รายงานวิจัยประจำปี ประจำปี 2557
โครงการวิจัยที่ 3035-3964

เรื่อง ความผันแปรของสมบัติของลำไผ่สามชนิดซึ่งปลูกในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวง

(Culm properties variation of three bamboo species planted in Royal Project Foundation)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. พรรณนิภา เชาวนะ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

เดือน ตุลาคม 2556

รายงานวิจัยฉบับประจำปี ประจำปี 2556
โครงการวิจัยที่ 3035-3964

เรื่อง ความผันแปรของสมบัติของลำไผ่สามชนิดซึ่งปลูกในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวง

(Culm properties variation of three bamboo species planted in Royal Project Foundation)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ดร. พรรณนิภา เชาวนะ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะวิจัย

นาย กิตติศักดิ์ จินดาวงศ์ มูลนิธิโครงการหลวง

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

เดือน ตุลาคม 2556

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงเป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยความเป็นเลิศทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์สำหรับสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณพนักงานทุกคนในสวนรวมพันธุ์ไผ่แม่เหียะในโครงการหลวงแม่เหียะ และสถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่ และเจ้าหน้าที่ในศูนย์วิจัยความเป็นเลิศทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของการทำวิจัย

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2557

บทคัดย่อ

ไผ่จัดเป็นพืชในตระกูลหญ้าซึ่งกระจาพันธุ์อยู่ในบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่น สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์และของใช้ในชีวิตประจำวัน ข้อดีของไผ่ คือ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในธรรมชาติ ให้ผลผลิตสูง และมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับไม้ชนิดอื่น อย่างไรก็ตามสมบัติเบื้องต้นของไผ่ เช่น องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและเชิงกล มีความแตกต่างกันตามชนิดพันธุ์ อายุ ระดับความสูงและส่วนของลำไผ่ ซึ่งความผันแปรเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการพิจารณาการใช้ประโยชน์ลำไผ่ต่อไป

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาความผันแปรของสมบัติของลำไผ่ 3 ชนิด (ไผ่มากินนอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น) ที่มีความแตกต่างในประเด็นของอายุ (1, 3 และ 5 ปี) และระดับความสูงของลำ (ส่วนโคน กลาง และปลาย) โดยสมบัติที่ทำการศึกษา คือ โครงสร้างระดับมหภาคและจุลภาค สมบัติทางกายภาพและเชิงกล องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางผิวหน้า

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่มีความผันแปรตลอดความยาวของลำไผ่ โดยความยาวปล้องจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปยังส่วนกลางของลำและค่อย ๆ มีค่าลดลงไปยังส่วนปลายของลำ ส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาผนังปล้องจะมีค่าลดลงจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายลำ จำนวน รูปร่างและขนาดของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงผันแปรตามระดับความสูงของลำ โดยจำนวนของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง และจะมีค่ามากที่สุดที่ส่วนปลายของลำ กลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงที่อยู่ด้านในของผนังปล้องจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมในขณะที่กลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงที่อยู่ด้านนอกของผนังปล้องจะมีรูปร่างเป็นทรงรี ปริมาณความชื้น ความถ่วงจำเพาะและความคงขนาดผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงของอายุและระดับความสูงของลำ สมบัติเชิงกลซึ่งประกอบด้วยการดัดสถิต ความเค้นอัดและความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนผันแปรตามระดับความสูงของลำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะด้วยเช่นกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความเค้นอัดและการดัดสถิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอายุและระดับความสูงของลำ โดยอายุของลำมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติเชิงกลซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากไผ่ที่มีอายุ 1 ปีไปจนกระทั่งไผ่มีอายุ 5 ปี ปริมาณโฮโลเซลลูโลและแอลฟาเซลลูโลสมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำที่ทุก ๆ ช่วงอายุ ในทางกลับกันกับไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณลิกนิน ปริมาณสารแทรกมีค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำไผ่และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอายุของลำที่เพิ่มขึ้น ไผ่มีค่าความเป็นกรดด่างในช่วงของกรด โดยค่าความเป็นกรดด่างและความสามารถในการต้านทานความเป็นกรดด่างผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงของอายุและระดับความสูง

ของลำ ไผ่มีความสามารถในการเปียกต่ำกว่าไม้ทางการค้าชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ความสามารถในการเปียกของไผ่ยังเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของลำ แต่กลับมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นตามอายุ ยิ่งไปกว่านั้นความสามารถในการเปียกของผนังปล้องด้านนอกของลำไผ่ยังมีค่าต่ำกว่าผนังด้านในของลำ

มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

Abstract

Bamboo is a woody grass which is abundantly grows in most of the tropical and subtropical zone. It has been widely used as a material for construction, furniture manufacture and daily household uses. The main advantages of bamboo are its fast growing nature, high productivity, quick maturity and better mechanical properties when compared to other wood species. However, bamboo properties such as chemical composition, physical and mechanical properties have significant difference species, age, culm height and part. They are important factors to determine its utilization.

Thus, the objective of this research is to determine the property variation of three bamboo species (*Phyllostachys makinoi, Thyrsostachys oliveri* and *Dendrocalamus sericeus*) in related with different ages (1, 3 and 5 years old) and heights (bottom, middle and top parts). The properties investigated were macro and micro-characteristics, physical and mechanical properties, chemical compositions and surface properties.

The results indicated that macro-characteristics of bamboo culm vary along the culm length; its outer diameter and wall thickness gradually decrease with the height; internode length increases from the bottom to the middle part and decreases towards the top. The concentration, shape and size of vascular bundles vary with different culm height. The concentration of vascular bundles increases with increasing culm height. The vascular bundle concentration is the highest on the top part. The vascular bundles near inner part are almost circular while they are more of elliptical shape near the outer part of the culm wall. Moisture content, specific gravity and dimensional stability differ with age and vertical height location. The mechanical properties such static bending, compression and shear parallel to grain vary along the culm. They are correlated to specific gravity as well. Results show an increase of compressive and bending strength with the increment of age and location of the culms. Age has a significant effect on mechanical properties. They increase from one year old to five year old bamboo. Small but significant increases in holocellulose and α-cellulose contents were detected from the bottom to the top of the culm at all three ages. In contrast, no significant differences in lignin were detected.

Extractive content increases from the bottom to the top of the culm and shows a continuous increase with age. Bamboo has pH value on acid side. The pH value and buffer capacity slightly vary with the age and culm height. Bamboo has low wettability compared to the other commercial wood species. In addition, wettability increases with the increasing of culm height but decreasing of age. Furthermore, wettability of bamboo culm outer surface is found to be lower than inner part.

มูลนิธิ โครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

สารบัญเนื้อหา

	หน้าที่
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
สารบัญเนื้อหา	vi
สารบัญตาราง	viii
สารบัญภาพ	x
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลองและขอบเขตของการวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ผลวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 กรรมวิธีทดลอง	
3.1 สถานที่ทดลอง ระยะเวลาทำการทดลอง	20
3.2 วัตถุทดลองที่ใช้	23
3.3 วิธีการทดลองที่ใช้ การบันทึกข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	26

มูลนิธิโครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

สารบัญเนื้อหา (ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่ 51

4.2 โครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่ 61

4.3 สมบัติทางกายภาพของไผ่ 69

4.4 สมบัติเชิงกลของลำไผ่ 77

4.5 องค์ประกอบทางเคมีของลำไผ่ 87

4.6 ความเป็นกรดด่าง และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลง ความเป็นกรดด่างของไผ่ 104

4.7 ความสามารถในการเปียกของไผ่ 109

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 111

5.2 ข้อเสนอแนะ 113

เอกสารอ้างอิง **116**

มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

สารบัญตาราง

		หน้าที่
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีของไผ่หลายชนิด	15
ตารางที่ 2.2	สมบัติทางกายภาพของไผ่หลายชนิด	16
ตารางที่ 2.3	สมบัติเชิงกลของไผ่หลายชนิด	17
ตารางที่ 3.1	แผนงานวิจัยในปีที่ 1 ระยะเวลารวม 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2555 ถึงกันยายน 2556)	21
ตารางที่ 3.2	แผนงานวิจัยในปีที่ 2 ระยะเวลารวม 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2556 ถึงกันยายน 2557)	22
ตารางที่ 4.1	ลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงอายุ	51
ตารางที่ 4.2	ลักษณะระดับจุลภาคของของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	66
ตารางที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของลำไผ่สดขณะตัดของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	70
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่างไผ่ที่ผ่านการปรับสภาวะความชื้นแล้ว ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	72
ตารางที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	74
ตารางที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยการหดตัวทางด้านต่าง ๆ ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	76
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดในการดัดสถิตย์ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	78
ตารางที่ 4.8	ค่าเฉลี่ยความแข็งตึงในการดัดสถิตย์ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	79
ตารางที่ 4.9	ค่าเฉลี่ยความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้าที่

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 85

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณขี้เถ้าของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 88

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในด่างของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 90

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในน้ำร้อนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 92

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในน้ำเย็นของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 94

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 96

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยปริมาณลิกนินของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 98

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 101

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอลฟาเซลลูโลสของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 103

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นกรดด่างของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 106

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 108

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของผิวด้านนอกและด้านในของผนังปล้องของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น 110

สารบัญภาพ

		หน้าที่
ภาพที่ 2.1	แสดงพื้นที่เพาะปลูกไผ่ทั่วโลก ปี พ.ศ. 2553	6
ภาพที่ 2.2	การกระจายตัวของไผ่ในทวีปต่าง ๆ	6
ภาพที่ 2.3	ประเภทของระบบเหง้าไผ่ (a) ลักษณะของเหง้าไผ่ที่มีระบบเหง้าแบบกอ และ (b) ลักษณะของเกล้าที่มีระบบเหง้าแบบลำเดี่ยว	8
ภาพที่ 2.4	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไผ่	9
ภาพที่ 2.5	ลักษณะภายนอกของลำไผ่ที่แตกต่างกันหลายชนิด	10
ภาพที่ 2.6	ความผันแปรของลักษณะระดับมหภาคตลอดความยาวของลำไผ่ 4 ชนิด (a) ความยาวของปล้อง, (b) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของปล้อง และ (c) ความหนาของผนังปล้อง	11
ภาพที่ 2.7	รายละเอียดโครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่ตง (*D. asper*) ประกอบด้วย (a) ภาพถ่ายตัดตามขวาของลำไผ่ (b) การกระจายตัวของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงภายในไม้ไผ่จากผนังด้านนอกเข้าสู่ผนังด้านในของลำ และ (c) เซลล์ต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียง	13
ภาพที่ 2.8	(1) ลักษณะทางกายวิภาคของเซลล์เส้นใยไม้ใบเลี้ยงคู่ทั่วไปที่มีจำนวนชั้นของผนังเซลล์ทั้งหมด 4 ชั้น (2) เซลล์เส้นใยไม้ไผ่ที่มีจำนวนชั้นของผนังเซลล์ทั้งหมด 9 ชั้น P คือผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary wall), S คือผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary wall), L และ N คือชั้นของผนังเซลล์ที่เส้นใยย่อยเรียงตัวตามแนวยาวและแนวขวางของเซลล์เส้นใย ตามลำดับ	14
ภาพที่ 3.1	แปลงไผ่ในพื้นที่ (ก) สวนรวมพันธุ์ไผ่แม่เหียะ โครงการหลวงแม่เหียะ และ (ข) สถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง	20
ภาพที่ 3.2	แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไม้ไผ่จาก (ก) สวนรวมพันธุ์ไผ่แม่เหียะในโครงการหลวงแม่เหียะ จ.เชียงใหม่ และ (ข) สถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่	23
ภาพที่ 3.3	ภาพจำลองการศึกษาลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่ ประกอบด้วย; L = ความยาวของลำไผ่, I = ความยาวของปล้องแต่ละป้อง; D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำไผ่ และ T = ความหนาของผนังปล้อง	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้าที่

ภาพที่ 3.4 ภาพจำลองการแบ่งลำไผ่ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโคน กลาง และปลาย ตามระดับความสูงจากพื้นดิน 27

ภาพที่ 3.5 ลักษณะภายนอกและภายในของห้องควบคุมสภาวะ เพื่อใช้ควบคุมสภาวะของชิ้นตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล 28

ภาพที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZ-CTV ใช้ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่ 30

ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบเพื่อศึกษาปริมาณความชื้นของลำไผ่ 31

ภาพที่ 3.8 ภาพจำลองด้านของชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ที่ใช้สำหรับทดสอบหาการหดตัวทางด้านต่าง ๆ 34

ภาพที่ 3.9 อุปกรณ์และการวางชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดัดสถิตของไม้ไผ่ 35

ภาพที่ 3.10 อุปกรณ์การทดสอบหาปริมาณการละลายในน้ำร้อนของไม้ไผ่ 41

ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์การทดสอบหาปริมาณการละลายในน้ำเย็นของไม้ไผ่ 42

ภาพที่ 3.12 อุปกรณ์การทดสอบหาปริมาณการละลายละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีนของไม้ไผ่ 43

ภาพที่ 3.13 อุปกรณ์การทดสอบหาความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของไม้ไผ่ 48

ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์การทดสอบหาความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของไม้ไผ่ 50

ภาพที่ 3.15 ภาพตัวอย่างของหยดน้ำกลั่นบนผิวของลำไผ่ที่ถ่ายได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัส 50

ภาพที่ 4.1 ความผันแปรของโครงสร้างระดับมหภาค (ก) ความยาวปล้อง (ข) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และ (ค) ความหนาผนังปล้อง ตลอดความยาวของลำไผ่มากินอยที่อายุ 1, 3 และ 5 ปี 54

ภาพที่ 4.2 ความผันแปรของโครงสร้างระดับมหภาค (ก) ความยาวปล้อง (ข) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และ (ค) ความหนาผนังปล้อง ตลอดความยาวของลำไผ่รวกดำที่อายุ 1, 3 และ 5 ปี 55

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้าที่
ภาพที่ 4.3	ความผันแปรของโครงสร้างระดับมหภาค (ก) ความยาวปล้อง (ข) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และ (ค) ความหนาผนังปล้อง ตลอดความยาวของลำไผ่ซางหม่นที่อายุ 1, 3 และ 5 ปี	56
ภาพที่ 4.4	เปรียบเทียบความผันแปรของความยาวปล้องตลอดความยาวของลำไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และ ไผ่ซางหม่น ที่อายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี ตามลำดับ	57
ภาพที่ 4.5	เปรียบเทียบความผันแปรของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ ตลอดความยาวของลำไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่อายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี ตามลำดับ	58
ภาพที่ 4.6	เปรียบเทียบความผันแปรของความหนาผนังปล้องตลอดความยาว ของลำไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่อายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี ตามลำดับ	59
ภาพที่ 4.7	ลักษณะรากอากาศที่พบในไผ่มากินอย	60
ภาพที่ 4.8	เปรียบเทียบลักษณะผิวด้านนอกที่แตกต่างกันของไผ่ซางหม่น (ก) อายุ 1 ปี และ (ข) อายุ 3 ปี	60
ภาพที่ 4.9	โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่มากินอยที่มีอายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี	63
ภาพที่ 4.10	โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่รวกดำที่มีอายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี	64
ภาพที่ 4.11	โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่ซางหม่นที่มีอายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี	65
ภาพที่ 4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลลัสแตกหักกับความถ่วงจำเพาะ และโมดุลยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย	80
ภาพที่ 4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลลัสแตกหักกับความถ่วงจำเพาะ และโมดุลยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะของไผ่รวกดำ	80
ภาพที่ 4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลลัสแตกหักกับความถ่วงจำเพาะ และโมดุลยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะของไผ่ซางหม่น	81
ภาพที่ 4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดขนานเสี้ยนกับความถ่วงจำเพาะ ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น	86

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้ไม้ที่มีคุณภาพดีสำหรับการก่อสร้างมีเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มจำนวนของประชากรโลก รวมถึงการลดลงของปริมาณและคุณภาพของไม้จากป่าธรรมชาติ ดังนั้นการค้นหาวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถเข้ามาทดแทนการใช้ไม้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยวัตถุดิบดังกล่าว ควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ ราคาถูก เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งมีสมบัติทางกายภาพและทางกลใกล้เคียงกับไม้ และสามารถนำมาใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบัน จากข้อกำหนดเหล่านี้ทำให้ไผ่ได้รับความสนใจในลำดับต้น ๆ

ไผ่เป็นไม้พุ่มจัดอยู่ในวงศ์หญ้า Poaceae (เดิมคือ Gramineae) เป็นไม้ไม่ผลัดใบ ขึ้นเป็นกอ จากการสำรวจพบว่าทั่วโลกมีไผ่ประมาณ 1,500 ชนิด โดยแพร่กระจายอยู่ในบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่น ยกเว้นทวีปยุโรป ขั้วโลกเหนือและใต้ สำหรับประเทศไทยคาดว่ามีไผ่ขึ้นตามธรรมชาติประมาณ 80-100 ชนิด โดยพบขึ้นกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค ส่วนมากพบขึ้นกระจายตามป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบและป่าดิบชื้น (สราวุธ และคณะ, 2554)

ไผ่เป็นพืชโตเร็ว สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ภายในไม่กี่ปีหลังการเพาะปลูก โดยเฉพาะส่วนของลำเนื่องจากไม้ไผ่มีสมบัติพิเศษด้านความแข็งแรงและยืดหยุ่นที่เหนือว่าวัสดุสังเคราะห์หลายชนิด จึงนิยมนำไม้ไผ่มาใช้ก่อสร้างอาคารบ้านเรือน รวมถึงเครื่องเรือน เครื่องใช้ อุปกรณ์ตกแต่งภายในบ้านและงานฝีมือต่าง ๆ ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาเริ่มมีการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่ในรูปแบบของวัตถุดิบในการผลิตไม้ประกอบด้วย

จากการตรวจเอกสารพบว่าสมบัติหลาย ๆ ประการของไผ่มีความใกล้เคียงกับไม้ เช่น องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและเชิงกล แต่ปัญหาสำคัญ คือ สมบัติเหล่านี้มีความแตกต่างกันตามชนิดพันธุ์ อายุ ระดับความสูงและส่วนต่างของลำไผ่ ซึ่งความผันแปรเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการพิจารณาการใช้ประโยชน์ลำไผ่ต่อไป ดังนั้นการศึกษาถึงความผันแปรของสมบัติต่าง ๆ ของลำไผ่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประเมินการใช้ประโยชน์จากลำไผ่ได้อย่างเหมาะสมในอนาคต

งานป่าไม้ มูลนิธิโครงการหลวงได้ทำการส่งเสริมการปลูกไผ่หลายชนิดตามโครงการป่าชาวบ้าน ฯ ให้เกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวงได้ปลูกไม้เพื่อใช้ประโยชน์ในครัวเรือนของตนเอง สำหรับไผ่สามชนิดที่เลือกนำมาศึกษาในโครงการนี้เป็นไผ่ที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ได้แก่

(1) ไผ่มากินอย (*Phyllostachys makinoi*) เป็นไผ่ลำเดียวที่สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดีที่ดอยอ่างขาง สามารถปลูกเจริญเติบโตได้บนพื้นที่สูงซึ่งมีความสูงมากกว่า 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล และได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง เช่น แม่โถ ตีนตก วัดจันทร์ แม่ปูนหลวง ขุนวางและอินทนนท์ เป็นต้น

(2) ไผ่รวกดำ (*Thyrsostachys oliveri*) เป็นไผ่ประเภทกอที่พบกระจายในป่าเบญจพรรณเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมปลูกตามหัวไร่ปลายนาและพบทั่วไปในพื้นที่โครงการหลวง เกษตรกรมีการใช้ประโยชน์ในปริมาณมากสามารถใช้ประโยชน์ทั้งหน่อและลำ ปลูกง่ายและทนความแห้งแล้ง เป็นไผ่ชนิดหนึ่งที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกตามโครงการป่าชาวบ้านฯกระจายเกือบทุกศูนย์ ฯ

(3) ไผ่ซางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*) เป็นไผ่ประเภทกอที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้ประโยชน์และมีการปลูกกระจายในพื้นที่โครงการหลวงสามารถขึ้นได้ดีทุกพื้นที่ ลำมีขนาดใหญ่ เนื้อไม้แข็งและหนาใช้ในการทำโครงสร้างได้ดี

ปัจจุบันในงานส่งเสริมตามโครงการป่าชาวบ้านได้เน้นให้เกษตรกรปลูกไผ่ทั้งสามชนิดนี้มากขึ้น เนื่องจากเป็นความต้องการของเกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวง ที่ต้องการใช้ไม้ในการทำโรงเรือนเพื่อการเพาะปลูกผัก การใช้ไม้เพื่อค้ำยันไม้ผล ซึ่งขนาดของไม้ทั้งสามชนิดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในส่วนของโครงสร้างหลังคาโรงเรือนและเสา และยิ่งไปกว่านั้นลำไม้ไผ่ยังมีความต้องการของตลาดสูงมาก ดังนั้นในด้านการส่งเสริมการปลูกไม้ไผ่ก็มีการขยายงานเพิ่มมากขึ้นด้วย

อนึ่งทีมวิจัยมีผลงานที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกและการดูแลรักษาไผ่ การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของไผ่ รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ประกอบจากไผ่ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดผลงานวิจัยกระตุ้นให้เกิดการใช้ประโยชน์ไผ่อย่างเหมาะสมและมีศักยภาพสูงสุด ทั้งในแง่มุมของการใช้งานเพื่อการก่อสร้างเครื่องเรือนเครื่องใช้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมถึงเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไม้ประกอบต่อไปในอนาคต

มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลองและขอบเขตของการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของไผ่สามชนิด ได้แก่ ไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น โดยแบ่งเป็น

- เพื่อศึกษาความผันแปรของลักษณะระดับมหภาคและระดับจุลภาคของลำไผ่ทั้ง 3 ชนิด
- เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและเชิงกล และความสามารถในการติดกาวของลำไผ่ทั้ง 3 ชนิด
- เพื่อประเมินศักยภาพและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ในแง่ของผลิตภัณฑ์ไม้ประกอบจากไผ่ทั้ง 3 ชนิดได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่าสูงสุด

1.2.2 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงความผันแปรของสมบัติต่าง ๆ ของไผ่สามชนิด ได้แก่ ไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น โดยกำหนดขอบเขตของการวิจัยดังนี้

- ศึกษาลักษณะระดับมหภาคและระดับจุลภาคของลำไผ่ทั้ง 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับ (1, 3 และ 5 ปี) ที่ระดับความสูงจากพื้นดินแตกต่างกัน 3 ระดับ (โคน กลาง และปลาย)
- ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของลำไผ่ทั้ง 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับ (1, 3 และ 5 ปี) ที่ระดับความสูงจากพื้นดินแตกต่างกัน 3 ระดับ (โคน กลาง และปลาย)
- ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของลำไผ่ทั้ง 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับ (1, 3 และ 5 ปี) ที่ระดับความสูงจากพื้นดินแตกต่างกัน 3 ระดับ (โคน กลาง และปลาย)
- ศึกษาความเป็นกรดด่าง ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง รวมถึงความสามารถในการเปียกของลำไผ่ทั้ง 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับ (1, 3 และ 5 ปี) ที่ระดับความสูงจากพื้นดินแตกต่างกัน 3 ระดับ (โคน กลาง และปลาย)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับสมบัติเบื้องต้นไม้ไผ่ ได้แก่ ลักษณะระดับมหภาคและจุลภาคของลำไผ่ สมบัติทางกายภาพและเชิงกล องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการติดกาว
- เข้าใจถึงความผันแปรของสมบัติเบื้องต้นเหล่านั้นที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุ ระดับความสูง และส่วนต่าง ๆ ของลำ เพื่อนำไปสู่การประเมินศักยภาพและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของไม้ไผ่ทั้ง 3 ชนิดได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่าสูงสุด
- ผู้ปลูกไผ่และผู้ใช้งานไผ่มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติเบื้องต้นของไผ่ รวมถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นของไผ่ทั้ง 3 ชนิด และสามารถเลือกใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม
- ส่งเสริมการใช้ประโยชน์ไผ่ให้มากขึ้น ทั้งการใช้งานเพื่อการก่อสร้างที่อยู่อาศัย เครื่องเรือน เครื่องใช้ พลังงาน รวมถึงการนำมาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไม้ประกอบ
- ส่งเสริมให้ไผ่ซึ่งเป็นวัตถุดิบในประเทศให้มีศักยภาพในการแข่งขันเพื่อเป็นวัสดุทนแทนไม้ซึ่งกำลังขาดแคลนอยู่ในปัจจุบัน
- ส่งเสริมการปลูกไผ่ในระดับของสวนป่าเพื่ออุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น

มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไผ่

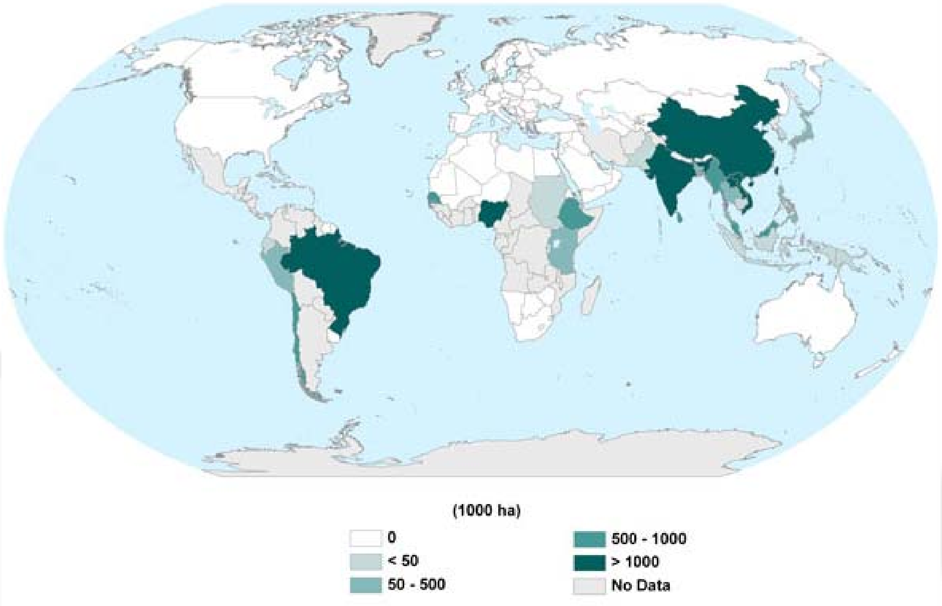
ไผ่เป็นไม้ไม่ผลัดใบ จัดอยู่ในวงศ์เดียวกับหญ้า (Family: Poaceae) อย่างไรก็ตามนักพฤษศาสตร์บางคนแสดงความคิดเห็นไว้ว่า ไผ่ไม่น่าจะเป็นหญ้าเพราะมีลักษณะพิเศษแตกต่างไปจากหญ้าหลายอย่าง เช่น มีลำแข็งแรง เนื้อไม้แข็ง มีก้านเห็นได้อย่างชัดเจน กาบใบใหญ่ ส่วนของดอกสม่ำเสมอทุกสกุล ช่อดอกไม่มีกาบหุ้มเหมือนหญ้าอื่น ๆ และผลมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

2.1.2 การกระจายตัวของไผ่

ไผ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 8-36 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนที่ต้องการโดยทั่วไปประมาณ 1,270-4,050 มิลลิเมตรต่อปี จากการสำรวจพบว่าทั่วโลกมีไผ่ประมาณ 1,500 ชนิด รวมพื้นที่ทั้งสิ้น 360,000 ตารางกิโลเมตร (Lobovikov et al. 2007) โดยแพร่กระจายอยู่ในบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่น ยกเว้นทวีปยุโรป ขั้วโลกเหนือและใต้ โดยทวีปเอเชียมีพื้นที่ไผ่สูงที่สุด คือ 65% ของพื้นที่ไผ่ทั่วโลก รองลงมาคือ ทวีปอเมริกาและแอฟริกา ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.1

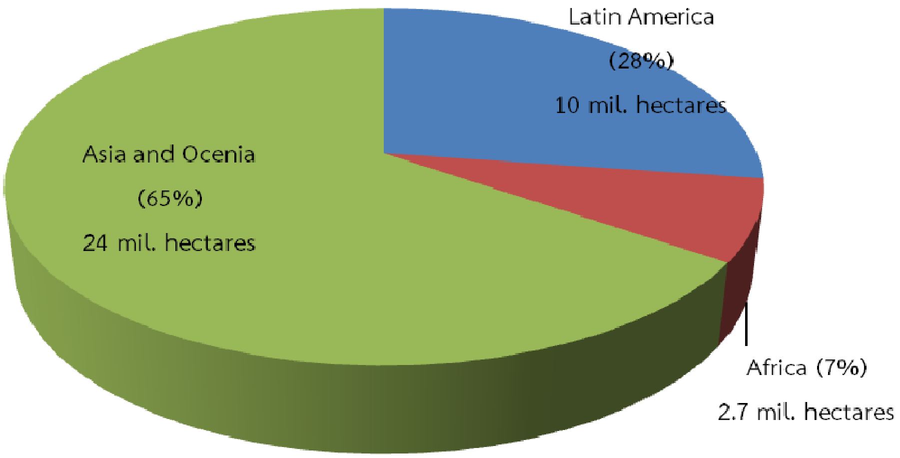
ทวีปเอเชียและโอเชียเนีย (Asia and Oceania)

จัดเป็นทวีปที่มีพื้นที่การกระจายตัวของไผ่สูงที่สุด คิดเป็นพื้นที่โดยประมาณเท่ากับ 240,000 ตารางกิโลเมตร หรือคิดร้อยละ 65 ของปริมาณไผ่ทั่วโลก ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งพบพันธุ์ไผ่มากกว่า 900 ชนิด หรือคิดเป็นร้อยละ 80 ของชนิดไผ่ทั้งหมดที่กระจายอยู่ทั่วโลก โดย 5 ใน 6 ประเทศที่มีปริมาณพื้นที่การกระจายตัวของไผ่สูงที่สุดตั้งอยู่ในทวีปเอเชีย ได้แก่ อินเดีย จีน อินโดนีเซีย พม่า และเวียดนาม ไผ่ส่วนใหญ่ที่กระจายตัวอยู่ในภูมิภาคนี้จะเป็นชนิดไผ่กอ (Sympodial bamboo) ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง เช่น *Bambusa bambos*, *Bambusa blumeana*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus strictus*, *Phyllostachys heterocycla* และ *Phyllostachys bambusoides* สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ก่อสร้าง เครื่องเรือน เครื่องมือเครื่องใช้ เครื่องดนตรี และอุปกรณ์กีฬา



<u>ภาพที่ 2.1</u> แสดงพื้นที่เพาะปลูกไผ่ทั่วโลก ปี พ.ศ. 2553

(ที่มา: Food and Agriculture Organization of the United Nations)



<u>ภาพที่ 2.2</u> การกระจายตัวของไผ่ในทวีปต่าง ๆ

(ดัดแปลงจาก: Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H. and Wu, J., 2007; López, O. H., 2003 and Zehui, J., 2007)

อินเดีย เป็นประเทศที่มีพื้นที่การกระจายตัวของไผ่มากที่สุดในโลก คือ 114,000 ตารางกิโลเมตร โดยมีชนิดพันธุ์ของไผ่มากกว่า 145 ชนิด ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ

จีน เป็นประเทศที่ได้รับการยกย่องว่ามีชนิดพันธุ์ไผ่กระจายตัวอยู่ในประเทศมากถึง 500 ชนิด ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศมากกว่า 54,000 ตารางกิโลเมตรเป็นที่น่าสนใจว่าพื้นที่เพาะปลูกไผ่ในประเทศจีนเพิ่มขึ้นมากกว่า 500 ตารางกิโลเมตรต่อปี เนื่องจากได้รับการสนับจากภาครัฐให้ปลูกไผ่เพื่อใช้ประโยชน์ โดยชนิดพันธุ์ที่มีความสำคัญ คือ Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) โดยมีพื้นที่เพาะปลูกรวม 34,000 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณร้อยละ 70 ของพื้นที่เพาะปลูกไผ่ทั่วประเทศ (Lobovikov et al., 2007)

สำหรับประเทศไทย คาดว่ามีไผ่ขึ้นตามธรรมชาติประมาณ 80-100 ชนิด โดยพบขึ้นกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค ส่วนมากพบขึ้นกระจายตามป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบ และป่าดิบชื้น (สราวุธ และคณะ 2554)

ลาตินอเมริกา (Latin America)

พื้นที่การกระจายตัวของไผ่ในภูมิภาคนี้มีค่าประมาณ 100,000 ตารางกิโลเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 28 ของพื้นที่ไผ่ทั่วโลก ดังแสดงในภาพที่ 2.2 จากการสำรวจพบชนิดพันธุ์ไผ่กระจายตัวอยู่มากถึง 270 ชนิด (Zehui, 2007) ไผ่ส่วนใหญ่ที่กระจายตัวอยู่ในภูมิภาคนี้จะเป็นชนิดไผ่ลำเดี่ยว (Monopodial bamboo) อย่างไรก็ตาม *Guadua* spp. ก็เป็นไผ่อีกชนิดหนึ่งที่รู้จักกันทั่วไป เนื่องจากมีขนาดลำที่ค่อนข้างใหญ่ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้างรวมถึงอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมาก

แอฟริกา (Africa)

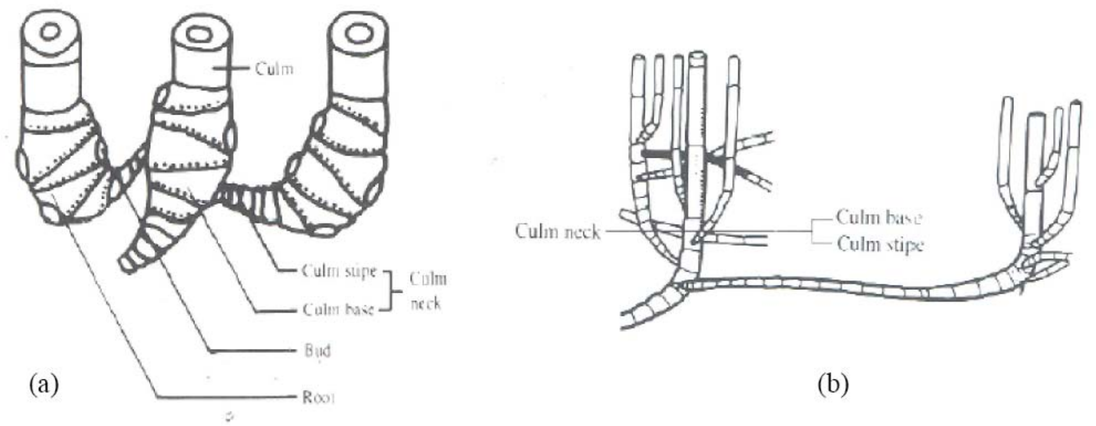
ทวีปแอฟริกามีพื้นที่การกระจายตัวของไผ่น้อยที่สุด คือ 27,000 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 7 ของพื้นที่ไผ่ทั่วโลก ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยมีชนิดพันธุ์ที่กระจายตัวอยู่ประมาณ 40 ชนิด ซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่วไปในพื้นที่ป่าฝน ชนิดพันธุ์ที่โดดเด่น คือ *Arundinaria alpine*, *Bambusa vulgaris* และ *Oxytenanthera abyssinica*

2.1.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไผ่

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไผ่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเหง้า (Rhizome system) และระบบลำไผ่ (Culm system) (สราวุธ และคณะ 2554)

เหง้า (Rhizome)

เป็นส่วนของลำต้นไผ่ที่อยู่ใต้ดิน ทำหน้าที่ค้ำจุนส่วนต่าง ๆ ของลำต้นที่อยู่เหนือดิน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่สะสมอาหารและแตกเหง้าใหม่ที่จะพัฒนาไปเป็นหน่อและลำ หรือเป็นเหง้าอันใหม่ต่อไป รูปแบบการเจริญเติบโตของเหง้าไผ่เป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้จำแนกไผ่ได้ โดยระบบเหง้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่



รูปที่ 2.3 ประเภทของระบบเหง้าไผ่

(a) ลักษณะของเหง้าไผ่ที่มีระบบเหง้าแบบกอ และ (b) ลักษณะของเกล้าที่มีระบบเหง้าแบบลำเดี่ยว

(ที่มา: Liese, 1998)

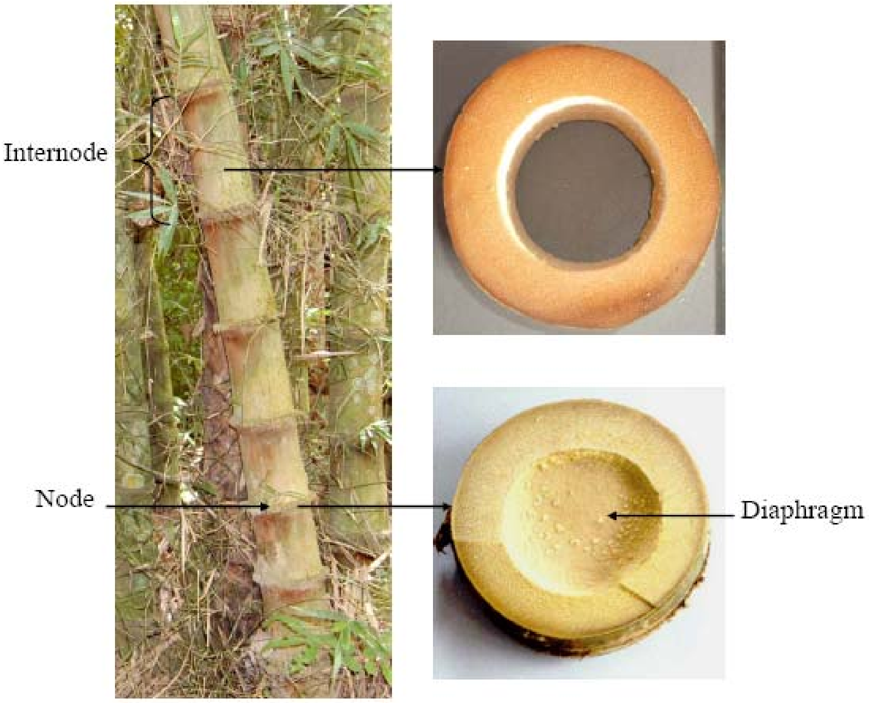
ระบบเหง้าแบบกอ (Sympodial or Clumping rhizome) พบในไผ่ที่ขึ้นอยู่ในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย โดยตัวเหง้าจะมีลักษณะอวบสั้นและตัน รูปร่างคล้ายกระสวยหรือลูกข่างเบี้ยว ๆ ความยาวปล้องไม่สม่ำเสมอมีทั้งยาวและสั้น ถ้าเป็นปล้องที่ยาวจะมีตา รอบตาจะพบปุ่มราก ดังแสดงในภาพที่ 2.3(a) เหง้าใหม่จะแตกจากตาข้างของเหง้าเก่า ช่วงแรกเหง้าใหม่จะเจริญเติบโตอยู่ใต้ดินในแนวราบ จากนั้นจะเจริญโค้งขึ้นด้านบนและพัฒนาเป็นหน่อและลำต่อไป โดยตัวเหง้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าลำ ก่อไผ่ที่มีระบบเหง้าแบบนี้ลำมักอยู่ชิดติดกันทำให้กอค่อนข้างแน่น ตัวอย่างของไผ่ที่มีระบบเหง้าแบบกอ เช่น ไผ่รวก (*Thyrsostachys oliveri*) และไผ่ซางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*)

ระบบเหง้าแบบลำเดี่ยว (Monopodial or Running rhizome) ส่วนใหญ่เป็นไผ่ที่เจริญเติบโตในเขตอบอุ่น ตัวเหง้ามีลักษณะผอมยาวและกลวง หรือบางครั้งตัน มีความยาวของปล้องสม่ำเสมอ เหง้าแต่ละอัน

จะเจริญเติบโตอยู่ใต้ดินในแนวราบไปเรื่อย ๆ โดยตาข้างที่อยู่บนเหง้าจะพัฒนาเป็นเหง้าหรือลำใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 2.3(b) แต่มีตาข้างเพียงบางตาเท่านั้นที่พัฒนาต่อไปได้ ทำให้มีลำห่าง ๆ กัน ตัวเหง้ามีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าลำ ตัวอย่างของไผ่ที่มีระบบเหง้าแบบลำเดี่ยว เช่น ไผ่มากินอย (*Phyllostachys makinoi*)

ลำไผ่ (Culm)

ลำไผ่ มีลักษณะเป็นท่อกลม ลำตั้งตรง ปลายลำโค้งงอ ลำไผ่ประกอบไปด้วยส่วนปล้อง (Internode) และส่วนข้อ (Node) ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.4 โดยปล้องเกิดระเหว่างข้อ มีลักษณะเป็นห้องส่วนใหญ่บริเวณปล้องมักกลวง แต่ก็มีหลายชนิดที่ปล้องจะตัน เช่น ไผ่รวก (*Dendrocalamus siamensis*) ไผ่ไร่ (*Gigantochloa albociliata*) และไผ่ซางดำ (*Dendrocalamus strictus*) (สราวุธ และคณะ, 2554) ส่วนข้อเป็นส่วนที่กั้นระหว่างปล้องแต่ละอันมีลักษณะตัน



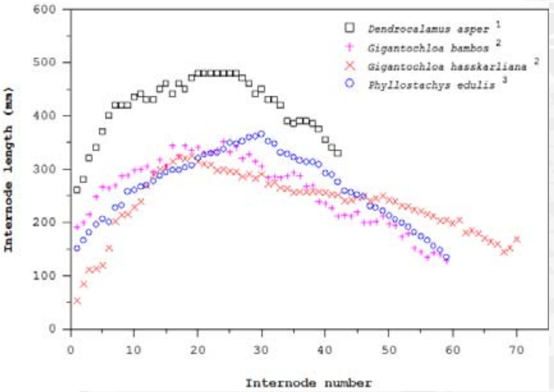
<u>ภาพที่ 2.4</u> ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไผ่

ภาพที่ 2.5 ลักษณะภายนอกของลำไผ่ที่แตกต่างกันหลายชนิด

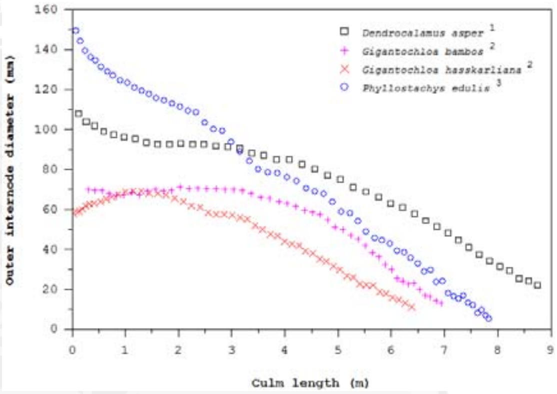
โดยทั่วไปบริเวณผิวภายนอกของลำไผ่มักเกลี้ยงหรือมีขนเล็กน้อย แต่บางชนิดก็มีขนปกคลุม เช่น ไผ่ขน (*Phyllostachys eduis*) โดยจะมีขนนุ่มปกคลุมหนาแน่น รวมถึงสกุลไผ่ตงหลายชนิดที่ส่วนล่างของลำมักมีขนปกคลุมหนาแน่นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบลำไผ่ที่มีสีสันแตกต่างกัน เช่น สีเหลืองสลับแถบเขียวตามยาวของลำไผ่เหลือง (*Bambusa vulgaris cv. Vittata*) ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.5 ผนังด้านนอกของลำไผ่จะเคลือบด้วยสารกันน้ำ (Wax)

2.1.4 ลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่

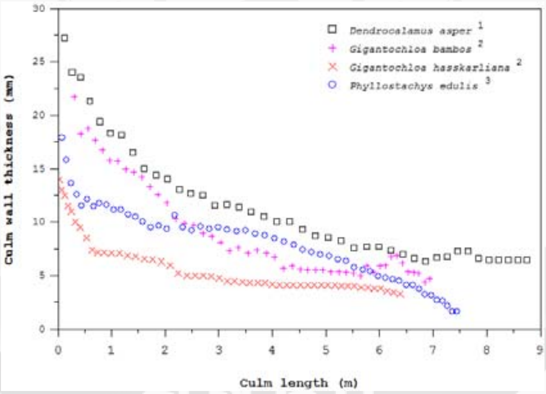
ลักษณะโครงสร้างระดับมหภาคของลำไผ่นั้นมีความผันแปรตลอดความยาวของลำ โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางลำและความหนาของผนังปล้องมีค่าลดลงจากส่วนโคนไปถึงปลาย ในขณะที่ความยาวของปล้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปถึงกลาง จากนั้นก็จะมีค่าลดลงไปจนถึงส่วนปลายของลำไผ่ โดยความยาวของปล้องมีค่ามากที่สุดบริเวณกึ่งกลางลำต้น ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.5 (Liese 1998; Malanit et al. 2008)



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 2.6 ความผันแปรของลักษณะระดับมหภาคตลอดความยาวของลำไผ่ 4 ชนิด
(a) ความยาวของปล้อง, (b) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของปล้อง และ (c) ความหนาของผนังปล้อง
[ดัดแปลงจาก: Malanit *et al*., 2008; Sutnaun *et al*., 2005; Amada & Untao, 2001]

2.1.3 ลักษณะระดับจุลภาคของลำไผ่

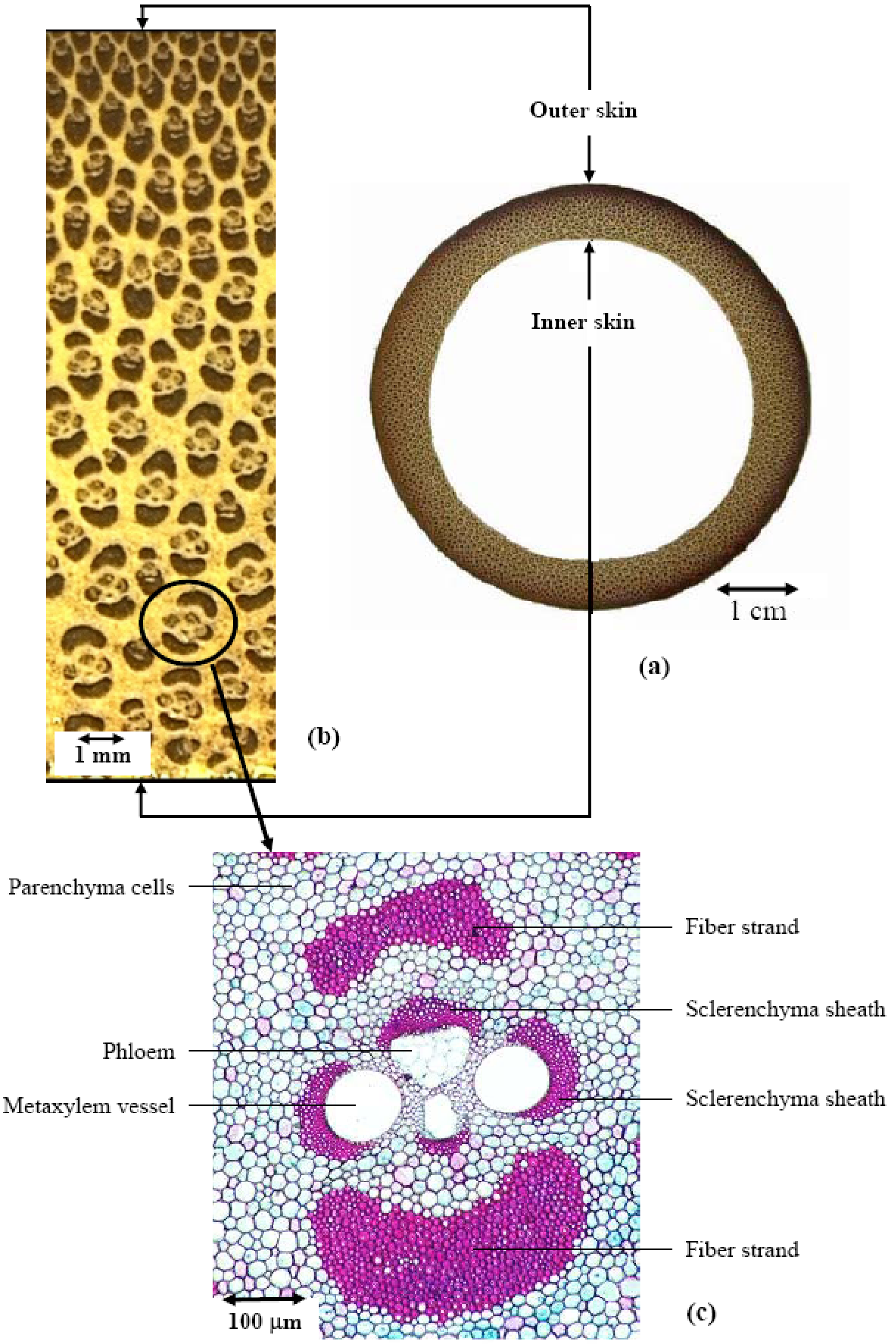
ส่วนของเนื้อไม้ไผ่ประกอบกลุ่มเซลล์ 2 ชนิด คือ กลุ่มเซลล์เส้นใย (Fibers) และกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียง (Vascular bundles)

เซลล์เส้นใยเป็นโครงสร้างหลักที่ให้ความแข็งแรง ส่วนท่อลำเลียงช่วยในการลำเลียงน้ำและอาหารของลำไผ่ โดยเซลล์เส้นใยและท่อลำเลียงเรียงตัวเป็นระเบียบตามความยาวลำต้นในส่วนปล้อง แต่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบและแตกกิ่งก้านสาขาในบริเวณข้อ แขนงที่เกิดม้วนตัวและสานไปมาตามแนวนอนผ่านผนัง

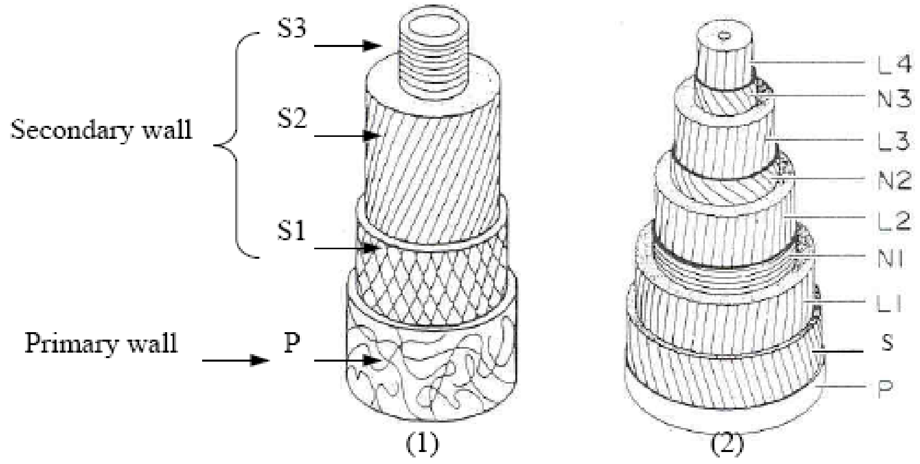
ข้อ (Diaphragm) เพื่อลำเลียงอาหารสู่กิ่ง ความยาวของเส้นใยแตกต่างกันมากในส่วนปล้อง โดยเซลล์ที่อยู่ใกล้ข้อมีความยาวน้อยที่สุด และที่ตอนกลางของลำปล้องมีความยาวมากที่สุด

นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มเซลล์ดังกล่าวนี้จะมีขนาดที่ผันแปรตลอดความยาวของลำไผ่ และตลอดความหนาของผนังปล้อง โดยบริเวณผิวด้านนอกของลำกลุ่มเส้นใยและท่อลำเลียงจะมีขนาดเล็กและรูปร่างมีลักษณะรีคล้ายรูปไข่และจัดเรียงตัวหนาแน่นมากกว่าผิวด้านใน มีเนื้อเยื่อเซลล์ผนังบาง (Parenchyma cells) แทรกตัวอยู่เพียงเล็กน้อย บริเวณกลางและใกล้ผิวด้านในกลุ่มเซลล์เส้นใยและท่อลำเลียงมีขนาดใหญ่ กระจายตัวมากและมีเนื้อเยื่อเซลล์ผนังบางแทรกตัวอยู่มากขึ้นด้วยจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นมาก ส่วนบริเวณกลางและใกล้ผิวด้านในกลุ่มเส้นใยและท่อลำเลียงจะมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่จะกระจายตัวกันอยู่ห่าง ๆ และมีมีเซลล์ผนังบางแทรกอยู่มาก ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ความผันแปรที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไผ่เช่นกัน ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Malanit และคณะ (2008 & 2009) พบว่า ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper*) มีค่าความหนาแน่นผันแปรในช่วง 0.4 - 0.9 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยจะมีค่ามากขึ้นจากโคนถึงปลายลำและจากผนังด้านในไปยังด้านนอกของปล้องซึ่งจะผันแปรโดยตรงกับการยืดหดตัว การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนและความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน

ไผ่มีกลุ่มเซลล์เส้นใยและท่อลำเลียงจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นเชิงเส้น ท่อลำเลียงมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงและเซลล์เส้นใยที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกตัน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ค่าความต้านทานแรงดึงของไม้ไผ่มีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากลักษณะพิเศษของผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary wall) ที่มีอยู่ถึง 9 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นมีการเรียงตัวของเส้นใยย่อย (Microfibril) ในองศาที่ต่างกันโดยเฉพาะการเรียงตัวที่ไปในทิศเดียวกับแกนของลำมีปริมาณมาก เป็นผลให้ไม้ไผ่สามารถรับแรงดัดสถิตย์ (Static bending strength) และแรงดึงขนานเสี้ยน (Tensile parallel to grain) ได้สูงเป็นพิเศษ (Li et al., 1995; Chapman, 1997)



ภาพที่ 2.7 รายละเอียดโครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่ตง (*D. asper*) ประกอบด้วย (a) ภาพถ่ายตัดตามขวางของลำไผ่ (b) การกระจายตัวของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงภายในไม้ไผ่จากผนังด้านนอกเข้าสู่ผนังด้านในของลำ และ (c) เซลล์ต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียง



ภาพที่ 2.8 (1) ลักษณะทางกายวิภาคของเซลล์เส้นใยไม้ใบเลี้ยงคู่ทั่วไปที่มีจำนวนชั้นของผนังเซลล์ทั้งหมด 4 ชั้น (2) เซลล์เส้นใยไม้ไผ่ที่มีจำนวนชั้นของผนังเซลล์ทั้งหมด 9 ชั้น P คือผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary wall), S คือผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary wall), L และ N คือชั้นของผนังเซลล์ที่เส้นใยย่อยเรียงตัวตามแนวยาวและแนวขวางของเซลล์เส้นใย ตามลำดับ

(ที่มา: Li et al., 1995)

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของลำไผ่

องค์ประกอบเคมีของไผ่มีความคล้ายคลึงกับของไม้ คือประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemi- cellulose) และลิกนิน (Lignin) ดังแสดงให้ดูในตารางที่ 2.1 โมเลกุลของเซลลูโลสจับกันเป็นคู่ด้วยพันธะไฮโดรเจน มีลักษณะเป็นแผ่นยาวจำนวน 40 แผ่นเรียงซ้อนกันเป็นชั้นตามแนวขนาน โดยมีพันธะไฮโดรเจนเชื่อมแผ่นให้ติดกันเป็นเส้นใยทรงกระบอกยาว เรียกว่าเส้นใยย่อย เรียงตัวกันที่ด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นชั้นๆ หลายๆ ชั้น เส้นใยเรียงตัวตามแนวขวางของชั้นที่อยู่ติดกันและเชื่อมต่อให้ติดกันด้วยสารเชื่อม (ลิกนิน) จึงทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมาก ในผนังเซลล์ทุติยภูมิ เส้นใยย่อยของเซลลูโลสฝังตัวอยู่ในลิกนิน ผนังเซลล์ทุติยภูมิจึงทนต่อแรงดัน แรงดึง หรือแรงอัดได้ดี

ส่วนองค์ประกอบรองประกอบด้วยเรซิน (Resin) แทนนิน (Tannin) และขี้ผึ้ง (Wax) และนอกจากนี้ยังมีเกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) อื่น ๆ เช่น ซิลิกา ทองแดง สังกะสี โปแตสเซียม แคลเซียม แมงกานีสและอื่นๆ โดยจะพบซิลิกาเป็นหลัก โดยปริมาณที่พบแตกต่างกันอยู่ที่พันธ์ไผ่ โดยทั่วไปจะพบซิลิกาสะสมอยู่ในเซลล์ผิวเป็นส่วนใหญ่ เนื้อไม้ส่วนข้อมีปริมาณซิลิกาอยู่น้อยแต่พบน้อยมากในส่วนปล้อง ซิลิ

กาจะส่งผลต่อกระบวนการผลิตโดยทำให้เครื่องมือตัดมีอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีแป้ง ไขมัน และโปรตีนสะสมอยู่ในปริมาณสูงซึ่งจะทำให้เกิดความเสี่ยงจากการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อราได้ง่าย

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไผ่หลายชนิด

ชนิดไผ่	**องค์ประกอบทางเคมี (% w/w)**						
	Holocellulose	Lignin	Ash	Cold-water solubility	Hot-water solubility	1% NaOH solubility	Alcohol-benzene solubility
Dendrocalamus asper [1]	74.0	28.5	1.5	6.4	9.2	24.7	5.5
Phyllostachys heterocycla [2]	76.8	26.1	1.3	-	-	-	4.6
Phyllostachy nigra [2]	66.4	23.8	2.0	-	-	-	3.4
Phyllostachy reticulate [2]	51.8	25.3	1.9	-	-	-	3.4
Phyllostachy makinoi [3]	79.9	25.5	-	-	-	-	2.6
Phyllostachy pubescens [4]	71.7	23.6	1.4	-	-	-	4.6
Gigantochloa scortechinii [5]	67.4	26.4	1.3	4.8	5.9	19.4	3.4
Bambusa clumeana [6]	69.2	21.6	-	4.3	7.3	23.3	3.8
Schizostachyum zollingeri [6]	71.6	21.4	-	4.1	5.1	24.3	2.5

ที่มา: [1] Kamthai (2003)

[2] Higuchi (1957)

[3] Fengel and Shao (1984)

[4] Li, Shupe, Peter, Hse and Eberhardt (2007)

[5] Jamaludin, Abd. Jalil, Ashari and Abd. Latif (1992)

[6] Nor Azah and Azmy (1991)

ปริมาณของององค์ประกอบทางเคมีของไม้ไผ่ขึ้นอยู่กับชนิด สภาวะการเจริญเติบโต อายุ และตำแหน่งเนื้อไม้ของลำไม้ไผ่ องค์ประกอบทางเคมีของส่วนข้อของไม้ไผ่ประกอบด้วยสารแทรกที่ละลายน้ำได้

(Water-soluble extractives) เพนโทแซน (Pentosan) ขี้เถ้า (Ash) และ ลิกนิน น้อยกว่าในส่วนปล้องแต่มีเซลลูโลสมากกว่าในส่วนปล้อง ปริมาณลิกนินแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในไม้ไผ่อ่อนและไม้ไผ่ที่โตเต็มวัย ซึ่งปริมาณลิกนินของไม้ไผ่อายุ 6 เดือน (อ่อน) มีค่าประมาณ 13% และมีค่าเพิ่มเป็นสองเท่าเมื่อไม้ไผ่อายุ 4 ปี (โตเต็มวัย) ปริมาณแป้งมีมากที่สุดในเดือนที่แห้งแล้งที่สุดก่อนถึงฤดูฝนและการออกหน่อ เมื่อนำไม้ไผ่ไปแช่ในน้ำเย็น ส่วนหนึ่งของสารสีและแทนนินจะละลายน้ำออกมา ถ้าแช่ในน้ำร้อนจะมีสารละลายออกมามากกว่าโดยเฉพาะสารจำพวกแป้งและพิษบางชนิด ขี้เถ้ามีปริมาณ 1-5% มีมากในส่วนในมากกว่าในส่วนนอกของไม้ไผ่ ซิลิกามีปริมาณ 0.5-4% โดยปริมาณเพิ่มขึ้นจากโคนไปถึงส่วนยอดของต้นไม้ไผ่ ซิลิกาสะสมอยู่ในเซลล์ผิวเป็นส่วนใหญ่ เนื้อไม้ส่วนข้อมีปริมาณซิลิกาอยู่น้อย และในส่วนปล้องมีซิลิกาอยู่ในปริมาณน้อยมาก (Chapman, 1997)

2.1.5 สมบัติทางกายภาพของลำไผ่

สมบัติทางกายภาพของไผ่นั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ อายุ ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น ตำแหน่งและส่วนต่าง ๆ ของลำไผ่ที่แตกต่างกัน ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของไผ่บางชนิดซึ่งรายงานไว้โดย Liese (1985)

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของไผ่หลายชนิด

ชนิดไผ่	ปริมาณความชื้น (%)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	การหดตัว (%)	
			รัศมี	สัมผัส
Bambusa blumeana	57-97	0.43-0.60	510	6-20
Bambusa vulgaris	79-11	0.27-0.57	6-11	10-20
Bambusa heterostachya	92-132	0.44-0.58	19-27	6-11
Dendrocalamus asper	28-105	0.55-0.78	4-9	6-11
Gigantochloa scortechinii	79-10	0.47-0.60	7-14	14-19
Schizostachyum zollingeri	30-77	0.65-0.94	5-14	2-10

ที่มา: Liese (1985)

2.1.6 สมบัติเชิงกลของลำไผ่

เนื่องจากไผ่เป็นวัสดุที่มีสมบัติที่ไม่เท่ากันในทุกทิศทาง (Anisotropic material) ดังนั้นสมบัติทางกายภาพของไผ่จึงมีความผันแปรซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ อายุ ลักษณะทางจุลภาค ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น รวมถึงตำแหน่งและส่วนต่าง ๆ ของลำไผ่ที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยสมบัติเชิงกลของไผ่บางชนิด ทำให้ทราบว่ามอดุลลัสแตกหักและมอดุลยืดหยุ่นของไผ่มีค่าประมาณ 52.4-122 เมกะพาสคัล และ 1,700-63,000 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ส่วนการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนมีค่าประมาณ 4.0-13.7 เมกะพาสคัล ส่วนการต้านแรงอัดขนานเสี้ยนมีค่าอยู่ในช่วง 24-69 เมกะพาสคัล เมื่อเปรียบเทียบสมบัติดังกล่าวนี้กับไม้ใบกว้างทั่วไปจะเห็นได้ว่า ไผ่มีความแข็งแรงสูงกว่าไม้ ซึ่งจัดเป็นข้อดีของไผ่ในการนำไผ่ไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง

<u>ตารางที่ 2.3</u> สมบัติเชิงกลของไผ่หลายชนิด

ชนิดไผ่	มอดุลลัส แตกหัก (MPa)	มอดุลลัส ยืดหยุ่น (MPa)	การต้านแรงเฉือนขนานเสี้ยน (MPa)	การต้านแรงกดขนานเสี้ยน (MPa)
Bambusa blumeana	99.8	4,100	4.5	24.0
Bambusa vulgaris	62.3	6,100	4.0	25.3
Dendrocalamus asper	85.7	6,300	5.4	31.5
Gigantochloa scortechinii	52.4	4,800	4.3	27.0
Gigantochloa levis	78.5	5,100	4.8	40.0
Balanocarpus hemii	122.0	1,800	13.7	69.0
Koompasia malaccensis	100.0	1,700	10.0	54.7

ที่มา: Liese (1985)

การทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงกลของไม้ทั่วไปนั้นสามารถกำหนดให้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่มีหลายชนิด โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น

(1) สมบัติทางกายภาพ

(1.1) ปริมาณความชื้น (Moisture content)

(1.2) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

(1.3) การหดตัว (Shrinkage)

(1.4) การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

(1.5) การนำความร้อน (Thermal conductivity)

(1.6) การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion)

(2) สมบัติเชิงกล

(2.1) การดัดสถิต (Static bending)

(2.2) การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain)

(2.3) การดึงตั้งฉากเสี้ยน (Tension perpendicular to grain)

(2.4) การอัดขนานเสี้ยน (Compression parallel to grain)

(2.5) การอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compression perpendicular to grain)

(2.6) การเฉือนขนานเสี้ยน (Shear parallel to grain)

(2.7) การฉีก (Cleavage)

(2.8) การดัดกระแทกและความเหนียว (Impact bending and toughness)

(2.9) ความแข็ง (Hardness)

(2.10) การบิด (Torsion)

(2.11) การเฉือนกลิ้ง (Rolling shear)

(2.12) การรับแรงซ้ำซาก (Fatigue)

(2.13) การเสื่อมความแข็งแรงตามเวลา (Creep)

การทดสอบสมบัติดังกล่าวเหล่านี้สามารถใช้มาตรฐานการทดสอบจากต่างประเทศ เช่น American Society of Testing and Materials (ASTM), British Standards (BS), Australian Standards (AS), German Standards (DIN) และ International Standards (ISO) เป็นต้น

ROYAL PROJECT FOUNDATION

จากการค้นคว้าข้อมูลและประสบการณ์การวิจัย พบว่า มาตรฐานที่เอ่ยมาข้างต้นนั้นจะกำหนดขนาดตัวอย่างไม้ซึ่งเหมาะสมและใช้ได้ดีกับไม้ใบเลี้ยงคู่ (Dicotheledon) เช่น ไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ (Hardwoods and Softwoods) แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแรงดึงกับไม้ใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotheledon) เช่น ไม้ปาล์ม ไม้ไผ่ ซึ่งเป็นไม้ที่มีความแข็งแรงในทิศทางขนานเสี้ยนสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบการดึงและการอัดขนานเสี้ยน ซึ่งพบว่าชิ้นตัวอย่างมักจะแตกหักหรือเกิดการเสียรูปอันเนื่องจากพฤติกรรมหรือแรงประเภทอื่น ดังนั้นการทดสอบสมบัติเชิงกลของไผ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทิศทางขนานเสี้ยนต้องดัดแปลงตัวอย่างทดสอบให้เหมาะสม

2.2 ผลวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไผ่มากินอย เป็นไผ่ประเภทเหง้าลำเดี่ยว ลำมีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สูง 7-20 เมตร ลำตรงขึ้นห่างกัน เส้นผ่านศูนย์กลางลำ 3-7 เซนติเมตร ปล้องยาว 40 เซนติเมตร ผนังปล้องหนา 1 เซนติเมตร ลำอ่อนมีไขหรือมีนวลสีขาวปกคลุมบาง ๆ ลำแก่สีเขียว ไผ่มากิโนอิเป็นไผ่พื้นเมืองของไต้หวัน นำเข้ามาทดลองปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากลำซึ่งนำมาใช้ในการก่อสร้าง ทำเครื่องเรือน เยื่อกระดาษ เครื่องจักรสาน รวมถึงเป็นไม้ประดับ (สราวุธ และคณะ, 2554) องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ คือ 45.3% เซลลูโลส, 24.3% เฮมิเซลลูโลส, 25.5% ลิกนิน และ 2.6% สารแทรก (Fengel and Shao, 1984) ความสามารถในการเปียกของไผ่มากิโนอิมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับ *Populus tremuioides*, *Liriodendron tulipifera* และ *Quercus alba* (Chung et al., 2005) อาจส่งผลต่อความสามารถในการติดกาวเมื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไม้ประกอบ

ไผ่รวก เป็นไผ่ประเภทเหง้ากอขนาดเล็ก สูง 3-10 เมตร ลำตรงอัดกันเป็นกอแน่นมาก เส้นผ่านศูนย์กลางลำ 2-5 เซนติเมตร ปล้องยาว 10-30 เซนติเมตร ผนังปล้องหนาและมักตันบริเวณโคนลำ ลำแก่สีเขียวอมเทา พบทั่วไปในป่าผสมผลัดใบและป่าเต็งรังทางภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นไผ่ที่นิยมใช้ประโยชน์มากจึงมีการปลูกเป็นไม้เศรษฐกิจ ส่วนของลำสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้าง เครื่องเรือน เครื่องใช้ เยื่อกระดาษ (สราวุธ และคณะ, 2554)

ไผ่ซางหม่น เป็นไผ่ประเภทเหง้ากอขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ลำไผ่มีขนาดและลักษณะภายนอกคล้ายกับไผ่ซางดำ (*D. strictus*) ลำไผ่ยาว 9-18 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำใหญ่ถึง 13 เซนติเมตร (Meredith, 2009) ผนังปล้องมีความหนามาก นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างรวมถึงนำมาผลิตเป็นไม้ประกับ (Laminated bamboo) (Talabgaew and Laemlaksakul, 2007)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 สถานที่ทดลอง ระยะเวลาทำการทดลอง

3.1.3 สถานที่ทดลอง

สถานที่ทำการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

- สวนรวมพันธุ์ไผ่แม่เหียะ โครงการหลวงแม่เหียะ ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่
- สถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง ต.แม่งอน อ.ฝาง จ.เชียงใหม่
- หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.1 แปลงไผ่ในพื้นที่ (ก) สวนรวมพันธุ์ไผ่แม่เหียะ โครงการหลวงแม่เหียะ และ (ข) สถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง

3.1.2 ระยะเวลาที่ทำการทดลอง

งานวิจัยนี้มีระยะเวลาดำเนินการรวมทั้งสิ้น 24 เดือน โดยแผนงานวิจัยในแต่ละช่วงปีได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ดังนี้

<u>ตารางที่ 3.1</u> แผนงานวิจัยในปีที่ 1 ระยะเวลารวม 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2555 ถึงกันยายน 2556)

กิจกรรม	**พ.ศ.2555**			**พ.ศ.2556**								
	ต.ค.	**พ.ย.**	**ธ.ค.**	**ม.ค.**	**ก.พ.**	**มี.ค.**	**เม.ย.**	**พ.ค.**	**มิ.ย.**	**ก.ค.**	**ส.ค.**	**ก.ย.**
1. ทบทวนเอกสาร	√											
2. จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์	√	√										
3. ศึกษาความผันแปรของลักษณะระดับมหภาค			√									
4. จัดเตรียมและส่งตัวอย่างไม้ไผ่ไปยังห้องปฏิบัติการ			√									
5. ศึกษาความผันแปรของลักษณะระดับจุลภาค				√	√	√						
6. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ							√	√	√			
7. ศึกษาสมบัติเชิงกล										√	√	√

ROYAL PROJECT FOUNDATION

ตารางที่ 3.2 แผนงานวิจัยในปีที่ 2 ระยะเวลารวม 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2556 ถึงกันยายน 2557)

กิจกรรม	พ.ศ.2556			พ.ศ.2557								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี	√	√	√									
2. ศึกษาความเป็นกรดด่าง และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง				√	√	√						
3. ศึกษาความสามารถในการเปียก							√	√	√			
4. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง										√	√	
5. จัดเตรียมเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์											√	√

มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

3.2 วัตถุทดลองที่ใช้

3.2.1 ตัวอย่างไม้ไผ่

ไผ่มากินอย (*Phyllostachys makinoi*) ไผ่รวกดำ (*Thyrsostachys oliveri*) และไผ่ซางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*) อายุ 1, 3 และ 5 ปี จาก สวนรวมพันธุ์ไผ่แม่เหียะ โครงการหลวงแม่เหียะ ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และสถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง ต.แม่งอน อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ โดยสุ่มมาอย่างละ 3 ลำ ดังแสดงในภาพที่ 3.2

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไม้ไผ่จาก (ก) สวนรวมพันธุ์ไผ่แม่เหียะในโครงการหลวงแม่เหียะ จ.เชียงใหม่ และ (ข) สถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่

3.2.2 **อุปกรณ์และเครื่องมือ**

- เครื่องเลื่อยวงเดือน (Circular saw)
- เครื่องเลื่อยสายพาน (Band saw)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electrical balance) ความละเอียด 0.01 กรัม และ 0.1 มิลลิกรัม
- เตาอบไฟฟ้า (Electrical oven)
- ห้องควบคุมสภาวะ (Conditioning room) ที่สภาวะอุณหภูมิ 20±20 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65±3
- เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine)
- เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (Vernier caliper)
- ตลับเมตร
- โถดูดความชื้น (Desiccators)
- เครื่องทำความร้อน (Heating mental)
- เครื่องกวนสารโดยใช้สนามแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic stirrer and magnetic bar)
- เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) แบบตั้งโต๊ะ ยี่ห้อ Mettler รุ่น FE20
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle meter) ยี่ห้อ Kyowa รุ่น DM 300
- กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZ-CTV
- เตาเผาไฟฟ้า (Electric muffle furnace)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ UNICAM รุ่น Hexios
- อุปกรณ์สกัดสาร ได้แก่ ซอกฮ์เล็ตแอกซ์แทรคชัน (Soxhlet extraction apparatus) ขนาด 250 มล. และซอกฮ์เล็ตแอกซ์แทรคชันทิวบ์ (Soxhlet extraction tube) ขนาดสันผ่าศูนย์กลางภายใน 50 มม.
- กระดาษทรายเบอร์ 220
- เครื่องแก้วห้องปฏิบัติการ เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดรูปกรวย ฯลฯ

3.2.3 สารเคมี

- Toluene
- Glacial acetic acid 99.99%
- Hydrochloric acid 36.5-38.0%
- Sulfuric acid 96.5%
- Acetone
- Formaldehyde 40%
- Ferrous sulphate
- Potassium permanganate
- Sodium sulphide
- Sodium chlorite
- Potassium iodide
- Barium chloride
- Hydrogen peroxide solution 35%
- Sodium hydroxide
- Ethanol
- น้ำกลั่น

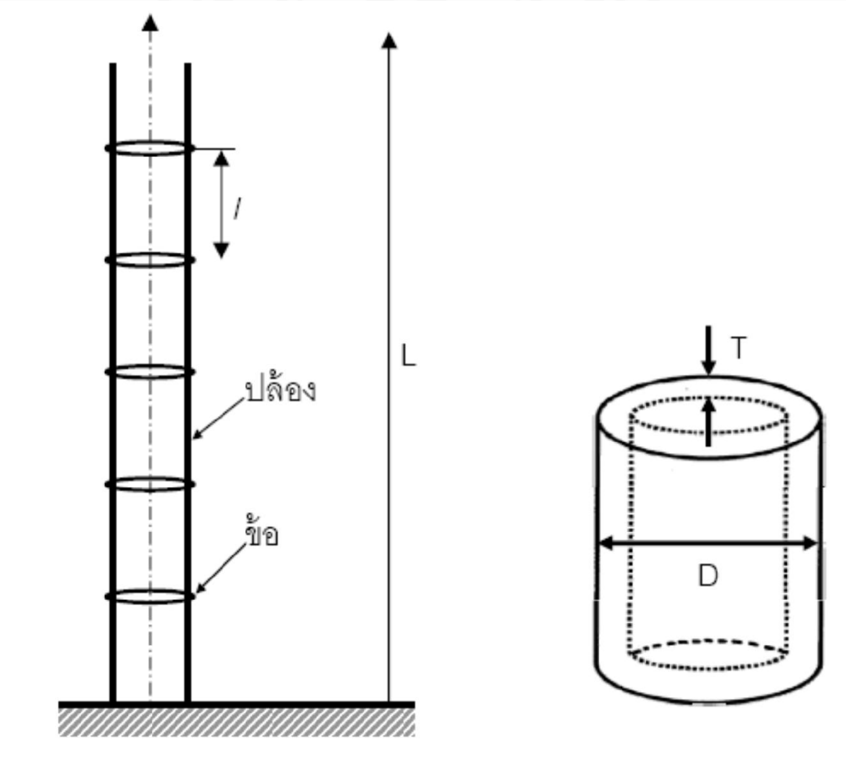
มูลนิธิโครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

3.3 วิธีการทดลองที่ใช้ การบันทึกข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงวิธีการเตรียมตัวอย่าง และวิธีการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของลำไผ่ดังที่ได้อธิบายไว้ในส่วนของขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 การศึกษาลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่

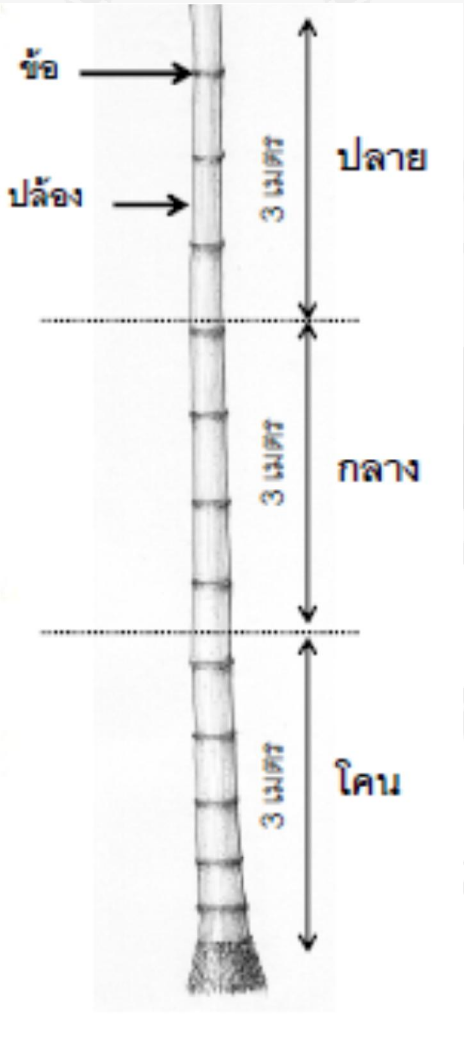
โดยการศึกษาความยาวของลำไผ่ จำนวนปล้องต่อลำของไผ่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำไผ่ และความหนาของผนังปล้องที่ระดับความสูงจากส่วนโคนไปจนถึงส่วนปลายของลำไผ่ 3 ชนิด คือ ไผ่มากินอย ไผ่รวกดำและไผ่ซางหม่น และมีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 3 และ 5 ปี โดยภาพที่ 3.3 แสดงภาพจำลองการวัดขนาดต่าง ๆ ของลำไผ่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้



<u>ภาพที่ 3.3</u> ภาพจำลองการศึกษาลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่ ประกอบด้วย; L = ความยาวของลำไผ่, l = ความยาวของปล้องแต่ละป้อง; D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำไผ่ และ T = ความหนาของผนังปล้อง

3.3.2 การแบ่งลำไผ่ตามระดับความสูงจากพื้น

นำลำไผ่ตัวอย่างทั้งหมดมาตัดเป็นท่อนตามระดับความสูงที่กำหนดไว้ โดยนำลำไผ่แต่ละลำมาตัดแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามระดับความสูงจากพื้น คือ ส่วนโคน กลาง และปลาย โดยแต่ละท่อนมีความยาวเฉลี่ยท่อนละ 3 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.4 จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปอบแห้งไล่ความชื้นเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อรา และจัดส่งชิ้นตัวอย่างทั้งหมดไปยังหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช



ภาพที่ 3.4 ภาพจำลองการแบ่งลำไผ่ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโคน กลาง และปลาย ตามระดับความสูงจากพื้นดิน

เมื่อลำไผ่ตัวอย่างทั้งหมดถูกส่งมาถึงหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้เรียบร้อยแล้ว จึงนำมาตัดย่อยให้เป็นชิ้นทดสอบขนาดต่าง ๆ กันเพื่อใช้สำหรับการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป ก่อนทดสอบจะต้องนำชิ้นทดสอบไปปรับความชื้นโดยนำไปใส่ในตู้ของเครื่องควบคุมบรรยากาศ และตั้งเครื่องที่อุณหภูมิ 20$\pm$20 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65$\pm$3จนชิ้นไม้มีความชื้นสมดุลกับบรรยากาศภายในตู้ ดังแสดงในภาพที่ 3.5 (ตรวจได้โดยการชั่งน้ำหนักของชิ้นไม้ เมื่อน้ำหนักของชิ้นไม้คงที่แสดงว่าความชื้นในไม้ถึงสภาวะสมดุลแล้ว) ก่อนจะนำไปทดสอบสมบัติอื่น ๆ ต่อไป

ภาพที่ 3.5 ลักษณะภายนอกและภายในของห้องควบคุมสภาวะ เพื่อใช้ควบคุมสภาวะของชิ้นตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

เครื่องควบคุมบรรยากาศดังกล่าวนี้เป็นเครื่องที่สามารถผลิตอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ ทั้งยังสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามตารางเวลาที่กำหนด (เป็นการจำลองฤดูกาลภายในตู้) เครื่องนี้ใช้สำหรับปรับปริมาณความชื้น (Moisture content) ภายในชิ้นไม้ทดสอบให้มีความชื้นเท่ากับที่กำหนดในมาตรฐานสากล (ประมาณร้อยละ 12) เพื่อให้ข้อมูลสมบัติเชิงกลของไม้ชนิดต่าง ๆ ที่ดำเนินการทดสอบในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยไม่ถูกกระทบด้วยความชื้น โดยเครื่องควบคุมบรรยากาศของหน่วยวิจัย ฯ มีลักษณะเป็นแบบ “Walk-in conditioning room” ซึ่งนักวิจัยสามารถเข้าไปทดลองในตู้ภายใต้บรรยากาศที่ต้องการได้ และดำเนินการทดลองให้ถูกต้องตามแผนการทดลองทางสถิติได้ง่ายขึ้น

3.3.3. การศึกษาลักษณะระดับจุลภาคของลำไผ่

ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่จากโคน กลาง และปลาย โดยตัดจากส่วนที่เนื้อไม้ยังดีอยู่ (ไม่แตกหัก) ของชิ้นตัวอย่าง โดยกำหนดความยาวตามแนวเสี้ยน 20±5 มิลลิเมตร

เปิดสวิตซ์กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ และเปิดคอมพิวเตอร์เข้าสู่โปรแกรม ACT1 วางชิ้นตัวอย่างลงบนฐานกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ แล้วเลือกกำลังขยายที่ต้องการ ปรับโฟกัสภาพให้คมชัด ภาพที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์ด้วยเลนส์ตา จะปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์เช่นกับผ่านทางกล้องดิจิตัลและโปรแกรม ACT 1 (โปรแกรม ACT 1 ช่วยในการโฟกัสภาพ ปรับแต่งสีให้ใกล้เคียงชิ้นงานจริง ตั้งเวลาในการถ่าย ปรับความคมชัด ความสว่าง กำหนดชื่อไฟล์ และกำหนดจุดสองจุดเพื่อแสดงระยะความยาวบนภาพได้) กดปุ่มถ่ายภาพบนโปรแกรม ACT 1 ภาพจะถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลที่กำหนดไว้ นำผลจากการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอไปวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

นำภาพถ่ายทางด้านหน้าตัด (Cross section) ของชิ้นตัวอย่างไปวัดขนาดและจำนวนการกระจายตัวของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงโดยโปรแกรม Image Proplus software

ภาพที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZ-CTV ใช้ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่

3.3.4 **การศึกษาสมบัติทางกายภาพของลำไผ่**

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่ ประกอบด้วยการหาปริมาณความชื้น ความถ่วงจำเพาะ และการหดตัวทางด้านต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

(1) การศึกษาปริมาณความชื้นของลำไผ่สด ตามมาตรฐาน ASTM D143-94(2007): Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่จากส่วนโคน กลาง และปลาย อย่างละ 5 ชิ้น เพื่อวัดปริมาณความชื้นของไม้ไผ่สด โดยตัดจากส่วนที่เนื้อไม้ยังดีอยู่ (ไม่แตกหัก) ของชิ้นตัวอย่างรวมถึงตัดห่างจากปลายของชิ้นตัวอย่างอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร โดยกำหนดความยาวตามแนวเสี้ยน 20±5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.7

<u>รูปที่ 3.7</u> ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบเพื่อศึกษาปริมาณความชื้นของลำไผ่

ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม บันทึกค่าที่ได้ไว้เป็นน้ำหนักก่อนอบแห้ง นำชิ้นตัวอย่างไปอบโดยใช้เตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24 ชั่วโมง) อาจตรวจได้โดยสุ่มชิ้นไม้ในเตาอบมาชั่งน้ำหนักสองครั้งห่างกันประมาณ 6 ชั่วโมง ถ้าน้ำหนักทั้งสองครั้งแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักชิ้นไม้ถือว่าน้ำหนักคงที่แล้ว นำชิ้นตัวอย่างออกจากเตาอบมาใส่ในโถดูดความชื้นที่มีเม็ดซิลิก้าเจลปลอดความชื้นอยู่ที่ก้นโถ เพื่อให้ชิ้นไม้เย็นตัวลงโดยไม่ดูดความชื้นเข้าไป นำชิ้นตัวอย่างไปชั่งน้ำอีกครั้ง (ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม) บันทึกค่าที่ได้เป็นน้ำหนักอบแห้ง นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$MC = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_0} \right) \times 100$$

เมื่อ MC = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

W_1 = น้ำหนักก่อนอบแห้ง (กรัม)

W_0 = น้ำหนักหลังอบแห้ง (กรัม)

(2) การศึกษาปริมาณความชื้นของลำไผ่ที่ผ่านการปรับสภาวะแล้ว ตามมาตรฐาน ASTM D143-94(2007): Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ให้มีลักษณะสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร หนาเท่ากับความหนาของผนังปล้อง และยาวตามแนวเสี้ยน 20±5 มิลลิเมตร โดยตัดจากส่วนที่เนื้อไม้ยังดีอยู่ (ไม่แตกหัก) ของชิ้นตัวอย่างรวมถึงตัดห่างจากปลายของชิ้นตัวอย่างอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร

ขั้นตอนต่อไปปฏิบัติเช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณความชื้นของลำไผ่สด ดังที่กล่าวมาข้างต้น

(3) การหาความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ASTM D143-94(2007): Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

□ ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ให้มีลักษณะสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร หนาเท่ากับความหนาของผนังปล้อง และยาวตามแนวเสี้ยน 20±5 มิลลิเมตร โดยตัดจากส่วนที่เนื้อไม้ยังดีอยู่ (ไม่แตกหัก) ของชิ้นตัวอย่าง

วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นตัวอย่างไม้ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ แล้วนำมาคำนวณเป็นปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง นำไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24 ชั่วโมง) นำชิ้นตัวอย่างออกจากเตาอบมาใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อให้ชิ้นทดสอบเย็นตัวลงโดยไม่ดูดความชื้นเข้าไป นำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่ได้เป็นน้ำหนักอบแห้ง นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาความถ่วงจำเพาะดังสมการ

$$SG = \frac{W_0}{V}$$

เมื่อ SG = ความถ่วงจำเพาะ

W_0 = น้ำหนักอบแห้งของชิ้นไม้

V = ปริมาตรของชิ้นไม้ขณะทดสอบ

(4) การหาการหดตัวทางด้านต่าง ๆ ของลำไผ่ ตามมาตรฐาน ASTM D143-94(2007): Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

□ ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ให้มีลักษณะสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร หนาเท่ากับความหนาของผนังปล้อง และยาวตามแนวเสี้ยน 20±5 มิลลิเมตร โดยตัดจากส่วนที่เนื้อไม้ยังดีอยู่ (ไม่แตกหัก) ของชิ้นตัวอย่าง

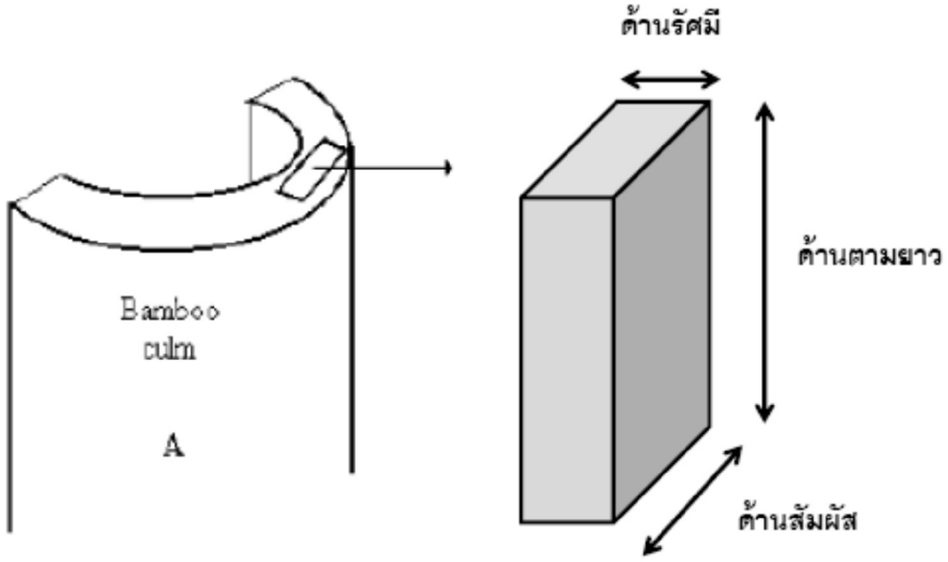
วัดขนาดชิ้นตัวอย่างไผ่แต่ละด้าน (ด้านสัมผัส รัศมี และตามยาว) ดังแสดงในภาพที่ 3.8 บันทึกค่าที่วัดได้ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างดังกล่าวไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103±2^{O}C จนกระทั่งชิ้นไม้มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 0 แล้วนำมาวัดขนาดในแต่ละด้านอีกครั้ง คำนวณหาค่าร้อยละของการหดตัวของเนื้อไม้ทางด้านต่าง ๆ ได้จากสมการ

$$Shrinkage = \left(\frac{D_1 - D_0}{D_1}\right) \times 100$$

เมื่อ Shrinkage = ค่าการหดตัวทางด้านต่าง ๆ (ร้อยละ)

D_1 = ขนาดของแต่ละด้านก่อนอบแห้ง (กรัม)

D_0 = ขนาดของแต่ละด้านหลังอบแห้ง (กรัม)



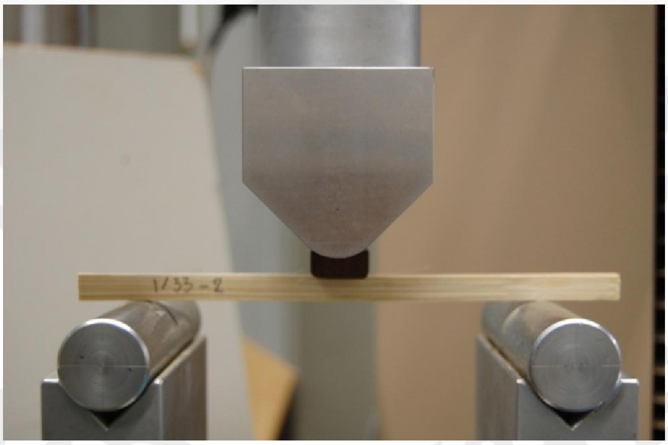
รูปที่ 3.8 ภาพจำลองด้านของชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ที่ใช้สำหรับทดสอบหาการหดตัวทางด้านต่าง ๆ

3.3.5 การศึกษาสมบัติเชิงกลของลำไผ่

สำหรับการศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่นั้น ประกอบด้วย การหาความแข็งแรงดัดและความแข็งตึงในการดัดสถิตย์ ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน และความเค้นอัดขนานเสี้ยน โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

(1) การทดสอบความแข็งแรงดัดและความแข็งตึงในการดัดสถิตย์ ตามมาตรฐาน BS 373: 1957 Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

สำหรับขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างนั้นจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนขนาดให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของลำไผ่ รวมถึงขนานเส้นผ่าศูนย์กลางลำและความหนาของผนังปล้องซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของลำ โดยตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ให้มีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นตัวอย่างเท่ากับความหนาของผนังปล้อง และยาวตามแนวเสี้ยนเท่ากับ 160 มิลลิเมตร วัดขนาดหน้าตัด (ตรงกึ่งกลางความยาว) ของตัวอย่างไม้ด้วยคาลิปเปอร์ อ่านทศนิยมสองตำแหน่ง



<u>ภาพที่ 3.9</u> อุปกรณ์และการวางชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดัดสถิตของไม้ไผ่

นำตัวอย่างไม้ไปวางบนแท่นรองซึ่งวางห่างกัน 140 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.9 ส่วนของแท่นรองที่สัมผัสกับตัวอย่างไม้ต้องเป็นลูกกลิ้งกลม (เพื่อลดแรงเสียดทานตามแนวนอน) ถ้าลูกกลิ้งวางอยู่บนระบบลูกปืนที่ปรับตัวได้ตามแนวตั้งฉากกับความยาวของตัวอย่างไม้ จะถูกต้องยิ่งขึ้น (ไม่มีระบบลูกปืนนี้ก็อนุโลมได้แต่ต้องตัดตัวอย่างไม้ให้ได้ฉาก และป้องกันไม่ให้ไม้ต้องอย่างไม้บิดงอเนื่องจากสูญเสียความชื้น) กดน้ำหนักลดบนกึ่งกลางของตัวอย่างไม้ด้วยหัวกดที่มีรัศมีของความโค้ง 25 มม. และหัวกดจะต้องยึดอยู่กับระบบลูกปืน ซึ่งหมุนได้รอบตัวเพื่อขจัดแรงหมุนที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากตัดตัวอย่างไม้ไม่ได้ฉาก

เดินเครื่องให้หัวกดสัมผัสกับตัวอย่างไม้ ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ทำให้ไม้แตกหักภายในเวลา 90±30 วินาที กดน้ำหนักจนตัวอย่างไม้แตกหัก จดค่าแรงและปริมาณการโก่งเนื่องจากแรงไว้

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาค่าโมดุลัสแตกหัก (Modulus of rupture) และโมดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ดังสมการต่อไปนี้

$$MOR = \frac{3 P_{\max} L}{2 b d^2}$$

$$MOE = \frac{P_{pl} L^3}{4 \delta_{pl} b d^3}$$

เมื่อ MOR = ความแข็งแรงดัด (MPa หรือ N/mm^2)

MOE = ความแข็งตึง (MPa หรือ N/mm^2)

P = น้ำหนัก (แรง) ที่กระทำ (นิวตัน)

P_{max} = น้ำหนักสูงสุด (นิวตัน)

P_{pl} = น้ำหนักที่จุด P.L. (นิวตัน)

δ = การโก่งของตัวอย่างไม้ (มิลลิเมตร)

δpl = การโก่งที่จุด P.L. (มิลลิเมตร)

b = ความกว้างของตัวอย่างไม้ (มิลลิเมตร)

d = ความลึกของตัวอย่างไม้ (มิลลิเมตร)

L = ความยาวของตัวอย่างไม้ระหว่างแท่นรอง (มิลลิเมตร)

(2) การทดสอบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน ตามมาตรฐาน BS 373: 1957 Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ให้มีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นตัวอย่างเท่ากับความหนาของผนังปล้อง และยาวตามแนวเสี้ยนเท่ากับ 25 มิลลิเมตร วัดขนาดหน้าตัด (ตรงกึ่งกลางความยาว) ของตัวอย่างไม้ด้วยคาลิปเปอร์ อ่านทศนิยมสองตำแหน่ง

นำตัวอย่างไม้ไปวางไว้ในอุปกรณ์สำหรับทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยน การวางชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ในอุปกรณ์ทดสอบต้องพยายามวางให้ตัวอย่างไม้ตั้งตรง โดยให้หน้าตัดแนบสนิทกับฐานรอง และจัดให้เกิดการเฉือนประมาณตรงกึ่งกลางของตัวอย่างไม้ อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบแรงเฉือนที่ถูกต้องจะจัดให้แผ่นกด (Bearing plate) เหลื่อมกับฐานรอง (Base plate) เท่ากับ 3.175 นิ้ว (1/8 นิ้ว) เพื่อให้ตัวอย่างมีอิสระในการเลือกแนวการเลื่อนไถลไปตามระนาบที่มีความต้านทานน้อยที่สุด (Plane of least resistance) ถ้าไม่มีส่วนเหลื่อมนี้ ตัวอย่างไม้จะถูกบังคับให้เลื่อนไถลตามแนวแผ่นเหล็ก ซึ่งอาจจะไม่ใช่ส่วนที่อ่อนที่สุดของตัวอย่างไม้ และเป็นเหตุให้ค่าความแข็งแรงที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง ปรับเครื่องให้เริ่มต้นจากศูนย์ ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ทำให้ตัวอย่างไม้แตกหักภายในเวลา 90-120 วินาที กดจนตัวอย่างไม้เลื่อนไถลออกจากกัน จดค่าแรงสูงสุดไว้ นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาความเค้นสูงสุดในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน (Ultimate shearing stress parallel to grain) ของชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ โดยแทนค่าในสูตรดังนี้

$$\tau = \frac{P_{\max}}{A_S}$$

เมื่อ τ = ค่าความเค้นสูงสุดในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน (MPa)

P_{max} = น้ำหนัก (แรง) สูงสุดที่ทำให้ไม้เลื่อนไถลออกจากกัน (N หรือ kg)

A_S = พื้นที่ (ระนาบ) ของตัวอย่างไม้ที่รับแรงเฉือน (mm^2 หรือ cm^2)

= ความกว้างของตัวอย่างไม้ × ความยาวของระนาบที่ถูกเฉือน

(3) การทดสอบความเค้นอัดขนานเสี้ยน ตามมาตรฐาน BS 373: 1957 Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ให้มีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นตัวอย่างเท่ากับความหนาของผนังปล้อง และยาวตามแนวเสี้ยนเท่ากับ 25 มิลลิเมตร วัดขนาดหน้าตัด (ตรงกึ่งกลางความยาว) ของตัวอย่างไม้ด้วยคาลิปเปอร์ อ่านทศนิยมสองตำแหน่ง

นำตัวอย่างไม้ไปวางในช่องสำหรับทดสอบแรงอัดของเครื่องทดสอบ จัดเลือกอุปกรณ์ทดสอบ (Jigs) ให้ถูกต้อง และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้หัวกดอย่างน้อยหนึ่งด้านหมุนได้รอบตัวโดยใช้ระบบลูกปืน (Ball bearing) เพื่อให้หัวกดปรับตัวเองให้แนบสนิทกับหน้าตัดของตัวอย่างไม้ไผ่ และกระจายน้ำหนักอย่าง

สม่ำเสมอลงบนหน้าตัด การทดสอบตั้งความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของหัวกด เพื่อให้ไม้แตกหักภายในเวลา 90±30 วินาที และกดน้ำหนักจนตัวอย่างไม้แตกหัก จดค่าแรงสูงสุด (P max) ไว้เพื่อใช้คำนวณความเค้น นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาค่าความเค้นสูงสุดในการรับแรงอัดขนานเสี้ยน ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$\sigma_C = \frac{P_{\max}}{a \times b}$$

เมื่อ σ_C = Stress in compression parallel to grain (MPa)

P_{max} = น้ำหนัก (แรง) สูงสุดที่ทำให้ไม้หัก (N หรือ kg)

a และ b = ขนาดหน้าตัดของตัวอย่างไม้ (mm^2 หรือ cm^2)

ROYAL PROJECT FOUNDATION

3.3.6 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของลำไผ่

นำตัวอย่างไม้ไผ่แต่ละส่วนนำมาตัดย่อยให้มีขนาดเท่าก้านไม้ขีด แล้วบดด้วยเครื่องบดย่อยให้กลายเป็นผงไม้ขนาดเล็ก นำผงไม้ไผ่เหล่านี้มาทำการแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh และ 60 mesh โดยใช้ผงไม้ที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 60 mesh แล้วผงไม้ที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของไผ่ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

(1) การหาปริมาณขี้เถ้า ตามมาตรฐาน TAPPI T 211 om-02: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: Combustion at 525°C

อบถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 600±25 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้จนเย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ชั่งผงไม้ตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในกระทงอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานประมาณ 6 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักอบแห้งให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม เทผงไม้ใส่ถ้วยกระเบื้อง แล้วชั่งน้ำหนักกระทงฟอยล์ที่เทผงไม้ออกแล้ว นำถ้วยกระเบื้องพร้อมผงไม้ไปใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600±25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้นาน 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม คำนวณปริมาณขี้เถ้าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณขี้เถ้า (\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ตัวอย่าง (กรัม)

A = น้ำหนักขี้เถ้าที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 600±25 องศาเซลเซียส (กรัม)

(2) การหาปริมาณการละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ตามมาตรฐาน TAPPI T 212 om-02: One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp

ชั่งน้ำหนักผงไม้ประมาณ 2 กรัม ใส่ในกระทงฟอยล์แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 6 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำผงไม้และฟอยล์ใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม เทผงไม้ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 200 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักฟอยล์ที่เทผงไม้ออกแล้วอีกครั้ง ตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1

ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ในบิกเกอร์แล้วใส่แท่งแก้วคนให้ทั่ว นำบีกเกอร์ไปใส่หม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 97-100 องศาเซลเซียส ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา คนผงไม้ครั้งละ 3 วินาที ที่เวลา 10, 15 และ 25 นาที เมื่อครบ 1 ชั่วโมง กรองใส่ถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ล้างด้วยน้ำร้อน กรดอะซีติกและน้ำร้อน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม นำค่าต่าง ๆ ที่บันทึกได้ไปคำนวณปริมาณการละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณการละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (\%)} = \frac{(B-C)}{B} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

C = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ที่สกัดด้วย 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์แล้ว (กรัม)

(3) การหาปริมาณการละลายในน้ำร้อน ตามมาตรฐาน TAPPI T 207 cm-88: Water solubility of wood and pulp

ชั่งผงไม้ใส่กระทงฟอยล์ประมาณ 2 กรัม นำผงไม้ไปอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จากนั้นใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อทิ้งให้เย็นนาน 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ถ่ายผงไม้ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักฟอยล์หลังเทผงไม้ออกแล้ว เติมน้ำกลั่นลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำขวดรูปกรวยไปตั้งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3.10 โดยเขย่าขวดทุก ๆ 30 นาที

จากนั้นนำผงไม้ไปกรองในถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้งละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ล้างผงไม้ด้วยน้ำร้อน กรดอะซีติกและน้ำร้อนจนหมดกรด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำถ้วยกรองและผงไม้มาใส่ในโถทำแห้ง เพื่อทิ้งให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม นำค่าต่าง ๆ ที่วัดได้นำมาคำนวณปริมาณการละลายในน้ำร้อนดังสมการต่อไปนี้

ภาพที่ 3.10 อุปกรณ์การทดสอบหาปริมาณการละลายในน้ำร้อนของไม้ไผ่

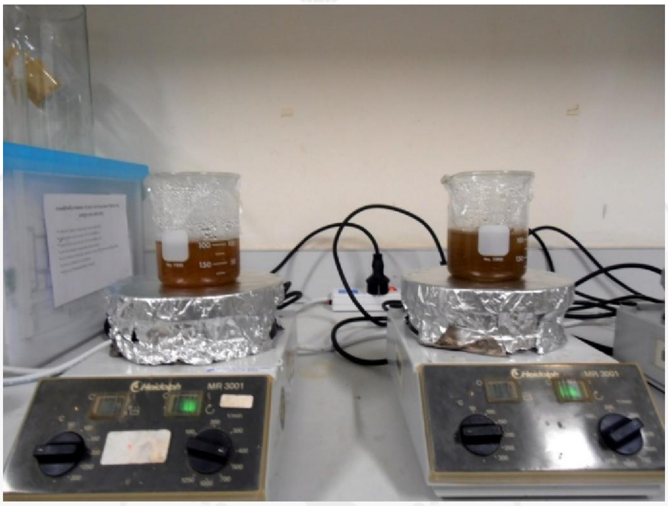
$$\text{ปริมาณการละลายในน้ำร้อน (\%)} = \frac{(B-F)}{F} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

F = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ที่สกัดด้วยน้ำร้อนแล้ว (กรัม)

(4) การหาปริมาณสารละลายในน้ำเย็น ตามมาตรฐาน TAPPI T 207 cm-88: Water solubility of wood and pulp

ชั่งผงไม้ใส่ฟอยล์ประมาณ 2 กรัม แล้วนำผงไม้ไปอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อทิ้งให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ถ่ายผงไม้ลงในในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เทน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปให้แน่ใจว่าผงไม้เปียกตั้งแต่ครั้งแรกเพื่อหลีกเลี่ยงแนวโน้มที่จะลอยตัวของไม้ จากนั้นทำการกวนสารที่อุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็วคงที่ ใช้เวลาในการกวนประมาณ 48 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3.11 จากนั้นกรองผงไม้และล้างด้วยน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำการอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส และทำให้เย็นในโถแห้งก่อนที่จะชั่งน้ำหนัก นำค่าต่าง ๆ ที่วัดได้นำมาคำนวณปริมาณการละลายในน้ำเย็นดังสมการต่อไปนี้



ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์การทดสอบหาปริมาณการละลายในน้ำเย็นของไม้ไผ่

$$\text{ปริมาณการละลายในน้ำเย็น (\%)} = \frac{(B-G)}{B} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

G = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ที่สกัดด้วยน้ำเย็นแล้ว (กรัม)

(5) การหาปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน ตามมาตรฐาน TAPPI T 204 cm-97: Solvent extractives of wood and pulp

ชั่งผงไม้มาใส่ในถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว ประมาณ 1.5 กรัม อบตัวอย่างในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 105±3 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม นำถ้วยกรองมาใส่ไว้ในซอกฮ์เล็ตแอกซ์แทรคชันทิวบ์ โดยให้ระดับของปากถ้วยกรอง อยู่เหนือส่วนโค้งของท่อแก้วที่อยู่ข้างทิวบ์เล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 3.12

เทแอลกอฮอล์-เบนซีนปริมาตร 200 มล.ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการสกัดไม้ด้วยสารละลายแอลกอฮอล์-เบนซีน เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จนสารละลายในหลอดสกัดใส โดยปรับความร้อนให้เกิดการไหลเวียนของแอลกอฮอล์-เบนซีน เป็น 4 ไซฟอน ต่อชั่วโมง เมื่อครบเวลานำถ้วยกรองที่มีผงไม้ที่สกัดสารแทรกแล้วทิ้งไว้ในกระแสอากาศ 1 ชั่วโมง เพื่อให้แอลกอฮอล์-เบนซีนระเหยออกจากผงไม้ แล้วจึงนำถ้วยกรองที่มีผงไม้ไปอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ แล้ว

จึงนำไปใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อทิ้งให้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของถ้วยกรองที่เหลือให้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม นำค่าต่าง ๆ ที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน ดังสมการต่อไปนี้

ภาพที่ 3.12 อุปกรณ์การทดสอบหาปริมาณการละลายละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีนของไม้ไผ่

ปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (%) = $\frac{(B-D)}{D} \times 100$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

D = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์-เบนซีน แล้ว (กรัม)

(6) การเตรียมผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก ตามมาตรฐาน TAPPI T 264 cm-97: Preparation of wood for chemical analysis

การเตรียมผงไม้ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 จากนั้นนำผงไม้มาใส่ในแอกซ์แทรคชันทิวบ์ สกัดด้วยแอลกอฮอล์-เบนซีน ปริมาณ 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมงจนให้แอลกอฮอล์-เบนซีนมีสีใส นำถ้วยกรองมาล้างผงไม้ด้วยแอลกอฮอล์ 95% เพื่อล้างเบนซีนออก จากนั้นสกัดด้วยแอลกอฮอล์ ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ต่อไปอีก 4-6 ชั่วโมง หรือนานจนแอลกอฮอล์มีสีใส การสกัดยังคงรักษาความเร็วที่ 4 ไซฟอนต่อชั่วโมง เมื่อครบเวลานำผงไม้ที่อยู่ในถ้วยกรองมาผึ่งในกระแสอากาศ เพื่อให้แอลกอฮอล์ระเหย แล้วจึงนำผงไม้มาถ่ายใส่ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายน้ำออกและใส่น้ำกลั่นใหม่แล้วต้มต่อ ทำเช่นนี้รวมทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำผงไม้ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร มากรองในถ้วยใบเดิม แล้วล้างด้วยน้ำเดือน 500 มิลลิลิตร เอาถ้วยกรองและผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกแล้วนี้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำมาใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม นำค่าต่าง ๆ ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารแทรกทั้งหมดในไม้ดังนี้

$$\text{ปริมาณสารแทรกทั้งหมด (\%)} = \frac{(B-G)}{B} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

G = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ที่สกัดสารแทรกออกหมดแล้ว (กรัม)

(7) การหาปริมาณโฮโลเซลลูโลส โดยวิธี acid chlorite ด้วยวิธีของ Browing

ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างไม้ที่ปราศจากสารแทรกประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตรและ กรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร และ โซเดียมคลอไรต์ 1.5+0.1 กรัม ตามลำดับ ลงในขวดก้นกลมและทำการทดลองในตู้ควัน นำขวดก้นกลมไปตั้งในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากครบ 1 ชั่วโมง เติมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร ตามด้วย โซเดียมคลอไรต์ 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าขวด หลังจากครบ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างผงไม้จะมีสีขาว เมื่อครบเวลานำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายมากรองผ่าน Sinter glass crucible เบอร์ 3 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้ง หลังจากกรองแล้วล้างผงโฮโลเซลลูโลส

ด้วยน้ำกลั่นจนผงไม้มีสีขาวสะอาดดีแล้ว จึงใช้อะซีโตนเทราดบนตัวอย่างให้ชุ่มแล้วดูดเอาอะซีโตนออกจากตัวอย่างให้มากที่สุด นำโฮโลเซลลูโลสที่ได้นี้ไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105±3°C หลังจากอบแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก และเก็บตัวอย่างไว้วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่อไป คำนวณหาปริมาณโฮโลเซลลูโลสจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (\%)} = \frac{\mathrm{Hol}}{\mathrm{B}} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

Hol = น้ำหนักอบแห้งของโฮโลเซลลูโลส (กรัม)

(8) การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส ตามมาตรฐาน TAPPI T203 om-88: Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp

ชั่งตัวอย่างประมาณ 1.5±0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ปริมาตร 75 มิลลิลิตรลงไปในบีเกอร์ ปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ปริมาณ 2.5±0.2 องศาเซลเซียส คนสารละลายด้วยเครื่องกวนจนกระทั่งเยื่อกระจายอย่างสมบูรณ์ ล้างเครื่องกวนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร (ปริมาตรรวมของสารละลายเท่ากับ 100 มิลลิลิตร) คนสารละลายด้วยแท่งแก้ว นำไปแช่ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 2.5±0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแก้วทิ้งไว้อีก 30 นาที กรองสารละลายโดยใช้ sinter glass crucible เบอร์ 3 จากนั้นล้างเยื่อที่เหลือด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลางและ 10% กรดอะซิติก ปริมาตร 40 มล. นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียสในเตาอบ คำนวณหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสจาก สมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (\%)} = \frac{\alpha}{\mathrm{B}} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

α = น้ำหนักอบแห้งของแอลฟาเซลลูโลส (กรัม)

(9) การหาปริมาณลิกนิน ตามมาตรฐาน TAPPI T 222 om-88: Acid-insoluble lignin in wood and pulp

ชั่งผงไม้ใส่ลงในฟอยล์ประมาณ 1 กรัม อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็นตัวประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ถ่ายผงไม้ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักฟอยล์หลังจากเทผงไม้อบแห้งออกแล้ว เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72% ที่แช่ในอ่างน้ำแข็งจนอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ลงไปในบีกเกอร์เป็นปริมาณ 15 มิลลิลิตร นำบีกเกอร์ไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 2±1 องศาเซลเซียส นำแท่งแก้วมาคนให้ผงไม้กระจายตัวอยู่ในกรดอย่างสม่ำเสมอดี แล้วปรับให้อุณหภูมิเป็น 20±1 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โดยทำการคนสารในบีกเกอร์ทุก ๆ 15 นาที เมื่อครบเวลาถ่ายผงไม้ที่ละลายในกรดซัลฟูริกลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นต้มเดือดอยู่ในบีกเกอร์ 560 มิลลิลิตร ดังนั้น สารละลายจะมีปริมาตรรวม 575 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเป็น 3%) ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระจากนาฬิกาแล้วนำบีกเกอร์ไปแช่นำหม้อนึ่ง 4 ชั่วโมง คนทุก ๆ 30 นาที โดยควบคุมปริมาณสารละลายในบีกเกอร์ให้คงที่เพื่อให้ละลายโฮโลเซลลูโลสอย่างสมบูรณ์ เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์มาตั้งในลักษณะเอียง โดยให้ลิกนินตกตะกอนทางด้านที่เป็นปากนกแก้วของบีกเกอร์ ทิ้งให้ลิกนินตกตะกอน 1 คืน จนได้น้ำใส แล้วทำการรินน้ำใสออกจากบีกเกอร์ แล้วกรองตะกอนลิกนินด้วยถ้วยกรองเบอร์ 4 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแล้ว การกรองจะทำการกรองน้ำใสก่อน แล้วจึงกรองตะกอนของลิกนิน เมื่อกรองลิกนินหมดแล้วทำการล้างตะกอนลิกนินด้วยน้ำกลั่นอีก 3 ครั้ง นำถ้วยกรองที่มีลิกนินอยู่ไปอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 6 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ปริมาณลิกนินสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณลิกนิน (\%)} = \frac{L}{B} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักอบแห้งของผงไม้ (กรัม)

L = น้ำหนักอบแห้งของลิกนิน (กรัม)

3.3.7 การศึกษาความเป็นกรดด่าง และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง

นำตัวอย่างไม้ไผ่แต่ละส่วนนำมาตัดย่อยให้มีขนาดเท่าก้านไม้ขีด แล้วบดด้วยเครื่องบดย่อยให้กลายเป็นผงไม้ขนาดเล็ก นำผงไม้ไผ่เหล่านี้มาทำการแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh และ 60 mesh โดยใช้ผงไม้ที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 60 mesh แล้วผงไม้ที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103$\pm$2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักของผงไม้คงที่ จะเก็บตัวอย่างผงไม้ที่อบแห้งแล้วใส่ในถุงโดยทำการปิดปากถุงให้สนิท เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอก และใช้ในการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

(1) การศึกษาความเป็นกรดด่าง ตามมาตรฐาน TAPPI T 509 om-83: Cold extraction method for hydrogen ion concentration (pH) of paper extracts

การวัดค่าความเป็นกรดด่างของสารตัวอย่าง ทำโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง โดยทำการทดลองดังนี้ ทำการปรับค่ามาตรฐาน (Calibration) เครื่องมือโดยการวัดค่าด้วยสารละลายมาตรฐานและทำการปรับค่าสารละลายมาตรฐานที่วัดได้

ชั่งผงไม้ 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เทน้ำกลั่นปริมาตร 70 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารโดยใช้สนามแม่เหล็ก เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิของสารละลายไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส นำหัววัดไฟฟ้า (Electrode) ของเครื่องทดสอบความเป็นกรดด่างล้างด้วยน้ำกลั่นและซับด้วยกระดาษทิชชูมาจุ่มลงในสารละลาย บันทึกค่าความเป็นกรดด่างที่อ่านได้เมื่อเครื่องอ่านตัวเลขคงที่แล้ว

(2) การศึกษาความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง โดยวิธีปรับปรุงของ Borden Chemical Inc

ชั่งผงไม้ 30 กรัม นำไปผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ด้วยเครื่องกวนสารโดยใช้สนามแม่เหล็กความเร็ว1000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นกรองเอาผงไม้ออก นำของเหลวที่ได้ 150 กรัม มาใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร ไตเตรทของเหลวที่ได้ด้วยกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) ความเข้มข้น 0.01 ดังแสดงในภาพที่ 3.13 วัดค่าความเป็นกรดด่างที่เปลี่ยนแปลงเมื่อหยดกรดลงไป โดยกำหนดจุดยุติที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.5

<u>ภาพที่ 3.13</u> อุปกรณ์การทดสอบหาความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของไม้ไผ่

BC = N × V

เมื่อ BC = ค่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง (Milliequivalence)

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (โมลต่อลิตร)

V = ปริมาตรของกรดที่ทำให้สารตัวอย่างมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.5 (มิลลิลิตร)

มูลนิธิ โครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

3.3.8 การศึกษาความสามารถในการเปียกของไผ่

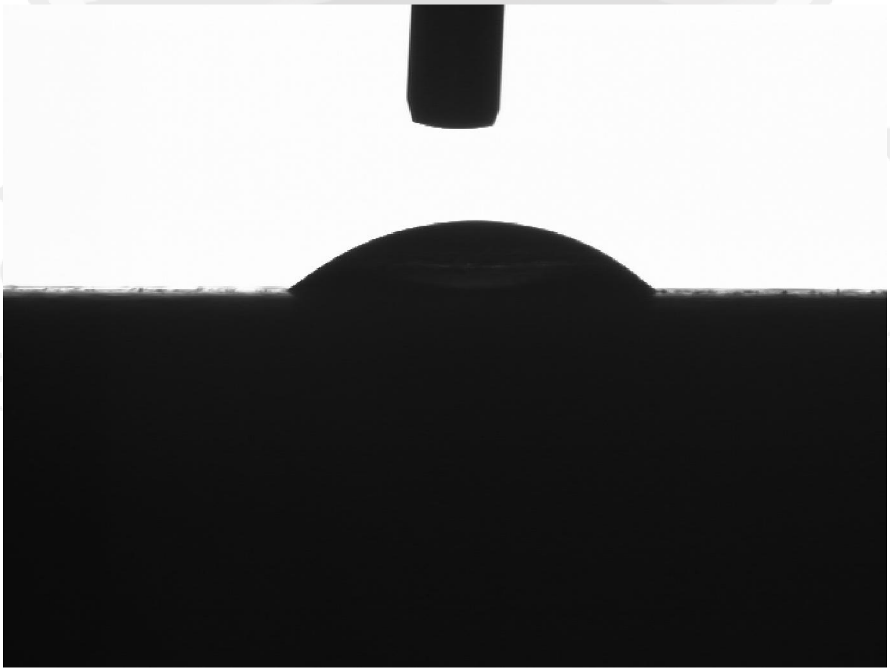
ตัดชิ้นตัวอย่างไม้ไผ่ให้มีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นตัวอย่างเท่ากับความหนาของผนังปล้อง และยาวตามแนวเสี้ยนเท่ากับ 25 มิลลิเมตร นำไปเก็บไว้ในตู้ปรับสภาวะที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 จนกระทั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบคงที่ ขัดผิวด้านนอกและผิวด้านในของลำไผ่ของชิ้นตัวอย่างด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220 ก่อนทำการทดสอบ

เปิดใช้งานเครื่องวัดมุมสัมผัส ดังแสดงในภาพที่ 3.14 โดยควบคุมตำแหน่งของการวางเครื่องให้อยู่ในแนวระดับก่อนใช้ทุกครั้ง เสียบปลั๊กและเปิดปุ่มควบคุมความสว่างให้อยู่ที่ตำแหน่ง On ดูดน้ำกลั่นเข้าใน micro syringe และไล่อากาศออกจนหมด จากนั้นประกอบชุด micro syringe เข้ากับเครื่องวัดมุมสัมผัส

วางชิ้นตัวอย่างลงบนกระจกสไลด์ แล้วนำไปวางบนแท่นวางตัวอย่าง เปิดสวิตท์ควบคุมความสว่างแล้วปรับความสว่างและโฟกัสจนได้ภาพของพื้นผิวตัวอย่างบนจอที่ชัดเจน หมุน micro syringe จนมีหยดน้ำไหลออกมาจากปลายเข็มและหมุนต่อไปจนกระทั่งของเหลวมีขนาดประมาณเท่าหัวเข็มหมุด แล้วหมุนแท่นวางจนผิวของไม้ไผ่สัมผัสกับหยดของเหลว จากนี้หมุนแท่นวางลง ปรับโฟกัสอีกครั้งให้แน่ว่าภาพหยดน้ำนั้นชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 3.15 แล้วปรับเลื่อนแท่นวางไปทางซ้ายหรือขวาเพื่อหามุมที่ต้องการวัดค่ามุมสัมผัสที่สัมผัสกับจุดศูนย์กลางของวงกลม อ่านค่ามุมสัมผัสที่วัดได้ โดยต้องอ่านให้เสร็จภายในเวลา 5 วินาที หลังจากที่ผิวของเหลวอยู่ในพื้นผิวไม้ หยดของเหลวลงบนผิวของตัวอย่างไม้เดิม เพิ่มอีกมีละหยดพร้อมวัดค่ามุมสัมผัสด้วยวิธีเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับการหาค่าความสามารถในการเปียกของไม้ไผ่จะทำการศึกษาด้านผิวนอกและผิวในของลำไผ่

ROYAL PROJECT FOUNDATION

ภาพที่ 3.14 เครื่องวัดมุมสัมผัส ยี่ห้อ Kyowa รุ่น DM 300 ใช้ศึกษาความสามารถในการเปียกของลำไผ่



ภาพที่ 3.15 ภาพตัวอย่างของหยดน้ำกลั่นบนผิวของลำไผ่ที่ถ่ายได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัส

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่

จากการศึกษาลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่ พบว่า ความยาวของลำไผ่ จำนวนปล้องต่อลำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และความหนาของผนังปล้อง มีความผันแปรตลอดระดับความสูงจากส่วนโคนไปจนถึงส่วนปลายของลำ โดยแสดงค่าเฉลี่ยของลักษณะดังกล่าวไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงอายุ

ชนิดไผ่	อายุ (ปี)	ความยาวของลำไผ่ (ม.)	จำนวนปล้องต่อลำของไผ่	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ (มม.)	ความหนาผนังปล้อง (มม.)
ไผ่มากินอย	1	10.26	44	4.19-44.37	1.60-7.99
	3	10.69	44	3.07-51.73	1.88-8.74
	5	10.01	44	3.99-51.47	1.74-8.18
ไผ่รวกดำ	1	10.56	45	13.43-54.61	3.84-21.44
	3	9.45	43	5.47-45.73	5.47-19.56
	5	8.30	40	4.98-42.75	2.81-19.48
ไผ่ซางหม่น	1	8.95	34	11.65-85.91	3.36-25.27
	3	10.62	37	16.26-84.32	3.53-26.79
	5	9.22	36	8.15-91.00	4.00-29.09

4.1.1 ความผันแปรของลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่

ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่มีความแปรผันตลอดความยาวของลำไผ่ นั่นคือ ความยาวปล้อง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำรวมถึงความหนาผนังปล้องมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของลำ

ปล้องไผ่จะมีความยาวเพิ่มมากขึ้นจากส่วนโคนไปถึงส่วนกลางของลำไผ่ จากนั้นความยาวของปล้องจะมีค่าลดลงต่อเนื่องไปจนถึงส่วนปลายลำ โดยปล้องที่มีความยาวมากที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 1/3 ของความยาวลำไผ่

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำนั้นพบว่าจะมีค่าลดลงจากส่วนโคนไปถึงส่วนปลาย ลำไผ่จึงมีลักษณะเรียวตามการลดลงของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำ

ส่วนความหนาของผนังปล้องที่มีค่าลดลงจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายลำเช่นเดียวกัน ลักษณะความผันแปรดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่ทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.1 ถึง 4.3

4.1.2 ผลกระทบของอายุต่อความผันแปรทางลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่

จากภาพที่ 4.1 ถึง 4.3 แสดงให้เห็นว่าไผ่ทั้ง 3 ชนิดที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 3 และ 5 ปี มีลักษณะระดับมหภาค (ได้แก่ ความยาวของปล้อง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และความหนาของผนังปล้อง) ไม่แตกต่างกัน ซึ่ง Lee และคณะ (1994) กล่าวไว้ว่า ไผ่เป็นพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วที่สุดในโลก โดยสามารถมีความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างเต็มที่ภายในระยะเวลา 3-4 เดือน โดยมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 15-18 เซนติเมตรต่อวัน และลำไผ่จะเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ที่สุดภายในเวลา 3-5 ปี อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์และสภาพสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย (López, 2003; Qisheng et al., 2002; Wong, 1995; Zehui, 2007).

4.1.3 ผลกระทบของชนิดพันธุ์ต่อความผันแปรทางลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่

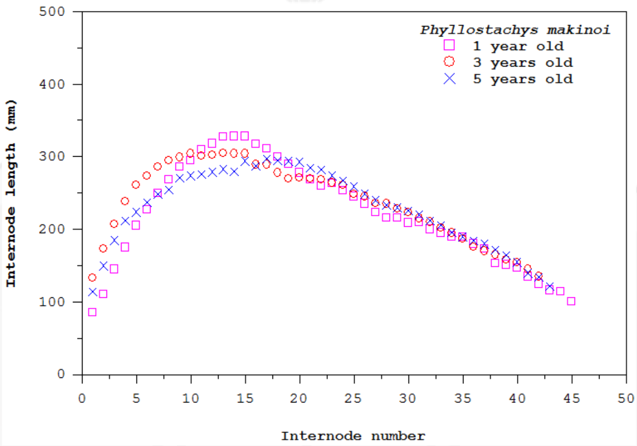
ภาพที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงถึงความผันแปรทางลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด

ภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าไผ่ทั้ง 3 ชนิดมีความยาวของลำไผ่และปล้องที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความยาวของลำไผ่ระหว่าง 8.30-10.69 เมตร และมีความยาวของปล้องระหว่าง 100-350 มิลลิเมตร

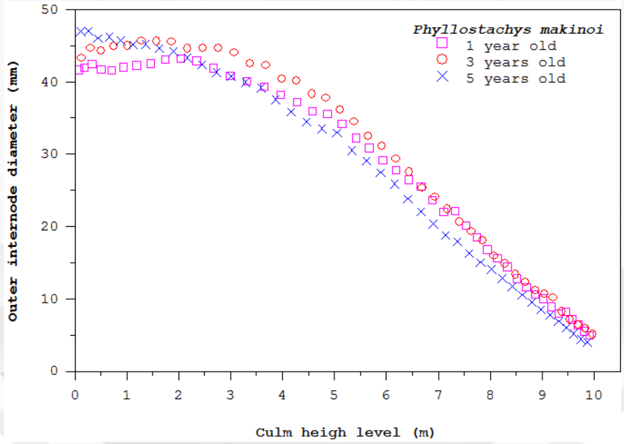
อย่างไรก็ตามจากจากข้อมูลในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าขนาดและลักษณะความผันแปรของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำรวมถึงความหนาผนังปล้องของไผ่ทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ไผ่ซางหม่นที่บริเวณส่วนโคนจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำมากที่สุดและขนาดดังกล่าวนี้จะลดลงอย่าง

รวดเร็วตามความสูงของลำ ส่วนไผ่มากินอยและไผ่รวกดำจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำใกล้เคียงกันตั้งแต่ส่วนโคนไปจนถึงส่วนปลายลำ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำของไผ่ทั้ง 2 ชนิดมีค่าค่อย ๆ ลดลงตามความสูงของลำ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 เช่นเดียวกันกับความหนาผนังปล้อง พบว่าบริเวณส่วนโคนไผ่ซางหม่นจะมีผนังปล้องหนาที่สุด รองลงมาคือไผ่รวกดำ และไผ่มากินอย โดยความหนาผนังปล้องของไผ่ซางหม่นและไผ่รวกดำจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วตามความสูงของลำ ในขณะที่ความหนาผนังปล้องของไผ่มากินอยจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายลำ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.6

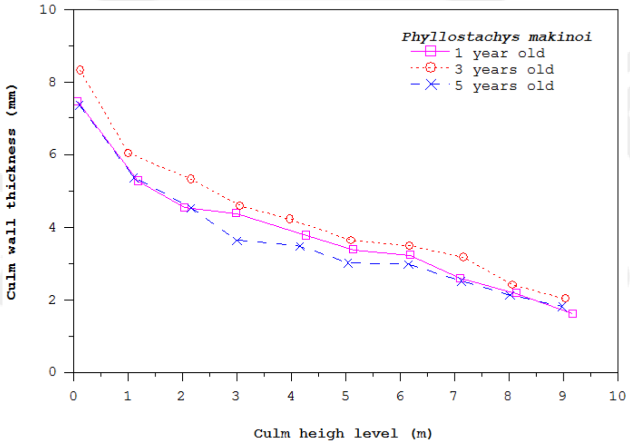
มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION



(ก)

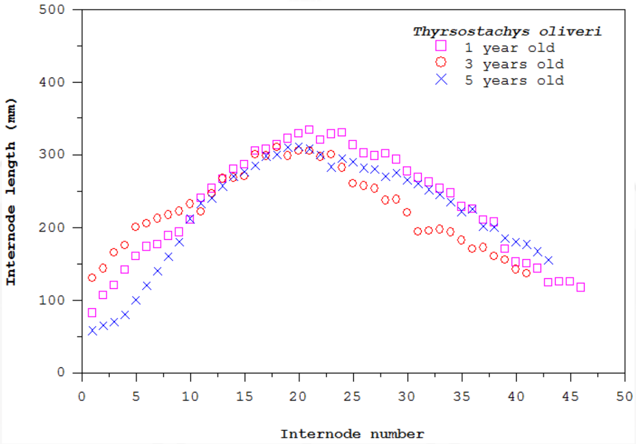


(ข)

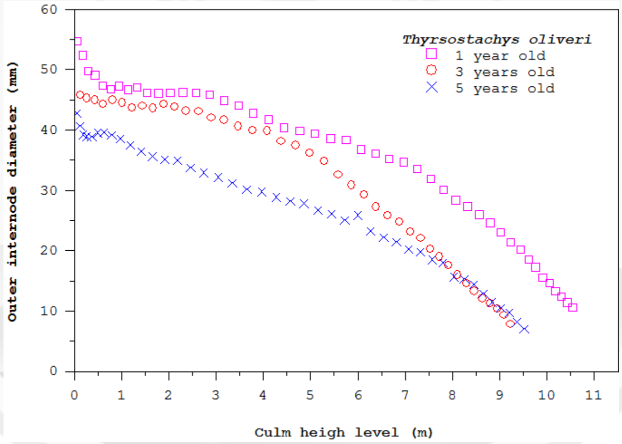


(ค)

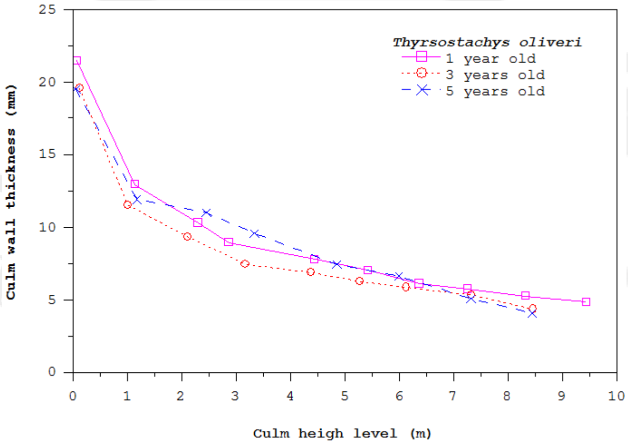
<u>ภาพที่ 4.1</u> ความผันแปรของโครงสร้างระดับมหภาค (ก) ความยาวปล้อง (ข) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และ (ค) ความหนาผนังปล้อง ตลอดความยาวของลำไผ่มากินอยที่อายุ 1, 3 และ 5 ปี



(ก)

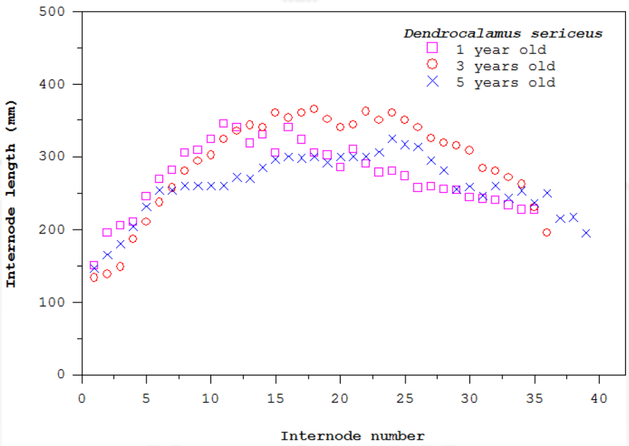


(ข)

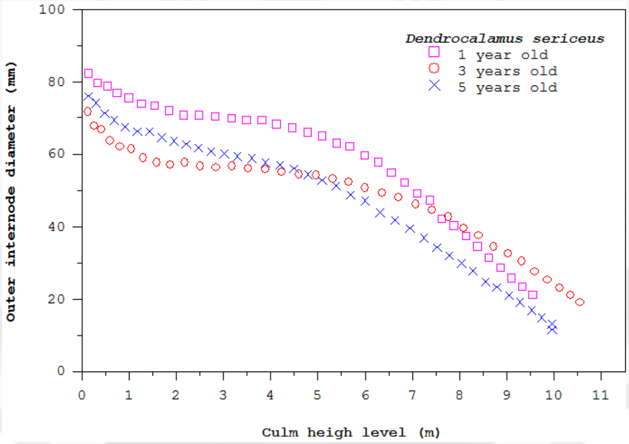


(ค)

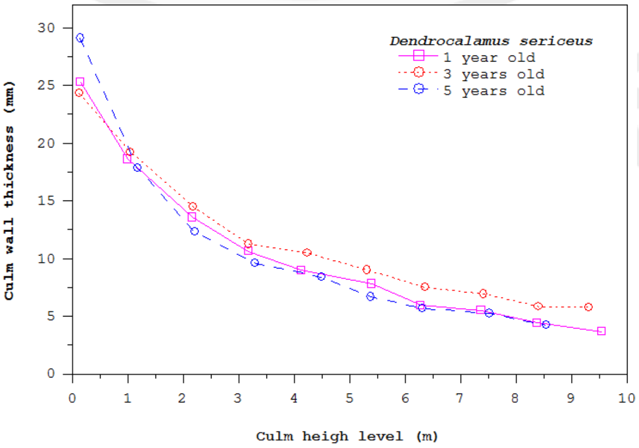
ภาพที่ 4.2 ความผันแปรของโครงสร้างระดับมหภาค (ก) ความยาวปล้อง (ข) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และ (ค) ความหนาผนังปล้อง ตลอดความยาวของลำไผ่รวกดำที่อายุ 1, 3 และ 5 ปี



(ก)

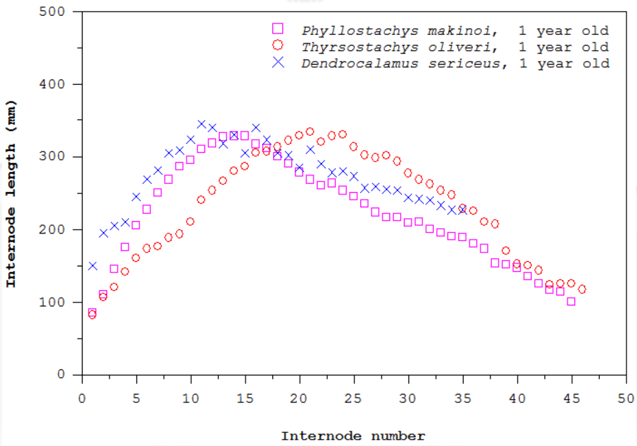


(ข)

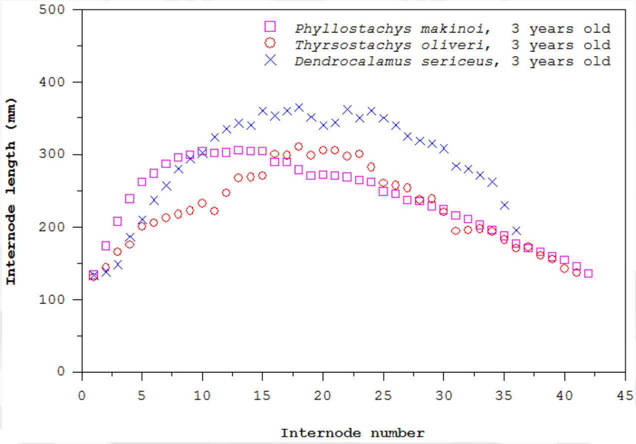


(ค)

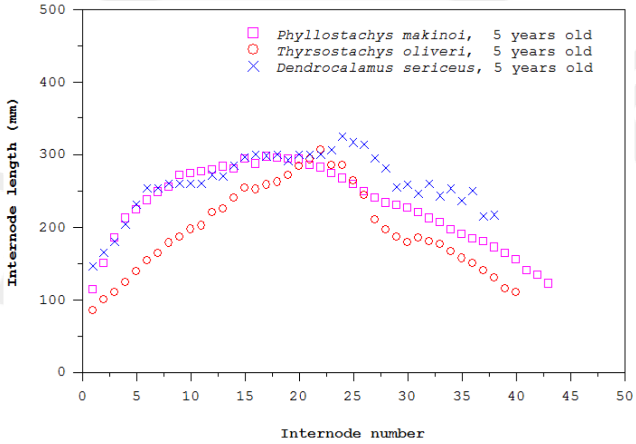
<u>ภาพที่ 4.3</u> ความผันแปรของโครงสร้างระดับมหภาค (ก) ความยาวปล้อง (ข) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำ และ (ค) ความหนาผนังปล้อง ตลอดความยาวของลำไผ่ซางหม่นที่อายุ 1, 3 และ 5 ปี



(ก)

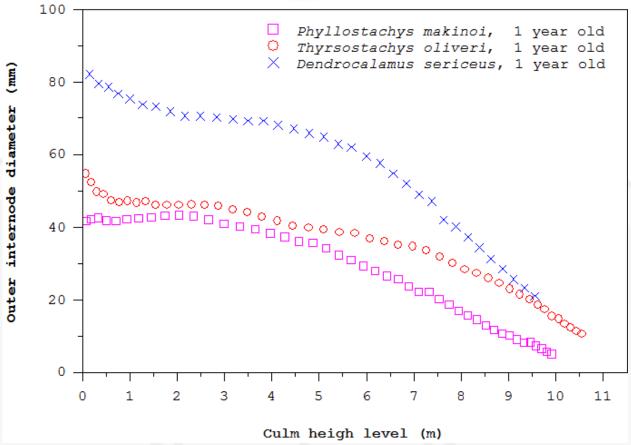


(ข)

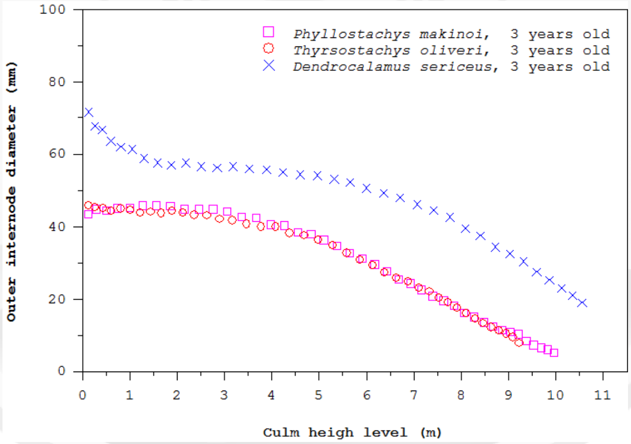


(ค)

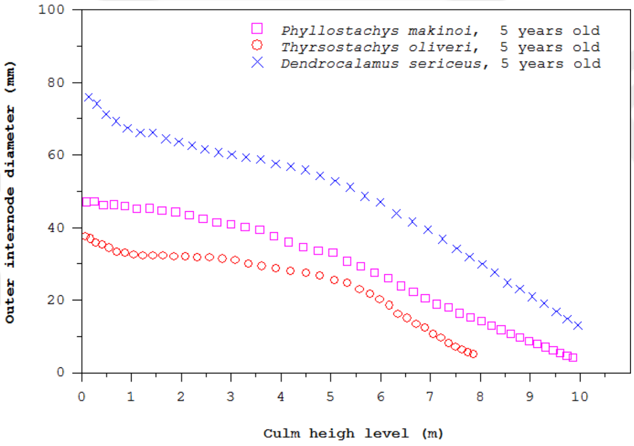
<u>ภาพที่ 4.4</u> เปรียบเทียบความผันแปรของความยาวปล้องตลอดความยาวของลำไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่อายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี ตามลำดับ



(ก)

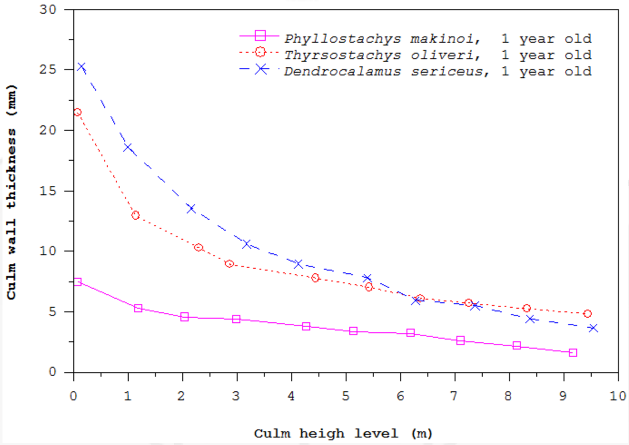


(ข)

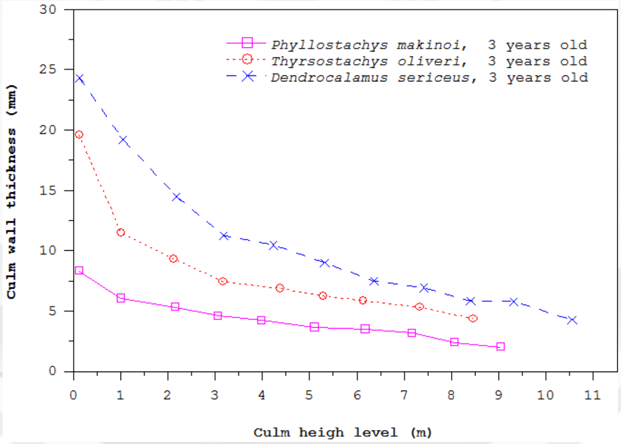


(ค)

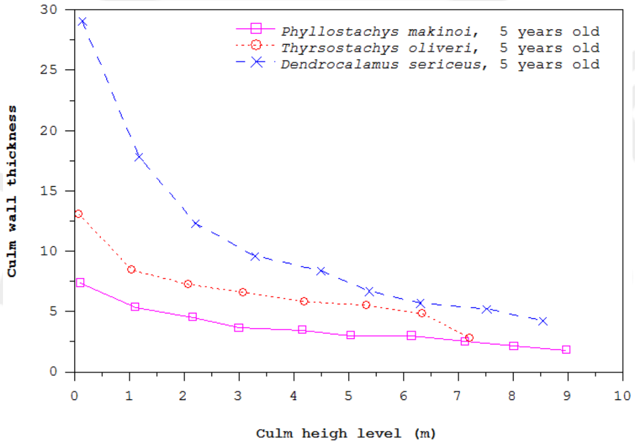
ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบความผันแปรของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของลำตลอดความยาวของลำไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่อายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบความผันแปรของความหนาผนังปล้องตลอดความยาวของลำไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่อายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังตรวจสอบพบลักษณะภายนอกที่มีความแตกต่างกันในไผ่แต่ละชนิดด้วย เช่น ไผ่มากินอยจะพบรากพิเศษหรือรากอากาศ (Adventitious or Aerial root) บริเวณข้อล่าง ๆ ของลำ (ภาพที่ 4.7) หรือการมีผงแป้งที่ผิวด้านนอกของลำไผ่ซางหม่นที่มีอายุน้อย แต่ลักษณะดังกล่าวนี้กลับไม่พบในไผ่ซางหม่นที่มีอายุมาก (ภาพที่ 4.8) นอกจากนี้ปล้องของไผ่ซางหม่นยังมีลักษณะตัน โดยพบว่าปล้องล่าง ๆ ของลำมักเป็นปล้องตัน

ภาพที่ 4.7 ลักษณะรากอากาศที่พบในไผ่มากินอย

(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบลักษณะผิวด้านนอกที่แตกต่างกันของไผ่ซางหม่น (ก) อายุ 1 ปี และ (ข) อายุ 3 ปี

4.2. โครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่

ผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่ 3 ชนิด ได้แก่ ไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีอายุแตกต่าง คือ 1, 3 และ 5 ปี พบว่า โครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่เมื่อมองทางด้านหน้าตัดจะประกอบไปด้วยกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียง (Vascular bundles) ซึ่งมีสีเข้มจำนวนมากฝังตัวอยู่ในพาเรนไคมาเซลล์ (Parenchyma cells) ซึ่งเป็นเซลล์ผนังบางซึ่งมีสีอ่อนกว่า ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ถึง 4.11

4.2.1 ผลกระทบของชนิดพันธุ์ต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่

รูปทรง ขนาด และการกระจายตัวของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงทางด้านหน้าตัดเมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์กำลังขยายสูงของไผ่แต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกัน ดังนี้

โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่มากินอย ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงอยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยแถบของเซลล์ผนังหนา (Sclerenchyma sheaths) ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นโครงสร้างระดับจุลภาคที่พบในไผ่ระบบเหง้าแบบลำเดี่ยว เช่น ไผ่ในสกุล *Arundinacea, Phyllostachys* และ *Tetragonocalamus* (Grosser and Liese, 1971)

โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่รวกดำและไผ่ซางหม่นมีลักษณะคล้ายกัน คือ ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงอยู่ติดกับเซลล์ผนังหนา และมีกลุ่มเซลล์เส้นใย (Fiber bundles) 2 กลุ่มที่แยกตัวออกมาอยู่ตรงข้ามกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นโครงสร้างระดับจุลภาคที่พบในไผ่ระบบเหง้าแบบกอ เช่น ไผ่ในสกุล *Bambusa, Dendrocalamus, Gigantochloa* และ *Thyrsostachys* (Grosser and Liese, 1971)

4.2.2 ผลกระทบของอายุต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่

ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าไผ่ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 3 และ 5 ปี มีโครงสร้างระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทัศน์กำลังขยายสูง อย่างไรก็ตามจากการตรวจเอกสารพบว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่ เช่น ความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์รวมถึงความหนาของผนังเซลล์แต่ละชนิดจะเกิดขึ้นในช่วง 1 ปีแรกของการเจริญเติบโตเท่านั้น หลังจากนั้นคุณลักษณะต่าง ๆ จะค่อนข้างคงที่ ยกเว้นความหนาของผนังเซลล์ซึ่งพบว่ายังคงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการสะสมตัวของลิกนิน (Lignification) ที่บริเวณผนังเซลล์โดยเฉพาะเซลล์ผนังหนา เช่น เซลล์เส้นใย (Fiber cells) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นจนกระทั่งลำไผ่มีอายุประมาณ 2-3 ปีจึงจะมีลักษณะคงที่ (Fujii, 1985; Murphy, 1988) อย่างไรก็ตามการศึกษาการหนาตัวขึ้นของผนังเซลล์นั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือขั้นสูง คือ กล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope) เท่านั้น

4.2.3 ผลกระทบของระดับความสูงจากพื้นต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่

การกระจายตัว รูปทรง และขนาดของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงของไผ่มีความแตกต่างกันตามระดับความสูงจากพื้น ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.2

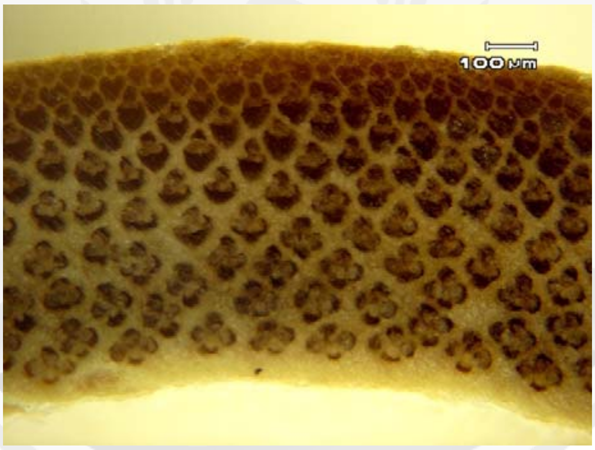
ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการกระจายตัว รูปทรง และขนาดของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงมีความผันแปรตามระดับความสูงของลำไผ่ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่ายังมีความผันแปรที่เกิดขึ้นตามระดับความหนาของผนังปล้องอีกด้วย โดยการกระจายตัวของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงจะมีปริมาณหนาแน่นขึ้นเมื่อระดับความสูงจากพื้นดินเพิ่มขึ้น โดยจำนวนของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งของปลายของลำไผ่ ซึ่ง Grosser และ Liese (1971) ได้อธิบายลักษณะดังกล่าวนี้ว่า ความหนาแน่นของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงจากพื้นดินนั้นเกิดขึ้นจากความหนาของผนังปล้องที่ลดลง โดยจำนวนของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียง โดยจำนวนของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงที่บริเวณด้านนอกของผนังปล้องจะมีจำนวนมากที่สุด คือ 50-80% ของจำนวนกลุ่มเซลล์ลำเลียงทั้งหมด รองลงมา คือ บริเวณชั้นกลางและชั้นในซึ่งมีจำนวนของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงกระจายตัวอยู่ประมาณ 10-35% และ 10-20% ของจำนวนกลุ่มเซลล์ลำเลียงทั้งหมด ตามลำดับ (Fujii, 1985)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 ยังชี้ให้เห็นว่ารูปทรงและขนาดของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงมีความผันแปรตามระดับความสูงจากพื้น โดยจะสังเกตได้ว่าอัตราส่วนระหว่างขนาดทางด้านรัศมีและด้านสัมผัสของกลุ่มเซลล์ท่อลำลำเลียงมีค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำ นั่นคือ รูปทรงของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงจะเปลี่ยนแปลงจากรูปทรงกลมไปเป็นรูปทรงรีเมื่อระดับความสูงของลำเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปยังส่วนปลาย ยิ่งไปกว่านั้นหากพิจารณาจากภาพที่ 4.9 ถึง 4.11 รูปทรงของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงจะเปลี่ยนแปลงจากรูปทรงกลมไปเป็นรูปทรงรีเมื่อระดับความหนาของผนังปล้องเปลี่ยนจากด้านในไปยังด้านนอก

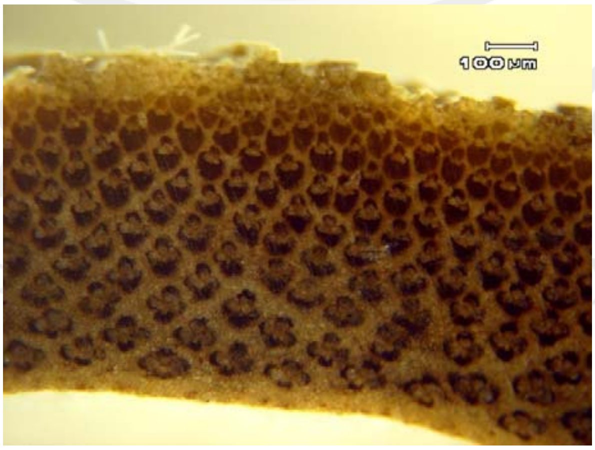
ความผันแปรที่เกิดขึ้นในโครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่นี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ซึ่งจะมีผลกระทบต่อเนื่องไปยังกระบวนการแปรรูปและการใช้ประโยชน์ไผ่ต่อไป

ROYAL PROJECT FOUNDATION

(ก)

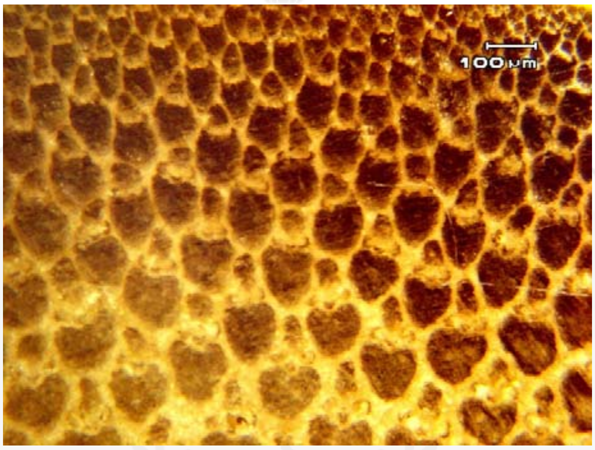


(ข)

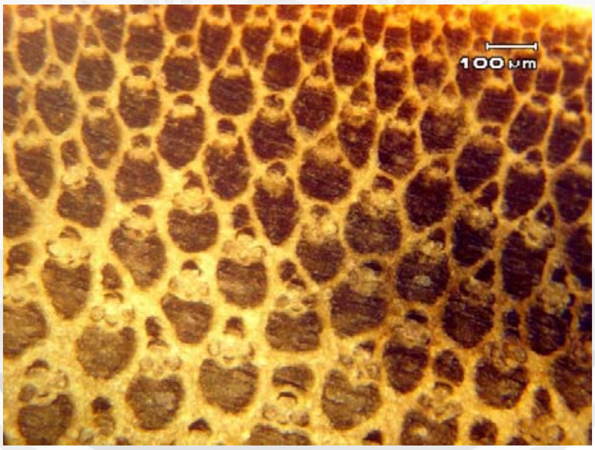


(ค)

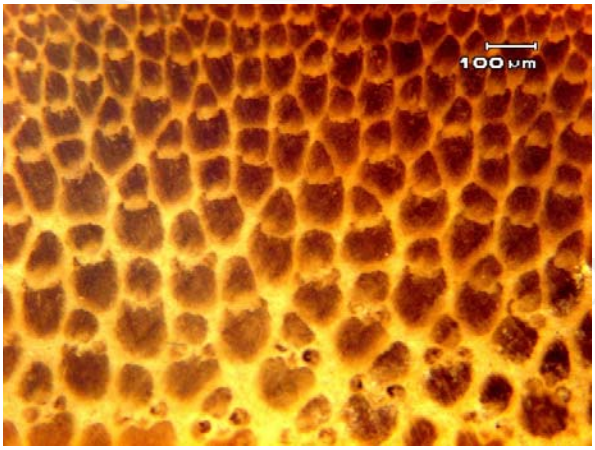
ภาพที่ 4.9 โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่มากินอยที่มีอายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี



(ก)

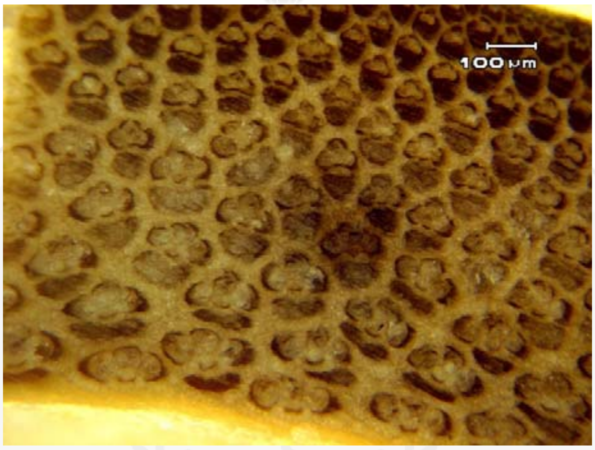


(ข)

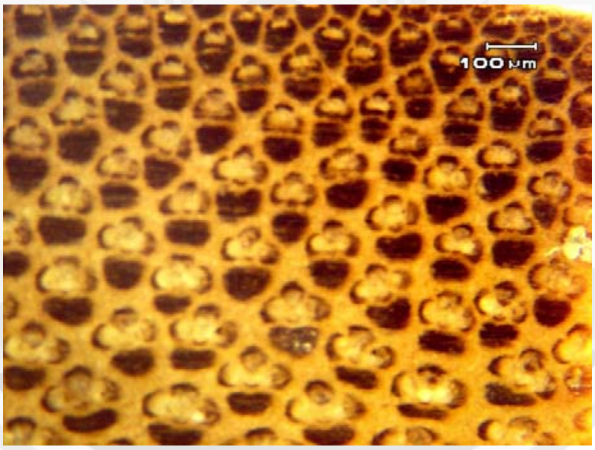


(ค)

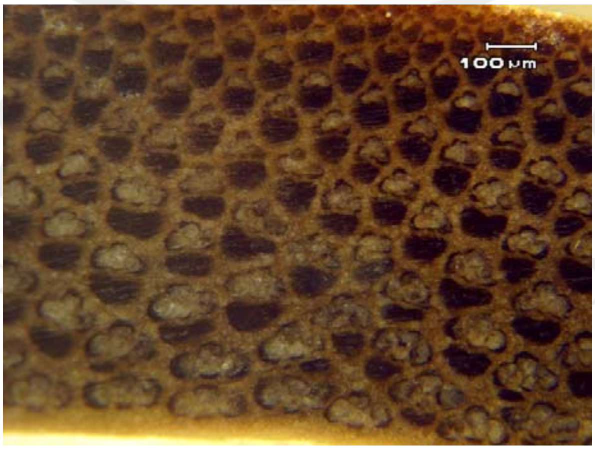
ภาพที่ 4.10 โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่รวกดำที่มีอายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี



(ก)



(ข)



(ค)

<u>ภาพที่ 4.11</u> โครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่ซางหม่นที่มีอายุ (ก) 1 ปี (ข) 3 ปี และ (ค) 5 ปี

ตารางที่ 4.2 ลักษณะระดับจุลภาคของของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันใน ในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

ชนิดไผ่	อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ขนาดทางด้านรัศมี (ไมครอน)	ขนาดทางด้านสัมผัส (ไมครอน)	อัตราส่วนระหว่างขนาดทางด้านรัศมีและด้านสัมผัส
ไผ่มากินอย	1	โคน	488.78 (41.05)*	356.04 (69.84)	1.43 (0.29)
		กลาง	422.48 (34.98)	373.40 (90.72)	1.20 (0.29)
		ปลาย	358.90 (38.02)	366.02 (77.53)	1.04 (0.28)
	3	โคน	517.13 (41.92)	394.56 (76.45)	1.35 (0.21)
		กลาง	390.01 (41.53)	372.78 (82.98)	1.10 (0.25)
		ปลาย	374.18 (47.51)	378.78 (69.96)	1.04 (0.27)
	5	โคน	528.17 (51.60)	345.35 (70.35)	1.58 (0.24)
		กลาง	409.58 (63.17)	357.22 (91.18)	1.21 (0.31)
		ปลาย	381.51 (61.92)	466.84 (84.55)	1.09 (0.27)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 ลักษณะระดับจุลภาคของของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น (ต่อ)

ชนิดไผ่	อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ขนาดทางด้านรัศมี (ไมครอน)	ขนาดทางด้านสัมผัส (ไมครอน)	อัตราส่วนระหว่างขนาดทางด้านรัศมีและด้านสัมผัส
ไผ่รวกดำ	1	โคน	934.66 (202.44)	468.09 (131.06)	2.04 (0.22)
		กลาง	912.11 (187.81)	476.51 (108.70)	1.94 (0.16)
		ปลาย	869.58 (109.52)	438.23 (132.72)	1.89 (0.35)
	3	โคน	1080.79 (932.61)	415.64 (104.78)	2.56 (1.92)
		กลาง	895.09 (188.68)	535.12 (162.71)	1.73 (0.22)
		ปลาย	893.91 (146.01)	504.78 (130.79)	1.84 (0.27)
	5	โคน	800.80 (266.14)	387.09 (124.63)	2.07 (0.19)
		กลาง	920.16 (184.21)	486.88 (150.67)	1.97 (0.33)
		ปลาย	870.05 (156.99)	481.64 (123.31)	1.86 (0.30)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<u>ตารางที่ 4.2</u> ลักษณะระดับจุลภาคของของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันใน ในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น (ต่อ)

ชนิดไผ่	**อายุ (ปี)**	**ระดับความสูง**	**ขนาดทางด้านรัศมี (ไมครอน)**	**ขนาดทางด้านสัมผัส (ไมครอน)**	**อัตราส่วนระหว่างขนาดทางด้านรัศมีและด้านสัมผัส**
ไผ่ซางหม่น	1	โคน	879.66 (212.70)	575.21 (167.82)	1.58 (0.27)
		กลาง	741.11 (99.55)	599.89 (171.23)	1.30 (0.24)
		ปลาย	624.64 (54.60)	568.79 (163.96)	1.16 (0.25)
	3	โคน	853.52 (194.58)	573.01 (180.31)	1.56 (0.27)
		กลาง	790.60 (123.67)	598.58 (203.81)	1.41 (0.27)
		ปลาย	717.30 (99.53)	540.58 (162.75)	1.41 (0.28)
	5	โคน	893.94 (105.57)	590.26 (141.16)	1.57 (0.24)
		กลาง	772.68 (113.76)	558.58 (154.95)	1.46 (0.30)
		ปลาย	663.25 (136.71)	497.03 (128.96)	1.38 (0.24)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3 สมบัติทางกายภาพของไผ่

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของไผ่ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้นของลำไผ่สดขณะตัด ปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่างไผ่ที่ผ่านการปรับสภาวะความชื้น ความถ่วงจำเพาะ และการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นในทิศทางต่าง ๆ ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.3.1 ปริมาณความชื้นของลำไผ่สด

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความชื้นของลำไผ่ขณะตัดของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น พบว่า ปริมาณความชื้นของลำไผ่สดขณะตัดมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 51.62 ถึง 187.60 เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของอายุและระดับความสูงจากพื้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงจากพื้นมีผลกระทบต่อค่าปริมาณความชื้นของลำไผ่ขณะตัดอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ชี้ให้เห็นว่าความผันแปรของปริมาณความชื้นของไผ่ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ อายุ ระดับความสูงจากพื้น และฤดูกาลที่ทำการตัดฟัน ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า

ไผ่ซางหม่นจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นขณะตัดสูงที่สุดในทุกชั้นอายุและระดับความสูง รองลงมาคือไผ่รวกดำ และไผ่มากินอยซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นต่ำที่สุดในทุกชั้นอายุและระดับความสูง

ผลกระทบจากความแตกต่างของอายุ พบว่า ไผ่ที่มีอายุ 1 ปีจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นสูงกว่าไผ่อายุ 3 และ 5 ปี โดยไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นแตกต่างกันเล็กน้อย

ผลกระทบจากระดับความสูงของลำไผ่จะสังเกตได้ว่า ท่อนโคนของไผ่ทุกชนิดและทุกช่วงอายุจะมีค่าปริมาณความชื้นสูงกว่าท่อนกลางและท่อนปลายค่อนข้างมาก แต่ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของท่อนกลางกับท่อนปลายกับมีค่าความแตกต่างกันไม่มากนัก

ความผันแปรของปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของอายุและระดับความสูงจากพื้นนั้นคาดว่าจะเกิดขึ้นจากความผันแปรของโครงสร้างระดับจุลภาคของไผ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวข้องกับเซลล์ผนังบาง (Parenchyma cells) ซึ่งทำหน้าที่กักเก็บน้ำไว้ในเซลล์ งานวิจัยในอดีตชี้ให้เห็นว่าผลกระทบของอายุลำไผ่ที่แตกต่างกันทำให้มีการเจริญเติบของเซลล์ต่าง ๆ ภายใน ส่งผลให้เนื้อไม้ไผ่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำแตกต่างกัน จึงส่งผลต่อปริมาณความชื้นที่วัดได้ (Abd. Latif Mohmod, Mohd. Zin Jusoh, 1992; Espiloy, 1994; Sattar et al., 1994)

ตาราง 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของลำไผ่สดขณะตัดของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	78.86 (4.21)*	101.75 (8.92)	187.60 (15.41)
	กลาง	76.07 (0.98)	82.89 (2.20)	125.52 (6.02)
	ปลาย	68.69 (3.58)	75.18 (1.14)	82.36 (10.36)
3	โคน	66.42 (6.70)	81.41 (15.25)	134.16 (76.80)
	กลาง	63.64 (0.99)	71.56 (11.72)	76.80 (5.69)
	ปลาย	52.14 (2.93)	63.86 (1.35)	67.26 (2.82)
5	โคน	74.24 (4.37)	77.93 (7.99)	114.93 (6.53)
	กลาง	65.36 (4.94)	71.27 (6.33)	59.99 (12.24)
	ปลาย	51.62 (1.99)	62.25 (4.61)	56.56 (5.18)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.2 ปริมาณความชื้นของลำไผ่ที่ผ่านการปรับสภาวะแล้ว

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการปรับสภาวะความชื้นในห้องควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 30 วัน ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น พบว่า ปริมาณความชื้นของลำไผ่สดขณะตัดมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5.16 ถึง 19.58 โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของอายุและระดับความสูงจากพื้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงจากพื้นมีผลกระทบต่อค่าปริมาณความชื้นของลำไผ่ขณะตัดอย่างชัดเจน โดยแนวโน้มความแตกต่างของข้อมูลเป็นไปในลักษณะเดียวกับปริมาณความชื้นของลำไผ่สดขณะตัด นั่นคือ

ไผ่ซางหม่นจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นขณะตัดสูงที่สุดในทุกชั้นอายุและระดับความสูง รองลงมาคือไผ่รวกดำ และไผ่มากินอยซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นต่ำที่สุดในทุกชั้นอายุและระดับความสูง

ผลกระทบจากระดับความสูงของลำไผ่จะสังเกตได้ว่า ท่อนโคนของไผ่ทุกชนิดและทุกช่วงอายุจะมีค่าปริมาณความชื้นสูงกว่าท่อนกลางและท่อนปลายค่อนข้างมาก แต่ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของท่อนกลางกับท่อนปลายกับมีค่าความแตกต่างกันไม่มากนัก

ผลกระทบจากความแตกต่างของอายุ พบว่า ไผ่ที่มีอายุ 1 ปีจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นสูงกว่าไผ่อายุ 3 และ 5 ปี โดยไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นแตกต่างกันเล็กน้อย

มูลนิธิโครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

ตาราง 4.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่างไผ่ที่ผ่านการปรับสภาวะความชื้นแล้วของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	8.55 (1.14)*	14.56 (8.89)	19.58 (0.18)
	กลาง	7.74 (0.53)	12.27 (0.37)	11.58 (0.27)
	ปลาย	7.61 (1.31)	11.07 (0.31)	6.77 (2.30)
3	โคน	6.52 (0.93)	12.25 (0.32)	10.26 (0.95)
	กลาง	5.59 (0.29)	12.02 (2.85)	10.20 (0.20)
	ปลาย	5.14 (0.83)	8.01 (0.41)	8.98 (0.17)
5	โคน	6.37 (1.39)	12.73 (0.33)	10.44 (0.30)
	กลาง	5.41 (0.32)	12.60 (1.82)	10.43 (0.99)
	ปลาย	5.16 (1.14)	7.71 (0.32)	8.45 (0.14)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.3 ความถ่วงจำเพาะของลำไผ่

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น พบว่า ความถ่วงจำเพาะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.40 ถึง 1.09 โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของอายุและระดับความสูงจากพื้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงจากพื้นมีผลกระทบต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไผ่ นั่นคือ

ไผ่มากินอยมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด รองลงมาคือ ไผ่รวกดำ ส่วนไผ่ซางหม่นมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด

ผลกระทบจากอายุของลำไผ่ที่แตกต่างกัน สังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 5 ปีจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงที่สุด รองลงมาคือไผ่ที่มีอายุ 3 และ 1 ปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าความถ่วงจำเพาะระหว่างไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fujii (1985) และ Liese และ Weiner (1996) กล่าวไว้ว่า ความถ่วงจำเพาะของลำไผ่เกิดขึ้นจากผนังเซลล์ที่หนาขึ้นตามอายุที่มากขึ้น โดยความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นประมาณร้อยละ 60 ในช่วงการเจริญเติบโตจากปีที่ 1 ถึงปีที่ 3 หลังจากปีที่ 3 เป็นต้นไปความหนาของผนังเซลล์จะค่อนข้างคงที่ จึงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะระหว่างปีที่ 3 ถึงปีที่ 5 คงที่ด้วยเช่นกัน

ส่วนระดับความสูงของลำไผ่ที่แตกต่างกันนั้น พบว่า เมื่อความสูงของลำไผ่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะของไผ่เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยท่อนปลายของลำจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงที่สุดและท่อนโคนจะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด ซึ่ง Liese (1998) อธิบายไว้ว่าความถ่วงจำเพาะของไผ่ที่เพิ่มขึ้นจากท่อนโคนไปสู่ท่อนปลายนั้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเซลล์เส้นใย (Fiber cells) ภายในลำไผ่ รูปแบบความผันแปรที่เกิดขึ้นของความถ่วงจำเพาะนี้จะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของลำไผ่เป็นอย่างมาก

ตาราง 4.5 ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในใน ประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ความถ่วงจำเพาะ		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	0.823 (0.057)*	0.648 (0.036)	0.400 (0.042)
	กลาง	0.931 (0.063)	0.676 (0.027)	0.672 (0.041)
	ปลาย	1.018 (0.053)	0.695 (0.038)	0.681 (0.052)
3	โคน	0.874 (0.032)	0.650 (0.043)	0.566 (0.045)
	กลาง	0.957 (0.062)	0.666 (0.046)	0.578 (0.035)
	ปลาย	1.082 (0.070)	0.694 (0.039)	0.716 (0.037)
5	โคน	0.873 (0.046)	0.692 (0.041)	0.654 (0.048)
	กลาง	0.942 (0.055)	0.723 (0.049)	0.750 (0.049)
	ปลาย	1.093 (0.048)	0.758 (0.047)	0.767 (0.015)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มูลนิธิโครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

4.3.4 การหดตัวทางด้านต่าง ๆ ของลำไผ่

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการหดตัวใน 3 ทิศทางที่แตกต่างกัน คือ การหดตัวตามทิศสัมผัส การหดตัวตามทิศรัศมี และการหดตัวตามทิศตามยาวของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น พบว่า การหดตัวมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.85 ถึง 0.10 โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของอายุและระดับความสูงจากพื้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงจากพื้นมีผลกระทบต่อค่าการหดตัวของไผ่ นั่นคือ

ไผ่มากินอยมีค่าการหดตัวทั้ง 3 ทิศทางสูงสุด รองลงมาคือ ไผ่รวกดำ ส่วนไผ่ซางหม่นมีค่าการหดตัวทั้ง 3 ทิศทางต่ำที่สุด

ผลกระทบจากอายุของลำไผ่ที่แตกต่างกัน สังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 5 ปีจะมีค่าการหดตัวทั้ง 3 ทิศทางสูงที่สุด รองลงมาคือไผ่ที่มีอายุ 3 และ 1 ปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าค่าการหดตัวทั้ง 3 ทิศทางระหว่างไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของซึ่งรายงานผลไว้ในหัวข้อที่ 4.3.3 นั้นคือ อัตราการเจริญเติบโตของไผ่ระหว่างช่วงปีที่ 3 ถึงปีที่ 5 มีค่าค่อนข้างคงที่ ทำให้คุณสมบัติอื่น ๆ ของไผ่จึงคงที่ด้วยเช่นกัน

ส่วนระดับความสูงของลำไผ่ที่แตกต่างกันนั้น พบว่า เมื่อความสูงของลำไผ่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้การหดตัวของไผ่เฉพาะทิศรัศมีเท่านั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการหดตัวในทิศทางอื่น ๆ นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดความยาวของลำไผ่ที่สูงขึ้น

เช่นเดียวกับไม้ทั่วไป การหดตัวในทิศทางต่าง ๆ ของไม้ไผ่นั้นเป็นผลจากการสูญเสียความชื้น (น้ำ) ของเนื้อไม้ในระหว่างกระบวนการต่าง ๆ เช่น กระบวนการอบแห้ง การตัดฟัน หรือระหว่างการขนส่ง นอกจากนี้แล้วก็การหดตัวของไผ่ในแต่ละทิศทางยังมีความแตกต่างกันด้วย นั้นคือ การหดตัวในทิศทางขนานเสี้ยนจะมีค่าน้อยกว่าการหดตัวในทิศทางตั้งฉากเสี้ยนมาก ส่วนการหดตัวในทิศทางตั้งฉากเสี้ยนทั้ง 2 ทิศทาง ได้แก่ ทิศสัมผัสและทิศรัศมีนั้นมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างกับไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ (Hardwood and softwood species) ซึ่งจะมีค่าการหดตัวจากสภาวะสดถึงสภาวะอบแห้งโดยเฉลี่ยในทิศสัมผัส ทิศรัศมี และทิศตามยาวขนานเสี้ยนเท่ากับร้อยละ 8, 4 และ 0.1 ตามลำดับ (Skaar, 1988)

Malanit และคณะ (2008) ได้รายงานการหดตัวของไผ่ตง (*Dendrocalamus asper*) ที่ปริมาณความชื้นตั้งต้นเท่ากับร้อยละ 12 และปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 0 พบว่า ค่าการหดตัวโดยเฉลี่ยขอไผ่ตงมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.8 ในทิศรัศมี ร้อยละ 2.5 ในทิศสัมผัส และร้อยละ 0.2 ในทิศตามยาวตามลำดับ

ตาราง 4.6 ค่าเฉลี่ยการหดตัวทางด้านต่าง ๆ ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	การหดตัว (ร้อยละ)								
		ไผ่มากินอย			ไผ่รวกดำ			ไผ่ซางหม่น		
		T	R	L	T	R	L	T	R	L
1	โคน	2.92 (0.5)*	4.55 (0.4)	0.19 (0.1)	2.93 (0.5)	3.28 (0.4)	0.22 (0.2)	1.93 (0.8)	1.45 (0.5)	0.21 (0.2)
	กลาง	3.08 (0.6)	4.08 (0.5)	0.19 (0.2)	3.09 (0.8)	3.04 (0.5)	0.13 (0.1)	3.22 (0.6)	3.30 (0.8)	0.20 (0.2)
	ปลาย	2.95 (0.6)	3.50 (0.7)	0.16 (0.1)	3.07 (0.6)	2.73 (0.5)	0.15 (0.1)	2.72 (0.6)	2.21 (0.5)	0.21 (0.2)
3	โคน	2.56 (0.2)	2.96 (0.3)	0.17 (0.1)	3.05 (0.7)	3.19 (0.3)	0.14 (0.1)	2.38 (0.5)	2.30 (0.4)	0.24 (0.3)
	กลาง	2.43 (1.4)	2.69 (1.0)	0.16 (0.1)	3.04 (0.7)	2.95 (0.4)	0.13 (0.1)	2.50 (0.7)	1.86 (0.8)	0.11 (0.1)
	ปลาย	2.46 (0.5)	2.60 (0.9)	0.16 (0.1)	3.15 (0.7)	2.39 (0.5)	0.18 (0.1)	2.13 (0.4)	0.83 (0.6)	0.12 (0.1)
5	โคน	2.34 (0.4)	2.68 (0.6)	0.16 (0.1)	3.27 (0.7)	2.81 (0.5)	0.21 (0.2)	1.95 (0.7)	1.63 (0.3)	0.10 (0.1)
	กลาง	2.90 (0.6)	2.67 (1.3)	0.16 (0.7)	3.22 (0.8)	2.64 (0.5)	0.33 (0.1)	2.51 (1.0)	1.65 (0.8)	0.10 (0.1)
	ปลาย	2.44 (0.4)	2.66 (0.7)	0.15 (0.1)	3.05 (1.1)	2.30 (0.8)	0.18 (0.1)	2.78 (0.5)	1.80 (0.7)	0.10 (0.1)

หมายเหตุ: T = การหดตัวตามทิศสัมผัส

R = การหดตัวตามทิศรัศมี

L = การหดตัวตามทิศตามยาว

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.4 สมบัติเชิงกลของลำไผ่

การศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่นั้น ประกอบด้วย การหาความแข็งแรงดัดและความแข็งตึงในการดัดสถิตย์ ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน และความเค้นอัดขนานเสี้ยน โดยได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.4.1 ความแข็งแรงดัดและความแข็งตึงในการดัดสถิตย์

ตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงดัดและความแข็งตึงในการดัดสถิตย์ของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงในการรับแรงดัดสถิต นั่นคือ

ไผ่มากินอยมีค่าโมดุลลัสแตกหักเฉลี่ยและโมดุลลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด คือ 243.60 เมกะพาสคัล และ 26,866.85 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ส่วนไผ่ซางหม่นมีค่าโมดุลลัสแตกหักและโมดุลลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 71.16 เมกะพาสคัล และ 6,528.81 เมกะพาสคัล ตามลำดับ

โดยจะสังเกตได้ว่าค่าโมดุลลัสแตกหักและโมดุลลัสยืดหยุ่นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีค่าเฉลี่ยโมดุลลัสแตกหัก โมดุลลัสยืดหยุ่นแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงทั้งสองยังเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าความถ่วงจำเพาะของลำไผ่ ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยไว้ในตารางที่ 4.5 เช่นเดียวกัน

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาพล็อตค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลลัสแตกหักกับความถ่วงจำเพาะ และโมดุลลัสยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ดังแสดงในภาพที่ 4.12-4.14 ตามลำดับ พบว่า ค่าโมดุลลัสแตกหักและโมดุลลัสยืดหยุ่นมีความสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะในรูปแบบสมการเส้นตรงเชิงบวก นั่นคือ เมื่อความถ่วงจำเพาะของลำไผ่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าโมดุลลัสแตกหักและโมดุลลัสยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

ตาราง 4.7 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดในการดัดสถิตย์ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

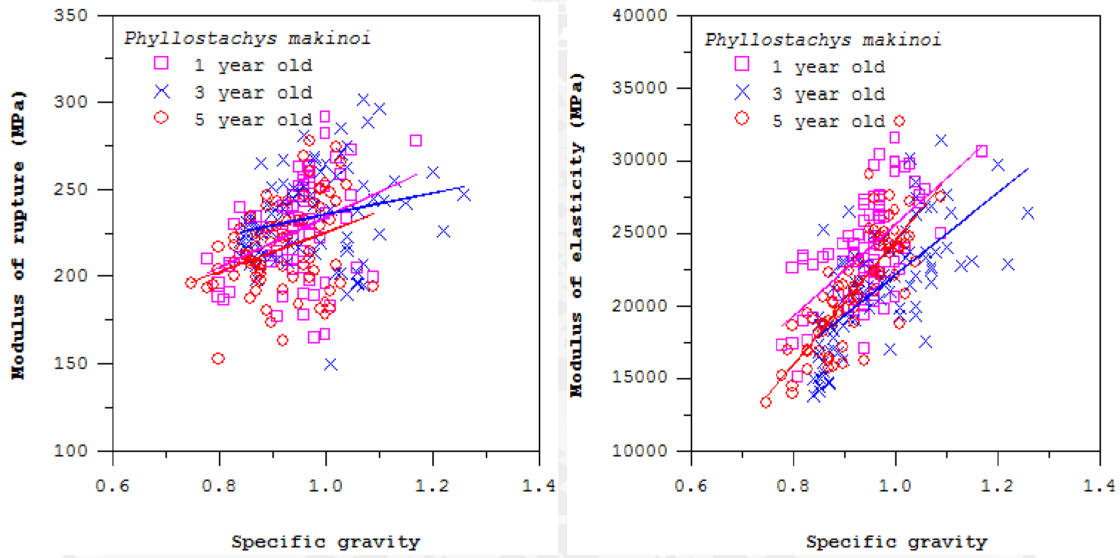
อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ความแข็งแรงดัด (เมกกะพาสคัล)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	223.39 (27.77)*	138.60 (15.19)	71.16 (9.59)
	กลาง	227.43 (25.65)	140.94 (8.97)	161.54 (11.66)
	ปลาย	227.57 (36.27)	142.99 (11.95)	131.31 (15.27)
3	โคน	229.42 (17.78)	139.79 (16.28)	124.06 (13.40)
	กลาง	243.60 (25.42)	140.32 (12.84)	126.03 (11.13)
	ปลาย	222.72 (30.24)	147.69 (12.65)	162.04 (15.00)
5	โคน	210.81 (20.36)	139.48 (11.21)	150.73 (13.26)
	กลาง	217.20 (27.29)	147.07 (18.71)	204.34 (15.33)
	ปลาย	223.38 (32.60)	152.08 (19.14)	193.23 (9.25)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

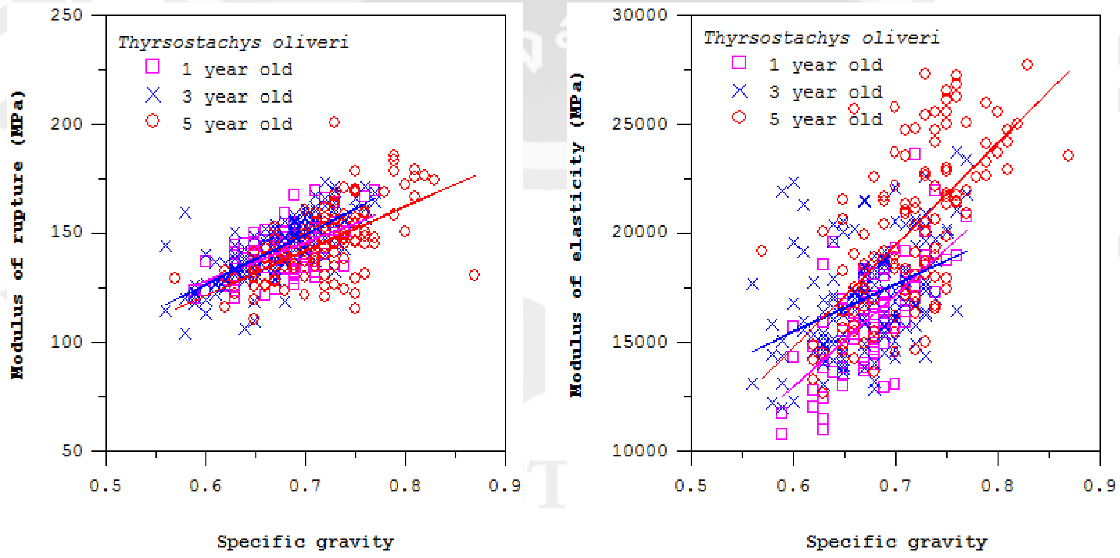
ตาราง 4.8 ค่าเฉลี่ยความแข็งตึงในการดัดสถิตย์ของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ความแข็งตึง (เมกกะพาสคัล)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	22,952.39 (4,014.63)*	14,129.60 (2,588.53)	6,528.41 (1,273.33)
	กลาง	23,032.93 (1,934.56)	15,961.49 (1,468.34)	15,326.03 (1,128.18)
	ปลาย	26,866.85 (2,910.45)	17,592.60 (2,223.92)	17,186.94 (1,965.36)
3	โคน	16,736.89 (2,120.73)	15,747.84 (1,788.85)	9,800.55 (1,327.91)
	กลาง	22,627.51 (2,577.56)	17,109.32 (2,398.35)	15,148.78 (2,402.43)
	ปลาย	23,570.90 (3,721.07)	17,910.78 (2,592.29)	18,393.20 (2,366.91)
5	โคน	16,890.48 (2,085.29)	17,980.67 (3,167.67)	9,912.66 (1,131.62)
	กลาง	22,984.23 (3,322.38)	21,223.37 (3,625.90)	18,557.06 (2,459.13)
	ปลาย	21,952.11 (2,761.56)	22,252.51 (2,865.14)	20,545.58 (1,492.40)

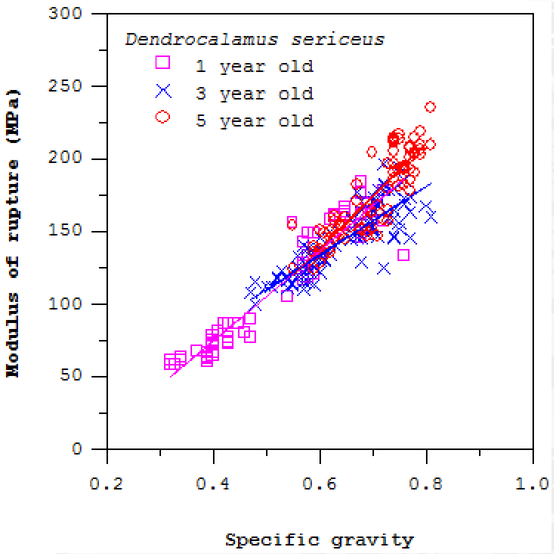
หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

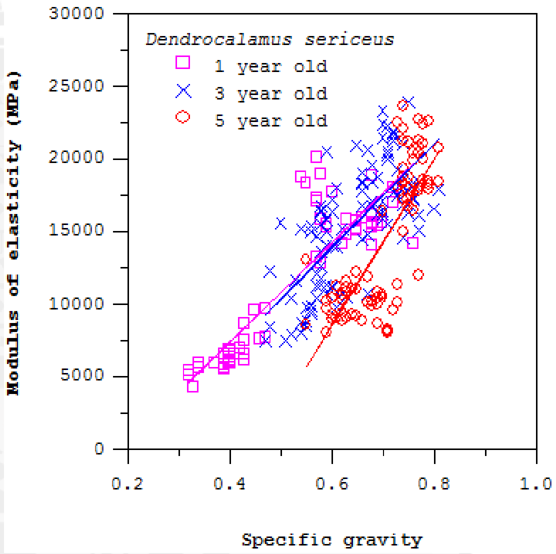


ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลลัสแตกหักกับความถ่วงจำเพาะ และโมดุลยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลลัสแตกหักกับความถ่วงจำเพาะ และโมดุลยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะของไผ่รวกดำ





<u>ภาพที่ 4.14</u> กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลลัสแตกหักกับความถ่วงจำเพาะ และโมดุลยืดหยุ่นกับความถ่วงจำเพาะของไผ่ซางหม่น

4.4.2 ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ และอายุของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน นั่นคือ

ไผ่มากินอยมีค่าความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 13.90 เมกะพาสคัล ส่วนไผ่ซางหม่นมีค่าความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 5.95 เมกะพาสคัล

โดยสังเกตได้ว่าค่าความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนจะมีค่าสูงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวานี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

ส่วนผลกระทบจากระดับความสูงจากพื้น พบว่า ระดับความสูงไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน โดยค่าดังกล่าวนี้มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงใกล้เคียงกันตลอดความยาวของลำไผ่

ตาราง 4.9 ค่าเฉลี่ยความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	**ระดับความสูง**	**ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (เมกกะพาสคัล)**		
		ไผ่มากินอย	**ไผ่รวกดำ**	**ไผ่ซางหม่น**
1	โคน	13.89 (2.73)	9.82 (2.94)	7.51 (1.17)
	กลาง	12.66 (3.14)	9.63 (2.07)	7.58 (1.35)
	ปลาย	10.76 (2.99)	9.10 (2.42)	5.95 (1.00)
3	โคน	15.38 (4.18)	10.50 (2.14)	11.62 (2.22)
	กลาง	14.37 (2.89)	10.39 (1.54)	10.96 (2.00)
	ปลาย	13.90 (2.55)	10.34 (2.24)	8.06 (1.41)
5	โคน	16.02 (2.93)	10.61 (2.58)	12.86 (1.99)
	กลาง	12.45 (1.99)	10.05 (2.63)	9.34 (3.35)
	ปลาย	13.19 (1.68)	10.14 (2.37)	9.74 (2.21)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.4.3 ความเค้นอัดขนานเสี้ยน

ตารางที่ 4.10 แสดงความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงในการรับแรงอัดขนานเสี้ยน นั่นคือ ไผ่มากินอยมีค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 103.75 เมกะพาสคัล ส่วนไผ่ซางหม่นมีค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 71.16 เมกะพาสคัล โดยจะสังเกตได้ว่าค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีค่าเฉลี่ยความเค้นอัดขนานเสี้ยนแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

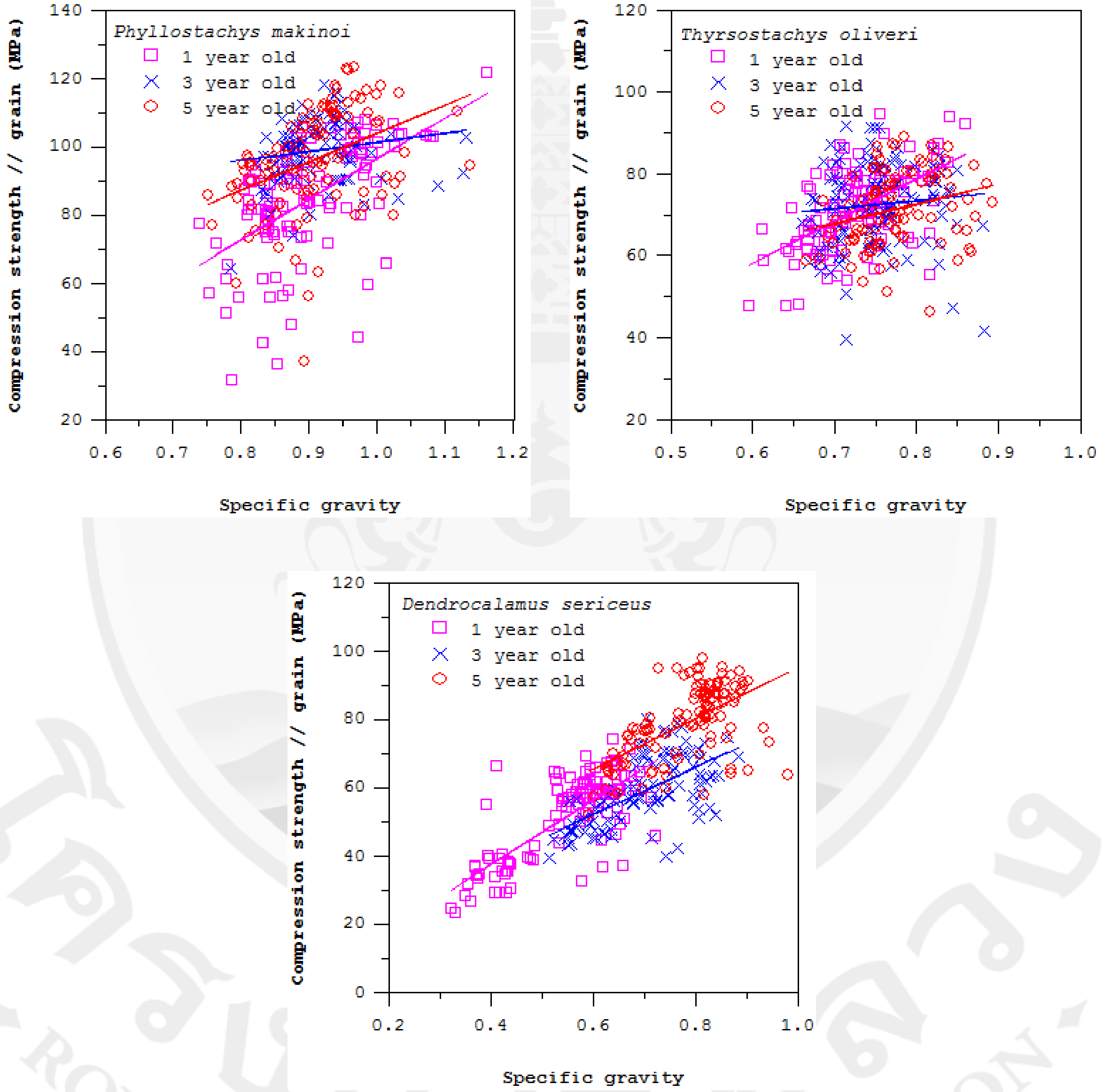
นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงทั้งสองยังเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าความถ่วงจำเพาะของลำไผ่ ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยไว้ในตารางที่ 4.5 เช่นเดียวกัน

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาพล็อตค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดขนานเสี้ยนกับความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ดังแสดงในภาพที่ 4.15 ค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนมีความสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะในรูปแบบสมการเส้นตรงเชิงบวก นั่นคือ เมื่อความถ่วงจำเพาะของลำไผ่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

ตาราง 4.10 ค่าเฉลี่ยความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ความเค้นอัดขนานเสี้ยน (เมกกะพาสคัล)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	95.17 (9.69)*	67.79 (7.38)	34.72 (4.94)
	กลาง	88.72 (15.50)	70.47 (9.81)	58.06 (5.13)
	ปลาย	78.39 (11.95)	74.89 (11.05)	61.66 (6.13)
3	โคน	101.92 (8.26)	62.86 (7.30)	49.45 (4.87)
	กลาง	103.75 (7.21)	75.81 (8.77)	60.62 (6.52)
	ปลาย	98.02 (5.04)	78.07 (9.21)	70.81 (5.46)
5	โคน	100.78 (11.60)	67.32 (7.58)	69.19 (7.56)
	กลาง	101.65 (11.90)	76.92 (9.60)	86.55 (4.44)
	ปลาย	99.35 (15.47)	71.40 (6.14)	86.40 (7.37)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



<u>ภาพที่ 4.15</u> กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดขนานเสี้ยนกับความถ่วงจำเพาะของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

4.5 องค์ประกอบทางเคมีของลำไผ่

จากการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของไผ่นั้น ทำให้ทราบว่าองค์ประกอบทางเคมีหลักของไผ่นั้นประกอบ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งมีปริมาณรวมกันมากกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบสารแทรก (Extractives) ได้แก่ เรซิน (Resins) แทนนิน (Tannin) ขี้ผึ้ง (Waxes) อนินทีย์สาร (Organic materials) และแป้ง (Starch)

4.5.1 ปริมาณขี้เถ้า

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณขี้เถ้าของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณขี้เถ้าที่พบในไผ่ นั่นคือ ไผ่ซางหม่นมีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 3.99 ส่วนไผ่มากินอยมีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 1.80 โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณขี้เถ้าจะมีค่าลดลงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณขี้เถ้าแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น นอกจากนี้ปริมาณขี้เถ้ายังเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน

อนิทรีย์สาร (Inorganic material) ในพืช หมายถึง ปริมาณขี้เถ้า (Ash content) ที่เหลืออยู่หลังจากการเผาที่อุณหภูมิสูง (575 ± 25 องศาเซลเซียส) โดยขี้เถ้าที่พบในไผ่นั้นมักเป็นสารกลุ่มซิลิกา (Silica) แคลเซียม (Calcium) และโปแตสเซียม (Potassium) นอกจากนี้ยังพบแมงกานีส (Manganese) และแมกนีเซียม (Magnesium) บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Fengel and Wegener, 1984)

Chen และคณะ (1987) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์สารใน *Phyllostachys pubescens* ที่มีอายุแตกต่างกันระหว่าง 1 ถึง 7 ปี พบว่า เมื่อไผ่มีอายุมากขึ้นจะทำให้อนิทรีย์สารประเภทซิลิกา ทองแดง (Copper) ฟอสฟอรัส (Phoshporus) เหล็ก (Iron) และโปแตสเซียมลดลง แต่กลับพบว่าแคลเซียม สังกะสี (Zinc) แมกนีเซียม และแมงกานีสเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบกับไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างทั่วไปซึ่งมีปริมาณขี้เถ้าน้อยกว่าร้อยละ 1.0 พบว่า ไผ่มีปริมาณขี้เถ้าสูงกว่าถึง 3 เท่า ซึ่งสารเหล่านี้โดยเฉพาะซิลิกาจะส่งผลต่อกระบวนการแปรรูปไผ่โดยทำให้เครื่องมือตัดมีอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น จัดได้ว่าเป็นจุดด้อยในการนำไผ่ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ตาราง 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณขี้เถ้าของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่นที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณขี้เถ้า (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	1.96 (0.02)*	3.30 (0.97)	2.97 (0.00)
	กลาง	1.99 (0.01)	3.97 (0.57)	3.30 (0.57)
	ปลาย	1.99 (0.07)	3.97 (0.02)	3.99 (0.01)
3	โคน	1.80 (0.01)	2.99 (0.02)	2.64 (0.59)
	กลาง	1.90 (0.02)	3.32 (0.59)	2.97 (0.01)
	ปลาย	1.96 (0.03)	3.64 (0.58)	3.30 (0.55)
5	โคน	1.82 (0.59)	2.96 (0.00)	2.32 (0.57)
	กลาง	1.90 (0.59)	3.29 (1.01)	2.64 (0.57)
	ปลาย	1.93 (0.57)	3.64 (1.18)	3.29 (1.50)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.5.2 ปริมาณการละลายได้ในด่าง

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณการละลายได้ในด่างที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการละลายได้ในด่างที่พบในไผ่ นั่นคือ

ไผ่มากินอยมีปริมาณการละลายได้ในด่างเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 331.76 ส่วนไผ่รวกดำมีปริมาณการละลายได้ในด่างเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 22.34

โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณการละลายได้ในด่างจะมีค่าลดลงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณการละลายได้ในด่างแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

ส่วนผลกระทบจากระดับความสูงจากพื้น พบว่า ปริมาณการละลายได้ในด่างที่ตรวจพบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน

สารแทรกในเนื้อไม้ที่สามารถละลายได้ในด่าง คือ คาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่เสื่อมสภาพ ซึ่งปริมาณสารแทรกที่สามารถละลายได้ในด่างที่ตรวจพบในเนื้อไม้นั้นจะบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อรา หากเนื้อไม้มีปริมาณสารแทรกในกลุ่มดังกล่าวนี้ในปริมาณสูงก็จะมีโอกาสในการถูกเข้าทำลายของเชื้อราต่ำลง

เมื่อเปรียบกับไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างทั่วไปซึ่งมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในด่างอยู่ในช่วงร้อยละ 17-20 พบว่า ไผ่มีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในด่างสูงกว่าไม้ใบแคบและไม้ใบกว่าง จึงทำให้ไผ่มีโอกาสในการถูกทำลายจากเชื้อราได้สูง ดังนั้นการนำไผ่ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการพิเศษ เช่น การอาบน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้ เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อรารวมถึงยืดอายุการใช้งานของลำไผ่ได้ด้วย นอกจากนี้ปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในด่างยังบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เนื่องจากไผ่ที่มีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในด่างสูงจำเป็นต้องใช้ด่างในปริมาณที่สูงขึ้นเมื่อนำไผ่ดังกล่าวไปผ่านกระบวนการแยกเยื่อแบบด่าง (Alkali pulping process) จึงเป็นการสิ้นเปลืองต้นทุนของสารเคมี

ตาราง 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในด่างของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณการละลายได้ในด่าง (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	22.45 (0.70)*	22.34 (0.60)	22.97 (0.55)
	กลาง	23.16 (0.45)	23.64 (0.47)	23.87 (0.07)
	ปลาย	24.10 (0.36)	24.08 (0.65)	24.37 (0.77)
3	โคน	25.26 (0.42)	27.19 (0.37)	21.11 (0.58)
	กลาง	27.68 (0.14)	27.73 (0.39)	24.89 (0.58)
	ปลาย	29.01 (0.39)	29.86 (0.20)	29.35 (0.68)
5	โคน	26.74 (0.31)	27.35 (0.55)	26.53 (0.71)
	กลาง	29.20 (0.26)	28.34 (0.23)	28.23 (0.16)
	ปลาย	31.76 (0.47)	29.02 (0.33)	29.45 (0.50)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มูลนิธิโครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

4.5.3 **ปริมาณการละลายได้ในน้ำร้อน**

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนที่พบในไผ่ นั่นคือ

ไผ่ซางหม่นมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 11.36 ส่วนไผ่รวกดำมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 8.05

โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนจะมีค่าลดลงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น โดยไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

ส่วนผลกระทบจากระดับความสูงจากพื้น พบว่า ปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนที่ตรวจพบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำร้อนในท่อนกลางและท่อนปลายแตกต่างกันเล็กน้อย

สารแทรกในเนื้อไม้ที่ละลายได้ในน้ำร้อน ได้แก่ อนินทรีย์สาร (Inorganic materials) แทนนิน (Tannin) น้ำตาล (Sugar) สารให้สี (Color matters) และแป้ง (Strach) โดย Liese และ Weiner (1996) ได้กล่าวไว้ว่า สารจำพวกแป้งและน้ำตาลที่พบนั้นจะถูกเก็บไว้ในส่วนของเซลล์พาเรนไคมาเพื่อใช้เป็นพลังงานในช่วงการเจริญเติบโตของไผ่ โดยเฉพาะในช่วงอายุลำตั้ง 1 ถึง 12 เดือน สารแทรกในกลุ่มนี้มีผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อรา โดยเนื้อไม้ที่มีสารแทรกกลุ่มนี้ในปริมาณมากจะมีโอกาสในการถูกเข้าทำลายได้ง่ายกว่า เนื่องจากน้ำตาลและแป้งเป็นแหล่งอาหารของทั้งแมลงและเชื้อรา

ตาราง 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในน้ำร้อนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณการละลายได้ในน้ำร้อน (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	9.83 (0.54)*	10.30 (0.66)	9.22 (0.03)
	กลาง	9.97 (0.57)	10.32 (0.49)	10.41 (0.83)
	ปลาย	10.08 (0.59)	10.38 (0.46)	11.36 (0.59)
3	โคน	9.29 (0.37)	10.20 (0.40)	8.24 (0.23)
	กลาง	9.89 (0.37)	10.41 (0.30)	10.53 (0.38)
	ปลาย	10.43 (0.38)	10.69 (0.21)	11.24 (0.37)
5	โคน	8.05 (0.59)*	9.33 (0.61)	8.55 (0.30)
	กลาง	8.64 (0.32)	10.11 (0.64)	9.55 (0.35)
	ปลาย	8.68 (0.12)	10.93 (0.76)	11.38 (0.26)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มูลนิธิโครงการหลวง ROYAL PROJECT FOUNDATION

4.5.4 ปริมาณการละลายได้ในน้ำเย็น

ตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นที่พบในไผ่ นั่นคือ

ไผ่ซางหม่นมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 7.55 ส่วนไผ่มากินอยมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 5.03

โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

ส่วนผลกระทบจากระดับความสูงจากพื้น พบว่า ปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นที่ตรวจพบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำเย็นในท่อนกลางและท่อนปลายแตกต่างกันเล็กน้อย

สารแทรกในเนื้อไม้ที่ละลายได้ในน้ำเย็น ได้แก่ อนินทรีย์สาร แทนนิน ยาง น้ำตาล และสารให้สี สารแทรกในกลุ่มนี้โดยเฉพาะอนินทรีย์สารที่พบนั้นมีผลกระทบต่อความเป็นกรด-ด่างของไม้ ซึ่งจะมีผลกระทบการนำไผ่ไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไม้ประกอบซึ่งจำเป็นต้องใช้กาวเป็นตัวประสาน

ROYAL PROJECT FOUNDATION

ตาราง 4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในน้ำเย็นของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณการละลายได้ในน้ำเย็น (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	5.41 (0.55)*	5.04 (0.72)	5.15 (0.39)
	กลาง	4.83 (0.68)	5.54 (0.62)	7.53 (0.95)
	ปลาย	5.42 (1.00)	5.68 (0.36)	7.55 (0.09)
3	โคน	5.79 (0.47)	5.16 (0.26)	6.52 (0.33)
	กลาง	5.38 (0.64)	6.03 (0.57)	6.81 (0.22)
	ปลาย	5.76 (0.37)	6.16 (0.25)	7.01 (0.37)
5	โคน	5.65 (0.23)	5.68 (0.87)	6.01 (0.65)
	กลาง	5.30 (0.08)	5.82 (0.73)	6.68 (0.77)
	ปลาย	5.03 (0.72)	5.45 (0.12)	7.14 (0.10)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.5.5 ปริมาณการละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีน

ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนที่พบในไผ่ นั่นคือ

ไผ่ซางหม่นมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 7.22 ส่วนไผ่รวกดำมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 2.20

โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น

ส่วนผลกระทบจากระดับความสูงจากพื้น พบว่า ปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนที่ตรวจพบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน

สารแทรกในเนื้อไม้ที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีน ได้แก่ ขี้ผึ้ง ไขมัน ยาง กรดเกลือ สเตอรอยด์ รวมถึงไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ระเหยเป็นไอ (Non-volatile hydrocarbons) สารแทรกในกลุ่มนี้จะระเหยเป็นไอได้ง่าย โดยเฉพาะสารกลุ่มโมโนเทอร์พีน (Monoterpenes) ก่อให้เกิดปัญหาของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเมื่อได้รับความร้อน เช่น กระบวนการอบแห้ง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาเมื่อนำไผ่ไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ โดยผ่านกระบวนการแยกเยื่อ (Pulping process) แบบด่าง สารในกลุ่มนี้จะตะกอนสบู่ (Tall oil soap) ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันของเครื่องจักรได้

ตาราง4.15 ค่าเฉลี่ยปริมาณการละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณการละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีน (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	3.42 (0.16)*	2.20 (0.85)	2.65 (0.64)
	กลาง	3.61 (0.62)	2.64 (0.00)	2.96 (0.04)
	ปลาย	3.98 (0.14)	2.96 (0.91)	3.72 (0.33)
3	โคน	4.51 (0.43)	4.80 (0.28)	5.62 (0.18)
	กลาง	4.58 (0.36)	4.95 (0.82)	6.62 (0.18)
	ปลาย	4.80 (0.28)	5.00 (0.85)	7.37 (0.67)
5	โคน	5.52 (0.56)	4.96 (0.68)	5.62 (0.77)
	กลาง	5.60 (0.56)	5.10 (0.67)	5.98 (0.38)
	ปลาย	5.80 (0.33)	5.19 (0.27)	7.22 (0.38)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.5.6 ปริมาณลิกนิน

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณลิกนินของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ และอายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณลิกนินที่พบในไผ่ นั่นคือ

ไผ่มากินอยมีปริมาณลิกนินเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 28.79 ส่วนไผ่รวกดำมีปริมาณลิกนินเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 23.12

โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณลิกนินจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณลิกนินแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Itoh (1990) ซึ่งศึกษาการเจริญเติบโตของ *Phyllostachys heterocycla* ที่มาอายุลำตั้งแต่ 2 ถึง 14 ปี พบว่า ในระยะเวลา 1 ปีแรกของการเจริญเติบโตของลำไผ่นั้นจะมีการสะสมตัวของลิกนินที่ชั้นผนังเซลล์ จะปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลา 1 ปีแรก หลังจากนั้นไปปริมาณลิกนินที่พบจะมีค่าค่อนข้างคงที่หรือมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น

ส่วนระดับความสูงของลำไผ่ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณลิกนินที่พบในไผ่

ลิกนินที่พบในไผ่ คือ ลิกนินประเภท Gramineae ซึ่งประกอบด้วยมอนอเมอร์ย่อย คือ p-hydroxyphenyl, guaiacyl และ syringyl lignins ในอัตราส่วน 10:68:22 (Qisheng et al., 2002)

ปริมาณลิกนินที่พบในไม้ไผ่ทั้ง 3 ชนิดมีค่าประมาณร้อยละ 23-28 ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับที่พบในไม้เนื้ออ่อน (ร้อยละ 24-27) และไม้เนื้อแข็ง (ร้อยละ 17-30) (Fengel and Wegner, 1984)

ปริมาณลิกนินจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ของพลังงานและวัสดุเพื่อการก่อสร้าง นั่นคือ ปริมาณลิกนินที่สูงจะทำให้ไผ่มีค่าความร้อนสมบูรณ์สูงจึงเหมาะที่จะนำมาเป็นทำเชื้อเพลิง และปริมาณลิกนินที่สูงยังทำให้ลำไผ่มีคุณสมบัติแข็งตึง (Rigidity) สูง จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณลิกนินยังบ่งบอกถึงความเหมาะสมในการนำไผ่ไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ โดยไผ่ที่มีลิกนินในปริมาณน้อยจะสามารถแยกเยื่อได้ง่ายกว่า รวมถึงการใช้พลังงานและสารเคมีในกระบวนแยกเยื่อในปริมาณที่ต่ำลงด้วย

ตาราง4.16 ค่าเฉลี่ยปริมาณลิกนินของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	26.44 (0.75)*	23.12 (0.35)	24.51 (1.10)
	กลาง	26.62 (1.00)	23.78 (0.74)	24.46 (0.11)
	ปลาย	26.96 (0.48)	23.07 (0.79)	24.50 (1.28)
3	โคน	28.75 (0.02)	23.69 (1.89)	26.44 (0.89)
	กลาง	28.79 (0.63)	23.42 (0.33)	26.50 (1.94)
	ปลาย	28.74 (0.59)	24.25 (1.56)	26.14 (0.75)
5	โคน	28.12 (0.51)	23.84 (1.36)	25.96 (1.01)
	กลาง	27.99 (0.89)	24.30 (1.34)	26.56 (1.21)
	ปลาย	27.73 (0.87)	24.28 (0.54)	25.99 (1.15)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.5.7 ปริมาณโฮโลเซลลูโลส

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ และอายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโฮโลเซลลูโลสที่พบในไผ่ นั่นคือ

ไผ่ซางหม่นมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 81.36 ส่วนไผ่มากินนอยมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 73.22

สังเกตได้ว่าปริมาณโฮโลเซลลูโลสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Norul Hisham และคณะ (2006) และ Li และคณะ (2007) ซึ่งศึกษาความผันแปรขององค์ประกอบทางเคมีของ *Gigantochloa scortechinii* และ *Phyllostachys pubescens* ตามลำดับ

ส่วนผลกระทบจากระดับความสูงจากพื้น พบว่า ปริมาณโฮโลเซลลูโลสที่ตรวจพบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน

โฮโลเซลลูโลสเป็นสารองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์เนื้อไม้ เนื่องจากมีปริมาณมากถึงร้อยละ 65-70 ของน้ำหนักไม้อบแห้ง จัดเป็นสารพวกโพลีแซดคาไรด์ (Polysaccharide) ประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยสารพอลิเมอร์เหล่านี้ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่าง ๆ เช่น D-glucose, D-mannose, D-galactose, D-xylose, L-arabinose, D-glucuronic acid, L-rhamnose และ D-fucose ซึ่งสารเหล่านี้จะปรากฏหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ปริมาณมาก ทำให้มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้สูงผ่านทางพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรท (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ประเภท ฮอโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (Glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งบีต้า-1,4 (β-1,4) เป็นสายยาวมากกว่า 2,000-14,000 โมเลกุล ยาวประมาณ 1-7 mm

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) โดยโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส เป็น Heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น ไซโลส (Xylose) แมนโนส (Mannose) กาแล็กโทส (Galactose) หรือกลูโคส (Glucose) และอะราบิโนส (Arabinose) นอกจากนี้พบกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) เป็นองค์ประกอบอีกด้วย มีโครงสร้างลักษณะ

เป็นกิ่งจับกันอยู่แบบหลวม ๆ สำหรับเฮมิเซลลูโลสที่พบในไผ่นั้นมักประกอบด้วยน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอมเป็นองค์ประกอบหลัก โดยพบไซแลน (Xylan) มากกว่าร้อยละ 90 ของน้ำหนักไม้อบแห้ง ซึ่งพบในรูปของ D-glucuranate arabinoxylan (ประกอบด้วย 4-oxygen-methyl-D-glucuranate, L-arabinose และ Dxylose) (Qisheng et al., 2011)

มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

ตาราง4.17 ค่าเฉลี่ยปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	73.22 (4.89)*	74.75 (2.98)	75.60 (5.41)
	กลาง	75.84 (4.21)	75.89 (3.20)	77.52 (6.02)
	ปลาย	76.95 (3.85)	76.18 (2.14)	78.99 (6.31)
3	โคน	73.58 (7.60)	75.41 (7.25)	78.31 (6.78)
	กลาง	77.69 (7.99)	76.56 (7.21)	79.36 (5.69)
	ปลาย	78.82 (9.32)	76.86 (5.31)	80.72 (2.82)
5	โคน	74.94 (3.47)	75.93 (7.99)	78.33 (6.53)
	กลาง	77.50 (4.49)	77.27 (3.96)	79.99 (4.22)
	ปลาย	78.65 (2.99)	77.05 (5.61)	81.36 (5.18)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.5.8 **ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส**

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณแอลฟาเซลลูโลสของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ และอายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลฟาเซลลูโลสที่พบในไผ่ นั่นคือ

ไผ่ซางหม่นมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ร้อยละ 59.74 ส่วนไผ่รวกดำมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 37.92

โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณแอลฟาเซลลูโลสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้พบได้ทั้งในไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Norul Hisham และคณะ (2006) และ Li และคณะ (2007) ซึ่งศึกษาความผันแปรขององค์ประกอบทางเคมีของ *Gigantochloa scortechinii* และ *Phyllostachys pubescens* ตามลำดับ

ส่วนผลกระทบจากระดับความสูงจากพื้น พบว่า ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสที่ตรวจพบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน

แอลฟาเซลลูโลส คือ เซลลูโลสชนิดหนึ่งที่มีจำนวนโดยประมาณของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่อยู่ในสายพอลิเมอร์ (Degree of polymerization; DP) มากและมีความเสถียรสูงที่สุด และจัดเป็นสารองค์ประกอบหลักของไม้ สามารถแยกออกจากองค์ประกอบอื่น ๆ ในเนื้อไม้ได้โดยจากแช่ไม้ลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 แอลฟาเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบหลักในการนำไปผลิตเป็นเยื่อกระดาษ ดังนั้นไผ่ที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงจึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ ตัวอย่างของวัตถุดิบที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงที่สุด คือ ฝ้าย

ROYAL PROJECT FOUNDATION

ตาราง4.18 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอลฟาเซลลูโลสของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส(ร้อยละ)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	46.89 (3.72)	37.92 (2.14)	57.51 (1.71)
	กลาง	47.66 (3.41)	38.63 (2.17)	57.58 (2.35)
	ปลาย	48.76 (2.09)	39.10 (2.42)	58.95 (2.00)
3	โคน	46.38 (4.81)	38.50 (2.14)	57.62 (2.02)
	กลาง	48.37 (2.80)	39.39 (2.54)	58.96 (2.00)
	ปลาย	49.90 (2.50)	40.34 (2.42)	59.06 (2.41)
5	โคน	46.02 (2.93)	38.61 (2.58)	57.86 (2.99)
	กลาง	48.45 (2.99)	39.65 (2.36)	58.34 (3.05)
	ปลาย	50.19 (4.08)	40.14 (2.37)	59.74 (2.21)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.6 ความเป็นกรดด่าง และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของไผ่

จากการทดสอบหาค่าความเป็นกรดด่าง และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง ได้ผลการทดลองดังนี้

4.6.1 ความเป็นกรดด่าง

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าค่าความเป็นกรดด่างของไผ่อยู่ในช่วงความเป็นกรด โดยมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.8-7.1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรดด่างของไผ่หลายชนิดซึ่งงานวิจัยในอดีตได้ศึกษาไว้ (Ahmad and Kamke, 2003; Anwar et al., 2005; Chaowana et al., 2012; Malanit et al., 2009) โดยค่าดังกล่าวนี้มีค่าใกล้เคียงกับไม้เนื้อแข็งเขตร้อน (Tropical hardwood) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 3.7-8.2 (Fengel and Wegener, 1984) อย่างไรก็ตามพบว่า ผลกระทบของชนิดพันธุ์ ระดับความสูงจากพื้น และอายุ ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความเป็นกรดด่าง

ไผ่ซางหม่นมีค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 7.12 ส่วนไผ่มากินอยมีค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 4.81

นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าค่าความเป็นกรดด่างจะมีค่าลดลงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปีจะมีค่าความเป็นกรดด่างแตกต่างกัน

ส่วนระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างของลำไผ่ คือเมื่อลำไผ่มีระดับความสูงจากพื้นมากขึ้น ค่าความเป็นกรดด่างที่ตรวจวัดได้จะมีค่าลดลง

Fengel และ Wegener (1984) และ Gray (1958) ได้กล่าวไว้ว่า ความเป็นกรดด่างของไม้และวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักคือเซลลูโลสและลิกนิน (Ligno-cellulosic materials) เป็นผลมาจากจำนวนกรดอิสระที่ปรากฏอยู่ในสารแทรก (Extractives) ในเนื้อไม้ เช่น สารในกลุ่มอนิทรีย์สาร ได้แก่ สารกลุ่มขี้เถ้า รวมถึงสารกลุ่มอินทรีย์สาร ซึ่งประกอบด้วยสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำ แอลกอฮอล์ เบนซีน รวมถึงด่าง (Balaban and Uçar, 2001) ซึ่งตัวทำละลายเหล่านี้จะละลายและปลดปล่อยกรดอิสระออกมาทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของไม้ลดลงได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ความผันแปรของค่าความเป็นกรดด่างของลำไผ่นั้นเกิดขึ้นจากความผันแปรของปริมาณสารแทรกที่มีอยู่ซึ่งปริมาณสารแทรกนั้นมีความผันแปรทั้งปัจจัยของชนิดพันธุ์ ปัจจัยจากอายุ และปัจจัยจากระดับความสูงจากพื้น ดังแสดงให้เห็นข้างต้น

ค่าความเป็นกรดด่างนั้นมีความสำคัญในแง่การใช้ประโยชน์ของไผ่ในแง่ของไม้ประกอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้งานร่วมกับกาวสังเคราะห์กลุ่มเทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting resins) เช่น กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde resin) หรือกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde resin) ซึ่งอัตราการเชื่อมโยงพันธะของกาวในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดด่างของวัตถุดิบที่ใช้งานร่วมกัน นั่นคือ ค่าความเป็นกรดด่างของไม้นั้นมีบทบาทสำคัญต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องการในระหว่างการแข็งตัวของกาว เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดร้อน รวมถึงปริมาณสารแร่งแข็ง (Catalyst) ที่เติมลงไปในกาวด้วย

มูลนิธิโครงการหลวง
ROYAL PROJECT FOUNDATION

ตาราง4.19 ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นกรดด่างของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ค่าความเป็นกรดด่าง		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	5.31 (0.028)*	5.73 (0.000)	7.12 (0.022)
	กลาง	5.18 (0.010)	5.53 (0.022)	5.99 (0.104)
	ปลาย	5.16 (0.010)	5.52 (0.038)	5.25 (0.090)
3	โคน	4.99 (0.024)	6.03 (0.092)	6.08 (0.063)
	กลาง	4.89 (0.015)	5.62 (0.012)	5.58 (0.011)
	ปลาย	4.90 (0.012)	5.55 (0.009)	5.42 (0.031)
5	โคน	5.02 (0.006)	5.95 (0.034)	5.71 (0.047)
	กลาง	4.90 (0.008)	5.71 (0.419)	5.38 (0.089)
	ปลาย	4.81 (0.008)	5.29 (0.008)	5.33 (0.025)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.6.2 ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง

ตารางที่ 4.20 แสดงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง คือ ความสามารถของไม้ที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของตัวเอง โดยเนื้อไม้ที่มีค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดสูง คือ ไม้ต้องการกรดในปริมาณมากเพื่อลดค่าความเป็นกรดด่างลง ส่วนเนื้อไม้ที่มีค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างสูง คือ ไม้ต้องการด่างในปริมาณมากเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดด่างขึ้น (Maloney, 1993) เนื้อไม้ที่มีค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างสูงจะส่งผลกระทบต่ออัตราการแข็งตัวของกาวสังเคราะห์กลุ่มเทอร์โมเซตติ้ง (Anwar et al., 2005; Park et al., 2001) เช่น กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งจะเซ็ตตัวที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.5 โดยอัตราการแข็งตัวของกาวจะลดลงรวมถึงความแข็งแรงในการยึดติดของกาวจะลดลงเมื่อเนื้อไม้มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างสูง

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ไผ่ซางหม่นมีค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 0.393 มิลลิอิควิวาเลนซ์ ส่วนไผ่รวกดำมีค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 0.116 มิลลิอิควิวาเลนซ์ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างจะมีค่าลดลงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้นรวมถึงเมื่อระดับความสูงของลำไผ่มีระดับสูงขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของไผ่กับไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง เช่น Aspen (0.23-0.31 มิลลิอิควิวาเลนซ์) Hemlock (0.17-0.23 มิลลิอิควิวาเลนซ์) Douglas-fir (0.03-0.09 มิลลิอิควิวาเลนซ์) และ White oak (0.1 มิลลิอิควิวาเลนซ์) (Ahmad and Kamke, 2003) พบว่า ไผ่ทั้ง 3 ชนิดมีค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างใกล้เคียงกับ Aspen ซึ่งเป็นไม้ที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมไม้ประกอบ ดังนั้นหากพิจารณาการใช้ประโยชน์ไผ่ชนิดใดชนิดหนึ่งในแง่มุมของไม้ประกอบซึ่งใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานนั้น จะสามารถใช้ประโยชน์ไผ่ร่วมกับกาวในกลุ่มนี้ได้ อย่างไรก็ตามพบว่า ผลกระทบของระดับความสูงจากพื้น และอายุส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของไผ่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่ออัตราการแข็งตัวของกาวร่วมด้วย เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดร้อน รวมถึงปริมาณสารแร่งแข็งที่เติมลงไปในกาวด้วย

ตาราง4.20 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด (Milliequivalence)		
		ไผ่มากินอย	ไผ่รวกดำ	ไผ่ซางหม่น
1	โคน	0.316 (0.011)*	0.266 (0.001)	0.257 (0.003)
	กลาง	0.309 (0.004)	0.170 (0.012)	0.353 (0.004)
	ปลาย	0.297 (0.002)	0.116 (0.011)	0.393 (0.025)
3	โคน	0.220 (0.002)	0.261 (0.000)	0.143 (0.011)
	กลาง	0.214 (0.002)	0.170 (0.000)	0.148 (0.011)
	ปลาย	0.190 (0.004)	0.154 (0.002)	0.189 (0.001)
5	โคน	0.243 (0.001)	0.218 (0.001)	0.207 (0.005)
	กลาง	0.209 (0.001)	0.142 (0.124)	0.212 (0.002)
	ปลาย	0.172 (0.002)	0.120 (0.000)	0.216 (0.006)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.7 ความสามารถในการเปียกของไผ่

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสบนผนังปล้องด้านนอกและด้านในของไผ่ 3 ชนิด ที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ช่วงและมีระดับความสูงจากพื้น 3 ระดับ

ความสามารถในการเปียก (Wettability) คือ ความสามารถที่ของเหลวจะกระจายตัวไปบนผิวหน้าของของแข็งได้อย่างอิสระ ซึ่งวัดได้จากมุมสัมผัส (Contact angle; θ) ซึ่งก็คือ มุมระหว่าง Liquid-vapor interface ที่พบกับ solid-liquid interface เกิดขึ้นเมื่อหยดของของเหลวให้กระจายไปบนผิวหน้าของแข็ง หากหยดของของเหลวกระจายไปบนผิวหน้าของแข็งได้มาก หรือเกือบมองไม่เห็นเป็นหยดของของแข็ง ทำให้มุมสัมผัสมีค่าน้อย แสดงว่าของเหลวสามารถกระจายตัวไปบนผิวของของแข็งได้ดี หรือสามารถเปียกได้ดี (Blomquist et al., 1983; Frihart, 2005; Mara, 1992) หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึง ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเปียกของกาวไปบนผิวหน้าของไผ่นั่นเอง หากความสามารถในการกระจายตัวของกาวไปบนผิวหน้าของไผ่มีค่าต่ำ คือ มีค่าของมุมสัมผัสสูง จะทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างกาวกับไผ่มีค่าต่ำไปด้วย (Anwar et al., 2005; Nugroho and Ando, 2001)

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ไผ่ซางหม่นมีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 55.86 องศา ส่วนไผ่มากินอยมีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 22.85 องศา โดยผนังด้านนอกของปล้องจะมีค่ามุมสัมผัสสูงกว่าผนังด้านในของปล้อง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น แต่จะมีค่าลดลงเมื่อระดับความสูงของลำไผ่มีระดับสูงขึ้น

ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (Ahmad and Kamke, 2003; Anwar et al., 2005; Chaowana et al., 2012) ซึ่งรายงานผลการศึกษามุมสัมผัสของไผ่ 3 ชนิด *คือ Dendrocalamus strictus, Gigantochloa scortechinii* และ *Dendrocalamus asper* มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52, 14 และ 35 องศา ตามลำดับ รวมถึงความผันแปรของมุมสัมผัสที่เกิดขึ้นจากผลกระทบของด้านของผนังปล้อง และระดับความสูงจากพื้นดิน และเมื่อเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสที่วัดได้กับไม้ Aspen, Yellow-poplar และ White Oak (Freeman and Wangaard, 1960) ซึ่งเป็นไม้ที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมไม้ประกอบ พบว่า ค่ามุมสัมผัสของไผ่มีค่าสูงกว่าไม้ทั้ง 3 ชนิดเล็กน้อย นอกจากนี้ความสามารถในการเปียกของไผ่นั้นยังมีความผันแปรสูงเนื่องด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดพันธุ์ อายุ ระดับความสูงจากพื้น รวมถึงตำแหน่งของลำไผ่ ดังนั้นเมื่อพิจารณาการใช้ประโยชน์ไผ่เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไม้ประกอบนั้น ควรคำนึงถึงความสามารถในการกระจายตัวของกาวไปบนผิวของไผ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนผนังด้านนอกของปล้อง กาวที่จะนำมาใช้งานจึงควรมีการปรับปรุงสูตร เช่น การเติมสารเติม (Filler) ลงไปในกาว หรือการเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวต่ำ เพื่อให้กาวสามารถเปียกและกระจายตัวไปบนผิวหน้าของไผ่ได้ดียิ่งขึ้น

ตาราง4.21 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของผิวด้านนอกและด้านในของผนังปล้องของไผ่มากินอย ไผ่รวกดำ และไผ่ซางหม่น ที่มีความแตกต่างกันในประเด็นอายุ และระดับความสูงจากพื้น

อายุ (ปี)	ระดับความสูง	ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่าง (Milliequivalence)					
		ไผ่มากินอย		ไผ่รวกดำ		ไผ่ซางหม่น	
		ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน
1	โคน	35.16 (3.62)*	33.36 (6.68)	42.89 (5.63)	33.32 (6.75)	45.79 (8.25)	40.45 (8.59)
	กลาง	32.10 (9.91)	31.28 (7.43)	44.80 (5.82)	40.21 (7.97)	40.46 (6.75)	37.03 (7.09)
	ปลาย	30.00 (8.81)	28.67 (7.13)	46.84 (4.90)	43.00 (8.57)	37.64 (9.40)	32.63 (10.71)
3	โคน	38.91 (5.52)	31.18 (6.81)	45.43 (6.02)	41.34 (7.22)	51.23 (4.56)	45.05 (7.88)
	กลาง	32.87 (6.85)	30.65 (4.58)	47.97 (8.85)	44.98 (7.28)	49.19 (7.21)	40.91 (6.60)
	ปลาย	30.49 (5.89)	27.93 (5.34)	48.90 (5.80)	45.34 (7.40)	42.63 (4.84)	31.73 (9.03)
5	โคน	38.00 (8.28)*	29.27 (6.26)	45.25 (6.52)	40.98 (5.89)	55.86 (6.81)	45.26 (6.22)
	กลาง	40.94 (8.85)	28.76 (5.45)	47.77 (6.71)	43.72 (8.94)	50.59 (8.59)	41.32 (6.53)
	ปลาย	42.77 (7.59)	22.85 (7.36)	50.8 (5.67)	46.22 (4.36)	43.26 (6.50)	32.03 (7.36)

หมายเหตุ: * ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

- ลักษณะระดับมหภาคของลำไผ่มีความผันแปรตลอดความยาวของลำไผ่ โดยความยาวปล้องจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปยังส่วนกลางของลำและค่อย ๆ มีค่าลดลงไปยังส่วนปลายของลำ ส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาผนังปล้องจะมีค่าลดลงจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายลำ
- โครงสร้างระดับจุลภาคของลำไผ่มีความผันแปรตามชนิดพันธุ์และระดับความสูงของลำ โดยจำนวนของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของลำที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่ามากที่สุดที่ส่วนปลายของลำ ซึ่งรูปร่างของกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงจะเปลี่ยนแปลงจากรูปทรงกลมไปเป็นทรงรีจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำ นอกจากนี้กลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงที่อยู่ด้านในของผนังปล้องจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมในขณะที่กลุ่มเซลล์ท่อลำเลียงที่อยู่ด้านนอกของผนังปล้องจะมีรูปร่างเป็นทรงรี
- ชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความถ่วงจำเพาะ คือ ไผ่มากินอยมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด ส่วนไผ่ซางหม่นมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด โดยความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้นและเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน
- ชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่มีผลกระทบต่อปริมาณความชื้นของลำไผ่ โดยไผ่ซางหม่นมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงที่สุด ส่วนไผ่มากินอยมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด โดยปริมาณความชื้นขณะตัดจะมีค่าลดลงเมื่อไผ่มีอายุเพิ่มมากขึ้นและมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยปริมาณความชื้นลำไผ่มีความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะ
- สมบัติเชิงกล ได้แก่ การดัดสถิตย์ ความเค้นอัดขนานเสี้ยน และความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนผันแปรตามชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงของลำไผ่ โดยไผ่มากินอยจะมีความแข็งแรงสูงที่สุด รองลงมาคือไผ่รวกดำและไผ่ซางหม่นตามลำดับ โดยค่าความแข็งแรงที่ทดสอบได้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้นและเมื่อมีระดับความสูงจากพื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน และพบว่ายังมีความสัมพันธ์โดยตรงการกับเปลี่ยนแปลงของความถ่วงจำเพาะ นั่นคือ ความถ่วงจำเพาะของ

ลำไผ่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของลำไผ่โดยเฉพาะการดัดสถิตย์และความเค้นอัดขนานเสี้ยนมีค่าสูงขึ้นด้วย

- องค์ประกอบทางเคมีของไผ่ผันแปรตามชนิดพันธุ์ อายุ และระดับความสูงจากพื้น พบว่า โฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส และสารแทรกอื่น ๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปยังส่วนปลาย นอกจากนี้ยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุของลำไผ่ที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนปริมาณของลิกนินกลับไม่พบการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยของระดับความสูงจากพื้น
- ไผ่มีค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 4-7 จัดอยู่ในช่วงของกรดอ่อนไปถึงกลาง ค่าความเป็นกรดด่างของไผ่ผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงของอายุและระดับความสูงของลำ โดยค่าความเป็นกรดด่างจะมีค่าลดลงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น และเมื่อลำไผ่มีระดับความสูงจากพื้นมากขึ้น ค่าความเป็นกรดด่างที่ตรวจวัดได้จะมีค่าลดลง
- ไผ่มีค่าความสามารถในการต้านทานความเป็นกรดด่างใกล้เคียงกับไม้ทางการค้าชนิดอื่น ๆ โดยค่าดังกล่าวนี้จะผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงของอายุและระดับความสูงของลำ นั่นคือ ค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างจะมีค่าลดลงเมื่อลำไผ่มีอายุมากขึ้น รวมถึงเมื่อระดับความสูงของลำไผ่มีระดับสูงขึ้นด้วย
- ไผ่มีความสามารถในการเปียกต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ทางการค้าชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ความสามารถในการเปียกของไผ่ยังเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของลำ แต่กลับมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นตามอายุ ยิ่งไปกว่านั้นความสามารถในการเปียกของผนังปล้องด้านนอกของลำไผ่ยังมีค่าต่ำกว่าผนังด้านในของลำอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ดังที่กล่าวมาข้างต้นว่าความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่นั้นขึ้นอยู่กับสมบัติต่าง ๆ อาทิ เช่น โครงสร้างระดับมหภาค โครงระดับจุลภาค สมบัติทางกายภาพและเชิงกล องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางผิวหน้า ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างในประเด็นของชนิดพันธุ์ อายุ และส่วนต่าง ๆ ของลำไผ่ที่นำมาใช้ จากผลการทดลองทางคณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ถึงข้อดีของไผ่ และนำเสนอแง่มุมของการใช้ประโยชน์ไผ่ ดังนี้

5.2.1 ช่วงอายุที่เหมาะสมต่อการนำไผ่ไปใช้ประโยชน์

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ไผ่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีรายงานว่าลำไผ่สามารถเจริญเติบโตและมีความสูงได้ถึง 30 เมตรภายในระยะเวลา 6 เดือน ส่วนผลการทดสอบความผันแปรของสมบัติต่าง ๆ ของลำไผ่ในประเด็นที่มีอายุของลำแตกต่างกัน ทำให้ทราบว่า ลำไผ่จะเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์และมีสมบัติต่าง ๆ ค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไผ่ที่มีอายุ 3 และ 5 ปี ดังนั้นช่วงอายุที่เหมาะสมต่อการนำลำไผ่ไปใช้ประโยชน์ คือ ลำไผ่ที่มีอายุตั้งแต่ 3 ปี เป็นต้นไป และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของไผ่กับไม้ไม้เนื้อแข็ง จะแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของไผ่ที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างรวดเร็ว ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากลำไผ่ในแง่มุมของวัสดุทดแทนไม้จึงมีความเป็นไปได้สูง

5.2.2 ความง่ายในการแปรรูป

ไผ่มีลักษณะเสี้ยนตรง มีความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนต่ำเมื่อเทียบกับไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนทั่วไป จึงสามารถผ่าหรือฝานไผ่ออกเป็นชิ้นไม้ที่มีลักษณะบาง ได้ง่ายด้วยเครื่องมือพื้นฐาน เช่น มีดพร้า หรือขวาน ตัวอย่างของชิ้นไม้ไผ่บาง ๆ เช่น ตอกไผ่ ซึ่งใช้ในการผลิตหัตถกรรม เครื่องเรือน รวมถึงเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน

5.2.3 ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากไผ่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วค่อนข้างรวดเร็วจึงสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากบรรยากาศมาเก็บไว้ได้มาก ต่างกับชนิดอื่นที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กหรือซีเมนต์ ซึ่งจะปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศในระหว่างกระบวนการแปรรูปหรือผลิต นอกจากนี้การนำไผ่มาใช้ประโยชน์ทดแทนไม้จะช่วยลดปัญหาการทำลายป่าได้อีกด้วย ดังนั้นจัดได้ว่าไผ่เป็นวัสดุที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

5.2.4 การใช้ประโยชน์ไผ่เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างทนแทนการใช้ไม้

ไผ่มากินอย เป็นไผ่ที่มีความแข็งแรงสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไผ่อีก 2 ชนิด คือ ไผ่รวกดำและไผ่ซางหม่น โดยมีค่าโมดุลลัสแตกหัก โมดุลลัสยืดหยุ่น ความเค้นอัดและความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนเฉลี่ยสูงที่สุด รวมถึงมีความถ่วงจำเพาะสูงที่สุดด้วยเช่นกัน และหากพิจารณาความผันแปรของสมบัติเชิงกลตลอดความยาวของลำ ระหว่างท่อนโคน กลาง และปลายจะพบว่าทั้งความแข็งแรงและความถ่วงจำเพาะมีค่าค่อนข้างคงที่ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะภายนอกของลำไผ่ พบว่า ไผ่มากินอยมีลักษณะของลำที่ค่อนข้างตรง มีความยาวของลำโดยเฉลี่ย 10 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำรวมถึงความหนาของผนังปล้องค่อนข้างคงที่เท่ากับ ดังนั้นไผ่ชนิดนี้จึงเหมาะสมที่นำไปเป็นส่วนของโครงสร้างที่ถ่ายแรงในแนวนอน เช่น คาน

ส่วนไผ่ซางหม่น เมื่อพิจารณาในส่วนโคนของลำ พบว่ามีค่าความแข็งแรง และความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างของโครงสร้างระดับมหภาค (โดยเฉพาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของผนังปล้อง) สมบัติทางกายภาพและเชิงกลตลอดความยาวของลำแล้ว ไผ่ซางหม่นเหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในงานโครงสร้าง โดยเฉพาะส่วนที่รับแรงในแนวตั้ง เช่น เสา อย่างไรก็ตามไผ่ซางหม่นมีสารแทรกในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ แป้ง น้ำตาล เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่เสื่อมสภาพ จึงทำให้มีโอกาสในการถูกเข้าทำลายของแมลงและเชื้อราได้สูง ดังนั้นการนำไผ่ชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการพิเศษ เช่น การอาบน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้ เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อรา รวมถึงยืดอายุการใช้งานของลำไผ่อีกด้วย

5.2.5 การใช้ประโยชน์ไผ่เพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมไม้ประกอบ

เนื่องจากไผ่ซางหม่นมีค่าความแข็งแรง และความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยต่ำที่สุด แต่จากศึกษาพบว่า ไผ่ชนิดนี้มีผนังปล้องมีความหนามาก โดยเฉพาะในส่วนโคนซึ่งมีความหนาสูงถึง 8 ซม. ไผ่ชนิดนี้จึงเหมาะที่นำไปแปรรูปเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไม้ประกับหรือไม้พื้น รวมถึงเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นไม้ประกอบ เช่น แผ่นไม้อัด (Plywood) แผ่นชิ้นไม้อัด (Particleboard) และแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard)

อย่างไรก็ตามจากการทดสอบทำให้ทราบว่า ไผ่ซางหม่นมีค่าความเป็นกรดด่างรวมถึงค่าความต้านทานความเป็นกรดด่างสูง ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้มีผลกระทบต่ออัตราการแข็งตัวของกาว หากพิจารณาการใช้ประโยชน์ไผ่ซางหม่นร่วมกับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยการผลิตอื่น ๆ ที่มีผลต่ออัตราการแข็งตัวของกาวร่วมด้วย เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดร้อน รวมถึงปริมาณสารแร่งแข็งที่เติม

ลงไปในกาวด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าไผ่ซางหม่นยังมีความสามารถในการเปียกต่ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของกาวไปบนผิวหน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนผนังด้านนอกของปล้อง กาวที่จะนำมาใช้งานจึงควรมีการปรับปรุงสูตร เช่น การเติมสารเติม (Filler) ลงไปในกาว หรือการเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวต่ำเพื่อให้กาวสามารถเปียกและกระจายตัวไปบนผิวหน้าของไผ่ได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนี้ไผ่ซางหม่นยังมีปริมาณอนิทรีย์สูง ซึ่งสารเหล่านี้โดยเฉพาะซิลิกาจะส่งผลต่อกระบวนการแปรรูปไผ่โดยทำให้เครื่องมือตัดมีอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น ในการใช้ประโยชน์จึงเป็นต้องคำนึงถึงการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพิ่มขึ้น

5.2.6 การใช้ประโยชน์ไผ่ในส่วนของเครื่องเรือนและเครื่องใช้

จากการศึกษา พบว่า ไผ่รวกดำ มีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลในระดับปานกลางใกล้เคียงกับไผ่ซางหม่น แต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของผนังปล้องค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับไผ่ซางหม่น แต่เมื่อพิจารณาถึงความผันแปรของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของผนังปล้องของไผ่รวกดำที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ รวมถึงปล้องบริเวณส่วนโคนส่วนโคนจะตัน ดังนั้นไผ่รวกดำจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนของเครื่องเรือนและเครื่องใช้ทั่วไป

5.2.7 การใช้ประโยชน์ไผ่เพื่อเป็นแหล่งพลังงานชีวมวล

ไผ่มากินอย เป็นไผ่ที่มีปริมาณลิกนินสูงที่สุด โดยปริมาณลิกนินที่สูงจะทำให้ไผ่มากินอยมีค่าความร้อนสมบูรณ์สูงจึงเหมาะที่จะนำมาเป็นทำแหล่งพลังงานชีวมวลเชื้อเพลิง

5.2.6 การใช้ประโยชน์ไผ่เพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

ไผ่ซางหม่น เป็นไผ่ที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงที่สุด โดยปริมาณแอลฟาเซลลูโลสที่สูงจะทำให้สามารถผลิตเยื่อกระดาษจากไผ่ชนิดนี้ได้ผลผลิตในปริมาณสูง นอกจากนี้ไผ่ซางหม่นยังมีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในด่างในปริมาณต่ำ จึงเหมาะที่จะนำใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ โดยใช้เทคโนโลยีการแยกเยื่อแบบด่าง อย่างไรก็ตามไผ่ซางหม่นมีปริมาณสารแทรกในกลุ่มที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนสูงที่สุด จึงอาจก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันของเครื่องจักรเนื่องจากตะกอนสบู่ได้ ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตบางประการให้เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- สราวุธ สังข์แก้ว, อัจฉรา ตีระวัฒนานนท์ และกิตติศักดิ์ จินดาวงศ์. 2554. **ไผ่ในเมืองไทย**. บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด มหาชน, กรุงเทพมหานคร. 263 น.
- Abd. Latif Mohmod; Mohd. Zin, Jusoh. 1992. Trends of variation in some physical properties of *Gigantochloa scortechinii.* **Bamboo Information Center India Bulletin**, 2, 7-12.
- Ahmad, M. and Kamke, F.A. 2003. Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials: Surface characteristics. **Wood Science and Technology**, 37, 233-240.
- Anwar, U.M.K., Paridah, M.T., Hamdan, H. Abd Latif, M. and Zaidon, A. 2005. Adhesion and bonding properties of plybamboo manufactured from *Gigantochloa scoretechinii*. **American Journal of Applied Sciences (Special Issue)**, 53-58.
- Balaban, M. and Uçar, G. 2001. The correlation of wood acidity to its solubility by hot water and alkali. **Holz als Roh-und Werkstoff**, 59, 67-70.
- Blomquist, R.F., Christiansen, A.W., Gillespie, R.H. and Myers, G.E. 1983. **Adhesive bonding of wood and other structural materials.** The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA. 275 p.
- British Standard. 1957. Methods of testing small clear specimens of timber. **BS 373:1957.**
- Chaowana, P., Robkorb, K., Sriwilai, S. and Barbu, M.C. 2012. Gluability variation of Dendrocalamus asper for bamboo composites. **In the 9th World Bamboo Congress Proceedings.** Antwerp, Belgium. pp. 307-315.
- Chert, Y., Qin, W., Li, X., Gong, J. and Nimanna. 1987. The chemical composition of ten bamboo species. In Rao, A.N., Dhanarajan, G. and Sastry, C.B. (Ed.). **Recent Research on Bamboo**, Proceeding International Workshop, Hangzhou, China. pp. 110-113.

- Chung, M.J., Wu, J.H. and Chang, S.T. 2005. Green colour protection of makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) treated with ammoniacal copper quaternary and copper azole preservatives. **Polymer Degradation and Stability**, 90, 167-172.
- Espiloy, Z. 1994. Effect of age on the physio-mechanical properties of some Philippine Bamboo. In Bamboo in Asia and the Pacific. **Proceeding International Bamboo Workshop**. pp. 180-182.
- Fengel, D. and Shao, X. 1984. A chemical and ultrastructural study of the Bamboo species *Phyllostachys makinoi* Hay. **Wood Science and Technology**, 18,103-112.
- Freeman, H.G. 1959. Relationship between physical and chemical properties of wood and adhesion. **Forest Product Journal**, 9(12), 451-458.
- Frihart, C.R. 2005. Wood adhesion and adhesives. In Rowell, R.M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. CRC Press, Florida, USA. pp. 215-278.
- Fujii, T. 1985. Cell-wall structure of the culm of Azumanezasa (*Pleioblastus chino* Max.). **Mokuzai Gakkaishi**, 31, 865-872.
- Gray, V.R. 1958. The acidity of wood. **Journal of the Institute of Wood Science**, 1, 58-64.
- Grosser, D. and Liese, W. 1971. On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles. **Wood Science and Technology**, 5, 290-312.
- Itoh, T. 1990. Lignification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) during its growth. **Holzforschung**, 44,191-200
- Lee, A. W. C., Xuesong, B. and Perry, N. P. 1994. Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina. **Forest Product Journal**, 44(9), 40-46.
- Li, X.B., Shupe, T.F., Peter, G.F., Hse, C.Y. and Eberhardt, T. L. 2007. Chemical changes with maturation of the bamboo species *Phyllostachys pubescens*. **Journal of Tropical of Forest Science**, 19(1), 6–12.
- Liese, W. 1998. **The anatomy of bamboo culms**. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing, People’s Republic of China. 208 p.

- Liese, W. and Weiner, G. 1996. Ageing of bamboo culms: A review. **Wood Science and Technology**, 30, 77-89.
- Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H. and Wu, J. 2007. **World bamboo resources – A Thematic Study Prepared in the Framework of the Global Forest Resources Assessment 2005: Non-wood Forest Products 18 (Non-Wood Forest Products).** Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 73 p.
- López, H. O. 2003. **Bamboo: The gift of the gods**. D'VINNI LTDA, Bogota, Colombia. 553 p.
- Malanit, P., Barbu, M.C., Liese, W. and Frühwald, A. 2008. Macroscopic aspects and physical properties of *Dendrocalamus asper* Backer for composite panels. **Journal of Bamboo and Rattan**, 7(3&4), 151-163.
- Malanit, P., Barbu, M.C. and Frühwald, A. 2009. Mechanical Properties of Sweet Bamboo *Dendrocalamus asper*. **Journal of Bamboo and Rattan**, 8(3&4), 151-160.
- Malanit, P., Barbu, M.C. and Frühwald, A. 2009. The gluability and bonding quality of an Asian bamboo (Dendro*calamus asper* Backer) for the production of composite lumber. **Journal of Tropical Forest Science**, 21(4), 361-368.
- Maloney T.M. 1993. **Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing (Updated edition)**. Miller Freeman, San Francisco, USA. 681 p.
- Marra, A.A. 1992. Technology of wood bonding. Van Nostrand Reinhold, New York, USA. 454 p.
- Meredith, T.J. 2009. **Timber press pocket guide to bamboos.** Timber Press, Inc., United Kingdom. 208 p.
- Murphy, R. and Alvin, K.L. 1992. Variation in fibre wall structure of bamboo. **IAWA Bulletin**, 13, 403-410.
- Norul Hisham, H., Othman, S., Rokiah, H. Abd. Latif, M., Ani, S. and Mohd. Tamizi, M. 2006. Characterization of bamboo *Gigantochloa scortechinii* at different ages. **Journal of Tropical of Forest Science**, 18(4), 236–242.

- Nugroho, N. and Ando, N. 2001. Development of structural composite products made from bamboo II: Fundamental properties of laminated bamboo lumber. **Journal of Wood Science**, 47, 237-242.
- Park, B.D., Kim, Y.S. and Rield, B. 2001. Effect of wood–fiber characteristics on medium density fiberboard (MDF) performance. **Journal of Korean Wood Science and Technology**, 29, 27–35.
- Qisheng, Z., Shenxue, J. and Yongyu, T. 2002. **Industrial utilization on bamboo: Technical report no. 26**. The International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), People's Republic of China. 206 p.
- Sattar, M.A., Kabir, M.F., Battacharjee, D.K. 1994. Effect of age and height position of Mull *(Melocanna baccifera)* and Borak *(Bambusa balcooa)* bamboos on their physical and mechanical properties. In Bamboo in Asia and the Pacific. **Proceeding International Bamboo Workshop**. pp. 183-187.
- Talabgaew, S. and Laemlaksakul, V. 2007. Experimental Studies on the Mechanical Property of Laminated Bamboo in Thailand. In **Proceeding of world academy of science, engineering and technology**, Volume 25, pp. 474-478.
- Wong, K. M. 1995. **The bamboos of Peninsular Malaysia**. Forest Research Institute Malaysia (FRIM) in collaboration with Forest Research Centre, Forestry Department, Sabah, Malaysia. 200 p.
- Zehui, J. 2007. **Bamboo and rattan in the world.** China forestry publishing house, People's Republic of China. 360 p.

ROYAL PROJECT FOUNDATION