ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

ปริญญา

วนผลิตภัณฑ์ | วนผลิตภัณฑ์

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง

Physical and Mechanical Properties of Wood from Sweet-Bamboo Culms (*Dendrocalamus asper* Backer.)

นามผู้วิจัย นางสาวฐิติกุล ภาคศิรี

ได้พิจารณาเห็นชอบให้เป็นวิทยานิพนธ์ระดับ ดี

โดย ประธานกรรมการ ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญนำ เกี่ยวข้อง, Ph.D.)

กรรมการ .....

(อาจารย์วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัฒน์, วท.ม.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริ ภู่พงษ์วัฒนา, พบ.ม.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำไพ เปี่ยมอรุณ, M.S.)

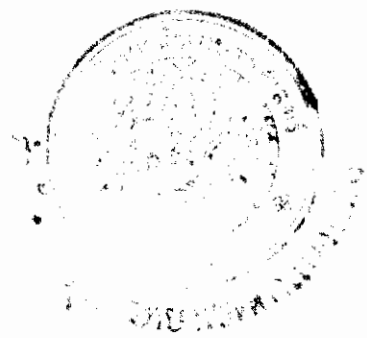
บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

.....

(ศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ สมมาตย์, Ph.D.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 15 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ** 2548



วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง

Physical and Mechanical Properties of Wood from Sweet-Bamboo Culms

(*Dendrocalamus asper* Backer.)

โดย

นางสาวฐิติกุล ภาคคีรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

พ.ศ. ๒๕๔๐

ฐิติกุล ภาคคีรี 2540 : สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญนำ เกี่ยวข้อง, Ph.D. 89 หน้า

การวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper* Backer.) สมบัติทางกายภาพได้ศึกษาความชื้น (Moisture content), ความถ่วงจำเพาะ(Specific gravity) และการหดตัว (Shrinkage) ส่วนสมบัติเชิงกลได้ทดสอบการดัดสถิต (Static bending), การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain), การอัดขนานเสี้ยน (Compression parallel to grain) และการเฉือนขนานเสี้ยน (Shear parallel to grain) รวมทั้งศึกษาผลกระทบของความชื้นและตำแหน่งตามความสูงของลำต้นต่อสมบัติต่างๆเหล่านี้

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ไม้ไผ่ตงเขียว จำนวน 4 ต้น ซึ่งตัดสุ่มมาจากจังหวัดปราจีนบุรี แต่ละต้นมีอายุประมาณ 3 ปี โดยนำมาตัดและแปรรูปเป็นชิ้นทดสอบที่มีขนาดซึ่งดัดแปลงให้เหมาะสมกับไม้ไผ่จากหลักการของมาตราฐาน ISO และตัดตามตำแหน่งความสูงทุกๆ 2 เมตรของลำต้นเริ่มจากระดับดินจำนวน 7 ตำแหน่ง ในแต่ละตำแหน่งได้เลือกใช้เฉพาะส่วนเนื้อไม้ไม่รวมเปลือกและผิวใน และนำชิ้นทดสอบมาดำเนินการทดสอบตามวิธีการของมาตรฐาน ISO โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ทดสอบในสภาพสดและกลุ่มที่ทดสอบในสภาพแห้ง แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบโดยใช้วิธี Ducan's New Multiple Range Test.

ผลที่ได้จากการวิจัย ปรากฏว่าไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าเฉลี่ยความชื้นที่สภาพสดตามธรรมชาติเท่ากับ 46% และความถ่วงจำเพาะที่สภาพแห้งเท่ากับ 0.77 ค่าเฉลี่ยการหดตัวที่สภาพแห้งทางด้านสัมผัส , รัศมีและความยาว เท่ากับ 2.53 ,1.35 และ 0.21% ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยโมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 135 MPa , โมดูลัสการยืดหยุ่นเท่ากับ 13,115 MPa และค่าความเหนียว 676 kPa ค่าเฉลี่ยความเค้นดึง ,ความเค้นอัด และความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนเท่ากับ 314 , 72 และ 14 MPa ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อไม้ไผ่ตงเขียวส่วนปลายมีค่าความเค้นดึงขนานเสี้ยนและค่าความเหนียวสูงกว่าส่วนโคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าการดัดสถิต , ความเค้นอัดและความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนส่วนปลายกับส่วนโคนมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สมบัติเชิงกลในสภาพแห้งมีค่าสูงกว่าสภาพสดเล็กน้อย และเมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวด้วยกันคือไม้หลาวชะโอนและไม้ตาลพบว่าในส่วนท่อนปลายไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าไม้หลาวชะโอนและไม้ตาลในทุกวิธีการทดสอบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไม้ไผ่ตงมีความชื้นตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ มีความถ่วงจำเพาะปานกลาง มีการหดตัวค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับไม้ทั่วๆไป แต่มีสมบัติเชิงกลสูงมาก โดยเฉพาะความแข็งแรงในการต้านแรงดึงขนานเสี้ยนมีค่าสูงกว่าไม้อื่นทุกชนิด และสมบัติเชิงกลต่างๆ ยังสม่ำเสมอตั้งแต่ส่วนโคนถึงส่วนปลาย ซึ่งชี้ให้ทราบว่าสามารถนำไม้ไผ่ตงไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งลำโดยไม่ต้องตัดส่วนปลายทิ้งเช่นไม้ชนิดอื่นๆ

น.ส. ฐิติกุล ภาคคีรี — ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ — 21 / มี.ค. / 40

Thitikul Parkkeeree 1997 : Physical and Mechanical Properties of Wood from Sweet-Bamboo Culms (*Dendrocalamus asper* Backer.). Master of Science(Forestry), Major Field Forest Products, Department of Forest Products. Thesis Advisor : Assistant Professor Buhnnum Kyokong, Ph.D. 89 pages.

This research investigates the physical and mechanical properties of wood from Sweet-Bamboo culms (*Dendrocalamus asper* Backer.). The physical properties, i.e., moisture content, specific gravity, and shrinkage, and the mechanical properties, i.e., static bending, tension parallel to grain, compression parallel to grain, and shear parallel to grain were studied. The effect of moisture content and culm height on the above properties was likewise examined.

Four Sweet-Bamboo culms were randomly collected from Prachinburi Province. Each culm was approximately 3 years old. Methods for preparing the test specimens were modified to be suitable for bamboo culms from the procedure in ISO Standard. The specimens were crosscut at every two-meter intervals along the culm starting from ground level for a total of seven locations. At each location, the specimens were removed from the part without bark and inner skin. They were then tested according to the ISO Standard at two moisture-content conditions, i.e., green and air-dried. The data gathered were analyzed using the analysis of variance concepts and compared by the Duncan's New Multiple Range Test.

The results indicated that the wood of Sweet-Bamboo culms has moisture content at natural green condition of 46% and specific gravity at air-dried condition of 0.77 on the average. The mean of shrinkage at air-dried condition in tangential, radial and longitudinal direction are 2.53, 1.35 and 0.21%, respectively. The mean of modulus of rupture of 135 MPa, modulus of elasticity of 13,115 MPa , and toughness of 676 kPa were obtained. The tensile, compressive and shear stresses parallel to grain were found to be 314 , 72 and 14 MPa, respectively. In addition, analysis of variance showed that tensile stress parallel to grain and toughness of bamboo wood significantly increased with culm height. For static bending, compressive and shear stresses parallel to grain of bamboo wood, significant difference along the culm height was not detected. The mechanical properties in air-dried condition were slightly higher than those in green condition. Moreover, the results revealed that the top part of a bamboo culm is stronger than those of Nibong (*Oncosperma tigillarium* Ridl.) and Palmyrah (*Borassus flabellifer* Linn.) stems which are of the same monocotyledonous species. It was concluded that the Sweet-Bamboo wood had low natural moisture content, medium specific gravity, and slightly low shrinkage comparing to other species. However, it had very high mechanical properties, especially the resistance for tension parallel to grain which was higher than all other wood species. All mechanical properties were also uniform along the culm. This indicated that the whole culm of Sweet Bamboo could be utilized without rejecting the top portion like in other wood species.

P. Thitikul — Student's Signature

B. Kyokong. — Thesis Advisor's Signature

21 / May / 1997

คำนิยม

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญนำ เกี่ยวข้อง ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัฒน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริ ภู่พงษ์วัฒนา กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขจนเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทวี แก้วฉะเอียด ที่กรุณาให้คำปรึกษาในด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รองศาสตราจารย์ปฤญจ์ ศรีอรัญ อดีตกรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่เคยให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์เบญจมาศ ศิลาย้อย ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติม เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทางด้านเงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และคุณเสกสรรค์ คมสัน พร้อมกับ คุณอำพล นันทกุศล ที่ช่วยทดสอบบางส่วน นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณจิโรจน์ ภาคคีรี ที่ช่วยพิมพ์ต้นฉบับในบางส่วน

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ครู อาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ตลอดจนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์อันเป็นสถาบันที่ให้โอกาสศึกษาต่อ และให้ความรู้ในวิชาชีพด้านนี้แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ เป็นอย่างสูงที่ให้ทุนและกำลังใจสนับสนุนในการศึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ฐิติกุล ภาคคีรี

มีนาคม 2540

สารบาญ

	หน้า
สารบาญ	(1)
สารบาญตาราง	(2)
สารบาญภาพ	(5)
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	13
ผล	37
วิจารณ์	62
สรุป	72
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	80

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของไม้ไผ่บางชนิดในประเทศไทย	7
2	สมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่ตงเขียว (*Dendrocalamus asper* Backer.)	38
3	ค่าเฉลี่ยความชื้น (Moisture content) และ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูง	39
4	ค่าเฉลี่ยการหดตัว (Shrinkage) ของด้านสัมผัส , ด้านรัศมีและด้านความยาวของไม้ไผ่ตงเขียวที่สภาพแห้งและอบแห้ง	42
5	ค่าเฉลี่ยการดัดสถิตสูงสุด (Static bending) ของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสดและสภาพแห้ง	47
6	ค่าเฉลี่ยความเค้นดึงขนานเสี้ยนสูงสุด (Tensile stress parallel to grain) ของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสดและสภาพแห้ง	54
7	ค่าเฉลี่ยความเค้นอัดขนานเสี้ยนสูงสุด (Compressive stress parallel to grain) ของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสดและสภาพแห้ง	57
8	ค่าเฉลี่ยความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนสูงสุด (Shear stress parallel to grain) ของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสดและสภาพแห้ง	60
9	ตารางเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของไม้หลาวชะโอน (*Oncosperma tigillarium* Ridl.) กับไม้ตาล (*Borassus flabellifer* Linn.)	65

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านสัมผัสที่สภาพแห้ง	81
2	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านรัศมีที่สภาพแห้ง	81
3	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านความยาวที่สภาพแห้ง	82
4	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านสัมผัสที่สภาพอบแห้ง	82
5	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านรัศมีที่สภาพอบแห้ง	83
6	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านความยาวที่สภาพอบแห้ง	83
7	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของโมดูลัสการแตกหักที่สภาพสด	84
8	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของโมดูลัสการแตกหักที่สภาพแห้ง	84

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
9	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของโมดูลัสการยืดหยุ่นที่สภาพสด	85
10	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของโมดูลัสการยืดหยุ่นที่สภาพแห้ง	85
11	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของค่าความเหนียวที่สภาพสด	86
12	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของค่าความเหนียวที่สภาพแห้ง	86
13	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของความเค้นดึงขนานเสี้ยนที่สภาพสด	87
14	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของความเค้นดึงขนานเสี้ยนที่สภาพแห้ง	87
15	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของความเค้นอัดขนานเสี้ยนที่สภาพสด	88
16	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของความเค้นอัดขนานเสี้ยนที่สภาพแห้ง	88

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
17	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนที่สภาพสด	89
18	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนที่สภาพแห้ง	89

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการตัดไม้เพื่อการทดสอบตามความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียว	16
2	แสดงการตัดตามความยาวของปล้องไม้ไผ่สำหรับการทดสอบวิธีต่างๆ	17
3	แสดงการตัดไม้เพื่อทดสอบความชื้น, ความถ่วงจำเพาะและการหดตัวตามหน้าตัดของปล้องไม้ไผ่	18
4	แสดงการตัดไม้ไผ่เพื่อทดสอบการดัดสถิต , การอัดขนานเสี้ยน และการเฉือนขนานเสี้ยนตามหน้าตัดของปล้องไม้ไผ่ตงเขียว	18
5	แสดงการตัดไม้ไผ่เพื่อทดสอบการดึงขนานเสี้ยน ตามหน้าตัดของปล้องไม้ไผ่ตงเขียว	19
6	แสดงการตัดชิ้นทดสอบสำหรับการดึงขนานเสี้ยน	20

สารบาญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
7	เครื่องทดสอบสากล (A) , เครื่องพล็อตกราฟ (B) และชุดเก็บข้อมูล (C)	26
8	แสดงการทดสอบการดัดสถิต	27
9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำ และการโก่งที่เกิดขึ้นเพื่อหาค่าโมดูลัสการยืดหยุ่น	29
10	แสดงการหาพื้นที่ใต้กราฟจนถึงจุดแตกหักเพื่อหาค่าความเหนียว	29
11	แสดงการทดสอบการดึงขนานเสี้ยน	30
12	แสดงการทดสอบการอัดขนานเสี้ยน	31
13	แสดงการทดสอบการเฉือนขนานเสี้ยน	33
14	แสดงค่าเฉลี่ยความชื้นที่สภาพสดตามธรรมชาติ (รูป ก) และค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่สภาพสด , สภาพแห้งและสภาพอบแห้ง (รูป ข)	40
15	กราฟเปรียบเทียบการหดตัวของด้านสัมผัส , ด้านรัศมี และด้านความยาวของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพแห้ง	43
16	กราฟเปรียบเทียบการหดตัวของด้านสัมผัส , ด้านรัศมี และด้านความยาวของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพอบแห้ง	45
17	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการแตกหักของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง	48

สารบาญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการยืดหยุ่นของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง	50
19	กราฟเปรียบเทียบค่าความเหนียวของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง	52
20	กราฟเปรียบเทียบความเค้นดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง	55
21	กราฟเปรียบเทียบความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง	58
22	กราฟเปรียบเทียบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง	61
23	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการแตกหักของไม่ไผ่ตงเขียวกับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอนและไม้ตาล)	66
24	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการยืดหยุ่นของไม่ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอนและไม้ตาล)	67
25	กราฟเปรียบเทียบค่าความเหนียวของไม่ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน)	68

สารบาญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	กราฟเปรียบเทียบความเค้นดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน)	69
27	กราฟเปรียบเทียบความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอนและไม้ตาล)	70
28	กราฟเปรียบเทียบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียวกับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอนและไม้ตาล)	71

สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง

Physical and Mechanical Properties of Wood from Sweet-Bamboo Culms

(*Dendrocalamus asper* Backer.)

คำนำ

ไม้ไผ่จัดว่าเป็นพืชอเนกประสงค์ชนิดหนึ่ง ที่มีความสัมพันธ์กับชีวิตและความเป็นอยู่ของคนไทยมาแต่โบราณ ความสัมพันธ์เหล่านี้เนื่องมาจากคุณสมบัติอันพิเศษหลายประการของไม้ไผ่ เป็นต้นว่า ลำต้นที่เปลาตรง สามารถดัดโค้งงอได้ง่าย น้ำหนักเบาทำให้สะดวกต่อการขนส่ง มีความแข็งแรงสูง และการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ทำให้ไม้ไผ่เป็นพันธุ์ไม้ที่ปลูกทั่วทุกภาคของประเทศไทย และมีการใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่การจักสานจนถึงการก่อสร้างและอุตสาหกรรมการทำกระดาษ รวมทั้งการนำหน่อไม้มาทำเป็นอาหาร

ปัจจุบันในขณะที่มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยความรู้เกี่ยวกับสมบัติของไม้ใบกว้างและไม้ตระกูลสนในประเทศไทยอย่างมากมาย แต่การศึกษาความรู้เกี่ยวกับสมบัติของไม้ไผ่ในประเทศไทยยังมีน้อยมาก ทั้งๆที่ประเทศไทยมีไม้ไผ่หลายชนิดขึ้นอยู่ทั่วไปแทบทุกภาคของประเทศเป็นปริมาณมากมาย ซึ่งชนิดของไม้ไผ่ทั้งหมดที่มีอยู่ในประเทศไทย ไม้ไผ่ที่น่าจะได้รับการศึกษาและพัฒนามากที่สุดก็คือไม้ไผ่ตงเพราะมีลำต้นใหญ่ , เนื้อหนา, ปลูกง่าย และให้ผลพลอยได้หลายอย่าง (หน่อไม้ , ดินขุยไผ่ และใบไผ่ ฯลฯ) และขณะนี้มีปริมาณพื้นที่ปลูกประมาณ 350,000 ไร่ (พรรณนีย์, 2538) ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและเชิงกลต่างๆของไม้ไผ่ตง เพื่อเป็นแนวทางในการนำข้อมูลไปเลือกใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่ให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทต่อไป

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจุดประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดขึ้น เพื่อศึกษาเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. สมบัติทางกายภาพบางประการของไม้ไผ่ตง คือ ลักษณะของลำต้น , ความชื้น , ความถ่วงจำเพาะ และ การหดตัว

2. สมบัติเชิงกลที่สำคัญของไม้ไผ่ตงคือ การดัดสถิต , การดึงขนานเสี้ยน , การอัดขนานเสี้ยน และการเฉือนขนานเสี้ยน

3. ผลกระทบของความชื้นและตำแหน่งต่างๆ ของลำต้น ต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง

ตรวจสอบเอกสาร

ไม้ไผ่ (Bamboo) เป็นพืชตระกูลหญ้าซึ่งสูงที่สุดในโลกที่มีลำต้นเป็นไม้ (Woody perennial) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตอบอุ่นและเขตร้อนที่มีมรสุมพัดผ่าน ไม้ไผ่เจริญเติบโตแตกหน่อมาจากเหง้า ส่วนการแตกกอจะหนาแน่นมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์เป็นหลัก บางพวกอาจจะแตกหน่อจากเหง้าแล้วเจริญเติบโตขึ้นเป็นลำเดี่ยวๆ(ไม่เป็นกอ)มีระยะห่างระหว่างลำค่อนข้างแน่นอน ไม้ไผ่เป็นพืชที่สามารถขึ้นได้เกือบทุกส่วนของโลก โดยเฉพาะเขตร้อนและเขตอบอุ่น ยกเว้นเฉพาะเขตหนาวเท่านั้นที่ยังไม่ปรากฏว่ามีพันธุ์ไม้ไผ่ชนิดใดขึ้นเลย

ในเขตร้อนจะพบไม้ไผ่ขึ้นมากที่สุด ส่วนในเขตอบอุ่นจะพบไม้ไผ่ขึ้นอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากการสำรวจของผู้เชี่ยวชาญชาวญี่ปุ่นพบว่าในโลกนี้มีไม้ไผ่อยู่ทั้งสิ้นประมาณ 47 สกุล รวม 1,250 ชนิด สำหรับประเทศไทยเท่าที่สำรวจพบโดยนักพฤกษศาสตร์ไทยและต่างประเทศ ปรากฏตามหลักฐานต่างๆว่ามีเพียง 12 สกุล รวม 41 ชนิด และอาจจะมีการสำรวจพบพันธุ์ใหม่ๆ เพิ่มขึ้นในอนาคตต่อๆ ไป

ส่วนการนำไม้ไผ่เข้ามาปลูกในประเทศไทยนั้นได้มีเรื่องเล่าต่อๆกันมาว่าชาวจีนได้มาตั้งถิ่นฐานในท้องที่อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี เมื่อประมาณ 80 ปีมานี้ (คำนึง, 2530) ซึ่งจากเอกสารบางฉบับกล่าวว่ามีการปลูกขึ้นครั้งแรกที่บ้านดงหัวโชค ตำบลบ้านพระ แต่บางฉบับกล่าวว่าปลูกที่บ้านหนองกระจับ ตำบลดงพระราม ซึ่งหลักฐานที่แท้จริงยังไม่ปรากฏ แต่ทั้ง 2 ที่ก็อยู่ในเขตที่ติดต่อกันในอำเภอเมือง จึงเข้าใจว่ามีการปลูกครั้งแรกในบริเวณทั้ง 2 ท้องที่นี้ ปัจจุบันในเขตอำเภอเมืองและอำเภอประจันตคามมีการปลูกไม้ไผ่ตงมากกว่าอำเภออื่นๆ และกำลังขยายไปจังหวัดใกล้เคียงเช่น ฉะเชิงเทรา, ชลบุรี, จันทบุรี , ระยอง และนครนายก ทางภาคอื่นๆก็มีการปลูกไผ่เช่นกัน เช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ ขอนแก่น , บุรีรัมย์ , อุบลราชธานี และยโสธร ภาคเหนือที่ ลำปาง , เชียงใหม่ , เชียงราย และภาคใต้ที่ชุมพร , สุราษฎร์ธานี , และกระบี่ เป็นต้น (คำนึง, 2530)

ลักษณะทั่วไปของไผ่ตง

ไผ่ตงเป็นไม้ไผ่ในสกุล Dendrocalamus ชื่อสามัญภาษาไทยเรียกว่า "ไผ่ตง" ชื่อสามัญภาษาอังกฤษเรียกว่า "Sweet bamboo" ส่วนชื่อทางพฤกษาศาสตร์คือ *Dendrocalamus asper* Backer. เป็นไผ่ที่มีลำต้นใหญ่มากมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-18 เซนติเมตร มีลักษณะสูงตรงโดยสูงประมาณ 20 เมตร เนื้อลำหนาไม่มีหนาม ลักษณะของลำจะโตมากตรงโคนและเรียวเล็กไปหาปลาย เมื่อลำยังอ่อนจะมีขนสีน้ำตาลละเอียด เมื่อลำแก่สีของลำจะเป็นสีเขียว ส่วนตรงโคนจะมีสีเทาปนขาวสลับกันเป็นลาย ใบมีขนาดใหญ่และยาวกล่าวคือ กว้างประมาณ 1.5-3.5 เซนติเมตร และยาวประมาณ 20 - 30 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม ขอบใบสากและคม หลังใบไม่มีขน แต่อาจจะมีขนอ่อนอยู่ทั่วไปตามท้องใบ (สอาด, 2528)

ในการจำแนกพันธุ์ไผ่ตง จะใช้ลักษณะที่แตกต่างกันของขนาดลำต้น จำนวนกิ่งแขนง ทรงพุ่ม ความสูง สีของลำต้น ลักษณะของขนาด สีและลักษณะของแผ่นใบ ลักษณะของหน่อ น้ำหนักเฉลี่ย สีของหน่อ ขนบนหน่อ หูใบ ลักษณะของเนื้อสี รสชาติ ช่วงการออกหน่อดอก ซึ่งไผ่ตงที่นิยมปลูกกันโดยทั่วไปมี 4 ชนิด (คำนึง, 2530) คือ

1. ไผ่ตงดำ

ไผ่ตงดำหรือไผ่ตงจีนมีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 9-12 เซนติเมตร ลำต้นมีสีเขียวเข้มอมดำเมื่อจับดูจะรู้สึกสากมือ สำหรับกิ่งแขนงที่ใช้ขยายพันธุ์ ของตงดำจะเป็นสีเขียวเข้ม มีนวลแป้งสีขาวจับอยู่บริเวณปล้องสากมือ ใบจะมีขนาดใหญ่ และเห็นร่องใบได้ชัดเจนกว่าไผ่ตงพันธุ์อื่นๆ มีสีเขียวและใบหนา ส่วนหน่อของตงดำได้รับการยกย่องว่ามีคุณภาพดีมาก ซึ่งได้ชื่อว่า "ไผ่ตงหวาน" เนื่องจากมีรสหวานกรอบ เนื้อเป็นสีขาว ไม่มีเสี้ยน หน่อมีน้ำหนักประมาณ 3 - 6 กิโลกรัม สีของกาบหน่อเป็นสีน้ำ ตาลปนดำหรือดำอมนวล

2. ไผ่ตงเขียว

ลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-12 เซนติเมตร สีของลำต้นจะเป็นสีเขียวเข้มจัด ผิวเรียบเป็นมันลื่นไม่สากมือ ทรงพุ่มหนาทึบ เนื่องจากมีใบและแขนงมาก มีตั้งแต่โคนต้นจนถึงปลายยอด ตงเขียวมีกิ่งแขนงมาก สามารถนำไปปักชำขยายพันธุ์ได้ดี ลักษณะแขนงตงเขียวมีสีเขียวสดกว่าตงดำ ผิวเรียบเป็นมันลื่นมือ กิ่งแขนงจะใหญ่และอวบกว่าตงดำ ใบของตงเขียวจะมีสีเขียวเข้มจัดกว่าพันธุ์ไผ่ตงอื่นๆ แต่ใบมีขนาดเล็กใบบางและไม่สากมือเหมือนตงดำ ส่วนหน่อจะมีน้ำหนักของหน่อตงเขียวประมาณ 1-4 กิโลกรัม สีของกาบหน่อจะดำสนิท ขนหยาบ ถ้าลอกกาบล่างๆ จะพบว่าบริเวณโคนหน่อเหนือรอยกาบมีสีเขียวอมเหลือง ซึ่งทำให้แตกต่างจากไผ่ตงพันธุ์อื่นๆอย่างเด่นชัด สีเนื้อของหน่อไผ่ตงเขียวจะเป็นสีขาวอมเหลืองหยาบ และมีเสี้ยนมากกว่าตงดำ มีรสหวานอมขื่นเล็กน้อย ใบยอดกาบของหน่อจะไม่พับเหมือนตงดำ

3. ไผ่ตงหม้อ

ไผ่ตงหม้อหรือไผ่ตงใหญ่จะมีลำต้นใหญ่ คือมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12-16 เซนติเมตร ลำต้นจะสูงประมาณ 10 เมตรขึ้นไป ใบจะมีขนาดเล็กกว่าไผ่ตงพันธุ์อื่นๆ สีของใบเป็นสีเขียวเส้นกลางใบนูนมาก มองเห็นชัดเจน ส่วนของหน่อจะมีขนาดใหญ่มาก น้ำหนักเฉลี่ย 5-10 กิโลกรัม ซึ่งจะมีสีน้ำตาลอมม่วง

4. ไผ่ตงหนู

ไผ่ตงหนูหรือไผ่ตงเล็กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น 3-6 เซนติเมตร ลำต้นเตี้ย ข้อสั้น มีสีเขียวเข้มอมดำใบมีสีเขียว หนา ขนาดใหญ่

สมบัติทางกายวิภาค

วิรัช (2528) ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างของลำไม้ไผ่สามชนิดคือไผ่ป่า (*Bambusa arundinacea* (Retz.)Willd) , ไผ่นวนหรือไผ่ซาง (*Dendrocalamus membranaceus* Munro) และ ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) โดยสรุปไว้ว่า ลักษณะทางโครงสร้างของไม้ไผ่แตกต่างจากลักษณะโครงสร้างของไม้ใบกว้างและไม้ตระกูลสน เนื่องจากประกอบด้วยมัดท่อน้ำท่ออาหารกระจายอยู่ในพาเรงคิมาที่เป็นเนื้อเยื่อพื้น และประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวตามยาวล้วนๆ ไม่มีเซลล์ที่เรียงตัวตามขวางหรือเซลล์รัศมีเลย มัดท่อน้ำท่ออาหารซึ่งประกอบด้วยกลุ่มไฟเบอร์เป็นส่วนใหญ่ มีขนาดและจำนวนแปรผันไปตามความหนาของผนังปล้องกล่าวคือจะมีขนาดเล็กและจำนวนมากในส่วนนอกของผนังปล้องและค่อยๆเปลี่ยนไปในส่วนกลางและส่วนในของผนังปล้อง ผนังของไฟเบอร์มีลักษณะเป็นชั้นโดยที่จำนวนชั้นและความหนาของชั้นจะแตกต่างกันไปโดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน มุมของไมโครไฟบริลที่เรียงตัวในชั้นต่างๆ จะแตกต่างกันไปโดยในชั้นบางจะเรียงตัวเกือบตั้งฉากกับแกนของเซลล์แต่ชั้นหนาเรียงเกือบขนานกับแกนของเซลล์ สำหรับเซลล์ชนิดอื่นๆ ส่วนใหญ่ก็มีผนังเป็นชั้นเช่นเดียวกัน แต่จำนวนชั้นและความหนาของชั้นแตกต่างกับของไฟเบอร์

สมบัติทางเคมี

วิรัช (2528) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของลำไม้ไผ่สามชนิดคือไผ่ป่า , ไผ่นวนหรือไผ่ซางและไผ่รวก โดยสรุปไว้ว่า องค์ประกอบทางเคมีของไม้ไผ่ส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับไม้ใบกว้างและไม้ตระกูลสน ทั้งชนิดและปริมาณของสารประกอบ แต่จะมีปริมาณของเถ้ามากกว่า การกระจายขององค์ประกอบต่างๆในผนังเซลล์ก็คล้ายคลึงกันกับในเนื้อไม้ทั่วไป ต่างกันตรงที่ในชั้นที่บางของผนังจะมีลิกนินและเฮมิเซลลูโลสอยู่มาก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ไผ่บางชนิดในประเทศไทย *

รายละเอียด	ไผ่ป่า	ไผ่บง	ไผ่สีสุก	ไผ่ลำมะลอก	ไผ่เลี้ยง	ไผ่ตง	ไผ่หก	ไผ่ซาง	ไผ่รวก
อายุ (ปี)	5	2-3	5	5	2-3	5	-	5	2-3
องค์ประกอบทางเคมี									
1. สารแทรก									
-แอลกอฮอล์	6.10	6.29	3.90	4.71	3.03	6.42	5.40	4.40	4.65
-น้ำ	3.20	3.97	3.60	2.50	2.93	4.00	2.00	3.80	3.28
2. ลิกนิน(หักเถ้าออก)	22.60	-	23.40	22.87	25.70	23.58	24.20	23.80	24.74
3. เฮมิเซลลูโลส	20.60	19.40	19.90	19.75	16.18	16.51	17.40	18.60	18.73
4. โฮโลเซลลูโลส	65.34	64.76	72.80	69.00	70.38	67.82	74.40	70.10	68.80
5. เซลลูโลส	46.16	43.30	48.00	49.01	-	45.86	50.40	48.00	47.31
6. เถ้า	5.20	1.89	5.60	2.90	2.15	4.70	1.50	2.30	1.78
7. ซิลิกา	4.70	-	5.50	2.22	-	4.16	0.70	1.70	-

หมายเหตุ * คิดเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักอบแห้ง

ที่มา : วันทนี (2515)

สมบัติทางกายภาพ

วิรัช (2528) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของลำไม้ไผ่สามชนิดคือไผ่ป่า , ไผ่นวนหรือไผ่ซางและไผ่รวก โดยสรุปไว้ว่าความถ่วงจำเพาะของผนังปล้องไม้ไผ่จะลดลงจากด้านนอกไปยังด้านในซึ่งสัมพันธ์กันกับจำนวนของมัดท่อน้ำท่ออาหาร ความถ่วงจำเพาะของไม้ไผ่ไม่มีผลกระทบต่อระดับการพองตัวเมื่อดูดน้ำเข้าไปมากเท่ากับในเนื้อไม้ทั่วไป ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะลักษณะทางโครงสร้างของไม้ไผ่แตกต่างกับของเนื้อไม้และลักษณะของผนังเซลล์ที่ซับซ้อนของไม้ไผ่ด้วย

การดูดและคายน้ำที่อุณหภูมิคงที่ของไม้ไผ่คล้ายคลึงกับของเนื้อไม้ทั่วไป เช่นเดียวกับความต้านทานต่อกระแสไฟตรง แต่ก็มีความแตกต่างกันไปบ้างตามความหนาของผนังปล้องในระหว่างลำและระหว่างชนิดของไม้ไผ่ (วิรัช, 2528)

สมบัติเชิงกล

สำราญ (2503) ได้ศึกษาสมบัติบางประการทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่รวก (*Thyrsostachy siamensis* Gamble.) โดยสรุปว่าความแข็งแรงของไม้ไผ่รวกที่สภาวะสดและสภาวะแห้งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทั้งไม้ไผ่ในสภาวะสดและสภาวะแห้งนั้นในส่วนของท่อนโคนมีความแข็งแรงมากกว่าท่อนกลาง และท่อนกลางมีความแข็งแรงมากกว่าท่อนปลาย นอกจากค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นเท่านั้นที่ท่อนปลายมีค่ามากกว่าท่อนกลางและท่อนโคน

วินัย (2511) ได้ศึกษาสมบัติบางประการทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่สีสุก (*Bambusa blumeana* Schult.) โดยใช้ไม้ไผ่สีสุกที่อายุประมาณ 3-4 ปี จากจังหวัดนนทบุรี จำนวน 10 ลำ มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคน 9.5 ซม. ความหนาของเนื้อไม้ที่โคน 10 มม. และความหนาที่ปลาย 5 มม. ความยาวทั้งลำอยู่ในช่วง 10-15 เมตร ทำการหากลสมบัติในด้านแรงดัด , แรงอัดขนานเสี้ยน , แรงเฉือนขนานเสี้ยน

และแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน เพื่อหาความแตกต่างของกลสมบัติของไม้ไผ่สีสุกในสภาวะสดและสภาวะแห้งที่ระดับความสูงต่างๆของลำ และอิทธิพลของข้อที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรง ซึ่งได้สรุปผลการทดลองไว้ว่า การที่ไม้ไผ่มีข้อติดอยู่นั้นจะมีความแข็งแรงมากกว่าไม้ไผ่ที่ไม่มีข้อ ความแข็งแรงของไม้ไผ่สีสุกในสภาวะแห้งและสภาวะสดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งไม้ไผ่ในสภาวะแห้งและสภาวะสดส่วนของท่อนโคนจะมีความแข็งแรงมากกว่าท่อนปลายตามลำดับ นอกจากค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นแรงดัดเท่านั้นที่มีค่าของท่อนปลายมากกว่าท่อนโคน

สุทัศน์ (2519) ได้ศึกษาถึงความเหมาะสมในการนำไม้ไผ่มาทำเป็นยุ้งข้าวโครงรูปกรวยฉาบด้วยปูนทรายพร้อมทั้งหาคุณสมบัติทางกลของไม้ไผ่ที่ใช้ทำยุ้งข้าว ซึ่งเป็นไม้ไผ่รวก(*Thyrsostachy oliveri* Gamble.) อายุประมาณ 2 ปี ความยาวปล้องอยู่ระหว่าง 30-40 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบนอกอยู่ระหว่าง 2.5-5.0 ซม. และความหนาของไม้ไผ่อยู่ระหว่าง 0.5-1.0 ซม. โดยการทำการทดลองหาหน่วยแรงดึงประลัยและโมดูลัสยืดหยุ่น ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงดึงประลัย1,937 กก./ซม.^{2} และค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น 2.64 x 10^5 กก./ซม.^{2}

เทวินทร์ (2521) ได้ศึกษาและออกแบบบ้านพักราคาถูกสำหรับผู้มีรายได้น้อย เป็นลักษณะบ้านชั้นเดียวโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ทั้งหลัง และได้หาคุณสมบัติทางเชิงกลของไม้ไผ่ที่ใช้เพื่อคำนวณออกแบบองค์อาคารโดยใช้ไม้ไผ่รวก อายุ 2 ปี ความยาวปล้องอยู่ระหว่าง 28.3-36.6 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอยู่ระหว่าง 2.5- 4.1 ซม. และความหนาของลำอยู่ระหว่าง 0.5-0.9 ซม.มาทำการทดลองหาแรงดึงและแรงอัดของไม้ไผ่ ซึ่งในการทดลองหาแรงดึงของไม้ไผ่ได้ใช้ไม้ไผ่แบบผ่าซีก ปลายทั้งสองข้างของไม้ไผ่ใช้ตะไบถูผิวโดยรอบให้หยาบเพื่อกันลื่นในขณะที่ยึดจับ เมื่อทดลองแรงดึงใช้Demec gauge ขนาด 5.0 ซม. ยึดติดกับส่วนกลางของไม้ไผ่ตัวอย่าง อ่านค่าส่วนที่ยืดของไม้ไผ่ที่ทุกช่วงแรงดึงที่เพิ่มขึ้น 50 กก. จนกระทั่งไม้ไผ่ใกล้จะขาดจึงถอด Demec gauge ออก แล้วดึงไม้ไผ่ตัวอย่างต่อจนขาดจากกัน จากนั้นจึงนำไม้ไผ่ที่ขาดจากกัน

มาต่อให้รอยขาดเข้ากันสนิท แล้ววัดส่วนยืดของไม้ไผ่ระหว่างจุดที่ติด Demec gauge ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยแรงดึงประลัย 1,704 กก./ซม.^{2} และค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น 2.29 x 10^5 กก./ซม.^{2}

ในการทดลองหาแรงอัดของลำไม้ไผ่ ได้ตัดตัวอย่างของไม้ไผ่อย่างระมัดระวัง โดยพยายามให้หน้าตัดหัวท้ายตั้งได้ฉากกับแกนตามยาว แล้วใช้กระดาษทรายขัดรอยตัดหัวท้ายให้เรียบเสมอ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งนอกและในของลำไม้ไผ่ตัวอย่างที่ปลายทั้งสองข้าง ข้างละสามครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยและคำนวณเป็นพื้นที่หน้าตัด อัตราส่วนความชะลูด (l/r) ของไม้ไผ่ตัวอย่างอยู่ระหว่าง 28-35 โดยประมาณ ใช้ Demec gauge ขนาด 5.0 ซม.ยึดติดกับส่วนกลางของลำไม้ไผ่ตัวอย่าง อ่านค่าส่วนหดตัวของไม้ไผ่ที่ทุกช่วงแรงกดที่เพิ่มขึ้น 100 กก. ไปจนกระทั่งไม้ไผ่ เริ่มที่จะโก่งเดาะจึงถอด Demec gauge ออก แล้วกดต่อไปจนไม้ไผ่โก่งเดาะพิบัติ ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยแรงอัดประลัย 260.3 กก./ซม.^{2} และค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น 1.74 x 10^5 กก./ซม.^{2}

อุดม (2523) ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมการรับน้ำหนักของพื้นและตงคอนกรีตที่เสริมด้วยไม้ไผ่ โดยหาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ใช้เสริม ซึ่งเป็นไม้ไผ่รวกที่มีความยาวระหว่างปล้องประมาณ 26.0-36.0 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 3.5 ซม. และความหนา 0.4-1.0 ซม. โดยใช้แบบผ่าซีกทั้งหมด ซึ่งไม้ไผ่ปล้องหนึ่งจะผ่าได้ประมาณ 4-6 ซีก ผลปรากฏว่า ผลเฉลี่ยของหน่วยแรงดึงประลัย 1,653 กก./ซม.^{2} และค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น 2.26 x 10^5 กก./ซม.^{2}

ถาวร (2523) ได้ศึกษาการนำไม้ไผ่มาเสริมแผ่นพื้นสำเร็จรูปเพื่อใช้สำหรับส่วนของโครงสร้างอาคารขนาดเบา ทั้งนี้ได้หาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ใช้เสริม ซึ่งเป็นไม้ไผ่รวก อายุ 2 ปี ความยาวปล้องอยู่ระหว่าง 22.5-35.5 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง2.3-4.5 ซม. ความหนาของไม้ไผ่อยู่ระหว่าง 0.45-0.90 ซม. โดยทำการทดลองหาหน่วยแรงดึงประลัยและโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยที่ 5 ตัวอย่างไม่มีข้อ อีก 5 ตัวอย่างมีข้ออยู่ตรงกลาง ตรงปลายทั้งสองข้างใช้ลวดพันเพื่อกันการเลื่อนตัวของไม้ไผ่จากตัวจับ ขณะทำการทดลองนำตัวอย่างมาติดหมุดของเกจวัดความเครียด (Mechanical strain gauge) นำตัวอย่างมาทดลองโดยจัดเข้าที่จับของเครื่องทดสอบ แล้วให้แรงดึงแก่ไม้ไผ่เล็กน้อย จากนั้นเอาเกจวัด

ความเครียดกดเข้ากับหมุดที่ติดไว้ แล้วตั้งหน้าปัดให้อ่านศูนย์ จากนั้นให้แรงดึงแก่ไม้ไผ่ อ่านความเครียดของไม้ไผ่จากเกจวัดความเครียดทุกๆแรงดึงที่เพิ่มขึ้น 50 กก. เมื่อไม้ไผ่ใกล้จะขาดเอาเกจวัดความเครียดออก แล้วให้แรงดึงจนกระทั่งไม้ไผ่ขาด จากผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงดึงประลัย 1,776 กก./ซม.^{2} และค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น 2.40 x 10^5 กก./ซม.^{2}

วินิต (2525) ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่เพื่อหาค่าเฉลี่ยไปวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมไม้ไผ่โดยใช้ไม้ไผ่รวกอายุ 1-1.5 ปี ก่อนนำมาทดลองได้ตากแห้งเป็นเวลา 4-8 สัปดาห์ การทดสอบหาความต้านทานต่อแรงอัดและแรงดึงของไม้ไผ่ทั้งที่มีข้อและไม่มีข้อ ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Amsler ขนาด 20 ตัน และวัดหาการยืดหดตัวโดยใช้เกจที่มีระยะ 5 ซม. และ 10ซม. ซึ่งสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดหรือแรงดึงกับการยืดตัวของไม้ไผ่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดประลัย ค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงอัดของไม้ไผ่ทั้งที่มีข้อและไม่มีข้อ 530.84 กก./ซม.^{2} โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 70.50 กก./ซม.^{2} และ 13.28 % ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่นในด้านรับแรงอัด 2.28 x 10^5 กก./ซม.^{2} โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 4.10 x 10^4 กก./ซม.^{2} และ 17.98% ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของไม้ไผ่ทั้งที่มีข้อและไม่มีข้อ 1,572.43 กก. /ซม.^{2} โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 264.35 กก./ซม.^{2} และ 16.18% ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสยืดหยุ่นในด้านรับแรงดึง 2.33 x 10^5 กก/ซม.^{2} โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 4.8 x 10^4 กก./ซม.^{2}และ 20.60% ตามลำดับ

ดิเรก และ การุญ (2527) ได้กล่าวว่าค่าหน่วยแรงดึงของไม้ไผ่มีค่าไม่เท่ากันตลอดหน้าตัดโดยค่าที่บริเวณผิวนอกของไม้ไผ่มีกำลังดึงสูงกว่าบริเวณด้านในเข้าไป ดังนั้นค่าหน่วยแรงที่ได้จึงเป็นหน่วยแรงดึงเฉลี่ยของไม้ไผ่ตลอดความหนา และได้ทดลองหาหน่วยแรงดึงและโมดูลัสยืดหยุ่นในสภาวะความชื้นต่างๆ กัน และได้สรุปว่าไม้ไผ่ที่แห้งหรือเปียกมากจะให้กำลังดึงต่ำกว่าไม้ไผ่ที่ชื้น หรืออีกนัยหนึ่ง คือจะมีค่าความชื้น

อยู่ค่าหนึ่งที่จะให้กำลังดึงไม้ไผ่สูงสุด ซึ่งได้แนะนำว่าการนำไม้ไผ่ไปใช้งาน การใช้กำลังดึงไม้ไผ่ขณะแห้งสุดซึ่งจะนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย

มนตรี และ ศักดิ์พิชิต (2528) ได้ศึกษาความแข็งแรงดัดโค้งและอิทธิพลของข้อและปล้องของไม้ไผ่ป่า (*Banbusa arundinacea*, Willd.) เปรียบเทียบกับไม้ไผ่ซางนวล (*Dendrocalamus strictus* Nees.) ที่อายุ 3-4 ปี โดยทดสอบไม้ไผ่ตัวอย่างกับเครื่องทดสอบซึ่งตั้งอยู่ห่างกันในอัตราส่วนของความยาวไม้ไผ่ต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ต่อ 1 แล้วกดน้ำหนักลงกึ่งกลางของคานไม้ซึ่งในแนวราบบนฐานรองคานไม้ตัวอย่างตัดจากบริเวณปล้องและบริเวณข้อของลำไม้ไผ่ โดยทดสอบอย่างละ 9 ซ้ำ ซึ่งสรุปได้ดังนี้ ค่าความแข็งแรงในการดัดของลำไม้ไผ่ทั้งสองชนิดที่บริเวณปล้องอยู่ในระดับไม้เนื้ออ่อนทั่วไปคือต่ำกว่า 600 กก./ซม.^{2} แต่ค่าความแข็งแรงในการดัดที่บริเวณข้ออยู่ในระดับไม้เนื้อแข็งปานกลางคืออยู่ในระหว่าง 600-1,000 กก./ซม.^{2} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อของไม้ไผ่มีอิทธิพลมากในการเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของลำไม้ไผ่ แต่ข้อของไม้ไผ่ทั้งสองชนิดไม่มีอิทธิพลในการทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติของสัมประสิทธิ์ ไม้ไผ่ป่าและไม้ไผ่ซางนวลมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ทั่วไปที่มีความแข็งแรงดัดในระดับเดียวกัน โดยไม้ไผ่ทั้งสองมีสัมประสิทธิ์ของการยืดหยุ่นสูงกว่าถึง สองหรือสามเท่า

Durrani (1975) ได้ศึกษาพฤติกรรมของไม้ไผ่ที่ใช้เสริมในแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดิน โดยใช้ไม้ไผ่รวก และได้สรุปว่าไม้ไผ่รวกที่ใช้ทดสอบมีค่าแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยบริเวณข้อและบริเวณปล้อง 1,336 กก./ซม.^{2} และ 1,687 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่างเครียดของไม้ไผ่เป็นเส้นตรงและมีการแตกหักแบบเปราะโดยที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น โดยเฉลี่ยประมาณ 1.48×10^5 กก./ซม.^{2}

สำหรับสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง จากการตรวจสอบเอกสารภายในประเทศไทย ผู้วิจัยไม่พบข้อมูลและเอกสารเหล่านี้เลย ไม่ว่าจะเป็นผลการทดลองหรือขั้นตอนของวิธีการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine)
2. อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data acquisition instruments)
3. อุปกรณ์จับชิ้นไม้ทดสอบ (Jigs)
4. เตาอบไฟฟ้า (Electric oven)
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Balance)
6. เครื่องมือวัดขนาดอย่างละเอียด (Vernier caliper)
7. เครื่องวัดปริมาตรด้วยปรอท (Mercury volumeter)
8. เครื่องเลื่อยสายพาน (Band saw)
9. เครื่องเลื่อยวงเดือน (Circular saw)
10. เครื่องเลื่อยแขนรัศมี (Radial arm saw)
11. เครื่องขัดกระดาษทราย (Sanding machine)
12. อุปกรณ์ควบคุมสภาวะของบรรยากาศ (Climate conditioning dessicater)
13. กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereomicroscope)
14. อุปกรณ์สำหรับผ่าไม้ไผ่ ได้แก่ มีดขนาดความยาว 8 นิ้ว และค้อน

วิธีการ

การศึกษาวิจัยนี้ใช้ไม้ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper* Backer.) ที่มีชื่อพื้นเมืองว่า "ไผ่ตงเขียว" เป็นวัสดุในการทดลองโดยได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพดังนี้

1. ความยาวของลำต้น
2. จำนวนปล้องของลำต้น
3. ความหนาของผนังปล้อง
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล้อง
5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเพียงอก
6. ความชื้น (Moisture content)
7. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)
8. การหดตัว (Shrinkage)

และได้ทดสอบสมบัติเชิงกลดังนี้

1. การดัดสถิต (Static bending)
2. การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain)
3. การอัดขนานเสี้ยน (Compression parallel to grain)
4. การเฉือนขนานเสี้ยน (Shear parallel to grain)

การดำเนินการวิจัยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเตรียมชิ้นไม้ทดสอบ

ใช้ไม้ไผ่ตงเขียวจำนวน 4 ต้น อายุประมาณ 3 ปีตัดสุ่มมาจากตำบลโคกไม้ลาย อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี โดยนำมาตัดและแปรรูปเป็นชิ้นทดสอบ ที่มีขนาดและวิธีการ ซึ่งดัดแปลงให้เหมาะสมกับไม้ไผ่ จากมาตราฐาน ISO 3129-1975 (E) ซึ่งดำเนินการดังนี้

12815998

อพ
SB
317
B2
ร34
ส
ต. 1

1.1 <u>การแบ่งตามความสูงของลำต้น</u> ตัดไม้ตามความสูงของลำต้นออกเป็น 7 ท่อน ท่อนละ 2 เมตร และกำหนดให้เป็นท่อนที่ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 และ 7 ตามลำดับ สำหรับท่อนที่ 1 ตัดสูงจากโคนต้นประมาณ 0.30 เมตร (ภาพที่ 1) ดังนั้นไม้ไผ่ตงเขียวจำนวน 4 ต้น จึงได้ไม้ทดสอบจำนวน 28 ท่อน

1.2 <u>การแบ่งตามความยาวของท่อน</u> ตัดไม้เรียงตามลำดับจากส่วนโคนต้นไปยังส่วนปลาย โดยตัดหลบข้อของไม้ไผ่ (ภาพที่ 2) ให้มีขนาดความยาวตามวิธีการทดสอบต่างๆ ดังนี้

(1) ขนาดความยาวของท่อนไม้ไผ่ทดสอบความชื้น , ความถ่วงจำเพาะ และการหดตัว เท่ากับ 20 มิลลิเมตร

(2) ขนาดความยาวของท่อนไม้ไผ่ทดสอบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนกับ 20 มิลลิเมตร

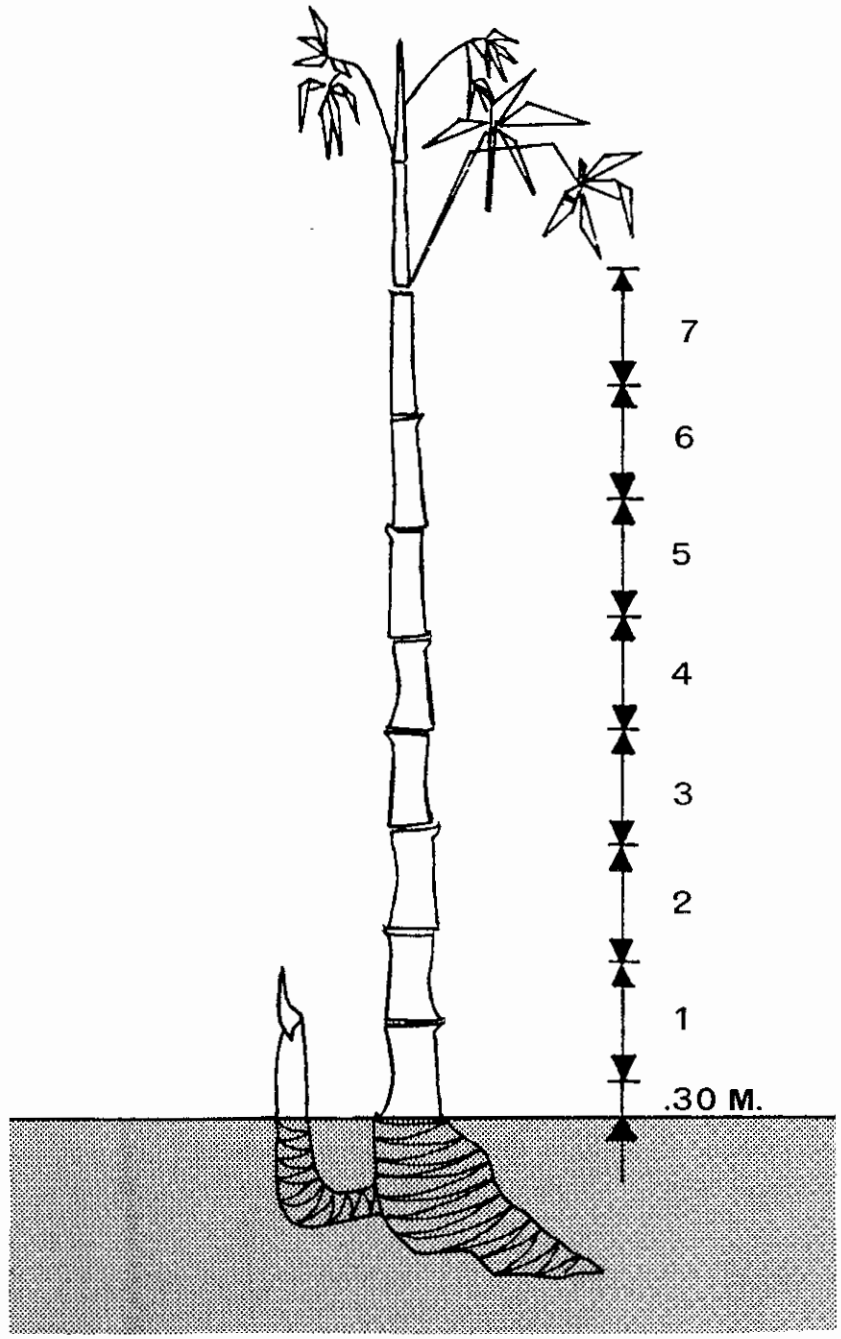
(3) ขนาดความยาวของท่อนไม้ไผ่ทดสอบความเค้นอัดขนานเสี้ยน เท่ากับ 3 เท่าของความหนาผนังปล้อง

(4) ขนาดความยาวของท่อนไม้ไผ่ทดสอบความเค้นดึงขนานเสี้ยนเท่ากับ 300 มิลลิเมตร

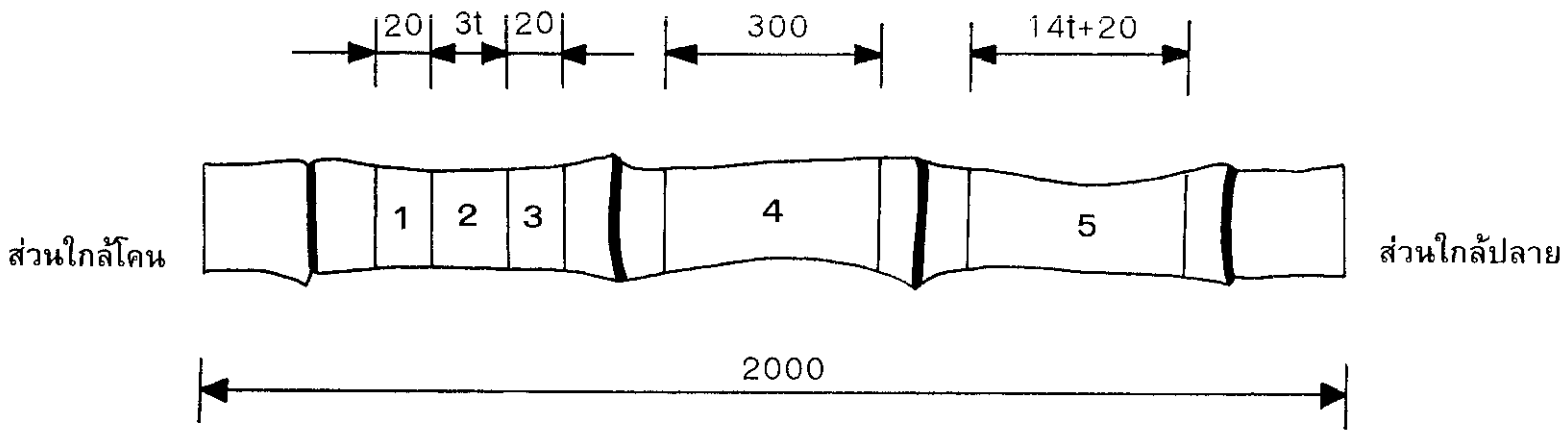
(5) ขนาดความยาวของท่อนไม้ไผ่ทดสอบความเค้นดัดสถิต เท่ากับ 12-16 เท่าของความหนาผนังปล้อง และบวกเพิ่มอีก 20 มิลลิเมตร

1.3 <u>การแบ่งตามหน้าตัดของลำต้น</u>

(1) ชิ้นไม้สำหรับการทดสอบความชื้น , ความถ่วงจำเพาะ และการหดตัว ใช้เฉพาะส่วนเนื้อไม้ของผนังปล้องโดยไม่รวมส่วนเปลือกและผิวใน ขนาดของความหนา และความกว้างของชิ้นไม้จะเท่ากับความหนาของผนังปล้องที่ไม่มีส่วนเปลือกและผิวใน ในแต่ละท่อนจะมีชิ้นไม้ที่ตัดออกมาตามหน้าตัดของลำต้นจำนวน 4 ชิ้น (ภาพที่ 3)

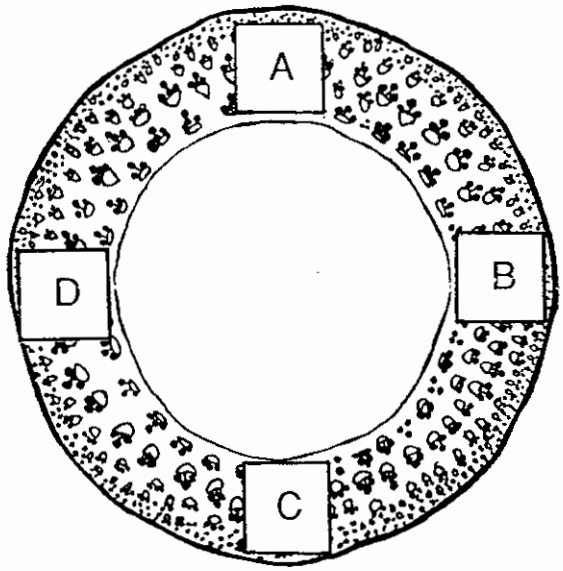


ภาพที่ 1 แสดงการตัดไม้เพื่อการทดสอบตามความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียว

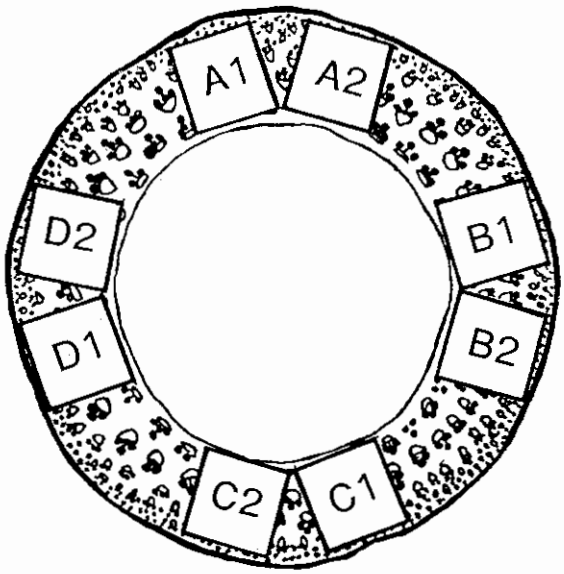


ปล้องไม้ไผ่ทดสอบความชื้น,ความถ่วงจำเพาะและการหดตัว (1)
ปล้องไม้ไผ่ทดสอบการอัดขนานเสี้ยน (2)
ปล้องไม้ไผ่ทดสอบการเฉือนขนานเสี้ยน (3)
ปล้องไม้ไผ่ทดสอบการดึงขนานเสี้ยน (4)
ปล้องไม้ไผ่ทดสอบการดัดสถิต (5)
t = ความหนาของผนังปล้องไม้ไผ่ , หน่วย : มม.

ภาพที่ 2 แสดงการตัดตามความยาวของปล้องไม้ไผ่สำหรับการทดสอบวิธีต่าง ๆ



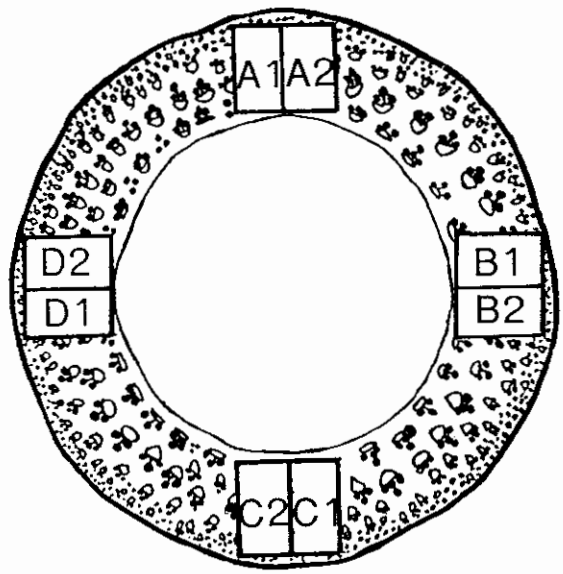
ภาพที่ 3 แสดงการตัดไม้เพื่อทดสอบความชื้น ,ความถ่วงจำเพาะ และการหดตัว ตามหน้าตัดของปล้องไม้ไผ่ตงเขียว



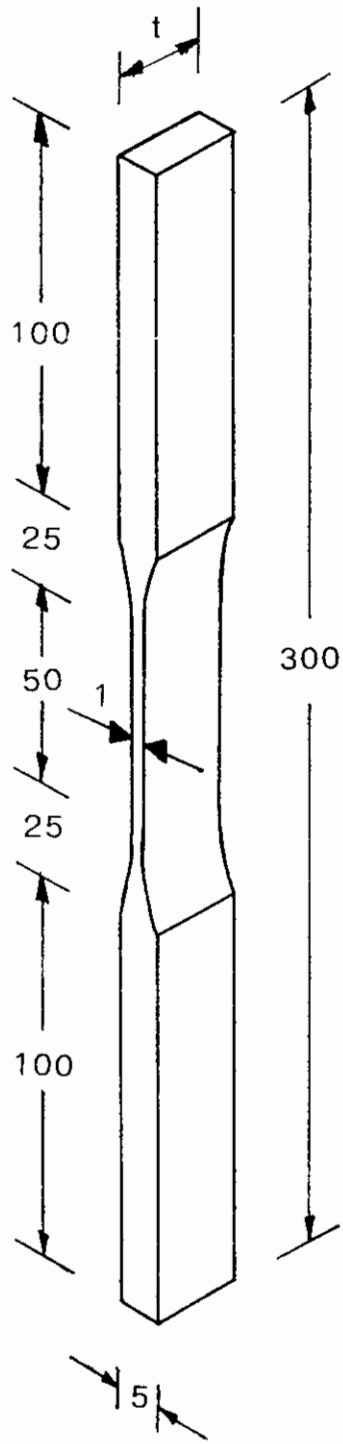
ภาพที่ 4 แสดงการตัดไม้เพื่อทดสอบการดัดสถิต ,การอัดขนานเสี้ยน และการเฉือนขนานเสี้ยน ตามหน้าตัดของปล้องไม้ไผ่ตงเขียว

(2) ชิ้นไม้สำหรับการทดสอบการอัดขนานเสี้ยน , การเฉือนขนานเสี้ยน และการดัดสถิต ใช้เฉพาะส่วนเนื้อไม้ของผนังปล้องโดยไม่รวมส่วนเปลือกและผิวใน ขนาดของความหนา และความกว้างของชิ้นไม้จะเท่ากับความหนาของผนังปล้องที่ไม่มีส่วนเปลือกและผิวใน ในแต่ละท่อนจะมีชิ้นไม้ที่ตัดออกมาตามหน้าตัดของลำต้น จำนวน 8 ชิ้น (ภาพที่ 4)

(3) ชิ้นไม้สำหรับการทดสอบการดึงขนานเสี้ยน ใช้เฉพาะส่วนเนื้อไม้ของผนังปล้องโดยไม่รวมส่วนเปลือกและผิวใน ขนาดของความกว้างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับความหนาของผนังปล้องที่ไม่มีส่วนเปลือกและผิวใน ในแต่ละท่อนจะมีชิ้นไม้ที่ตัดออกมาตามหน้าตัดของลำต้น จำนวน 8 ชิ้น (ภาพที่ 5) และนำชิ้นทดสอบขนาดความกว้างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร , ความหนาเท่ากับความหนาของผนังปล้องและความยาวเท่ากับ 300 มิลลิเมตร มาแปรรูปให้ได้ขนาดชิ้นทดสอบสำหรับการดึงขนานเสี้ยนโดยมีขนาดของบริเวณส่วนที่รับแรงดึง (Gauge portion) เท่ากับ 1 x ความหนาของผนังปล้อง x 100 มิลลิเมตร (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 แสดงการตัดไม้เพื่อทดสอบการดึงขนานเสี้ยน ตามหน้าตัดของปล้องไม้ไผ่ตงเขียว



t = ความหนาของผนังปล้องไม้ไผ่
หน่วย : มม.

ภาพที่ 6 แสดงการตัดชิ้นทดสอบสำหรับการดึงขนานเสี้ยน

1.4 การแบ่งกลุ่มไม้เพื่อการทดสอบ

(1) ชิ้นไม้ทดสอบที่สภาพสดจำนวน 112 ชิ้น ประกอบด้วยชิ้นไม้ที่กำกับท้ายอักษรอังกฤษด้วยเลข 1 คือ A1 , B1 , C1 และ D1

(2) ชิ้นไม้ทดสอบที่สภาพแห้งจำนวน 112 ชิ้น ประกอบด้วยชิ้นไม้ที่กำกับท้ายอักษรอังกฤษด้วยเลข 2 คือ A2 , B2 , C2 และ D2

2. การปรับสภาพความชื้นของชิ้นไม้ทดสอบ

ไม้ที่นำมาทดสอบ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ สภาพสด และสภาพแห้ง

2.1 สภาพสด นำชิ้นไม้ทดสอบในสภาพสดทั้งหมดใส่ถุงพลาสติก และรัดหนังยางให้แน่นเพื่อไม่ให้ความชื้นในไม้ระเหยออกจากไม้ในระหว่างรอการทดสอบ

2.2 สภาพแห้ง นำชิ้นไม้ทดสอบซึ่งมีความชื้นในสภาพสดไปวางผึ่งไว้ในอากาศเพื่อให้ไม้แห้งลงและมีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นสมดุลของไม้ในบรรยากาศ หลังจากนั้นนำชิ้นไม้ทดสอบเข้าปรับสภาวะความชื้นในภาชนะที่บรรจุด้วยสารโซเดียมไนไตรต์ ($NaNO_2$) โดยสารนี้มีความสามารถควบคุมให้ไม้ไผ่มีความชื้นสมดุลประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศภายในภาชนะเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และ 63-67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Dean,1992)

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

นำชิ้นไม้ทดสอบที่มีขนาดความหนาเท่ากับความหนาของผนังปล้องไม้ไผ่ , ขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร สำหรับหาค่าปริมาณความชื้น , ความถ่วงจำเพาะ และการหดตัวมาฐาน ISO 3130-1975 (E) , ISO 3131-1975 (E) และ ISO 4469-1981 (E) โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

(1) ชั่งน้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบ บันทึกค่าไว้ น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักสด

(2) นำชิ้นไม้ทดสอบจาก (1) ไปเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ใช้เวลาอบประมาณ 24 ชั่วโมง)

(3) นำชิ้นไม้ทดสอบจากตู้อบไฟฟ้าไปใส่ในเดซิเคเตอร์ (Desiccator) เพื่อให้ชิ้นไม้เย็นลงโดยไม่ดูดความชื้นจากบรรยากาศ

(4) นำชิ้นไม้ตัวอย่างจากเดซิเคเตอร์ มาชั่งน้ำหนักบันทึกค่าไว้ น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักอบแห้ง

(5) นำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาความชื้น จากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสด - น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}} \times 100$$

3.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

(1) วัดปริมาตรของชิ้นไม้ทดสอบโดยใช้เครื่องมือหาปริมาตรชนิดปรอท (Mercury volumeter) ปริมาตรที่ได้เป็นปริมาตรขณะสดและบันทึกค่าไว้

(2) นำชิ้นไม้ทดสอบไปวางผึ่งไว้ในอากาศเพื่อให้ไม้แห้งลง และนำเข้าปรับสภาวะความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ ในภาชนะที่บรรจุด้วยโซเดียมไนไตรต์ ($NaNO_2$) จนน้ำหนักคงที่ แล้ววัดปริมาตรซึ่งเป็นปริมาตรขณะแห้ง บันทึกค่าไว้

(3) นำชิ้นไม้ทดสอบจาก (2) ไปเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ใช้เวลาอบประมาณ 24 ชั่วโมง)

(4) นำชิ้นไม้ทดสอบจากตู้อบไฟฟ้าไปใส่ในเดซิเคเตอร์ (Dessicator) เพื่อให้ชิ้นไม้เย็นตัวลง โดยไม่ดูดความชื้นจากบรรยากาศ

(5) นำชิ้นไม้ทดสอบจากเดซิเคเตอร์ มาชั่งน้ำหนัก และวัดปริมาตรขณะอบแห้ง บันทึกค่าไว้

(6) นำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ จากสูตรดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (สภาพสด)} = \frac{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{ปริมาตรขณะสด}}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (สภาพแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{ปริมาตรขณะแห้ง}}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (สภาพอบแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{ปริมาตรขณะอบแห้ง}}$$

3.3 การหดตัว (Shrinkage)

(1) วัดขนาดชิ้นไม้ทดสอบ บันทึกค่าไว้ ขนาดที่ได้นี้เป็นขนาดขณะสด

(2) นำชิ้นไม้ทดสอบไปวางผึ่งไว้ในอากาศ เพื่อให้ไม้แห้งลง และนำเข้าปรับสภาวะความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ ในภาชนะที่บรรจุด้วยโซเดียมไนไตรต์ จนน้ำหนักคงที่ แล้ววัดขนาดชิ้นไม้ทดสอบบันทึกค่าไว้

(3) นำชิ้นไม้ทดสอบจาก (2) ไปเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ใช้เวลาอบประมาณ 24 ชั่วโมง)

(4) นำชิ้นไม้ทดสอบจากตู้อบไฟฟ้าไปใส่ในเดซิเคเตอร์ เพื่อให้ชิ้นไม้เย็นตัวลง โดยไม่ดูดความชื้นจากบรรยากาศ

(5) นำชิ้นไม้ตัวอย่างจากเดซิเคเตอร์ มาวัดขนาด บันทึกค่าไว้

(6) นำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาการหดตัว จากสูตรดังนี้

$$\text{การหดตัว (\%)} = \frac{\text{ขนาดที่ลดลงจากขนาดสด}}{\text{ขนาดสด}} \times 100$$

4. <u>การเตรียมการทดสอบสมบัติเชิงกล</u>

ติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลเข้ากับเครื่องทดสอบสากล และจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับจับชิ้นไม้ทดสอบแต่ละวิธีของการทดสอบ คือ

4.1 อุปกรณ์จับชิ้นไม้สำหรับการทดสอบการดัดสถิต

4.2 หัวกดสำหรับการทดสอบการดึงขนานเสี้ยน

4.3 อุปกรณ์จับชิ้นไม้สำหรับการทดสอบการดึงขนานเสี้ยน

4.4 อุปกรณ์จับชิ้นไม้สำหรับการทดสอบการเฉือนขนานเสี้ยน

ในการทดสอบแต่ละวิธีจะต้องเลือกมาตราส่วนของเครื่องทดสอบสากลที่แสดงน้ำหนักให้เหมาะสมกับความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้ละเอียดและถูกต้องที่สุด

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบได้ดำเนินตามหลักการของมาตราฐาน ไอ เอส โอ (ISO standard) และข้อมูลจะถูกบันทึกเข้าไปในชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลโดยอัตโนมัติ (ภาพที่ 7) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก (Load) และระยะการเสียรูป (Deformation) โดยผู้วิจัยบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำให้ไม้ตัวอย่างหัก และน้ำหนักสูงสุดของแต่ละชิ้นทดสอบ

5.1 การทดสอบการดัดสถิต (Static bending test) นำชิ้นไม้ทดสอบที่มีขนาดความหนา , ความกว้างเท่ากับความหนาของผนังปล้องไม้ไผ่ และความยาวเป็น 12-16 เท่าของความหนาบวกเพิ่มอีก 20 มิลลิเมตร แล้ววัดขนาดจริงและบันทึกค่าไว้ จากนั้นนำชิ้นไม้ทดสอบไปวางลงบนอุปกรณ์ จับชิ้นงานซึ่งเป็นแท่นรองวางห่างกัน 12-16 เท่าของความหนาของไม้ไผ่ (Span) โดยให้ด้านรัศมี (ด้านที่ไม่ใช่ด้านเปลือกและผิวใน) อยู่ด้านล่าง (ทิศทางของน้ำหนักกดขนานกับด้านสัมผัส) หัวกดมีรัศมีความโค้ง 25 มิลลิเมตร ซึ่งยึดอยู่กับระบบลูกปืนที่หมุนได้รอบตัว (ภาพที่ 8) การกดน้ำหนักลงบนชิ้นทดสอบให้น้ำหนักกดลงกึ่งกลางของความยาวของชิ้นทดสอบ เริ่มทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดที่ทำให้ไม้ทดสอบหักภายในเวลา 1.5 - 2.0 นาที กดจนกระทั่งไม้แตกหัก บันทึกค่าน้ำหนักที่ทำให้ไม้แตกหักไว้ เพื่อคำนวณหาค่าโมดูลัสการแตกหัก (MOR)

นำข้อมูลที่บันทึกไว้ในชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลอัตโนมัติไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำ (P) และการโก่งที่เกิดขึ้น (D) ซึ่งเรียกว่า "กราฟน้ำหนัก-การโก่ง"

ภาพที่ 7 เครื่องทดสอบ (A) , เครื่องพล็อตกราฟ (B) และชุดเก็บข้อมูล (C)

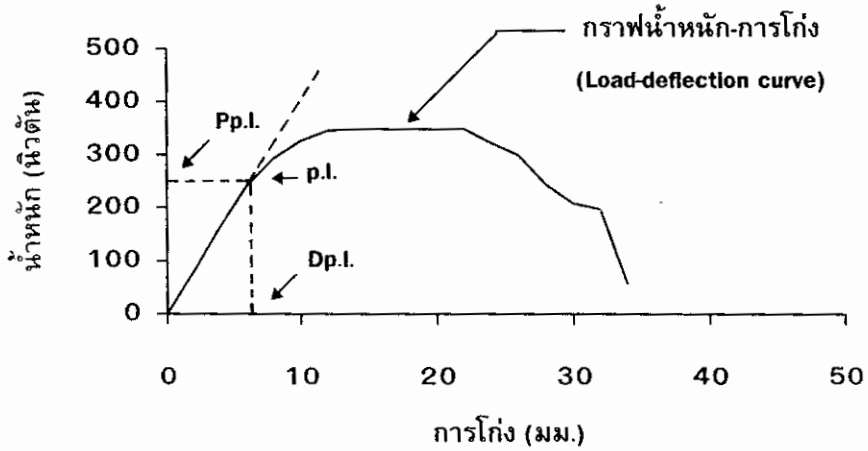
ภาพที่ 8 แสดงการทดสอบการดัดสถิต

(load - deflection curve) (ภาพที่ 9) นำไม้บรรทัดมาทาบเส้นกราฟให้ผ่านจุด 0 และทำเครื่องหมายจุดที่เส้นกราฟเริ่มโค้งและเขียน "p.l." กำกับ ต่อไปลากเส้นตรงจากจุด p.l.ให้ขนานกับแกน X ไปตัดแกน Y จะได้ค่าน้ำหนักที่กระทำที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (Pp.l.) และลากเส้นตรงจากจุด p.l. ให้ขนานกับแกน Y ไปตัดแกน X จะได้ค่าระยะโก่งของชิ้นไม้ทดสอบที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (Dp.l.) แล้วนำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสการยืดหยุ่น (MOE)

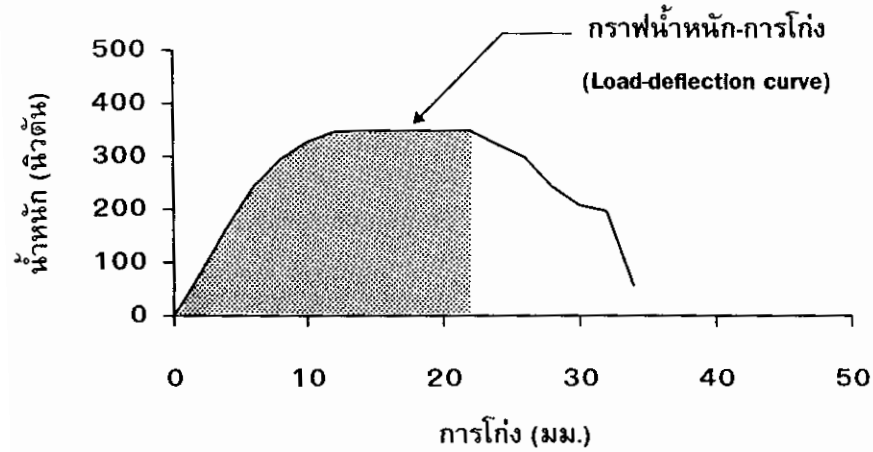
หลังจากนั้นหาพื้นที่ใต้กราฟ จนถึงจุดแตกหัก (ภาพที่ 10) โดยใช้วิธีนับจำนวนช่องกราฟเพื่อใช้คำนวณหาค่าความเหนียว (Toughness) ตามหลักการของมาตราฐาน ISO 3133-1975 (E)

5.2 <u>การทดสอบการดึงขนานเสี้ยน</u> (Tension parallel-to-grain test) นำชิ้นทดสอบขนาดความกว้างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร , ความหนาเท่ากับความหนาของผนังปล้องและความยาวเท่ากับ 300 มิลลิเมตรมาแปรรูป ให้ได้ขนาดชิ้นทดสอบสำหรับการดึงขนานเสี้ยนโดยมีขนาดของบริเวณส่วนที่รับแรงดึง (Gauge portion) เท่ากับ 1 x ความหนาของผนังปล้อง x 100 มิลลิเมตร วัดขนาดหน้าตัดบริเวณที่รับแรงดึงให้มีความถูกต้อง 0.01 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปใส่หัวจับสำหรับการทดสอบค่าแรงดึงขนานเสี้ยน (ภาพที่ 11) การทดสอบควรจะให้ชิ้นไม้แตกหักภายใน 1.5-2.0 นาที บันทึกค่าน้ำหนักที่ทำให้ไม้แตกหักไว้ โดยยึดหลักการตามมาตราฐาน ISO 3345-1975(E)

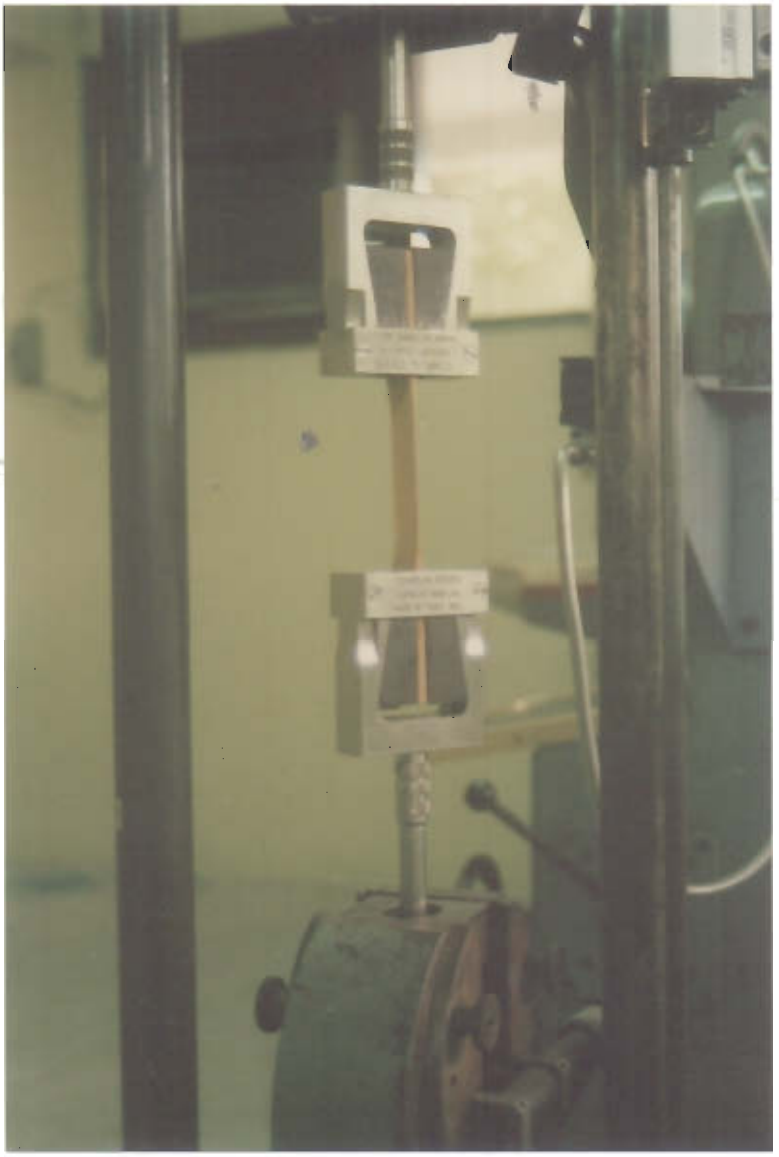
5.3 <u>การทดสอบการอัดขนานเสี้ยน</u> (Compression parallel-to-grain test) นำชิ้นไม้ทดสอบที่มีขนาดความหนา , ความกว้างเท่ากับความหนาของผนังปล้องไม้ไผ่ และความยาวเป็น 3 เท่าของความหนา แล้ววัดขนาดที่แท้จริงและบันทึกค่าไว้ จากนั้นนำชิ้นไม้ทดสอบไปวางไว้ระหว่างหัวกดของเครื่องทดสอบ (ภาพที่ 12) โดยให้ทิศทางของแรงขนานกับเสี้ยนไม้ สำหรับหัวกดด้านบนจะหมุนรอบตัว โดยใช้ระบบลูกปืน เพื่อให้หัวปรับตัวเองให้แนบสนิทกับหน้าตัดของขิ้นไม้ทดสอบ ซึ่งจะทำให้น้ำหนักกระจายอย่างสม่ำเสมอบนหน้าตัดของชิ้นไม้ทดสอบและช่วยขจัดแรงโมเมนต์ที่ไม่ต้องการด้วย ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดให้ชิ้นทดสอบแตกหัก



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำและการโก่งที่เกิดขึ้นเพื่อหาค่าโมดูลัสการยืดหยุ่น



ภาพที่ 10 แสดงการหาพื้นที่ใต้กราฟ จนถึงจุดแตกหักเพื่อหาค่าความเหนียว



ภาพที่ 11 แสดงการทดสอบการดึงขนานเสี้ยน

ภาพที่ 12 แสดงเครื่องทดสอบการอัดขนานเสี้ยน

ในเวลา 1.5-2.0 นาที บันทึกค่าน้ำหนักที่กระทำสูงสุด และระยะเวลาตั้งแต่เริ่มทดสอบจนกระทั่งไม้แตกหัก โดยยึดหลักการตามมาตราฐาน ISO 3787-1976 (E)

5.4 การทดสอบการเฉือนขนานเสี้ยน (Shear parallel-to-grain test) นำชิ้นไม้ทดสอบที่มีขนาดความหนา , ความกว้างเท่ากับความหนาของผนังปล้องไม้ไผ่ และความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร มาวัดขนาดที่แท้จริงและบันทึกค่าไว้ และนำชิ้นไม้ทดสอบไปวางไว้ในอุปกรณ์จับชิ้นไม้สำหรับทดสอบแรงเฉือน (ภาพที่ 13) โดยให้น้ำหนักกดลงบนระนาบขนานกับด้านรัศมี และขนานกับเสี้ยนไม้ อุปกรณ์จับชิ้นไม้สำหรับทดสอบแรงเฉือนจะจัดให้เป็นแผ่นกดเหลื่อมกับฐานรองเท่ากับ 3.175 มิลลิเมตร เพื่อให้ชิ้นไม้ทดสอบมีอิสระในการเลื่อนไถลไปตามระนาบที่มีความต้านทานน้อยที่สุด (plane of least resistance) ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดให้ชิ้นไม้ทดสอบเลื่อนไถลออกจากกันภายในเวลา 1.5-2.0 นาที หลังจากเริ่มกดบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดและเวลาของการทดสอบ โดยยึดหลักการตามมาตราฐาน ISO 3347-1976 (E)

6. สูตรที่ใช้คำนวณหาสมบัติเชิงกล

6.1 การดัดสถิต :

โมดูลัสการแตกหัก (Modulus of rupture : MOR) หรือความแข็งแรง (Strength)

$$MOR = \frac{3PL}{2bd^3}$$

เมื่อ MOR = โมดูลัสการแตกหัก (เมกะพาสคัล)

P = น้ำหนักกระทำสูงสุด (นิวตัน)

L = ระยะระหว่างจุดรองรับ (span)(มม.)

ภาพที่ 13 แสดงการทดสอบการเฉือนขนานเสี้ยน

b = ความกว้างของชิ้นไม้ทดสอบ (มม.)

d = ความลึกของชิ้นไม้ทดสอบ (มม.)

โมดูลัสการยืดหยุ่น (Modulus of elasticity : MOE) หรือความแข็งตึง (Stiffness)

$$MOE = \frac{P\ p.l.\ L^3}{4\ D\ p.l.\ b\ d^3}$$

เมื่อ MOE = โมดูลัสการยืดหยุ่น (เมกะพาสคัล)

P p.l. = น้ำหนักที่กระทำที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (Proportional limit)(นิวตัน)

L = ระยะระหว่างจุดรองรับ (มม.)

D p.l. = ระยะโก่งของชิ้นไม้ทดสอบที่ขอบเขตขอบของความได้สัดส่วน (มม.)

b = ความกว้างของชิ้นไม้ทดสอบ (มม.)

d = ความลึกของชิ้นไม้ทดสอบ (มม.)

งานถึงน้ำหนักสูงสุด (Work to maximum laod : W) หรือความเหนียว (Toughness)

$$W = \frac{A\ Q}{V}$$

เมื่อ W = งานถึงน้ำหนักสูงสุด(นิวตัน.มม./มม.^{3}หรือ กิโลพาสคัล)

A = พื้นที่ใต้กราฟจนถึงจุดแตกหัก(มม.^{2})

Q = งานต่อพื้นที่ในกระดาษกราฟ 1 มม.^{2}(นิวตัน.มม.)

V = ปริมาตรชิ้นไม้ทดสอบระหว่างแท่นรอง (มม.^{3})

7. การวิเคราะห์ผล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ตงเขียวที่ช่วงความสูงต่างกัน 7 ช่วง และใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (Randommized Complete Block Design) โดยให้ความแตกต่างช่วงความสูงเป็นทรีตเมนต์ (Treatment) ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 7 ทรีตเมนต์ ให้ต้นเป็นบล็อค (Block) จะมีทั้งหมด 4 บล็อค จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) เพื่อหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของไม้ที่ช่วงความสูงต่างกันและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test.

8. สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่ เดือน พฤศจิกายน 2538 และสิ้นสุดในเดือน ตุลาคม 2539

ผล

สมบัติทางกายภาพ

จากการวัดค่าของสมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่ตงเขียวที่อายุ 3 ปี จำนวน 4 ต้น มีค่าความยาวเฉลี่ยของลำต้น 21 เมตร ค่าเฉลี่ยจำนวนปล้องต่อต้น 32 ปล้อง ค่าเฉลี่ยความหนาของผนังปล้องอยู่ระหว่าง 0.83-2.68 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปล้องอยู่ระหว่าง 9.14-13.14 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับเพียงอก 12.75 เซนติเมตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

จากการตัดไม้ไผ่ตงเขียว แล้วสังเกตลักษณะทั่วๆไปของเนื้อไม้พบว่า สีของไม้ไผ่ตงเขียวทางด้านหน้าตัดในสภาพสด ส่วนเปลือกมีสีเขียวเข้ม ถัดเข้ามาในส่วนกลางที่เป็นเนื้อไม้มีสีขาวอมครีมและสีจะค่อยๆ จางลงจนถึงส่วนไส้ใน และเมื่อทิ้งไว้ให้แห้งจะมีสีที่เข้มขึ้นโดยเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวหม่น และส่วนของเนื้อไม้จะเป็นสีน้ำตาลอ่อนคล้ายสีฟางข้าว สำหรับลักษณะเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียวเป็นแบบเสี้ยนตรง (Straight grain) โดยมีทิศทางการเรียงตัวของเซลล์ขนานกันตามความยาวของลำต้น จึงทำให้เห็นเป็นลายเส้นตรงทั้งทางด้านสัมผัสและรัศมี ส่วนลวดลาย (Figure) ทางด้านหน้าตัดจะเห็นเป็นกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารที่มีสีเข้มอยู่บนพื้นเนื้อเยื่อพาเรงคิมาที่มีสีอ่อนคล้ายผ้าลายจุด โดยมีความมันวาว (Luster) ในส่วนใกล้เปลือกมากเพราะสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่า ส่วนโครงร่างเนื้อไม้ (Texture) ของไม้ไผ่ตงเขียวสามารถจำแนกอยู่ในระดับหยาบปานกลางถึงหยาบเพราะเนื้อไม้ที่ใกล้เปลือกแตกต่างจากเนื้อไม้ที่ติดกับไส้มาก และเมื่อตัดชิ้นไม้ไผ่ตงเขียวทางด้านหน้าตัดของส่วนท่อนปลายและส่วนท่อนโคนไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereomicroscope) พบว่าความหนาแน่นของกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารของส่วนท่อนปลายมีมากกว่าส่วนท่อนโคน และระยะห่างของกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารทางด้านสัมผัสห่างมากกว่าด้านรัศมี

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่ดงเขียว (*Dendrocalamus asper* Backer.)

สมบัติ	ต้น A	ต้น B	ต้น C	ต้น D	ค่าเฉลี่ย
1.ความยาวของลำต้น (ม.)	22.00	18.00	22.00	22.00	21.00
2. จำนวนปล้องต่อต้น (ปล้อง)	28	31	33	36	32
3. ความหนาเฉลี่ยของผนังปล้อง (ซม.)					
ท่อนที่ 1*	2.45	2.40	3.30	2.55	2.68
ท่อนที่ 2	1.40	1.53	2.10	1.55	1.65
ท่อนที่ 3	1.05	1.25	1.25	1.35	1.23
ท่อนที่ 4	1.00	1.03	1.05	1.25	1.08
ท่อนที่ 5	0.95	0.89	0.98	1.10	0.98
ท่อนที่ 6	0.88	0.78	0.90	0.90	0.87
ท่อนที่ 7	0.83	0.70	0.90	0.90	0.83
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของปล้อง (ซม.)					
ท่อนที่ 1	11.80	13.50	12.85	14.40	13.14
ท่อนที่ 2	11.85	13.20	12.05	13.85	12.74
ท่อนที่ 3	12.05	12.85	11.55	13.35	12.45
ท่อนที่ 4	11.90	11.90	11.35	13.00	12.04
ท่อนที่ 5	11.65	10.85	11.10	12.30	11.48
ท่อนที่ 6	10.45	9.25	10.40	11.15	10.32
ท่อนที่ 7	9.55	7.75	9.45	9.80	9.14
5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ระดับเพียงอก(ซม.)**	11.70	13.20	12.10	14.00	12.75

หมายเหตุ * ท่อนที่ 1 = ท่อนโคน , ท่อนที่ 7 = ท่อนปลาย

** ความสูงที่ระดับเพียงอก หมายถึง ความสูงจากโคนขึ้นมา 1.30 เมตร

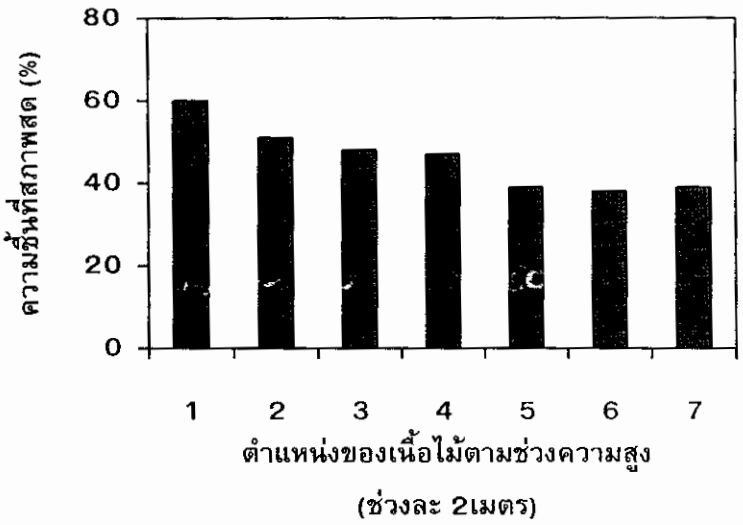
จากการทดลองค่าความชื้นและความถ่วงจำเพาะ ของไม้ไผ่ตงเขียวที่ 7 ช่วงความสูง จำนวน 4 ต้น ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความชื้นที่สภาพสดอยู่ในช่วงระหว่าง 39 - 60 % ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่สภาพสด , สภาพแห้ง และสภาพอบแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 0.70 - 0.76 , 0.74 - 0.81 และ 0.76 - 0.84 ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 และนำมาแสดงเป็นแผนภูมิแท่งได้ ดังภาพที่ 14

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความชื้น (Moisture content) และความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูง

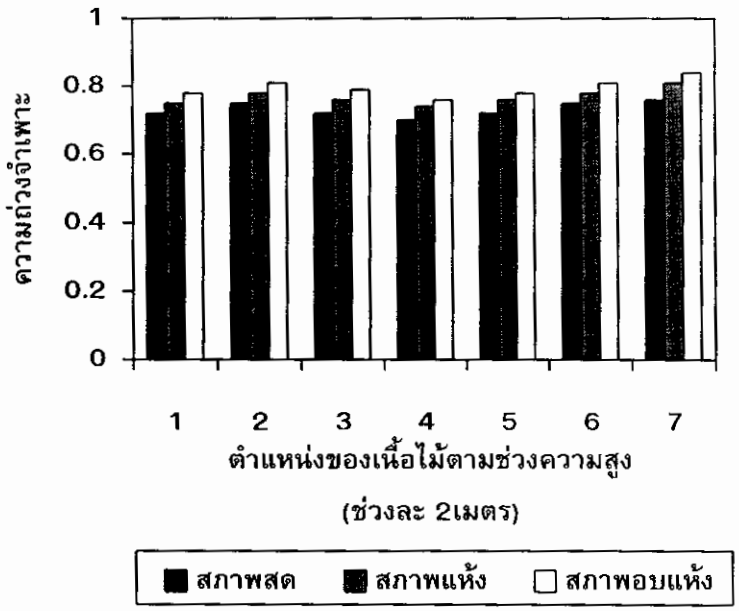
ตำแหน่งของเนื้อไม้ของช่วงความสูง	ความชื้น สภาพสด(%)	ความถ่วงจำเพาะ*		
		สภาพสด	สภาพแห้ง	สภาพอบแห้ง
ท่อนที่ 1**	60	0.72	0.75	0.78
ท่อนที่ 2	51	0.75	0.78	0.81
ท่อนที่ 3	48	0.72	0.76	0.79
ท่อนที่ 4	47	0.70	0.74	0.76
ท่อนที่ 5	39	0.72	0.76	0.78
ท่อนที่ 6	38	0.75	0.78	0.81
ท่อนที่ 7	39	0.76	0.81	0.84

หมายเหตุ * ความถ่วงจำเพาะ = น้ำหนักอบแห้ง / ปริมาตรที่สภาพนั้นๆ

** ท่อนที่ 1 = ท่อนโคน , ท่อนที่ 7 = ท่อนปลาย



รูป (ก)



รูป (ข)

ภาพที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยความชื้นที่สภาพสดตามธรรมชาติ (รูป ก) และค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่สภาพสด , สภาพแห้งและสภาพอบแห้ง (รูป ข)

จากการทดลองหาค่าการหดตัวที่สภาพแห้งและสภาพอบแห้ง ทางด้านสัมผัส , รัศมีและความยาว ที่ 7 ช่วงความสูง จำนวน 4 ต้น ได้ผลการทดลองดังรายละเอียดในตารางที่ 4 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. การหดตัวที่สภาพแห้ง (Shrinkage at air-dried condition)

1.1 ด้านสัมผัส (Tangential) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 3.216,2.422, 2.662 , 2.120 , 1.969 , 2.231 และ 1.843% ตามลำดับ

1.2 ด้านรัศมี (Radial) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 2.195 , 1.642 , 1.418, 1.367 , 0.367 , 0.988 , 1.031 และ 0.843% ตามลำดับ

1.3 ด้านความยาว (Longitudinal) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 0.418 , 0.121, 0.263 , 0.177 ,0.031 , 0.207 และ 0.237% ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยการหดตัวที่สภาพแห้ง ที่ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้นทางด้านสัมผัส ด้านรัศมี และด้านความยาว นำมาพล็อตกราฟ ดังภาพที่ 15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าการหดตัวทางด้านสัมผัสและด้านรัศมี มีค่าลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยด้านสัมผัสมีค่าการหดตัวสูงที่สุด ส่วนด้านความยาวมีค่าการหดตัวค่อนข้างคงที่

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการหดตัวของเนื้อไม้ ตามช่วงความสูงของลำต้น ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยการหดตัวของไม้ไผ่ตงเขียวที่สภาพแห้งทางด้านสัมผัส และความยาว มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนทางด้านรัศมีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางผนวกที่ 1 , 2 และ 3

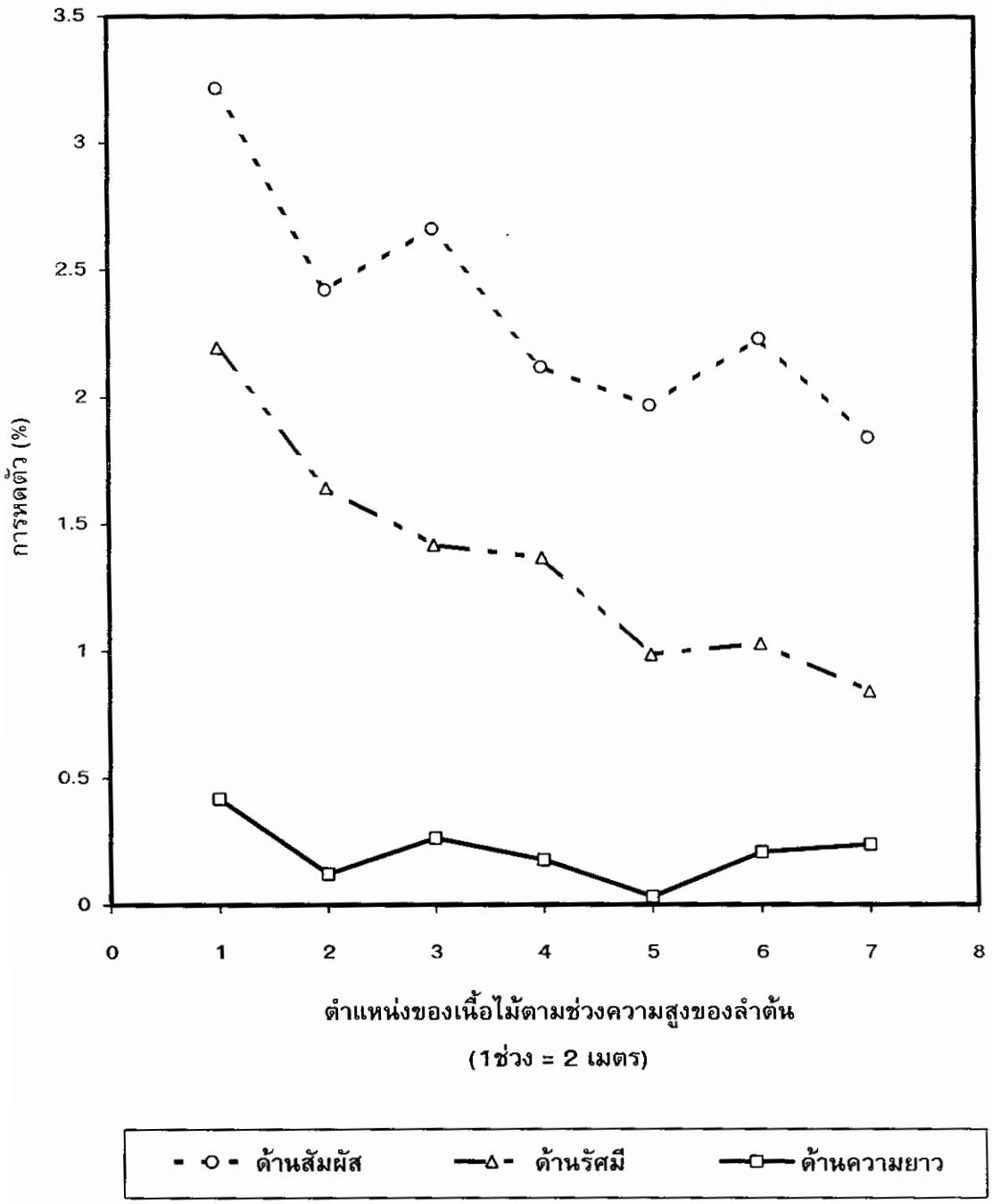
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการหดตัวของไม้ไผ่ตงเขียว ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยการหดตัวที่สภาพแห้งทางด้านรัศมี ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 1 , 2 กับ 3 และที่ช่วงความสูงท่อนที่ 2 , 3 , 4 , 5 , 6 กับ 7 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยการหดตัว (Shrinkage) ด้านสัมผัส, ด้านรัศมี , และด้านความยาวของไม้ไผ่ตงเขียว ที่สภาพแห้งและอบแห้ง

สภาพของชิ้นไม้ทดสอบ	ด้านสัมผัส				ด้านรัศมี				ด้านความยาว				N
	การหดตัว (%)	SD	ความ* แตกต่าง	ตำแหน่งเนื้อไม้ของช่วงความสูง	การหดตัว (%)	SD	ความ* แตกต่าง	ตำแหน่งเนื้อไม้ของช่วงความสูง	การหดตัว (%)	SD	ความ* แตกต่าง	ตำแหน่งเนื้อไม้ของช่วงความสูง	
แห้ง	3.216	0.688	A	ท่อนที่ 1	2.195	0.492	A	ท่อนที่ 1	0.418	0.155	A	ท่อนที่ 1	16
	2.662	0.830	A	ท่อนที่ 3	1.642	0.411	A B	ท่อนที่ 2	0.263	0.256	A	ท่อนที่ 3	16
	2.422	0.664	A	ท่อนที่ 2	1.418	0.601	A B	ท่อนที่ 3	0.237	0.164	A	ท่อนที่ 7	16
	2.231	0.322	A	ท่อนที่ 6	1.367	1.435	B	ท่อนที่ 4	0.207	0.057	A	ท่อนที่ 6	16
	2.120	0.864	A	ท่อนที่ 4	1.031	0.455	B	ท่อนที่ 6	0.177	0.277	A	ท่อนที่ 4	16
	1.969	0.737	A	ท่อนที่ 5	0.988	1.119	B	ท่อนที่ 5	0.121	0.097	A	ท่อนที่ 2	16
	1.843	0.611	A	ท่อนที่ 7	0.843	0.648	B	ท่อนที่ 7	0.031	0.057	A	ท่อนที่ 5	16
อบแห้ง	4.979	0.727	A	ท่อนที่ 1	3.619	0.163	A	ท่อนที่ 1	0.478	0.168	A	ท่อนที่ 1	16
	4.531	0.539	A	ท่อนที่ 3	2.887	0.494	A B	ท่อนที่ 2	0.443	0.492	A	ท่อนที่ 4	16
	4.396	0.152	A	ท่อนที่ 6	2.632	0.629	B C	ท่อนที่ 3	0.378	0.365	A	ท่อนที่ 3	16
	4.095	0.685	A	ท่อนที่ 2	2.625	1.280	B C	ท่อนที่ 4	0.267	0.113	A	ท่อนที่ 6	16
	3.981	0.674	A	ท่อนที่ 4	2.144	0.445	B C	ท่อนที่ 6	0.266	0.219	A	ท่อนที่ 7	16
	3.969	0.923	A	ท่อนที่ 5	2.050	0.492	B C	ท่อนที่ 7	0.149	0.060	A	ท่อนที่ 2	16
	3.851	0.708	A	ท่อนที่ 7	2.012	0.726	C	ท่อนที่ 5	0.090	0.113	A	ท่อนที่ 5	16

หมายเหตุ * กลุ่มตัวอักษรต่างกันจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับความสูงของลำต้นแยกตามสภาพแห้งและสภาพอบแห้ง

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน , N = จำนวนชิ้นไม้ทดสอบ



ภาพที่ 15 กราฟเปรียบเทียบการหดตัวทางด้านสัมผัส , ด้านรัศมี และความยาว ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพแห้ง

2. การหดตัวที่สภาพอบแห้ง (Shrinkage at oven-dried condition)

2.1 ด้านสัมผัส (Tangential) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 4.979,4.095, 4.531 , 3.981, 3.969 , 4.396 และ 3.851 ตามลำดับ

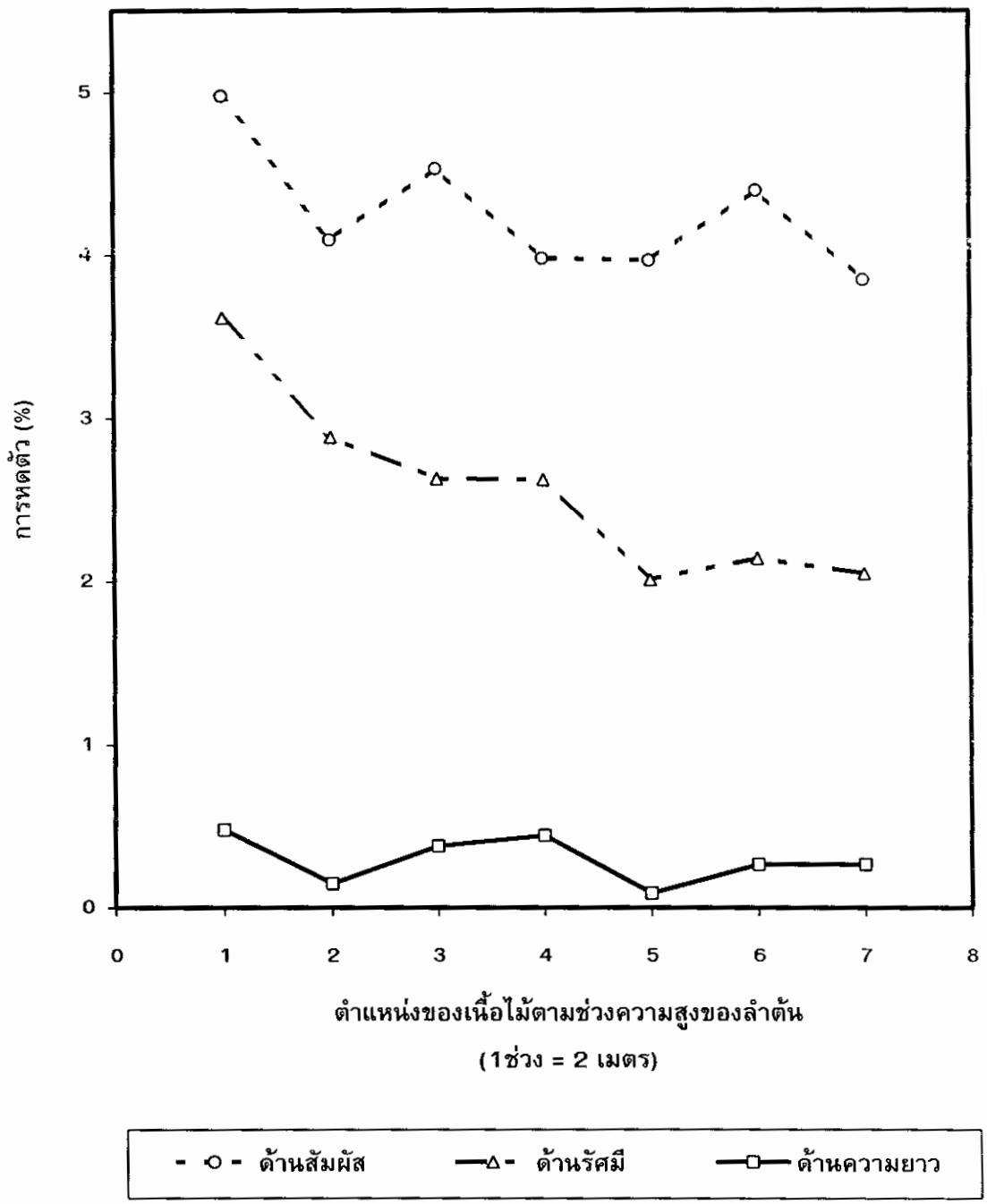
2.2 ด้านรัศมี (Radial) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 3.619 , 2.887 , 2.625, 2.012 , 2.144 และ 2.050 ตามลำดับ

2.3 ด้านความยาว (Longitudinal) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 0.478 , 0.149 , 0.378 , 0.443 , 0.090 , 0.267 และ 0.266 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยการหดตัวที่สภาพอบแห้งที่ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้นทางด้านสัมผัส , ด้านรัศมี และด้านความยาว นำมาพล็อตกราฟ ดังภาพที่ 16 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าการหดตัวทางด้านสัมผัสและด้านรัศมี มีค่าลดลงเมื่อค่าความสูงเพิ่มขึ้น โดยด้านสัมผัสมีค่าการหดตัวสูงที่สุด ส่วนด้านความยาวมีค่าการหดตัวค่อนข้างคงที่

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการหดตัวของเนื้อไม้ ตามช่วงความสูงของลำต้น ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยการหดตัวของไม้ไผ่ตงเขียวที่สภาพอบแห้งทางด้านสัมผัสและด้านความยาว มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนทางด้านรัศมีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางผนวกที่ 4 , 5 และ 6

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการหดตัวของไม้ไผ่ตงเขียว ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยการหดตัวที่สภาพอบแห้งทางด้านรัศมี ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 1 กับ 2 , ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 2, 3, 4 , 6 และ 7 และที่ช่วงความสูงท่อนที่ 3 , 4 , 5 , 6 และ 7 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4



ภาพที่ 16 กราฟเปรียบเทียบการหดตัวทางด้านสัมผัส , ด้านรัศมี และความยาว ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพอบแห้ง

สมบัติเชิงกล

จากการทดลองหาค่ากลสมบัติของไม้ไผ่ตงเขียว ทางด้านการดัดสถิต , การดึงขนานเสี้ยน , การอัดขนานเสี้ยน และการเฉือนขนานเสี้ยน ที่ 7 ช่วงความสูง จำนวน 4 ต้น ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. การดัดสถิต (Static bending)

1.1 ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of rupture หรือ MOR)

(1) สภาพสด มีค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการแตกหักท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 108.84 , 105.55, 99.53 , 106.04 , 106.05 , 114.65 และ 119.25 MPa ตามลำดับ

(2) สภาพแห้ง มีค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการแตกหักท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 134.16 , 132.61,130.89 , 131.11 , 132.27 , 130.08 และ 135.40 MPa ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการแตกหักที่ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงสูงของลำต้น นำมาพล็อตกราฟ ดังภาพที่ 17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงของเนื้อไม้ที่สภาพแห้งมีค่าสูงกว่าสภาพสด

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการแตกหักที่ตำแหน่งเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้น ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการแตกหัก ทั้งสภาพสดและสภาพแห้งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังตารางผนวกที่ 7 และ 8

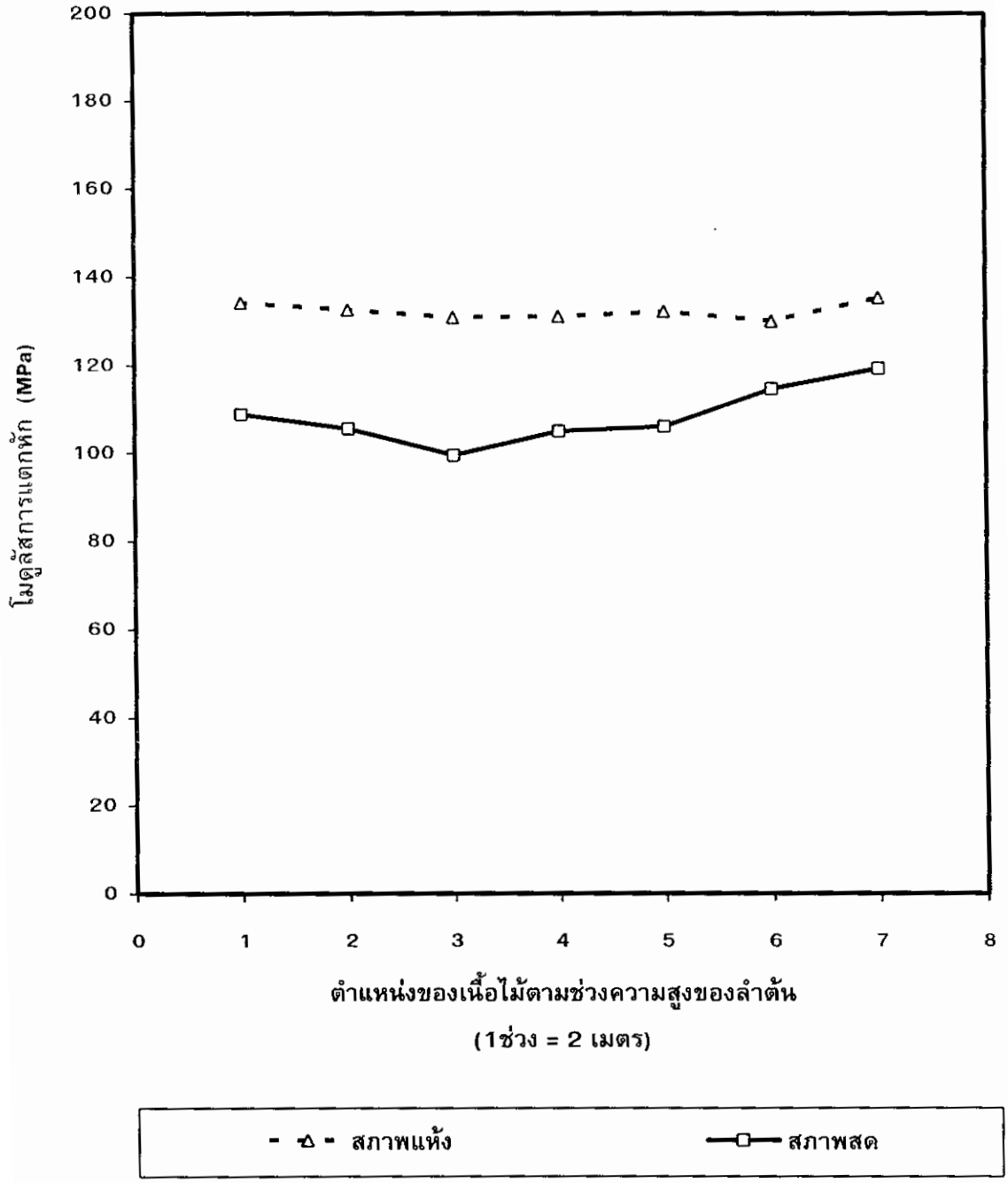
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยการดัดสถิต (Static bending) ของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสด และสภาพแห้ง

สภาพของชิ้นไม้ทดสอบ	โมดูลัสการแตกหัก				โมดูลัสการยืดหยุ่น				ค่าความเหนียว				N
	หน่วยแรง (MPa)	SD	ความแตกต่าง *	ตำแหน่งเนื้อไม้ของช่วงความสูง	หน่วยแรง (MPa)	SD	ความแตกต่าง*	ตำแหน่งเนื้อไม้ของช่วงความสูง	หน่วยแรง (kPa)	SD	ความแตกต่าง *	ตำแหน่งเนื้อไม้ของช่วงความสูง	
สด	119.25	12.25	A	ท่อนที่ 7	12,795.40	1,276.33	A	ท่อนที่ 2	551.11	73.71	A	ท่อนที่ 7	16
	114.65	17.83	A	ท่อนที่ 6	12,463.04	2,140.95	A	ท่อนที่ 3	484.35	68.23	A	ท่อนที่ 6	16
	108.84	9.03	A	ท่อนที่ 1	12,515.37	1,302.07	A	ท่อนที่ 1	379.80	55.15	B	ท่อนที่ 5	16
	106.05	9.12	A	ท่อนที่ 5	12,074.31	1,851.36	A	ท่อนที่ 4	371.76	57.70	B C	ท่อนที่ 4	16
	105.55	2.52	A	ท่อนที่ 2	11,719.16	1,122.81	A	ท่อนที่ 5	304.76	110.35	B C	ท่อนที่ 3	16
	106.04	9.12	A	ท่อนที่ 4	11,093.00	903.39	A	ท่อนที่ 7	301.29	48.19	B C	ท่อนที่ 2	16
	99.53	7.75	A	ท่อนที่ 3	11,608.41	1,919.88	A	ท่อนที่ 6	274.06	16.44	C	ท่อนที่ 1	16
แห้ง	135.40	4.42	A	ท่อนที่ 7	13,115.03	1,646.72	A	ท่อนที่ 5	676.05	71.71	A	ท่อนที่ 7	16
	134.16	4.59	A	ท่อนที่ 1	12,769.96	1,846.61	A	ท่อนที่ 4	512.15	54.97	B	ท่อนที่ 6	16
	132.61	5.06	A	ท่อนที่ 2	12,746.83	1,260.96	A	ท่อนที่ 1	411.54	68.08	C	ท่อนที่ 5	16
	132.27	12.17	A	ท่อนที่ 5	12,611.30	564.49	A	ท่อนที่ 2	402.92	62.49	C	ท่อนที่ 4	16
	131.11	10.75	A	ท่อนที่ 4	12,263.80	1,485.69	A	ท่อนที่ 6	372.03	68.29	C	ท่อนที่ 3	16
	130.89	13.72	A	ท่อนที่ 3	12,236.22	1,099.18	A	ท่อนที่ 3	349.74	26.41	C	ท่อนที่ 2	16
	130.08	15.46	A	ท่อนที่ 6	11,963.55	1,095.76	A	ท่อนที่ 7	343.03	29.80	C	ท่อนที่ 1	16

หมายเหตุ * กลุ่มตัวอักษรต่างกันจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับความสูงของลำต้นแยกตามสภาพสดและสภาพแห้ง

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน , N = จำนวนชิ้นไม้ทดสอบ

MPa = เมกะพาสคัล , kPa = กิโลพาสคัล



ภาพที่ 17 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการแตกหัก ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง

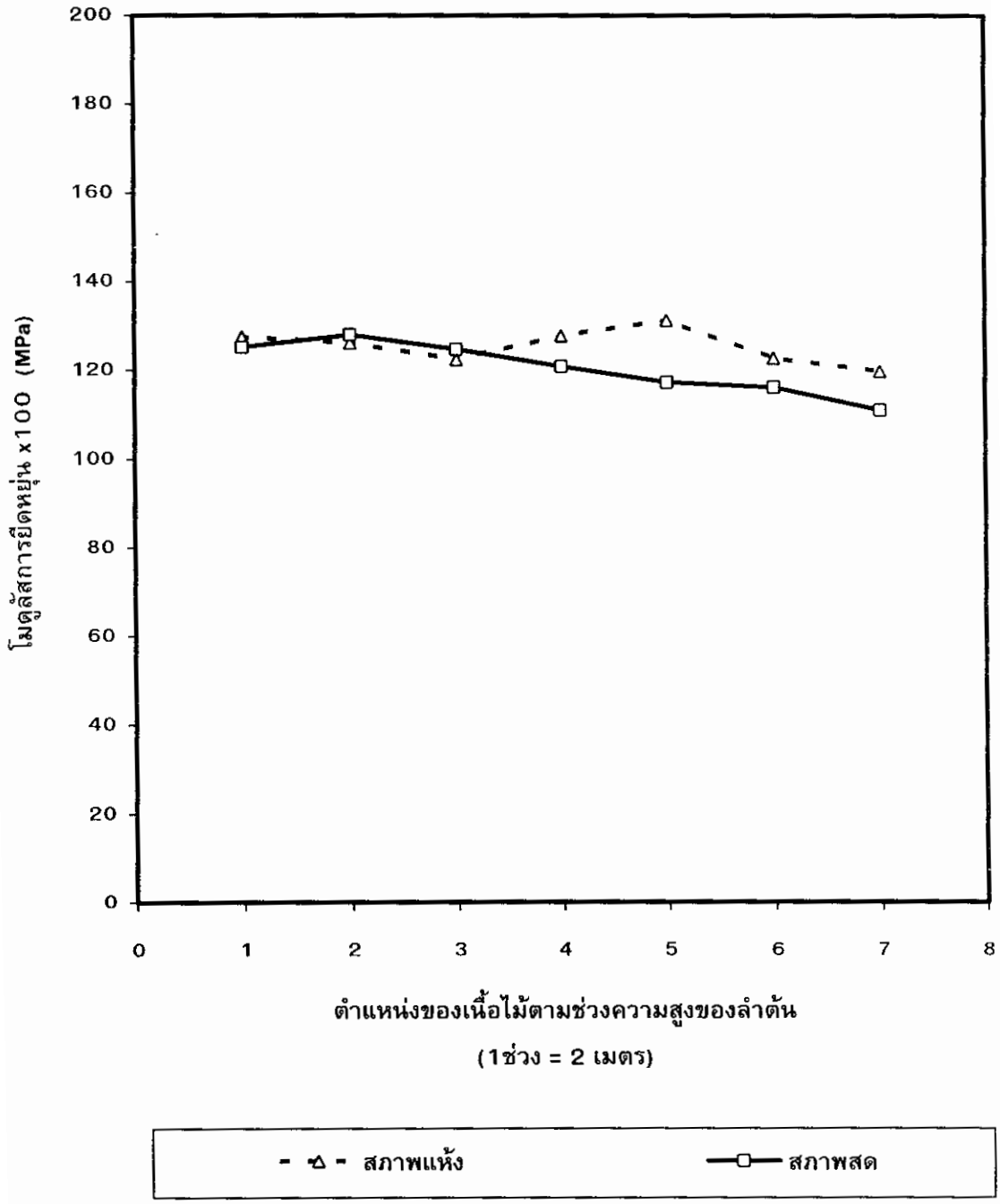
1.2 ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการยืดหยุ่น (Modulus of elasticity หรือ MOE)

(1) สภาพสด มีค่าเฉลี่ยของของโมดูลัสการยืดหยุ่นท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 12,515.37 , 12,795.40 , 12,463.04 , 12,074.31 , 11,719.16 , 11,608.41 และ 11,093.00 MPa ตามลำดับ

(2) สภาพแห้ง มีค่าเฉลี่ยของของโมดูลัสการยืดหยุ่นท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 12,746.83, 12,611.30 , 12,236.22 , 12,769.96 , 13,115.03 ,12,263.80 และ 11,963.55 MPa ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสการยืดหยุ่นที่ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้น นำมาพล็อตกราฟดังภาพที่ 18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของของโมดูลัสการยืดหยุ่นทั้งสภาพสดและสภาพแห้งมีค่าลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น

จากวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของของโมดูลัสการยืดหยุ่นที่ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้น ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยของของโมดูลัสการยืดหยุ่น ทั้งสภาพสดและสภาพแห้ง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังตารางผนวกที่ 9 และ 10



ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการยืดหยุ่น ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง

1.3 ค่าเฉลี่ยความเหนียว (Work to maximum load)

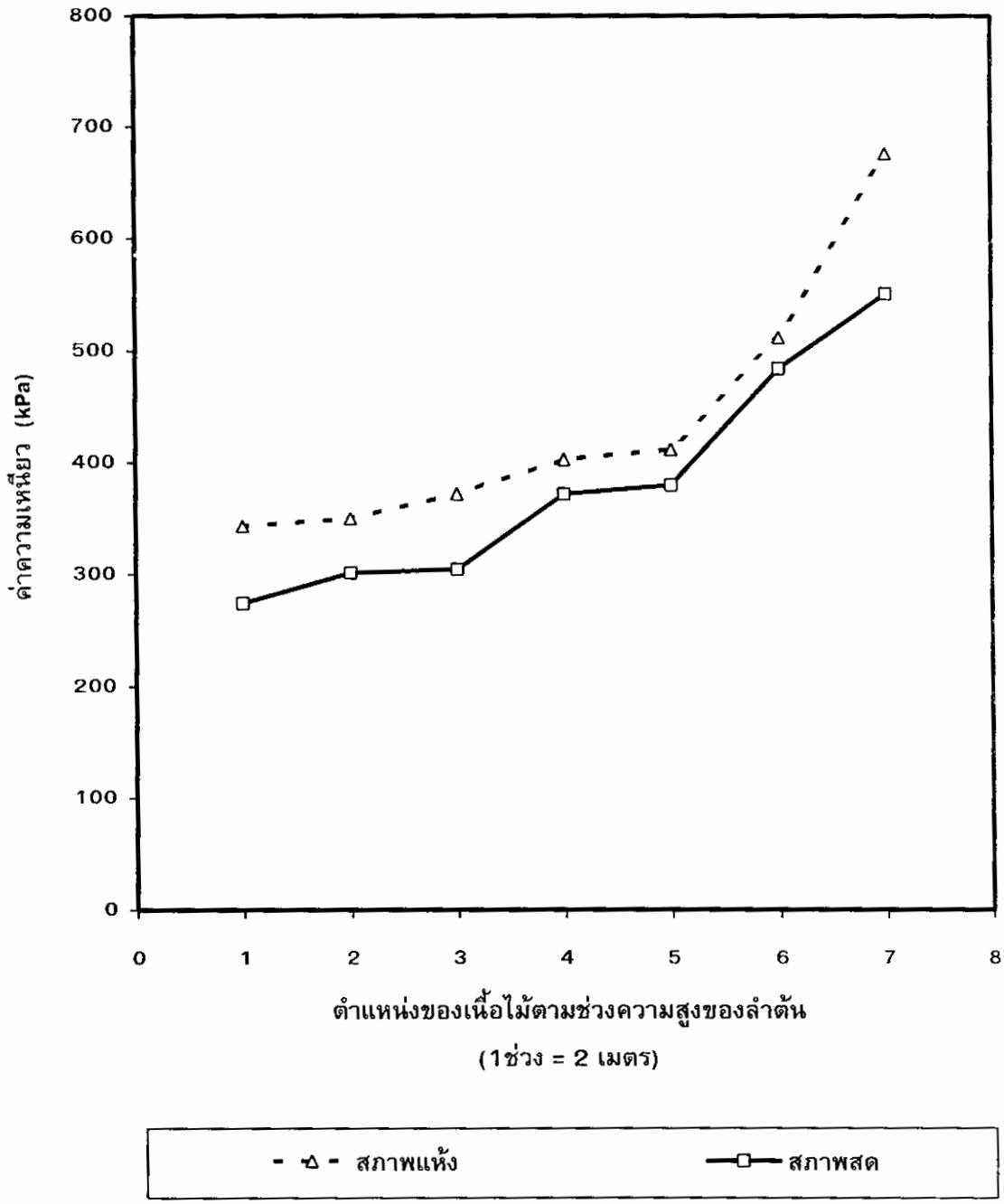
(1) สภาพสด มีค่าเฉลี่ยความเหนียวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 274.06 , 301.29 , 304.17 , 371.76 , 379.80 , 484.35 และ 551.11 kPa ตามลำดับ

(2) สภาพแห้ง มีค่าเฉลี่ยความเหนียวของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 343.03 , 349.74, 372.03 , 402.92 , 411.54 , 512.15 และ 676.05 kPa ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

ค่าเฉลี่ยความเหนียวที่ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้น นำมาพล็อตกราฟ ดังภาพที่ 19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งสภาพสดและสภาพแห้งมีค่าความเหนียวสูงขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และค่าความเหนียวของเนื้อไม้ที่สภาพแห้งมีค่าสูงกว่าสภาพสด

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความเหนียวที่ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้น ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความเหนียว ทั้งสภาพสดและสภาพแห้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางผนวกที่ 11 และ 12

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเหนียวของไม้ไผ่ตงเขียว ปรากฏว่าที่สภาพสด ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 1 , 2 , 3 กับ 4 , ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 2 , 3 , 4 และ 5 และที่ช่วงความสูงท่อนที่ 6 กับ 7 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนที่สภาพแห้งที่ช่วงความสูงท่อนที่ 1 , 2 , 3 , 4 กับ 5 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5



ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบค่าความเหนียว ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นในสภาพสดและสภาพแห้ง

2. การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain)

1.1 สภาพสด มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 230.31 , 244.81 , 255.60 , 243.18 , 260.24 , 233.83 และ 284.60 MPa ตามลำดับ

1.2 สภาพแห้ง มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 247.94, 272.63 , 294.19 , 260.66 , 271.43 , 260.46 และ 313.98 MPa ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 6

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงที่ตำแหน่งเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้นทางด้านการดึงขนานเสี้ยน นำมาพล็อตกราฟ ดังภาพที่ 20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงทั้งสภาพสดและสภาพแห้งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และค่าความแข็งแรงของเนื้อไม้ที่สภาพแห้งจะมีค่าสูงกว่าสภาพสด

จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของเนื้อไม้ ตามช่วงความสูงของลำต้นปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของไม้ไผ่ตงเขียว ทางด้านการดึงขนานเสี้ยนที่สภาพสดมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญส่วนที่สภาพแห้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางผนวกที่ 13 และ 14

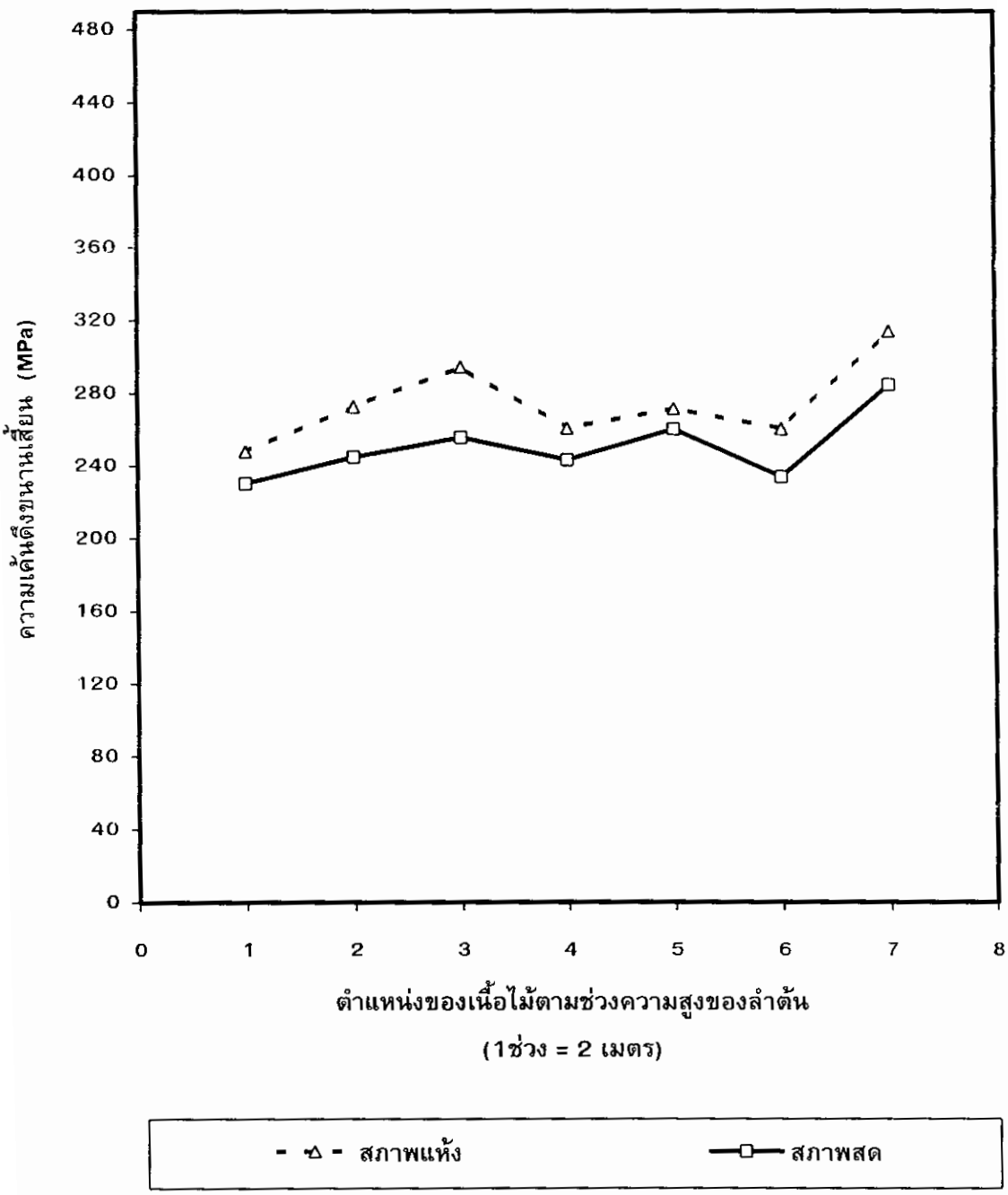
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของไม้ไผ่ตงเขียว ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของการดึงขนานเสี้ยนที่สภาพแห้งที่ช่วงความสูงท่อนที่ 1 , 2 , 4 , 5 กับ 6 , ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 2 , 3 , 4 , 5 กับ 6 และที่ช่วงความสูงท่อนที่ 3 กับ 7 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยความเค้นดึงขนานเสี้ยนสูงสุด (Tensile stress parallel to grain) ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสดและสภาพแห้ง

สภาพของชิ้นไม้ทดสอบ	ปริมาณความชื้น(%)	ความถ่วงจำเพาะ	ความเค้นดึงขนานเสี้ยน หน่วยแรง(MPa)	SD	N	ความแตกต่าง*	ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูง
สด	39	0.76	284.60	20.50	16	A	ท่อนที่ 7
	40	0.72	260.24	50.29	16	A	ท่อนที่ 5
	48	0.72	255.60	36.98	16	A	ท่อนที่ 3
	60	0.72	244.81	39.58	16	A	ท่อนที่ 2
	52	0.75	243.18	52.94	16	A	ท่อนที่ 4
	47	0.70	233.83	28.86	16	A	ท่อนที่ 6
	38	0.75	230.31	25.35	16	A	ท่อนที่ 1
แห้ง	11	0.81	313.98	21.15	16	A	ท่อนที่ 7
	11	0.76	294.19	36.53	16	A B	ท่อนที่ 3
	11	0.78	272.63	28.76	16	B C	ท่อนที่ 2
	10	0.76	271.43	25.49	16	B C	ท่อนที่ 5
	11	0.74	260.66	21.56	16	B C	ท่อนที่ 4
	11	0.78	260.46	43.86	16	B C	ท่อนที่ 6
	12	0.75	247.94	27.15	16	C	ท่อนที่ 1

หมายเหตุ * กลุ่มตัวอักษรต่างกันจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับความสูงของลำต้นแยกตามสภาพสดและสภาพแห้ง , MPa = เมกะพาสคัล

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน , N = จำนวนชิ้นไม้ทดสอบ



ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบความเค้นดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียวตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นในสภาพสดและสภาพแห้ง

3. การอัดขนานเสี้ยน (Compression parallel to grain)

1.1 สภาพสด มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 44.88 , 52.98 , 52.94, 52.49 , 54.79 , 57.95 และ 61.11 MPa ตามลำดับ

1.2 สภาพแห้ง มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 60.61 , 66.79 , 66.85 , 63.82 , 66.88 , 68.78 และ 72.44 MPa ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 7

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงที่ตำแหน่งเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้นทางด้านการอัดขนานเสี้ยนนำมาพล็อตกราฟ ดังภาพที่ 21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงทั้งสภาพสด และสภาพแห้งมีค่าสูงขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และค่าความแข็งแรงของเนื้อไม้ที่สภาพแห้งมีค่าสูงกว่าสภาพสด

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของเนื้อไม้ ตามช่วงความสูงของลำต้นปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของไม้ไผ่ตงเขียว ทางด้านการอัดขนานเสี้ยนที่สภาพสดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญส่วนที่สภาพแห้งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังตารางผนวกที่ 15 และ 16

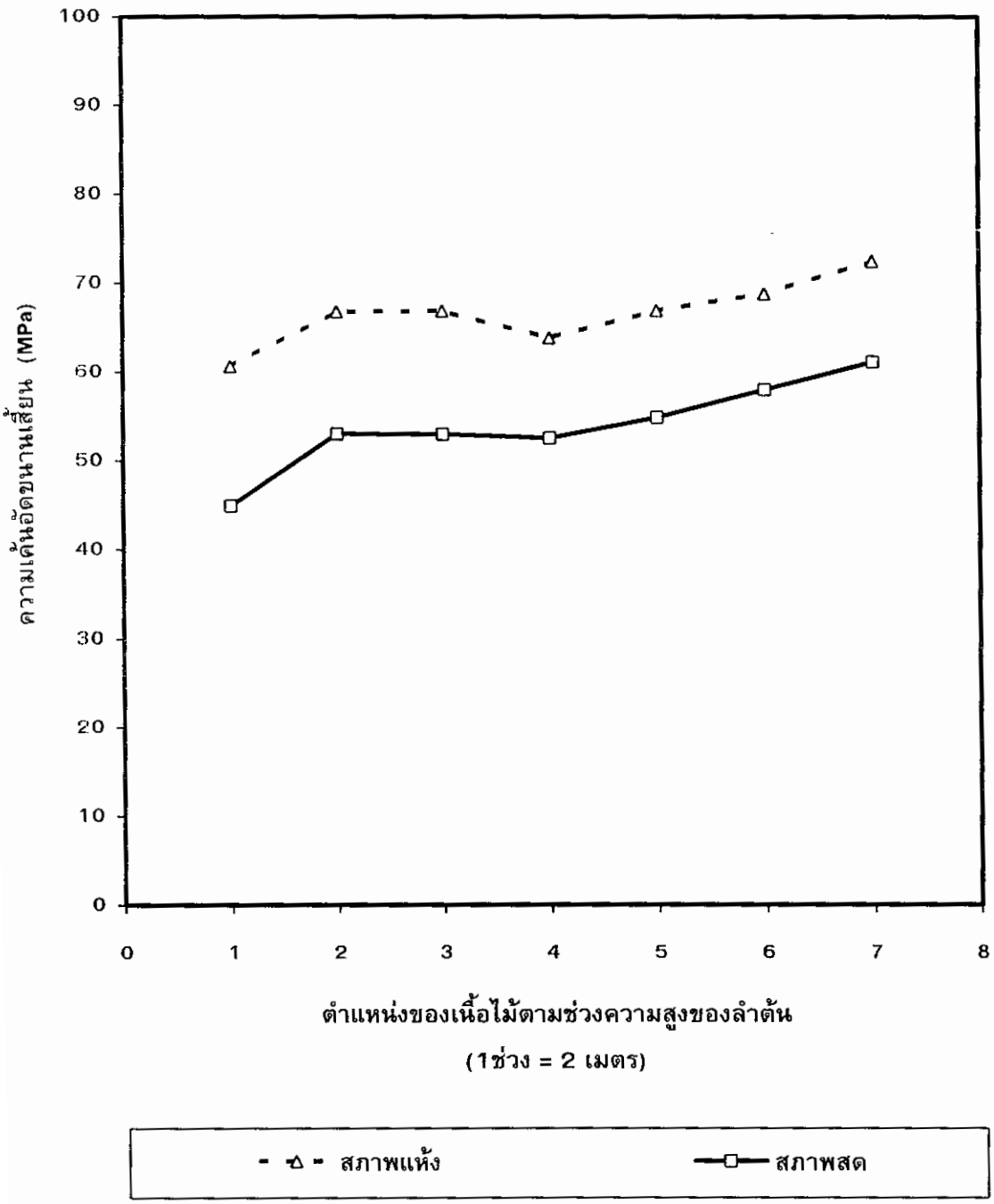
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงไม้ไผ่ตงเขียวปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของการอัดขนานเสี้ยนที่สภาพสด ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 2 , 3 , 4 , 5 กับ 6 และที่ช่วงความสูงท่อนที่ 5 , 6 กับ 7 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยความเค้นอัดขนานเสี้ยนสูงสุด (Compressive stress parallel to grain) ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสดและสภาพแห้ง

สภาพของชิ้นไม้ทดสอบ	ปริมาณความชื้น (%)	ความถ่วงจำเพาะ	ความเค้นอัดขนานเสี้ยน หน่วยแรง(MPa)	SD	N	ความแตกต่าง*	ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูง
สด	39	0.76	51.11	5.33	16	A	ท่อนที่ 7
	38	0.75	57.95	7.21	16	A B	ท่อนที่ 6
	39	0.72	54.79	6.15	16	A B	ท่อนที่ 5
	51	0.75	52.98	1.22	16	B	ท่อนที่ 2
	48	0.72	52.94	2.02	16	B	ท่อนที่ 3
	47	0.70	52.49	2.53	16	B	ท่อนที่ 4
	60	0.72	44.88	6.28	16	C	ท่อนที่ 1
แห้ง	11	0.81	72.44	7.62	16	A	ท่อนที่ 7
	11	0.78	68.78	6.99	16	A	ท่อนที่ 6
	10	0.76	66.88	7.45	16	A	ท่อนที่ 5
	11	0.76	66.85	1.42	16	A	ท่อนที่ 3
	11	0.78	66.79	3.48	16	A	ท่อนที่ 2
	11	0.74	63.82	2.15	16	A	ท่อนที่ 4
	12	0.75	60.61	5.18	16	A	ท่อนที่ 1

หมายเหตุ * กลุ่มตัวอักษรต่างกันจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับความสูงของลำต้นแยกตามสภาพสดและสภาพแห้ง , MPa = เมกะพาสคัล

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน , N = จำนวนชิ้นไม้ทดสอบ



ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบความเค้นอัดขนานเสี้ยน ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นในสภาพสดและสภาพแห้ง

4. การเฉือนขนานเสี้ยน (Shear parallel to grain)

1.1 สภาพสด มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 9.34 , 8.05 , 7.94, 7.92 , 8.46 , 8.86 และ 10.02 MPa ตามลำดับ

1.2 สภาพแห้ง มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของท่อนที่ 1 ถึง 7 เท่ากับ 13.50 , 13.92 , 14.11 , 13.76 , 13.27 , 12.55 และ 13.76 MPa ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 8

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงที่ตำแหน่งเนื้อไม้ตามช่วงความสูงของลำต้น ทางด้านการเฉือนขนานเสี้ยน นำมาพล็อตกราฟ ดังภาพที่ 22 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงของเนื้อไม้ที่สภาพแห้งมีค่าสูงกว่าสภาพสด

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของเนื้อไม้ ตามช่วงความสูงของลำต้น ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของไม้ไผ่ตงเขียว ทางด้านการเฉือนขนานเสี้ยน ที่สภาพสดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่สภาพแห้งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดในตารางผนวกที่ 17 และ 18

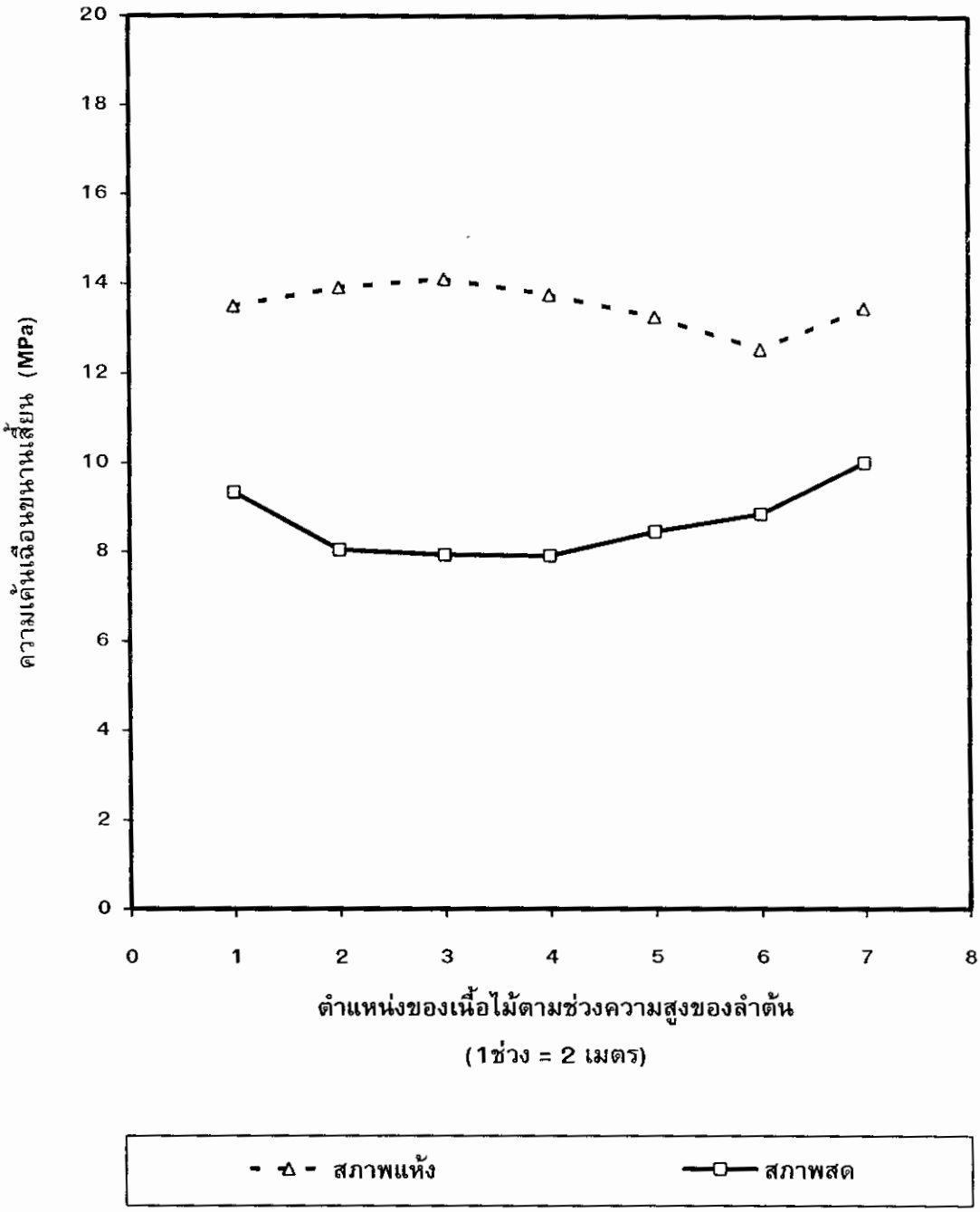
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของไม้ไผ่ตงเขียว ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของการเฉือนขนานเสี้ยนที่สภาพสด ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 2 , 3 , 4 กับ 5 ,ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 2 , 5 กับ 6 , ที่ช่วงความสูงท่อนที่ 1 กับ 6 และที่ช่วงความสูง 1 กับ 7 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนสูงสุด (Shear stress parallel to grain) ของไม้ไผ่ตงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพสดและสภาพแห้ง

สภาพของชิ้นไม้ทดสอบ	ปริมาณความชื้น (%)	ความถ่วงจำเพาะ	ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน หน่วยแรง(MPa)	SD	N	ความแตกต่าง*	ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูง
สด	39	0.76	10.02	0.54	16	A	ท่อนที่ 7
	60	0.72	9.34	1.05	16	A B	ท่อนที่ 1
	38	0.75	8.86	0.50	16	B C	ท่อนที่ 6
	39	0.72	8.46	0.27	16	C D	ท่อนที่ 5
	51	0.75	8.05	0.88	16	C D	ท่อนที่ 2
	48	0.72	7.94	0.61	16	D	ท่อนที่ 3
	47	0.70	7.92	0.32	16	D	ท่อนที่ 4
แห้ง	11	0.76	14.11	0.52	16	A	ท่อนที่ 3
	11	0.78	13.92	1.07	16	A	ท่อนที่ 2
	11	0.74	13.76	0.64	16	A	ท่อนที่ 4
	12	0.75	13.50	1.57	16	A	ท่อนที่ 1
	11	0.81	13.47	1.00	16	A	ท่อนที่ 7
	10	0.76	13.27	1.11	16	A	ท่อนที่ 5
	11	0.78	12.55	1.04	16	A	ท่อนที่ 6

หมายเหตุ * กลุ่มตัวอักษรต่างกันจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับความสูงของลำต้นแยกตามสภาพสดและสภาพแห้ง , MPa = เมกะพาสคัล

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน , N = จำนวนชิ้นไม้ทดสอบ



ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน ของไม้ไผ่ดงเขียว ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ในสภาพสดและสภาพแห้ง

วิจารณ์

สมบัติทางกายภาพ

1. ความชื้น (Moisture content)

จากผลการทดลองค่าเฉลี่ยความชื้นที่สภาพสดของไม้ไผ่ตงเขียว มีค่าความชื้นลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ส่วนท่อนปลายของไม้ไผ่ตงเขียวมีความชื้นน้อยกว่าส่วนท่อนโคน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการกระจายของกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารในส่วนท่อนปลายมีน้อยกว่าส่วนท่อนโคน ซึ่งกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารนี้จะประกอบไปด้วยกลุ่มของไฟเบอร์ที่เป็นเซลล์ผนังหนาความชื้นแทรกซึมเข้าไปได้ยาก ดังนั้นจึงทำให้ส่วนท่อนปลายของไม้ไผ่ตงเขียวมีความชื้นน้อยกว่าส่วนท่อนโคน

2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

จากผลการทดลองค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่สภาพสด , สภาพแห้งและสภาพอบแห้งของไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยกล่าวได้ว่าส่วนท่อนปลายของไม้ไผ่ตงเขียวมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าส่วนท่อนโคน ที่เป็นเช่นนี้ได้เพราะความหนาแน่นของกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารของส่วนท่อนปลายมีมากกว่าส่วนท่อนโคน ซึ่งกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารนี้จะประกอบไปด้วยกลุ่มของไฟเบอร์ที่เป็นเซลล์ผนังหนาและมีความถ่วงจำเพาะสูงมาก ดังนั้นจึงทำให้ส่วนท่อนปลายของไม้ไผ่ตงเขียวมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าส่วนท่อนโคน

3. การหดตัว (Shrinkage)

จากผลการทดลองค่าเฉลี่ยการหดตัวทั้งสภาพแห้งและอบแห้ง ด้านที่มีการหดตัวมากที่สุดคือด้านสัมผัส ซึ่งตามความเป็นจริงลักษณะโครงสร้างของไม้ไผ่ประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวตามยาวล้วนๆ ไม่มีเซลล์ที่

เรียงตัวตามขวางหรือเซลล์รัศมีเลย ดังนั้นลักษณะของการหดตัว ด้านที่หดตัวมากที่สุดน่าจะเป็นด้านรัศมี แต่จากผลการทดลองครั้งนี้ กลับเป็นด้านสัมผัสที่หดตัวมากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะระยะห่างระหว่างกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารที่เป็นส่วนของเซลล์พาเรงคิมาทางด้านสัมผัสห่างมากกว่าทางด้านรัศมี ซึ่งเซลล์พาเรงคิมาเป็นเซลล์ผนังบางและหดตัวได้มากเมื่อคายความชื้น ดังนั้นจึงทำให้ด้านสัมผัสมีการหดตัวมากกว่าทางด้านรัศมี และเป็นด้านที่มีการหดตัวมากที่สุดด้วย สำหรับผลของท่อนโคนที่ค่าการหดตัวมากกว่าท่อนปลายในด้านสัมผัสและด้านรัศมีนั้น มีความสอดคล้องและสัมพันธ์กับผลของความชื้นและความถ่วงจำเพาะเป็นอย่างมาก ที่ว่าส่วนโคนมีความชื้นมากกว่าและมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าส่วนท่อนปลายดังกล่าวข้างต้น ทำให้เข้าใจได้ว่าในส่วนของท่อนโคนมีความถ่วงจำเพาะต่ำหมายถึงมีส่วนของเซลล์พาเรงคิมามากซึ่งทำให้อุ้มน้ำไว้มากเป็นสาเหตุของความชื้นสูง ดังนั้นเมื่อไม้แห้งลงมีการคายความชื้นจึงทำให้คายความชื้นมากส่งผลให้มีการหดตัวมากตามมา ดังนั้นทางด้านสัมผัสและรัศมีในส่วนท่อนโคนจึงมีการหดตัวมากกว่าท่อนปลาย ส่วนทางด้านความยาวมีลักษณะการหดตัวคงที่ทั้งส่วนท่อนปลายและท่อนโคน ซึ่งคล้ายกับไม้ใบกว้างและไม้ตระกูลสนทั้งนี้เนื่องจากการยืดเหนี่ยวของไฟเบอร์ตามความยาวนั้นแข็งแรงมากน้ำไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ ดังนั้นจึงทำให้ไม่อุ้มน้ำหรือเกือบจะไม่มีน้ำในไฟเบอร์เลยจึงทำให้ไม่เกิดการหดตัวหรือเกิดน้อยมากทางด้านความยาวทั้งในส่วนท่อนโคนและส่วนท่อนปลาย

สมบัติเชิงกล

จากการทดสอบหากลสมบัติของไม้ไผ่ตงเขียวทั้ง 4 วิธี การทดสอบนั้นค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าสัมประสิทธิ์การผันแปร (Coefficient of variation หรือ C.V.) น้อยมากคือ 9.3 % (ดูภาคผนวก) ซึ่งแสดงว่าข้อมูลมีการแปรผันน้อย ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของไม้ไผ่ตงเขียวไม่ซับซ้อนเหมือนกับไม้ใบกว้างและไม้ตระกูลสนที่มีวงปี (ค่า C.V. เฉลี่ยประมาณ 20%) ซึ่งข้อมูลนี้ช่วยบ่งชี้ว่าการทดสอบสมบัติต่างๆของไม้ไผ่ตงใช้จำนวนซ้ำ (Replication) น้อยกว่าไม้ชนิดอื่นได้โดยไม่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

ค่าความแข็งแรงของไม้ไผ่ตงเขียวเมื่อเปรียบเทียบกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในตระกูลปาล์ม ได้แก่ ไม้หลาวชะโอน และไม้ตาล (ตารางที่ 9)ได้ผลดังนี้

1. การดัดสถิต

1.1 โมดูลัสการแตกหัก ค่าเฉลี่ยการแตกหักของไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าใกล้เคียงกันมากทั้ง 7 ท่อน (ภาพที่ 23) ค่าเฉลี่ยโมดูลัสการแตกหัก ตำแหน่งท่อนที่ 1 ถึง 3 มีค่าต่ำกว่าไม้หลาวชะโอน แต่ท่อนที่ 4 ถึง 7 มีค่าสูงกว่า สำหรับไม้ตาลทุกตำแหน่งมีค่าต่ำกว่าไม้ไผ่ตงเขียว

1.2 โมดูลัสการยืดหยุ่น ค่าเฉลี่ยการแตกหักของไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าใกล้เคียงกันมากทั้ง 7 ท่อน (ภาพที่ 24) ค่าเฉลี่ยโมดูลัสการยืดหยุ่น ตำแหน่งท่อนที่ 1 ถึง 5 มีค่าต่ำกว่าไม้หลาวชะโอน แต่ท่อนที่ 6 ถึง 7 มีค่าสูงกว่า และที่ตำแหน่งท่อนที่ 1 และ 2 มีค่าต่ำกว่าไม้ตาล แต่ท่อนที่ 3 ถึง 7 มีค่าสูงกว่า

1.3 ความเหนียว ค่าเฉลี่ยความเหนียวของไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ท่อนที่ 1 และเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ท่อนที่ 7 (ภาพที่ 25) ค่าเฉลี่ยความเหนียวตำแหน่งท่อนที่ 1 ถึง 3 มีค่าต่ำกว่าไม้หลาวชะโอน แต่ท่อนที่ 4 ถึง 7 มีค่าสูงกว่า เนื่องจากไม้ไผ่ตงเขียวสามารถดูดซับพลังงานไว้ได้มาก จึงทำให้ได้ค่าความเหนียวสูง และส่วนปลายมีจำนวนกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารหนาแน่นกว่าส่วนโคน จึงสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าและส่งผลให้ส่วนปลายมีความเหนียวมากกว่าส่วนโคน

2. การดึงขนานเสี้ยน

ค่าเฉลี่ยของความเค้นดึงขนานเสี้ยนมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดอยู่ที่ท่อนที่ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ท่อนที่ 7 (ภาพที่ 26) ทุกตำแหน่งของไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าสูงกว่าไม้หลาวชะโอน จะเห็นได้ว่าไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าความเค้นดึงขนานเสี้ยนสูงมาก เนื่องจากกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารที่ประกอบด้วยไฟเบอร์ผนังหนาและมีการเรียงตัวตามยาวของลำต้น กลุ่มเซลล์ไฟเบอร์ผนังหนานี้มีผนังเซลล์หลายชั้นและสามารถต้านแรงดึงได้สูงมาก จึงทำให้ไม้ไผ่มีความแข็งแรงในการต้านแรงดึงสูงตามไปด้วย

3. การอัดขนานเสี้ยน

ค่าเฉลี่ยของความเค้นอัดขนานเสี้ยนมี ค่าความแข็งแรงต่ำสุดอยู่ที่ท่อนที่ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ท่อนที่ 7 (ภาพที่ 27) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงที่ท่อนที่ 1 ถึง 4 มีค่าต่ำกว่าไม้หลาวชะโอน แต่ท่อนที่ 5 ถึง 7 สูงกว่า และที่ตำแหน่งท่อนที่ 1 และ 2 มีค่าต่ำกว่าไม้ตาล แต่ท่อนที่ 3 ถึง 7 มีค่าสูงกว่า

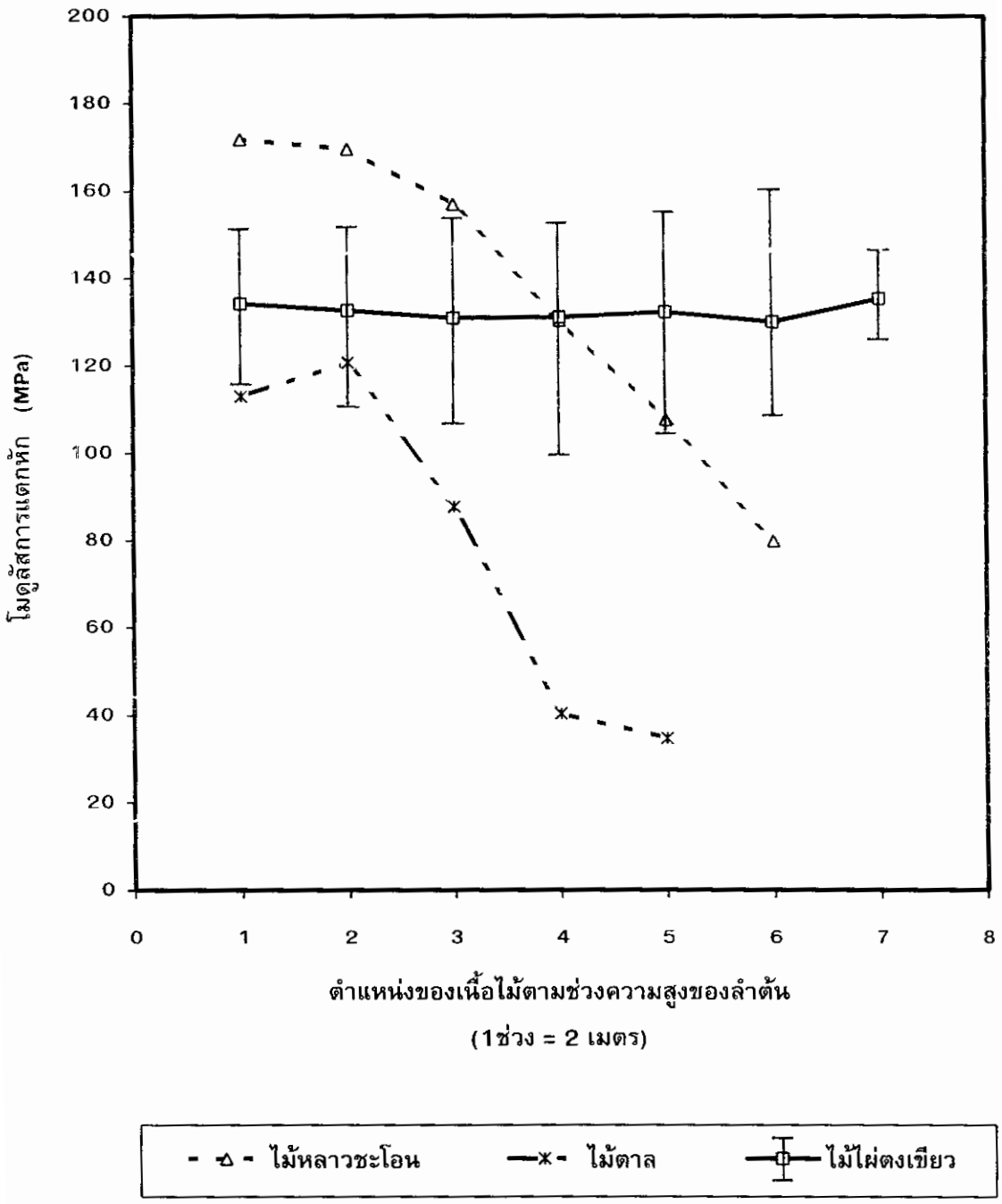
4. การเฉือนขนานเสี้ยน

ค่าเฉลี่ยของความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 7 ท่อน (ภาพที่ 28) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงท่อนที่ 1 ถึง 3 มีค่าต่ำกว่าไม้หลาวชะโอน แต่ท่อนที่ 4 ถึง 7 มีค่าสูงกว่า สำหรับไม้ตาลทุกตำแหน่งมีค่าต่ำกว่าไม้ไผ่ตงเขียว จะเห็นได้ว่าไม้ไผ่ตงเขียวมีจุดอ่อนที่ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นเหตุให้แตกตามเสี้ยนได้ง่าย ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อไม้ไผ่รับแรงเฉือนขนานเสี้ยนส่วนของเนื้อไม้ที่ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาซึ่งเป็นผนังบางและไม่แข็งแรงจะทำหน้าที่รับแรงดังกล่าว

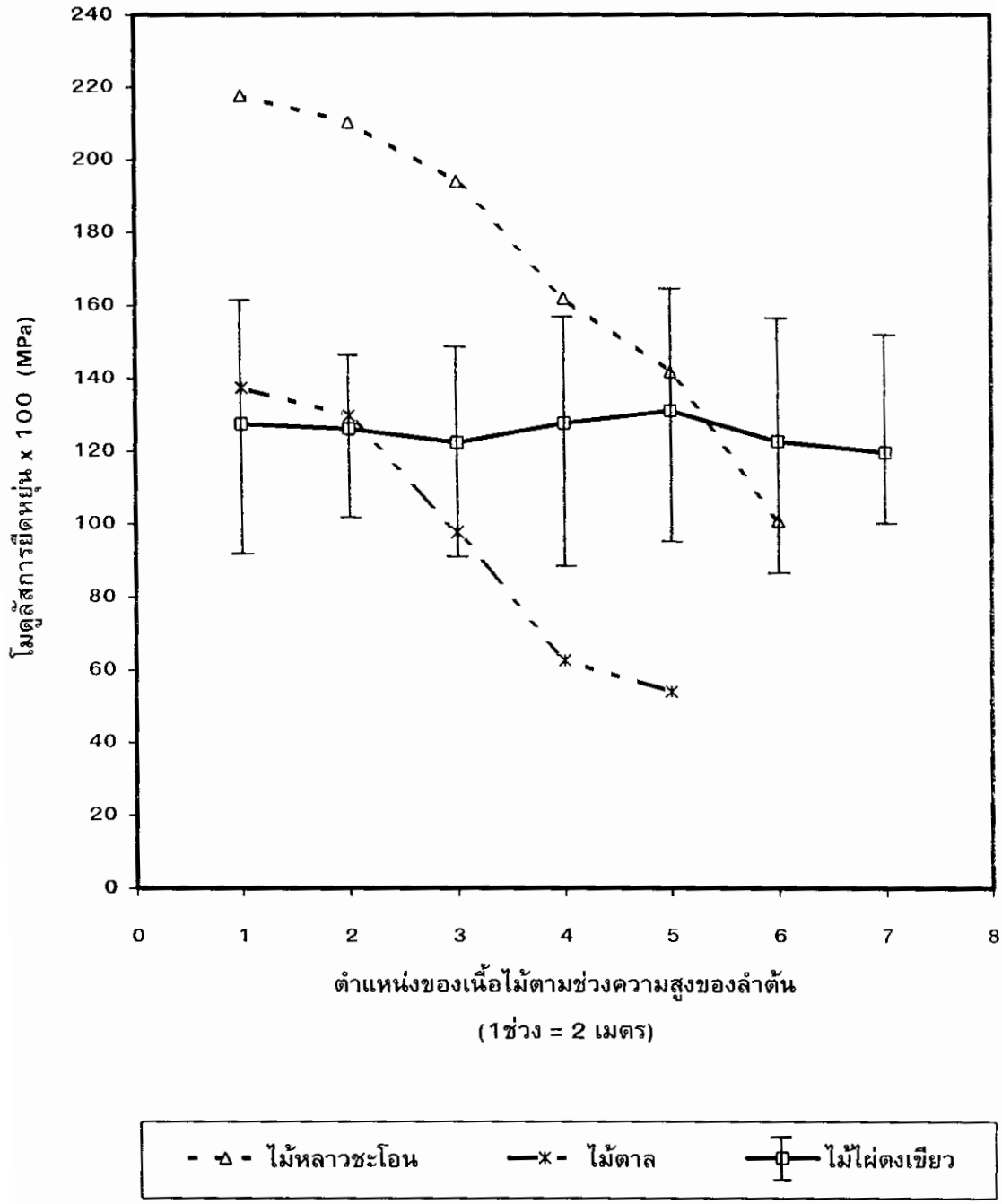
ตารางที่ 9 ตารางเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของไม้หลาวชะโอน (*Oncosperma tigillarium* Ridl.) กับไม้ตาล (*Borassus flabellifer* Linn.)

กลสมบัติ	ไม้ตาล [1/] ความชื้น 12% , ถ.พ. 0.70	ไม้หลาวชะโอน [2/] ความชื้น 10% , ถ.พ. 1.0
โมดูลัสการแตกหัก (MPa)	113	172
โมดูลัสการยืดหยุ่น (MPa)	13,735	21,762
ความเหนียว (kPa)	-	458 [3/]
การดึงขนานเสี้ยน (MPa)	-	169 [3/]
การอัดขนานเสี้ยน (MPa)	75	97
การเฉือนขนานเสี้ยน (MPa)	10	17

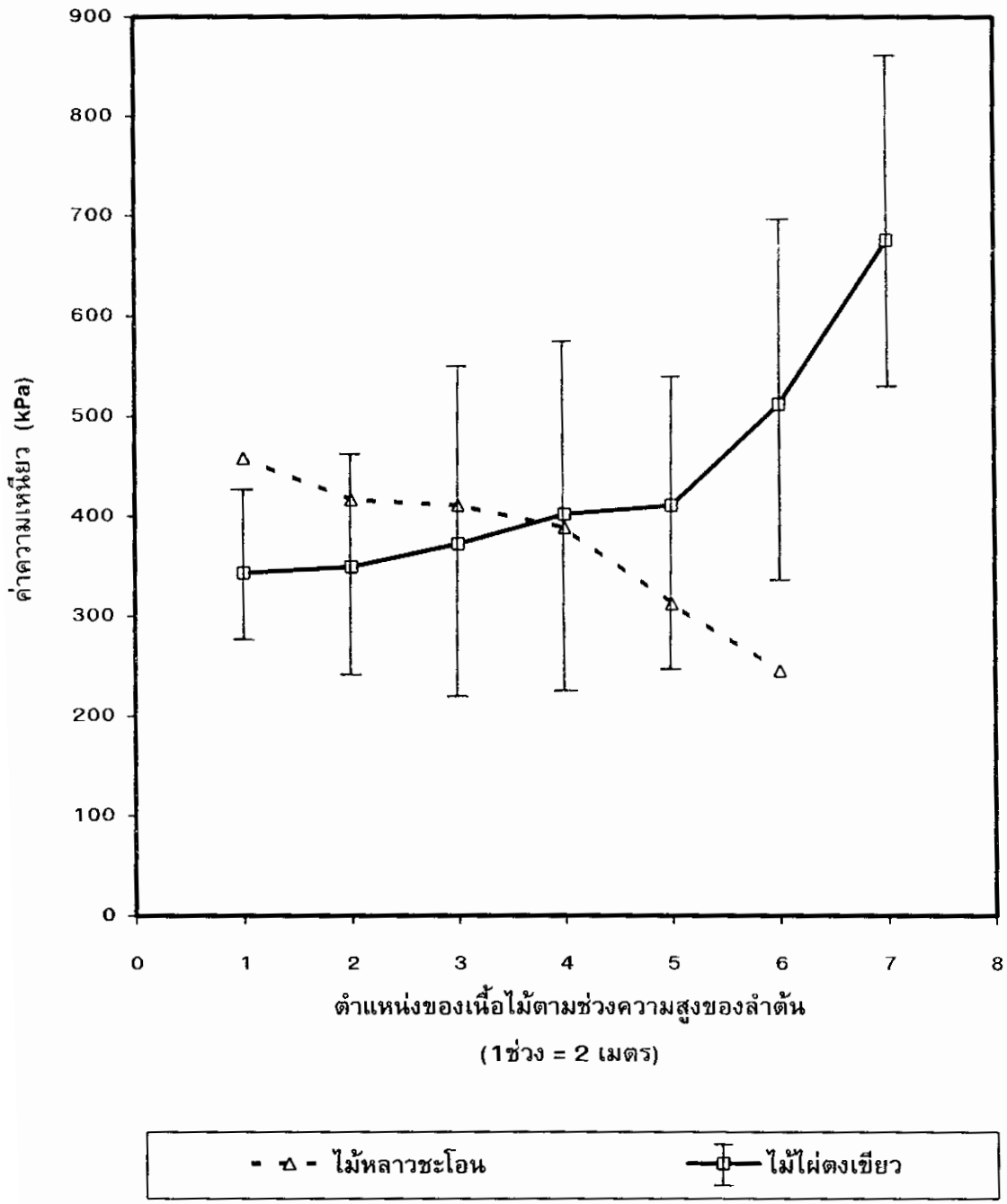
ที่มา : 1/ วรวิทย์ (2533) เป็นค่ากลสมบัติที่ระดับความสูงเพียงอก (D.B.H.)
2/ นิคม (2534) เป็นค่ากลสมบัติสูงสุดในช่วงความสูง 2 เมตร จากโคน
3/ วิวัฒน์ (2535) เป็นค่ากลสมบัติสูงสุดในช่วงความสูง 2 เมตร จากโคน



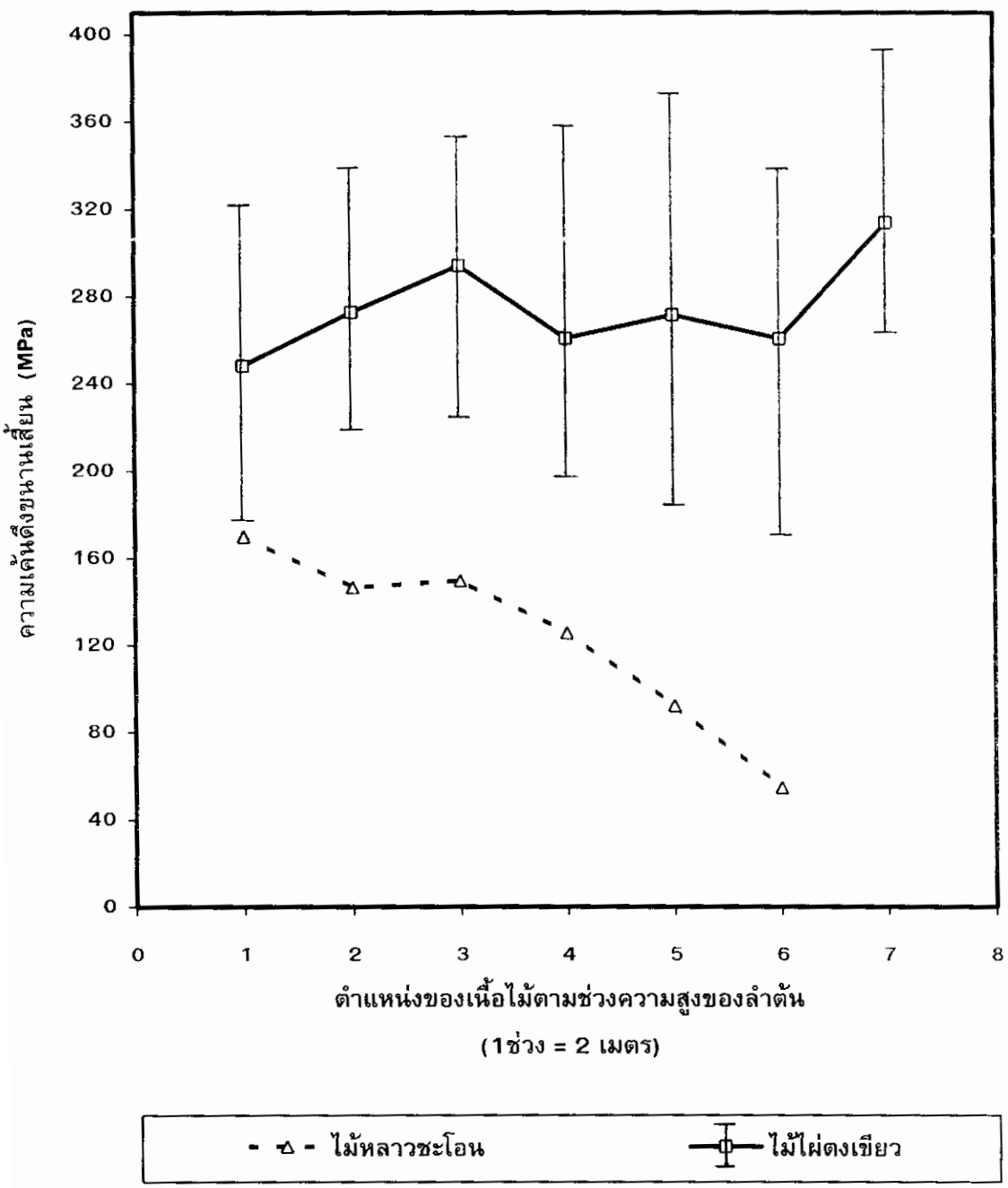
ภาพที่ 23 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการแตกหัก ของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน และ ไม้ตาล) ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้นที่สภาพแห้ง



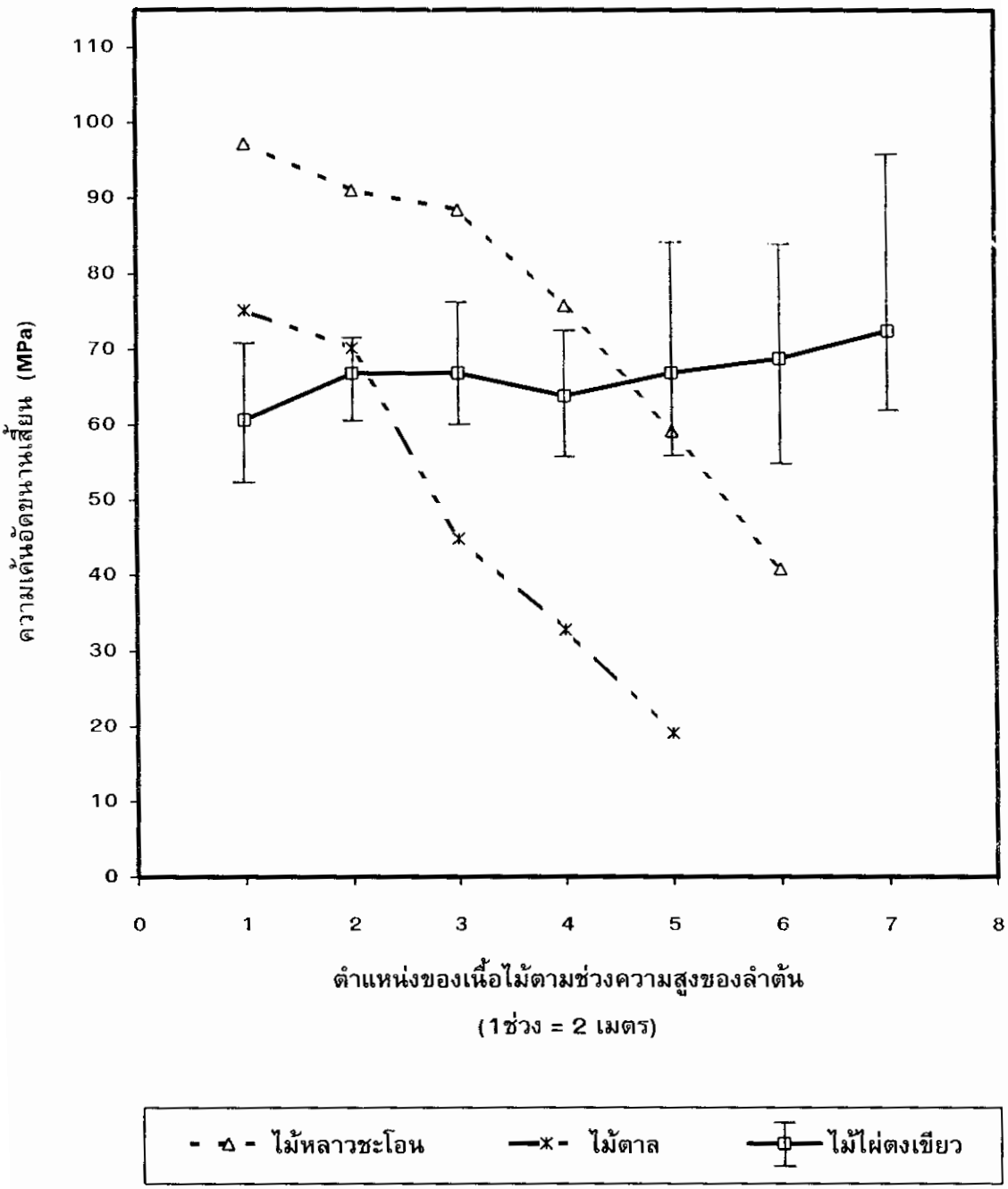
ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสการยืดหยุ่น ของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน และ ไม้ตาล) ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ที่สภาพแห้ง



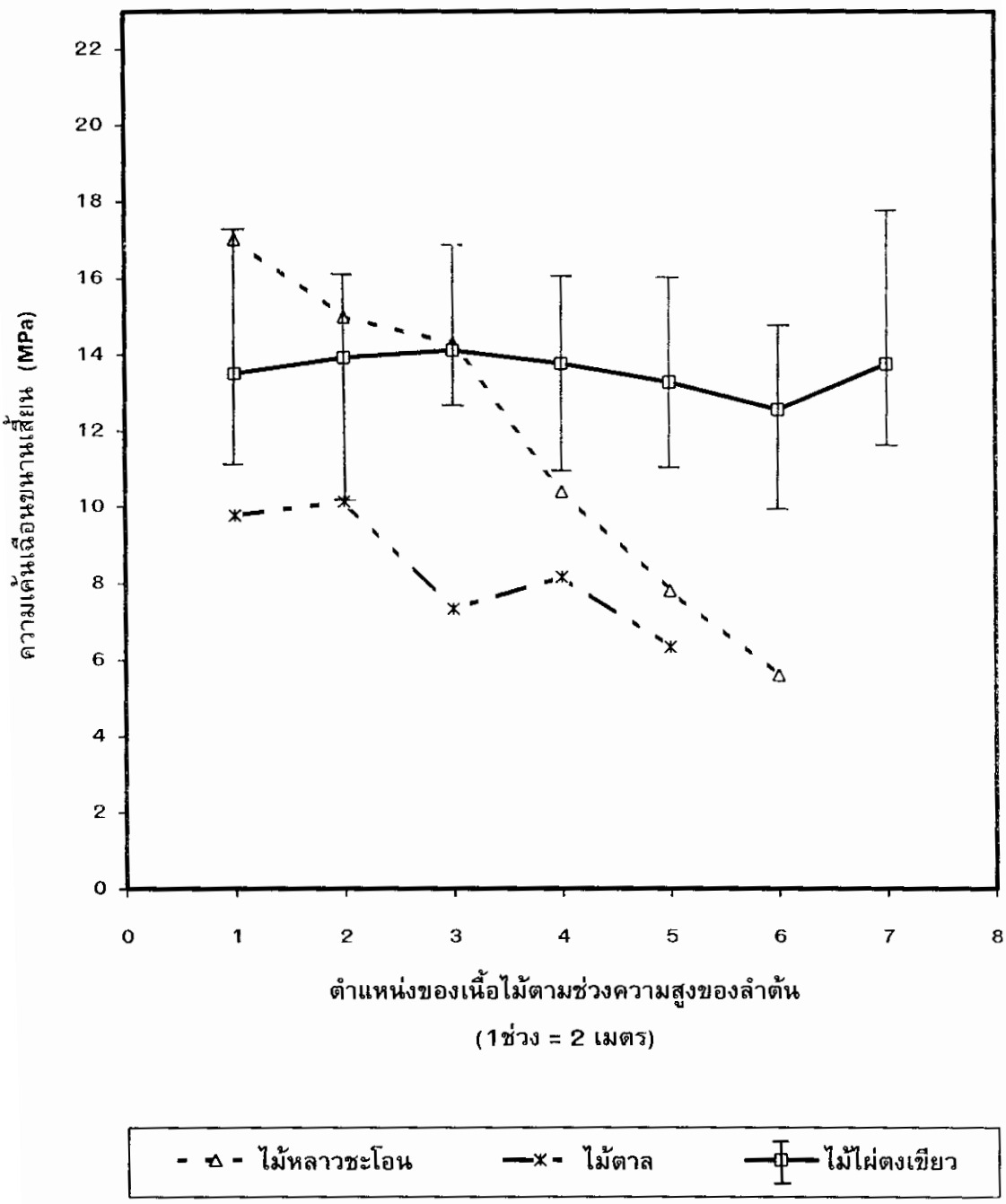
ภาพที่ 25 กราฟเปรียบเทียบความความเหนียวของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน) ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ที่สภาพแห้ง



ภาพที่ 26 กราฟเปรียบเทียบความเค้นดึงขนานเสี้ยน ของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน) ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ที่สภาพแห้ง



ภาพที่ 27 กราฟเปรียบเทียบความเค้นอัดขนานเสี้ยน ของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน และ ไม้ตาล) ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ที่สภาพแห้ง



ภาพที่ 28 กราฟเปรียบเทียบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน ของไม้ไผ่ตงเขียว กับไม้ตระกูลปาล์ม (ไม้หลาวชะโอน และ ไม้ตาล) ตามตำแหน่งช่วงความสูงของลำต้น ที่สภาพแห้ง

สรุป

จากการวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบถึงวิธีการตัดชิ้นไม้ทดสอบสำหรับหาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่เหมาะสมกับลักษณะของลำไม้ไผ่ โดยได้ดัดแปลงจากมาตราฐาน ISO (International Organization for Standardization) ซึ่งได้ใช้ความหนาของปล้องไม้ไผ่เป็นหลักในการหาขนาดสำหรับการตัดชิ้นไม้ทดสอบแบบผ่าซีก และยังทำให้ทราบถึงวิธีการปรับสภาพความชื้นชิ้นไม้ทดสอบให้ได้ความชื้นสมดุลที่ 12% ด้วยสารเคมีคือโซเดียมไนไตรต์ ($NaNO_2$) ในภาชนะปิด ซึ่งง่ายและสะดวกมากกว่าการใช้ตู้ควบคุมบรรยากาศ ที่ต้องใช้ไฟฟ้าและการควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด

จากผลการทดสอบทางด้านกายภาพดังกล่าวข้างต้นทำให้ทราบว่าค่าความชื้นและการหดตัวเป็นปฏิภาคกลับกับความถ่วงจำเพาะ โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้

1. ความชื้นที่สภาพสด	46 %
2. ความถ่วงจำเพาะ	
สภาพสด	0.73
สภาพแห้ง	0.77
สภาพอบแห้ง	0.80
3. การหดตัว	
ด้านสัมผัส	2.53 %
ด้านรัศมี	1.35 %
ด้านความยาว	0.21 %

จากผลการทดสอบหาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ดงเขียวดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าเนื้อไม้ไผ่ดงเขียวมีความแข็งแรงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับความสูงของลำต้นในส่วนของความเค้นดึงขนานเสี้ยน

ในสภาพแห้งและค่าความเหนียว โดยส่วนปลายจะมีความแข็งแรงมากกว่าส่วนโคน สำหรับการดัดสถิต , ความเค้นดึงขนานเสี้ยน และความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของเนื้อไม้ในสภาพแห้งกับความแข็งแรงของไม้หลาวชะโอนและไม้ตาล ปรากฏว่า ความแข็งแรงของเนื้อไม้ไผ่ตงเขียวในระดับความสูงของท่อนปลายมีค่าสูงกว่าไม้หลาวชะโอน และไม้ตาลในทุกวิธีการทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลสรุปได้ดังนี้

1. การดัดสถิต		
1.1 โมดูลัสการแตกหัก	135	MPa
1.2 โมดูลัสการรยืดหยุ่น	13,115	MPa
1.3 ค่าความเหนียว	676	kPa
2. ความเค้นดึงขนานเสี้ยน	314	MPa
3. ความเค้นอัดขนานเสี้ยน	72	MPa
4. ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน	14	MPa

จะเห็นได้ว่าไม้ไผ่ตงมีความแข็งแรงเท่ากันตลอดทั้งความสูง ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการใช้งานได้ทั้งลำ โดยไม่ต้องตัดส่วนปลายทิ้งเหมือนกับไม้หลาวชะโอน และไม้ตาลซึ่งอยู่ในประเภทของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหมือนกัน

ข้อเสนอแนะ

1. จากประสบการณ์ในการไปตัดไม้ไผ่ตงเขียว ผู้วิจัยไม่สามารถทราบถึงอายุในการเติบโตที่แท้จริงของต้นไม้ไผ่ได้ นอกจากคำบอกเล่าของเจ้าของสวนที่ปลูกเท่านั้น เพราะไม้ไผ่ไม่มีวงปีเพื่อนับอายุยืนยันเหมือนกับไม้ไบกว้างและไม้ตระกูลสน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าน่าจะทำการศึกษาอายุการเจริญเติบโตของไม้ไผ่ ซึ่งอาจจะเป็นการนับจำนวน , วัดความยาว , วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของข้อและปล้อง หรือวัดความสูงของลำต้นตั้งแต่ส่วนโคนถึงส่วนปลาย เพื่อหาวิธีนับอายุที่แท้จริงของไม้ไผ่

2. ในการวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหวังในการนำเอาไม้ไผ่ตงไปใช้ประโยชน์สำหรับทำเครื่องเรือน ดังนั้นจึงได้ทดสอบเฉพาะเนื้อไม้ในส่วนของปล้องไม่รวมข้อ ซึ่งผลที่ออกมาเป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างมากเนื่องจากพบว่าไม้ไผ่ตงเขียวมีความแข็งแรงตลอดทั้งลำ นั่นหมายถึงสามารถนำไม้ไผ่ตงเขียวไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งลำโดยไม่ต้องตัดส่วนปลายทิ้ง และผู้วิจัยยังเห็นว่าในส่วนของข้อไม้ไผ่ตงเขียวมีลักษณะการเรียงตัวของเซลล์แตกต่างจากปล้องและยังเป็นส่วนที่งอกของกิ่งแขนง ซึ่งอาจเป็นไปได้ที่ทำให้ความแข็งแรงแตกต่างกับส่วนปล้อง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงสมบัติทางกายวิภาค , ทางกายภาพ และเชิงกลในส่วนของข้อไม้ไผ่ตง ตลอดจนศึกษาผลกระทบของข้อต่อสมบัติต่าง ๆของลำไม้ไผ่ด้วย เพื่อเป็นแนวทางพิจารณาในการเลือกใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมต่อไป

3. ในการสังเกตดูไม้ไผ่ตงเขียวด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ พบว่าในส่วนใกล้เปลือกมีส่วนของกลุ่มมัดท่อน้ำท่ออาหารที่หนาแน่นมาก ซึ่งหมายถึงต้องมีความแข็งแรงสูงด้วย และยังมีผิวหน้าที่เรียบเป็นมันโดยที่น้ำไม่สามารถซึมเข้าได้ จึงควรมีการศึกษาถึงความเหมาะสมในการนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับเคลือบผิวในงานต่าง ๆ เช่นในงานเครื่องเรือน หรืองาน ตบแต่งภายในการแทนไม้อัด

4. ลักษณะค่าความแข็งแรงของไม้จะสูงขึ้นเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่เมื่อมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (Maturity) ซึ่งจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานเป็นอย่างมาก และสำหรับไม้ไผ่ยังไม่มีข้อมูลในด้านนี้ ดังนั้นจึงควรศึกษาสมบัติต่าง ๆของไม้ไผ่ตงที่อายุต่าง ๆ เพื่อทราบว่าไม้ไผ่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ที่อายุเท่าไร

5. ในขณะที่ทำการวิจัยสังเกตเห็นว่ามีมอดเข้าทำลายไม้ไผ่อย่างรุนแรงในส่วนที่ตัดทิ้ง ซึ่งอาจเป็นเพราะไม้ไผ่มีสารอาหารที่มอดชอบกิน ดั้งนั้นถ้าหากทำให้สารอาหารสลายตัวหรือละลายออกจากเนื้อไม้ได้ น่าจะเป็นทางหนึ่งที่ช่วยป้องกันการเข้าทำลายของมอดได้ ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าน่าจะมีการศึกษาวิธีการป้องกันไม่ให้มอดเข้าทำลายไม้ไผ่ตงในแบบที่ง่าย , สะดวก และไม่เสียค่าใช้จ่ายสูงเช่น การนำไปแช่ในน้ำ หรือนำไปต้มในน้ำเดือดเพื่อให้สารอาหารสลายตัวออกมา ก็จะเป็นประโยชน์ในการนำไม้ไผ่ตงไปใช้งานอย่างมาก

6. ปัจจุบันกรมส่งเสริมการเกษตรได้ร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไผ่ตงเพื่อแจกจ่ายให้กับเกษตรกรเป็นจำนวนมาก เพื่อทดแทนไม้ไผ่ที่ตายขุย ซึ่งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นการโคลนนิ่งพืชอย่างหนึ่งที่ยังไม่สามารถทราบถึงสมบัติที่แท้จริงต่างๆ ว่าจะเหมือนหรือแตกต่างจากไม้ไผ่ที่เกิดจากธรรมชาติหรือไม่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงอยากเสนอแนะให้มีการทำการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างไม้ไผ่ที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกับไม้ไผ่ที่เกิดจากธรรมชาติว่าชนิดใดจะดีกว่ากัน

เอกสารอ้างอิง

คำนึง คำอุดม. 2530. ไผ่ตงไผ่หวาน. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ. 80 น.

ดิเรก ลาวัณย์ศิริ และ การุญ จันศทรางศุ. 2527. โครงสร้างดินเสริมไม้ไผ่. โครงการวิจัยเล่มที่ 70-CRA 2524 ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 465 น.

ถาวร วิทรายคำ. 2523. แผ่นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รูปรางน้ำคว่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เทวินทร์ ผาติอุดมภาพ. 2521. การนำคอนกรีตเสริมไม้ไผ่มาใช้สร้างบ้านราคาถูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

นิคม แหลมสัก. 2534. กลสมบัติของไม้หลาวชะโอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญนำ เกี่ยวข้อง. 2528. กลศาสตร์ของไม้และวัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบ. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์, คณะวนศาตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 172 น.

พรรรณนีย์ วิชชาชู. 2538. ถึงวันนี้มีอะไรในก่อไผ่ตง. วารสารเกษตรพัฒนา 3 (34) : 16-21.

มนตรี พรหมโชติกุล และ ศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์. 2528. ความแข็งแรงดัดของไม้ไผ่, น. 199-205. ใน การสัมมนาเรื่องไม้ไผ่ ครั้งที่1. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรวิทย์ จตุรพาณิชย์. 2533. คุณสมบัติเชิงกลบางชนิดของไม้ตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันทนี สาตราคาม. 2515. คุณสมบัติของไม้ไผ่ในประเทศไทยด้านทำเยื่อกระดาษ. *อ้างโดย* วิรัช ชื่นวาริน. ลักษณะโครงสร้าง,องค์ประกอบและสมบัติทางสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ไผ่, น. 157-198. *ใน* การสัมมนาเรื่องไม้ไผ่ ครั้งที่ 1. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วินัย รัศมีจันทร์. 2511. คุณสมบัติบางประการทางสกายและกลสมบัติของไม้ไผ่สีสุก. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 22 น.

วินิต ช่อวิเชียร. 2525. กำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไผ่. วารสารวิศวกรรมสาร 35 (5) : 41-45.

วิรัช ชื่นวาริน. 2528. ลักษณะโครงสร้าง,องค์ประกอบและสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ไผ่, น. 157-198. *ใน* การสัมมนาเรื่องไม้ไผ่ ครั้งที่ 1. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัฒน์. 2535. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางกายวิภาคกับกลสมบัติของไม้หลาวชะโอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สอาด บุญเกิด. 2528. ไม้ไผ่บางชนิดในประเทศไทย. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 198 น.

สุทัศน์ จันทร์แสงเพ็ชร. 2519. ยุ้งข้าวโครงรูปกรวยฉาบด้วยปูนทรายเสริมไม้ไผ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำราญ นวลสวัสดิ์. 2503. คุณสมบัติบางประการทางสกายและกลสมบัติของไม้ไผ่รวก, น. 4. *อ้างโดย* วินัย รัศมีจันทร์. 2511. คุณสมบัติบางประการทางสกายและกลสมบัติของไม้ไผ่สีสุก. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุดม ฉัตรศิริกุล. 2523. พฤติกรรมของระบบแผ่นพื้น-ดงคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไผ่ที่อาบด้วยฟลินท์โคท. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Dean, J. A. 1992. Lange's Handbook of Chemistry. Mc Graw-Hill, Inc., New York. 1407 p.

Durrani, A. J. 1975. A study of bamboo as reinforcement for slab on grade. M. Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

ISO. 1975a. Wood-Sampling methods and general requirement for physical and mechanical tests. ISO 3129-1975 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 4 p.

___. 1975b. Wood-Determination of moisture content for physical and mechanical tests. ISO 3130-1995 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 2 p.

___. 1975c. Wood-Determination of density for physical and mechanical tests. ISO 3131-1975 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 2 p.

___. 1975d. Wood-Determination of ultimate strength in static bending. ISO 3133-1975 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 2 p.

ISO. 1975e. Wood-Determination of ultimate tensile stress parallel to grain. ISO 3345-1975 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 2 p.

___. 1976a. Wood-Test methods-Determination of ultimate stress in compression parallel to grain. ISO 3787-1976 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 2 p.

___. 1976b. Wood-Determination of ultimate shearing stress parallel to grain. ISO 3347-1976 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 2 p.

___. 1981. Wood-Determination of radial and tangential shrinkage. ISO 4469-1981 (E). International Organization for Standardization, Switzerland. 2 p.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านสัมผัสที่สภาพที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	3.4320	1.1440	3.08	0.0537
HEIGHT	6	5.2922	0.8820	2.38	0.0722
ERROR	18	6.6812	0.3712		
TOTAL	27	15.4054			

C.V. = 25.9064 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	0.90	0.95	0.98	0.99	1.01	1.02

ตารางผนวกที่ 2 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านรัศมีที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	9.4524	3.1508	12.13	0.0010
HEIGHT	6	5.1752	0.8625	3.32	0.0222
ERROR	18	4.6741	0.2597		
TOTAL	27	19.3017			

C.V. = 37.6174 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	0.76	0.79	0.82	0.83	0.85	0.86

ตารางผนวกที่ 3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านความยาวที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	0.0847	0.0282	0.93	0.4456
HEIGHT	6	0.3517	0.0586	1.94	0.1296
ERROR	18	0.5451	0.0303		
TOTAL	27	0.9815			

C.V. = 83.7630 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	0.26	0.27	0.28	0.28	0.28	0.29

ตารางผนวกที่ 4 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านสัมผัสที่สภาพอบแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	2.1046	0.7015	1.74	0.1943
HEIGHT	6	3.8640	0.6440	1.60	0.2046
ERROR	18	7.2486	0.4027		
TOTAL	27	13.2172			

C.V. = 14.9055 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	0.94	1.99	1.02	1.04	1.05	1.07

ตารางผนวกที่ 5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียว ของการหดตัวด้านรัศมีที่สภาพอบแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	4.9332	1.6444	6.06	0.0049
HEIGHT	6	7.8878	1.3146	4.84	0.0042
ERROR	18	4.8864	0.2715		
TOTAL	27	17.7074			

C.V. = 20.2979 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	0.77	0.81	0.84	0.85	0.87	0.87

ตารางผนวกที่ 6 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของการหดตัวด้านความยาวที่สภาพอบแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	0.3617	0.1206	2.10	0.1360
HEIGHT	6	0.5098	0.0849	1.48	0.2406
ERROR	18	1.0334	0.0574		
TOTAL	27	1.9049			

C.V. = 81.0273 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	0.36	0.37	0.39	0.39	0.40	0.40

ตารางผนวกที่ 7 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของโมดูลัสการแตกหักที่สภาพสด

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	1,309.2155	436.4052	5.85	0.0769
HEIGHT	6	1,042.3449	173.7242	2.33	0.0057
ERROR	18	1,343.1561	74.6198		
TOTAL	27	3,694.7165			

C.V. = 7.9678 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	12.81	13.45	13.89	14.14	14.34	14.49

ตารางผนวกที่ 8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ดงเขียวของโมดูลัสการแตกหักที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	1,596.2400	532.0800	14.19	0.0001
HEIGHT	6	86.0100	14.3400	0.38	0.8808
ERROR	18	675.0900	37.5000		
TOTAL	27	2,357.3400			

C.V. = 4.6269 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	9.08	9.54	9.85	10.03	10.17	10.28

ตารางผนวกที่ 9 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของโมดูลัสการยืดหยุ่นที่สภาพสด

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	23,228,046.6300	7,742,682.2100	2.79	0.0700
HEIGHT	6	18,013,501.6700	3,002,250.2800	1.08	0.4090
ERROR	18	49,898,839.4200	2,772,157.7500		
TOTAL	27	91,140,387.7200			

C.V. = 14.1154 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	2,470.00	2,593.00	2,678.00	2,726.00	2,764.00	2,794.00

ตารางผนวกที่ 10 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของโมดูลัสการยืดหยุ่นที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	15,776,726.4800	5,258,908.8300	4.27	0.0192
HEIGHT	6	3,726,000.8300	621,000.1400	0.50	0.7970
ERROR	18	22,162,761.9000	1,231,264.5500		
TOTAL	27	41,665,489.2100			

C.V. = 8.8561 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	1646.00	1728.00	1785.00	1817.00	1842.00	1862.00

ตารางผนวกที่ 11 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของค่าความเหนียวที่สภาพสด

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	22,385.8766	7,461.9589	1.88	0.1685
HEIGHT	6	253,590.9218	42,265.1536	10.67	0.0010
ERROR	18	71,296.7625	3,960.9313		
TOTAL	27	347,273.5609			

C.V. = 16.5216 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	93.40	98.00	101.20	103.10	104.50	105.60

ตารางผนวกที่ 12 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของค่าความเหนียวที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	23,982.3623	7,994.1208	3.20	0.0481
HEIGHT	6	340,989.7703	56,831.6284	22.77	0.0001
ERROR	18	44,920.0654	2,495.5592		
TOTAL	27	409,892.1980			

C.V. = 11.3997 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	74.10	77.79	80.34	81.80	82.94	83.82

ตารางผนวกที่ 13 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นดึงขนานเสี้ยนที่สภาพสด

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	15,397.8434	5,132.6145	6.33	0.0040
HEIGHT	6	8,218.8183	1,369.8031	1.69	0.1808
ERROR	18	14,589.6807	810.5378		
TOTAL	27	38,206.3424			

C.V. = 11.3713 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	42.23	44.33	45.79	46.62	47.27	47.77

ตารางผนวกที่ 14 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นดึงขนานเสี้ยนที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	9,834.0186	3,278.0062	6.33	0.0110
HEIGHT	6	12,211.2771	2,035.2129	3.93	0.0040
ERROR	18	9,318.5679	517.6982		
TOTAL	27	31,363.8336			

C.V. = 8.2898 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	33.75	35.43	36.59	37.26	37.78	38.18

ตารางผนวกที่ 15 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นอัดขนานเสี้ยนที่สภาพสด

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	211.4573	70.4858	4.26	0.0193
HEIGHT	6	617.1932	102.8655	6.22	0.0011
ERROR	18	297.5998	16.5333		
TOTAL	27	1,126.2503			

C.V. = 7.5474 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	6.03	6.33	6.54	6.66	6.75	6.82

ตารางผนวกที่ 16 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นอัดขนานเสี้ยนที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	203.3179	67.7727	2.90	0.0634
HEIGHT	6	330.0813	55.0135	2.35	0.0744
ERROR	18	420.6624	23.3701		
TOTAL	27	954.0616			

C.V. = 7.2592 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	7.17	7.53	7.78	7.92	8.03	8.11

ตารางผนวกที่ 17 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนที่สภาพสด

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	4.0929	1.3643	5.09	0.0100
HEIGHT	6	15.2691	2.5448	9.50	0.0001
ERROR	18	4.8235	0.2679		
TOTAL	27	24.1855			

C.V. = 5.9808 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	0.76	0.81	0.83	0.85	0.86	0.87

ตารางผนวกที่ 18 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแตกต่างช่วงความสูงของลำต้นไม้ไผ่ตงเขียวของความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนที่สภาพแห้ง

Source	DF	SS	MSE	F	Pr>F
TREE	3	3.3824	1.1275	1.05	0.3941
HEIGHT	6	6.3032	1.0505	0.98	0.4673
ERROR	18	19.3063	1.0726		
TOTAL	27	28.9919			

C.V. = 7.6662 %

Number of Means	2	3	4	5	6	7
LSR (0.05)	1.54	1.61	1.67	1.70	1.72	1.74