

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากต้นไม้มาเป็นเวลานานแล้ว เพราะต้นไม้สามารถตอบสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ได้อย่างครบถ้วน เป็นทั้งอาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค และใช้เป็นที่อยู่อาศัย ต้นไม้ยังให้ร่มเงาและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สร้างก๊าซออกซิเจนให้แก่โลกอีกด้วย ต้นไม้ใหญ่ถูกแปรรูปเป็นไม้ท่อนก่อนที่จะทำเป็นไม้โครงสร้างเพื่อทำเป็นที่อยู่อาศัย เนื่องจากสามารถปลูกต้นไม้ขึ้นใหม่ได้ และการแปรรูปมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับซีเมนต์หรือเหล็ก การนำไม้มาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างจึงมีความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า

ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง ทรัพยากรไม้ถูกใช้ไปมากจนไม่สามารถปลูกทดแทนได้ทันใช้งาน จึงมีการพัฒนาแผ่นไม้อัด (plywood) มีลักษณะเป็นไม้แผ่นประกอบ เพื่อทำพื้น ผนัง และหลังคาแทนไม้แผ่นแปรรูป (lumber) และพัฒนาเรื่อยมาเป็นแผ่นชั้นไม้อัด (particleboard) แผ่นไม้อัดประกอบ (COM-PLY® Panels) แผ่นชั้นไม้สับ (flakeboard) และแผ่นแถบไม้อัดเรียงเสี้ยนหรือโอเอสบี (oriented strand board : OSB) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โอเอสบีถูกใช้งานมากขึ้นเนื่องจากความแข็งแรงที่เท่ากับแผ่นไม้อัดแต่ต้นทุนการผลิตถูกกว่า

ไม้ประกอบนอกจากจะนำมาใช้แทนไม้แปรรูปที่ทำเป็นแผ่นกระดานแล้วยังได้พัฒนาเป็นไม้ประกอบโครงสร้าง (structural composite lumber) เช่น คานหรือเสา ซึ่งได้พัฒนามาตั้งแต่ต้นทศวรรษที่ 1970 ยกตัวอย่างที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ ไม้บางประกบหรือแอลวีแอล (laminated veneer lumber : LVL) ทำจากแผ่นไม้บาง แผ่นแปรรูปไม้ประกอบ (COM-PLY® Lumber) แผ่นแปรรูปแถบไม้อัดขนานหรือพีเอสแอล (parallel strand lumber : PSL) ทำจากเศษไม้บาง (veneer) แผ่นแปรรูปแถบไม้อัดเรียงเสี้ยนหรือโอเอสแอล (oriented strand lumber : OSL) ทำจากแถบไม้ (strand) ที่ได้จากไม้ท่อนขนาดเล็ก (Malony, 1996) และยังสามารถพัฒนาขั้นตอนการผลิตได้จากกระบวนการผลิตโอเอสบีอีกด้วย และเนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบง่ายกว่าพีเอสแอลที่ต้องปอกไม้เป็นแผ่นบางและไม้ต้องการไม้ท่อนที่มีขนาดใหญ่ โอเอสแอลจึงถูกพิจารณาเพื่อทำไม้ประกอบในงานวิจัยนี้

ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมไม้ยางพารา ใช้ไม้ที่ตัดโค่นจากต้นยางพาราที่หมดอายุให้น้ำยางเพื่อทำเครื่องเรือน และมีเศษเหลือจำนวนมาก โดยมีการประมาณว่าสวนยางพาราได้ไม้ 45 ลบ.ม.ต่อไร่ (100%) เป็นไม้ท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 15 ซม. 24.3 ลบ.ม. (54%) ปีกไม้และขี้เลื่อยจากการแปรรูปในโรงเรื้อย 10.8 ลบ.ม. (24%) และ ส่งเข้าโรงงานทำ

เครื่องเรือน 9.9 ลบ.ม.(22%) ดังรูปที่ 1 จากพื้นที่เพาะปลูกกว่า 12 ล้านไร่ และอายุการตัดโค่น 25–30 ปี ในแต่ละปีจะตัดโค่นเพื่อปลูกใหม่ 3–4% คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 350,000 ไร่ จึงประมาณได้ว่า จะมีเศษเหลือไม้ยางพาราประมาณ 12 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี (Prasertsan and Vanapruk, 1998) แต่ในขณะที่เดียวกันประเทศไทยกลับต้องนำเข้าไม้เนื้อแข็ง 1.8 ล้านลบ.ม. มูลค่ากว่า 15,000 ล้านบาท (พ.ศ. 2544) ดังแสดงใน Table 1.1 อีกทั้งนโยบายการปิดป่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 และการขยายตัวของอสังหาริมทรัพย์ที่มากขึ้นตามภาวะเศรษฐกิจทำให้ต้องใช้ไม้แปรรูปเพื่อการก่อสร้างมากขึ้น ทางออกที่เป็นไปได้ทางหนึ่งสำหรับการจัดการเศษเหลือจำนวนมาก ทดแทนการนำเข้าไม้และรองรับความต้องการไม้แปรรูปที่กำลังขยายตัวขึ้นตามภาวะเศรษฐกิจคือนำเศษเหลือเหล่านี้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโอเอสแอล

ปัจจัยในการผลิตโอเอสแอลให้ได้ความแข็งแรงสูงสุดมีอยู่ด้วยกันหลายปัจจัย งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของโอเอสแอลขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นไม้ (Post, 1958; Brumbaugh, 1960; Badejo, 1988; Barnes, 2001) และขึ้นอยู่กับมุมเรียงตัวชิ้นไม้เป็นสำคัญ (Geimer, 1979; Barnes, 2000; Liu and Floeter, 1984; Shupe *et al.*, 2001; McNatt *et al.*, 1992; Shupe *et al.*, 2001) แต่ข้อมูลที่ได้ครอบคลุมเฉพาะไม้ใบแคบหรือไม้สน (softwood) เท่านั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาขนาดชิ้นไม้และทิศทางการเรียงชิ้นไม้ในโอเอสแอลที่ทำจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้ใบกว้าง (hardwood) และมีเศษเหลือมากมายในประเทศไทย

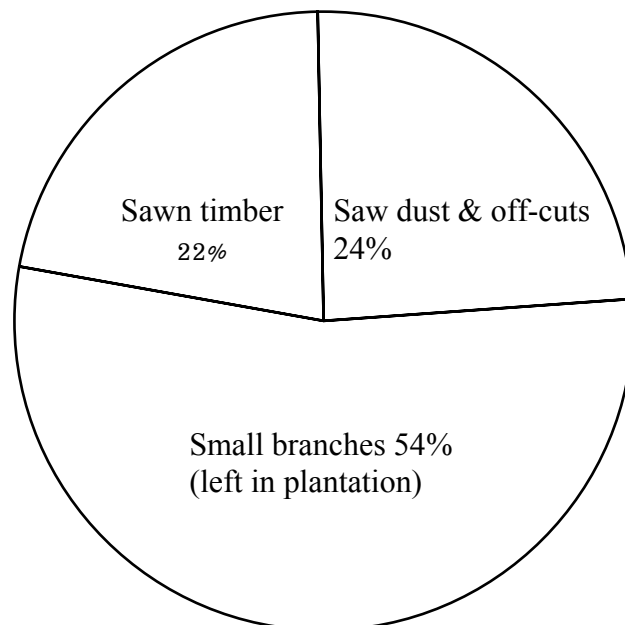


Fig. 1.1 Composition and usage of rubberwood (Prasertsan and Vanapruk, 1998)

Table 1.1 Import of logs and timber from 1988 to 2001

Year	Logs		Sawn timber		Total	
	Million Baht	×1000 cu.m.	Million Baht	×1000 cu.m.	Million Baht	×1000 cu.m.
1988	2,029	447	3,183	677	5,212	1,124
1989	4,120	1,193	6,482	1,315	10,602	2,508
1990	5,647	1,847	8,129	1,494	13,776	3,341
1991	6,815	1,747	9,260	1,534	16,074	3,281
1992	7,248	2,036	11,068	1,778	18,316	3,814
1993	5,909	1,367	12,900	1,802	18,808	3,168
1994	7,408	1,549	16,322	2,517	23,730	4,066
1995	10,027	1,378	16,991	2,086	27,018	3,464
1996	6,310	936	17,208	2,216	23,519	3,152
1997	5,435	896	13,199	1,463	18,634	2,359
1998	2,095	278	6,825	962	8,920	1,240
1999	3,638	466	7,590	932	11,228	1,397
2000	5,673	714	10,348	1,143	16,021	1,857
2001	4,355	517	10,912	1,285	15,267	1,802

Remark: Economic crisis in Thailand and Asia since 1998

Source: Information Office, Royal Forest Department

1.2 กรรมวิธีการทำแผ่นแปรรูปแถบไม้อัดเรียงเส้นในโรงงานอุตสาหกรรม

แผ่นแปรรูปแถบไม้อัดเรียงเส้นหรือโอเอสแอลเป็นไม้ประกอบทำจากแถบไม้ ผสม กาวและสารเติมแต่งอื่น ๆ อัดติดกันเป็นแผ่นขนาดใหญ่แล้วตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ

ขั้นตอนการผลิตโอเอสแอลสามารถพัฒนาจากแผ่นแถบไม้อัดเรียงเส้นหรือโอเอสบี โดยจะแตกต่างกันที่ลักษณะการเรียงเส้น โดยปกติแล้วแถบไม้ในโอเอสบีวางตัวขนานกันในชั้น เดียวกันและตั้งฉากกันในชั้นถัดไปเพื่อให้สมบัติที่ดีทางด้านความคงมิติ (dimensional stability) ต่างจากโอเอสแอลที่ต้องการใช้ประโยชน์ด้านความแข็งแรงซึ่งกำลังพัฒนาและวิจัยการเรียงเส้น อยู่ในปัจจุบัน

ขั้นตอนการผลิตโดยทั่วไปของโอเอสแอลจึงคล้ายคลึงกับแผ่นแถบไม้อัดเรียงเส้น หรือโอเอสบี โดยโอเอสบีพัฒนาการผลิตมาจากแผ่นเกล็ดไม้อัด (waferboard) โอเอสบีผลิต ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1982 ที่ Edson OSB Division of Pelican Sawmills Limited ใน Alberta, Canada มีความแข็งแรง (strength) และความแข็งตึง (stiffness) เทียบเท่ากับแผ่นไม้ อัดซึ่งใช้ไม้บางเป็นวัตถุดิบ และโอเอสบีต่างจากแผ่นเกล็ดไม้อัดตรงที่ใช้แถบไม้ที่ยาว แคนและ บางกว่า แต่แถบไม้ในโอเอสบีวางตัวขนานกันในชั้นเดียวกันและตั้งฉากกันในชั้นถัดไปเหมือน แผ่นไม้อัด ขั้นตอนหลักในสายการผลิตโอเอสบีและโอเอสแอลดังแสดงใน Fig.1.2

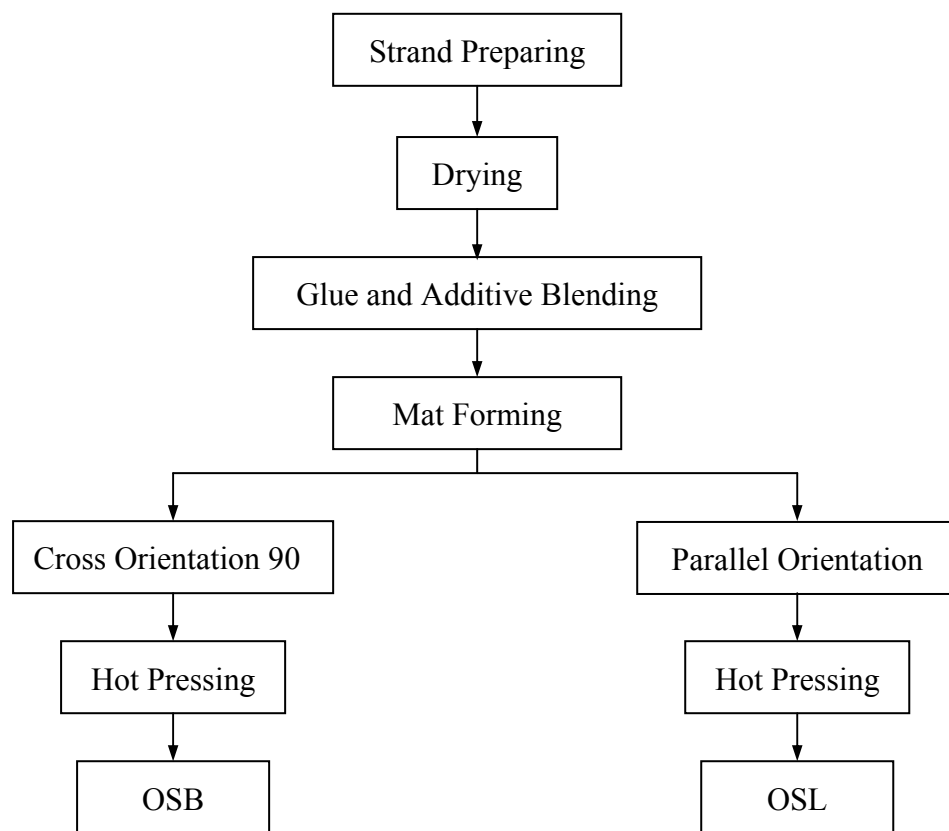


Fig. 1.2 Typical manufacturing processes of OSB and OSL (Lowood, 1997)

1) การเตรียมชิ้นไม้

ต้นไม้ทั้งต้นที่ตัดยอดและกิ่งก้านออกแล้วจะถูกส่งไปยังโรงเลื่อย ไม้เหล่านี้จะถูกตัดให้ได้ความยาว 8 ฟุต 16 ฟุต หรือ 24 ฟุต โดยทั่วไปแล้วไม้ซึ่งจะถูกปอกเปลือกหลังจากผ่านอ่างชุบน้ำ และส่งต่อไปยังเครื่องทำแถบไม้ให้ได้ความกว้าง 0.5 นิ้ว (12.7 มม.) ยาว 3 นิ้ว–6 นิ้ว (76 มม.–152 มม.) ความหนา 0.023 นิ้ว–0.027 นิ้ว (0.58 มม.–0.68 มม.)

2) การอบชิ้นไม้

แถบไม้สดจะถูกเก็บในถังเปียก (wet bins) และส่งต่อไปยังเครื่องอบแห้ง เพื่ออบให้ได้ความชื้นต่ำ ๆ อย่างสม่ำเสมอก่อนจะผสมกับกาว ปริมาณความชื้นและการกระจายแถบไม้ที่มีความชื้นต่าง ๆ กันตามความหนาของแผ่นเตรียมอัดจะได้แผ่นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่นถ้าระดับความชื้นสูง ๆ อยู่ที่ผิวและระดับความชื้นต่ำ ๆ อยู่แกนกลางของแผ่นเตรียมอัด ผิวหน้าของแผ่นผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นสูงกว่าเมื่อเทียบแกนกลางแผ่นทำให้ความแข็งแรงและความแข็งตึงของแผ่นมากกว่าแผ่นที่ถูกอัดในลักษณะเหมือนกันแต่ความชื้นสม่ำเสมอทั้งแผ่นเตรียมอัด แม้ว่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากันก็ตาม นอกจากนี้ความชื้นของแผ่นในขั้นตอนเตรียมอัดควรอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการระเบิดออกของไอน้ำขณะที่เปิดแทนความดันออก

3) การผสมกาวและสารแต่งเติมอื่น

การรวมกาว ชี้น้ำ และสารผสมชนิดอื่น ๆ กับแถบไม้แห้งเรียกว่า การผสมคลุกเคล้า (blending) ซึ่งโดยทั่วไปกระทำโดยพ่นกาว น้ำ และชี้น้ำอิมัลชันไปบนชิ้นไม้ขณะเคลื่อนที่ผ่านเครื่องคลุกเคล้า การผสมคลุกเคล้าก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่ต้องถูกควบคุมอย่างดี

4) การเตรียมแผ่นก่อนอัด

การเตรียมแผ่นก่อนอัด (mat forming) ให้มีความสม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในกระบวนการผลิต หากแผ่นที่โรยชิ้นไม้มีการกระจายของชิ้นไม้ไม่สม่ำเสมอจะมีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพก่อให้เกิดความผันแปรได้ ความหนาแน่นภายในแผ่นก็จะไม่เท่ากัน และจะเกิดการคั่นตัวทางความหนา (thickness springback) ที่มากเกินไปในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงกว่า นอกจากนี้การเตรียมแผ่นที่ไม่สม่ำเสมอก็ยังก่อให้เกิดการโค้งงอและบิดตัวของแผ่นได้ และแผ่นเตรียมอัดที่ได้จากการโรยชิ้นไม้ไม่สม่ำเสมอยังเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายในขณะอัดร้อนอีกด้วย

การโรยแถบไม้ในขั้นตอนการผลิตโอเอสบีและโอเอสแอลต่างกันดัง Fig.1.2 โดยการผลิตโอเอสบีจะโรยแถบไม้ให้เรียงตัวสลับ 90° ในแต่ละชั้น แต่สำหรับโอเอสแอลจะโรยแถบไม้ให้เรียงตัวในแนวเดียวกันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด

5) การอัดร้อน

การทำให้แผ่นเตรียมอัดแข็งตัวและเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของกาวจะอยู่ในขั้นตอนการอัดร้อน แผ่นเตรียมอัดจะถูกบีบอัดจนได้ความหนาที่ต้องการ ขณะเดียวกันกาวที่อยู่บริเวณผิวของแถบไม้ก็จะเกิดการโพลีเมอไรซ์และเชื่อมยึดแถบไม้ที่อยู่ติดกันไว้

ในขั้นตอนการอัดมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องและต้องนำมาพิจารณาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอัดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงสุด ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ ชนิดและปริมาณของกาว อุณหภูมิในการอัด ชนิดไม้และรูปร่างของแถบไม้ ระดับความชื้นและการกระจายความชื้นของแผ่นเตรียมอัด การถ่ายเทความร้อนภายในระหว่างการอัด ระยะเวลาในการอัด แรงดันในการอัด และลักษณะการกระจายความหนาแน่นของแผ่นทางด้านหน้าตัด

ปัจจุบันมีโอเอสแอลที่ทำในเชิงการค้าแล้วโดยใช้ชื่อทางการค้าว่า TimberStrand™ LSL ผลิตโดย MacMillan Bloedel, Ltd ของประเทศแคนาดา แต่เป็นโอเอสแอลทำจากเศษเหลือจากไม้บาง (veneer) ยาวประมาณ 12 นิ้ว และจัดเรียงแถบไม้ในแนวเดียวกันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด (Malony, 1996)

1.3 การสำรวจเอกสาร

สมบัติของแถบไม้และขนาดของแถบไม้ในขั้นตอนการเตรียมแถบไม้ และลักษณะการเรียงตัวของแถบไม้ในขั้นตอนการเตรียมแผ่นเตรียมอัด เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อความแข็งแรงของโอเอสแอล งานวิจัยหลายฉบับได้แสดงให้เห็นถึงผลของปัจจัยเหล่านี้ดังจะได้อธิบายต่อไป

1.3.1 สมบัติเชิงกลของไม้

วัสดุแบ่งออกได้หลายชนิด ไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เหมือนกันทุกทิศทาง (anisotropic material) แต่ในทางปฏิบัติอนุโลมให้สมบัติทางกายภาพและทางกลของไม้แตกต่างกันใน 3 ทิศทางหลักที่สัมพันธ์กับลำต้นของต้นไม้ (Wood Handbook, 1999) แสดงดัง Fig.1.3

- (1) แกนตามยาว (ใช้สัญลักษณ์ L) ขนานกับลำต้นและโดยทั่วไปจะขนานกับเส้นใยหรือทิศทางตามเส้นใย (fiber direction)
- (2) แกนตามเส้นสัมผัส (ใช้สัญลักษณ์ T) ตั้งฉากกับแกนตามยาวและสัมผัสวงปี
- (3) แกนตามรัศมี (ใช้สัญลักษณ์ R) ตั้งฉากกับแกนและขนานกับรัศมีของลำต้นหรือตั้งฉากกับวงปี

สมบัติของไม้ก็จะอ้างอิงระนาบของทิศทางหรือแกนหลักเหล่านี้ กล่าวคือ

- (1) ระนาบตามเส้นสัมผัส-ตามยาวเส้นใย ใช้สัญลักษณ์ TL หรือ LT
- (2) ระนาบตามรัศมี-ตามยาวเส้นใย ใช้สัญลักษณ์ RL หรือ LR
- (3) ระนาบตามรัศมี-ตามเส้นสัมผัส ใช้สัญลักษณ์ RT หรือ TR

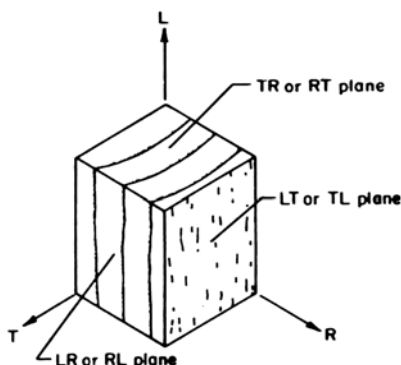


Fig. 1.3 Principal axes and principal planes of wood

สมบัติของไม้ นั้นแตกต่างกันในแต่ละแกนหลักซึ่งวัสดุที่มีสมบัติเช่นนี้จะเรียกว่า วัสดุออร์โธทรอปิก (orthotropic material) คือสมบัติของวัสดุขึ้นอยู่กับสามทิศทางของแกนหลักที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

1.3.2 ทฤษฎีทำนายการวิบัติ

ความแข็งแรงเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของไม้ ทฤษฎีที่ใช้ทำนายความแข็งแรงหรือการวิบัติสำหรับวัสดุออร์โธทรอปิกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี (Hashin, 1983) และมีหลายทฤษฎีที่ได้นำไปใช้ทำนายความเสียหายของไม้ประกอบ (Laufenberg, 1984 ; Leichti, *et al.*, 1989 ; Liu, 1984 ; Triche and Hunt, 1993) ได้แก่

1.3.2.1 ทฤษฎีความเค้นสูงสุด (Maximum Stress Theory) กล่าวว่า วัสดุจะไม่เกิดการวิบัติถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าความเค้นสูงสุดที่รับได้หรือความแข็งแรง (strength) ของวัสดุในทิศทางนั้นๆ หรือเป็นไปตามสมการ 1.1ก 1.1ข และ 1.1ค

$$C_1 < \sigma_1 < T_1 \quad \dots\dots\dots(1.1ก)$$

$$C_2 < \sigma_2 < T_2 \quad \dots\dots\dots(1.1ข)$$

$$|\tau_{12}| < S_{12} \quad \dots\dots\dots(1.1ค)$$

เมื่อ σ_1, σ_2 คือความเค้นตั้งฉากที่เกิดขึ้นในทิศทาง 1 (หรือ L) และ 2 (หรือ R) ตามลำดับ τ_{12} คือความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนระนาบ 12 C_1 และ T_1 คือความแข็งแรงอัดและดึงในทิศทางที่ 1 ตามลำดับ C_2 และ T_2 คือความแข็งแรงอัดและดึงในทิศทางที่ 2 ตามลำดับ S_{12} คือความแข็งแรงเฉือนบนระนาบ 12

1.3.2.2 เกณฑ์ของไซ-ฮิลล์ (Tsai-Hill Criterion) กล่าวว่า สำหรับความเค้นระนาบ (plane stress) ความเสียหายจะไม่เกิดขึ้นถ้าผลรวมของพจน์ต่างๆ ทางซ้ายไม่เกิน 1 ตามสมการ 1.2

$$\frac{\sigma_2^2}{Y^2} + \frac{\sigma_1^2}{X^2} - \frac{\sigma_1\sigma_2}{X^2} + \frac{\tau_{12}^2}{S^2} < 1 \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

เมื่อ X คือความแข็งแรงในทิศทางที่ 1 Y คือความแข็งแรงในทิศทางที่ 2 ความแข็งแรงในแต่ละทิศทางมีทั้งค่าที่เป็นบวกและลบคือ $-X_C$ (เท่ากับ C_1 ตามสมการ 1.1) กับ $+X_T$ (T_1) และ $-Y_C$ (C_2) กับ $+Y_T$ (T_2) ในทิศทาง 1 และ 2 ตามลำดับ จะเลือกใช้ค่าใดแทนลงสมการก็ขึ้นอยู่กับความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางนั้นๆ ถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นเป็นลบหรือเกิดความเค้นอัด ความแข็งแรงที่แทนในสมการให้ใช้ $-X_C$ (C_1) หรือ $-Y_C$ (C_2) แล้วแต่ทิศทาง แต่ถ้าความเค้นเป็นบวกหรือเกิดความดึงก็จะใช้ $+X_T$ (T_1) หรือ $+Y_T$ (T_2) แทนลงสมการ 1.2 ข้างต้น ส่วนความเค้นเฉือน S ก็จะเท่ากับ (S_{12}) ตามสมการ 1.1

1.3.2.3 สูตรของแฮนคินสัน (Hankinson's Formula) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของไม้กับมุมที่เปลี่ยนไปและเป็นสูตรที่ได้จากการทดลอง (empirical formula) โดยแสดงดังสมการ 3

$$\sigma(\theta) = \frac{XY}{X \cos^n \theta + Y \sin^n \theta} \dots\dots\dots(1.3)$$

เมื่อ $\sigma(\theta)$ คือความแข็งแรงของไม้ในทิศทางทำมุม θ กับทิศทางที่ 1 และ n คือค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองมีค่าระหว่าง 1.5–2.5 ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ X และ Y และขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการพิจารณา (Wood Handbook, 1999)

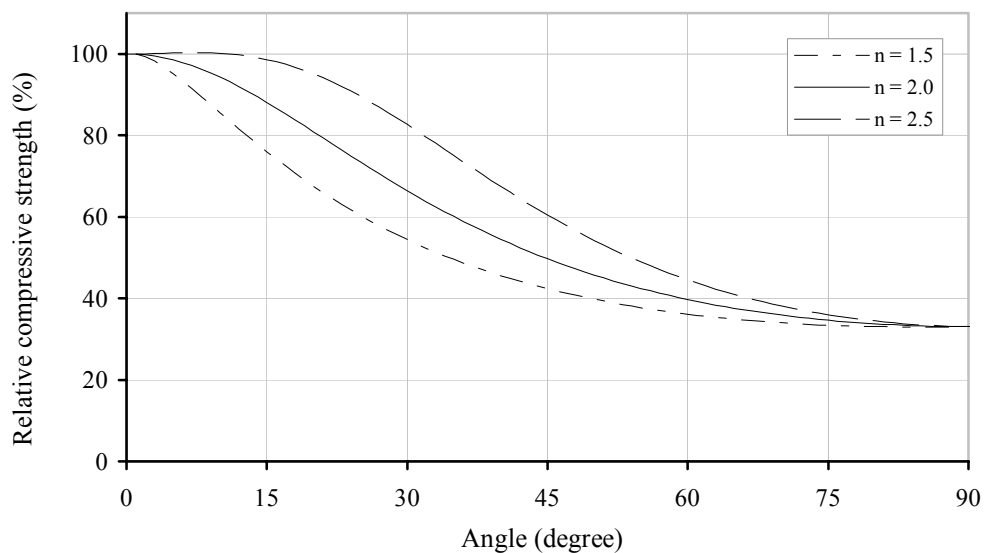


Fig. 1.4 Strength-angle curve of rubberwood according to Hankinson's formula

สูตรของแฮนคินสันแสดงได้ดัง Fig.1.4 โดยใช้ข้อมูลความแข็งแรงอัดของไม้ยางพารา ที่ความแข็งแรงอัดตามเส้น $C_1 = 35.89$ MPa และความแข็งแรงอัดตั้งฉากเส้น $C_2 = 11.87$ MPa (Kasemset *et al.*, 2000) ความแข็งแรงอัดจะมีค่าสูงสุดที่มุม 0° ซึ่งมีค่าเท่ากับ C_1 และจะลดลงจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ C_2 เมื่อมุมเท่ากับ 90° เลขชี้กำลัง n ต่างๆ ให้การ

เปลี่ยนแปลงความแข็งแรงที่ต่างๆ กัน ค่า n น้อยกว่าจะลู่เข้าหาค่าต่ำสุดเร็วกว่า และถ้าพิจารณาที่มุมเดียวกันที่ n มากกว่าจะให้ความแข็งแรงมากกว่า ที่ $n = 2.5$ ช่วงมุมระหว่าง $0^\circ-15^\circ$ ความแข็งแรงเกือบมีค่าคงที่ ต่างจากที่ $n = 2.0$ และ $n = 1.5$ ที่ความแข็งแรงลดลงเป็น 88% และ 73% ของค่าสูงสุดตามลำดับ ถ้าพิจารณาที่มุม 45° ความแข็งแรงจะลดลงเหลือ 60% 50% และ 42% ของค่าสูงสุด สำหรับ $n = 2.5$ $n = 2.0$ และ $n = 1.5$ ตามลำดับ

Laufenberg (1984) ทำนายความเสียหายจากการทดสอบการดึงของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ประกอบด้วยชิ้นไม้เรียงตัวแบบส้อม โดยค่าที่ทำนายจากทฤษฎีความเค้นสูงสุด เกณฑ์ของไซ-ฮิลล์ และสูตรของแฮนคินสัน มีค่าคลาดเคลื่อนจากการทดลองเป็น +35% +15% และ +40% ตามลำดับ ในขณะที่ Triche and Hunt (1993) ทดสอบแรงดึงของแผ่นไม้ประกอบเรียงเส้น ค่าทำนายจากทฤษฎีทั้ง 3 ข้างต้น มีความผิดพลาดจากการทดลองเฉลี่ยเป็น +14.3% - 6.0% และ -4.9% ตามลำดับ

1.3.3 ขนาดของแถบไม้กับความแข็งแรงของโอเอสแอล

งานวิจัยหลายฉบับแสดงให้เห็นว่าขนาดแถบไม้มีผลต่อสมบัติเชิงกลของไม้ประกอบ (Post, 1958; Brumbaugh, 1960; Badejo, 1988; Barnes, 2001) เมื่อความยาวของแถบไม้เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อความหนาของแถบไม้ลดลง จะทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และได้แสดงความสัมพันธ์ของขนาดของแถบไม้และความแข็งแรง ในรูปของอัตราส่วนชลูด (slenderness ratio) หรืออัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความหนา และความแข็งแรง โดยเมื่ออัตราส่วนชลูดเพิ่มขึ้นความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นด้วย

Post (1958) ทดสอบแผ่นชิ้นไม้สับโดยใช้ชิ้นไม้ยาว 0.5–4 นิ้ว (12.7–101.6 มม.) ความหนา 0.006–0.050 นิ้ว (0.15–1.27 มม.) อัตราส่วนชลูดมีค่าระหว่าง 10–333 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนชลูดมากขึ้นความแข็งแรงดัดก็จะยิ่งมากขึ้น

Brumbaugh (1960) ทดสอบแผ่นชิ้นไม้อัดโดยใช้ชิ้นไม้ยาว 0.5–4 นิ้ว (12.7–101.6 มม.) ความหนา 0.009–0.018 นิ้ว (0.23–0.46 มม.) โดยพิจารณาความต้านทานแรงดัด แรงยึดติดภายใน และความคงมิติ และแนะนำอัตราส่วนชลูดที่เหมาะสมควรมีค่าระหว่าง 150–250

Badejo (1988) ทำแผ่นชิ้นไม้อัดด้วยซีเมนต์ ใช้ชิ้นไม้ยาว 12.5–37.5 มม. ความหนา 0.25 และ 0.50 มม. แสดงให้เห็นว่า ความยาวและความหนาของชิ้นไม้มีผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อสมบัติเชิงกล โดยชิ้นไม้ยาวขึ้นและความหนายิ่งน้อยลงให้ค่าความแข็งแรงดัดและโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงขึ้น

Barnes (2001) ทำวิจัยเกี่ยวกับไม้ประกอบเรียงเส้นจากไม้สน ใช้แถบไม้ยาว 3–24 นิ้ว (7.62–60.96 ซม.) หนา 0.02–0.125 นิ้ว (0.508–3.175 มม.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนชลูด (ζ) กับความแข็งแรงดัดเป็นสมการที่ดัดแปลงจากสูตรของแฮนคินสันดังสมการ 1.4

$$N = \frac{PQ}{P \sin^n(\arctan(2/\zeta)) + Q \cos^n(\arctan(2/\zeta))} \dots\dots\dots(1.4)$$

เมื่อ N คือความแข็งแรงตัดที่อัตราส่วนชลุด ζ

ζ คืออัตราส่วนชลุดมีค่าเท่ากับ l/d โดย l คือความยาวแถบไม้ และ d คือความหนาแถบไม้

P คือความแข็งแรงตัดขนานเสี้ยนของไม้จริง

Q คือความแข็งแรงตัดตั้งฉากเสี้ยน แนะนำค่าเท่ากับ $1/20$ เท่าของ P

n คือเลขชี้กำลัง เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนาแถบไม้โดยค่า n สำหรับโมดูลัสยืดหยุ่น $n_{MOE} = 0.95 + 2.38d$ และค่า n สำหรับความแข็งแรงตัด $n_{MOR} = 0.82 + 1.43d$ โดยความหนา d มีหน่วยเป็นนิ้ว

ถ้าพิจารณาสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าความแข็งแรงตัดจะขึ้นอยู่กับขนาดของแถบไม้และความแข็งแรงของไม้จริงที่นำมาทำแถบไม้เท่านั้น

งานวิจัยของ Barnes แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของไม้ประกอบ สามารถทำนายได้จากขนาดของแถบไม้และความแข็งแรงของไม้ที่จะนำมาทำไม้ประกอบ ซึ่งต่างจากงานวิจัยที่ผ่าน ๆ มาที่บอกได้แต่เพียงแนวโน้มของข้อมูลเท่านั้น

1.3.4 การเรียงตัวของแถบไม้กับความแข็งแรงของโอเอสแอล

ความแข็งแรงของไม้ประกอบจะมีค่าสูงสุดเมื่อแนวเสี้ยนไม้วางตัวตามแนวหน้าหน้าบรทุกและจะให้ค่าความแข็งแรงต่ำสุดเมื่อแถบไม้วางตัวตั้งฉากกับแนวหน้าหน้าบรทุก (Geimer, 1979 ; Barnes, 2000 ; Liu and Floeter, 1984; Shupe *et al.*, 2001) สำหรับไม้ประกอบที่รับแรงตัด การเรียงตัวของแถบไม้ที่ผิวหน้ามีผลต่อความแข็งแรงมากกว่าที่ชั้นแกนกลาง (McNatt *et al.*, 1992 ; Shupe *et al.*, 2001) และเมื่อมีการเรียงตัวแถบไม้ในแต่ละชั้นด้วยมุมที่เหมาะสมแล้ว ไม้ประกอบก็จะให้ค่าความแข็งแรงที่สูงที่สุดได้ (Sharma and Sharon, 1993)

Geimer (1979) อธิบายว่าความแข็งแรงของแผ่นชิ้นไม้อัดเป็นฟังก์ชันยกกำลังของความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การเรียงซึ่งมีค่าจาก -100% ถึง $+100\%$ ซึ่งสอดคล้องกับมุม 90° ถึง 0° แสดงได้ดังสมการ 1.5

$$\text{ความแข็งแรง} = e^\mu(\text{ความถ่วงจำเพาะ})^\alpha(\text{เปอร์เซ็นต์การเรียง})^\beta \dots\dots\dots(1.5)$$

เมื่อ e คือเลขฐานของลอการิทึมธรรมชาติมีเท่ากับ $2.718282\dots$ เลขชี้กำลัง μ α และ β หาได้จากการทดลอง โดย β ซึ่งเป็นเลขชี้กำลังที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและการเรียงมุมมีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วง $0.40-1.42$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์การเรียงมากขึ้นหรือมุมเข้าใกล้ 0° มากขึ้นความแข็งแรงก็จะยิ่งมากขึ้น

Barnes (2000) กล่าวว่าไม้ประกอบที่เรียงตัวขนานไปในทิศทางเดียวกัน (parallel alignment) เปรียบเทียบกับไม้ประกอบที่เรียงไขว้มุมกันในแต่ละชั้น (angle-ply) เมื่อมุมเปลี่ยนไปเท่า ๆ กัน ความแข็งแรงของแถบไม้วางตัวในทิศทางเดียวกันจะเปลี่ยนแปลง

มากกว่าแถบไม้วางตัวไขว้มุมกัน และยังใช้สูตรของแฮนคินสันเพื่อทำนายความแข็งแรงของไม้ประกอบที่มุมเรียงตัวแถบไม้ต่าง ๆ ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

Liu and Floeter (1984) หาความแข็งแรงเฉือนของไม้ที่มุมต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎีและได้ผลที่สอดคล้องกัน โดยความแข็งแรงเฉือนต่ำสุดเมื่อแนวเฉือนทำมุม 90° กับแนวเสี้ยนและเพิ่มมากขึ้น เมื่อมุมเฉียงเข้าสู่แนวเสี้ยนจนความแข็งแรงเฉือนสูงที่สุดเมื่อแนวเฉือนทำมุม 0° กับแนวเสี้ยน

McNatt *et al.* (1992) ทดสอบการตัดสลิตของแผ่นแถบไม้ (strandboard) ที่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ 3 ชั้น เรียงตามลำดับคือชั้นผิวนอกด้านบน ชั้นแกนกลาง และชั้นผิวนอกด้านล่าง ผิวนอกบนและล่างเรียงแถบไม้ในทางเดียวกันส่วนในชั้นแกนกลางจะเรียงแถบไม้สองลักษณะคือเรียงมุมแบบสุ่มและเรียงมุมตั้งฉากกับผิวนอก โดยผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงตัดที่ได้ไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้น Shupe *et al.* (2001) ก็ได้ทำในลักษณะเดียวกันแต่เพิ่มขึ้นจาก 3 ชั้น เป็น 5 และ 7 ชั้น เรียงแถบไม้ในแต่ละชั้นตั้งฉากกัน โดยผลการทดลองการตัดสลิตที่ได้คือเมื่อจำนวนชั้นมากขึ้นความแข็งแรงตัดก็มากขึ้นด้วย

Sharma and Sharon (1993) หามุมที่เหมาะสมของแถบไม้ในแผ่นแถบไม้อัดเรียงเสี้ยนที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอตลอดช่วงพาดที่ถูกรองรับด้วยตัวรองรับอย่างง่าย (simply supported beam subject to uniform load) โดยคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นที่มุมเรียงแถบไม้ในตำแหน่งต่าง ๆ และใช้สูตรของแฮนคินสันเป็นเกณฑ์ทำนายความเสียหาย ได้มุมในแต่ละตำแหน่งที่แตกต่างกันเฉพาะบริเวณกึ่งกลางช่วงพาด (mid-span) หรือบริเวณที่รับโมเมนต์ดัดสูงสุด ทำมุม 40° - 45° กับแนวตามยาวของแผ่น

งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและการเรียงแถบไม้ในรูปของสมการที่ได้จากการทดลอง (Geimer, 1979 ; Barnes, 2000 ; McNatt *et al.*, 1992 ; Shupe *et al.*, 2001) หรือใช้สมการที่ได้จากการพิสูจน์ทางกลศาสตร์ (Liu and Floeter, 1984) เพื่อใช้กับไม้จริงเท่านั้น ส่วนงานวิจัยของ Sharma and Sharon (1993) ที่แนะนำการเรียงแถบไม้ในระนาบเดียวกันต้องมีมุมที่เรียงต่างกันออกไป ก็เป็นเรื่องยากที่จะผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่มักจะให้ในชั้นหรือระนาบเดียวกันมีการเรียงมุมที่เหมือนกัน การเรียงตัวตามข้อเสนอของ Sharma and Sharon (1993) ยังเป็นการจำกัดการใช้งานอีกด้วยกล่าวคือจะต้องใช้บริเวณที่เรียง 40° - 45° ให้ตรงกับกึ่งกลาง (mid-span) ของคานเท่านั้นจึงจะแข็งแรงสูงสุด

1.4. วัตถุประสงค์

งานวิจัยเกี่ยวกับผลของขนาดของแถบไม้ยังมีน้อยและไม่ครอบคลุมขนาดแถบไม้ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันประกอบกับความเข้าใจการเรียงตัวของแถบไม้ในไม้ประกอบโดยเฉพาะโอเอสแอลยังไม่เป็นที่แน่ชัด การศึกษาถึงปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้องค์ความรู้ในการผลิตโอเอสแอลโดยเฉพาะผลของขนาดและการเรียงแถบไม้ในโอเอสแอลต่อความแข็งแรงของโอเอสแอลที่ทำจากไม้ยางพารา

1.5. สรุป

การใช้ประโยชน์จากไม้ให้คุ้มค่าเป็นสิ่งจำเป็นในสภาวะการณ์ในปัจจุบันที่มีทรัพยากรไม้อยู่อย่างจำกัด สำหรับประเทศไทยที่มีเศษไม้เหลือจากอุตสาหกรรมไม้ยางพาราที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้นอกจากทำเชื้อเพลิง ไม้ประกอบจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำเศษไม้นั้นมาใช้ได้อีก การพัฒนาไม้ประกอบเริ่มมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 และพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน และยังคงพัฒนาต่อไปในอนาคต โอเอสแอลเป็นไม้ประกอบชนิดหนึ่งที่เพิ่งพัฒนามาได้ไม่นานเท่าไรนัก เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ง่ายกว่าไม้ประกอบชนิดอื่นโอเอสแอลจึงได้รับการพิจารณาสำหรับงานวิจัยนี้ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของโอเอสแอลจึงเป็นสิ่งที่จะต้องกระทำ จากการสำรวจเอกสารพบว่ามีหลายปัจจัยในขั้นตอนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของโอเอสแอล แต่ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเพียงสองปัจจัยหลักคือ ขนาดของแถบไม้ในขั้นตอนการเตรียมแถบไม้ และทิศทางการเรียงแถบไม้ในขั้นตอนการเตรียมแผ่นเตรียมอัดเท่านั้น โดยคาดหวังว่าจะได้องค์ความรู้อันจะนำมาซึ่งการใช้ประโยชน์จากเศษไม้ขนาดเล็กที่เหลือทิ้งและได้แนวทางการผลิตโอเอสแอล ซึ่งจะขยายผลในระดับอุตสาหกรรมต่อไป