บทที่ 3

การทำชิ้นทดสอบและวิธีการทดลอง

3.1 บทนำ

การทำโอเอสแอลในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยอ้างอิงจากกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม แตกต่างกันเพียงรูปแบบการเรียงแถบไม้ เครื่องมือสำหรับเรียงแถบไม้จึงจัดทำขึ้นเป็นพิเศษ กระบวนการอัดร้อนก็ต้องดัดแปลงให้เหมาะสมกับขนาดของแผ่นโอเอสแอล เมื่อได้ชิ้นทดสอบแล้วจะนำไปปรับความชื้นในห้องควบคุมบรรยากาศก่อนนำไปทดสอบหาความแข็งแรงการดัดสถิตย์ การดึง และการอัดตามมาตรฐาน แผนการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อจัดระบบการทดลองให้มีความแม่นยำทางสถิติมากขึ้น แผนการทดลองจะแตกต่างกันระหว่างการทดสอบการดัด กับ การทดสอบการดึงและการอัด ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงแตกต่างกัน

3.2 การทำโอเอสแอลในห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธีการทำโอเอสแอลในห้องปฏิบัติการมีขั้นตอนเริ่มจากการเตรียมแถบไม้ จากนั้นนำไปผสมกาว แล้วเรียงแผ่นเตรียมอัด และอัดร้อนเป็นขั้นตอนสุดท้าย

3.2.1 การเตรียมแถบไม้ (Strand Preparation)

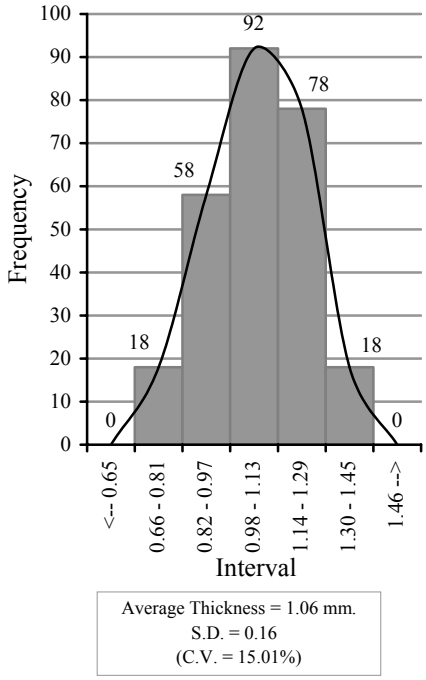
ไม้ที่นำมาทำแถบไม้ (strand) ได้จากเศษไม้บาง (veneer) ที่ผลิตโดยการปอก (peeling) และอบแห้งแล้ว ตัดให้ได้ความยาวตามแนวเสี้ยน 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ความกว้าง 1.5 เซนติเมตรตามรูป Fig.3.1(a) คัดความหนาอยู่ในช่วง 0.7–1.3 มิลลิเมตร เมื่อสุ่มวัดความหนาจากแถบไม้ 264 ชิ้น ความหนาเฉลี่ย 1.06 มิลลิเมตร มีการกระจายดังรูป Fig.3.1(b) แถบไม้จะถูกอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103±2°C เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปผสมกาว

3.2.2 การผสมกาว (Blending)

กาวที่ใช้คือ pMDI (Polymeric Diphenylmethane Diisocyanate) เป็นกาวที่ใช้ในอุตสากรรมไม้ประกอบในปัจจุบัน มีข้อดีหลายประการคือสามารถใช้ในช่วงปริมาณความชื้นที่สูงกว่า ระยะเวลาอัดน้อยกว่าและเพิ่มสมบัติเชิงกลสูงกว่ากาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (phenol formaldehyde) แต่ก็มีข้อเสียคือเป็นพิษและราคาแพง แม้ว่าราคาจะแพงแต่ด้วยสมบัติการยึดเกาะที่ดีกว่า จึงสามารถใช้กาว pMDI ในปริมาณที่น้อยกว่ากาวฟีนอลได้ กาว pMDI ที่ใช้ในโครงงานวิจัยนี้มีชื่อทางการค้าคือ Atac 900 10 นำมาผสมคู่กับตัวทำแข็งที่มีชื่อทางการค้าว่า Atac Harderner 500 10 ในอัตราส่วน 100 : 15 โดยน้ำหนัก กาวที่ผสมเข้ากันดีแล้วกับตัวทำแข็งจะนำมาผสมน้ำอีกครั้งหนึ่งเพื่อปรับให้แถบไม้มีความชื้นที่ 12% ปริมาณกาวที่

ใช้เท่ากับ 5% ของน้ำหนักไม้อบแห้ง อัตราส่วนผสมระหว่างไม้ น้ำและกาวแสดงไว้ดัง Table 3.1 แถบไม้ถูกนำไปใส่ไว้ในถังหมุนและกาวที่ผสมน้ำแล้วจะถูกพ่นด้วยหัวพ่นกาวขณะที่ถังหมุนอยู่ ทำให้กาวผสมคลุกเคล้ากับแถบไม้ได้อย่างทั่วถึง ถังหมุนและหัวพ่นกาวแสดงไว้ดัง Fig.3.2(a) และ Fig.3.2(b) ตามลำดับ

(a)



(b)

Fig.3.1 (a) 5 cm, 10 cm, 15 cm of strand ordered from left to right respectively
(b) strand thickness distribution

Table 3.1 Mass fraction of OSL consisted of dried strand, water, and glue

Constitution		Mass Fraction (%)	
Dried Strand		100	
Water		12	
Glue	pMDI	$\frac{100}{115}\times 5$	} equal to 5
	Hardener	$\frac{15}{115}\times 5$	

(a) (b)

Fig. 3.2 (a) Rotary drum for glue blending (b) Spray gun

3.2.3 <u>การเรียงแผ่นเตรียมอัด</u> (Mat Forming)

แถบไม้ในแผ่นเตรียมอัด (form mat) ถูกเรียงด้วยมือ โดยใช้เครื่องเรียงที่ทำขึ้นเองโดยมีส่วนประกอบหลักดัง Fig.3.3 คือ (a) กล่องควบคุมพื้นที่อัด (b) กรอบอ้างอิง (c) แขนวัดมุม (d) แผ่นเรียงมุมที่เลื่อนไปตามแขนวัดมุมและปรับขึ้นลงได้ตามความหนาของแผ่นเตรียมอัด และ (e) แผ่นรางเลื่อนสำหรับวางแผ่นเตรียมอัด

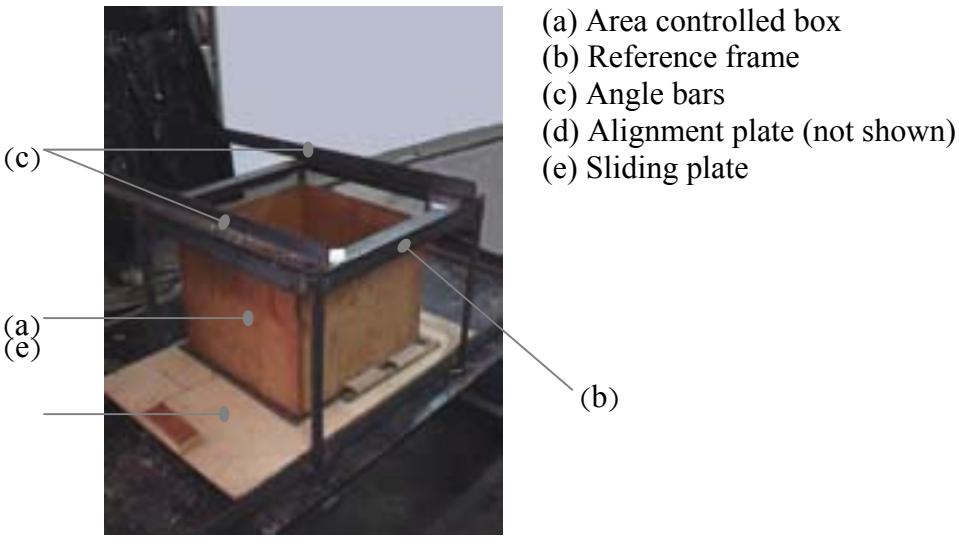


Fig. 3.3 Apparatus for strand orienting by hand

กล่องควบคุมพื้นที่อัดมีพื้นที่หน้าตัด 35 ×35 ตารางเซนติเมตร แผ่นเตรียมอัดวางอยู่บนแผ่นรองอัดที่เคลือบด้วย releasing agent ของ Casco Adhesives Co.,Ltd. รหัสสินค้า 4444 ซึ่งเป็นตัวป้องกันไม่ให้แผ่นผลิตภัณฑ์ติดกับแผ่นรองอัดหลังการอัดร้อน เมื่อเรียงเสร็จแผ่นเตรียมอัดมีความสูงประมาณ 9 เซนติเมตร การเรียงต้องให้เสร็จภายใน 2 ชั่วโมง หลังการผสมกาว เนื่องจากอายุกาว (pot life) ระหว่าง 120-150 นาที

3.2.4 <u>การอัดร้อน</u> (Hot Pressing)

เครื่องอัดร้อนที่ใช้เป็นแบบแผ่นอัดแบนราบ ควบคุมความดันด้วยระบบไฮดรอลิก เครื่องอัดร้อนได้รับความร้อนจากขดลวดความร้อนที่ติดตั้งไว้ในแผ่นอัดด้านบนและแผ่นอัดด้านล่าง ใช้แท่งเหล็กตันหนา 22 มิลลิเมตรเป็นตัวหยุด (stopper) เพื่อควบคุมความหนาของแผ่นไม้ แผ่นอัดตั้งอุณหภูมิอัดร้อนไว้ที่ 150 °C เมื่ออุณหภูมิเริ่มคงที่จะเริ่มขั้นตอนการอัดร้อน ใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ ณ แกนกลางแผ่นไม้ขณะถูกอัดร้อนในช่วงเวลาที่ 0 ถึง 13 นาทีแสดงไว้ดัง Fig.3.4 หลังนาทีที่ 13 อุณหภูมิแกนกลางแผ่นไม้จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 150 °C

ความดันที่ใช้แบ่งเป็น 3 ช่วงเพื่อป้องกันการคืนตัว (springback) (Moslemi, 1974; Barnes, 1979; Maloney, 1993) ตาม Fig. 3.5 ช่วงแรกใช้เวลา 90 วินาที ตั้งแต่แผ่นอัดร้อน (hot plate) สัมผัสแผ่นเตรียมอัด (mat forming) จนได้ความหนา 22 มิลลิเมตร (press closing time) ที่ความดันสูงสุด 9 MPa (ความดันที่อ่านได้จากระบบไฮดรอ-ลิก (gauge pressure) ประมาณ 550 kgf/cm^2 โดยคำนวณจากพื้นที่กระบอกไฮดรอลิกมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 31.16 in^2 และพื้นที่อัดจริงที่เท่ากับ 35 ×35 ตารางเซนติเมตร) ควบคุมให้ความดันคงที่เป็นเวลาประมาณ 7 นาที จากนั้นช่วงที่ 2 ลดความดันลงมาที่ 6 MPa (ความดันเกจเท่ากับ 360 kgf/cm^2) ควบคุมให้ความดันคงที่อีกเป็นเวลาประมาณ 8 นาที และช่วงสุดท้ายลดความดันลงมาที่ 3.5 MPa (ความดันเกจเท่ากับ 210 kgf/cm^2) ควบคุมให้ความดันคงที่อีกเป็นเวลาประมาณ 8 นาที รวมเวลาทั้งสิ้นประมาณ 26 นาที จึงนำแผ่นผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงก่อนนำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบ

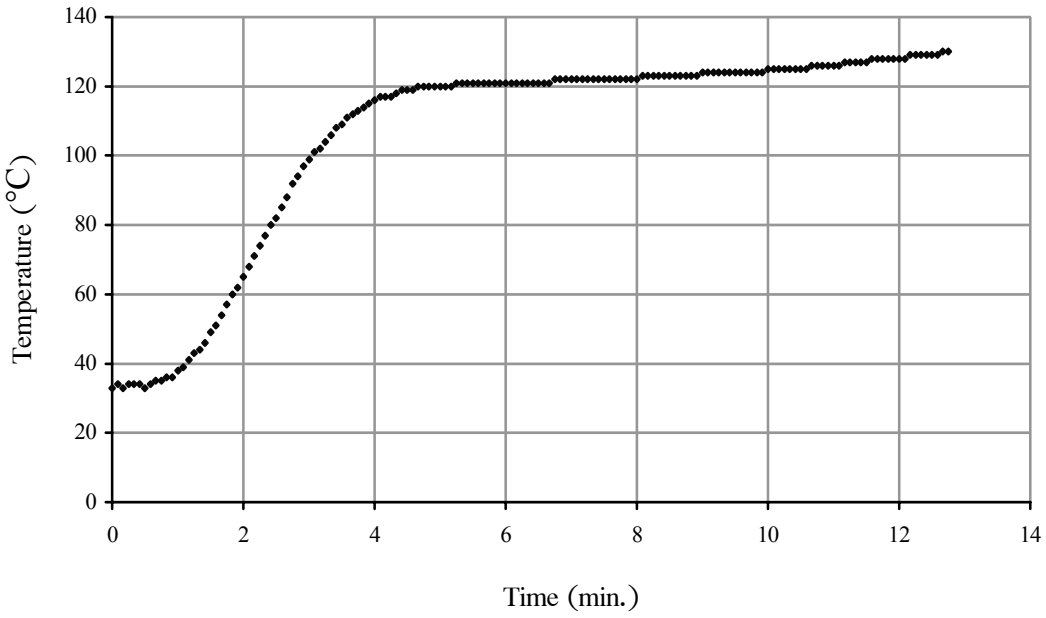


Fig. 3.4 Temperature at the core of OSL mat during hot pressing process

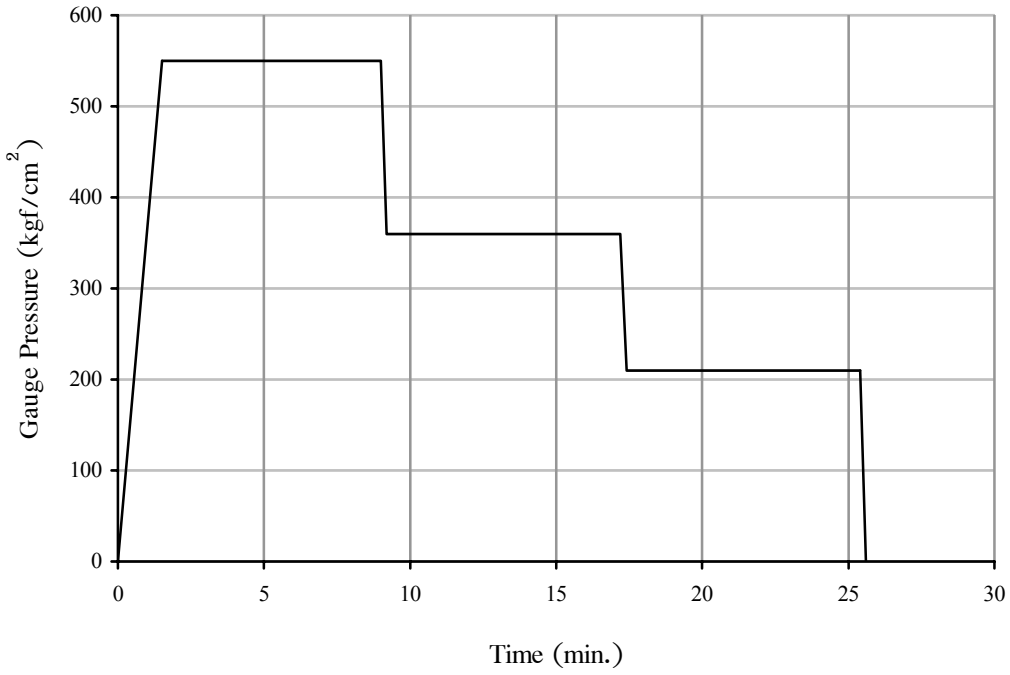


Fig. 3.5 Pressure steps during hot pressing process

3.3 การวางแผนการทดลอง

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบการดัดสถิตย์ และการทดสอบการดึงและอัด ใช้แผนการทดลองที่ต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักของการทดสอบนั้น ๆ

การทดสอบการดัดสถิตย์ ใช้การทดลองแบบ 3×3แฟคตอเรียล ที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (3×3 Factorial Experimental in Completely Randomized Design) ทดลองเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของการเรียงมุมแถบไม้และความยาวแถบไม้ต่อความแข็งแรงดัด ดังนั้นแผนการทดลองจึงมีสองปัจจัยหลักคือ ความยาวแถบไม้และการเรียงมุม โดยปัจจัยแรกมี 3 ระดับคือ ความยาวแถบไม้ 5 10 และ 15 เซนติเมตร ใช้สัญลักษณ์ V Xและ XV ตามลำดับ และปัจจัยที่สองมี 3 ระดับคือ แบบที่ 0 (Type 0) การเรียงแถบไม้ตามยาวทั้งหมด (0° ทุกชั้น) แบบที่ I (Type I) การเรียงแถบไม้ตลอดความหนา 20 ชั้น และแบบที่ II (Type II) การเรียงแถบไม้เฉพาะที่ผิวด้านนอก 10 ชั้นส่วนแกนกลาง 10 ชั้นเรียงแถบไม้ตามยาว จึงได้ทรีตเมนท์คอมบิเนชั่นทั้งหมด 9 แบบ แต่ละทรีตเมนต์คอมบิเนชั่นทำการทดลอง 3 ชิ้น ดังนั้นใช้ชิ้นทดสอบทั้งหมด 27 ชิ้น แผนการทดลองสรุปได้ดัง Table 3.2

Table 3.2 Experimental design for bending test

Specimen	Strand Orientation								
	Type 0			Type I			Type II		
	Strand Length								
	V	X	XV	V	X	XV	V	X	XV
No.1									
No.2									
No.3									

แบบการเรียงมุม 3 แบบคือ

(ก) แบบ 0 (Type 0) การเรียงแถบไม้ตามยาวทั้งหมด (0° ทุกชั้น) การเรียงมุมแถบไม้แต่ละชั้นจึงเป็นดังนี้

$[\,0°, 0°, 0°, 0°, 0, 0°, 0°, 0°, 0°, 0]_A$

(ข) แบบ I (Type I) การเรียงแถบไม้ตลอดความหนา 20 ชั้น เรียงมุมแบบไขว้สมมาตรและค่ามุมในแต่ละชั้นดังนี้

$[\,29°, 25°, 21°, 16°, 9°, 0°, -6°, -8°, -6°, -11°]_A$

(ค) แบบ II (Type II) การเรียงมุม 10 ชั้นเป็นการเรียงมุมแบบไขว้สมมาตรเช่นกัน แต่ค่ามุมในแต่ละชั้นเป็นดังนี้

$[\,26°, 22°, 18°, 12°, 5°, 0°, 0°, 0°, 0°, 0]_A$

การทดสอบการดึงและการอัดใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ใช้โอเอสแอลที่ทำแบบที่ 0 (Type 0) การเรียงแถบไม้ 0° ทุกชั้น ทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อความยาวของแถบไม้ที่มี 3 ความยาวคือ 5 10 และ 15 เซนติเมตร แบ่งเป็น 4 การทดลองย่อยคือ การดึงตามเสี้ยน การดึงตั้งฉากเสี้ยน การอัดตามเสี้ยน และการอัดตั้งฉากเสี้ยน ทำการทดสอบ 3 ชิ้นในแต่ละการทดลอง ดังนั้นใช้ชิ้นทดสอบทั้งหมด 36 ชิ้น จากแผ่นโอเอสแอล 9 แผ่น แผนการทดลองทั้ง 4 การทดลองย่อยสามารถสรุปได้ดัง Table 3.3

Table 3.3 Experimental design for tension and compression test

Specimen	Strand Length		
	V	X	XV
No.1			
No.2			
No.3			

ความหนาแน่นของแผ่นโอเอสแอลถูกกำหนดให้มีความหนาแน่นสูงกว่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราจริงประมาณ 10% เมื่อความหนาแน่นของไม้ยางพาราจริงประมาณ 700 kg/m^3 ความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นจึงเท่ากับ 800 kg/m^3

โครงงานวิจัยนี้ทำชิ้นทดสอบหนา 20 มิลลิเมตรซึ่งถูกกำหนดด้วยพื้นที่อัดร้อนของเครื่องอัดร้อน จากการค้นหามาตรฐานการทดสอบการดัดสถิตย์สำหรับมาตรฐาน JIS A5908-1994 กำหนดความยาวชิ้นทดสอบเท่ากับ 15 เท่าของความหนา ในขณะที่มาตรฐาน ASTM D1037-99 กำหนดความยาวชิ้นทดสอบเท่ากับ 20 เท่าของความหนา ความหนาของแต่ละชั้นการเรียงแถบไม้ถูกกำหนดด้วยความหนาของตัวแถบไม้เอง (1 มม.) ถ้าเลือกใช้ตามมาตรฐาน JIS จะได้ชิ้นทดสอบมีความหนา 20 มม. (20 ชั้น ความยาว 30 ซม.) แต่ถ้าเลือกใช้ตามมาตรฐาน ASTM จะได้ชินทดสอบที่มีความหนาเพียง 15 มม. (15 ชั้น ความยาว 30 ซม.) การเรียงแถบไม้ 20 ชั้นจะได้ความแข็งแรงสูงกว่าการเรียง 15 ชั้น แต่เนื่องจากตามมาตรฐาน JIS ไม่มีการทดสอบสำหรับการดึงและการอัด ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงเลือกการทดสอบการดัดสถิตย์ตามมาตรฐาน JIS A5908-1994 และการทดสอบการดึงและการอัดใช้ตามมาตรฐาน ASTM D1037-99

3.4 **<u>การเตรียมชิ้นทดสอบ</u>**

แผ่นไม้โอเอสแอลถูกทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ 27 แผ่น แบ่งเป็น Type 0 9 แผ่น Type I 9 แผ่น และ Type II 9 แผ่น ชิ้นทดสอบจะถูกตัดจากแผ่นโอเอสแอลที่ทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อการคงสภาพของแผ่น

แผ่นโอเอสแอล Type 0 แต่ละแผ่นจะตัดเป็นชิ้นทดสอบ 3 ชุดคือ

ชุดที่ 1) ชิ้นทดสอบสำหรับการดัดสถิตย์ 1 ชิ้นในแนวตามเสี้ยนเพียงแนวเดียว

ชุดที่ 2) ชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบการดึง 2 ชิ้น คือในแนวตามเสี้ยนและแนวตั้งฉากกับเสี้ยน

ชุดที่ 3) ชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบการอัด 2 ชิ้นคือในแนวตามเสี้ยนและแนวตั้งฉากกับเสี้ยน

แผ่นโอเอสแอล Type I และ Type II แต่ละแผ่นจะตัดเป็นชิ้นทดสอบสำหรับการดัดสถิตย์เพียง 1 ชิ้นในแนวตามยาวของคานโอเอสแอล

ชิ้นทดสอบการดัดสถิตย์ถูกตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน JIS A5908-1994 ขัดผิวให้ได้ความหนา 20 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 35 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร

ชิ้นทดสอบการดึงและอัดตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D1037-99 ชิ้นทดสอบการดึงมีรูปร่างและขนาดดัง Fig. 3.6 แผ่นโอเอสแอลที่ถูกตัดให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการจะถูกตัดแบ่งครึ่งตามความหนาอีกครั้งหนึ่งให้ได้ชิ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 7 มิลลิเมตร

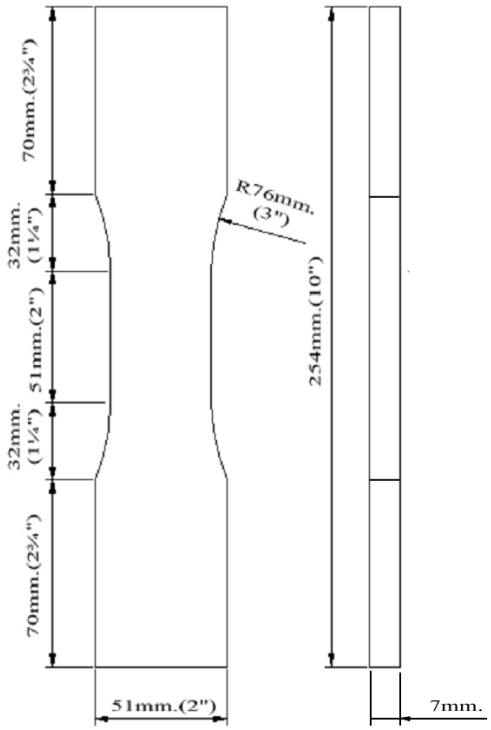


Fig. 3.6 Dimension of specimen in tension test

ชิ้นทดสอบการอัดตัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมให้ได้ความกว้างเท่ากับความหนาคือ 20 มิลลิเมตร และความยาวเป็น 4 เท่าของความหนาคือ 80 มิลลิเมตร

ก่อนนำไปทดสอบ ชิ้นทดสอบจะถูกปรับความชื้นในห้องควบคุมบรรยากาศที่อุณหภูมิ 20±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65±1% โดยทิ้งไว้จนอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นทดสอบไม่เกิน 0.1% ของน้ำหนักเริ่มต้น

3.5 การทดสอบ

การทดสอบหาความแข็งแรงของโอเอสแอลในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็นสองส่วนคือ 1)การทดสอบการดัดสถิตย์ เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงที่ได้ทางทฤษฎีกับค่าที่ได้จากการทดลองและ 2)การทดสอบการดึงและการอัด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบโอเอสแอลกับไม้จริง ใช้เครื่องทดสอบ universal testing machine รุ่น LR 150k ของ LLOYD Instrument ขนาด 150 kN (33000 lbf) หัวทดสอบสามารถเปลี่ยนได้ หัวอ่านค่าแรง (load cell) ขนาด 100 kN วิเคราะห์ข้อมูลด้วย NEXYGEN™ Data Analysis Software

3.5.1 การทดสอบการดัดสถิตย์

การทดสอบการดัดสถิตย์เป็นไปตามมาตรฐาน JIS A5908-1994 ในงานวิจัยนี้ทดสอบเฉพาะการดัดสถิตย์ในแนวตามยาวของแผ่นเท่านั้นและทดสอบเฉพาะการดัดในสภาวะแห้งเพียงอย่างเดียว เครื่องทดสอบการดัดสถิตย์แสดงดัง Fig. 3.7. การดัดเป็นแบบการดัด 3 จุด (3 points bending) TG362 300kN หัวกดและจุดรองรับมีลักษณะเป็นลูกกลิ้ง

Fig. 3.7 Bending testing machine

3.5.2 <u>การทดสอบการดึงและการอัด</u>

การทดสอบการดัดและการดึงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1037-99 ทดสอบทั้งในแนวตามเสี้ยนและตั้งฉากเสี้ยนในสภาวะแห้งเท่านั้น เครื่องทดสอบการดึงและการอัดแสดงดัง Fig.3.8 และ Fig.3.9 ตามลำดับ

Fig. 3.8 Tension testing machine

วิธีการทดสอบการดึงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1037-99 Tensile Strength Parallel to Surface ใช้หัวจับชิ้นทดสอบ TG280 50kN (11241 lbf) ผิวที่จับชิ้นทดสอบถูกทำขึ้นใหม่เพื่อไม่ให้ชิ้นทดสอบเกิดการเลื่อนหลุดขณะทดสอบ เมื่อแรงดึงเพิ่มขึ้นหัวจับจะยึดชิ้นทดสอบแน่นขึ้นเอง (self-tightening grips)

วิธีการทดสอบการอัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1037-99 Compression Strength Parallel to Surface ระนาบหัวกดรองรับด้วยหัวบอล (spherical loading block ใน Fig.3.9 คือส่วนที่เป็นสีดำ) ที่ปรับระนาบสัมผัสได้เพื่อให้แนวแรงผ่านชิ้นทดสอบในแนวดิ่งอย่างแท้จริง (self-aligning type)

Fig. 3.9 Compression testing machine

การทดสอบจะกระทำจนกระทั่งชิ้นทดสอบเกิดการวิบัติ หลังจากนั้นจะตัดชิ้นตัวอย่างจากชิ้นทดสอบตรงส่วนที่อยู่ใกล้กับรอยวิบัติมากที่สุดเพื่อนำไปหาความหนาแน่น และปริมาณความชื้นในชิ้นทดสอบ ยกเว้นในกรณีของการทดสอบการอัดที่ต้องวัดความหนาแน่นก่อนการทดสอบและหลังจากทดสอบจนเกิดการวิบัติแล้วจึงนำชิ้นทดสอบทั้งชิ้นไปอบแห้งเพื่อหาปริมาณความชื้น ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) อีกด้วย

3.5.3 ความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบ

3.5.3.1 การอบแห้ง หาได้โดยนำชิ้นตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103±2°C ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมงหรือมากกว่า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นก่อนนำไปชั่งน้ำหนักและทดสอบ

3.5.3.2 ความหนาแน่น หาได้โดยชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักและปริมาตรคือความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่าง

3.5.3.3 ปริมาณความชื้น โดยชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบและหลังการ อบแห้ง อัตราส่วนระหว่างผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการอบต่อน้ำหนักหลังอบคือปริมาณความชื้นในชิ้นตัวอย่าง

3.6 สรุป

แผนการทดลองถูกกำหนดขึ้นแยกออกเป็น 2 แผนการทดลองโดยการทดสอบการดัดสถิตย์ใช้การทดลองแบบ 3×3 แฟคตอเรียล ที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด และการทดสอบการดึงและการดัดใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ชิ้นทดสอบทำขึ้นในห้องปฏิบัติการโดยอ้างอิงกระบวนการผลิตที่ใช้อยู่ทั่วไปในระดับอุตสาหกรรมการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน JIS A5908-1994 สำหรับการทดสอบการดัดสถิตย์และ ASTM D1037-99 สำหรับการทดสอบการดึงและการดัด ผลการทดสอบที่ได้จะนำเสนอในบอทต่อไป