรับ โมเมนต์คัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 14.58 เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B2 และคานไม้ B8 จะรับ โมเมนต์คัดได้เท่ากับ 380 kg.m

3. จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัด ของคานไม้จะเห็นว่าแกนสะเทินของคานไม้ B2 และคานไม้ B8 จะอยู่ตำแหน่งที่ประมาณตรงกลาง บนหน้าตัดของคานไม้ (ประมาณที่ตำแหน่ง 50.00 มิลลิเมตร) ส่วนแกนสะเทินของคานไม้ B6 ,คาน ไม้ B11 และคานไม้ B13 จะเลื่อนต่ำลงมาจากตำแหน่งตรงกลางบนหน้าตัดของคานไม้ (ประมาณที่ ตำแหน่ง 45.00 มิลลิเมตร) ซึ่งทำให้มีพื้นที่รับแรงอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเสริม กำลังรับแรงดึง จึงทำให้คานไม้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น และคานไม้ B13 ,คานไม้ B11 จะเห็นว่า มีพื้นที่รับแรงอัดมีพื้นที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ B6 และมากกว่าคานไม้ B8 ,คานไม้ B2

5.1.2 กลุ่มที่ 2

1. จากการวิเคราะห์ที่โหมเมนต์ตัดสูงสุดจะพบว่าคาน ไม้ B14 จะรับโหมเมนต์ตัดสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 118.86 เมื่อเปรียบเทียบกับคาน ไม้ B3, คาน ไม้ B12 จะรับโหมเมนต์ตัดสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 112.79 เมื่อเปรียบเทียบกับคาน ไม้ B3, คาน ไม้ B4 จะรับโหมเมนต์ตัดสูงสุดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 73.54 เมื่อเปรียบเทียบกับคาน ไม้ B3 และคาน ไม้ B9 จะรับโหมเมนต์ตัดสูงสุดได้เท่ากับ 521.56 kg.m

2. จากการวิเคราะห์ระยะ โกงตัวที่ L/180 เท่ากับระยะ 5 มิลลิเมตรนั้นจะพบว่าคาน ไม้ B14 จะรับโหมเมนต์ตัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 72.22 เมื่อเปรียบเทียบกับคาน ไม้ B3, คาน ไม้ B12 จะรับโหมเมนต์ตัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 57.89 เมื่อเปรียบเทียบกับคาน ไม้ B3, คาน ไม้ B4 จะรับโหมเมนต์ตัดได้มากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 44.44 เมื่อเปรียบเทียบกับคาน ไม้ B3 และคาน ไม้ B9 จะรับโหมเมนต์ตัดได้เท่ากับ 360 kg.m

3. จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดของคาน ไม้ จะเห็นว่าแกนสะเทินของคาน ไม้ B3 และคาน ไม้ B9 จะอยู่ตำแหน่งที่ประมาณ ตรงกลางบนหน้าตัดของคาน ไม้ (ประมาณที่ตำแหน่ง 50.00 มิลลิเมตร) ส่วนแกนสะเทินของคาน ไม้ B4, คาน ไม้ B12 และคาน ไม้ B14 จะเลื่อนต่ำลงมาจากตำแหน่งตรงกลางบนหน้าตัดของคาน ไม้ (ประมาณที่ตำแหน่ง 45.00 มิลลิเมตร) ซึ่งทำให้มีพื้นที่รับแรงอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเสริมกำลังรับแรงดึง จึงทำให้คาน ไม้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น และคาน ไม้ B14, คาน ไม้ B12 จะเห็นว่า มีพื้นที่รับแรงอัดมีพื้นที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคาน ไม้ B4 และมากกว่าคาน ไม้ B9, คาน ไม้ B3

ดังนั้นจากผลการทดสอบในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน คือ คาน ไม้ นั้นมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดได้ดีแต่การรับแรงดึง ไม่ดีซึ่งการเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ นั้นมาเสริมกำลังรับแรงดึงให้กับคาน ไม้ ทำให้ไม่มีความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกันระหว่างคาน ไม้ที่ไม่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์กับคาน ไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะเห็นว่าคาน ไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น ระยะเวลา โกงตัว น้อยลงกว่าคาน ไม้ที่ไม่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และเมื่อเทียบกันระหว่างคาน ไม้ที่ไม่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์กับคาน ไม้ที่เสริมแรงด้วยวิธีการอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะเห็นว่าคาน ไม้ที่เสริมแรงด้วยวิธีการอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น ระยะเวลา โกงตัว น้อยลงกว่า คาน ไม้ที่ไม่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และยังรับน้ำหนักได้ดีกว่า ระยะเวลา โกงตัว น้อยกว่า คาน ไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดสอบเกี่ยวกับคานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้เพิ่มเติมคือ เทียบกันระหว่างคานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้แบบไม่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ คานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้แบบเสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และคานไม้ที่สูญเสียเนื้อไม้แบบเสริมแรงด้วยวิธีการอัดแรงให้กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

2. การศึกษาในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบของการสูญเสียค่าแรงดึงหลังจากทำการตัดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรนำผลกระทบของการสูญเสียค่าแรงดึงมาพิจารณาด้วย



บรรณานุกรม

- [1] นายกฤษดา ตันทองคำ,(2007). การทดสอบและวิเคราะห์การเสริมสร้างกำลังคานเหล็กโดยการอัดแรงด้วยแผ่น Carbon Fiber Laminates (CFRP) แบบ Multidirectional Carbon Fiber Laminate (CFRP), มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] Maurice Brunner และ Marco Schnueriger,(2005). การเสริมความแข็งแรงของคานไม้ด้วยการติดแผ่น CFRP แบบอัดแรงโดยใช้อุปกรณ์ยึดแบบ Gradient,University of Applied Science Berm.
- [3] Jerzy Jasienkoและ Tomasz Nowak,(2007). การเสริมสร้างความแข็งแรงในการ โกงงของไม้โบราณ (Strengthening of Bent Timber Beams in Historical Object), Wroclaw University of Technology.
- [4] Jobin Jacob, Olga Lucia และ GarzonBarragan,(2007). Flexural Strengthening of Glued Laminated Timber Beams with Steel and Carbon Fiber Reinforced Polymers, Chalmers University of Technology.
- [5] จ้านง พงษ์วัน และจักรพล นาจวง กับ สุชาติ ลีมกัตัญญ และ กิตติศักดิ์ ชันติยวิชัย,(2011) .จุดเหมาะสมของการเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต”, งานวิจัยในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี กับ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [6] James F. Brady และ Annette M. Harte,(2007). “Prestressed FRP Flexural Strengthening of Softwood Glue – Laminated Timber Beams”
- [7] รศ.ดร.สุชาติ ลีมกัตัญญ และ ผศ.ดร.วรพจน์ ประชาเสรี,(2012). “การประเมินประสิทธิภาพของไม้พาราประสานซึ่งเสริมแรงด้วยแผ่นเสริมแรงไฟเบอร์ : Performance Evaluation of FRP Reinforced Para Wood Glued Laminated Beams”, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,
- [8] A. Yusof and A.L. Saleh,(2009). “Flexural Strengthening of Timber Beams Using Glass Fiber Reinforced Polymer”, UniversitiTeknologi Malaysia (UTM)
- [9] กองทัพเรือ. 2556. “การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต,”[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.navy.mi.th/>, [สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2556]

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ. 2556. “การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.tatc.ac.th/>, [สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2556]
- [11] กรมโยธาธิการและผังเมือง,(2011). มาตรฐานการทดสอบไม้, สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง,
- [12] “การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://google.com> [สืบค้นเมื่อ
วันที่ 23 มีนาคม 2557]
- [13] บริษัท นนทรี จำกัด,(1973). วัสดุคาร์บอนไฟเบอร์.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : Nontrico.com



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบกำลังต้านแทนแรงอัด แรงดัด แรงดึงของไม้ และคานไม้



ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้

ลำดับที่	Ex.	ขนาด (mm.)	Load (kN)				
			Max.	Average	ค่าขยับตัว Average	Load (kN) มากไปหาน้อย	
	Ex. 5/1	50x50x150	55.68		0.79		
1	Ex. 5/2	"	13.81	35.63	1.00	0.85	35.63
	Ex. 5/3	"	37.39		0.77		
	Ex. 8/1	"	12.65		0.9		
2	Ex. 8/2	"	11.59	34.27	0.92	0.92	34.27
	Ex. 8/3	"	10.03		0.93		
	Ex. 21/1	"	24.18		1.05		
3	Ex. 21/2	"	37.54	33.01	1.02	1.03	33.01
	Ex. 21/3	"	37.54		1.01		
	Ex. 23/1	"	17.74		0.89		
4	Ex. 23/2	"	34.87	29.31	0.93	0.91	29.31
	Ex. 23/3	"	35.32		0.91		
	Ex. 20/1	"	22.07		0.73		
5	Ex. 20/2	"	20.05	24.84	0.89	0.86	24.84
	Ex. 20/3	"	32.40		0.95		
	Ex. 24/1	"	32.6		0.96		
6	Ex. 24/2	"	13.2	22.51	1.12	1.07	22.51
	Ex. 24/3	"	21.72		1.13		
	Ex. 4/1	"	25.6		0.87		
7	Ex. 4/2	"	21.26	22.46	0.83	0.88	22.46
	Ex. 4/3	"	20.51		0.93		
	Ex. 6/1	"	21.62		0.66		
8	Ex. 6/2	"	23.58	21.88	0.70	0.68	21.88
	Ex. 6/3	"	20.43		0.68		

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้ (ต่อ)

ลำดับที่	Ex.	ขนาด (mm.)	Load (kN)				
			Max.	Average	ค่ายุบตัว	Average	Load (kN) มากไปหาน้อย
	Ex. 2/1	50x50x150	26.1		0.88		
9	Ex. 2/2	"	18.19	21.23	1.09	1.06	21.23
	Ex. 2/3	"	19.4		1.20		
	Ex. 22/1	"	15.32	19.45	1.00	1.05	19.45
	Ex. 22/2	"	23.58		1.09		
	Ex. 7/1	"	20.07		0.87		
11	Ex. 7/2	"	27.11	17.57	1.01	0.93	17.57
	Ex. 7/3	"	5.54		0.92		
	Ex. 10/1	"	14.01		0.89		
12	Ex. 10/2	"	17.74	15.87	0.94	0.97	15.87
	Ex. 10/3	"	15.87		1.09		
	Ex. 9/1	"	14.31		0.90		
13	Ex. 9/2	"	18.56	16.30	0.98	0.99	16.30
	Ex. 9/3	"	16.03		1.09		
	Ex. 25/1	"	17.33		1.10		
14	Ex. 25/2	"	12.60	14.28	1.09	1.09	14.28
	Ex. 25/3	"	12.90		1.07		
	Ex. 14/1	"	13.86		0.55		
15	Ex. 14/2	"	13.25	14.18	0.95	0.81	14.18
	Ex. 14/3	"	15.42		0.92		
	Ex. 12/1	"	9.72		1.13		
16	Ex. 12/2	"	13.40	13.27	1.12	1.11	13.27
	Ex. 12/3	"	16.68		1.08		

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้ (ต่อ)

ลำดับที่	Ex.	ขนาด (mm.)	Load (kN)				
			Max.	Average	ค่ายุบตัว	Average	
						Load (kN)	มากไปหาน้อย
	Ex. 16/1	50x50x150	9.42		1.10		
17	Ex. 16/2	"	16.38	12.88	1.10	1.08	12.88
	Ex. 16/3	"	12.85		1.05		
	Ex. 17/1	"	12.04		0.69		
18	Ex. 17/2	"	14.76	12.7	0.49	0.82	12.7
	Ex. 17/3	"	11.29		1.29		



ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ขนาด (mm.)	Load (kN)				Load (kN) มากไปหา น้อย
			ที่ทดสอบ	Max.	Average	ค่าขยับตัว Average	
	Ex.5/1	50x50x200	49.98		0.87		
1	Ex.5/2	"	66.46	57.05	0.98	0.90	57.05
	Ex.5/3	"	54.72		0.85		
	Ex.4/1	"	53.69		0.90		
2	Ex.4/2	"	53.66	53.64	0.90	0.94	53.64
	Ex.4/3	"	61.37		1.02		
	Ex.3/1	"	47.41		0.93		
3	Ex.3/2	"	42.93	49.34	0.94	0.92	49.34
	Ex.3/3	"	57.69		0.89		
	Ex.2/1	"	42.37		1.02		
4	Ex.2/2	"	52.85	48.40	0.95	0.97	48.40
	Ex.2/3	"	49.98		0.94		
	Ex.23/1	"	66.36		0.99		
5	Ex.23/2	"	37.49	48.00	1.16	1.09	48.00
	Ex.23/3	"	40.16		1.13		
	Ex.25/1	"	41.82		0.97		
6	Ex.25/2	"	24.24	44.16	1.02	0.99	44.16
	Ex.25/3	"	66.41		0.98		
	Ex.15/1	"	60.97		0.97		
7	Ex.15/2	"	34.97	44.07	1.15	1.07	44.07
	Ex.15/3	"	36.28		1.09		
	Ex.12/1	"	43.33		1.02		
8	Ex.12/2	"	51.44	42.31	1.06	1.04	42.31
	Ex.12/3	"	32.15		1.05		

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้ (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวอย่าง ที่ทดสอบ	ขนาด (mm.)	Load (kN)				
			Max.	Average	ค่ายุบตัว Average	Load (kN) มากไปหาน้อย	
	Ex.20/1	50x50x200	37.28		1.07		
9	Ex.20/2	"	48.82	41.72	1.05	1.06	41.72
	Ex.20/3	"	39.05		1.06		
	Ex.24/1	"	40.81		1.02		
10	Ex.24/2	"	34.72	34.26	1.03	1.02	34.26
	Ex.24/3	"	27.26		1.01		
	Ex.11/1	"	24.64		1.01		
11	Ex.11/2	"	42.73	33.47	1.03	1.03	33.47
	Ex.11/3	"	33.05		1.06		
	Ex.8/1	"	37.34		1.05		
12	Ex.8/2	"	30.94	32.33	1.03	1.01	32.33
	Ex.8/3	"	28.72		0.94		
	Ex.21/1	"	42.37		1.04		
13	Ex.21/2	"	24.44	32.13	1.05	1.06	32.13
	Ex.21/3	"	29.58		1.10		
	Ex.7/1	"	39.8		0.97		
14	Ex.7/2	"	33.51	31.76	1.03	1.02	31.76
	Ex.7/3	"	21.97		1.06		
	Ex.18/1	"	37.69		1.05		
15	Ex.18/2	"	7.05	31.05	1.03		31.05
	Ex.18/3	"	48.42		0.98	1.02	
	Ex.13/1	"	29.22		1.07		
16	Ex.13/2	"	40.86	30.75	1.10	1.08	30.75
	Ex.13/3	"	22.17		1.08		

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้ (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ขนาด (mm.)	Load (kN)				
			Max.	Average	ค่าขยับตัว	Average	
	ที่ทดสอบ					มากไปหาน้อย	
	Ex.16/1	50x50x200	35.12		1.11		
17	Ex.16/2	"	22.72	28.35	1.72	1.38	28.35
	Ex.16/3	"	27.21		1.31		
	Ex.6/1	"	30.28		0.84		
18	Ex.6/2	"	22.93	26.32	0.92	0.91	26.32
	Ex.6/3	"	25.75		0.96		



ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงคัดของไม้

ลำดับที่	ตัวอย่าง ที่ทดสอบ	ขนาด (mm.)	Load (kN)				
			Max.	Average	ค่าขุบตัว	Average มากไปหาน้อย	
	Ex.2/1	50x50x760	12.60		9.72		
1	Ex.2/2	"	9.77	12.26	1.84	9.17	12.26
	Ex.2/3	"	14.41		15.94		
	Ex.4/1	"	10.08		21.28		
2	Ex.4/2	"	7.76	8.11	22.43	20.94	8.11
	Ex.4/3	"	6.50		19.12		
	Ex.1/1	"	3.22		15.76		
3	Ex.1/2	"	8.13	7.19	19.09	15.90	7.19
	Ex.1/3	"	10.22		12.84		
	Ex.8/1	"	10.03		17.33		
4	Ex.8/2	"	5.29	6.97	11.61	13.54	6.97
	Ex.8/3	"	5.59		11.68		
	Ex.5/1	"	7.51		15.95		
5	Ex.5/2	"	7.21	6.96	9.77	11.97	6.96
	Ex.5/3	"	6.15		10.20		
	Ex.9/1	"	6.35		15.38		
6	Ex.9/2	"	6.85	6.72	16.41	15.74	6.72
	Ex.9/3	"	6.95		15.42		
	Ex.10/1	"	5.95		9.62		
7	Ex.10/2	"	7.21	6.57	12.52	10.90	6.57
	Ex.10/3	"	6.55		10.56		
	Ex.3/1	"	7.81		20.08		
8	Ex.3/2	"	5.14	5.97	16.77	17.00	5.97
	Ex.3/3	"	4.99		14.13		

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงคัดของไม้ (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ขนาด	Load (kN)			Load (kN)	
			ที่ทดสอบ	Max.	Average	ค่าขุดตัว	Average
	Ex.6/1	50x50x760	5.64		17.60		
9	Ex.6/2	"	6.55	5.57	14.69	13.92	5.57
	Ex.6/3	"	4.53		9.48		
	Ex.12/1	"	4.53		10.32		
10	Ex.12/1	"	5.24	5.57	8.40	10.09	5.57
	Ex.12/1	"	6.95		11.55		
	Ex.13/1	"	4.33		10.87		
11	Ex.13/2	"	4.38	4.87	8.03	9.12	4.87
	Ex.13/3	"	5.90		8.46		
	Ex.7/1	"	4.84		14.45		
12	Ex.7/2	"	6.13	5.95	16.59	16.19	5.95
	Ex.7/3	"	6.89		17.54		
	Ex.11/1	"	3.88		8.28		
13	Ex.11/2	"	3.12	4.30	8.58	8.89	4.30
	Ex.11/3	"	5.90		9.81		

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B1

Load (kg)	Deflection				Strain Gauges					
	(mm)									
	(Ch.09)	(Ch.08)	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.05	Ch.06	Ch.07	Ch.08	Ch.09
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
590.97	-0.54	-89.85	-4.83	104.33	227.99	230.89	114.96	7.72	-117.86	
1657.68	-1.62	-284.03	-17.38	338.13	706.21	705.25	339.10	3.86	-352.62	
2591.00	-2.62	-432.81	-23.18	555.50	1111.01	1100.38	517.82	-16.42	-556.47	
3824.32	-3.99	-627.00	-28.98	846.30	1640.43	1614.35	742.93	-56.99	-821.18	
4724.31	-5.02	-760.32	-33.81	1054.98	2018.18	1975.67	894.60	-96.61	-1009.57	
5557.64	-6.04	-891.71	-43.47	1259.79	2393.99	2331.19	1039.52	-146.84	-1197.96	
6124.30	-6.78	-982.52	-52.16	1405.67	2661.60	2579.48	1137.10	-189.35	-1331.28	
6924.29	-7.86	-924.56	-69.55	1610.48	3036.45	2928.24	1269.45	-259.88	-1517.74	
7590.95	-8.91	-1000.88	-97.57	1793.08	3378.45	3245.13	1394.08	-320.74	-1660.72	
8490.94	-10.53	-1057.88	-139.11	2032.67	3806.43	3635.43	1546.72	-397.06	-1764.09	
8724.27	-11.43	-1035.66	-149.74	2148.60	3967.77	3774.55	1544.79	-481.11	-1787.28	



ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B2

Load (kg)	Deflection (mm)	Strain Gauges							
		LVDT							
(Ch.09)	(Ch.08)	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.05	Ch.06	Ch.07	Ch.08	Ch.09
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
624.35	-0.88	-110.13	42.50	199.98	345.86	306.25	135.25	-170.03	-15.45
924.35	-1.22	-134.28	60.86	266.64	461.79	411.55	184.52	-231.86	-20.28
1491.01	-2.04	-237.66	104.33	460.82	791.23	693.65	308.18	-401.89	-38.64
2191.01	-2.98	-357.45	150.71	682.06	1171.87	1021.16	454.06	-598.98	-56.03
3124.33	-4.04	-530.38	195.15	947.74	1651.06	1459.77	655.01	-823.11	-71.49
3757.66	-4.73	-647.28	223.16	1119.71	1965.04	1750.57	788.33	-968.99	-82.11
4424.32	-5.46	-771.91	250.21	1302.30	2299.31	2056.82	928.42	-1125.5	-92.74
5057.64	-6.22	-901.37	278.23	1488.76	2641.31	2368.87	1072.37	-1286.8	-103.37
6057.63	-7.40	-1102.3	318.81	1773.76	3167.84	2843.23	1295.54	-1534.2	-120.76
6957.62	-8.54	-1290.7	358.42	2045.23	3650.89	3288.6	1501.31	-1767	-140.08
7257.62	-8.93	-1353.50	371.94	2136.04	3819.95	3432.55	1568.94	-1844.3	-147.81



ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B3

Load (kg)	Deflection				Strain Gauges					
	(mm)		LVDT							
	(Ch.09)	(Ch.08)	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.05	Ch.06	Ch.07	Ch.08	Ch.09
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
224.35	-0.51	-42.51	5.80	64.73	132.36	138.15	60.86	8.69	-50.24	
357.69	-0.77	-65.69	6.76	96.61	199.98	203.85	92.75	13.52	-72.46	
624.35	-1.35	-112.07	7.73	169.07	354.56	367.12	165.2	26.08	-126.56	
991.02	-1.99	-171.00	2.90	398.03	539.08	598.98	255.05	45.40	-191.29	
1591.01	-3.08	-274.37	-6.76	422.08	855.96	1006.68	411.56	79.22	-299.49	
2191.01	-4.21	-378.71	-100.29	543.91	1325.71	1421.13	569.03	113.03	-410.59	
2757.67	-5.40	-477.25	-134.78	688.83	1492.63	1837.52	726.51	140.08	-526.52	
3857.66	-8.38	-521.07	200.95	972.14	1829.68	3008.44	905.11	159.40	-881.08	
4424.32	-10.70	-587.39	292.73	1250.09	2253.66	3845.08	1100.39	83.08	-1100.78	
4624.31	-11.70	-608.64	329.44	1578.00	2317.29	4145.54	1472.34	45.41	-1274.29	
4724.31	-12.26	-591.25	455.03	1854.67	2550.12	4309.77	1514.85	11.59	-1342.88	



ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B4

Load (kg)	Deflection (mm)	Strain Gauges						
(Ch.09)	LVDT							
	(Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04	Ch.05	Ch.06
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
531.93	-0.86	-196.12	-86.95	4.83	100.47	207.71	216.41	225.10
798.60	-1.24	-299.49	-129.46	12.56	156.51	316.89	331.37	342.00
1098.60	-1.62	-415.42	-176.8	23.19	222.20	441.51	459.86	469.52
1398.59	-2.04	-531.36	-226.07	32.85	285.97	562.27	587.39	598.98
1831.92	-2.53	-677.24	-285.97	46.37	370.02	723.61	760.32	773.85
2465.25	-3.15	-843.41	-502.52	66.66	475.32	928.42	980.59	1100.88
3798.57	-4.42	-1210.5	-506.24	114.00	711.05	1375.73	1461.71	1487.79
5565.22	-6.15	-1756.4	-725.54	194.19	1057.88	2015.29	2144.74	2162.13
7498.53	-8.16	-2408.5	-991.22	285.00	1467.51	2764.98	2937.91	2928.25
9498.51	-10.65	-3211.3	-1319.7	375.81	1938.96	3624.81	3850.88	3790.01
11231.83	-13.27	-4119.5	-1580.4	416.39	2369.84	4379.33	4729.06	4567.72

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B5

Load (kg)	Deflection (mm)	Strain Gauges						
(Ch.09)	LVDT							Ch.06
	(Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04	Ch.05	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
198.61	-0.19	-51.20	-27.05	1.93	32.85	76.32	77.29	76.32
365.27	-0.32	-89.85	-46.37	4.83	57.97	136.22	135.25	131.39
565.27	-0.51	-149.75	-74.39	10.63	98.54	228.00	223.17	215.44
865.27	-0.75	-229.93	-111.10	18.36	153.61	351.66	341.03	325.58
1231.93	-1.07	-334.27	-161.34	28.02	225.10	514.93	494.64	470.49
1631.92	-1.40	-447.34	-214.47	37.68	300.46	686.90	655.98	624.10
2431.92	-2.02	-615.41	-299.49	51.20	420.25	968.03	933.25	894.61
4065.23	-3.38	-983.49	-484.98	79.22	677.24	1543.83	1510.01	1451.08
6231.88	-5.08	-1521.6	-748.73	128.49	1051.11	2322.50	2311.88	2196.91
8531.86	-6.93	-2118.7	-1040.5	199.02	1497.46	3159.15	3207.45	3016.16
10498.50	-8.70	-2647.1	-1299.40	262.78	1900.32	3596.79	4016.08	3745.57

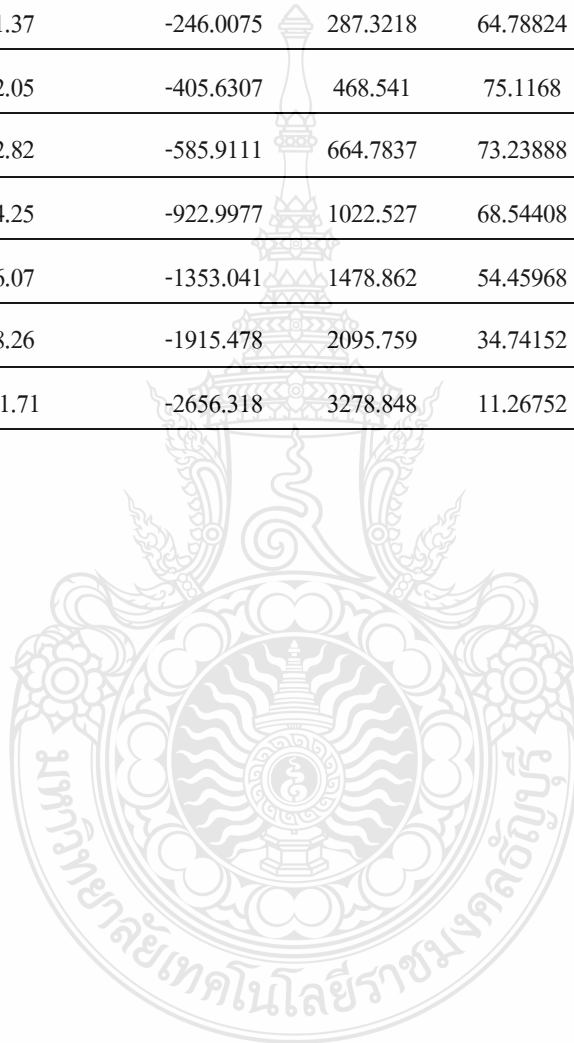
ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B6

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges						
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04	Ch.05	Ch.06
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
365.27	-0.51	-129.46	-71.49	-8.69	63.72	133.32	146.85	148.78	
631.93	-0.87	-242.49	-135.25	-19.32	117.86	247.32	276.30	276.30	
1631.92	-2.06	-603.81	-340.07	-52.17	290.80	613.47	690.76	679.17	
2398.58	-2.89	-865.63	-492.71	-82.12	412.52	874.32	986.39	962.24	
3131.91	-3.72	-1115.9	-639.56	-111.10	529.42	1125.51	1272.35	1228.88	
3831.90	-4.56	-1355.4	-780.61	-140.09	647.29	1379.95	1559.29	1492.61	
4831.89	-5.81	-1674.3	-982.52	-192.25	812.49	1739.95	1966.01	1865.54	
5931.88	-7.52	-2015.3	-1232.7	-298.53	981.56	2175.66	2464.52	2321.54	
6931.87	-9.7	-2205.9	-1495.5	-506.24	1083.00	2607.50	2976.55	2794.93	
7765.20	-14.06	-2294.5	-1704.20	-871.42	3090.55	3090.55	3529.16	3224.84	
8198.53	-17.64	-2153.4	-1698.40	-1046.3	3293.44	3293.44	3860.54	3569.74	



ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B7

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges				
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04
0.00		0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
305.81		0.63	-90.14016	107.0414	30.98568	621.5916	285.4438
713.56		1.37	-246.0075	287.3218	64.78824	1403.745	680.746
1087.33		2.05	-405.6307	468.541	75.1168	2214.068	1076.048
1495.07		2.82	-585.9111	664.7837	73.23888	3089.178	1520.176
2344.55		4.25	-922.9977	1022.527	68.54408	4085.411	2308.903
3363.91		6.07	-1353.041	1478.862	54.45968	6643.142	3280.726
4689.09		8.26	-1915.478	2095.759	34.74152	7093.828	4542.688
5608.57		11.71	-2656.318	3278.848	11.26752	8585.851	6108.874



ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B8

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges				
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04
0.00		0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
849.47		1.46	-251.6413	526.7566	114.5531	1062.903	1055.391
1291.20		2.27	-413.1424	999.9924	61.97136	2018.764	1810.315
1766.90		3.07	-578.3994	1422.524	70.422	2830.025	2538.009
2344.55		3.95	-771.8251	1910.784	73.23888	3724.854	3384.012
2956.17		4.90	-996.2366	2443.174	66.66616	4746.443	4332.361
3601.77		5.99	-1251.634	3023.451	53.52072	6198.075	5584.934
4247.37		7.57	-1475.106	3276.97	7.51168	8567.071	7542.666
4858.99		9.40	-1805.62	4446.915	-12.20648	8961.435	8759.558
5300.71		11.77	-2226.274	5610.286	-30.98568	9708.847	9100.4
5266.73		15.16	-2580.262	11213.06	-34.74152	9822.461	9710.725
5517.69		19.50	-2736.129	18630.84	-13.14544	11903.2	10890.06



ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B9

Load (kg)	Deflection (mm)	Strain Gauges						
		(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04
33.98	0.06			-15.02336	12.20648	20.65712	52.58176	39.43632
169.89	0.37			-48.82592	41.31424	66.66616	185.9141	150.2336
441.73	0.90			-175.5855	153.9894	223.4725	637.5538	493.893
679.58	1.36			-314.5516	267.6036	396.2411	1087.316	815.9562
951.41	1.81			-462.9073	407.5086	553.0474	1589.659	1158.677
1223.24	2.30			-639.4318	569.0098	804.6887	2189.655	1525.81
1529.05	2.92			-828.1627	795.2991	941.7769	2930.494	1916.417
2004.76	3.79			-1091.072	1230.038	720.1823	3985.885	2409.371
2480.46	4.96			-1427.219	1658.203	420.6541	5014.046	2938.006
2990.15	6.46			-1740.832	2184.021	76.99472	5162.402	3527.673
3126.06	8.80			-2195.289	23994.18	-15.02336	7478.816	4380.249
3737.68	11.61			-2471.343		-8.45064	16004.57	5246.909
4172.45	15.48			-3043.169		-15.02336	22260.86	6461.923

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B10

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges				
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04
101.94		0.015	-11.26752	1.87792	15.02336	22.53504	21.59608
305.81		0.515	-98.59081	12.20648	87.32328	109.8583	92.95704
645.60		1.02	-215.0219	23.474	184.0362	230.9842	204.6933
1223.24		1.4	-454.4566	35.68048	354.9269	442.2502	397.1801
1902.82		1.755	-753.046	43.19216	553.0474	686.3798	623.4694
2684.34		2.21	-1105.156	46.948	778.3978	964.312	884.5003
3567.79		2.8	-1511.726	45.07008	1028.161	1274.169	1178.395
4383.28		3.38	-1892.943	37.5584	1250.695	1549.284	1444.12
5232.76		3.98	-2289.185	22.53504	1479.801	1838.484	1724.87
6320.08		4.785	-2891.997	-40.37528	1767.123	2215.007	2098.576
7271.49		5.665	-3467.579	-220.65184	2027.215	2552.093	2443.174
8019.03		6.59	-4415.929	-516.8998	2248.809	2793.406	2840.354
9276.25		7.87	-4706.989	-792.4822	2312.658	3129.554	3335.186
10159.70		8.865	-5013.23	-219.8522	2495.756	3393.402	3661.005
11029.20		9.965		-1102.339	2644.111	3626.264	3999.97

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B11

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges				
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04
237.85		0.24	-1.87792	0.93896	23.474	41.31424	45.07008
747.54		0.705	-169.0128	-5.63376	195.3037	252.5802	219.7166
1189.26		1.155	-300.4672	-14.0844	333.3308	428.1658	366.1944
1664.97		1.695	-438.4943	-23.474	484.5034	621.5916	527.6956
2140.67		2.2	-569.9487	-32.8636	628.1642	806.5667	681.685
2684.34		2.76	-710.7927	-45.07008	785.9095	1007.504	847.8809
3261.98		3.37	-862.9042	-58.21552	954.9224	1227.221	1028.161
3873.60		4.04	-1015.955	-75.1168	1138.958	1465.717	1224.404
4587.16		4.905	-1204.686	-96.71288	1378.393	1778.39	1468.533
5334.69		5.83	-1398.111	-120.1869	1631.912	2107.965	1721.114
6116.21		6.895	-1599.049	-152.1115	1907.028	2470.404	1988.717
7271.49		8.595	-1902.333	-218.7777	2324.865	3041.292	2399.982
8120.96		10.1	-2117.355	-281.688	2666.646	3522.039	2728.618
8766.56		11.53	-2288.246	-357.7438	2954.907	3952.083	3008.428
8936.46		14.215	-2399.043	-460.0904	3012.184	4158.654	3056.315
9780.99		16.615	-2530.497	-559.6202	3429.082	4768.978	3430.96

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B12

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges				
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04
237.85		0.48	-49.76488	-5.63376	54.45968	107.0414	92.95704
543.66		1.045	-168.0738	-21.59608	149.2946	288.2607	241.3127
815.49		1.575	-288.2607	-39.43632	251.6413	473.2358	402.8138
1121.30		2.165	-431.9216	-60.09344	364.3165	681.685	589.6669
1529.05		2.935	-616.8967	-85.44536	514.5501	952.1055	839.4302
2072.71		3.78	-827.2238	-117.37	684.5018	1263.84	1123.935
2616.38		4.745	-1069.475	-154.9284	873.2328	1603.744	1450.693
3228.00		5.815	-1332.384	-198.1206	1080.743	1978.389	1812.193
3975.54		7.11	-1652.57	-256.3361	1328.628	2432.845	2252.565
4757.05		8.535	-1993.412	-323.9412	1594.354	2918.288	2733.313
5470.61		9.825	-2286.368	-387.7905	1821.582	3343.637	3161.478
6150.19		11.3	-2584.957	-470.419	2054.445	3777.436	3618.752
7129.38		12.82	-2864.767	-564.3149	2263.833	4183.067	4055.368

ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B13

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges			
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03
271.83	-0.28	-5.63376	0.00	25.35192	45.07008	58.21552
883.45	-0.955	-238.4958	-21.59608	227.2283	307.0399	331.4529
1427.12	-1.555	-434.7385	-42.2532	392.4853	525.8176	564.3149
2072.71	-2.225	-658.211	-66.66616	581.2162	779.3368	832.8575
2786.27	-2.935	-909.8522	-95.77392	789.6653	1057.269	1129.569
3533.81	-3.655	-1176.517	-129.5765	1004.687	1345.53	1440.365
4451.24	-4.5	-1492.007	-171.8297	1256.328	1683.555	1808.437
5402.65	-5.38	-1824.399	-218.7777	1516.42	2034.726	2191.533
6354.06	-6.28	-2168.059	-272.2984	1780.268	2389.653	2586.835
7339.45	-7.175	-2517.352	-332.3918	2040.36	2740.824	2981.198
8324.84	-8.09	-2876.973	-398.119	2300.452	3095.751	3387.768
9310.23	-9.035	-3237.534	-466.6631	2558.666	3449.739	3794.337
10125.72	-9.855	-3546.452	-527.6956	2777.444	3750.206	4141.752
10907.24	-10.695	-3861.943	-593.4227	2995.282	4050.674	4487.29
12405.77	-11.54	-4190.579	-667.6006	3212.182	4352.08	4839.4

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B14

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges				
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03	Ch.04
33.98		0.04	-3.75584	-0.93896	2.81688	7.51168	8.45064
339.79		0.49	-82.62848	-2.81688	90.14016	129.5765	123.9427
849.47		1.105	-264.7867	-9.3896	262.9088	363.3775	339.9035
1427.12		1.75	-477.9306	-19.71816	457.2735	625.3474	584.9721
2004.76		2.445	-707.9758	-35.68048	657.272	900.4626	846.942
2684.34		3.255	-968.0677	-56.3376	882.6224	1207.503	1140.836
3465.85		4.155	-1254.451	-78.87264	1130.508	1547.406	1467.594
4213.39		4.97	-1517.359	-103.2856	1354.919	1856.324	1769.001
4926.94		5.855	-1798.108	-130.5154	1593.415	2182.143	2089.186
5980.29		7.08	-2189.655	-170.8907	1927.685	2637.539	2540.826
6965.68		8.28	-2569.934	-215.0219	2254.443	3077.911	2984.954
7883.11		9.48	-2942.701	-265.7257	2556.788	3492.931	3414.998
9174.31		11.24	-3486.359	-353.9879	2977.442	4090.11	4214.992
10339.74		12.68	-3920.158	-432.8606	3300.444	4554.895	4752.077

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบน้ำหนักของคานไม้ B15

Load (kg)	Deflection (mm)		Strain Gauges			
	(Ch.09)	LVDT (Ch.08)	Ch.00	Ch.01	Ch.02	Ch.03
33.98	-0.115	-7.51168	-3.75584	12.20648	16.90128	26.29088
169.89	-0.495	-31.92464	-15.96232	55.39864	80.75056	135.2102
339.79	-1.09	-78.87264	-36.61944	128.6375	181.2193	303.2841
611.62	-1.65	-137.0882	-64.78824	218.7777	309.8568	523.9397
917.43	-2.275	-218.7777	-107.0414	337.0866	478.8696	811.2615
1257.22	-3	-306.101	-149.2946	463.8463	658.211	1115.484
1630.99	-3.805	-399.997	-199.0595	600.9344	854.4536	1456.327
2072.71	-4.705	-506.0995	-257.2751	754.9238	1067.598	1841.301
2616.38	-5.84	-634.737	-336.1477	935.2042	1336.14	2318.292
3261.98	-7.155	-776.52	-434.7385	1138.958	1642.241	2882.607
3941.56	-8.55	-924.8756	-555.8643	1342.713	1959.609	3491.053
4655.11	-10.135	-1080.743	-707.0369	1562.429	2309.842	4182.128
5368.67	-11.94	-1236.61	-892.951	1790.597	2685.426	4959.587
6048.25	-14.03	-1383.088	-1107.973	2018.764	3073.216	5796.2
6693.85	-16.515	-1519.237	-1346.469	2253.504	3485.42	6723.893



ภาคผนวก ข.

มาตรฐานการทดสอบ

มยพ. 1104-52

มาตรฐานงานไม้

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมเฉพาะไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้าง โครงสร้างหลัก ได้แก่ เสา คาน ตง จันทัน แปดเส และอื่นๆ ที่นำไปใช้ในลักษณะเดียวกัน ทั้งนี้ยกเว้น ไม้แบบ ไม้บานประตู ไม้ประสานทากาว (Glue-Laminated Timber) และไม้อัดประเภทต่างๆ
- 1.2 มาตรฐานนี้ระบุไว้เพื่อให้การก่อสร้างอาคารและส่วนต่างๆ ของอาคารไม้เป็นไปตามหลักวิชาการ ประหยัด ปลอดภัย และคงทน
- 1.3 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

“กระที่ (Sapwood)” หมายถึง ส่วนของเนื้อไม้ซึ่งอยู่ระหว่างเปลือกชั้นในกับแก่น ปกติมีสีจางกว่าแก่นซึ่งลึกเข้าไป และมักมีขอบเขตแบ่งกันเห็นได้ชัด แต่ไม้บางชนิดอาจมีกระที่กับแก่นแบ่งขอบเขตกันเห็นไม่ชัดเจนก็ได้

“ความต้านแรงคัดสูงสุด” หมายถึง หน่วยแรงที่ได้จากการคำนวณสูตรแรงคัดของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้คานเกิดการวิบัติในลักษณะการคัด ซึ่งเป็นค่าเดียวกับโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture)

“ความต้านแรงอัดขนานเสี้ยนสูงสุด” หมายถึง กำลังต้านทานของไม้ต่อแรงอัดที่ขนานกับแนวแกน หรือความยาวของไม้

“ความทนทานตามธรรมชาติ” หมายถึง ความทนทานของไม้ที่มีต่อสภาวะธรรมชาติของดินฟ้าอากาศ ซึ่งได้มาจากการทดสอบตามกรรมวิธีของกรมป่าไม้

“ตา (Knot)” หมายถึง ส่วนของกิ่งที่ติดอยู่ในไม้แปรรูป

“ตายนาม (Spike Knot)” หมายถึง ตาซึ่งซึ่งมีลักษณะปลายแหลมเสียบเข้าไปสู่ใจของไม้ มักพบในไม้ที่ซอตามแนวรัศมี ทำให้กิ่งถูกผ่าไปตามแนวยาว

“บ่า (Wane)” หมายถึง พื้นผิวส่วนกลมเดิมของต้นไม้ที่ยังคงอยู่บนชิ้นไม้แปรรูป ปรากฏว่าอยู่ตรงส่วนที่ควรเป็นเหลี่ยมของไม้

“ปริมาณความชื้น (Moisture Content)” หมายถึง ปริมาณความชื้นที่มีในไม้ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักไม้ที่อบแห้งจนน้ำหนักคงที่

“ไม้เนื้อแข็ง (Hard Wood)” หมายถึง ไม้ที่มีความต้านแรงคัดสูงสุดมากกว่า 98 เมกาปาสกาล (1,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ในสภาพที่เป็นไม้แห้ง และมีความทนทานตามธรรมชาติมากกว่า 6 ปี

“ไม้เนื้อแข็งปานกลาง (Medium Hard Wood)” หมายถึง ไม้ที่มีความต้านแรงดัดสูงสุดระหว่าง 59 ถึง 98 เมกาปาสกาล (600 ถึง 1,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ในสภาพที่เป็นไม้แห้ง และมีความทนทานตามธรรมชาติมากกว่า 2 ปี

“ไม้เนื้ออ่อน (Soft Wood)” หมายถึง ไม้ที่มีความต้านแรงดัดสูงสุดต่ำกว่า 59 เมกาปาสกาล (600 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ในสภาพที่เป็นไม้แห้ง และมีความทนทานตามธรรมชาติต่ำกว่า 2 ปี

“รอยปริ (Check)” หมายถึง รอยแยกเล็กๆ ตามแนวเส้นและตามแนวรัศมีของไม้แปรรูปแต่ไม่ลึกจนถึงด้านตรงกันข้ามหรือด้านข้างเคียง

“เอียงลาด (Sloping Grain)” หมายถึง เส้นที่ไม่ทอดไปตามแนวยาวของไม้แปรรูป

3. มาตรฐานอ้างอิง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงประกอบด้วย

3.1.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยศ. 1221 ถึง มยศ. 1227 มาตรฐานการทดสอบงานไม้ของกรมโยธาธิการและผังเมือง

3.1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก. 421: ไม้แปรรูป-ข้อกำหนดทั่วไป

3.1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก. 424: ไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป

3.1.4 มาตรฐานการอบน้ำยาของกรมป่าไม้

3.1.5 มาตรฐานสมาคมวิศวกรสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ วสท. 1002: มาตรฐานสำหรับอาคารไม้

3.2 หากจะนำมาตรฐานอื่นมาใช้ นอกเหนือจากที่ระบุในข้อ 3.1 มาตรฐานดังกล่าวต้องได้รับการรับรองจากคณะกรรมการควบคุมอาคารหรือสภาวิศวกร

3.3 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างอิงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้าง

4.1 ชนิดและชั้นคุณภาพของไม้

4.1.1 ไม้ที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคารต้องเป็นไม้เนื้อแข็งที่มีความต้านแรงดัดสูงสุดไม่น้อยกว่า 98 เมกาปาสกาล (1,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ความต้านแรงอัดขนานเส้นสูงสุดไม่น้อยกว่า 51 เมกาปาสกาล (520 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร) ปริมาณความชื้นร้อยละ 10 ถึง 14 และมีความทนทานตามธรรมชาติมากกว่า 6 ปี ตามผนวก ก

4.1.2 หากจำเป็นต้องใช้ไม้นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในผนวก ก ไม้ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติและความทนทานตามที่ระบุในข้อ 4.1.1 โดยจะต้องทำการทดสอบตัวอย่างไม้ตามขนาดและจำนวนที่ระบุในข้อ 5 ก่อนดำเนินการก่อสร้าง

- 4.1.3 ไม้ที่มีกลสมบัติตามข้อ 4.1.1 แต่มีความทนทานตามธรรมชาติระหว่าง 3 ถึง 6 ปี สามารถให้นำมาใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคารได้ แต่ทั้งนี้ต้องได้รับการอาบน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้ตามมาตรฐานอาบน้ำยาของกรมป่าไม้ ดังแสดงในตารางที่ 1 ก่อนนำไปใช้ ตัวอย่างของ ไม้ที่เลื่อนชั้นเป็นไม้เนื้อแข็งได้โดยการอาบน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้แสดงไว้ในผนวก ข.

ตารางที่ 1 ปริมาณของน้ำยาแห่งที่เข้าไปในเนื้อไม้

(ข้อ 4.1.3)

หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การก่อสร้าง	ยาประเภทน้ำมัน	ยาประเภทเกลือละลายน้ำมัน	ยาประเภทเกลือละลายน้ำ
1) ใช้ในร่ม	—	—	5.6
2) ใช้กลางแจ้ง	96.0	4.8	8.0
3) ใช้ที่แฉะชื้น	128.0	6.4	12.0
4) ใช้ในน้ำจืด	192.0	10.0	16.0
5) ใช้ในน้ำทะเล	320.0	—	24.0

ที่มา: ฝ่ายวิจัยไม้ชั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ “ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย”

- 4.1.4 ไม้ที่ใช้เป็นส่วนประกอบอื่นที่มีใช้โครงสร้างหลัก เช่น ไม้สำหรับทำ คร่าวฝ้า คร่าวเพดาน เป็นต้น ให้ใช้ไม้เนื้อแข็งปานกลาง หรือไม้เนื้ออ่อนได้

4.2 ขนาดของไม้

- 4.2.1 ขนาดของโครงสร้างไม้ที่กำหนดในแบบรายละเอียดหรือในรายการเป็นขนาดระบุที่ยังมิได้แต่งไส ให้เรียกตามที่ใช้เรียกกันอยู่ในท้องตลาด

- 4.2.2 ไม้ต่างๆ ที่นำมาใช้ทั้งที่ยังไม่ไสหรือ ไสเรียบแล้ว จะต้องมีความหนาหรือความกว้างน้อยกว่าขนาดระบุได้ไม่เกินค่าในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความหนาหรือความกว้างที่ยอมให้น้อยกว่าขนาดระบุ

(ข้อ 4.2.2)

ความหนาหรือความกว้างของขนาดระบุ	ไม้ที่ไม่ไส	ไม้ที่ไสเรียบ
น้อยกว่า 25 มม. (1 นิ้ว)	1.5 มม. (1/16 นิ้ว)	6.0 มม. (1/4 นิ้ว)
ตั้งแต่ 25 มม. (1 นิ้ว) ถึง 75 มม. (3 นิ้ว)	4.5 มม. (3/16 นิ้ว)	7.5 มม. (5/16 นิ้ว)
ตั้งแต่ 88 มม. (3-1/2 นิ้ว) ถึง 137 มม. (5-1/2 นิ้ว)	6.0 มม. (1/4 นิ้ว)	9.0 มม. (3/8 นิ้ว)
ตั้งแต่ 150 มม. (6 นิ้ว) ขึ้นไป	9.0 มม. (3/8 นิ้ว)	12.5 มม. (1/2 นิ้ว)

4.3 ชั้นคุณภาพของไม้ ชั้นคุณภาพของไม้สำหรับงาน โครงสร้าง ประกอบด้วย

- 4.3.1 ไม้แปรรูปชั้นหนึ่ง คือ ไม้ที่มีความต้านแรงอัดหรือต้านแรงดึงไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของไม้ชนิดเดียวกันที่ปราศจากตำหนิ

4.3.2 ไม้แปรรูปชั้นสอง คือ ไม้ที่มีความต้านแรงอัดหรือต้านแรงดึงไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของไม้ชนิดเดียวกันที่ปราศจากตำหนิ

4.3.3 ไม้แปรรูปชั้นสาม คือ ไม้ที่มีความต้านแรงอัดหรือต้านแรงดึงไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของไม้ชนิดเดียวกันที่ปราศจากตำหนิ

หากแบบและรายการประกอบแบบเฉพาะงานไม้ได้กำหนด ให้ถือว่าเป็นไม้แปรรูปชั้นสอง

4.4 เกณฑ์จำกัดข้อบกพร่องในเนื้อไม้

ไม้ต่างๆ ที่นำมาใช้งาน นอกจากจะมีคุณภาพและได้มาตรฐานตามข้อกำหนดต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว จะต้องมีความเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด ดังต่อไปนี้

4.4.1 ค่าขนาดสูงสุดของตำหนิที่ยอมให้เป็นไปตามตารางที่ 3

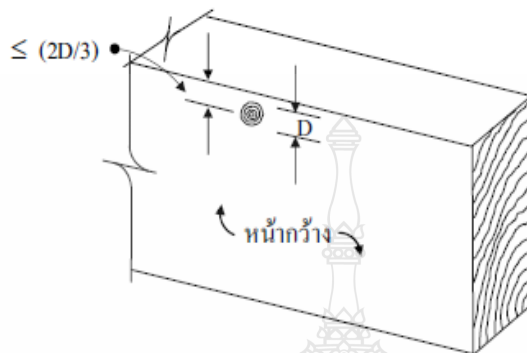
ตารางที่ 3 ขนาดสูงสุดของตำหนิที่ยอมให้

(ข้อ 4.4.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร (นิ้ว)

หน้าไม้	องค์อาคารรับแรงคด									องค์อาคารรับแรงอัด		
	หน้าแคบ			ขอบของหน้ากว้าง			ช่วงกลางของหน้ากว้าง					
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3
76 (3)	9 ($\frac{3}{8}$)	22 ($\frac{7}{8}$)	32 ($1\frac{1}{4}$)	6 ($\frac{1}{4}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	18 ($\frac{5}{8}$)	9 ($\frac{3}{8}$)	22 ($\frac{7}{8}$)	32 ($1\frac{1}{4}$)	9 ($\frac{3}{8}$)	22 ($\frac{7}{8}$)	32 ($1\frac{1}{4}$)
102 (4)	13 ($\frac{1}{2}$)	28 ($1\frac{1}{8}$)	41 ($1\frac{5}{8}$)	6 ($\frac{1}{4}$)	16 ($\frac{5}{8}$)	22 ($\frac{7}{8}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	28 ($1\frac{1}{8}$)	41 ($1\frac{5}{8}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	28 ($1\frac{1}{8}$)	41 ($1\frac{5}{8}$)
127 (5)	16 ($\frac{5}{8}$)	35 ($1\frac{3}{8}$)	50 (2)	9 ($\frac{3}{8}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	28 ($1\frac{1}{8}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	35 ($1\frac{3}{8}$)	50 (2)	13 ($\frac{1}{2}$)	35 ($1\frac{3}{8}$)	50 (2)
152 (6)	19 ($\frac{3}{4}$)	41 ($1\frac{5}{8}$)	57 ($2\frac{1}{4}$)	9 ($\frac{3}{8}$)	22 ($\frac{7}{8}$)	32 ($1\frac{1}{4}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	44 ($1\frac{3}{4}$)	57 ($2\frac{1}{4}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	44 ($1\frac{3}{4}$)	57 ($2\frac{1}{4}$)
203 (8)	19 ($\frac{3}{4}$)	48 ($1\frac{7}{8}$)	64 ($2\frac{1}{2}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	32 ($1\frac{1}{4}$)	44 ($1\frac{3}{4}$)	25 (1)	54 ($2\frac{1}{8}$)	76 (3)	25 (1)	54 ($2\frac{1}{8}$)	76 (3)
254 (10)	22 ($\frac{7}{8}$)	51 (2)	73 ($2\frac{7}{8}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	38 ($1\frac{1}{2}$)	50 (2)	28 ($1\frac{1}{8}$)	70 ($2\frac{3}{4}$)	95 ($3\frac{3}{4}$)	28 ($1\frac{1}{8}$)	70 ($2\frac{3}{4}$)	95 ($3\frac{3}{4}$)
305 (12)	25 (1)	57 ($2\frac{1}{4}$)	76 (3)	19 ($\frac{3}{4}$)	44 ($1\frac{3}{4}$)	64 ($2\frac{1}{2}$)	32 ($1\frac{1}{4}$)	79 ($3\frac{1}{8}$)	111 ($4\frac{3}{8}$)	32 ($1\frac{1}{4}$)	79 ($3\frac{1}{8}$)	111 ($4\frac{3}{8}$)
356 (14)	25 (1)	60 ($2\frac{3}{8}$)	83 ($3\frac{1}{4}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	44 ($1\frac{3}{4}$)	66 ($2\frac{5}{8}$)	34 ($1\frac{3}{8}$)	86 ($3\frac{3}{8}$)	117 ($4\frac{5}{8}$)	34 ($1\frac{3}{8}$)	86 ($3\frac{3}{8}$)	117 ($4\frac{5}{8}$)
406 (16)	25 (1)	64 ($2\frac{1}{2}$)	89 ($3\frac{1}{2}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	50 (2)	70 ($2\frac{3}{4}$)	38 ($1\frac{1}{2}$)	89 ($3\frac{1}{2}$)	127 (5)	38 ($1\frac{1}{2}$)	89 ($3\frac{1}{2}$)	127 (5)

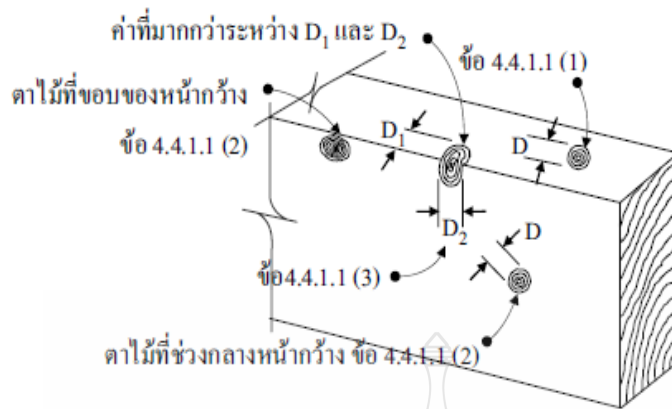
หมายเหตุ ตาไม้ที่อยู่บนหน้ากว้างขององค์อาคารรับแรงค้ำจะถือว่าเป็นตาไม้ที่ขอบของหน้ากว้าง ต่อเมื่อจุดศูนย์กลางของตาดังกล่าวอยู่ภายในสองในสามของเส้นผ่านศูนย์กลางตาไม้เมื่อ วัดจากขอบ (รูปที่ 1)



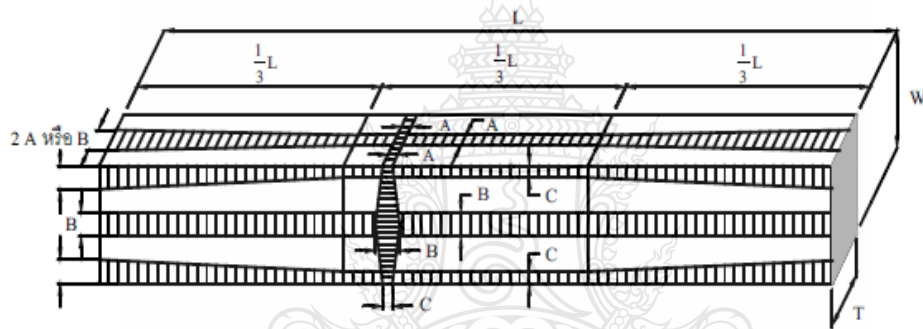
รูปที่ 1 เกณฑ์การจำแนกตาไม้ที่ขอบของหน้ากว้างขององค์อาคารรับแรงค้ำ
(ข้อ 4.4.1)

4.4.1.1 ขนาดของตาสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ำ

- (1) ขนาดของตาบนหน้าแคบในแต่ละแห่งให้วัดจากความกว้างระหว่างเส้นตรงที่สัมผัสกับตาและขนานกับขอบของชิ้นไม้นั้น (รูปที่ 2)
- (2) ขนาดของตาบนหน้ากว้างในแต่ละแห่งให้วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของตานั้น สำหรับขนาดของตาที่ขอบของหน้ากว้างให้ใช้การกำหนดขนาดเหมือนกับตาบนหน้าแคบ (รูปที่ 2)
- (3) ขนาดของตาไม้ที่มุมตัด (Corner Knot) ให้วัดจากความกว้างบนหน้าแคบระหว่างเส้นตรงที่สัมผัสกับตาและขนานกับขอบของชิ้นไม้นั้น หรือวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของตาบนหน้ากว้าง ทั้งนี้ให้ใช้ค่าที่สูงกว่า (รูปที่ 2)
- (4) เมื่อแบ่งคานช่วงเดียวออกเป็นสามส่วนเท่าๆ กัน ขนาดสูงสุดของตาไม้ที่ยอมให้มีสำหรับช่วงกลางคานนั้น ให้เป็นไปตามค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 ส่วนช่วงหัวท้ายของคานที่เหลืออีกสองส่วนนั้น ขนาดสูงสุดของตาไม้ที่ยอมให้มีบนหน้าแคบและที่ขอบของหน้ากว้างจะแปรผันเป็นเชิงเส้นกับระยะห่างจากปลายคาน โดยขนาดที่ยอมให้ดังกล่าวเมื่อวัดระยะจากปลายคานทั้งส่วนหัวและส่วนท้ายเป็นระยะหนึ่งในสามของความยาวช่วงคานให้ใช้ค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 และจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าที่ปลายคานตามรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3 แต่ทั้งนี้ขนาดสูงสุดที่เพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งใดๆ ในบริเวณดังกล่าวจะต้องมีค่าไม่มากกว่าขนาดสูงสุดที่ยอมให้ของตาที่กึ่งกลางบนหน้ากว้าง



รูปที่ 2 การวัดขนาดตาในองค้อการรับแรงอัด
[ข้อ 4.4.1.1 (1) ถึง (3)]

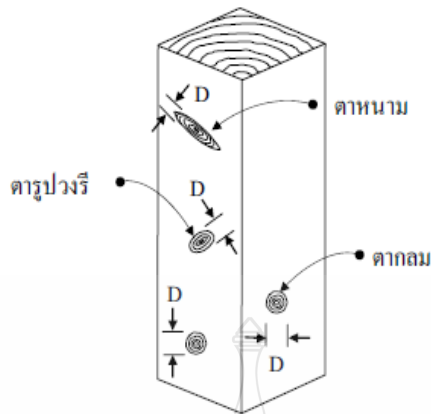


- หมายเหตุ**
- A = ขนาดสูงสุดของตาที่ยอมให้ของหน้าแคบตามตารางที่ 3
 - B = ขนาดสูงสุดของตาที่ยอมให้ที่ช่วงกลางของหน้ากว้างตามตารางที่ 3
 - C = ขนาดสูงสุดของตาที่ยอมให้ที่ขอบของหน้ากว้างตามตารางที่ 3
 - L = ความยาวช่วงของคาน
 - T = ความหนาของหน้าตัด
 - W = ความกว้างของหน้าตัด

รูปที่ 3 ขนาดสูงสุดของตาที่ยอมให้ในองค้อการรับแรงอัด
[ข้อ 4.4.1.1 (4)]

4.4.1.2 ขนาดของตาสำหรับองค้อการรับแรงอัด

ขนาดของตาบนหน้าไม้ใดๆ ขององค้อการรับแรงอัด ในกรณีเป็นตากลม (Round Knot) ให้วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของตา ในกรณีเป็นตารูปวงรี (Oval Knot) ให้วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่า หรือในกรณีเป็นตาดินาม (Spike Knot) ให้วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดและตั้งฉากกับความยาวตา ดังแสดงในรูปที่ 4

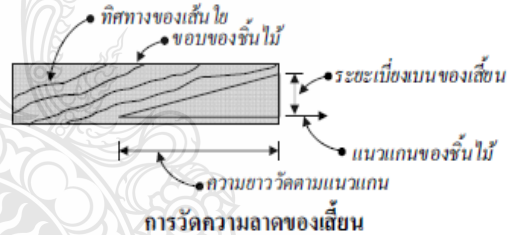


รูปที่ 4 การวัดขนาดตาในองค์อาคารรับแรงอัด
(ข้อ 4.4.1.2)

4.4.2 เส้นลาด ความลาดของเส้นต้องไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความลาดของเส้นที่ยอมให้
(ข้อ 4.4.2)

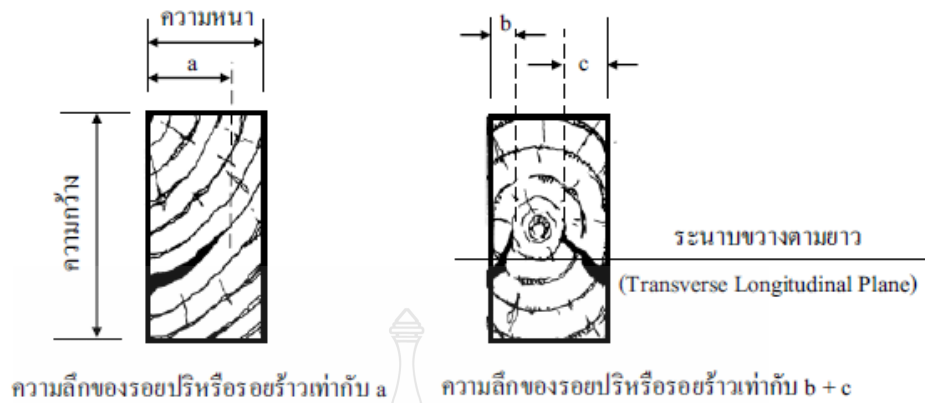
ชั้นคุณภาพของไม้	รับแรงค้ำ หรือแรงดึงขนาน เส้น	รับแรงอัดขนาน เส้น
ชั้นหนึ่ง	1 ต่อ 20	1 ต่อ 15
ชั้นสอง	1 ต่อ 15	1 ต่อ 11
ชั้นสาม	1 ต่อ 11	1 ต่อ 8



4.4.3 รอยปริหรือรอยร้าว รอยปริหรือรอยร้าวที่ปลายไม้จะลึกได้ไม่เกินกว่าค่าดังนี้

- (1) 1 ใน 5 ของความหนาไม้ สำหรับไม้แปรรูปชั้นหนึ่ง
- (2) 1 ใน 3 ของความหนาไม้ สำหรับไม้แปรรูปชั้นสอง
- (3) 1 ใน 2 ของความหนาไม้ สำหรับไม้แปรรูปชั้นสาม

หากต้องการใช้ไม้ที่มีรอยปริหรือรอยร้าวเกินกว่าค่าที่กำหนด จะต้องดำเนินการทดสอบหรือประเมินทางวิศวกรรมที่สามารถแสดงได้ว่า รอยร้าวดังกล่าวไม่มีผลต่อกำลังของโครงสร้าง

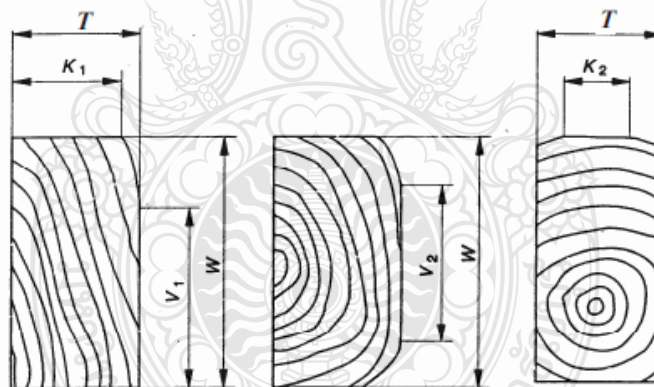


รูปที่ 5 การวัดความลึกของรอยปรีหรือรอยร้าว

(ข้อ 4.4.3)

4.4.4 บำ ต้องมีขนาดกว้างไม่เกินกว่าค่าดังต่อไปนี้

- (1) 1 ใน 8 ของความหนาหรือความกว้างไม้ สำหรับไม้แปรรูปชั้นหนึ่ง
- (2) 1 ใน 5 ของความหนาหรือความกว้างไม้ สำหรับไม้แปรรูปชั้นสอง
- (3) 1 ใน 4 ของความหนาหรือความกว้างไม้ สำหรับไม้แปรรูปชั้นสาม



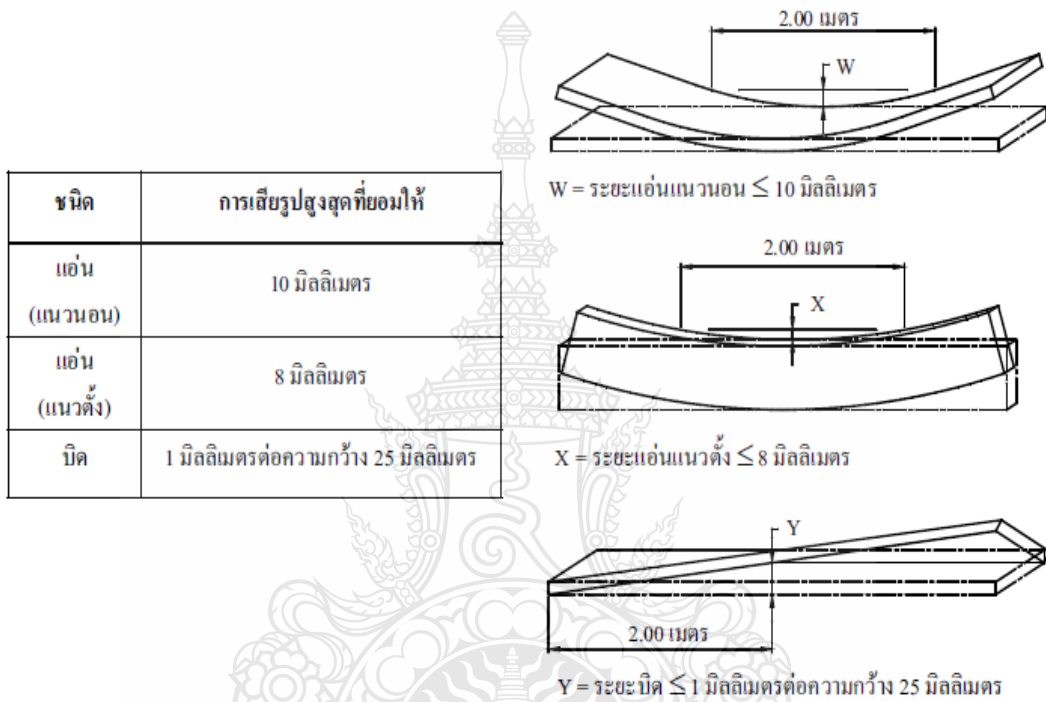
- K_1 และ $K_2 \geq 7/8$ ของความหนา T สำหรับไม้แปรรูปชั้นหนึ่ง
 $\geq 4/5$ ของความหนา T สำหรับไม้แปรรูปชั้นสอง
 $\geq 3/4$ ของความหนา T สำหรับไม้แปรรูปชั้นสาม
- V_1 และ $V_2 \geq 7/8$ ของความกว้าง W สำหรับไม้แปรรูปชั้นหนึ่ง
 $\geq 4/5$ ของความกว้าง W สำหรับไม้แปรรูปชั้นสอง
 $\geq 3/4$ ของความกว้าง W สำหรับไม้แปรรูปชั้นสาม

รูปที่ 6 การวัดบำ

(ข้อ 4.4.4)

4.4.5 กระพี้ กระพี้ยอมให้มีได้สำหรับงานก่อสร้างชั่วคราว ถ้าเป็นงานก่อสร้างถาวร หน้าที่ตั้งของไม้แต่ ละหน้าต้องมีส่วนที่เป็นแกนให้เห็นได้อย่างน้อยร้อยละ 85 และต้องทำการอาบน้ำยารักษาเนื้อไม้ เสียก่อน

4.4.6 การเสีรูป ข้อจำกัดของการเสีรูปให้เป็นไปตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเสีรูปสูงสุดที่ยอมให้ในช่วงความยาว 2 เมตร (ข้อ 4.4.6)

5. การเก็บและส่งตัวอย่างไม้เพื่อทดสอบ

ในการเก็บตัวอย่างไม้เพื่อการทดสอบ จะต้องเก็บอย่างน้อยชนิดละ 3 ท่อน แต่ละท่อนยาวไม่น้อยกว่า 1 เมตร โดยการทดสอบให้เป็นไปตาม มยผ. 1221 ถึง มยผ. 1227 มาตรฐานการทดสอบงาน ไม้ของกรมโยธาธิการและผังเมือง

6. ข้อกำหนดในการก่อสร้าง

- 6.1 ไม้ที่นำมาใช้จะต้องมีขนาดและประเภทเป็นไปตามที่กำหนดในแบบและรายการประกอบแบบเฉพาะงาน
- 6.2 ไม้ท่อนใดที่มีน้ำหนักเบาคิดปกติ มีรูมอด หรือมีเนื้อคู่ด้วยเหตุใดก็ตามให้คัดออก ห้ามนำมาใช้
- 6.3 รอยต่อของโครงสร้างไม้สามารถใช้ได้ทั้ง ตะปู สลักเกลียว แหวนยึดหรืออุปกรณ์ยึดอื่นใด โดยที่รอยต่อของโครงสร้างหลักจะต้องมีความแข็งแรงสามารถส่งผ่านแรงได้อย่างปลอดภัย

6.4 จุดต่อที่ใช้สลักเกลียว รูเจาะนำในไม้จะต้องให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เพียงพอที่จะสามารถสอดสลักเกลียวเข้าไปในรูได้โดยง่าย ขนาดของรูเจาะนำจะต้องใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวตั้งแต่ 0.8 มิลลิเมตร ถึง 1.6 มิลลิเมตร โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวที่ใช้

6.5 สำหรับรอยต่อของโครงสร้างที่ใช้สลักเกลียว ระยะเรียง ระยะเคียง และระยะปลายให้เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับอาคารไม้ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ว่าด้วยการต่อองค์อาคาร โดยตัดยึดตรึงแบบสลักเกลียว

6.6 ตงและคานที่มีอัตราส่วนความลึกต่อความหนาเท่ากับหรือเกินกว่า 6 จะต้องค้ำยันด้านข้างเป็นระยะๆ ไม่เกินกว่า 2.50 เมตร

6.7 การก่อสร้างในที่กลางแจ้ง ที่และชั้น ในน้ำจืด หรือน้ำทะเล ให้ทาน้ำยารักษาเนื้อไม้

7. เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ไม้แปรรูปต้องมีขนาดสม่ำเสมอ ความแตกต่างของขนาด ในมิติที่ลดลงของไม้แปรรูปแผ่นเดียวกันต้องไม่เกินร้อยละ 5 ของขนาดที่กำหนด ทั้งนี้โดยวัดหาความแตกต่างจากส่วนที่หนาที่สุดและบางที่สุดหรือส่วนที่กว้างที่สุดและแคบที่สุด

8. เอกสารอ้างอิง

- (1) ASTM D 245-00 Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber, ASTM International, 2002.
- (2) BS EN 518:1995 Structural timber. Grading. Requirements for Visual Strength Grading Standards, British Standards Institution, London, 1995.
- (3) คุณลักษณะของไม้ไทย ส่วนพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลผลิตป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2547
- (4) มาตรฐาน มขช. 103-2533 งานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2533
- (5) มาตรฐาน วสท. 1002-16: มาตรฐานสำหรับอาคารไม้ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ. 2517
- (6) ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย ฝ่ายวิจัยไม้ชั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลผลิตป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2528

ผนวก ก: บัญชีรายชื่อไม้เนื้อแข็งมาตรฐาน

ลำดับ	ชนิดไม้	ชื่อพฤกษศาสตร์	ความต้านแรงตัด สูงสุด (MPa)	ความต้านแรงอัด ขนานเสี้ยนสูงสุด (MPa)	ความทนทานตาม ธรรมชาติ (ปี)
1	กะโดน	Careya arborea Roxb.	108	51	7
2	กะพี้เขากวาย	Dalbergia cultrata Graham	175	60	6.8
3	กระทั่งหัน	Calophyllum floribundum Hk.f.	118	64	7.1
4	กั้นเกล้า	Fagraea fragrans Roxb.	142	64	7.6
5	ขานาง	Homalium tomentosum Benth.	134	66	6.2
6	เขลง	Dialium cochinchinense Pierre	166	90	13.5
7	เคี่ยม	Cotylelobium lanceolatum Craib	146	69	15
8	เคี่ยมกะนอง	Shorea sericeiflora Fisch. & Hutch.	141	59	14.4
9	แคทราย	Stereospermum neuranthum Kurz	128	64	22.9
10	ชัน หรือ เต็งตานี	Shorea thorelii Pierre ex Laness.	131	61	15
11	ชิงชัน	Dalbergia oliveri Gamble	174	126	15
12	ซาก	Erythrophleum teysmannii Craib	189	73	8.8
13	แดง	Xylia kerrii Craib & Hutch.	128	68	15.9
14	ตะเคียนชันตาแมว	Balanocarpus heimii King	172	74	26.1
15	ตะเคียนทอง	Hopea odorata Roxb.	115	51	16
16	ตะเคียนราก	Hopea avellanea F. Heim	114	57	6.1
17	ตะเคียนหิน	Hopea ferrea Pierre	157	66	10.5
18	ตะแบกเลือด	Terminalia mucronata Craib & Hutch.	176	70	8.8
19	ตะแบกใหญ่	Lagerstroemia calyculata Kurz	119	52	9.4
20	ตีนนก	Vitex spp.	159	69	10.6

ผนวก ก: บัญชีรายชื่อไม้เนื้อแข็งมาตรฐาน (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดไม้	ชื่อพฤกษศาสตร์	ความต้านแรงดัด สูงสุด (MPa)	ความต้านแรงอัด ขนานเสี้ยนสูงสุด (MPa)	ความทนทานตาม ธรรมชาติ (ปี)
21	เต็ง	<i>Shorea obtusa</i> Wall.	169	71	17.7
22	บุนนาค	<i>Mesua ferrea</i> Linn.	224	62	12.4
23	ประดู่	<i>Pterocarpus</i> spp.	130	70	19.1
24	พลวง	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.	127	54	7.1
25	พะยอม	<i>Shorea talura</i> Roxb.	114	66	11.7
26	พะยุง	<i>Dalbergia cochinchinensis</i> Pierre	171	117	15
27	พะวา	<i>Garcinia comea</i> Linn.	121	80	7.7
28	พินจ่า	<i>Vatica cinerea</i> King	192	85	9.9
29	มะเกลือ	<i>Diospyros mollis</i> Griff.	175	95	15
30	มะค่าเต้	<i>Sindora</i> spp.	119	74	10.5
31	มะค่าโมง	<i>Azelia xylocarpa</i> Craib	120	63	10.7
32	มะขาง	<i>Madhuca pierreii</i> H.J. Lam.	111	62	7.6
33	มะฮ้านแดง	<i>Amoora cucullata</i> Roxb.	74 ¹⁾	32	8.5
34	มังคะ	<i>Cynometra</i> spp.	136	67	11.1
35	ขมหิน	<i>Chukrasia velutina</i> Wight & Am.	109	51	11.9
36	รกฟ้า	<i>Terminalia alata</i> Heyne	120	56	10.8
37	รัง	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	132	61	17.3
38	เลียงมัน	<i>Berrya mollis</i> Wall.	143	62	25.4
39	สะเดา	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	147	81	6.0
40	สะทิต	<i>Phoebe</i> spp.	116	56	6
41	สัก	<i>Tectona grandis</i> Linn.f	100	49	19.4
42	สาหร หรือ ขะเจี๊ยะ	<i>Millettia leucantha</i> Kurz	148	76	23.4
43	เสลา	<i>Lagerstroemia tomentosa</i> Presl	132	56	14.4

ผนวก ก: บัญชีรายชื่อไม้เนื้อแข็งมาตรฐาน (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดไม้	ชื่อพฤกษศาสตร์	ความต้านแรงตัด สูงสุด (MPa)	ความต้านแรงอัด ขนานเส้นสูงสุด (MPa)	ความทนทานตาม ธรรมชาติ (ปี)
44	หลุมพอ	Intsia bakeri Prain	159	70	17.8
45	ยางเหียง หรือ เหียง	Dipterocarpus obtusifolius Tejsm. Ex Miq.	117	56	8.8
46	แอ๊ก	Shorea glauca King	146	52	7

หมายเหตุ ¹⁾ เป็นค่าของไม้ในสภาพสด ไม้แห้งจะมีความแข็งแรงในการตัดประมาณ 1.5 เท่าของไม้เปียก

ที่มา : ส่วนพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ กรมป่าไม้ “คุณลักษณะของไม้ไทย”



หมวด ก: บัญชีรายชื่อไม้ที่เดือนขึ้นเป็นไม้เนื้อแข็งได้โดยการอาบน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้

ลำดับ	ชนิดไม้	ชื่อพฤกษศาสตร์	ความต้านแรงค้ำสูงสุด (MPa)	ความต้านแรงอัดขนานเสี้ยนสูงสุด (MPa)	ความทนทานตามธรรมชาติ (ปี)
1	กระดิ่งฝรั่ง	<i>Acacia auriculaeformis</i> Cunn. ex Benth.	109	67	ยังไม่แล้วเสร็จ ¹⁾
2	กระดิ่งเทพา	<i>Acacia mangium</i> Willd.	107	57	ยังไม่แล้วเสร็จ ¹⁾
3	กระบกกรัง	<i>Hopea helferi</i> (Dyer) Brandis	114	51	ยังไม่แล้วเสร็จ ¹⁾
4	กระบก	(<i>Irvingia malayana</i> Oliver)	147	58	4
5	กะเจียน	<i>Polyalthia</i> spp.	145	67	4.4
6	ตะคร้อ	<i>Schleichera oleosa</i>	163	56	3.8
7	ตะเคียนทราย	<i>Shorea gravis</i> (Wall. Ex Kurz) Dyer	121	55	3.2
8	ตะบูนดำ	<i>Xylocarpus moluccensis</i> (Lam.) M. Roem.	128	56	5.5
9	ตั้งหน	<i>Calophyllum pulcherrimum</i> Wall.	144	67	3
10	ตานดำ หรือ ตาดง	<i>Diospyros transitoria</i> Bakh.	158	69	ยังไม่แล้วเสร็จ ¹⁾
11	ทองบั้ง	<i>Koompassia malaccensis</i> Maingay ex Benth.	189	99	ยังไม่แล้วเสร็จ ¹⁾
12	พุดกษ	<i>Albizia lebbek</i> (Linn.) Benth.	113	54	5
13	พิกุลป่า	<i>Mimusops elengi</i> Linn.	162	69	3.9
14	มะแฟน	<i>Protium serratum</i> Engl.	123	55	4.7
15	มะหาด	<i>Artocarpus lakoocha</i> Roxb.	110	58	ยังไม่แล้วเสร็จ ¹⁾
16	ยุง	<i>Dipterocarpus grandiflorus</i> Blanco	112	48	3.9
17	สนประดิพัทธ์	<i>Casuarina junghuhniana</i> Miq.	149	63	4.6
18	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz.	113	53	3
19	สมอพิเภก	<i>Terminalia bellerica</i> (Gaertn.) Roxb.	113	53	4.9
20	โอบ	<i>Homalium grandiflorum</i> Benth.	167	66	5.6
21	ซากเหลือง	<i>Kokoona reflexa</i> Ding Hou	196	103	ยังไม่แล้วเสร็จ ¹⁾

หมายเหตุ ¹⁾ ยังอยู่ในขั้นตอนการดำเนินการของกรมป่าไม้ หากกรมป่าไม้ระบุว่า ไม้มีความทนทานตามธรรมชาติมากกว่า 6 ปีให้จัดไม้ดังกล่าวอยู่ในหมวด ก

ที่มา: ส่วนพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลผลิตป่าไม้ กรมป่าไม้ “คุณลักษณะของไม้ไทย”

มยผ. 1221-51

มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ (Standard Test Method for Compression Perpendicular to Grain)

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการศึกษาพฤติกรรมและหาคุณสมบัติทางกลของไม้ภายใต้การรับแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้น เพื่อหาค่าที่ต้องการ คือ โมดูลัสยืดหยุ่น กำลังยืดหยุ่น ณ ชีดปฏิกภาคและกำลังครากของไม้ที่ระยะออฟเซต 0.05%
- 1.2 ความหมายของคำ ชั้นคุณภาพและสัญลักษณ์ ที่ใช้ในมาตรฐานการทดสอบนี้ให้เป็นไปตาม มยผ.1104 : มาตรฐานงานไม้
- 1.3 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

“โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)” หมายถึง ค่าคุณสมบัติทางกลที่ใช้วัดพิคัดความแข็งแกร่ง (Stiffness) ของไม้ เมื่อมีแรงกระทำโดยหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรง (Stress) ต่อความเครียด (Strain)

“กำลังยืดหยุ่น ณ ชีดปฏิกภาค (Elastic Strength at Proportional Limit)” หมายถึง หน่วยแรงที่จุดสูงสุดของส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด

“กำลังคราก ที่ระยะออฟเซต 0.05% (Yield Strength at 0.05% Offset)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงของไม้ ณ ระดับจุดตัดกันระหว่างเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดกับเส้นตรงที่มีค่าความเครียดเท่ากับ 0.0005 ลากขนานกับความชันเริ่มแรกของเส้นโค้งข้างต้น

3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในมาตรฐานนี้ ประกอบด้วย

- 3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1104 : มาตรฐานงานไม้
- 3.2 มาตรฐาน ASTM D 143 Standards Test Method for Small Clear Specimens of Timber

4. เครื่องมือ

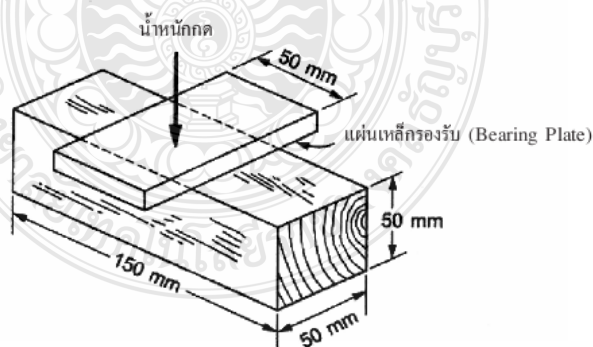
- 4.1 เครื่องทดสอบ (Universal Testing Machine)
- 4.2 มาตรวัด (Dial gauge) การยุบตัว
- 4.3 เวอร์เนีย (Vernier)
- 4.4 เครื่องชั่ง ที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม และมีความถูกต้องในการชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง
- 4.5 แผ่นเหล็ก (Steel Plate)

5. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมไม้ตัวอย่างที่ใส่เรียบ (Dressed Timber) โดยไม่ต้องอยู่ในสภาพเรียบร้อยไม่มีรอยแตก ขนาด 50x50x150 มิลลิเมตร ชนิดละ 3 ท่อน

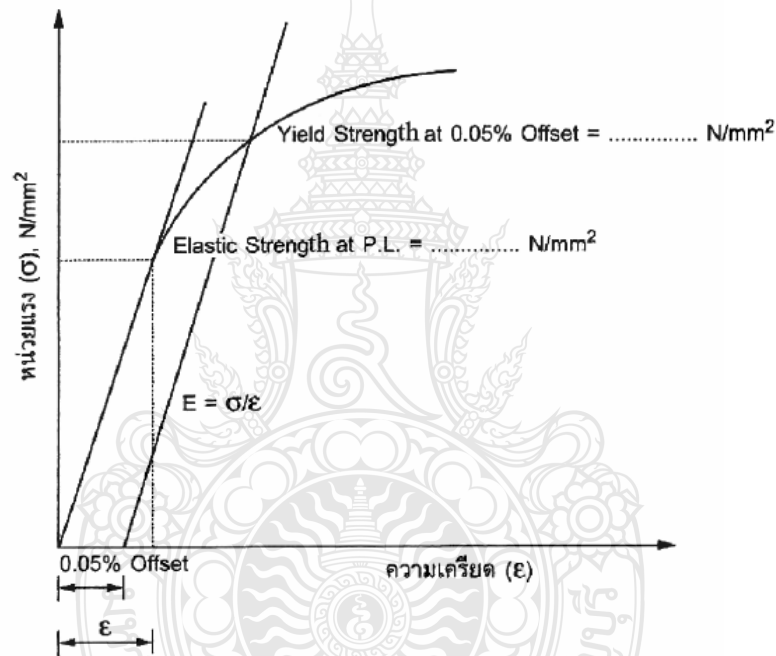
6. การทดสอบ

- 6.1 วัดขนาดของไม้ตัวอย่าง โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของมิติที่วัดและหามวลโดยการชั่งให้มีหน่วยเป็นกรัม มีความถูกต้องในการชั่งได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง
- 6.2 วางไม้ตัวอย่างบนแผ่นเหล็กรองรับ (Bearing Block) โดยให้แนวเส้นอยู่ในแนวระดับ และให้ผิวด้านตั้งฉากกับวงปี (Radial) อยู่ตอนบนสุด บันทึกความกว้างของผิวด้านนี้ วางแผ่นเหล็ก (Bearing Plate) ขนาด 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ซึ่งใช้รองรับน้ำหนักที่กดลง โดยวางตามแนวขวางให้ได้กึ่งกลางประมาณ 1 ใน 3 ส่วนของความยาวไม้ตัวอย่าง ให้แนวยาวของแผ่นเหล็กกดทำมุมตั้งฉากกับแนวยาวของไม้ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเส้นของไม้
(ข้อ 6.2)

- 6.3 ติดตั้งมาตรวัดค่าการยุบตัวของตัวอย่างไม้ โดยปรับระยะให้ปลายแกนของมาตรวัดสัมผัสกับผิวของไม้ตัวอย่างเล็กน้อยและปรับเข็มที่หน้าปัดให้ชี้ที่ตำแหน่งขีดศูนย์
- 6.4 ให้แรงกด (Load) บนไม้ตัวอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 0.305 มิลลิเมตรต่อนาที อ่านค่าการยุบตัว (Deformation) ทุกครั้งที่เพิ่มน้ำหนักกดขึ้น 1,000 นิวตัน ให้มีความละเอียดถึง 0.002 มิลลิเมตร จนกว่าตัวอย่างจะยุบตัวถึง 2.5 มิลลิเมตร หรือเข็มวัดเริ่มหมุนไปอย่างรวดเร็วโดยไม่หยุด จึงหยุดทำการทดสอบแล้วนำตัวอย่างไม้ออกจากเครื่องทดสอบ บันทึกค่าลงใน แบบฟอร์ม บพ.มยพ.1221-1
- 6.5 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (Stress-Strain Curve) โดยให้หน่วยแรง (Stress) อยู่บนแกนตั้งและความเครียด (Strain) อยู่บนแกนนอนและให้แสดงค่ากำลังยืดหยุ่น ณ ขีดปฏิบัติการและกำลังครากของไม้ ที่ระยะออฟเซต 0.05% หากเส้นกราฟไม่ผ่านจุดเริ่มต้นให้ปรับแก้ไขใหม่ให้ผ่านจุดเริ่มต้นและให้มีแนวขนานกันกับแนวเดิม



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (Stress-Strain Curve)
(ข้อ 6.5)

7. การคำนวณ

การคำนวณให้ดำเนินการตามวิธีที่กำหนดไว้ในแบบฟอร์ม บพ. มยพ. 1221-2

8. การรายงานผล

ให้รายงานผลตามที่กำหนดไว้ในแบบฟอร์ม บฟ. มยผ. 1221-1 และ บฟ. มยผ. 1221-2

9. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

ค่าคุณสมบัติทางกลต่างๆของไม้ ให้เป็นไปตาม มยผ.1104 : มาตรฐานงานไม้

10. ข้อควรระวัง

- 10.1 เครื่องมือทดสอบจะต้องได้รับการสอบเทียบและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความถูกต้อง
- 10.2 ไม้ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์เรียบร้อย มีขนาดตามที่กำหนดเท่ากันตลอดทั้งท่อน
- 10.3 ไม้ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้องและมั่นคงตามแนวที่กำหนด
- 10.4 แผ่นเหล็กกดและแผ่นเหล็กรองรับไม้ตัวอย่าง ต้องวางอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้
- 10.5 สถานที่ทดสอบต้องไม่มีแรงสั่นสะเทือนมากเพราะจะทำให้ค่าที่อ่านจากเครื่องทดสอบมีความผิดพลาดได้ง่าย

11. เอกสารอ้างอิง

- 11.1 มาตรฐานงานช่าง มยช.(ท) 201-2541 มาตรฐานวิธีการทดสอบหาค่าแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้ กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย
- 11.2 มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM D 143 : Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

โครงการ..... สถานที่ก่อสร้าง..... โครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง..... วันที่ทดสอบ..... แผ่นที่.....	บพ.มยผ. 1221-1						ทะเบียนทดสอบ.....		
	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)						ผู้ทดสอบ		
	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ในแนวตั้งฉากเส้นของไม้						ผู้ตรวจสอบ		
							อนุมัติ		
แรกกด P (นิวตัน)	ชนิดไม้ตัวอย่าง.....								
	ค่าการยุบตัวของไม้ (มม.)			หน่วยแรง (Stress, เมก้าปาสกาล) ¹⁾			ความเครียด (Strain) ²⁾		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
0									
1,000									
2,000									
3,000									
4,000									
5,000									
6,000									
7,000									
8,000									
9,000									
10,000									
11,000									
12,000									
.....									
หมายเหตุ 1) ค่าหน่วยแรง หาได้จาก อัตราส่วนของแรงกดต่อพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง 2) ค่าความเครียด หาได้จาก อัตราส่วนของค่าการยุบตัวต่อขนาดความยาวเดิมของไม้ในแนวรับแรง									

โครงการ.....		บฟ.มยผ. 1221-2		ทะเบียนทดสอบ.....		
สถานที่ก่อสร้าง.....		(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ในแนวตั้งฉากเส้นของไม้		ผู้ทดสอบ		
ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง.....				ผู้ตรวจสอบ		
วันที่ทดสอบ.....				อนุมัติ		
แผ่นที่.....						
รายละเอียด			ชนิดไม้ตัวอย่าง.....			
			ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1. มิติของไม้ตัวอย่าง	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	(ตร.มม.)				
	ความยาวของไม้ (L)	(มม.)				
	พื้นที่รับแรงกด(A)	(ตร.มม.)				
2. มวลของไม้ตัวอย่าง (M)		(กรัม)				
3. กำลังยึดหยุ่น ณ ชีดปฏิกภาค (S_p)		(เมกะปาสกาล)				
4. แรงกด ณ ชีดปฏิกภาค ($P_p = S_p * A$)		(นิวตัน)				
5. กำลังครากที่ระยะออฟเซท 0.05% (S_y)		(เมกะปาสกาล)				
6. แรงกด ณ จุดครากที่ระยะออฟเซท 0.05% ($P_y = S_y * A$, นิวตัน)						
7. โมดูลัสยึดหยุ่น (E) ณ ชีดปฏิกภาค ($E = S_p / \epsilon_p$)						
<p>หมายเหตุ</p> <p>ϵ_p หมายถึง ค่าความเครียด ณ ชีดปฏิกภาค</p>						

มยผ. 1222-51

มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้ (Standard Test Method for Compression Parallel to Grain)

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการศึกษาลักษณะและหาคุณสมบัติทางกลของไม้ภายใต้การรับแรงอัดในแนวขนานเส้น เพื่อหาค่าที่ต้องการ คือ โมดูลัสยืดหยุ่น กำลังยืดหยุ่น ณ ขีดปฏิบัติการ กำลังครากของไม้ ที่ระยะออฟเซต 0.05% และกำลังอัดประลัยของไม้ ตลอดจนการศึกษาลักษณะการแตกของไม้เมื่อถึงจุดวิบัติ
- 1.2 ความหมายของคำ ชั้นคุณภาพและสัญลักษณ์ ที่ใช้ในมาตรฐานการทดสอบนี้ให้เป็นไปตาม มยผ. 1104 มาตรฐานงานไม้
- 1.3 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

“โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)” หมายถึง ค่าคุณสมบัติทางกลที่ใช้วัดพิสัยความแข็งแรง (Stiffness) ของไม้ เมื่อมีแรงกระทำโดยหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรง (Stress) ต่อความเครียด (Strain)

“กำลังยืดหยุ่น ณ ขีดปฏิบัติการ (Elastic Strength at Proportional Limit)” หมายถึง หน่วยแรงที่จุดสูงสุดของส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด

“กำลังประลัย” หมายถึง หน่วยแรงสูงสุดที่เกิดจากแรงกดในแนวแกนสูงสุดแล้วทำให้ตัวอย่างไม้วิบัติ (Failure)

“กำลังคราก ที่ระยะออฟเซต 0.05% (Yielding Strength at 0.05% Offset)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงของไม้ ณ ระดับจุดตัดกันระหว่างเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดและเส้นตรงที่มีค่าความเครียดเท่ากับ 0.0005 ลากขนานกับความชันเริ่มแรกของเส้นโค้งข้างต้น

3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในมาตรฐานนี้ ประกอบด้วย

- 3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1104 : มาตรฐานงานไม้
- 3.2 มาตรฐาน ASTM D 143 Standards Test Method for Small Clear Specimens of Timber

4. เครื่องมือ

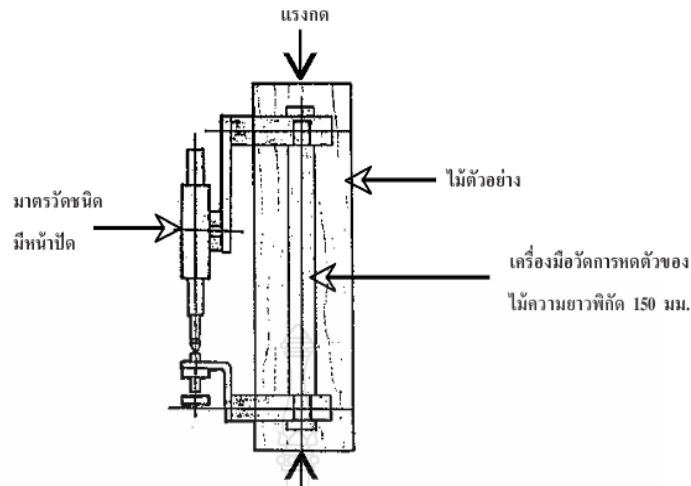
- 4.1 เครื่องทดสอบ (Universal Testing Machine)
- 4.2 มาตรวัด (Dial Gauge) การยุบตัวที่วัดได้ละเอียดถึง 0.002 มม.
- 4.3 อุปกรณ์วัดการหดตัวของไม้ชนิดที่มีความยาวพิกัด (Gauge Length) 150 มิลลิเมตร
- 4.4 เวอร์เนีย (Vernier)
- 4.5 เครื่องชั่ง ที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม และมีความถูกต้องในการชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง

5. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมไม้ตัวอย่างที่เสเรียบ (Dressed Timber) ขนาด 50X50X200 มิลลิเมตร จำนวน 3 ท่อน โดยไม้ต้องอยู่ในสภาพเรียบร้อยไม่มีรอยแตกตลอดความยาวและหน้าตัดจะต้องตั้งฉากเพื่อให้แรงกดกระจายบนหน้าตัดอย่างสม่ำเสมอ

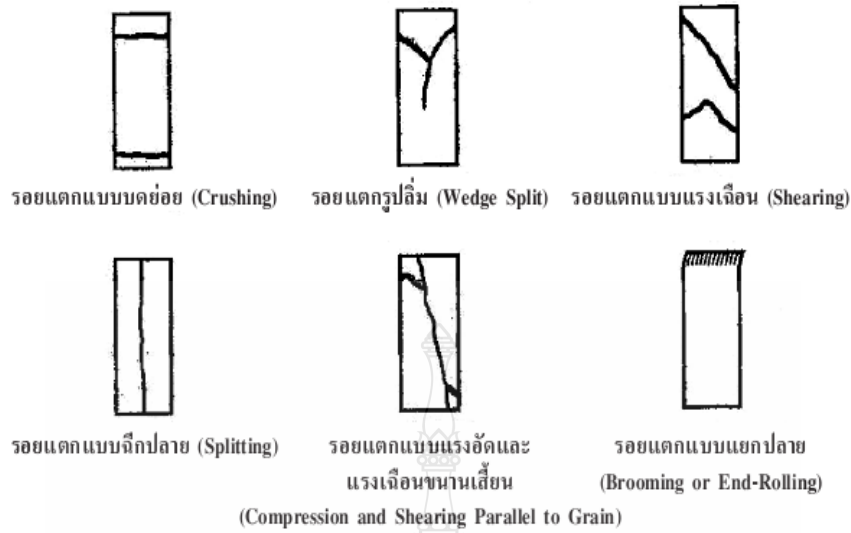
6. การทดสอบ

- 6.1 วัดขนาดหน้าตัดและความยาวของไม้ตัวอย่างโดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของขนาดที่วัด และหามวลโดยการชั่งให้มีหน่วยเป็นกรัม มีความถูกต้องในการชั่งได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง หากตัวอย่างไม้มีรอยตำหนิให้ทำเครื่องไว้ให้เห็นชัดเจน บันทึกค่าความยาวพิกัด (Gauge Length)
- 6.2 ติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวของไม้เข้ากับไม้ตัวอย่างโดยวางไม้ตัวอย่างให้ได้ศูนย์กลางกับเครื่องมือทดสอบ ปรับเข็มที่หน้าปัดของเครื่องทดสอบและมาตรวัดการยุบตัวของไม้ให้ชี้ที่ขีดศูนย์



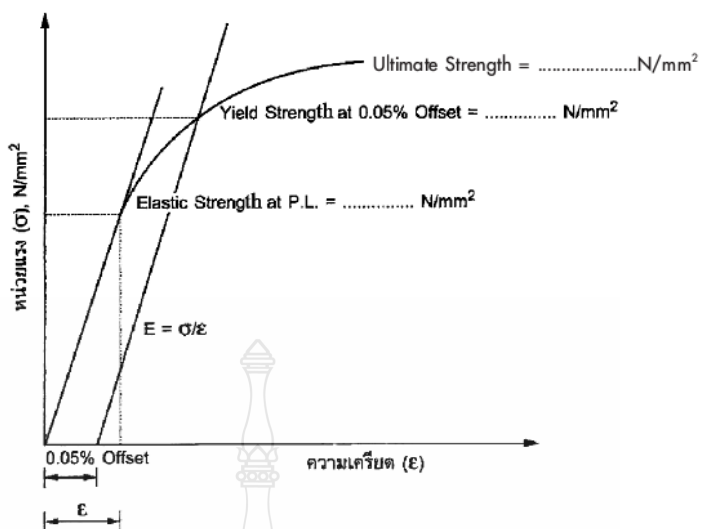
รูปที่ 1 การทดสอบหาค่าแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้
(ข้อ 6.2)

- 6.3 ให้แรงกด (Load) อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ด้วยความเร็วประมาณ 0.6 มม./นาที
- 6.4 บันทึกแรงที่กดและอัตราการยุบตัว (Deformation) ของไม้ตัวอย่างทุกๆ 2,000 นิวตัน ของแรงที่กดจนกระทั่งเกินช่วงของขีดปฏิบัติการ หลังจากนั้นให้ถอดเครื่องมือวัดการยุบตัวของไม้ ออกแล้วกดไม้ตัวอย่างไปจนถึงจุดวิบัติ พร้อมทั้งบันทึกค่าของแรงที่กดสูงสุด
- 6.5 บันทึกลักษณะการวิบัติ พร้อมทั้งเขียนภาพรอยแตกของไม้ตัวอย่างแต่ละชิ้นตามรูปแบบการแตก ดังนี้
 - 6.5.1 รอยแตกแบบบดขยี้ เกิดขึ้นเมื่อรอยแตกอยู่ในแนวขนานเสี้ยน
 - 6.5.2 รอยแตกรูปลิ้ม เกิดขึ้นเมื่อลักษณะการแตกคล้ายรูปลิ้ม โดยเส้นที่ถูกว่าอาจเป็นได้ทั้งในแนวเส้นวงปี หรือแนวเส้นสัมผัสวงปี
 - 6.5.3 รอยแตกแบบแรงเฉือนเกิดขึ้นเมื่อรอยแตกทำมุมมากกว่า 45 องศา กับด้านบนของตัวอย่างไม้
 - 6.5.4 รอยแตกแบบฉีกปลาย เกิดขึ้นเมื่อไม้ตัวอย่างมีตำหนิภายในมาก่อน
 - 6.5.5 รอยแตกแบบแรงอัดและรอยแตกแบบแรงเฉือนขนานเสี้ยนเกิดขึ้นเมื่อมีรอยแตกปรากฏในแนวขวางเสี้ยน
 - 6.5.6 รอยแตกแบบแยกปลาย เกิดขึ้นเนื่องจากบริเวณส่วนปลายของเนื้อไม้มีความชื้นมากเกินไป หรือเกิดจากการตัดไม้ตัวอย่างมาไม่ดีพอ



รูปที่ 2 รูปแบบการวิบัติของตัวอย่างไม้
(ข้อ 6.5)

6.6 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (Stress-Strain Curve) โดยให้หน่วยแรง (Stress) อยู่บนแกนตั้งและความเครียด (Strain) อยู่บนแกนนอน และให้แสดงค่า กำลังยืดหยุ่น σ จี๊ดปฏิภาค และกำลังครากของไม้ที่ระยะออฟเซต 0.05% และกำลังประลัย หากเส้นกราฟไม่ผ่านจุดเริ่มต้นให้ปรับแก้ใหม่ให้ผ่านจุดเริ่มต้นและให้มีแนวขนานกันกับแนวเดิม



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (ข้อ 6.6)

7. การคำนวณ

ให้ดำเนินการคำนวณตามวิธีที่กำหนดไว้ในแบบฟอร์ม บพ.มยพ.1222-2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้

8. การรายงานผล

ให้รายงานตามแบบฟอร์ม บพ. มยพ. 1222-1 และ บพ. มยพ. 1222-2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นของไม้

9. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

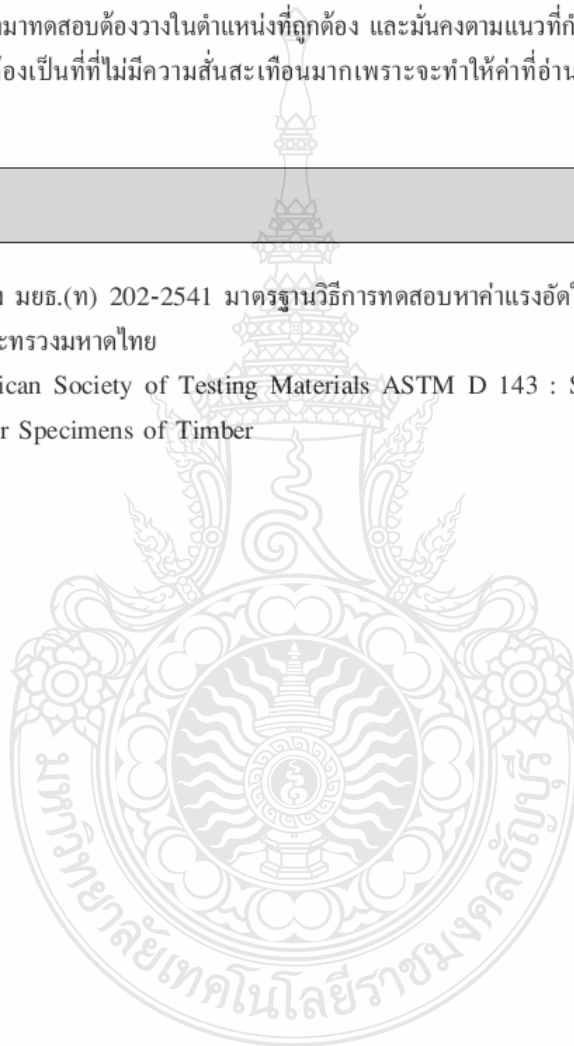
ค่าคุณสมบัติทางกลต่างๆ ของไม้ ให้เป็นไปตาม มยพ.1104 : มาตรฐานงานไม้

10. ข้อควรระวัง




- 10.1 เครื่องมือทดสอบจะต้องได้รับการสอบเทียบและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความถูกต้อง
- 10.2 ไม้ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์เรียบร้อย มีขนาดตามที่กำหนดเท่ากันตลอดทั้งท่อน และต้องไม่มีตำหนิในเนื้อไม้
- 10.3 ไม้ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้อง และมั่นคงตามแนวที่กำหนด
- 10.4 สถานที่ทดสอบต้องเป็นที่ที่ไม่มีความสั่นสะเทือนมากเพราะจะทำให้ค่าที่อ่านจากเครื่องทดสอบมีความผิดพลาดได้ง่าย

11. เอกสารอ้างอิง

- 11.1 มาตรฐานงานช่าง มยธ.(ท) 202-2541 มาตรฐานวิธีการทดสอบหาค่าแรงอัดในแนวนานสั้นของไม้ กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย
- 11.2 มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM D 143 : Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber



โครงการ..... สถานที่ก่อสร้าง..... ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง..... วันที่ทดสอบ..... แผ่นที่.....	บพ.มยผ. 1222-1						ทะเบียนทดสอบ.....			
	(หน่วยงานที่ทำกรทดสอบ)						ผู้ทดสอบ			
	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ในแนวขนานเส้นของไม้						ผู้ตรวจสอบ			
							อนุมัติ			
แรงกด P (นิวตัน)	ชนิดไม้ตัวอย่าง.....									
	ค่าการยุบตัวของไม้ (มม.)			หน่วยแรง (Stress, เมก้าปาสกาล) ¹⁾			ความเครียด (Strain) ²⁾			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	
0										
2,000										
4,000										
6,000										
8,000										
10,000										
12,000										
14,000										
16,000										
18,000										
20,000										
22,000										
24,000										
.....										
หมายเหตุ 1) ค่าหน่วยแรง หาได้จาก อัตราส่วนของแรงกดต่อพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง 2) ค่าความเครียด หาได้จาก อัตราส่วนของค่าการยุบตัวต่อขนาดความยาวเดิมของไม้ในแนวรับแรง										

โครงการ.....	บฟ.มยศ. 1222-2		ทะเบียนทดสอบ.....		
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ในแนวนอนเสี้ยนของไม้		ผู้ทดสอบ		
ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง.....			ผู้ตรวจสอบ		
วันที่ทดสอบ.....			อนุมัติ		
แผ่นที่.....					
รายละเอียด		ชนิดไม้ตัวอย่าง.....			
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1. มิติของไม้ตัวอย่าง	พื้นที่หน้าตัดของไม้ (A) (ตร.มม.)				
	ความยาวของไม้ (L) (มม.)				
2. ความยาวพิทัก	(มม.)				
3. มวลของไม้ตัวอย่าง (M)	(กรัม)				
4. กำลังขีดหุ่น ณ จุดปริภาค (S_p)	(เมก้าปาสกาล)				
5. กำลังครากที่ระยะออฟเซต 0.05% (S_y)	(เมก้าปาสกาล)				
6. กำลังอัดประลัยของไม้ (S_{Max})	(เมก้าปาสกาล)				
7. แรงกด ณ จุดวิบัติ (P_{Max})	(นิวตัน)				
8. แรงกด ณ จุดคราก ที่ระยะออฟเซต 0.05% ($P_y = S_y * A$)	(นิวตัน)				
9. แรงกด ณ จุดปริภาค ($P_p = S_p * A$)	(นิวตัน)				
10. โมดูลัสขีดหุ่น (E) ณ จุดปริภาค ($E = S_p / \epsilon_p$)					
ลักษณะการแตกของตัวอย่าง					
ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
					
ชนิดการแตก.....		ชนิดการแตก.....		ชนิดการแตก.....	

มยผ. 1224-51

มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้
(Standard Test Method for Static Bending of Timber)

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการหาคุณสมบัติทางกลของไม้ด้วยการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด เพื่อสังเกตพฤติกรรมของไม้ ลักษณะการแตกของไม้ที่จุดวิบัติเมื่อถูกแรงกระทำ และพิจารณาหาค่าที่ต้องการ คือ ค่าหน่วยแรงที่ผิวนอกของไม้ ณ ขีดปรกติ (Stress in Outer Fiber at Proportional Limit) โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (Maximum Shearing Stress) โมดูลัสคืนตัว (Modulus of Resilience) และลักษณะของการวิบัติ (Type of Failure)
- 1.2 ความหมายของคำ ชั้นคุณภาพและสัญลักษณ์ ที่ใช้ในมาตรฐานการทดสอบนี้เป็นไปตาม มยผ. 1104 มาตรฐานงานไม้
- 1.3 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของ 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

“ค่าหน่วยแรงที่ผิวนอกของไม้ ณ ขีดปรกติ (S_p , Stress in Outer Fiber at Proportional Limit)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงมากที่สุดที่กระทำบนผิวของไม้ ซึ่งไม้สามารถรับได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (Permanent Deformation)

“โมดูลัสยืดหยุ่น (E , Modulus of Elasticity)” หมายถึง ค่าคุณสมบัติทางกลที่วัดที่วัดความแข็งแรง (Stiffness) ของไม้ เมื่อมีแรงกระทำโดยหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อความเครียด

“โมดูลัสแตกร้าว (R_m , Modulus of Rupture)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำแล้ว ทำให้ตัวอย่างไม้วิบัติ

“โมดูลัสคืนตัว (R_s , Modulus of Resilience)” หมายถึง ค่าคุณสมบัติทางกลที่วัดที่วัดความเหนียว (Toughness) หรือพิกัดของค่าขีดความสามารถต่อการต้านแรงกระแทก (Shock-Resistance) ของไม้เมื่อมีแรงกระทำที่ไม้

“ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (S_{max} , Maximum Shearing Stress)” หมายถึง ค่าความสามารถของไม้ในการทนต่อแรงที่กระทำที่เนื้อไม้ส่วนหนึ่งเคลื่อนตัวหรือแยกหลุดออกจากเนื้อไม้อีกส่วนหนึ่งที่ยึดติดกัน

“น้ำหนักประลัย (L_u , Ultimate Load)” หมายถึง น้ำหนักสูงสุดที่กระทำแล้วทำให้ตัวอย่างวิบัติ

3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในมาตรฐานนี้ ประกอบด้วย

- 3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ. 1104 : มาตรฐานงานไม้

4. เครื่องมือ

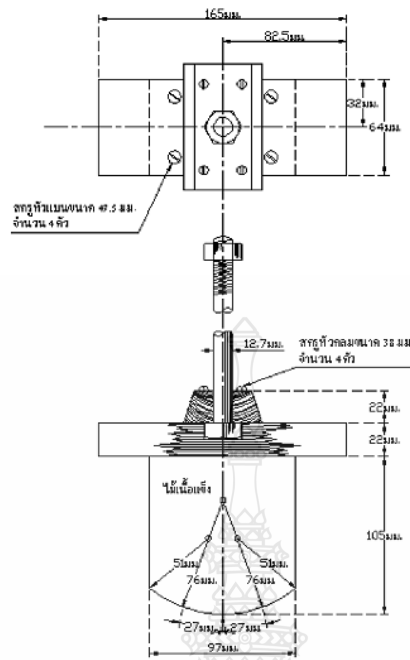
- 4.1 เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ ที่สามารถให้น้ำหนักกดได้เพียงพอสำหรับช่วงที่ใช้งานได้
- 4.2 เครื่องมือวัดการแอ่นตัวของไม้ (Dial Gauge)
- 4.3 เวอร์เนียคาลิเปอร์
- 4.4 เครื่องชั่ง ที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม และมีความถูกต้องในการชั่งได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง

5. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมไม้ตัวอย่างสี่เหลี่ยม (Dressed Timber) จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยปราศจากตาหรือตำหนิและอยู่ในสภาพเรียบร้อยไม้มีรอยแตกขนาด 50X50X760 มิลลิเมตร

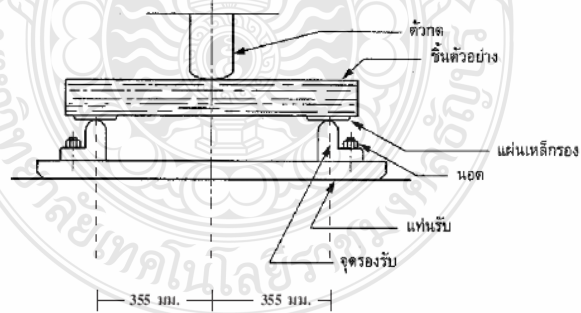
6. การทดสอบ

- 6.1 วัดขนาดของไม้ตัวอย่างโดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของขนาดที่วัด และทำการชั่งหามวลโดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง
- 6.2 เขียนภาพสามมิติของไม้ตัวอย่างลงในแบบฟอร์ม บพ. มยพ. 1224-3 โดยให้แสดงทิศทางและจำนวนวงปี ที่หน้าตัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาหลังการทดสอบ
- 6.3 กำหนดตำแหน่งของจุดรองรับให้มีระยะห่างกัน 710 มิลลิเมตร โดยจุดรองรับให้มีลักษณะเป็นสันและมีแผ่นเหล็กทรงระฆังจากจุดรองรับถึงระยะกึ่งกลางคานจะต้องไม่เกินความลึกของตัวอย่าง และสามารถปรับเลื่อนทางด้านข้างได้ เพื่อให้ตัวอย่างไม้สามารถบิดตัวได้เล็กน้อย
- 6.4 หัวกดให้มีลักษณะตามที่กำหนดไว้ใน ASTM D143 ดังแสดงในรูปที่ 1



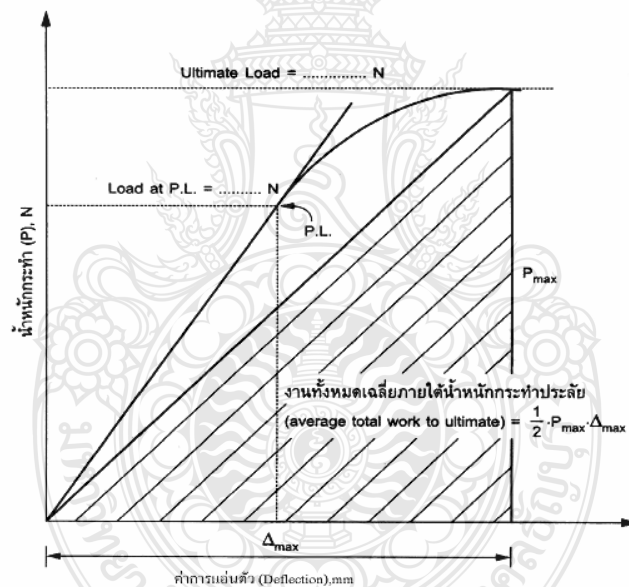
รูปที่ 1 รายละเอียดของหัวกด (Bearing Block) ตามมาตรฐาน ASTM D143 (ข้อ 6.4)

6.5 วางไม้ตัวอย่างให้ผิวสัมผัสกับเส้นวงปี (Tangential Surface) ด้านที่อยู่ใกล้ไส้ไม้ (Pith) ที่สุดหงายขึ้น และให้เครื่องทดสอบกดน้ำหนักลงมาริเวณกึ่งกลางคานตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ (ข้อ 6.5)

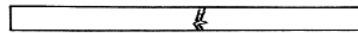
- 6.6 ปรับค่าเริ่มต้นของเครื่องมือวัดการแอ่นตัวของไม้ และเครื่องทดสอบให้อ่านค่าที่ขีดศูนย์
- 6.7 กดน้ำหนักต่อเนื่องอย่างช้าๆ ด้วยความเร็ว 2.5 มิลลิเมตร ต่อ นาที บันทึกค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของตัวอย่างไม้และน้ำหนักกดแต่ละครั้งที่เพิ่มขึ้นเป็นช่วงเท่าๆกันให้ได้ไม่ต่ำกว่า 20 ค่า จนกว่าตัวอย่างไม้มีการแอ่นตัวไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร หรือจนกว่าตัวอย่างไม้วิบัติ และให้บันทึกค่าของน้ำหนักประลัย (Ultimate Load) ลงในแบบฟอร์ม บพ. มยพ.1224-1 โดยให้บันทึกค่าการแอ่นตัวละเอียดถึง 0.02 มิลลิเมตร เมื่ออยู่ในช่วงขีดปฏิบัติการหรือมีค่าการแอ่นตัวไม่เกิน 25 มิลลิเมตร หลังจากนั้นให้บันทึกละเอียดถึง 0.2 มิลลิเมตร ในแต่ละช่วงของน้ำหนักกระทำที่เพิ่มขึ้น
- 6.8 บันทึกลักษณะของการวิบัติที่ปรากฏหลังจากที่น้ำหนักถึงจุดประลัย ในแบบฟอร์ม บพ. มยพ.1224-3
- 6.9 เก็บตัวอย่างไม้บริเวณที่วิบัติให้มีความยาว 25 มิลลิเมตร เพื่อทำการทดสอบหาค่าความชื้นของตัวอย่างไม้ โดยการทดสอบให้เป็นไปตาม มยพ. 1223 : มาตรฐานการทดสอบหาค่าความชื้นของไม้
- 6.10 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำ (Load) และการแอ่นตัว (Deflection) ของไม้โดยให้น้ำหนักกระทำเป็นแกนตั้งและการแอ่นตัวเป็นแกนนอน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3
- 6.11 คำนวณหาค่าต่างๆ ที่ต้องการดังแสดงไว้ในแบบฟอร์ม บพ. มยพ. 1224-2



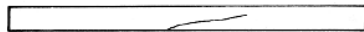
รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับค่าการแอ่นตัวของคาน (ข้อ 6.10)



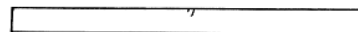
รอยแตกเนื่องจากแรงดึง (Simple Tension)



รอยแตกแบบเปราะขาด (Brash Tension)



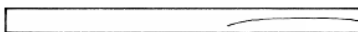
รอยแตกขวางเสี้ยน (Cross-Grain Tension)



รอยแตกเนื่องจากแรงกด (Compression)



รอยแตกแบบฟันปลา (Splintering Tension)



รอยแตกแบบฉีกตามแนวนอน (Horizontal Shear)

รูปที่ 4 ลักษณะของการวิบัติแบบต่างๆ

7. การคำนวณ

ให้ดำเนินการคำนวณตามวิธีที่กำหนดไว้ในแบบฟอร์ม บพ. มยผ. 1224-2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้

8. การรายงานผล

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์ม บพ. มยผ. 1224 - 1, บพ. มยผ. 1224 - 2 และ บพ. มยผ. 1224 - 3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้

9. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ความสามารถในการรับแรงดัดของไม้ชนิดต่างๆ ให้เป็นไปตาม มยผ. 1104 : มาตรฐานงานไม้

10. ข้อควรระวัง

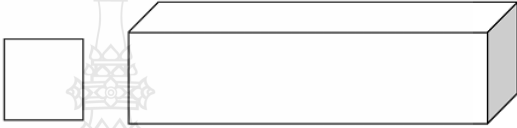


- 10.1 เครื่องมือทดสอบจะต้องได้รับการสอบเทียบและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความถูกต้อง
- 10.2 ไม้ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์เรียบร้อย มีขนาดตามที่กำหนดเท่ากันตลอดทั้งท่อน และต้องไม่มีตำหนิในเนื้อไม้
- 10.3 ไม้ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้อง และมั่นคงตามแนวที่กำหนด
- 10.4 สถานที่ทดสอบต้องเป็นที่ที่ไม่มีความสั่นสะเทือนมากเพราะจะทำให้ค่าที่อ่านจากเครื่องทดสอบมีความผิดพลาดได้ง่าย
- 10.5 การเพิ่มแรงกดลงบนไม้ตัวอย่าง ให้ดำเนินการเพิ่มแรงกดทีละน้อยอย่างช้าๆ

11. เอกสารอ้างอิง

11. มาตรฐานงานช่าง มยธ.(ท) 204-2541 มาตรฐานวิธีการทดสอบหาค่าแรงดัดของไม้ กรมโยธาธิการ
กระทรวงมหาดไทย
- 11.2 มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM D 143 : Standard Test Methods
for Small Clear Specimens of Timber

โครงการ..... สถานที่ก่อสร้าง..... ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง..... วันที่ทดสอบ..... แผ่นที่.....	บพ.มยธ. 1224-1			ทะเบียนทดสอบ.....
	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้			ผู้ทดสอบ
				ผู้ตรวจสอบ
				อนุมัติ
แรงกด P (นิวตัน)	ชนิดไม้ตัวอย่าง.....			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	
	การแ่นตัวของไม้ Δ (มม.)	การแ่นตัวของไม้ Δ (มม.)	การแ่นตัวของไม้ Δ (มม.)	
แรงกดสูงสุด (P_{max})				

โครงการ..... สถานที่ก่อสร้าง..... ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง..... วันที่ทดสอบ..... แผ่นที่.....		บพ.มยผ. 1224-2		ทะเบียนทดสอบ.....	
		(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานแรงคดของไม้		ผู้ทดสอบ	ผู้ตรวจสอบ
รายละเอียด		ชนิดไม้ตัวอย่าง.....			
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1. มิติของไม้ตัวอย่าง	ความกว้าง, b (มม.)				
	ความลึก, d (มม.)				
2. ความยาว, L (มม.)					
3. มวลของไม้ตัวอย่าง, M (กรัม)					
4. ค่าหน่วยแรงที่ขีดปลีก (S _p) (เมกาสกาล) S _p = (3/2) {(PL)/(bd ²)} (ใช้ค่า P ที่ขีดปลีก)					
5. โมดูลัสคดคร่าว (เมกาสกาล) R _u = (3/2) {(P _{max} L)/(bd ²)}					
6. โมดูลัสคดหุน (เมกาสกาล) E = (PL ³)/(4Δbd ³) (ใช้ค่า P ที่ขีดปลีก)					
7. โมดูลัสคดนิ้ว (เมกาสกาล) R _c = S _p ² /18 E (ใช้ S _p จากข้อ 4, E จากข้อ 6)					
8. ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (เมกาสกาล) S _{max} = (3/4) (P _{max} / bd)					
9. ค่างานเฉื่อยที่น้ำหนักประลัย (นิวตัน. - เมตร) W = (P _{max} Δ _{max})/2					
หมายเหตุ					

โครงการ.....	บพ.มยผ. 1224-3	ทะเบียนทดสอบ.....	
สถานที่ก่อสร้าง.....		(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานแรงคดของไม้	ผู้ทดสอบ
ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง.....	ผู้ตรวจสอบ		
วันที่ทดสอบ.....	อนุมัติ		
แผ่นที่.....			
ลักษณะของการวินาที			
ชนิดของไม้ตัวอย่าง.....			
ตัวอย่างที่ 1			
ตัวอย่างที่ 2			
ตัวอย่างที่ 3			
หมายเหตุ : ให้นำบันทึกภาพถ่ายของไม้ตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบแสดงไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย			

มยผ. 1225-51

มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงและความต้านทานการแตกของไม้ (Standard Test Method for Tensile and Cleavage Test of Timber)

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาคุณสมบัติทางกลของไม้ เมื่อมีแรงดึงในแนวตั้งฉากกับเส้นและความต้านทานการแตกของไม้
- 1.2 ความหมายของคำ ชั้นคุณภาพและสัญลักษณ์ ที่ใช้ในมาตรฐานการทดสอบนี้ให้เป็นไปตาม มยผ. 1104 : มาตรฐานงานไม้
- 1.3 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

- 2.1 “กำลังต้านทานแรงดึงของไม้ (Tensile Strength of Timber)” หมายถึง ความสามารถของไม้ในการทนต่อแรงดึงสูงสุดในแนวตั้งฉากกับเส้น
- 2.2 “ความต้านทานการแตกของไม้ (Cleavage of Timber)” หมายถึง ความสามารถในการต้านทานการฉีกของไม้ออกจากกันตามแนวเส้นเมื่อมีแรงกระทำ โดยที่แนวแตกจะอยู่ในแนวขนานเส้นและตั้งฉากกับวงปี (Radial) หรือสัมผัสกับวงปี (Tangential)

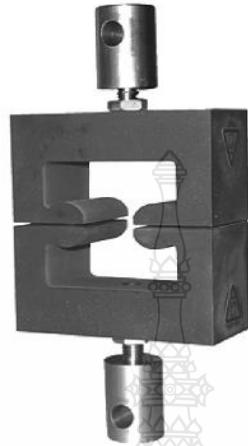
3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในมาตรฐานนี้ ประกอบด้วย

- 3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1104 : มาตรฐานงานไม้

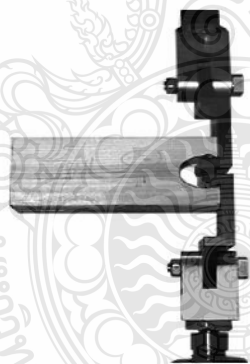
4. เครื่องมือ

- 4.1 เครื่องมือสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของไม้ มีลักษณะตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องมือทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของไม้
(ข้อ 4.1)

- 4.2 เครื่องมือสำหรับทดสอบความต้านทานการแตกของไม้ มีลักษณะตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2

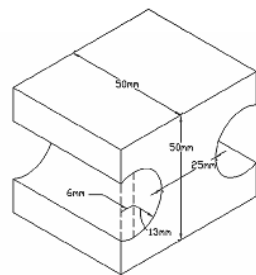


รูปที่ 2 เครื่องมือทดสอบความต้านทานการแตกของไม้
(ข้อ 4.2)

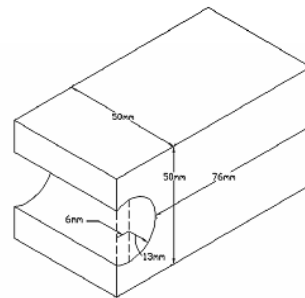
- 4.3 เวอร์เนียคาลิเปอร์
- 4.4 เครื่องชั่ง ที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม และมีความถูกต้องในการชั่งได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.2 ของมวล ตัวอย่าง

5. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมไม้ตัวอย่างที่ไสเรียบ (Dressed Timber) สำหรับการทดสอบแรงดึงของไม้และการทดสอบความต้านทานการแตกของไม้ ชนิดละ 3 ตัวอย่าง โดยให้มีลักษณะและขนาดตามที่กำหนดไว้ในแบบฟอร์ม



ขนาดตัวอย่างไม้สำหรับการทดสอบ
กำลังต้านทานแรงดึง



ขนาดตัวอย่างไม้สำหรับการทดสอบ
ความต้านทานการแตกของไม้

รูปที่ 3 ขนาดของตัวอย่างไม้ที่ใช้ในการทดสอบ
(ข้อ 5)

6. การทดสอบ

- วัดขนาดของไม้ตัวอย่างโดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของขนาดที่วัด และทำการซักรวมวลโดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของมวลตัวอย่าง
- การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของไม้ ให้วางไม้ตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์ยึดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 หลังจากนั้นให้แรงดึงกระทำอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ต่อนาที จนกระทั่งไม้ตัวอย่างเริ่มแตก บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดและเขียนภาพลักษณะการแตกในแบบฟอร์ม บพ.มยพ.1225-1 และ บพ. มยพ.1225-3 แล้วคำนวณหาค่ากำลังต้านทานแรงดึงของไม้ โดยนำค่าของแรงกระทำสูงสุดที่อ่านได้หารด้วยพื้นที่หน้าตัดบริเวณที่เล็กที่สุดของตัวอย่างไม้
- การทดสอบความต้านทานการแตกของไม้ให้วางไม้ตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์ยึดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 หลังจากนั้นให้แรงดึงกระทำอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ต่อนาที จนกระทั่งไม้ตัวอย่างเริ่มแตก บันทึกค่าแรงกระทำสูงสุดและเขียนภาพลักษณะการแตกในแบบฟอร์ม บพ. มยพ.1225-2 และ บพ. มยพ.1225-4 แล้วคำนวณหาค่าความต้านทานการแตกของไม้โดยนำค่าของแรงกระทำสูงสุดที่อ่านได้หารด้วยความกว้างของตัวอย่างไม้
- ทำการทดสอบหาค่าความชื้นของไม้ตัวอย่าง ตาม มยพ.1223 มาตรฐานการทดสอบหาค่าความชื้นของไม้ แล้วบันทึกผลการทดสอบลงในแบบฟอร์ม บพ.มยพ.1225-1 และ บพ. มยพ.1225-2

7. การคำนวณ

ให้ดำเนินการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ตามวิธีที่กำหนดไว้ตามแบบฟอร์ม บพ. มยผ. 1225-1 และ บพ. มยผ. 1225-2

8. การรายงานผล

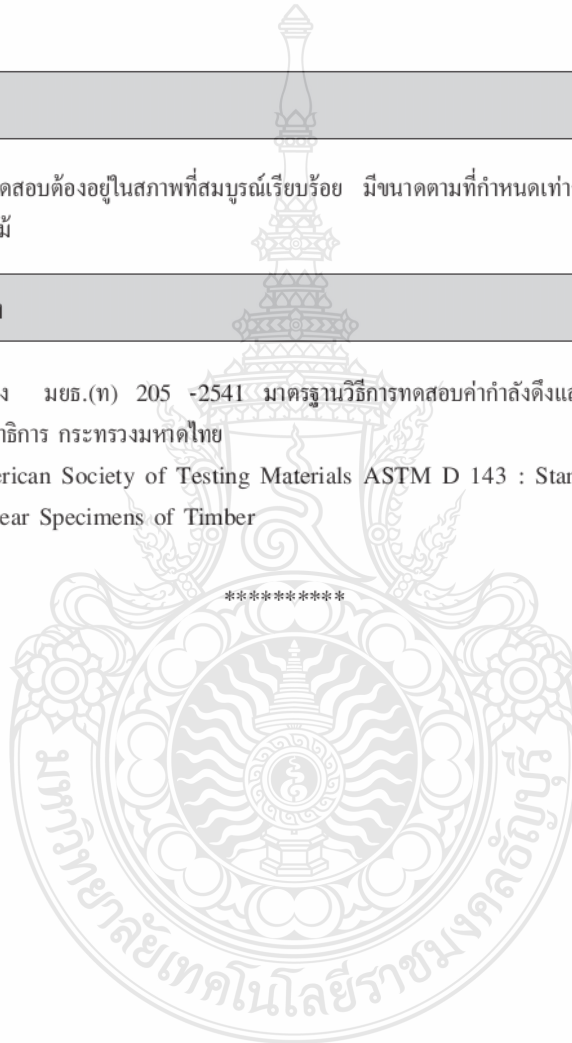
ให้รายงานผลการทดสอบตามแบบฟอร์ม บพ. มยผ. 1225-1, บพ. มยผ. 1225-2, บพ. มยผ. 1225-3 และ บพ. มยผ. 1225-4

9. ข้อควรระวัง


ไม้ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบต้องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์เรียบร้อย มีขนาดตามที่กำหนดเท่านั้นตลอดทั้งท่อน และ ต้องไม่มีตำหนิในเนื้อไม้


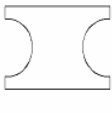

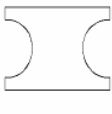


10. หนังสืออ้างอิง







- 10.1 มาตรฐานงานช่าง มยธ.(ท) 205 -2541 มาตรฐานวิธีการทดสอบค่ากำลังดึงและแรงต้านทานการแตกของไม้ กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย
- 10.2 มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM D 143 : Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

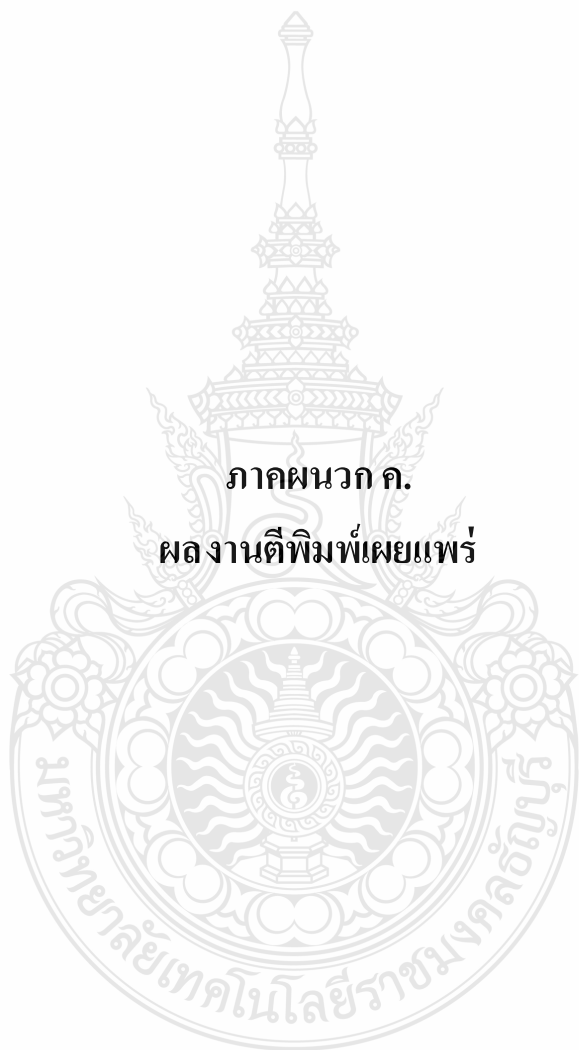


โครงการ.....	บฟ.มยผ. 1225-1		ทะเบียนทดสอบ.....	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานดึงและ ความต้านทานการแตกของไม้		ผู้ทดสอบ	
ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง.....			ผู้ตรวจสอบ	
วันที่ทดสอบ.....			อนุมัติ	
แผ่นที่.....				
การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของไม้ (Tension Test)				
รายละเอียด		ชนิดไม้ตัวอย่าง.....		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. มิติของไม้ตัวอย่าง	ความยาว (มม.)			
	ความกว้าง (มม.)			
2. ความลึกของไม้ตัวอย่าง	(มม.)			
3. มวลของไม้ตัวอย่าง	(กรัม)			
4. ความชื้นของไม้ตัวอย่าง	(ร้อยละ)			
5. พื้นที่หน้าตัดที่ใช้ทดสอบ, $A = a \times b$	(ตร.มม.)			
6. ค่าแรงดึงสูงสุด, P	(นิวตัน)			
7. ค่ากำลังต้านทานแรงดึงของไม้, $\delta = P/A$	(เมกาปาสคาล)			
8. ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดึงของไม้, δ_{AV}	(เมกาปาสคาล)			
หมายเหตุ : $A =$ พื้นที่หน้าตัดบริเวณที่เล็กที่สุดของไม้ตัวอย่าง $= a \times b$				

โครงการ.....	บพ.มยผ. 1225-2		ทะเบียนทดสอบ.....	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบหาค่ากำลังดึงและ ความต้านทานการแตกของไม้		ผู้ทดสอบ	
ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง.....			ผู้ตรวจสอบ	
วันที่ทดสอบ.....			อนุมัติ	
แผ่นที่.....				
การทดสอบความต้านทานการแตกของไม้ (Cleavage Test)				
รายละเอียด		ชนิดไม้ตัวอย่าง.....		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. มิติของไม้ตัวอย่าง	ความยาว (มม.)			
	ความกว้าง (มม.)			
2. ความลึกของไม้ตัวอย่าง	(มม.)			
3. มวลของไม้ตัวอย่าง	(กรัม)			
4. ความชื้นของไม้ตัวอย่าง	(ร้อยละ)			
5. ค่าแรงดึงสูงสุด, P	(นิวตัน)			
6. ค่าความต้านทานการแตกของไม้, (P/b)	(นิวตัน/มม.)			
7. ค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกของไม้	(นิวตัน/มม.)			
<p>หมายเหตุ : b = ความกว้างของไม้ตัวอย่าง</p> 				

โครงการ.....	บพ.มยผ. 1225-3	ทะเบียนทดสอบ.....	
สถานที่ก่อสร้าง.....		(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของไม้	ผู้ทดสอบ
ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง.....	ผู้ตรวจสอบ		
วันที่ทดสอบ.....	อนุมัติ		
แผ่นที่.....			
ลักษณะของการวิบัติ			
ชนิดของไม้ตัวอย่าง.....			
ตัวอย่างที่ 1			
ตัวอย่างที่ 2			
ตัวอย่างที่ 3			
หมายเหตุ : ให้บันทึกภาพถ่ายของไม้ตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบแสดงไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย			

โครงการ.....	บพ.มยผ. 1225-4	ทะเบียนทดสอบ.....	
สถานที่ก่อสร้าง.....		(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบกำลังต้านทานการแตกของไม้	ผู้ทดสอบ
ตำแหน่งโครงสร้างที่เก็บตัวอย่าง.....	ผู้ตรวจสอบ		
วันที่ทดสอบ.....	อนุมัติ		
แผ่นที่.....			
ลักษณะของการวัด			
ชนิดของไม้ตัวอย่าง.....			
ตัวอย่างที่ 1			
ตัวอย่างที่ 2			
ตัวอย่างที่ 3			
หมายเหตุ : ให้บันทึกภาพถ่ายของไม้ตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบแสดงไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย			



ภาคผนวก ค.

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



การประชุมวิชาการ 21 ครั้งที่ 21 วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ

The 21st National Convention on Civil Engineering

“วิศวกรรมโยธาสู่พรมแดนใหม่และความท้าทายในอนาคต”

“Civil Engineering for Future Challenges and New Frontiers”

www.ncce21.org



28-30 มิถุนายน 2559

โรงแรม บีพี สมิหลา บีช สงขลา

28 - 30 June 2016

BP Samila Beach Hotel, Songkhla



สารนายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ได้มีการจัดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 เป็นต้นมา และได้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วสท. ร่วมกับ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาของมหาวิทยาลัยทั่วประเทศ ในครั้งนี้ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา ได้เป็นเจ้าภาพร่วมกับ วสท. ในการจัดการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 28-30 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรม บีพี สมิทลา บีช สงขลา จังหวัดสงขลา การจัดการประชุมทางวิชาการ ถือได้ว่าเป็นสาระสำคัญที่สุดในวงการวิชาชีพ เนื่องจากเป็นโอกาสที่คนในวงการวิศวกรรมโยธาได้มานำเสนอแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ รวมทั้งสร้างสรรค์ความสัมพันธอันดี และพัฒนาวิชาชีพให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

การจัดการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 นี้ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา ได้ให้เกียรติเป็นเจ้าภาพ ซึ่งถือว่าเป็นภารกิจที่ยิ่งใหญ่ เนื่องจากจำนวนผู้เข้าร่วมประชุมในปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้การบริหารจัดการมีความยุ่งยากสลับซับซ้อนมากขึ้น ในนามของนายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยและบุคลากรที่เกี่ยวข้องในการจัดงาน รวมทั้งสถาบันการศึกษา ตลอดจนองค์กร ห้างร้าน บริษัทต่างๆ ที่ให้การสนับสนุนการจัดการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 จนได้รับผลสำเร็จที่ดีเยี่ยม และหวังว่าทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะให้ความร่วมมือ ในการจัดการประชุมครั้งต่อไปเช่นเดียวกัน อันจะนำมาซึ่งความสำเร็จและประโยชน์ร่วมกันของวงการวิศวกรรมโยธา

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
ประจำปี พ.ศ. 2557-2559

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21

1.	ศ.ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2.	ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3.	ศ.ดร.ธีรพงศ์ แสนจันทร์พิไชย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4.	ศ.ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5.	รศ.ดร.เกษม ชูจารุกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6.	รศ.ดร.จรรุญ รุ่งอมรัตน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7.	รศ.ดร.จิตติชัย รุจนาคนกนาฎ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8.	รศ.ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9.	รศ.ดร.บรรเจิด พละการ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10.	รศ.ดร.ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมพงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11.	รศ.ดร.สรวิศ นฤปิติ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12.	รศ.ดร.อัครวิชร เล่นาวารี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13.	ผศ.ดร.ณัทรพันธ์ จินตนาภักดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14.	ผศ.ดร.ธเนศ ศรีศิริโรจนากร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15.	ผศ.ดร.นพดล จอกแก้ว	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16.	อ.ดร.พิชชา จอองวิวัฒน์กุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
17.	อ.ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
18.	รศ.ดร.ก่อโชค จันทร์วางกูร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
19.	ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ ปิติคุณพงศ์สุข	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
20.	ผศ.ดร.ปิยนุช เวทย์วิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
21.	ผศ.ดร.สุปวีร์ดี กุศลาคัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
22.	อ.ดร.สุริยน เปรมปราโมทย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
23.	อ.ดร.สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
24.	ผศ.ดร.นันทวัฒน์ ชมหวาน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
25.	อ.ดร.บัณฑิตา กสิกิจวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
26.	ผศ.ต่อศักดิ์ ประเสริฐสังข์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
27.	อ.ทศพล จตุระปูล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
28.	รศ.ดร.ชวเลข วัฒนเวทิน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
29.	รศ.ดร.วีชรินทร์ วิทย์กุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
30.	รศ.ดร.วินชัย ยอดสุดใจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
31.	รศ.ดร.สุธาธิน สถาปิตานนท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
32.	ผศ.ดร.ก้องพัฒน์ ภู่วรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
33.	ผศ.ดร.วีระเกษมกร สวานผูก	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
34.	ผศ.ดร.อดิชัย พรพรหมินทร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
35.	ผศ.ดร.เอกชัย ศิริกิจพานิชย์กุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
36.	อ.ดร.สโรช บุญศิริพันธ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

วิศวกรรมโยธาสู่พรมแดนใหม่และความท้าทายในอนาคต "Civil Engineering for Future Challenges and New Frontiers"

ณ โรงแรม บีพี สมิทลา บีช สงขลา จังหวัดสงขลา

-VII-



37. อ.ดร.สุภาพร แก้วกอก เลี้ยวไฟโรจน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
38. ผศ.ดร.วิจันวงศ์ กรีฬละ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สกลนคร
39. รศ.ดร.พงศกร พรธมนรัตนศิลป์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
40. รศ.ดร.วันชัย สะตะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
41. ผศ.ดร.กิตติเวช ชื่นดีวิชัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
42. ผศ.ดร.ดลฤดี หอมดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
43. ผศ.ดร.ธเนศ เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
44. ผศ.ดร.ลัดดา ตันวานิชกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
45. ผศ.ดร.วิชุดา เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
46. รศ.ดร.ธนพร สุปรีย์ศิลป์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
47. ผศ.ดร.อวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
48. อ.ดร.เกรียงไกร อรุณทยานันท์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
49. อ.ดร.ปริดา พิษยาพันธ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
50. อ.ดร.อรรณวิทย์ อุโยคิน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
51. ผศ.ดร.อุมา สีนุญเรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
52. รศ.ดร.ทวิช พูลเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
53. รศ.ดร.พรเกษม จงประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
54. รศ.ดร.วรัช ก้องกิจกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
55. รศ.ดร.วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
56. ผศ.ดร.ชูชัย สุจิรวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
57. ผศ.ดร.ธิดารัตน์ บุญศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
58. ผศ.ดร.พิชญ์ สุธีวรธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
59. ผศ.ดร.วีรชาติ ตั้งจิรภัทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
60. ผศ.ดร.สมโพธิ อยู่ไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
61. อ.ดร.ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
62. อ.ดร.ทรงเกียรติ ภัทรปัทมาวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
63. อ.ดร.นงลักษณ์ บุญรัตน์กิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
64. ศ.ดร.ปิติ สุคนธ์สุขกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
65. รศ.ดร.กมลวิทย์ ลือประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
66. รศ.ดร.กิตติชัย ธนทรัพย์สิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
67. รศ.ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
68. รศ.ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
69. รศ.ดร.สุพรชัย อุทัยนฤมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
70. ผศ.ดร.กวิน ตันดีเสวี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
71. ผศ.ดร.ชัยรัตน์ ชีระวัฒน์สุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
72. ผศ.ดร.ชัยศาสตร์ สกฤตศักดิ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
73. ผศ.ดร.มานะ สรรพกิจพิทาคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
74. ผศ.ดร.ศักดิ์ดา กคเวทวารักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
75. ผศ.ดร.สุชัยญา โปษะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
76. อ.สุรัตน์ ศรีจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

77. รศ.ดร.สายสุนีย์ พุทธาคูณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
78. ผศ.ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
79. อ.ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
80. อ.ดร.สนธยา ทองอรุณศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
81. รศ.จรรุญ เจริญเนตรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
82. รศ.มนัส อนุศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
83. ผศ.จรรุญ สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
84. ผศ.จุฑามาศ สักกะณะกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
85. ผศ.ดร.นันทชัย ชูศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
86. ผศ.ดร.ภาณุ พรหมพุดธางกูร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
87. ผศ.พรนราภรณ์ บุญวาศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
88. อ.ดร.ชลัท ทิพากรเกียรติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
89. ผศ.ดร.เกียรติสุดา สมณา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
90. อ.ดร.รัฐพล สมณา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
91. รศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
92. ผศ.ดร.ฉัตรชัย โชติขุฑูยางกูร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
93. ผศ.ดร.ปรีชาพร โกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
94. ผศ.ดร.พรพจน์ ดันเส็ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
95. ผศ.ดร.รัฐพล กุบุบผาพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
96. รศ.ดร.ชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
97. รศ.ดร.บุรฉัตร ฉัตรวีระ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
98. รศ.ดร.สายันต์ ศิริมนตรี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
99. ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิเศษเจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
100. อ.ดร.กำพล ทรัพย์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
101. อ.ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา	มหาวิทยาลัยนเรศวร
102. อ.ดร.ศิริชัย ดันรัตนวงศ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
103. อ.ภัคพงศ์ ทอมเนียม	มหาวิทยาลัยนเรศวร
104. ผศ.ดร.ทวีชัย สำราญวานิช	มหาวิทยาลัยบูรพา
105. ผศ.ดร.ธรรมบุญ รัศมีมาศเมือง	มหาวิทยาลัยบูรพา
106. ผศ.ดร.สมบูรณ์ เชื้อยฉิน	มหาวิทยาลัยพะเยา
107. ผศ.ดร.สยาม ยิมศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
108. อ.ดร.สูติมา วงศ์อินตา	มหาวิทยาลัยบูรพา
109. อ.ดร.ปิติ โรจน์วรรณสินธุ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
110. อ.ดร.พัชรพงษ์ อาสนจินดา	มหาวิทยาลัยบูรพา
111. อ.ดร.เพชรรัตน์ ลิ้มสุปรีyaratน์	มหาวิทยาลัยบูรพา
112. อ.ดร.วรรณวรางค์ รัตนาณิกม	มหาวิทยาลัยบูรพา
113. ผศ.ดร.สมชาย ปฐมศิริ	มหาวิทยาลัยมหิดล
114. อ.ดร.ชลลดา เลาะฟอ	มหาวิทยาลัยมหิดล
115. อ.ดร.วศพร เตชะพิรพานิช	มหาวิทยาลัยมหิดล
116. ผศ.ดร.ภาสกร ชัยวิริยะวงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21
วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559 จ.สงขลา

The 21st National Convention on Civil Engineering
28-30 June 2016, Songkhla, THAILAND

รหัสบทความ	บทความ
220	การออกแบบการซ่อมแซมคานภายหลังเพลิงไหม้ด้วยแผ่น CFRP สิทธิชัย พิริยคุณธร, ปฐเมศ ฉาฉัตรพจนาน, พงศ์อินทร์ อินทฤทธิ์
421	สมรรถนะในการรับแรงคดของคานไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่น CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ชัชวาล พันศรี, หมิง จิ่ง
489	การศึกษาแนวทางการเสริมกำลังคานคอนกรีตที่ร้าวในภาวะใช้งานโดยใช้วัสดุใยสังเคราะห์ ทนงศักดิ์ อิมใจ, พงษ์ อุ่นเจริญ
425	สมรรถนะของแผ่นคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กเมื่อรับแรงระเบิด ศักดิ์เกษม สุวรรณรัตน์, วิฑิต ปานสุข, กิ่งดีไชย ธนาพรวิจิตรดี, ณัฐพร นุคยะสกุล
501	พฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังโดยการหุ้มด้วยเฟอร์ไรซ์ซีเมนต์ สรินทร แก้วพิง, สายันต์ ศิริมนตรี

พักรับประทานอาหารว่าง

ห้องสงขลา 1	วันพุธที่ 29 มิถุนายน 2559
ประธานการนำเสนอบทความ	
เวลา 10.15 – 12.00 น.	

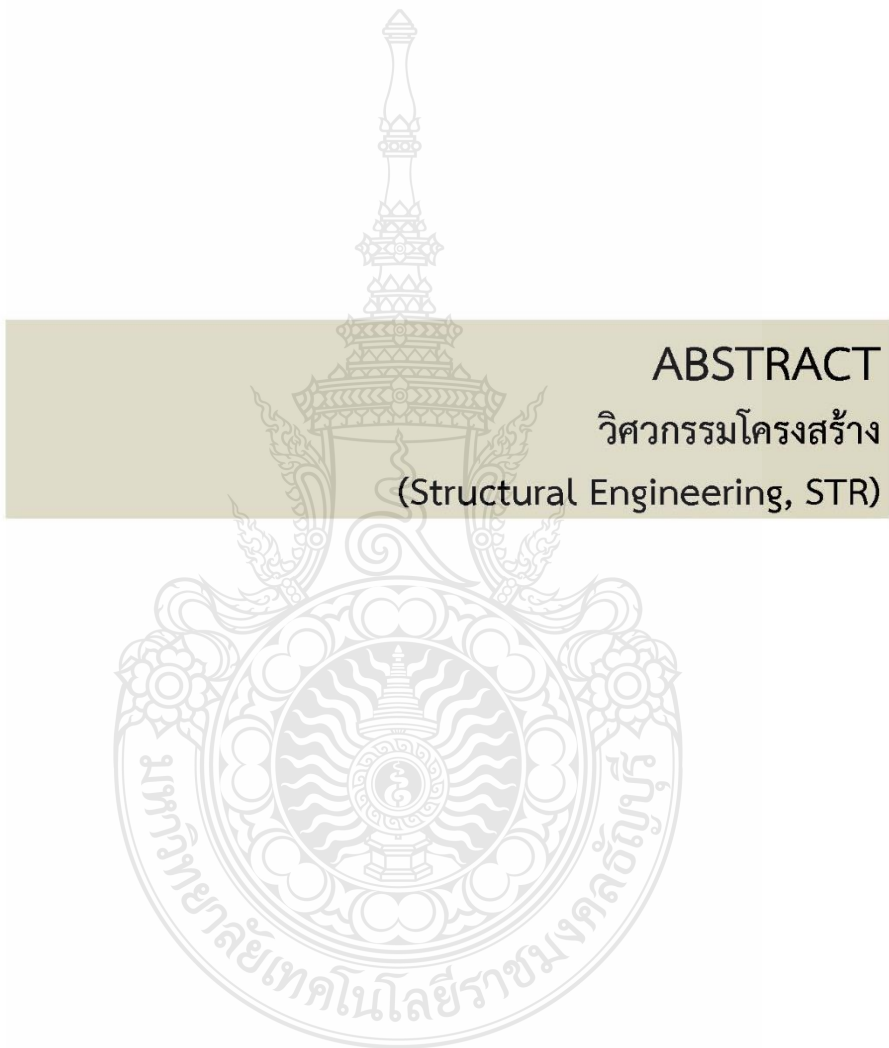
รหัสบทความ	บทความ
50	อีลาสติคคาของโครงสร้างโค้งแบบครึ่งวงกลมภายใต้แรงกระทำแบบจุดที่ติดตามการเสีรูปของโครงสร้าง พีระภัทร์ กาญจนประเสริฐ, สมชาย ชูชีพสกุล
142	Coupled Electromechanical Responses of Imperfect Bonding Piezoelectric Composites K. Chuennaitham, K. Krikavee, Y. Sapsathiam
143	การศึกษาเสถียรภาพของโครงสร้างและพฤติกรรมการพังทลายของคันทันน้ำจากกระสอบทราย สมพงษ์ ชื่นอิม, รุ่งนภา เกตุเหล็ก, ชัชวาล ทวีรุจิโรจน์, รัฐนันท์ ทิพย์ผลาลูกกุล
147	Analysis for Generalized T-stresses of Cracks in 3D Piezoelectric Media under Various Crack-Face Conditions วารุจ ลิ้มวิบูลย์, จริญญา รุ่งอมรรรัตน์, วีรพร พงศ์ติณบุตร
165	Exact Solution of Generalized T-stress Components for Penny-Shaped Crack in Linear Piezoelectric Medium under Various Crack-face Conditions Vichet Chan Pich, Weeraporn Phongtinnaboot, Jaroon Rungamomrat
277	An h-hierarchical Adaptive Scaled Boundary Finite Element Method (SBFEM) for Kirchhoff's Plate Bending Problems Siriporn Thongpaknum, Jaroon Rungamomrat
282	การประยุกต์ใช้วิธีการแปลงเชิงอนุพันธ์ในการหาค่าการโก่งคดของเสายึดหุ่นที่สภาพการยึดรั้งที่ปลายสามารถปรับเปลี่ยนได้ บุญชัย ผึ้งไผ่งาม
503	Analytical Solution for Axial Loading on Piezocomposite Cylinder Wichairat Kaewjuea, Katanyu Jittakan

พักรับประทานอาหารกลางวัน

วิศวกรรมโยธาสู่พรมแดนใหม่และความท้าทายในอนาคต "Civil Engineering for Future Challenges and New Frontiers"

ณ โรงแรม บีพี สมิทลา บีช สงขลา จังหวัดสงขลา

XXVIII



ABSTRACT

วิศวกรรมโครงสร้าง
(Structural Engineering, STR)



สมรรถนะในการรับแรงดัดของคานไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่น CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) Flexural performance of timber beams strengthened with CFRP sheet

นายชัชวาล พันศรี¹ และ ผศ.ดร.หิมาง จิ๋ว²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

การก่อสร้างที่ต้องใช้โครงสร้างไม้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง วัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างควรเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดี แข็งแรงทนทานและรับน้ำหนักได้ดี ดังนั้น จึงมีการคิดค้นวัสดุที่ช่วยเสริมโครงสร้างไม้ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น นั่นคือ การเสริมเส้นใยแก้ว Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนทาน และมีความสมบัติที่สามารถทนต่อการรับแรงต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ในงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยสมรรถนะในการรับแรงดัดของคานไม้ที่เสริมแรงด้วยแผ่น CFRP โดยการทดสอบนี้ แบ่งออก เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่หนึ่ง การทดสอบหาคุณสมบัติของคานไม้เต็ง ได้แก่ ทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเส้นไม้ ขนานกับเส้นไม้ แรงดัดของไม้ และกำลังต้านทานแรงดึงของไม้ ซึ่งการทดสอบดังกล่าวเพื่อนำมาจัดกลุ่มของไม้ตัวอย่าง และประเภทที่สอง การทดสอบของคานไม้เต็งทั้ง 6 ตัวอย่าง ซึ่งหน้าตัดของคานไม้เต็งเป็น สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร ได้มีการเสริมแผ่น CFRP จำนวน 3 ตัวอย่าง และไม้เสริมแผ่น CFRP จำนวน 3 ตัวอย่าง นั้น ผลการทดสอบพบว่า คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP สามารถรับแรงได้มากขึ้น แต่ความสามารถที่รับแรงนั้นมีความแตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลของไม้ในกลุ่มที่ 1 คานไม้เต็งที่เสริมแผ่น CFRP แล้วช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 23.60 ในกลุ่มที่ 2 คานไม้เต็งที่เสริมแผ่น CFRP แล้วช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 40.00 ในกลุ่มที่ 3 คานไม้เต็งที่เสริมแผ่น CFRP แล้วช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 78.26.

คำสำคัญ: คานไม้, แผ่นโพลีเมอร์คาร์บอนใยเสริม, สมรรถนะในการรับแรงดัด

Abstract

The main material for timber construction is wood, which should be in high quality and has good durability and enough strength to resist loads. Currently, a new method used to improve the strength of wood structure is to strengthen by using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). CFRP is one type of polymers with light weight, good durability and high strength. This paper presents the test study on the flexural

performance of CFRP sheets strengthened timber beams. It concludes two parts. The first part is to test the mechanical properties of timber samples, including the test of compression strength perpendicular to grain and parallel to grain, the static bending and tensile test. The second part is to test six timber beams with square cross section of 10 cm and span length of 120 cm. Three beam samples are strengthened with CFRP sheets and other three beams are un-strengthened. The experiment results show that, the strengthening effects of CFRP sheets to timber beams are different, depending on the mechanical properties of wood. In the first group, the timber beams with CFRP sheets could resist loads more than about 23.60 percent. In the second group, the increase is about 40.00 percent and in the third group about 78.26 percent.

Keywords: Timber beams, Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Flexural performance

1. บทนำ

โบราณสถานในประเทศไทยเป็นสิ่งก่อสร้างที่มีอายุยาวนานและเป็นสิ่งสำคัญในการบ่งบอกถึงประเพณี วัฒนธรรม ตลอดจนความรู้ความชำนาญ ในการใช้เทคโนโลยีในงานก่อสร้างในแต่ละยุค โบราณสถานในสมัยก่อนจะใช้ไม้เป็นวัสดุก่อสร้างหลัก พอที่จะใช้ไม้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง โบราณสถานได้ ด้วยลักษณะของโครงสร้างโบราณสถานเป็นโครงสร้างไม้ และมีอายุหลายร้อยปี จึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซ้ำรอยเสียหายและอาจนำไปสู่การวิบัติได้ ดังนั้นการบูรณะซ่อมแซมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อคงสภาพของโบราณสถานเอาไว้

ในอดีตจนถึงปัจจุบันการซ่อมแซมไม้ที่มีการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นเวลานาน ทั้งความชื้น ความร้อน สภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้มีความจำเป็นต้องหาวิธีการซ่อมบำรุงซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การคิดค้นเหล็กที่ไม้เพื่อเสริมการรับน้ำหนักของคานไม้ และการเทคอนกรีตหุ้มเสาไม้เพื่อเพิ่มการรับน้ำหนัก แต่เนื่องจากวิธีการดังกล่าวทำให้โครงสร้างไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงจำเป็นต้องหาวิธีการซ่อมแซมโครงสร้างไม้แบบอื่นๆ เพื่อคงสภาพเดิมมากที่สุด ซึ่งในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการใช้วัสดุเสริมแรง Carbon Fiber-Reinforced Polymer

(CFRP) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนทาน มีความยืดหยุ่น ทนทานต่อ สภาพอากาศ การผุกร่อนต่ออุทกศาสตร์เคมี กรด ด่าง ได้ดี ไม่เป็นสนิม อายุการใช้งานยาวนาน และโดยเฉพาะคุณสมบัติเด่นที่มีความแข็งแรงสามารถทนแรงดึงได้

เนื่องจากแผ่น CFRP มีคุณสมบัติ ที่มีกำลังรับแรงดึงประลัยสูง น้ำหนักเบา สะดวกต่อการใช้งาน ทนต่อการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อมได้ การเสริมกำลังโครงสร้างด้วยแผ่น Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) ซึ่งกำลังได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง การเสริมกำลังคานไม้ให้มีกำลังรับแรงดึงสูงขึ้น ทำโดยยึดติดแผ่น CFRP ไว้ที่ผิว ด้านล่างของคานในส่วนที่รับแรงดึง เมื่อคานรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น แผ่น CFRP จะช่วยในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้นทำให้คานมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเสริมกำลังรับแรงดึงของคานและพื้น จากการใช้แผ่น CFRP ยึดติด ไว้ในตำแหน่งรับแรงดึงด้วย Epoxy ไปสู่การใช้เนื้อเดียวกับ Epoxy จนกระทั่งไปสู่ระบบอัดแรง โดยการติดตั้ง แผ่น CFRP เพื่ออัดแรงเข้าสู่คาน แล้วยึดแผ่น CFRP ไว้ที่คานด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม ทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมแบบคานอัดแรง ซึ่งสามารถรับโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกได้สูงกว่าการเสริมกำลังแบบไม่อัดแรง อีกทั้งยังช่วยลดการแอ่นตัวของคาน

2. ตัวอย่างการทดสอบและการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- คานไม้ที่ใช้ในการทดสอบขนาด 100x100x1200 mm. ซึ่งใช้ในการทดสอบการงอตามมาตรฐาน ASTM D143
- แผ่น CFRP มีชื่อทางการค้าว่า Nibichi CFU20 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

Tensile Strength	> 3100 MPa
Tensile Modulus	> 230 GPa
Elongation	> 1,5%
Elongation at break	> 2,1%



รูปที่ 1 แผ่น CFRP ที่ใช้ในการทดสอบ

2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของคานไม้ที่นำมาทดสอบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติต่างๆ ของคานไม้ที่นำมาทดสอบ

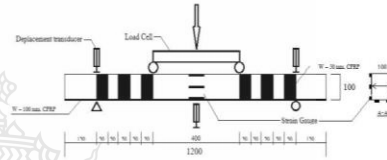
No.	Tension (ksc)	Compression (ksc)		Bending (ksc)	CFRP
		ตั้งฉากกับ	ตั้งฉากกับ		
B1	38.29	139.73	131.82	605.38	ไม่ติดแผ่น
B4	38.29	134.59	131.01	603.10	ติดแผ่น CFRP
B2	38.06	91.78	139.69	690.30	ไม่ติดแผ่น
B5	38.16	91.78	218.72	704.40	ติดแผ่น CFRP
B3	37.92	71.64	129.50	519.40	ไม่ติดแผ่น
B6	37.99	66.46	102.71	583.67	ติดแผ่น CFRP

2.3 รูปแบบการทดสอบ

ตารางที่ 2 ตารางรูปแบบการทดลอง

ที่	จำนวน	รายการทดสอบ	ลักษณะ
1	3	คานไม้	
2	3	คานไม้ที่ติดแผ่น CFRP	

3. วิธีการทดสอบคานไม้ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)



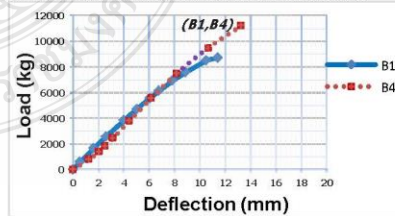
รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge และ Displacement transducer

ติดตั้งตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 เข้ากับเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง หรือ ทั้งติดตั้ง Strain Gauge โดยใช้กาวในการยึดเกาะและ Displacement transducer ไว้ในตำแหน่งกลางของคานไม้ ส่งผลมายัง Data Logger เพื่อส่งข้อมูลไปเก็บที่คอมพิวเตอร์ เพิ่มแรงดัดให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain และความสัมพันธ์ระหว่าง Strain ที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดคานไม้

4. ผลการทดสอบ

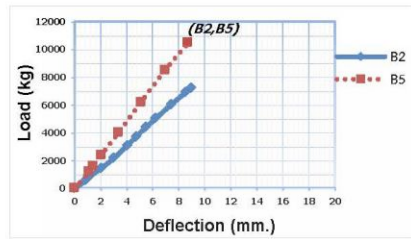
4.1 ผลการทดสอบแรงดัดคานไม้

การทดสอบแรงดัดคานไม้ (B1, B2, B3) และคานไม้ติดแผ่น CFRP (B4, B5, B6) ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร โดยการอ่นน้ำหนักลงที่ตัวคานไม้ และทำการวัดการโก่งตัวค่าขีดหัดของคานไม้ที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 2 ชนิด ได้ผลการทดสอบดังนี้



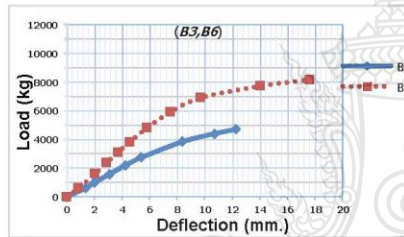
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection (B1, B4)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) เปรียบเทียบกับคานไม้ธรรมดา(B1) แสดงให้เห็นว่า คานไม้ที่ติดแผ่น CFRP นั้น สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าคานไม้ธรรมดา ประมาณร้อยละ 23.60 ดังแสดงในรูปที่ 3 (B1,B4)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection (B2,B5)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B5) เปรียบเทียบกับคานไม้ธรรมดา(B2) แสดงให้เห็นว่า คานไม้ที่ติดแผ่น CFRP นั้น สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าคานไม้ธรรมดา ประมาณร้อยละ 40.00 ดังแสดงในรูปที่ 4 (B2,B5)

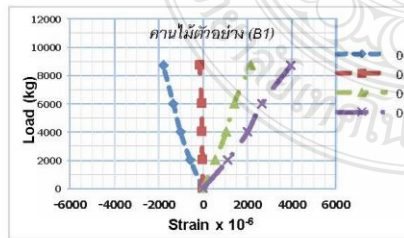


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection (B3,B6)

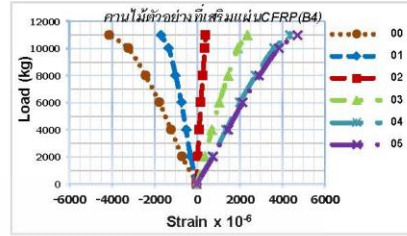
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B6) เปรียบเทียบกับคานไม้ธรรมดา(B3) แสดงให้เห็นว่า คานไม้ที่ติดแผ่น CFRP นั้น สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าคานไม้ธรรมดา ประมาณร้อยละ 78.26 ดังแสดงในรูปที่ 5 (B3,B6)

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain

วิเคราะห์ค่ารับแรงและค่ายืดหดตัวของคานไม้เชิงธรรมดานี้และคานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP

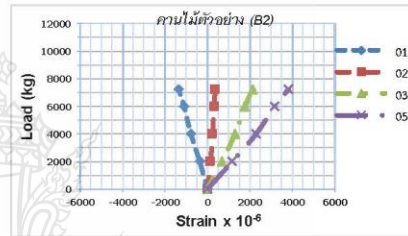


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B1)

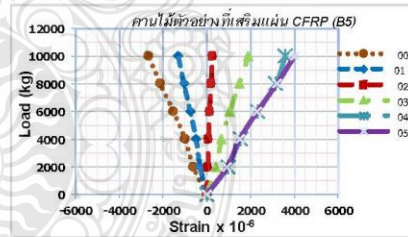


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B4)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ธรรมดา(B1) กับคานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) แสดงให้เห็นว่า คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) นั้น สามารถรับแรงดึงได้มากกว่า และมีค่ายืดหดตัวน้อยกว่าคานไม้ธรรมดา(B1) ประมาณร้อยละ 37.50 ดังแสดงในรูปที่ 6, 7 (B1,B4)

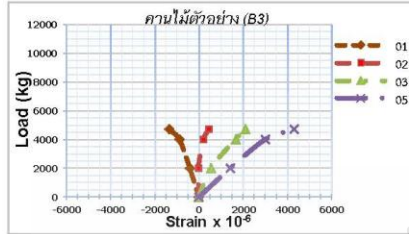


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B2)

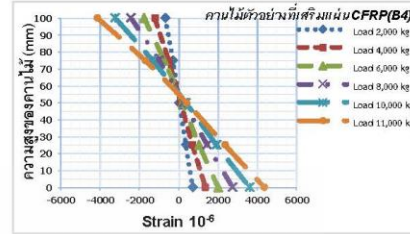


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B5)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ธรรมดา(B2) กับคานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) แสดงให้เห็นว่า คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B5) นั้น สามารถรับแรงดึงได้มากกว่า และมีค่ายืดหดตัวน้อยกว่าคานไม้ธรรมดา(B1) ประมาณร้อยละ 25.00 ดังแสดงในรูปที่ 8,9 (B2,B5)

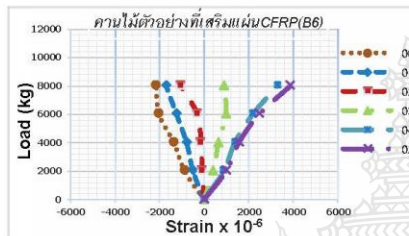


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B3)



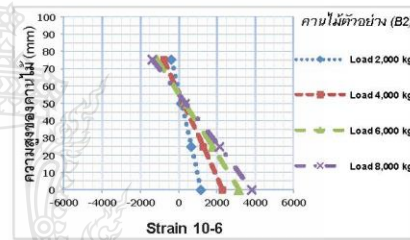
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B4)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Strain ที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดคานไม้ แสดงให้เห็นว่า ขณะที่รับน้ำหนัก 8,000 กิโลกรัม คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) จะมีค่าความยืดหดตัวต่ำกว่าคานไม้ธรรมดา(B1) ประมาณร้อยละ 55.00 ที่ตำแหน่งรับแรงอัด 75.00 มิลลิเมตร และรับแรงดึงที่ 10.00 มิลลิเมตร มีค่าความยืดหดตัวมีค่าน้อยลงประมาณร้อยละ 31.25 ดังแสดงในรูปที่ 12, 13 (B1,B4)



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B6)

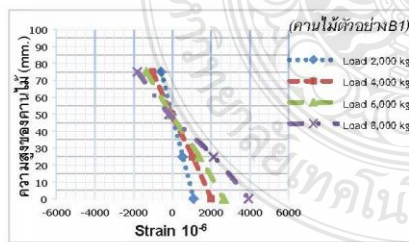
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของคานไม้ธรรมดา(B3) กับคานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) แสดงให้เห็นว่า คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B6) นั้น สามารถรับแรงดึงได้มากกว่า และมีค่ายืดหดตัวน้อยกว่าคานไม้ธรรมดา(B1) ประมาณร้อยละ 33.33 ดังแสดงในรูปที่ 10,11 (B3,B6)



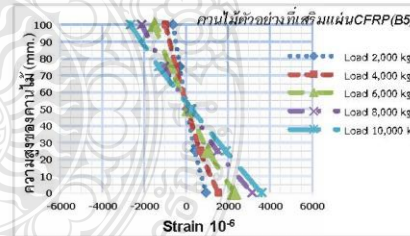
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B2)

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strain ที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดคานไม้

ความสูงของหน้าตัดไม้ โดยอ้างอิงจากผิวล่างขึ้นบน ซึ่งผิวล่างเริ่มที่ 0.00 ถึงผิวบน 100.00 มิลลิเมตร

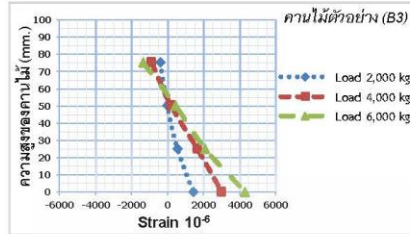


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B1)

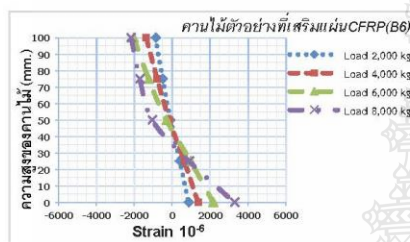


รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง(B5)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Strain ที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดคานไม้ แสดงให้เห็นว่า ขณะที่รับน้ำหนัก 8,000 กิโลกรัม คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) จะมีค่าความยืดหดตัวต่ำกว่าคานไม้ธรรมดา(B1) ประมาณร้อยละ 76.86 ที่ตำแหน่งรับแรงอัด 75.00 มิลลิเมตร และรับแรงดึงที่ 10.00 มิลลิเมตร มีค่าความยืดหดตัวมีค่าน้อยลงประมาณร้อยละ 28.57 ดังแสดงในรูปที่ 14, 15 (B2,B5)



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B3)



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคานไม้กับ Strain ของคานไม้ตัวอย่าง (B6)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Strain ที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดคานไม้ แสดงให้เห็นว่า ขณะที่รับน้ำหนัก 6,000 กิโลกรัม คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP(B4) จะมีความยืดหดตัวต่ำกว่าคานไม้ธรรมดา(B1) ประมาณร้อยละ 91.49 ที่ตำแหน่งรับแรงอัด 75.00 มิลลิเมตร และรับแรงดึงที่ 10.00 มิลลิเมตร มีความยืดหดตัวมีค่าน้อยลงประมาณร้อยละ 50.00 ดังแสดงในรูปที่ 16, 17 (B3,B6)

5. บทสรุป

จากการวิจัยเชิงทดลองบนคานไม้ทั้งหมด จำนวน 6 ตัวอย่าง จะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยสรุปได้ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP แล้วช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 23.60 กลุ่มที่ 2 คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP แล้วช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 40.00 กลุ่มที่ 3 คานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP แล้วช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักร้อยละ 78.26

ด้านการยืดหดตัว (Strain) เมื่อเปรียบเทียบค่าการยืดหดตัวกับน้ำหนักที่เท่ากันนั้น ปรากฏว่าที่หน้าตัดต่างๆ ของตัวอย่างคานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP B4 B5 B6 มีความยืดหดตัวเป็นบวก นั้นคือสามารถรับแรงดึงได้มากกว่า และมีการยืดขยายตัวน้อยกว่าคานไม้ธรรมดา B1 B2 B3 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 31.94

การยืดหดตัวที่ผิวล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าการยืดหดตัวกับความสูงของคานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP จะเห็นได้ว่า เมื่อเสริมแผ่น CFRP ที่ผิวล่างของหน้าตัดคานไม้ตัวอย่าง B4 B5 และ B6 เมื่อมีน้ำหนักกระทำที่เท่ากัน จะช่วยเสริมกำลังแรงดึงของคานไม้ตัวอย่างเฉลี่ยประมาณร้อยละ 70.35 และมีผลทำให้ผิวบนหน้าตัดคานไม้ตัวอย่างเกิดแรงอัดน้อยลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 74.45

จากการเปรียบเทียบคานไม้ที่ติดตั้งแผ่น CFRP กับคานไม้ธรรมดา จะเห็นได้ว่าคานไม้ที่เสริมแผ่น CFRP มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดี ทนทาน และมีการยืดขยายตัวได้ดีกว่าคานไม้ธรรมดาที่ความหนาเท่ากัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายภูษดา ต้นทองคำ, การทดสอบและวิเคราะห์การเสริมสร้างกำลังคานเหล็กโดยการอัดแรงด้วย แผ่น Carbon Fiber Laminates (CFRP) แบบ Multidirectional Carbon Fiber Laminate (CFRP), มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [2] Jerzy Jasienko และ Tomasz Nowak, การเสริมสร้างความแข็งแรงในการโค้งงอของไม้โบราณ (Strengthening of Bent Timber Beams in Historical Object), Wrocław University of Technology, 2550.
- [3] จ่านง พงษ์วัน และจักรพล นาจวง กับ สุชาติ ลีมกัญญา และกิตติศักดิ์ ชันติวิชัย, "จุดเหมาะสมของการเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต", งานวิจัยในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [4] James F. Brady และ Annette M. Harte, "Prestressed FRP Flexural Strengthening of Softwood Glue - Laminated Timber Beams"
- [5] [7] รศ.ดร.สุชาติ ลีมกัญญา และ ผศ.ดร.วรพจน์ ประชาเสวี, "การประเมินประสิทธิภาพของไม้พาราปราคาสนซึ่งเสริมแรงด้วยแผ่นเสริมแรงไฟเบอร์ : Performance Evaluation of FRP Reinforced Para Wood Glued Laminated Beams", มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2555.
- [6] กรมโยธาธิการและผังเมือง, มาตรฐานการทดสอบไม้, สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง, 2551.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายชัชวาล พันศร
วัน เดือน ปีเกิด	1 พฤศจิกายน 2529
ที่อยู่	88/506 ซอยวิภาวดี 72 ถ.วิภาวดีรังสิต แขวงสนามบึง เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประสบการณ์การทำงาน	กรรมการผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชัชวาลการโยธาและก่อสร้าง พ.ศ. 2557 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-3161-3663
อีเมล	engineer-p@hotmail.com

