เอกสารประกอบการฝึกอบรม

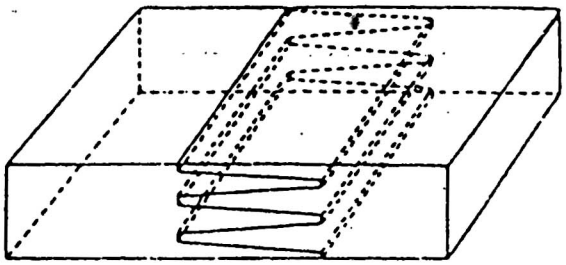
เรื่อง

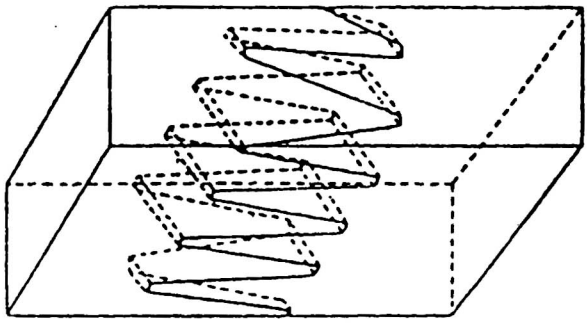
เทคนิคการก่อสร้างอาคารราคาถูก

วันที่ 16-18 ธันวาคม 2529

โดย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สนับสนุนทางการเงินโดย UNESCO





วัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบสำหรับใช้ในการก่อสร้าง

โดย บุญนำ เกี่ยวข้อง

วิจิตร กฤษณบำรุง

วัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบสำหรับใช้ในการก่อสร้าง

WOOD-BASED MATERIALS FOR CONSTRUCTION PURPOSES

บุญนำ เกี่ยวข้อง

วิจิตร กฤษณบำรุง

วัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการก่อสร้างแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ ไม้แปรรูป (sawnwood) และไม้ประกอบ (wood composites) ไม้แปรรูปคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไม้ซุงไปเลื่อย (แปรรูปด้วยเครื่องจักร) เป็นไม้แผ่นซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง หรือชิ้นส่วนของสิ่งก่อสร้าง เช่น คาน ตง ไม้วงกบ บานประตูหน้าต่าง ไม้ปาเก้ และโครงถัก (truss) เป็นต้น ส่วนไม้ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไม้หรือชิ้นส่วนของไม้เป็นโครงร่าง (framework) และใช้กาวสังเคราะห์ หรือ ปูนซีเมนต์เป็นสารเชื่อม (matrix) เช่น ไม้ประกับ ไม้อัด แผ่นใยไม้อัด แผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัด และคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ เป็นต้น ความจริงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้หรือมีไม้เป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการก่อสร้างมีมากมาย แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวัสดุหลัก ๆ เท่านั้น ผู้ที่สนใจรายละเอียดมากกว่านี้อ่านได้จากบทความในการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง "การใช้ไม้ในการก่อสร้าง" จัดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (บุญนำ เกี่ยวข้อง และ วิจิตร กฤษณบำรุง 2528)

1. ไม้แปรรูป (Sawnwood)

ไม้แผ่นที่แปรรูปจากไม้ซุงนั้นมีการจัดแบ่งชนิด ประเภท ขนาด ชั้นคุณภาพ เป็นมาตรฐานเพื่อความสะดวกในการแปรรูปและการใช้ประโยชน์ เนื่องจากคุณสมบัติดีเป็นพิเศษของไม้สัก ได้มีการแยกไม้สักออกจากไม้ชนิดอื่น ไม้แปรรูปในประเทศไทยจึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือไม้สักแปรรูป(teak conversions)และไม้กระยาเลยแปรรูป (sawn hardwood timber) ข้อกำหนดต่าง ๆ อย่างละเอียดของไม้แปรรูปทั้งสองประเภทนี้อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของ

กระทรวงอุตสาหกรรม (มอก. 421-2525, มอก. 422-2525 และ มอก. 423-2525) และจะสรุปเพียงสั้น ๆ ในที่นี้

1.1 ชนิด

ต้นไม้ในประเทศไทยมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติแตกต่างกัน มีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ต่างกัน อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวกในการใช้ประโยชน์ ไม้แปรรูปที่เลื่อยจากซุงของต้นไม้เหล่านี้จัดแบ่งเป็นพวก ๆ ได้ 3 ชนิด (ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อแข็งปานกลาง ไม้เนื้ออ่อน) โดยยึดถือค่าความต้านทานแรงดัดโค้งสูงสุด (ความแข็งแรงดัด = bending strength) ของไม้แห้งและความทนทานตามธรรมชาติของไม้ (ด้วยการทดลองโดยวิธีปักดิน) เป็นเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 (มอก. 423-2525)

1.2 ประเภท

การแบ่งไม้แปรรูปออกเป็นประเภทต่าง ๆ ยึดถือการใช้ประโยชน์เป็นหลัก และเนื่องจากการใช้ประโยชน์ไม้สักแปรรูปและไม้กระยาเลยแปรรูปแตกต่างกัน การแบ่งประเภทของไม้แปรรูปทั้งสองพวกนี้จึงแตกต่างกัน (ตารางที่ 1 และ 2 เช่นไม้กระดาน (ลักษณะค่อนข้างแบน) เหมาะสำหรับทำพื้น ฝา หรือผนังกั้นห้อง ไม้คาดฟ้า (หนากว่าไม้กระดาน) สำหรับทำคาดฟ้าเรือหรือพื้นสะพาน ส่วนไม้เหลี่ยม (ขนาดค่อนข้างใหญ่) มักจะใช้ทำคานหรือเสา เป็นต้น

1.3 ขนาด

การเลื่อยซุงเป็นไม้แปรรูปนั้น จะเลื่อยเผื่อให้ขนาดโตกว่าขนาดที่ต้องการตามมาตรฐาน เพราะทำการเลื่อยไม้ซุงในสภาพสดและได้ไม้แปรรูปที่มีความชื้นสูง เมื่อปล่อยทิ้งไว้ไม้จะแห้งลงและหดตัวมีขนาดเล็กลงด้วย หลักการเลื่อยเผื่อขนาดตามมาตรฐานได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 ส่วนขนาดมาตรฐานที่กำหนดเพื่อความสะดวกในการซื้อขายและใช้งานที่เรียกว่า ขนาดกำหนด (nominal size) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3 อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไม้แปรรูปไปก่อสร้าง การคิดคำนวณออกแบบโครงสร้างจะต้องใช้ขนาดจริง (actual size) ที่เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างซึ่งอาจจะผ่านการไสกบตบแต่งและมีขนาดเล็กกว่าขนาดกำหนด

1.4 ชั้นคุณภาพ

ไม้แปรรูปเป็นวัสดุที่คุณภาพมีความแปรผันมากกว่าวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ เพราะไม้ผลิต

ตารางที่ 1 การแบ่งชนิดของไม้แปรรูปตาม มอก.423-2525

ชนิด	ความแข็งแรงดัด (MPa)	ความทนทาน (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	เกิน 100	เกิน 6
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	60 ถึง 100	2 ถึง 6
ไม้เนื้ออ่อน	น้อยกว่า 60	น้อยกว่า 2

ตารางที่ 2 ประเภท ขนาด และชั้นคุณภาพของไม้สักแปรรูปตาม มอก.422-2525

ประเภท	ขนาด (ม.ม.)			ชั้นคุณภาพ
	หนา	กว้าง	ยาว	
ไม้สักแปรรูปทั่วไป	12 ถึง 200	25 ถึง 400	300 ขึ้นไป	ชั้นพิเศษ ชั้นคัด ชั้นดี ชั้นตลาดอย่างดี ชั้นตลาด
ไม้สักคาดฟ้า	50 ถึง 75	100 ถึง 125	3000 ขึ้นไป	ไม้สักขอบคาดฟ้า
ไม้สักขอบคาดฟ้า	50 ถึง 75	150 ขึ้นไป	2400 ขึ้นไป	ไม้สักขอบคาดฟ้า
ไม้สักเหลี่ยม	225 ถึง 400	150 ถึง 213	1800 ขึ้นไป	ชั้นพิเศษ ชั้นคัด ชั้นดี ชั้นตลาดอย่างดี ชั้นตลาด

ตารางที่ 3 ประเภท ขนาด และชั้นคุณภาพของไม้กระยาเลยแปรรูปตาม มอก.423-2525

ประเภท	ขนาด (ม.ม.)			ชั้นคุณภาพ
	หนา	กว้าง	ยาว	
ไม้กระดาน (board) และ	25 ถึง 38	150 ขึ้นไป	3000 ขึ้นไป	ชั้นพิเศษ
ไม้กระดานหนา (plank)	"	125 ขึ้นไป	2400 ขึ้นไป	ชั้นคัด
	"	100 ขึ้นไป	1800 ขึ้นไป	ชั้นดี
	"	"	"	ชั้นตลาดอย่างดี
	"	"	"	ชั้นตลาด
ไม้หน้ากว้าง	25 ถึง 38	150 ขึ้นไป	1800 ขึ้นไป	มีชั้นเดียว
(panel)				
ไม้หน้าแคบ	12 ถึง 38	50 ถึง 125	3000 ขึ้นไป	ชั้นพิเศษ
(strip)	"	"	2400 ขึ้นไป	ชั้นคัด
	"	"	1800 ขึ้นไป	ชั้นดี
	"	"	"	ชั้นตลาดอย่างดี
	"	"	"	ชั้นตลาด
ไม้หน้าเล็ก	หนาเป็นครึ่งหรือเกินครึ่ง		1800 ขึ้นไป	ชั้นคัดขึ้นไป
(scantling)	ของความกว้าง		"	ชั้นดี
	(พ.ท.หน้าตัดไม่เกิน		"	ชั้นตลาด
	37,500 มม^2.)			
ไม้หน้าใหญ่	เหมือนไม้หน้าเล็กแต่ พ.ท.หน้าตัด			มีชั้นเดียว
(bualk)	เกิน 37,500 มม^2			
ไม้สั้น	เหมือนไม้หน้าแคบ		ไม่เกิน 1800	ชั้นพิเศษ
(short)	ไม้กระดาน หรือ		"	ชั้นคัด
	ไม้กระดานหนา		"	ชั้นดี
			"	ชั้นตลาดอย่างดี
			"	ชั้นตลาด

ตารางที่ 4 การเลื่อยเผื่อความหนาและความกว้างของไม้แปรรูปตาม มอก.421-2525

ประเภท	ชนิดของมิติ	ขนาด (ม.ม.)	ขนาดที่ต้องเลื่อยเผื่อ (ม.ม.)	
			อย่างน้อย	อย่างมาก
ไม้กระยาเลย	ความหนา	12 ถึง 22	1.5	3
		25 ถึง 44	3	6
		50 ถึง 75	4.5	6
		80 ถึง 138	6	9
		150 ถึง 200	9	12
	ความกว้าง	25 ถึง 125	6	-
		150 ถึง 175	9	-
		200 ถึง 225	12	-
		250 ถึง 400	15	-
ไม้สักแปรรูปทั่วไป	ความหนา	12 ถึง 200	1.5	-
	ความกว้าง	25 ถึง 400	1.5	-
ไม้สักคาดฟ้า	ความหนา	50 ถึง 75	0.3	-
	ความกว้าง	100 ถึง 125	0.3	-
ไม้สักขอบคาดฟ้า	ความหนา	50 ถึง 75	0.3	-
	ความกว้าง	150 ขึ้นไป	0.3	-

โดยธรรมชาติ การนำไม้ไปใช้ประโยชน์จึงต้องจัดแบ่งชั้นคุณภาพ เพื่อลดช่วงของความแปรผันลง หลักการแบ่งชั้นคุณภาพถือเอา ประเภท ลักษณะ ขนาด ปริมาณ และการกระจายตำแหน่งของตำหนิชนิดต่าง ๆ (ดูรูปที่ 1) เป็นสำคัญ โดยใช้ระบบตำหนิ และ ระบบไม้ตัด ในการแบ่งชั้นคุณภาพของไม้สำหรับใช้งานทั่ว ๆ ไปออกเป็น 5 ชั้น (ชั้นพิเศษ ชั้นคัด ชั้นดี ชั้นตลาดอย่างดี และชั้นตลาด) และใช้ระบบตำหนิอย่างเดียวเป็นหลักในการแบ่งไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างทั่วไปออกเป็น 3 ชั้น (ชั้น 80 ชั้น 67 และชั้น 50) ไม้แปรรูปสำหรับงานทั่ว ๆ ไป แบ่งชั้นคุณภาพโดยให้ความสำคัญแก่ความสวยงามมากกว่าความแข็งแรง (วงกบ บานประตูหน้าต่าง เครื่องเรือน ฯลฯ) แต่ไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างซึ่งใช้รับน้ำหนักโดยตรง (คาน ตง จันทัน เป อเส คร่าว และอื่น ๆ) จัดแบ่งโดยยึดถือความแข็งแรงเป็นหลัก การพิจารณาผลกระทบของตำหนิต่อความสวยงามหรือความแข็งแรงของไม้แปรรูปสองประเภทนี้จึงต้องทำในแง่ที่แตกต่างกันตามหลักการที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.422-2525, มอก.423-2525 และ มอก.424-2525)

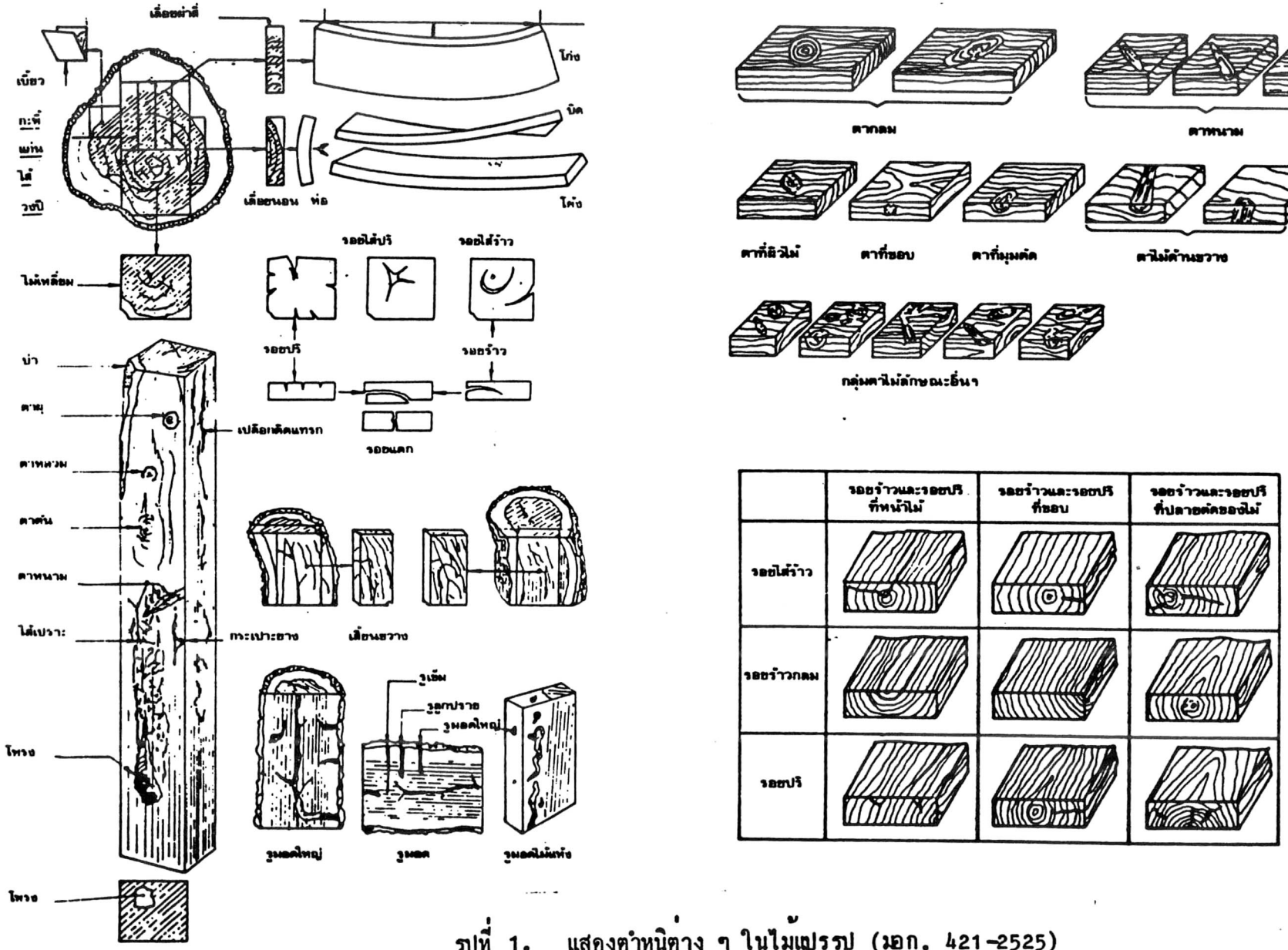
ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบที่ใช้แบ่งชั้นคุณภาพไม้แปรรูปตามมาตรฐาน มอก.421-2525 ได้คัดลงไว้ในที่นี้เพื่อให้เข้าใจหลักการอย่างย่อ ๆ

(1) ระบบตำหนิ: ไม้ที่มีตำหนิเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับไม้ชั้นคุณภาพนั้น ๆ ก็ต้องตกลงไปอยู่ในชั้นคุณภาพที่ต่ำกว่า ไปจนถึงต้องคัดทิ้งในที่สุด

(2) ระบบไม้ตัด: ให้กระทำจากไม้หน้าเลาโดยถือเอาจำนวนชิ้น ขนาดและหน่วยพื้นที่ของไม้ตัดหน้าเกลี้ยงเป็นเกณฑ์ และมีวิธีการดังนี้

- วัดหน้าไม้แปรรูป (เป็นหน่วยพื้นที่)
- ใช้ชอล์กขีดพื้นที่ของไม้ที่มีตำหนิออกเป็นไม้ตัดหน้าเกลี้ยง (ส่วนที่ปลอดตำหนิ) กับส่วนที่เป็นตำหนิ
- นับจำนวนไม้หน้าเกลี้ยงที่ได้ (เป็นชิ้น)
- รวมพื้นที่ทั้งหมดของไม้ตัดหน้าเกลี้ยงทุกชิ้น (เป็นหน่วยพื้นที่)
- เปรียบเทียบพื้นที่รวมของไม้ตัดหน้าเกลี้ยง ว่าเป็นร้อยละเท่าใดของพื้นที่หน้าไม้แปรรูปแต่ละแผ่น

การแบ่งชั้นคุณภาพของไม้แปรรูปสำหรับใช้งานทั่ว ๆ ไป (ไม้สักแปรรูปและไม้กระยาเลยแปรรูป) ใช้ระบบตำหนิในการกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของไม้ชั้นต่าง ๆ เช่น กระพี้ เปลือกติดแหว่ง ตา รูมอด โก่ง บิด เสี้ยน รอยแตก ฯลฯ ผนวกกับใช้ระบบไม้ตัดเพื่อกำหนดเปอร์เซนต์ของไม้หน้าเกลี้ยงที่ต้องการ



รูปที่ 1. แสดงตำหนิต่าง ๆ ในไม้แปรรูป (มอก. 421-2525)

ทั้งระบบตำหนิและระบบไม้ตัดมีผลกระทบต่อความสวยงามของไม้แปรรูปโดยตรง ในทางตรงกันข้าม ไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างต้องคำนึงถึงความแข็งแรงเป็นหลัก จึงต้องจัดชั้นคุณภาพด้วยระบบตำหนิ เพราะตำหนิมีอิทธิพลในการลดความแข็งแรงของไม้แปรรูป ส่วนระบบไม้ตัดพิจารณาเฉพาะส่วนของไม้ที่ปลอดตำหนิโดยไม่คำนึงถึงความวิกฤติของตำหนิที่มีต่อความแข็งแรง ตัวอย่างเช่น ไม้แปรรูปที่จะนำไปทำคานแม้จะมีตำหนิขนาดเล็ก แต่ถ้าอยู่ที่ขอบของคานด้านล่าง (รับแรงดึง) ก็ลดความแข็งแรงของไม้ลงอย่างมาก ในกรณีนี้ระบบไม้ตัดอาจจะให้ค่าของไม้หน้าเกลี้ยงถึงร้อยละ 95 แต่ไม้คานชิ้นนี้รับแรงดัดได้ต่ำ การแบ่งชั้นคุณภาพด้วยระบบไม้ตัดจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้าง, มาตรฐาน มอก.424-2525 ใช้ระบบตำหนิเป็นหลัก โดยกำหนดขนาดและตำแหน่งของตารอยปริหรือรอยร้าว เสี้ยนลาด กระพี้หรือบ่า และเปลือกติดแทรกหรือกระเปาะยาง ในการแบ่งชั้นคุณภาพของไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างทั่วไปออกเป็นชั้น 80 ชั้น 67 และชั้น 50 ตัวเลขกำกับแต่ละชั้นคุณภาพ (80, 67 และ 50) แสดงถึงเปอร์เซนต์ความแข็งแรงอย่างต่ำของไม้แปรรูปในชั้นคุณภาพนั้น ๆ (ซึ่งมีตำหนิติดอยู่) ในการต้านแรงอัดและแรงดึงเมื่อเทียบกับไม้ชนิดเดียวกันที่ปราศจากตำหนิ

หลักการแบ่งชั้นคุณภาพไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างดังกล่าวนี้อาศัยดูด้วยตาจึงเรียกว่า "วิธีจัดชั้นคุณภาพด้วยตาเปล่า" (visual grading method) แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว (สหรัฐอเมริกา คานาดา เยอรมนี สวีเดน ฟินแลนด์ ฯลฯ) ได้เริ่มใช้เครื่องในการตรวจความแข็งแรงของไม้เพื่อจัดชั้นคุณภาพเรียกว่า "วิธีวัดความเค้นด้วยเครื่อง" (machine stress-rated method) ซึ่งทำได้รวดเร็วและถูกต้องกว่าวิธีแรก เครื่องสามารถตรวจวัดตำหนิฝังใน (มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น) ได้ด้วยเพราะใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เช่น ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) การเคลื่อนที่ของคลื่น (wave propagation) หรือ การปล่อยเสียง (acoustic emission) เป็นสื่อในการวัด ไม้แปรรูปที่จัดชั้นคุณภาพด้วยเครื่องเหมาะสำหรับใช้ในการก่อสร้างเพราะช่วยให้การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างถูกต้องมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และโครงสร้างมีความปลอดภัยเพิ่มขึ้นด้วย

2. ไม้ประกอบ (Wood Composites)

ไม้ประกอบกำลังมีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ไม้ในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพราะขาดแคลนต้นไม้ใหญ่ที่จะนำไปเลื่อยเป็นไม้แปรรูป การตัดไม้ทำลายป่าเป็นเหตุให้ต้นไม้ที่มีคุณภาพดีตามธรรมชาติและขนาดใหญ่เกือบจะหมดไป การประยุกต์เทคโนโลยีเพื่อนำไม้ขนาดเล็กและคุณภาพต่ำจากป่าธรรมชาติหรือไม้โตเร็วจากสวนป่ามาทำเป็นวัสดุประกอบพร้อมกับปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นจึงเป็นหนทางเดียวที่ช่วยให้เรานำไม้เหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างได้

2.1 ไม้ประกับ (Glued-laminated timber)

ไม้ประกับ คือวัสดุโครงสร้างที่ผลิตโดยการนำไม้แปรรูปหลาย ๆ ชิ้น (ไม่ต่ำกว่าสาม) มาติดด้วยกาวให้เสี้ยนไม้ขนานกัน การใช้ไม้ประกับสำหรับก่อสร้างเริ่มครั้งแรกในยุโรป เมื่อ ค.ศ. 1890 และ Mr. Hetzer จดทะเบียนลิกขสิทธิ์เกี่ยวกับการทำไม้ประกับโดยใช้กาวนม (casein glue) เมื่อ ค.ศ. 1905 ในประเทศเยอรมนี และสวิตเซอร์แลนด์ บางโครงสร้างยังใช้ได้จนถึงปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีการใช้ไม้ประกับในการก่อสร้างแผ่ขยายสู่ทวีปอเมริกา โดยเริ่มใช้ไม้ประกับทำโครงหลังคาเป็นครั้งแรกที่เมืองชิคาโก ประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมามีการวิจัยปรับปรุงเทคโนโลยีการทำไม้ประกับขึ้นที่ U.S. Forest Products Laboratory, Madision, Wisconsin, U.S.A. ราวปี ค.ศ. 1930 และนำผลที่ได้ไปประยุกต์สร้างอาคารหลังหนึ่งของสถาบัน ซึ่งเป็นอาคารไม้ประกับขนาดใหญ่หลังแรกในทวีปอเมริกา และยังใช้อยู่จนถึงปัจจุบัน สำหรับประเทศคานาดาได้สร้างอาคารไม้ประกับขึ้นเป็นครั้งแรกที่เมืองโตรอนโต เมื่อ ค.ศ. 1941 การใช้ไม้ประกับสำหรับก่อสร้างอาคารใหญ่ ๆ (ที่ไม่ต้องการให้มีเสามาก) เริ่มได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในอเมริกาเหนือ ปัจจุบันมีโรงงานผลิตไม้ประกับประมาณ 40 โรง โดยใช้ไม้สน (Douglasfir, spruce และ southern pine) เป็นวัตถุดิบหลักและไม้ใบกว้าง (White oak, California redwood) บ้างเล็กน้อย ในส่วนอื่นของโลก เช่น สแกนดิเนเวีย ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ก็ใช้ไม้ประกับสำหรับก่อสร้างกันแพร่หลาย แม้กระทั่งประเทศเพื่อนบ้านอย่างมาเลเซียก็มีโรงงานผลิตไม้ประกับสำหรับก่อสร้างเช่นกัน

ก) ข้อดีและข้อเสียของไม้ประกับ

ข้อดี

(1) แข็งแรงกว่าไม้จริง (ไม้ประกับมีอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรง

ต่อน้ำหนักสูงกว่าวัสดุก่อสร้างทุกชนิด) เพราะควบคุมตำหนิในเนื้อไม้ให้มีอิทธิพลต่อการลดความแข็งแรงขององค์อาคารไม้ได้ โดยตัดตำหนิทิ้งหรือกระจายตำหนิให้อยู่นอกเขตวิกฤติในองค์อาคาร

(2) มีขนาดและรูปร่างไม่จำกัด ผลิตให้มีขนาดและรูปร่างตามที่สถาปนิกออกแบบได้โดยไม่มีขีดจำกัด และไม้ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก็ไม่จำกัดขนาด จึงช่วยให้มีการใช้ประโยชน์ต้นไม้เล็กและเศษไม้

(3) ไม่แตกหรือบิดงอ เพราะความชื้นในไม้ประกับถูกปรับให้สม่ำเสมอและสมดุลย์กับบรรยากาศในท้องที่ซึ่งทำการก่อสร้าง ผลกระทบจากการยืดหดตัวเนื่องจากความชื้นเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นเหตุให้ไม้แตกบิดงอจึงไม่มี

(4) รับแรงกระแทกได้ดีเยี่ยม ไม้ประกับยังคงรักษาคุณสมบัติเด่นของไม้ที่รับแรงกระแทกได้ดีกว่าวัสดุโครงสร้างชนิดอื่น จึงเหมาะสำหรับก่อสร้างในบริเวณที่มีลมแรง มีพายุ แผ่นดินไหว และโครงสร้างในทะเล

(5) ทนไฟ ไม้ประกับมีหน้าตัดขนาดใหญ่ เมื่อถูกไฟไหม้ผิวนอกจะกลายเป็นถ่านและเป็นฉนวนกันไฟไม่ให้ลุกลามสู่ ภายใน ไม้ประกับจึงไหม้ไฟยาก

(6) ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ไม้ประกับเป็นวัสดุอินทรีย์ไม่เกิดปฏิกริยากับสารเคมี จึงเหมาะสำหรับทำโครงสร้างที่มีปัญหาการกัดกร่อน เช่น โรงเก็บเกลือและน้ำตาล โรงงานผลิตสารเคมี ฯลฯ

(7) เป็นฉนวนความร้อน ฉนวนไฟฟ้า เก็บเสียงได้ดี และไม่กระทบกระเทือนด้วยคลื่นแม่เหล็ก

(8) ประกอบติดตั้งง่าย ไม้ประกับผลิตสำเร็จจากโรงงาน นำไปติดตั้งในที่ก่อสร้างได้ทันทีและใช้คนงานในท้องถิ่น

(9) ให้ความประทับใจทางสถาปัตยกรรม ไม้ประกับมีความสวยงามไม่ต้องทาสี และให้ความอบอุ่นเมื่อสัมผัส

(10) ช่วยให้ใช้ประโยชน์ไม้อย่างมีประสิทธิภาพ เลือกชนิดไม้ให้มีกลสมบัติเหมาะสมที่นำไปวางในตำแหน่งต่าง ๆ ของไม้ประกับได้ เช่น เมื่อต้องการผลิตคานไม้ประกับก็เลือกไม้ที่รับแรงดึงได้สูง ๆ ไปเป็นชั้นไม้ที่อยู่ส่วนล่างของคาน เป็นต้น

(11) ต้องการพลังงานในการผลิตน้อย ถึงแม้ไม้ประกับต้องการพลังงานในการผลิตมากกว่าไม้แปรรูป แต่ก็ใช้พลังงานน้อยกว่าการผลิตวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ เช่น การผลิตไม้

ประกับหนักหนึ่งตันต้องการไฟฟ้า 453 kilowatt hours ในขณะที่การผลิตเหล็ก และอลูมิเนียมที่หนักเท่ากันต้องสิ้นเปลืองไฟฟ้า 3,780 kwh และ 20,160 kwh ตามลำดับ

(12) ราคาถูก โครงสร้างขนาดใหญ่ใช้ไม้ประกับราคาถูกกว่าก่อสร้างด้วยวัสดุอื่น เพราะวัสดุราคาถูกกว่า และต้องการค่าแรงงานในการก่อสร้างน้อย ประกอบร่วมกับวัสดุอื่นได้ง่าย

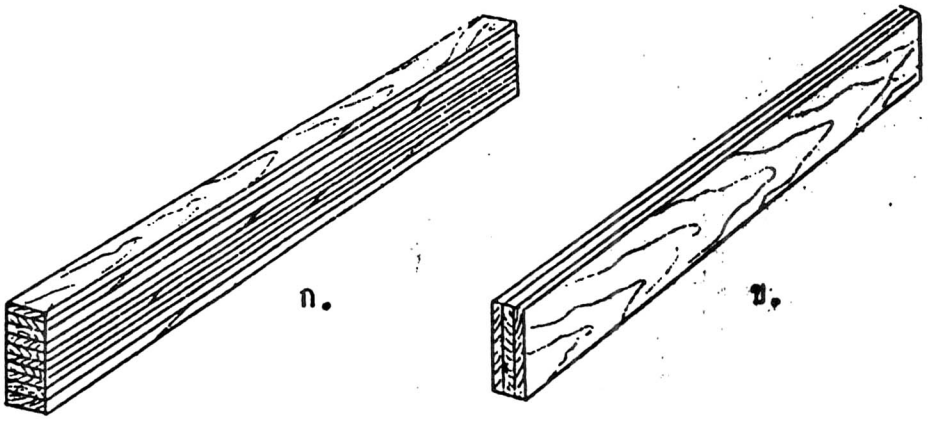
ข้อเสีย

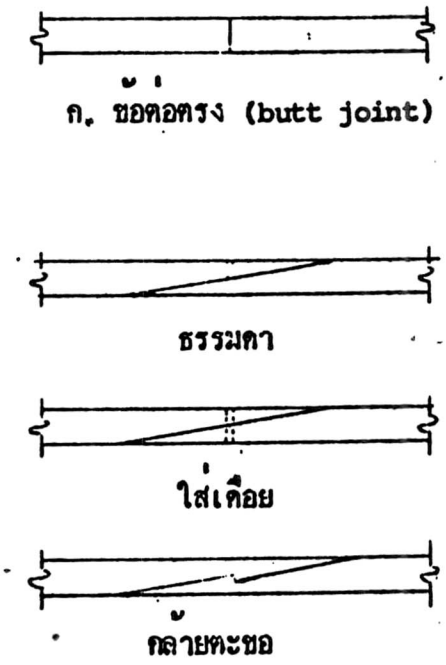
(1) ขนส่งยาก ไม้ประกับมีขนาดใหญ่และยาว หรือรูปร่างไม่ตรง ทำให้ขนย้ายจากโรงงานไปยังที่ก่อสร้างยาก เสียค่าใช้จ่ายสูง

(2) ราคาแพงกว่าไม้แปรรูป เมื่อเปรียบเทียบขนาดเท่ากัน ต้นทุนในการผลิตไม้ประกับสูงกว่าการแปรรูปไม้ราว 3-4 เท่า จึงไม่ควรผลิตไม้ประกับขนาดเล็กที่มีไม้แปรรูปมาแข่งขันได้

ข) ลักษณะโครงสร้างของไม้ประกับ

ไม้ประกับแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ไม้ประกับแบบนอน (horizontally-laminated timber) และไม้ประกับแบบตั้ง (vertically-laminated timber) ดังแสดงในรูปที่ 2-ก,ข ไม้ประกับแบบนอน ประกอบขึ้นจากการนำไม้กระดานมาติดกาวโดยให้หน้ากว้างตั้งฉากกับแรงที่กระทำ ส่วนไม้ประกับแบบตั้งมีหน้ากว้างของไม้กระดานขนานกับทิศทางของแรง ไม้ประกับที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นแบบนอน เพราะเป็นการประกับที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ส่วนไม้ประกับแบบตั้งมักจะทำเมื่อใช้ตะปู หรือ แผ่นฟัน (toothed plates or gang nails) เป็นอุปกรณ์ยึดไม้กระดานแทนกาว ซึ่งนิยมใช้ในการก่อสร้างพื้นของสะพานไม้ กาวสังเคราะห์ที่ใช้ในการผลิตไม้ประกับต้องเป็นชนิดที่ให้ความแข็งแรงสูงสำหรับโครงสร้าง (structural adhesives) และไม่ละลายน้ำ (waterproof) ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด melamine formaldehyde, phenol formaldehyde และ resorcinol formaldehyde กาวทั้งสามชนิดนี้ เมื่อใช้ติดไม้ทางด้านข้าง (ขนานเสี้ยน) จะให้ข้อต่อที่มีความแข็งแรงสูงกว่าไม้ จึงไม่มีปัญหาใด ๆ ถ้าวิธีการผสมกาวและติดกาวถูกต้องตามหลักการ แต่ถ้าใช้ติดด้านหน้าตัด (ตั้งฉากเสี้ยน) เพื่อต่อไม้แบบข้อต่อตรง (butt joint) จะให้ความแข็งแรงต่ำมาก อุตสาหกรรมการผลิตไม้ประกับในปัจจุบันนิยมใช้กาวผสม phenol-resorcinol formaldehyde เพื่อลดต้นทุนการผลิต (กาวรีซอซินอลมีคุณภาพดีที่สุด แต่ราคาแพงกว่ากาวฟีนอลราวห้าเท่า) โดยที่ไม่กระทบกระเทือนต่อความแข็งแรงของข้อต่อมากนัก และได้คุณสมบัติการแข็งตัวที่

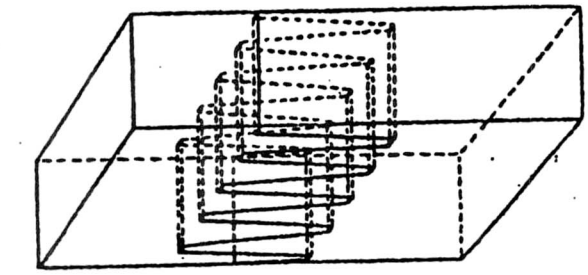




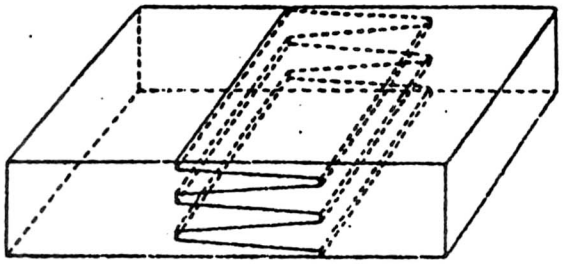
รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของไม้ประกับมี 2 ชนิด : ไม้ประกับแบบนอน (ก) และไม้ประกับแบบตั้ง (ข) สำหรับไม้แต่ละชิ้นต่อให้ยาวขึ้นด้วยข้อต่อตรง (ก) หรือข้อต่อทำมุม (ง) หรือข้อต่อนิ้วมือในรูปที่ 3

อุดหภูมิห้องของกาวรีซอซินอลด้วย

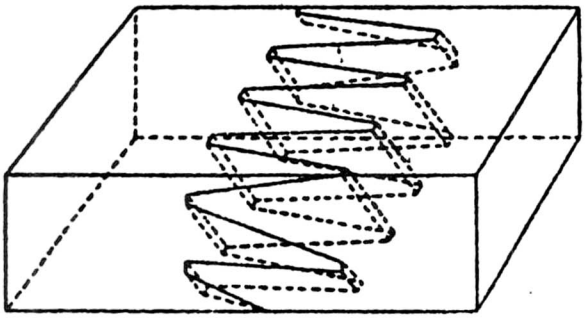
การต่อไม้ให้ยาวขึ้นเพื่อทำไม้ประกับมี 3 แบบ คือ ข้อต่อตรง (butt joint), ข้อต่อทำมุม (scarf joint) และข้อต่อนิ้วมือ (finger joint) ข้อต่อตรงเป็นข้อต่อที่เกือบไม่มีความแข็งแรง จึงไม่ควรใช้ในไม้ประกับที่จะนำไปก่อสร้าง (รูปที่ 2- ค))ส่วนความแข็งแรงของข้อต่อทำมุมขึ้นอยู่กับความลาด (slope) ของมุม ข้อต่อชนิดนี้จะเป็นข้อต่อที่แข็งแรงที่สุดเมื่อ slope ไม่ต่ำกว่า 1:12 (จะแข็งแรงถึง 95 % ของไม้จริง เมื่อ slope ประมาณ 1:20) แต่มีข้อเสียที่ประกอบยากต้องมีเดือย หรือตะปูตอกกันเลื่อนไกล และเป็นข้อต่อที่ใช้ไม้อย่างสิ้นเปลือง เพราะมีเศษเหลือมาก (รูปที่ 2- ง)ในปัจจุบันจึงนิยมใช้ข้อต่อนิ้วมือมากที่สุด ถึงแม้ความแข็งแรงของข้อต่อชนิดนี้จะด้อยกว่าข้อต่อทำมุม แต่การใช้ไม้อย่างมีประสิทธิภาพ (มีเศษเหลือน้อยมาก) ของข้อต่อชนิดนี้ทำให้เหมาะสมกับการอุตสาหกรรมมากกว่า, ข้อต่อนิ้วมือแบ่งออกเป็น 3 ชนิด (รูปที่ 3) คือข้อต่อนิ้วมือแบบตั้ง (vertical finger joint) ข้อต่อนิ้วมือแบบนอน (horizontal finger joint) และข้อต่อนิ้วมือแบบเอียง (inclined finger joint) เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของข้อต่อนิ้วมือทั้งสามนี้แบบตั้งจะรับแรงดึง แรงอัด และแรงดัด ได้สูงกว่า แบบนอน ความจริงการรับแรงดึงของแบบตั้งและแบบนอนจะไม่แตกต่างกัน ถ้าการติดกาวดีเท่า ๆ กัน แต่ในทางปฏิบัติด้านนอก ๆ ของข้อต่อนิ้วมือจะติดกาวไม่ดีเท่าด้านในเพราะนิ้วนอก ๆ ไม่แข็งพอที่จะทำให้ได้แรงอัดกาวถึงที่ต้องการ (การผลิตข้อต่อนิ้วมือส่วนใหญ่ใช้แรงอัดเฉพาะหัวท้ายเท่านั้น) เมื่อพิจารณาดูรูปที่ 3 -ก,ข จะเห็นได้ชัดว่า เนื้อที่ของกาวติดกาวไม่ดีในแบบตั้งมีน้อยกว่าในแบบนอน ซึ่งเป็นเหตุให้แบบตั้งรับแรงดึงได้สูงกว่าแบบนอน ในกรณีที่รับแรงอัดนิ้วมือด้านนอกสุดมีโอกาสบานออกได้ง่าย ข้อต่อแบบตั้งมีนิ้วมือที่จะบานออกเล็กกว่า จึงรับแรงอัดได้สูงกว่าแบบนอน ในทำนองเดียวกัน เมื่อรับแรงดัดข้อต่อแบบตั้งมีนิ้วมือช่วยกันรับแรงอัดทางส่วนบนของคาน และรับแรงดึงทางส่วนล่างของคานอย่างสม่ำเสมอ ส่วนข้อต่อแบบนอนมีนิ้วมืออันบนสุด และอันล่างสุดรับน้ำหนักเท่านั้น จึงไม่มีข้อสงสัยเลยว่า แบบตั้งจะรับแรงดัดได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าแบบนอน อย่างไรก็ตาม ข้อต่อนิ้วมือแบบเอียงไม่มีปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงรับแรงชนิดต่าง ๆ ได้ดีกว่าข้อต่อนิ้วมือแบบตั้งและแบบนอน แต่ในทางปฏิบัตินิยมใช้แบบตั้ง และแบบนอนมากกว่าเพราะกระบวนการผลิตทำได้สะดวกกว่าแบบเอียง ลักษณะโครงสร้างของข้อต่อนิ้วมือ พร้อมหัวเฟรผันต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 -ง ข้อต่อจะแข็งแรงขึ้น เมื่อความยาวของนิ้ว (L) มีค่ามาก และเมื่อความหนาของปลายนิ้ว (t) ความกว้างของฐานนิ้ว (P) และ slope ของนิ้ว (θ) มีค่าน้อย การเลือกค่าตัวเฟรผันเหล่านี้ต้อง



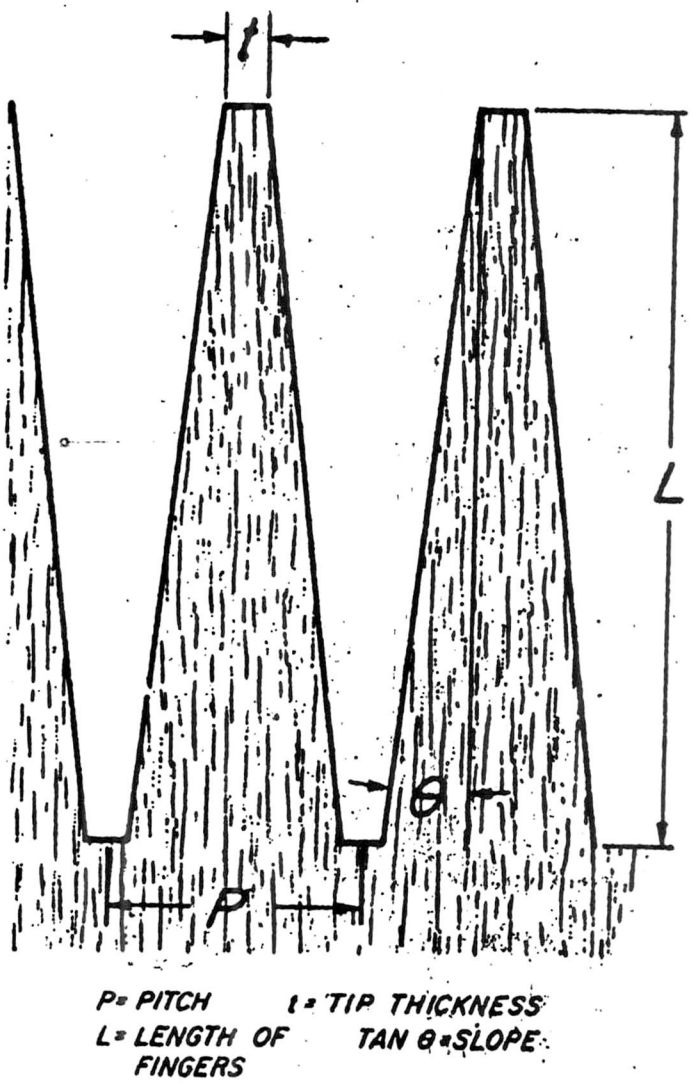
ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 3 ลักษณะของข้อต่อนิ้วมือ 3 ชนิด : แบบตั้ง (ก) แบบนอน (ข) และแบบเอียง 45° (ค) และการเรียกชื่อส่วนต่าง ๆ ของข้อต่อนิ้วมือ (ง) (Jokerst 1981)

พิจารณาถึงความสะดวกในการผลิตด้วย การผลิตไม้ประกับ สำหรับโครงสร้างอาคารโดยทั่ว ๆ ไป ใช้ความยาวของนิ้วมือไม่ต่ำกว่า 30 ม.ม. slope ไม่ต่ำกว่า 1:8

ค) กรรมวิธีการผลิต

(1) เกรดไม้สด ทำการเกรดไม้แปรรูปที่ป้อนโรงงานเพื่อจัดชั้นคุณภาพและความแข็งแรง

(2) ปรับความชื้นในไม้ ทำได้ด้วยการผึ่งในบรรยากาศ หรืออบในเตาอบให้ไม้แห้งลงจนมีความชื้นสมดุลย์กับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในที่ก่อสร้าง ในประเทศไทย ความชื้นสมดุลย์ของไม้อยู่ระหว่าง 12 % ทางภาคเหนือ และ 16 % ในภาคใต้ (ไม้แปรรูปแต่ละชิ้นไม่ควรมีความชื้นต่างกันเกิน 5 %)

(3) ไสผิวหน้า ไสผิวหน้าที่จะติดกาวให้เรียบ และไม้แต่ละชั้นมีความหนาแตกต่างกันไม่เกิน $\pm$ 0.4 ม.ม. การผลิตไม้ประกับในอเมริกาเหนือใช้ไม้หนา 2 ขนาด (38 ม.ม. และ 19 ม.ม.) และกว้าง 80, 130, 175, 225, 275 และ 315 ม.ม.

(4) ต่อไม้ทางด้านหน้าตัด ต่อไม้ทางด้านหน้าตัดให้ยาวขึ้นด้วยข้อต่อแบบนิ้วมือ (finger joints) หรือ ข้อต่อทำมุม (scarf joints) แต่นิยมใช้ข้อต่อนิ้วมือมากกว่า เพราะประหยัดไม้ ต่อง่ายและให้ความแข็งแรงตามที่ต้องการ แต่เมื่อต้องการไม้ประกับที่แข็งแรงเป็นพิเศษต้องใช้ข้อต่อทำมุม ตำแหน่งและระยะระหว่างข้อต่อไม่มีข้อจำกัด ต่อสุ่มไปเรื่อย ๆ จนได้ไม้ยาวตามที่ต้องการ การต่อใช้กาวสังเคราะห์ (ชนิดเดียวกับที่ใช้ติดไม้ประกับ) และอัดด้านหัวท้ายพร้อมกับให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าความถี่สูง (high-frequency heating) เพื่อเร่งให้กาวแข็งตัวเร็วขึ้น

(5) การต่อไม้ทางด้านข้าง ถ้าไม้แปรรูปมีขนาดแคบกว่าไม้ประกับที่ต้องการจะต้องติดกาวทางด้านข้าง (เสี้ยนขนานกัน) ให้ไม้แต่ละชั้นกว้างขึ้น แต่มีข้อจำกัดว่า เมื่อนำไปอัดเป็นไม้ประกับ ข้อต่อทางไม้แต่ละชั้นต้องไม่ตรงกัน (ใช้กาวและวิธีการเดียวกับการอัดไม้ประกับ)

(6) ทดสอบความแข็งแรงของไม้แต่ละชั้น นำไม้ที่มีขนาดกว้างและยาวตามที่ต้องการไปตรวจความแข็งแรงโดยวิธีไม่ทำลาย (nondestructive testing) เพื่อจัดระดับความแข็งแรงและคัดเลือกไม้สำหรับวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการรับความเค้นในขณะใช้ประโยชน์ (แรงดัด แรงดึง แรงอัด หรือ หลายแรงรวมกัน) และนิยมทดสอบแบบ bending proof loading หรือ tension proof loading

(7) ทากาว นำไม้แต่ละชั้นไปทากาว (หน้าเดียว) ด้วยเครื่องทากาวแบบลูกกลิ้ง หรือ แบบหยด ให้มีปริมาณกาวบนแต่ละผิวหน้าตามที่ต้องการและกาวกระจายอย่างสม่ำเสมอ ในอเมริกาเหนือใช้กาวสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ resorcinol formaldehyde และ phenol-resorcinol formaldehyde กาวชนิดหลังได้รับความนิยมกว่า เพราะราคาถูกกว่ากาวชนิดแรก และให้ความแข็งแรงผ่านมาตรฐาน กาวทั้งสองชนิดกันน้ำได้ (waterproof)

(8) อัดเป็นไม้ประกับ นำไม้ที่ทากาวแล้วไปเรียงต่อกันเพื่ออัดตามแนวราบด้วย clamping jig และใช้แรงอัดระหว่าง 700-1,000 kilopascals โดยขันสลักเกลียวด้วย torque wrench และตรวจปริมาณแรงอัดด้วยความระมัดระวัง ใช้แรงอัดไม่เหมาะสมจะลดความแข็งแรงของการติดกาวลง กาวทั้งสองชนิดดังกล่าวในข้อ (7) แข็งตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง (ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 °ซ) ถ้าต้องการลดเวลาการอัดก็ใช้ความร้อนจากไฟฟ้าความถี่สูงช่วยก็ได้ แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

(9) ตบแต่ง เมื่ออัดเสร็จแล้วก็นำไปตบแต่งให้สวยงามด้วยการไส ขัด อุดตำหนิ และทาน้ำมันชักเงา แล้วห่อด้วยพลาสติกเพื่อกันความชื้นระหว่างขนส่งและรอติดตั้งในสถานที่ก่อสร้าง

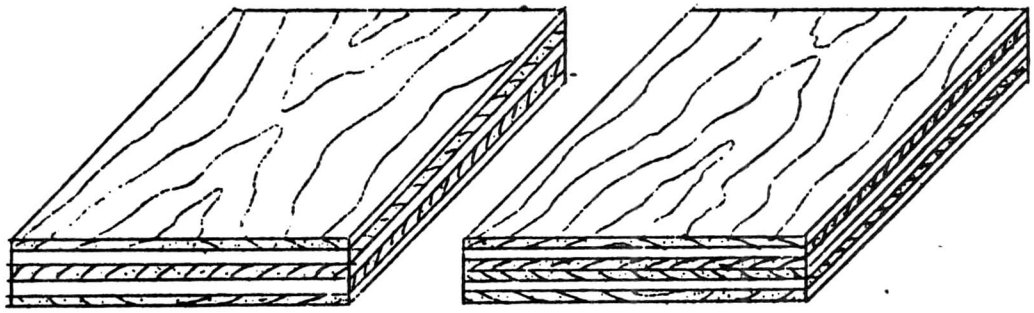
ง) การใช้ประโยชน์ไม้ประกับในการก่อสร้าง

ไม้ประกับที่ผลิตขึ้นท้องตลาดส่วนใหญ่ (ราว 80 %) เป็นชนิดตรง เพื่อใช้ทำคานและเสา ส่วนไม้ประกับที่ไม่ตรงมักจะผลิตตามการออกแบบของสถาปนิกเป็นราย ๆ ไป ไม้ประกับนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างได้เกือบทุกชนิด และตามการออกแบบของสถาปนิกอย่างไม่มีขอบเขตจำกัด

2.2 ไม้อัด (Plywood)

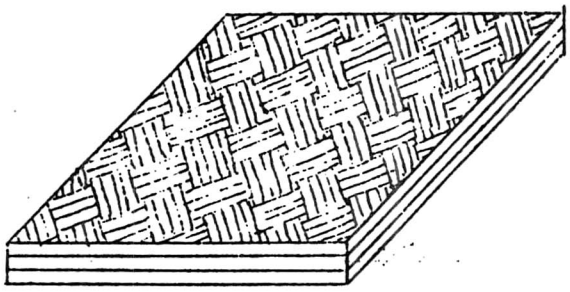
ไม้อัดประกอบด้วยไม้บาง (veneer) อัดติดกันด้วยกาวสังเคราะห์ โดยให้เสี้ยนของแต่ละชั้นไม้บางตั้งฉากซึ่งกันและกัน (รูปที่ 4-ก) ไม้บางที่ใช้อาจจะได้จากการผ่าน (slice) โดยใบมีดเคลื่อนที่ผ่านซุงซึ่งยึดอยู่กับที่ หรือจากการปอก (rotary cut) ซึ่งซุงหมุนรอบแกนกลางประทะกับใบมีดที่อยู่คงที่ ไม้บางผ่านใช้ทำผิวหน้าไม้อัดที่ต้องการลวดลายสวยงาม ส่วนไม้บางปอกใช้ทำไม้อัดเพื่อการก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ กาวสังเคราะห์ที่นิยมใช้คือ urea formaldehyde (ไม่ทนน้ำ) สำหรับผลิตไม้อัดที่ใช้ภายใน และ phenol หรือ resorcinol formaldehyde (ทนน้ำ) สำหรับไม้อัดที่ใช้ภายนอก กระบวนการอัดกระทำภายใต้ความร้อนเพื่อช่วยให้กาวแข็งตัวเร็ว การผลิตไม้อัดปกติมีชั้นไม้บางเป็นจำนวนคี่ ตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป เพื่อให้ได้ไม้อัดที่มีโครงสร้างสมดุลย์ สำหรับไม้อัด 5 ชั้น (รูปที่ 4-ก. รูปซ้ายมือ) มีชั้นบนสุดเรียกว่าหน้า (face) ชั้นล่างสุดเรียกว่าหลัง (back) สองชั้นนี้คือนข้างบางและใช้ไม้อัดคุณภาพดี ส่วนชั้นกลางเรียกว่าแกน (core) และ ชั้นที่ติดกับผิวหน้า (หรือหลัง) เรียกว่า แถบขวาง (crossband) ชั้นเหล่านี้ใช้ไม้บางคุณภาพไม่ดีนัก และหนากว่าชั้นหน้าและหลัง อย่างไรก็ตามในยุคใหม่นี้ การผลิตไม้อัดในประเทศที่พัฒนาแล้วนิยมใช้ไม้บางเป็นจำนวนคู่ และความหนาของไม้บางทุกชั้นเท่ากันหมด (รูปที่ 4-ก. รูปขวามือ) จะเห็นว่าไม้อัดแบบนี้มีชั้นกลาง (core) ประกอบด้วยไม้บางสองแผ่นอัดติดกันโดยมีเสี้ยนขนาน ถึงแม้การผลิตจะใช้กาวมากขึ้น แต่ต้นทุนก็ถูกลงเพราะใช้ไม้บางที่ความหนาเท่ากันช่วยให้การผลิต การคัดคุณภาพไม้บาง ตลอดจนขบวนการผลิตไม้อัด สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โครงสร้างของไม้อัดชนิดนี้ก็ยังคงความสมดุลย์อยู่เช่นเดิม

โครงสร้างสมดุลย์ (balanced construction) ของไม้อัด พิจารณาได้โดยจินตนาการแผ่นแกนกลาง (neutral plane)ขึ้น โครงสร้างของไม้บางทั้งสองข้างของแผ่นแกนกลางจะต้องเหมือนกันเช่นเดียวกับเงากระจก ทั้งทิศทางของเสี้ยน ความหนา และชนิดของไม้บาง แต่ถ้าจำเป็นจะต้องใช้ไม้บางต่างชนิดกัน เราสามารถทำให้โครงสร้างคงความสมดุลย์ได้ดยเลือกชนิดไม้ให้ระยะจาก neutral plane ถึงตำแหน่งไม้บางทั้งสองข้าง (ซึ่งเป็นไม้ต่างชนิด) มีกลสมบัติเหมือนกัน ไม้อัดที่โครงสร้างไม่สมดุลย์จะบิดงอเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง (รูปที่ 5)



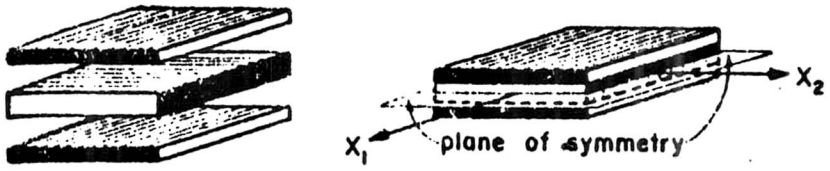
ชั้นคี่ ชั้นคู่

ก. ไม้อัด (plywood)

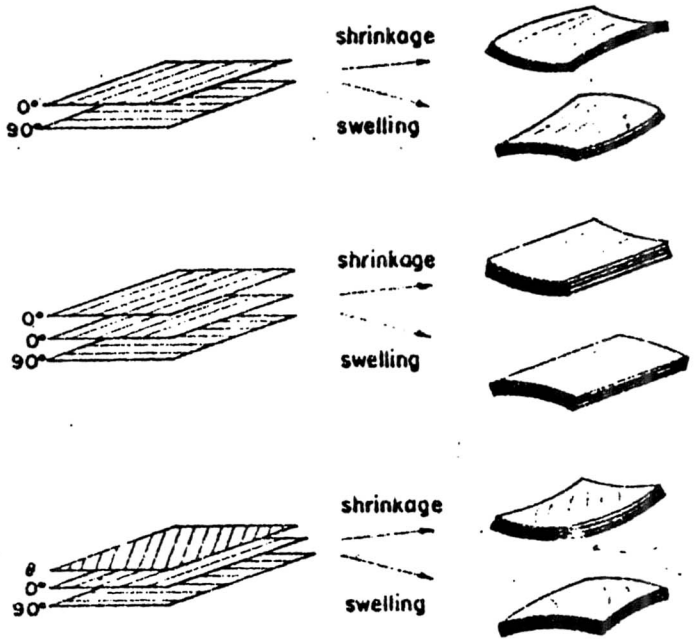


ข. ไม้ไผ่อัด (plybamboo)

รูปที่ 4 ลักษณะโครงสร้างของไม้อัดและไม้ไผ่อัด



ก.



ข.

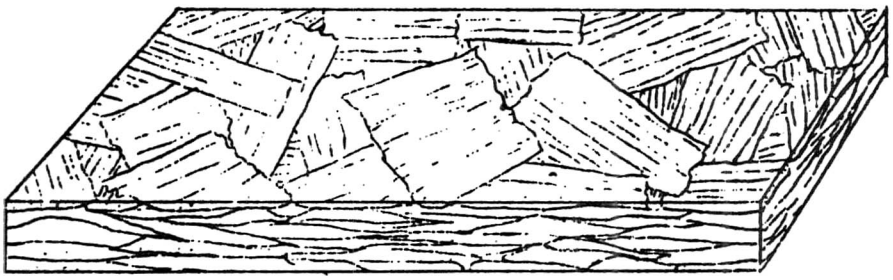
รูปที่ 5 ลักษณะของแผ่นไม้อัดที่มีโครงสร้างสมดุลย์ (ก) และแผ่นไม้อัดที่มีโครงสร้างไม่สมดุลย์ซึ่งบิดเบี้ยวเมื่อยืดหรือหดตัวเนื่องจากความชื้นเปลี่ยนแปลง (ข)

2.3 ไม้ไผ่อัด (Plybamboo)

มีการผลิตไม้ไผ่อัดขึ้นในประเทศไทยเมื่อไม่นานมานี้ โดยใช้หลักการเดียวกับการผลิตไม้อัดต่างกันเพียงแต่ใช้ไม้ไผ่สานเป็นแผ่น (ให้เสี้ยนตั้งฉากกัน) แทนไม้บาง และส่วนใหญ่มีสามชั้น (รูปที่ 4-ข) จุดประสงค์ในการผลิตให้ใช้ตกแต่งเพื่อความสวยงามมากกว่าใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง เมื่อพิจารณาโครงสร้างของไม้ไผ่อัดจะเห็นว่าทิศทางของเสี้ยนในแต่ละชั้นตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยเรียงตัวทำมุมกับด้านยาวและด้านกว้างของแผ่น เมื่อนำแผ่นไม้ไผ่อัดไปรับแรงในแนวตามความยาวหรือตามความกว้างจะมีความแข็งแรงต่ำเพราะทิศทางของแรงทำมุมกับเสี้ยน ถ้าจะผลิตไม้ไผ่อัดเพื่อใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง น่าจะจัดทิศทางของเสี้ยนให้ขนานกับด้านยาวและด้านกว้างของแผ่นเช่นเดียวกับไม้อัด เรื่องการบิดโค้งเนื่องจากโครงสร้างของแผ่นเสียการสมดุลย์ ไม่น่าจะเกิดกับไม้ไผ่อัด เพราะโครงสร้างในแต่ละชั้นมีความสมดุลย์อยู่แล้ว มิได้มีทิศทางของเสี้ยนในแต่ละชั้นแตกต่างกันอย่างเช่นในไม้อัด ถ้ามีวิธีการอัดและจัดเรียงทิศทางของเสี้ยนที่ถูกต้อง ไม้ไผ่อัดน่าจะแข็งแรงกว่าไม้อัดด้วยซ้ำ เพราะไม้ไผ่มีความแข็งแรงจำเพาะในแนวขนานเสี้ยนสูงกว่าไม้ และยังมีลวดลายสวยงามด้วย

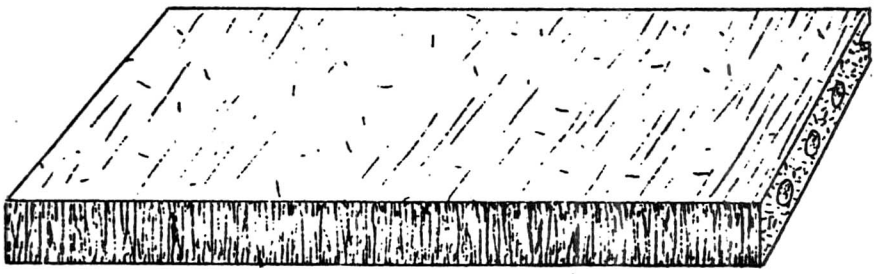
2.4 แผ่นชิ้นไม้อัด (Particleboard)

แผ่นชิ้นไม้อัดผลิตจากการนำชิ้นไม้เล็ก ๆ มาอัดติดกันเป็นแผ่นด้วยสารเชื่อมหรือตัวประสาน (binder) ซึ่งได้แก่กาวสังเคราะห์ (synthetic resin adhesives) บางชนิดพร้อมกับเติมสารบางชนิดเพื่อปรับปรุงคุณภาพบางประการให้ดีขึ้น แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดตั้งฉากกับระนาบ (flat-pressed or flat platen pressed particleboard) และแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดขนานกับระนาบ (extruded particleboard) (รูปที่ 6) ทั้งสองชนิดนี้คลุมถึงแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดย่อยหลายชนิด (waferboard, flakeboard, O S B, chipboard) ถึงแม้เศรษฐกิจทั่วโลกฝืดเคืองเช่นปัจจุบัน แต่อุตสาหกรรมผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดก็เจริญขยายตัวขึ้นเรื่อย ๆ ทั่วโลก เพราะวัตถุดิบสามารถใช้เศษไม้ หรือ ต้นไม้ขนาดเล็กที่นำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ไม่เหมาะสม ทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์บางชนิดที่มีคุณภาพสูง นำไปใช้ก่อสร้างแทนไม้อัด หรือไม้จริงได้เช่น แผ่นเวเฟอร์บอร์ดมีความแข็งแรงจำเพาะ (อัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อความแน่น) และความคงตัวหรือคงขนาด (จากการยืดหด) ดีกว่าไม้อัดซึ่งผลิตจากไม้ซุงดี ๆ (ขนาดใหญ่ เปลาตรง



ก. แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตโดยการอัดตั้งฉากกับแผ่นราบ

(flat-or platen-pressed particleboard)



ข. แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตโดยการอัดขนานกับแผ่นราบ

(extruded particleboard)

รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นชิ้นไม้อัด 2 ชนิด : แผ่นแรก (ก) และแผ่นหลัง (ข) มีชื่อเรียกทางการค้าว่าเวเฟอร์บอร์ด (waferboard) และชิปบอร์ด (chipboard) ตามลำดับ

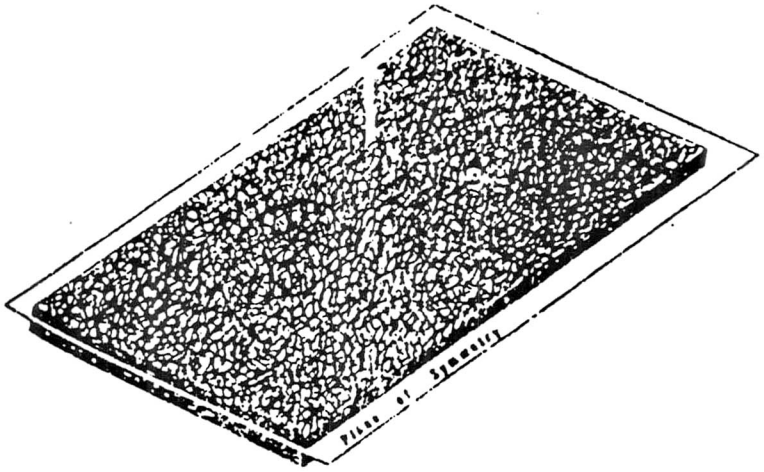
ปราศจากตำหนิ) อุตสาหกรรมประเภทนี้น่าจะมีส่วนช่วยในการพัฒนาประเทศไทยได้ในอนาคต (ดูรูปที่ 6)

สารเชื่อมมักจะใช้กาว ยูเรีย, เมลามีน ฟีนอล หรือ ไอโซไซยาเนท (isocyanate) และพ่นกาวให้ยึดชิ้นไม้เป็นจุด ๆ (spot gluing) มิได้ทาเต็มผิวหน้าเช่นการทำไม้อัด ในกรรมวิธีผลิตอาจมีการเติมสารปรับปรุงคุณภาพบางชนิด เช่น paraffin wax emulsion, insecticides, Fungicides และ fire retardants วัตถุดิบที่ใช้เป็นชิ้นไม้เล็ก ๆ ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดชนิดติดใบมีด (flakers) หรือตีให้แตกด้วยเครื่องย่อยชนิดติดเหล็กตี (hammermill) และแบ่งอย่างกว้าง ๆ ตามขนาดรูปร่างของชิ้นไม้ออกเป็น 4 ชนิด คือ wafers, flakes, strands และ splinters แผ่นชิ้นไม้อัดแต่ละแผ่นประกอบด้วยชิ้นไม้ราว 84-94 % และกาวสังเคราะห์ราว 5-15 % โดยน้ำหนัก สำหรับเวเฟอร์ผลิตจากเครื่องตัดพิเศษเรียกว่า waferizer มีลักษณะเป็นชิ้นไม้แบน, บาง มีขนาดของความกว้าง (ด้านตั้งฉากเสี้ยน) ต่อความยาว (ด้านขนานเสี้ยน) ราว 1:1 ถึง 2:1 และความหนาราว $\frac{1}{20}$ ถึง $\frac{1}{40}$ ของความกว้างจะเห็นว่า เวเฟอร์มีความกว้างเท่า หรือมากกว่าความยาว แต่เมื่อผ่านขั้นตอนของการอบและการโรยชิ้นไม้เพื่อทำแผ่นแล้ว เวเฟอร์บางชิ้นจะแตกตามเสี้ยนกลายเป็นชิ้นไม้ที่มีขนาดยาวมากกว่ากว้าง (กว้าง : ยาว = 1:2 ถึง 1:3) แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีชิ้นไม้ดังกล่าวนี้เป็นองค์ประกอบ เรียกว่า "waferboard" โดยปกติใช้ชิ้นไม้ที่มีขนาดยาวราว 35 ถึง 75 มม. หนาราว 0.5-1.0 มม. ผสมกาวฟีนอลชนิดผง แล้วอัดแบบตั้งฉากกับระนาบ (platen pressing) ด้วยแรงอัด 2.7 MPa (400 psi) ที่อุณหภูมิ 210° C(410° F) เนื่องจากชิ้นไม้แต่ละชิ้นเรียงตัวแบบสุ่ม (random) แผ่นเวเฟอร์บอร์ดจึงมีโครงคล้ายกับการนำไม้บาง (veneer) ชิ้นเล็ก ๆ มาเรียงให้เสี้ยนหันไปทุก ๆ ทิศแล้วอัดเป็นแผ่น และความแข็งแรงของแผ่นเวเฟอร์บอร์ดจึงเท่ากันทุก ๆ ทิศ (ยกเว้นด้านความหนาของแผ่น) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหนือกว่าไม้อัดของแผ่นไม้ประกอบชนิดนี้ ส่วน flake มีลักษณะเหมือน wafer แต่ขนาดเล็กกว่าและบางกว่า (ยาวราว 20-40 มม. หนา 0.20-0.50 มม.) เมื่อนำชิ้นไม้ชนิดเฟลกมาอัดเป็นแผ่นจะได้แผ่น "flakeboard" กรรมวิธีการผลิตเหมือนกับการผลิตเวเฟอร์บอร์ดทุกประการ แต่เฟลกบอร์ดมีความแข็งแรงด้อยกว่าเวเฟอร์บอร์ด เพราะขนาดชิ้นไม้เล็กกว่าดังกล่าวแล้ว ชิ้นไม้ขนาดเล็กมีเนื้อที่ซึ่งติดกาวเกยกันน้อยกว่าชิ้นไม้ขนาดใหญ่ การถ่ายทอดแรง

จากชิ้นไม้ชิ้นหนึ่งไปยังอีกชิ้นหนึ่ง ไม่ดีเท่าชิ้นไม้ขนาดใหญ่ แผ่นเฟลกบอร์ดจึงไม่เหมาะสำหรับใช้รับแรงมาก ๆ ในการก่อสร้าง และไม่ได้รับความนิยมเท่าแผ่นเวเฟอร์บอร์ด สำหรับแผ่นโอเอ็สบี (OSB,oriented structural board) นั้น เป็นแผ่นชิ้นไม้อัดที่พัฒนาขึ้นใหม่ ผลิตจากชิ้นไม้ที่มีลักษณะแบน บาง แต่แคบกว่า และมีความยาวมากกว่าเวเฟอร์และเฟลก ชิ้นไม้ชนิดนี้เรียกว่า "สะแตรนด์" (strand) ในการผลิตแผ่นโอเอ็สบี นอกจากจะใช้กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นตัวประสานแล้ว ยังมีการใช้เทคนิคพิเศษจัดเรียงทิศทางตามความยาวของสะแตรนด์ไปทางเดียวกัน (strand orientation) อีกด้วย จึงทำให้แผ่นโอเอ็สบีมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทิศทางขนานกับทิศทางทำแผ่น (machine direction) ทั้งยังมีความคงขนาดและความทนทานสูง สามารถนำไปออกแบบเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารที่รับน้ำหนักได้ในหลายกรณี สำหรับสปลินเตอร์ได้จากการนำท่อนไม้เข้าเครื่องสับ (ขวางเสี้ยน) ให้เป็นชิ้น ๆ (chips) แล้วเข้าเครื่องตี (hammermill) ให้แตกเป็นชิ้นเล็ก (splinters) ขนาดยาว กว้าง และหนา อยู่ในอัตราส่วนราว 10:2:1 เมื่อนำสปลินเตอร์ไปผสมกาวอัดเป็นแผ่นได้ วัสดุที่เรียกตามชื่อการค้าว่า "ชิปบอร์ด" กาวที่ใช้มักจะเป็นกาวที่ราคาไม่แพง (กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์) เพราะผลิตขึ้นเพื่อนำไปใช้ทำเฟอร์นิเจอร์เป็นส่วนใหญ่ แผ่นชิปบอร์ดมีความแข็งแรงต่ำใช้เป็นวัสดุโครงสร้างไม่ได้ โดยเฉพาะเมื่ออัดแบบขนานกับระนาบ (extrusion pressing) จะได้แผ่นไม้ประกอบที่มีการเรียงตัวของชิ้นไม้เป็นไปในลักษณะตั้งฉากกับระนาบของแผ่น ทำให้แผ่นชิปบอร์ดมีความแข็งแรงในด้านหนึ่งมากกว่าอีกด้านหนึ่ง และมีผิวหยาบ ในการผลิตจึงมีการนำเอาแผ่นไม้บาง (veneer) หรือแผ่นวัสดุอื่นมาปิดทับหน้าเพื่อเสริมความแข็งแรงและเพื่อให้ผิวเรียบ

2.5 แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard)

แผ่นใยไม้อัดคือแผ่นวัสดุที่ทำจากเส้นใยหรือเยื่อของไม้หรือทำจากวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของลิกนินและเซลลูโลสอื่น ๆ (เช่นชานอ้อย ไม้รวก ไม้ไผ่ ฟางข้าว) โดยมีแรงยึดเหนี่ยวตัวภายใน ส่วนใหญ่ได้มาจากการเรียงตัวและคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวตัวเข้าด้วยกันในระหว่างเส้นใยเอง อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการผลิตอาจมีการผสมตัวประสานหรือสารปรับปรุงคุณภาพอื่น ๆ ลงไปด้วยเพื่อให้แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตขึ้นมีความแข็งแรง มีความต้านทานต่อความชื้น ๆ ต้านทานไฟ, แมลงหรือการผุเพิ่มขึ้น หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติอื่น ๆ บางประการให้ดีขึ้นด้วยก็ได้ (รูปที่ 7)



Schematic representation of fiberboard structure

ก. ภาพวาดแสดงโครงสร้างทั่ว ๆ ไป

ข. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแสดงรายละเอียดของมัดเส้นใย และเส้นใยเดี่ยว ๆ ที่ยึดติดกัน

รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัด

แผ่นใยไม้อัดมีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษได้หลายอย่างเช่น building fiber-board, structural fiberboard, fibre building board, fiberboard และ wallboard เป็นต้น

ในทางวิชาการเราอาจจำแนกชนิดและการใช้ประโยชน์แผ่นใยไม้อัดออกเป็น 4 ชนิด คือ

(1) แผ่นใยไม้อัดฉนวนหรือแผ่นใยไม้อัดอ่อน (insulation board or softboard) คือแผ่นใยไม้อัดที่มีความแน่น (density) 0.02-0.40 กรัม/ซม^3 แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้มีลักษณะอ่อนนุ่ม พรุน และผิวไม่เรียบ (SOS FB) มีคุณสมบัติกันความร้อนและเก็บเสียงได้ดีเยี่ยม จึงเหมาะสำหรับใช้ทำฝ้าเพดานและบุผนังห้องประชุม โรงมหรสพ, ห้องฟังและซ้อมดนตรี, สำนักงาน, ห้างสรรพสินค้า และอาคารบ้านเรือนที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ห้องเย็น นอกจากนี้ใช้บุตู้ลำโพงเครื่องเสียง ตลอดจนใช้เป็นเบาะกันกระเทือน แผ่นใยไม้อัดฉนวนที่ต้องการให้มีคุณสมบัติกันน้ำเพื่อใช้ฝาด้านนอกของบ้านจะต้องผสมหรือเคลือบยางมะตอนเสียก่อน และมีชื่อเรียกว่า bituminous sheathing board

(2) แผ่นใยไม้อัดความแน่นปานกลางหรือแผ่นเอ็มดีเอฟ (intermediate or medium-density fiberboard, MDF) คือแผ่นใยไม้อัดที่มีความแน่นสูงกว่า 0.40-0.80 กรัม/ซม^3 แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดนี้มีลักษณะเนื้อละเอียดสม่ำเสมอกัน มีผิวเรียบและมีด้านสันที่แน่นคล้ายไม้จริง ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ได้ดีเป็นพิเศษ นอกจากนี้ใช้ทำผนัง ฝ้าเพดานและหิ้งเป็นต้น

(3) แผ่นใยไม้อัดแข็ง (hardboard) คือแผ่นใยไม้อัดที่มีความแน่นสูง 0.80-1.20 กรัม/ซม^3 แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้อาจมีผิวเรียบเพียงหน้าเดียว (S1S HB) หรือเรียบ 2 หน้า (S2S HB) ก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่กรรมวิธีผลิต แผ่นใยไม้อัดแข็งนี้ในท้องตลาดเรียกกันว่า "แผ่นกระดาษอัด" แผ่นใยไม้อัดแข็งอาจใช้ทำผนังภายใน ฝ้าเพดาน ส่วนประกอบของเฟอร์-นิเจอร์ เช่นพื้นลิ้นชัก ใช้บุด้านหลังตู้ กรอบรูป โปสเตอร์ และแผ่นป้ายโฆษณา ใช้ทำฝาด้านหลังของตู้โทรทัศน์ ผู้ลำโพงและตู้เครื่องเสียงต่าง ๆ ใช้บุด้านหลังพนักพิงของที่นั่งในรถยนต์โดยสาร รถไฟ และเรือโดยสาร ใช้ปูรองใต้พื้นบ้าน (floor underlayment) แผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดอาบน้ำมัน (oil-tempered HB) อาจใช้ทำฝาด้านนอกของบ้านพัก, ชนิดฉลุลาย (filigree HB) ใช้เป็นฉากกั้นห้องหรือใช้ตบแต่งภายใน, ชนิดเจาะรู (perforated HB)

ใช้บุฝาด้านหลังของตู้เก็บเครื่องมือและใช้ทำแผงโชว์สินค้า, ชนิดปิดทับด้วยกระดาษพิมพ์ลายอาบกาว (decorative paper-overlaid HB) หรือชนิดพิมพ์ลายไม้ลงไปบนผิวโดยตรง (direct woodgrain printed HB) ใช้ทำผนังแต่งสำเร็จภายใน เป็นต้น

(4) แผ่นใยไม้อัดแข็งพิเศษ (special densified hardboard) คือแผ่นใยไม้อัดแข็งที่มีความแน่นสูงกว่า 1.20-1.45 กรัม/ซม^3 แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้มีลักษณะแน่นและแข็งมาก เหมาะสำหรับใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าในเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าและอีเล็กทรอนิค

แผ่นใยไม้อัดผลิตได้โดยการนำเอาท่อนไม้หรือเศษไม้ไปตัดเป็นชิ้นไม้สับ (chips) แล้วนำเข้าแยกเยื่อด้วยวิธีใช้ความร้อนร่วมกับวิธีกล (thermomechanical pulping method) ผลที่ได้คือทำเป็นแผ่นเยื่อเปียก (wet sheets) หรือแผ่นใยไม้ (fibermat) แล้วถูกส่งต่อไปทำการอัดร้อนในเครื่องอัดร้อนโดยใช้แรงอัดและอุณหภูมิสูง ฯ

กรรมการวิธีในการผลิตแผ่นใยไม้อัดแบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

1. กรรมวิธีเปียก (wet process)

กรรมวิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมซึ่งดัดแปลงมาจากกรรมวิธีผลิตกระดาษ กล่าวคือเยื่อหรือเส้นใยที่ได้จากการแยกเยื่อจะอยู่ในลักษณะปนกับน้ำ (pulp slurry or pulp suspension) และจะถูกส่งไปทำเป็นแผ่นเยื่อเปียก (wet sheets) ด้วยเครื่องทำแผ่นเยื่อเปียก (wet former) แผ่นเยื่อเปียกนี้ถ้าถูกส่งไปอบด้วยเครื่องอบแผ่นเยื่อ (continuous roller dryer) โดยไม่มีการอัดร้อนก็จะได้แผ่นใยไม้อัดที่มีผิวไม่เรียบทั้ง 2 ด้าน (SOS FB) ซึ่งมีชื่อเรียกในทางวิชาการว่า แผ่นใยไม้อัดฉนวน (insulationboard) หรือแผ่นใยไม้อัดอ่อน (softboard) แต่ถ้าแผ่นเยื่อเปียกถูกควบคุมให้มีปริมาณความชื้นสูงถึง 65-72 % (wet basis) แล้วถูกส่งไปอัดร้อนโดยใช้ตะแกรงรองรับใต้แผ่นเพื่อช่วยระบายน้ำและไอน้ำออก เราจะได้แผ่นใยไม้อัดแข็งที่มีผิวเรียบหน้าเดียว (S1S HB) ส่วนอีกหน้าหนึ่งจะปรากฏเป็นรอยพิมพ์ของตะแกรงลวดติดอยู่

การผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งโดยกรรมวิธีเปียกนี้ เนื่องจากมีปริมาณน้ำหรือความชื้นในแผ่นเยื่อสูง จึงทำให้อาจไม่จำเป็นต้องใช้กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานเลยก็ได้ หรือถ้าจำเป็นต้องใช้กาวก็ใช้ในปริมาณน้อยมากคือประมาณ 0-1.5 % ทั้งนี้เพราะน้ำมีบทบาทสำคัญช่วยให้เกิดการจับยึดกันเองในระหว่างเส้นใย (interfiber bonding) ในแผ่นใย

ไม้อัดแข็ง ส่วน paraffin wax emulsion ก็ใช้ในปริมาณเท่าหรือใกล้เคียงกับกาว

2. กรรมวิธีกึ่งแห้งหรือชื้น (semi-dry or damp process)

วิธีนี้เส้นใยที่ได้จากการแยกเยื่อจะไม่ผสมอยู่ในน้ำ แต่เส้นใยจะถูกผสมกับ wax ประมาณ 1-2 % และผสมกับกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ประมาณ 1.5-2.5 % แล้วจะถูกลำเลียงโดยท่อลมธรรมดา (pneumatic conveyor) หรือโดยท่อลมร้อน (flash tube dryer) เพื่อลดปริมาณความชื้นให้เหลือไม่เกิน 40 % โดยปกติเมื่อเส้นใยถูกลำเลียงไปถึงเครื่องทำแผ่นแบบ air felter มักจะมีปริมาณความชื้นเหลือ 25-30 % จากนั้นแผ่นใยไม้ (fibermat) ที่ได้จะถูกส่งไปอัดร้อนโดยมีแผ่นตะแกรงลวดรองรับข้างใต้ เพื่อช่วยระบายน้ำและไอน้ำออก แผ่นใยไม้อัดแข็งที่ได้จะมีลักษณะเรียบหน้าเดียว (SIS HB) เช่นเดียวกับแผ่นใยไม้อัดแข็งที่ผลิตโดยกรรมวิธีเปียก

3. กรรมวิธีแห้ง (dry process)

วิธีนี้เส้นใยที่ได้จากการแยกเยื่อจะไม่ผสมอยู่ในน้ำ แต่จะถูกผสมกับ wax ประมาณ 1-2 % และผสมกับกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ประมาณ 2-3.5 % แล้วถูกส่งไปอบในท่อลมร้อน (flash-tube dryer) จนเหลือปริมาณ 8-10 % จากนั้นถูกส่งไปทำแผ่นใยไม้ (fibermat) ด้วยเครื่องทำแผ่นแบบ air felter แผ่นใยไม้ที่ได้จะถูกส่งไปทำการอัดร้อนโดยไม่ต้องใช้แผ่นตะแกรงลวดรองรับเพราะมีความชื้นต่ำ แผ่นใยไม้อัดแข็งที่ได้มีลักษณะเรียบ 2 หน้า (S2S HB)

กรรมวิธีแห้งนี้นอกจากจะใช้ผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดเรียบ 2 หน้าแล้ว ยังเป็นกรรมวิธีที่ใช้ผลิตแผ่นเอ็มดีเอฟเป็นการค้าในปัจจุบันด้วย เพียงแต่ในการผลิตแผ่นเอ็มดีเอฟจำเป็นต้องใช้ปริมาณกาว (ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์, เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ หรือ ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์) มากกว่าคือประมาณ 7-12 % และใช้ wax ประมาณ 1-2 % ทั้งนี้เพราะแผ่นเอ็มดีเอฟ มีความแน่นต่ำกว่าแผ่นใยไม้อัดแข็งนั่นเอง

4. กรรมวิธีเปียกสลับแห้ง (wet-dry process)

วิธีนี้เยื่อที่แยกได้จะถูกผสมกับน้ำเช่นเดียวกับกรรมวิธีเปียก หลังจากผสมกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ประมาณ 2-3.5 % (หรืออาจใช้น้ำมันพวก drying oil แทนกาวก็ได้) และผสม paraffin wax emulsion ประมาณ 1-2 % แล้ว เยื่อผสมน้ำจะถูกส่งไปทำแผ่น

โดย vacuum cylinder former ซึ่งเป็นเครื่องทำแผ่นแบบ wet felter ชนิดหนึ่ง จากนั้นแผ่นเยื่อเปียกที่ได้จะถูกส่งไปอบในเครื่องอบแผ่นเยื่อชนิด continuous roller dryer จนเหลือความชื้นประมาณ 2-4 % แผ่นใยไม้อัดที่ได้ก็คือแผ่นใย ไม้อัดฉนวนหรือแผ่นใยไม้อัดอ่อน ถ้านำแผ่นใยไม้อัดนี้ไปทำการอัดร้อน ก็จะได้แผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดเรียบ 2 หน้า ดังนั้น กรรมวิธีจึงเป็นวิธีพิเศษที่สามารถใช้ผลิตแผ่นใยไม้อัดฉนวนและแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดเรียบ 2 หน้า ได้ในสายการผลิต (production line) เดียวกัน

ควรสังเกตด้วยว่าปริมาณกาวสังเคราะห์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งนั้นเป็นสัดส่วนกลับกันกับปริมาณน้ำหรือความชื้นในแผ่นเยื่อหรือแผ่นใยไม้ กรรมวิธีที่มีปริมาณน้ำอยู่ในแผ่นเยื่อเปียกก่อนอัดร้อน (wet-sheet MC) สูง มักจะไม่ต้องใช้กาวหรือใช้กาวน้อยในการผลิต ส่วนกรรมวิธีที่มีปริมาณความชื้นในแผ่นใยไม้ก่อนอัดร้อน (fibermat MC) ต่ำ ก็ยิ่งต้องใช้กาวเป็นตัวประสานมากขึ้น ข้อเท็จจริงดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงบทบาท หรืออิทธิพลของน้ำหรือความชื้นที่มีต่อปริมาณการใช้กาวในการผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งอย่างชัดเจน

แผ่นใยไม้อัดแข็งที่ออกจากเครื่องอัดร้อนอาจนำไปทำการอบร้อน (heat treatment) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานน้ำหรือความชื้นหรือไม่ก็ได้ และมีชื่อเรียกว่าแผ่นใยไม้อัดแข็งแรงธรรมดา หรือชนิดมาตรฐาน (standard HB) แต่ถ้านำไปจุ่ม, เคลือบหรือพ่นด้วยน้ำมันพวก drying oils แล้วนำไปอบร้อน เราเรียกแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดนี้ว่า แผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดอาบน้ำมัน (oil-tempered HB) ซึ่งถือว่าเป็นแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดคุณภาพพิเศษคือ มีความแน่น, ความแข็งแรง, ความต้านทานน้ำ, ความต้านทานต่อการขัดข่วน (wearing resistance) และความต้านทานต่อสภาพเปลี่ยนแปลงของฟ้าอากาศ (weathering resistance) สูงกว่าชนิดธรรมดามาก

เนื่องจากแผ่นใยไม้อัดแข็งเมื่อออกจากเครื่องอัดร้อนมักไม่มีความชื้นเหลืออยู่เลย หรือเหลืออยู่น้อยมาก หากนำไปใช้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงก็จะดูดความชื้นเข้าไปและเกิดการขยายตัวในภายหลัง จึงจำเป็นต้องนำแผ่นใยไม้อัดแข็งทุกชนิดไปทำการอบชื้น (humidification) เพื่อให้มีปริมาณความชื้นประมาณ 5-8 % เสียก่อนที่จะนำออกตลาดหรือนำไปใช้

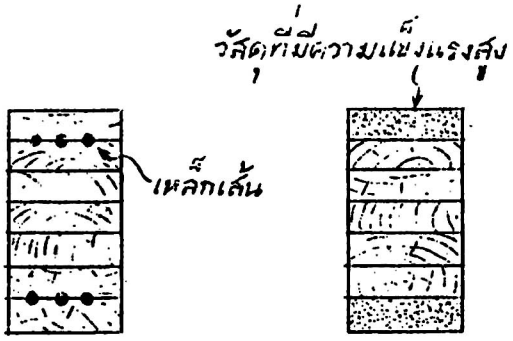
2.6 ไม้เสริมแรง (Reinforced wood)

ไม้เสริมแรง คือ ไม้ที่ได้รับการปรับปรุงความแข็งแรง (strength) หรือความแข็งตึง (stiffness) ให้สูงขึ้นด้วยการเสริมด้วยวัสดุอื่น การเสริมแรงในไม้ที่คุ้มค่าแก่การทำคือคาน (beams) ถึงแม้เสา (columns) ก็เสริมแรงได้ แต่ในทางปฏิบัติมีทำกันน้อยมาก ความแข็งแรงดัดของคานเพิ่มได้โดยเสริมการรับแรงอัดทางด้านบนของคาน หรือเสริมแรงดึงทางส่วนล่างของคาน หรือเสริมทั้งสองอย่าง วัสดุที่ใช้มักจะเป็นเหล็กเส้น (รูปที่ 8-ก) หรือแผ่นเหล็กเสริมในแนวนอน (รูปที่ 8-ข) ถ้าจะเสริมทั้งแรงดัดและแรงเฉือน ก็ใช้แผ่นเหล็กเสริมในแนวตั้ง (รูปที่ 8-ค) คานที่เสริมแรงในแนวตั้งเรียกว่า "คานตับ" (flitch beam) ซึ่งเป็นที่นิยมมากกว่าไม้เสริมแรงชนิดอื่น ในทำนองเดียวกัน การเสริมความแข็งตึงของคานก็ทำได้โดยนำวัสดุที่มีความแข็งตึงสูง ๆ ไปเสริมทางส่วนบนหรือส่วนล่างของคานเพื่อเพิ่มค่า EI (flexural rigidity) ของคานให้สูงขึ้น

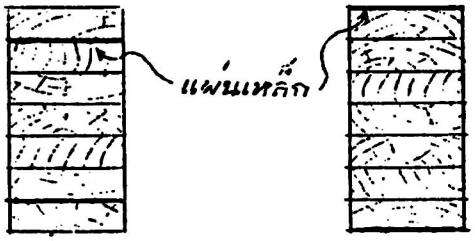
การผลิตไม้เสริมแรงใช้วัสดุยึดข้อต่อได้หลายชนิด เช่น ตะปู สลักเกลียว แผ่นฟัน (toothed plate) หรือ กาวสังเคราะห์ วัสดุที่ใช้เสริมแรงอาจจะเป็นเหล็ก ใยแก้ว อลูมิเนียม พลาสติก หรือ ลวด ก็ได้ ถ้าเสริมด้วยเหล็กและยึดข้อต่อด้วยกาว จะทำให้กระบวนการผลิตยุ่งยากขึ้น เพราะต้องเตรียมผิวเหล็กให้ยึดกับกาวอย่างมีประสิทธิภาพโดยล้างน้ำมันออกจากผิวเหล็ก และทำการกัดสลัก (etching) ผิวเหล็กด้วยสารเคมี (sulfuric acid และ sodium dichromate) หรือพ่นด้วยผงทราย ส่วนผิวหน้าไม้ก็ต้องมีความชื้นเหมาะสม และผ่านการไสให้เรียบก่อนที่จะนำไปติดกาวไม่นานนัก (ไม่ไสทิ้งไว้ข้ามคืน) ผิวหน้าต้องสะอาดปราศจากฝุ่นหรือน้ำมัน ความยุ่งยากเหล่านี้จะลดลงเมื่อใช้แถบใยแก้ว แถบพลาสติก ตะแกรงลวดเคลือบผิว หรือ แถบลวดเคลือบผิว เพราะช่วยลดงานเตรียมผิวหน้าลง และสะดวกแก่การประกอบ หลักการผลิตและการใช้ประโยชน์ไม้เสริมแรงก็คล้ายคลึงกับไม้ประกับดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 2.1

2.7 แผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัด (Wood-cement board)

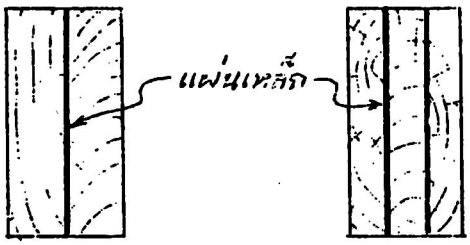
แผ่นไม้ประกอบประเภทนี้ใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นตัวเชื่อมชิ้นไม้และลักษณะคล้ายคอนกรีต แต่มีความแข็งแรงไม่สูงนัก อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทนปลวก ทนไฟ ทนความชื้นทำให้แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดนี้เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนมาก ถ้ามีการออกแบบและเสริมความแข็งที่เหมาะสมจะช่วยให้นำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างที่รับแรงมาก ๆ แทนคอนกรีตเสริมเหล็กได้ ในปัจจุบันมีการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดประเภทนี้อยู่ 2 ชนิด : แผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดความแน่นสูง (high-density wood-cement board) ใช้ชิ้นไม้มีลักษณะเป็น "เฟลค" (flake) ซึ่งยาวราว 20 มม. หนา 0.3 มม. และแผ่นชิ้นไม้ผสม



ก. เสริมแรงด้วยเหล็กเส้นหรือวัสดุอื่น



ข. เสริมแรงด้วยแผ่นเหล็กตามแนวนอน



ค. เสริมแรงด้วยแผ่นเหล็กในแนวตั้ง (flitch beams)

รูปที่ 8 คานเสริมแรงชนิดต่าง ๆ แสดงหน้าตัดของคานให้เห็นไม้และตำแหน่งของวัสดุที่ใช้เสริม

ซีเมนต์อัดความแน่นต่ำ (low-density wood-cement board) ซึ่งใช้ชิ้นไม้ที่ยาวมาก เรียกว่า "เส้นไม้" (excelsior หรือ wood wool) มีขนาดประมาณ 1 × 4 × 400 มม. แผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดความแน่นสูง (เช่น แผ่นเซนจูรี่บอร์ด) ได้รับความนิยมมากกว่าแผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดความแน่นต่ำ (เช่นแผ่นเซลโลกรีต) เพราะผิวเรียบกว่า และแข็งแรงกว่า แต่แผ่นเซลโลกรีตก็มีข้อดีที่เก็บเสียงและกันความร้อนได้ดีเพราะผิวหน้าขรุขระมีรูพรุน

การผลิตแผ่นไม้ประกอบประเภทนี้เริ่มเป็นครั้งแรกที่เมือง Radenthein ประเทศออสเตรียเมื่อ ค.ศ.1914 โดยใช้ magnesite เป็นสารเชื่อมเส้นไม้ และเริ่มใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นสารเชื่อมเมื่อ ค.ศ.1928 ต่อมามีการใช้ชิ้นไม้ในลักษณะเฟลค ขี้กบ (planer shavings) สปลิ้นเตอร์ (splinter) และขี้เลื่อยด้วย สำหรับประเทศไทย บริษัทภัณฑาคาร จำกัด ได้เริ่มผลิตแผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัด เป็นการค้าเป็นครั้งแรกที่กรุงเทพฯ เมื่อ พ.ศ.2499 โดยผลิตชนิดความแน่นต่ำ เป็นแผ่น wood-wool board ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า "แผ่นเซลโลกรีต" (cellocrete) ด้วยกำลังผลิตปีละ 165,000 แผ่น (ผลิตจริงเฉลี่ยปีละ 45,000 แผ่น) มีคนงาน 67 คน ลงทุน 7,844,000 บาท ต่อมาเมื่อปี พ.ศ.2520 ได้มีการเปลี่ยนผู้ดำเนินกิจการ เป็นบริษัทเซลโลกรีตไทย จำกัด มีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรกลและวิธีการผลิตใหม่ ตลอดจนมีการขยายการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นปีละ 72,000 แผ่น ด้วยคนงาน 50 คน โรงงานนี้ใช้ไม้สมพง *(Tetrameles nudiflora R.Br.)* เป็นวัตถุดิบโดยตลอด และเมื่อเร็ว ๆ นี้ (พ.ศ.2528) มีโรงงานประเภทนี้เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งแห่งที่ฉะเชิงเทราทำการผลิตแผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดชนิดความแน่นสูงจากไม้ยูคาลิปต์ *(Eucalyptus camaldulensis Dehnh)* มีกำลังผลิต 18-20 ลูกบาศก์เมตร/วัน และใช้คนงานราว 40 คน ลงทุนประมาณ 5 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์มีชื่อเรียกทางการค้าว่า "วีว่าบอร์ด" (vivaboard)

ก) ข้อดีและข้อเสียของแผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัด

ข้อดี

(1) น้ำหนักเบา
(2) กันความร้อนได้ดี
(3) เก็บเสียงได้ดี
(4) ทนไฟ
(5) ทนความชื้น
(6) ทนต่อการทำลายของแมลงและเห็ดรา
(7) ตกแต่งง่าย (เลื่อย ไส ตอกตะปู ได้เหมือนไม้)

(8) ผลิตง่าย

(9) ราคาถูก

ข้อเสีย

(1) มีความแข็งแรงไม่สูงนัก

(2) ค่อนข้างเปราะ (เมื่อเทียบกับแผ่นไม้ประกอบอื่น ๆ ที่ใช้กาวอินทรีย์สังเคราะห์เป็นตัวเชื่อม)

(3) วัตถุดิบจำกัด (มีไม้เพียงบางชนิดที่ทำได้ ไม้บางชนิดมีสารแทรก ต้านการยึดตัวระหว่างชิ้นไม้กับซีเมนต์)

ฑ) กรรมวิธีการผลิต

การผลิตแผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดใช้กรรมวิธีที่ไม่สู้ยุ่งยากและต้องการพลังงานน้อย แผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดทั้งชนิดความแน่นสูงและชนิดความแน่นต่ำมีหลักการและขั้นตอนในการผลิตคล้ายคลึงกัน เพียงแต่แตกต่างกันในรายละเอียดบางประการ เช่น ใช้ชิ้นไม้มีลักษณะต่างกัน ความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมระหว่างชิ้นไม้และซีเมนต์แตกต่างกัน ชนิดความแน่นสูงใช้ชิ้นไม้ในลักษณะเฟลค มีความแน่นสูงกว่า 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ส่วนมากมีความแน่นอย่างต่ำ 1,000 กก./ลบ.ม.) และใช้อัตราส่วนผสมระหว่างแฟลคต่อปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประมาณ 1:3 โดยน้ำหนัก, ส่วนชนิดความแน่นต่ำใช้เส้นไม้ มีความแน่นไม่เกิน 800 กก.ต่อ ลบ.ม. และใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นไม้ต่อปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จาก 1:3 ถึง 1:2 โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปหลักการผลิตในอุตสาหกรรมพอสรุปเป็นขั้นตอนตามลำดับได้ดังนี้

(1) การเตรียมชิ้นไม้ (Wood particle preparation)

กรรมวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นไม้ที่ต้องการ โดยการนำไม้ที่มีความชื้นราว 40 ถึง 60 % (ช่วยให้ได้ชิ้นไม้คุณภาพดีและได้ผลผลิตสูง) มีขนาดโตประมาณ 10 ซ.ม. ยาวราว 40 ซ.ม. เข้าเครื่องตัดชิ้นไม้ ถ้าต้องการเฟลค (flake) ก็นำไม้เข้าเครื่องตัดเฟลคชนิดจาน (disc flaker) หรือชนิดลูกกลิ้ง (drum flaker) หรือนำชิ้นไม้สับ (chips) ไปตัดเป็นเฟลคในเครื่องตัดเฟลคชนิดแหวน (ring flaker) โดยปรับเครื่องให้ได้เฟลคที่มีความหนาระหว่าง 0.15 ถึง 0.30 มม.

และยาวไม่เกิน 20 มม. แล้วนำไปย่อยให้เล็กลงด้วยเครื่องตี (hammermill) ให้ได้ชิ้นไม้ที่ผ่านตะแกรงขนาดไม่เกิน 5 × 5 มม. ในกรณีที่ต้องการเส้นไม้ (excelsior หรือ wood wool) ก็นำไม้ไปป้อนเข้าเครื่องตัดเส้นไม้ (excelsior cutting machine) ซึ่งทำงานคล้าย ๆ การไสไม้ด้วยกบมือ จะได้ชิ้นไม้ยาวเท่าความยาวของท่อนไม้ (400 มม.) หนา 1 มม. และกว้าง 4 มม.

(2) การปรับปรุงคุณภาพชิ้นไม้ (wood particle pretreatment)

เป็นขั้นตอนที่ปรับปรุงคุณภาพของชิ้นไม้ให้ยึดกับซีเมนต์ดีขึ้นและทำให้แผ่นผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การวิจัยพบว่าแรงยึดระหว่างชิ้นไม้กับซีเมนต์เนื่องจากการยึดเชิงกล (mechanical interlocking) ที่เกิดขึ้นจากการตกผลึกของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ซึมเข้าไปในผนังเซลล์ของชิ้นไม้ แต่ต้นไม้บางชนิดมีสารแทรก (แป้ง น้ำตาล เป็กติน กรดยูโรนิก ฟีนอล แทนนิน และโอรีโอเรซิน) ที่ยับยั้งการตกผลึกของซีเมนต์และลดแรงยึดเหนี่ยว ทำให้ความแข็งแรงของแผ่นลดลง จึงจำเป็นต้องเร่งการตกผลึกของซีเมนต์ด้วยสารเคมี เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) หรือ โซเดียม ซิลิเคท ($Na_2 SiO_3$) โดยการนำชิ้นไม้ไปแช่ในสารละลายนี้ (ใช้ประมาณ 2 % ของน้ำหนักซีเมนต์) ก่อนที่จะนำไปผสมกับซีเมนต์

(3) การผสมซีเมนต์เข้ากับชิ้นไม้ (Blending)

นำชิ้นไม้ที่ปรับคุณภาพแล้วไปผสมคลุกเคล้า ให้เข้ากับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในเครื่องผสม ซึ่งมีลักษณะคล้ายเครื่องผสมคอนกรีตทั่ว ๆ ไป โดยใช้อัตราส่วนดังกล่าวข้างต้น

(4) การเกลี่ยลงแบบและการอัด (mat forming and pressing)

ส่วนผสมของชิ้นไม้และซีเมนต์จะถูกส่งต่อไปเข้าเครื่องชั่งเพื่อควบคุมปริมาณของชิ้นไม้และซีเมนต์ ที่ต้องใช้สำหรับแต่ละแผ่น แล้วจึงนำไปเกลี่ยลงแบบ การเกลี่ยจะใช้คนหรือเครื่องอัตโนมัติก็ได้ ถ้าใช้แรงคนจะต้องให้คนงานสวมถุงมือเพื่อป้องกันโรคผิวหนังอักเสบ (dermatitis) ที่เกิดจากการสัมผัสกับซีเมนต์(ซึ่งมีฤทธิ์ด่าง) โดยทั่วไปจะเกลี่ยลงบนแผ่นเหล็ก ซึ่งทาน้ำมันกันติดบนผิวเสร็จแล้ววางไม้คั่นสำหรับควบคุม ความหนา (wooden stops) ตามขอบทั้ง 4 ด้าน และนำแผ่นแบบวางซ้อนกัน นำส่งเข้าเครื่องอัดจนจรดไม้คั่นแล้วเข้าเครื่องยึดแบบให้อยู่ในสภาพเดิม (clamp) (หรือใช้น้ำหนักวางทับไว้ก็ได้) ปล่อยทิ้งไว้ราว 12 ถึง 25 ชั่วโมง ให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้องจึงนำออกจากแบบ

(5) การบ่มให้แข็งตัวเต็มที่ (curing)

หลังจากนำออกจากแบบอัดก็นำไปบ่มในห้องที่อิ่มตัวด้วยความชื้น (มีความชื้นสัมพัทธ์ 100 %)

ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 5 วัน แล้วนำไปผึ่งให้แห้งในบรรยากาศปกติอีก 28 วัน เพื่อให้ซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ (hardening) และปรับให้แผ่นมีความชื้นสมดุลกับบรรยากาศ (conditioning) ด้วย อย่างไรก็ตามการผลิตแผ่นเซลโลกรีตในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม เมื่อนำแผ่นออกจากแบบก็นำไปผึ่งไว้ในบรรยากาศปกติได้เลย (เพื่อลดต้นทุนการผลิต) โดยวางตั้งให้อากาศถ่ายเทได้สะดวกประมาณ 1-2 สัปดาห์

(6) ตกแต่ง (finishing)

แผ่นชั้นไม้ผสมซีเมนต์อัดที่แข็งตัวแล้วจะถูกส่งไปตัดขอบ (trimming) ให้ได้ขนาดและตกแต่งขั้นสุดท้ายเช่น ฉาบปูนพลาสเตอร์ ลงสี ฯลฯ เสร็จแล้วนำไปเก็บในโกดังเพื่อส่งออกจำหน่าย

(7) ขนาดที่ผลิต (manufacturing sizes)

แผ่นชั้นไม้ผสมซีเมนต์อัดชนิดความแน่นสูงที่ผลิตในทางอุตสาหกรรมมีขนาดอยู่ในช่วงดังนี้: ยาว 2600-3600 มม., กว้าง 1200-1250 มม. และหนา 6-40 มม. ส่วนแผ่นชั้นไม้อัดชนิดความแน่นต่ำ (แผ่นเซลโลกรีต) ที่ผลิตในเมืองไทยมีขนาดยาว 2000 มม. กว้าง 1000 มม. และหนาต่าง ๆ กัน ($\frac{1}{2}$", $\frac{3}{4}$", 1", $1\frac{1}{2}$" และ 3") แต่ผลิตขนาดหนา $\frac{1}{2}$ นิ้วเป็นส่วนใหญ่

ค) การใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง

แผ่นชั้นไม้ผสมซีเมนต์อัดผลิตขึ้นสำหรับใช้ในการก่อสร้างอาคารโดยเฉพาะ แผ่นชนิดความแน่นสูงใช้สำหรับก่อสร้างอาคารชั้นเดียวได้เกือบทุกส่วน ใช้ทำผนังกั้นห้อง พื้น กรุฝ้าเพดาน ทำฝาภายนอกภายในหรือส่วนอื่น ๆ ที่รับน้ำหนักไม่มากนัก (ผนังรับน้ำหนักโดยไม่ต้องใช้เครา) แต่ถ้านำไปทำคาน ต้องออกแบบให้อยู่ในลักษณะคานกล่อง (box beam) หรือคานรูปตัวไอ (I-beam) ซึ่งช่วยให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น เมื่อทำเสาก็เช่นกันจะต้องอยู่ในลักษณะเสาประกอบ (composite column) เช่น ออกแบบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเช่นเดียวกับคาน ส่วนแผ่นชนิดความแน่นต่ำ (แผ่นเซลโลกรีต) มีความแข็งแรงต่ำมาก นำไปรับน้ำหนักโดยตรงไม่ได้ ผลิตขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในแง่เก็บเสียง หรือกันความร้อนมากกว่า จึงเหมาะสำหรับกั้นห้อง ทำฝ้าเพดาน บุห้องประชุมหรือห้องฉายภาพยนต์ เป็นต้น

2.8 <u>คอนกรีตเสริมไม้ไผ่</u> (Bamboo reinforced concrete)

การนำไม้ไผ่มาเสริมคอนกรีตแทนเหล็กเส้นเป็นเพราะไม้ไผ่รับแรงดึงขนานเสี้ยนได้สูงมาก และยังหาได้ง่าย ราคาถูก โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อน ซึ่งมีไม้ไผ่ขึ้นอยู่ทั่วไป

และผลิตปูนซีเมนต์ได้เองในท้องถิ่น คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ยังมีคุณสมบัติทนแปลวก ทนไฟ และทนความชื้น จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ก่อสร้างในประเทศเขตร้อนอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์คอนกรีตเสริมไม้ไผ่มิได้แพร่หลายเท่าที่ควร เพราะอุปสรรค 3 ประการ คือ (1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่กับคอนกรีตต่ำมาก (มีความแข็งแรงเพียงครึ่งหนึ่งของการยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต); (2) ไม้ไผ่มีการยืดหดตัวมากเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง; (3) สัมประสิทธิ์ยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของไม้ไผ่มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับคอนกรีต ไม้ไผ่จึงไม่ช่วยลดการโก่งของคอนกรีตเลย เป็นเหตุให้คอนกรีตเสริมไม้ไผ่มีการโก่ง เนื่องจากแรงดัดมากและเกิดการแตกร้าวได้ง่าย ถึงแม้จะมีอุปสรรคเหล่านี้ การนำไม้ไผ่ไปเสริมคอนกรีตก็ยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงขึ้นจากการไม่เสริมอะไรราว 4-5 เท่า ถ้ามีการวิจัยหาทางแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เชื่อว่าคอนกรีตเสริมไม้ไผ่จะมีความแข็งแรงเพิ่มอีกมาก และจะเป็นประโยชน์ต่อการก่อสร้างในชนบทเป็นอย่างมากด้วย

ก) คุณสมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่

การนำไม้ไผ่ไปเสริมคอนกรีตจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่เสียก่อน และจะสรุปเพียงสั้น ๆ ในที่นี้ ไม้ไผ่มีหลายชนิด มีความสูงตั้งแต่ต้นเล็ก ๆ จนถึงราว 36 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางจาก 1 ซ.ม. ถึง 30 ซ.ม. ลำไม้ไผ่เป็นวัสดุที่มีความแน่นปานกลาง (เมื่อเทียบกับเนื้อไม้ทั่ว ๆ ไป) คือมีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ระหว่าง 0.50 ถึง 0.79 หรือราว 0.65 โดยเฉลี่ย ไม้ไผ่ยืนต้นมีความชื้นสูงสุดในฤดูฝน (สิงหาคม) ซึ่งมากกว่าตอนมีความชื้นต่ำสุดในฤดูแล้ง (มิถุนายน) ประมาณสามเท่า ส่วนโคนมีความชื้นมากกว่าส่วนปลายราวสองเท่า และปล้องมีความชื้นมากกว่าข้อระหว่าง 2 ถึง 7 เปอร์เซนต์ ไม้ไผ่แก่ (อายุ 5 ปีขึ้นไป) มีความชื้นน้อยกว่าไม้ไผ่อ่อน (อายุต่ำกว่า 5 ปี) การตัดต้นไม้ไผ่จึงควรเลือกเวลาและส่วนของลำต้นที่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ ไม้ไผ่ที่ตัดแล้วจะเริ่มหดตัวทันทีที่ความชื้นเริ่มระเหยออก ไม้ไผ่บางชนิดในสภาพสดที่ความชื้น 70 เปอร์เซนต์ ปล่อยให้แห้งลงถึงจุดหมาด (fiber saturation point) จะหดตัวเกือบ 20 % ไม้ไผ่แก่ปล่อยให้แห้งจากสภาพสดจนถึงความชื้นราว 20 % จะหดตัวทางด้านความหนาของปล้องระหว่าง 4 ถึง 16 % และทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของลำระหว่าง 3 ถึง 12 % ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของไม้ไผ่ ส่วนการหดตัวตามยาวของลำไม้ไผ่มีค่าน้อยมาก (ราว 0.1 %) ไม้ไผ่อ่อนจะหดตัวมากกว่านี้ และมักจะแตกหรือยุบเมื่อแห้ง เป็นที่น่าสังเกตว่าการยืดหดตัวของไม้ไผ่มีพฤติกรรมแตกต่างกับของไม้ เมื่อความชื้นลดลงจากสภาพสด ไม้จะเริ่ม

หดตัวเมื่อปริมาณความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด (ราว 30 %) แต่ไม้ไผ่เริ่มหดตัวทันทีเมื่อความชื้นระเหยออกตั้งแต่สภาพสด ไม้ไผ่เกือบไม่มีความคงทนต่อการทำลายของแมลง เห็ดรา และการไหม้ไฟเลย ไม้ไผ่ที่อยู่ติดดินหรือจมอยู่ในดินจะถูกทำลายภายใน 2 ปี ถ้าอยู่ในที่โล่งและไม่ติดดินจะทนได้ราว 2 ถึง 4 ปี และเมื่ออยู่ภายใต้กำบังและไม่ติดดินจะมีอายุใช้งานราว 2 ถึง 7 ปี การนำไม้ไผ่ไปชะล้างสารแทรก หรืออาบน้ำยาจะช่วยให้มีความคงทนเพิ่มขึ้น

ข) กลสมบัติของไม้ไผ่

เกี่ยวกับกลสมบัติ ความแข็งแรง (strength) และความแข็งตึง (stiffness) ของไม้ไผ่ขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใย (fibers), ด้านนอกของลำไม้ไผ่ (สีค่อนข้างเหลืองมีเส้นใยราว 40 % ถึง 60 %) มีความแข็งแรงและความแข็งตึงสูงกว่าด้านใน (สีขาว มีเส้นใยราว 15 % ถึง 30 %) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอายุ ส่วนของลำต้น การกระจายของข้อ ความชื้น สภาวะการเจริญเติบโต และชนิดของไม้ไผ่ ไม้ไผ่ที่อายุ 5 ปี ขึ้นไป และจากส่วนโคนของลำต้นจึงมีความแข็งแรงมากกว่า ความแข็งแรงดัด (bending strength) ของลำไม้ไผ่ที่มีข้ออยู่กึ่งกลางมีค่าสูงกว่าของปล้องระหว่างข้อถึงเท่าตัว แต่ความแข็งตึงของทั้งสองส่วนนี้ไม่แตกต่างกัน (ดูตารางที่ 5 โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิประลัย (modulus of rupture) ของลำไม้ไผ่แก่มีค่าระหว่าง 88 ถึง 167 MPa (เฉลี่ยราว 127 MPa) ส่วนค่าสัมประสิทธิยืดหยุ่นอยู่ระหว่าง 12,258 ถึง 19,123 MPa (เฉลี่ยราว 15,691 MPa) และค่าความแข็งแรงอัดขนานเสี้ยน มีค่าจาก 31 ถึง 71 MPa (เฉลี่ยราว 51 MPa) กลสมบัติที่เด่นที่สุดของไม้ไผ่คือ รับแรงดึงขนานเสี้ยนได้สูงอย่างไม่น่าเชื่อ ไม้ไผ่รวก *(Thyrsostachys siamensis)* ของไทย ส่วนของเนื้อไม้ระหว่างข้อรับแรงดึงขนานเสี้ยนได้ถึง 354 MPa และเนื้อไม้ติดข้อรับแรงดึงขนานเสี้ยนได้ 252 MPa ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยทั่วไปไม้ไผ่มีความแข็งแรงดึงระหว่าง 137-275 MPa (ความเค้นดึงยอมให้สำหรับใช้ออกแบบของเหล็กโครงสร้างตามมาตรฐาน ASTM A36 มีค่าเพียง 135 MPa) อย่างไรก็ตามไม้ไผ่มีจุดอ่อนที่ความแข็งแรงเฉือนขนานเสี้ยน (ประมาณ 11 MPa) และความแข็งแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนซึ่งมีค่าต่ำมาก เป็นเหตุให้ไม้ไผ่แตกง่าย ตอกตะปูหรือขันสกรูไม่ได้ นอกจากจะเจาะนำเสียก่อน การใช้ประโยชน์ไม้ไผ่สำหรับโครงสร้างจึงควรหลีกเลี่ยงการรับแรงดังกล่าวนี้ และหาทางออกแบบให้ไม้ไผ่รับแรงดึงเสมอ

ตารางที่ 5 กลสมบัติบางประการของลำไม้ไผ่ป่าและไม้ไผ่ซางนวลที่รับแรงดัดตรงกึ่งกลางของคานช่วงเดียว (ข้อมูลจาก มนตรี พรหมโชติกุล และ ศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์ 2528)

ชนิดของไม้ไผ่	ลักษณะของลำไม้ไผ่	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	กลสมบัติในการรับแรงดัด*		
				$\sigma_{P.L.}$ (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
ไผ่ป่า (*Bambusa arundinacea*)	ปล้อง (ไม่มีข้อ)	0.74	11.0	28	47	12.6
	ข้อ (ตรงกึ่งกลาง)	0.74	11.0	52	86	16.1
ไผ่ซางนวล (*Dendrocalamus strictus*)	ปล้อง (ไม่มีข้อ)	0.74	11.0	29	47	13.7
	ข้อ (ตรงกึ่งกลาง)	0.74	11.4	44	73	14.9

* ค่าเฉลี่ยจาก 9 ตัวอย่างลำไม้ไผ่ที่ใช้ทดสอบ

$\sigma_{P.L.}$ = fiber stress at proportional limit

MOR = modulus of rupture

MOE = modulus of elasticity

ตารางที่ 6 กลสมบัติบางประการของซีกไม้ไผ่รวกซึ่งเหลาให้กลม (เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.1342 นิ้ว) ในการรับแรงดึงขนานเสี้ยน (Ali and Pama 1978)

ชนิดของไม้ไผ่	ลักษณะของตัวอย่าง	ตัวอย่างทดลอง	กลสมบัติในการรับแรงดึง*		หมายเหตุ
			ความเค้นดึงสูงสุด (MPa)	สัมประสิทธิ์การยืดหยุ่น (GPa)	
ไผ่รวก	ไม่มีข้อ	1	354	26.8	ขาดตรงกึ่งกลาง
(Thyrsostachys		2	258	21.9	"
siamensis)		3	294	24.4	"
	มีข้อตรงกึ่งกลาง	1	252	27.2	ขาดที่ข้อ
		2	237	27.0	"
		3	216	21.7	"

* ไม่รายงานเปอร์เซนต์ความชื้นและความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างไม้ไผ่ที่ใช้ทดสอบ (คิดว่าคงเป็นไม้ไผ่ผึ่งแห้งในบรรยากาศ)

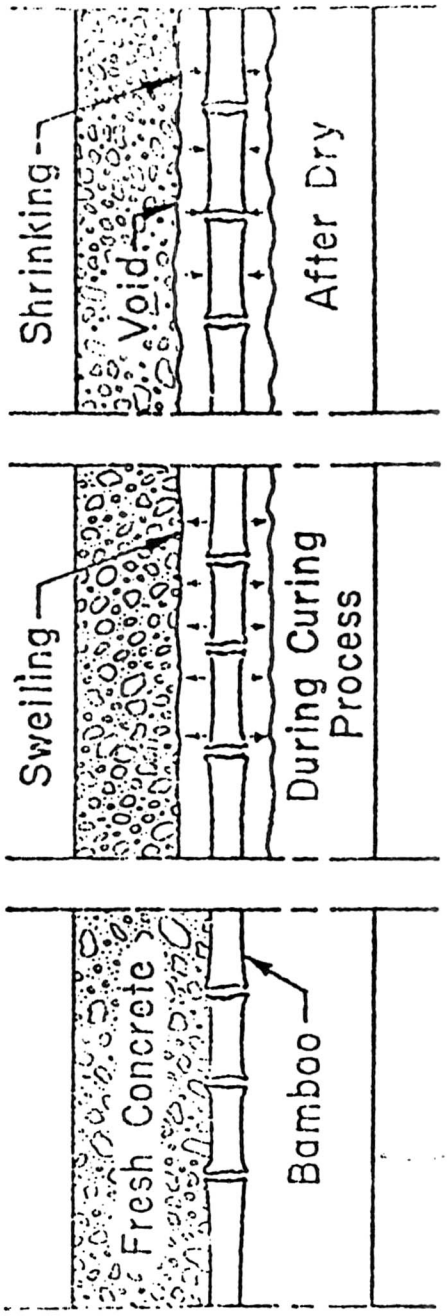
ค) ความแข็งแรงของคอนกรีตเสริมไม้ไผ่

การที่ไม้ไผ่มีความแข็งแรงในการรับแรงดึงได้สูง ช่วยผลักดันให้มีการวิจัยหาวิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำไม้ไผ่ไปเสริมคอนกรีตใช้ในการก่อสร้างและหาทางแก้อุปสรรคที่สำคัญคือแผ่นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รับแรงเฉือนตามแนวแผ่นราบได้ต่ำ เพราะไม้ไผ่เลื่อนไถลออกจากคอนกรีตได้ง่าย เนื่องจากเหตุผลสองประการ (แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่และคอนกรีตไม่ดีและไม้ไผ่มีเปอร์เซนต์การยืดหดตัวสูงเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง) ทำให้เกิดรอยแยกระหว่างไม้ไผ่และคอนกรีต ไม้ไผ่ที่ใช้เสริมคอนกรีตเป็นไม้ไผ่ที่ผึ่งแห้งแล้ว และระหว่างเทคอนกรีตลงแบบที่มีโครงร่างไม้ไผ่เป็นตะแกรงไม้ไผ่จะดูดความชื้นจากคอนกรีตทันทีและหดตัวดันคอนกรีต (ดูรูปที่ 9) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะแห้งลงและดูดความชื้นจากไม้ไผ่ทำให้ไม้ไผ่หดตัวมีขนาดเล็กลงช่องว่างระหว่างคอนกรีตและไม้ไผ่จึงเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ถ้าใช้ไม้ไผ่สดเสริมคอนกรีตไม้ไผ่จะไม่ยืดตัว แต่จะหดตัวเมื่อคอนกรีตแห้ง อาจจะป้องกันการหดตัวของไม้ไผ่ได้โดยนำไม้ไผ่สดไปเสริมคอนกรีตทำถังเก็บน้ำ แต่ไม้ไผ่สดมีความแข็งแรงต่ำและถูกแมลงเห็ดราทำลายได้ง่ายกว่าไม้ไผ่แห้งจึงเป็นการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ที่ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร วิธีง่าย ๆ ที่ช่วยป้องกันการเลื่อนไถลระหว่างไม้ไผ่และคอนกรีตคือใช้ลำไม้ไผ่บากให้คอนกรีตลงไปแข็งตัวภายในช่องและเกิดการขัดขึ่งกันและกัน (mechanical interlocking) เรียกว่า integral shear connector หรือ ใช้แผ่นสลัก (mechanical shear connector) เป็นไม้หรือเหล็กตอกอัดลงไปในร่องที่เจาะไว้ตามลำไม้ไผ่เป็นระยะ ๆ หรือทำเป็นกระเปาะ (bulb connector) ก็ให้ผลดี (ดูรูปที่ 10) การบากลำไม้ไผ่เพิ่มความแข็งแรงและความแข็งตึงของแผ่นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ได้ดีกว่าการใช้แผ่นสลักและทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่รับและการโก่งตัวของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่เกือบเป็นเส้นตรง (รูปที่ 11-ก) การทำเป็นกระเปาะต้านแรงถอนได้สูงกว่าแผ่นยึดเช่นกัน (รูปที่ 11-ข) อีกวิธีหนึ่งคือ ลดการยืดหดตัวของไม้ไผ่โดยเคลือบด้วยสารกันน้ำ เช่น ยางมะตอย (เกรด 80/100) ผสมน้ำมันกาซ 4:1 ส่วน, สารละลาย 40 เปอร์เซนต์ ของชันสนในเอลกอฮอล หรือ น้ำมันลินซีด ผสมยางสน (turpentine) ครึ่งต่อครึ่ง เมื่อทาในปริมาณที่เหมาะสม (ถ้ามากเกินไปจะทำให้แรงยึดระหว่างไม้ไผ่และคอนกรีตต่ำลง) สารเหล่านี้ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่และคอนกรีตราว 50 เปอร์เซนต์ (แรงยึดระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ธรรมดาอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.27 MPa) นอกจากนี้มีนักวิจัยให้น้ำมะฉันเหลวเคลือบไม้ไผ่ปรากฏว่าได้ผลดีเช่นกัน นำไม้ไผ่ทั้งลำมาขัดผิวด้วยการพ่นทราย (sand blasting) และแช่ในน้ำมะฉันเหลวประมาณหนึ่งชั่วโมง เสร็จแล้วเคลือบผิว บาง ๆ ด้วยทราย

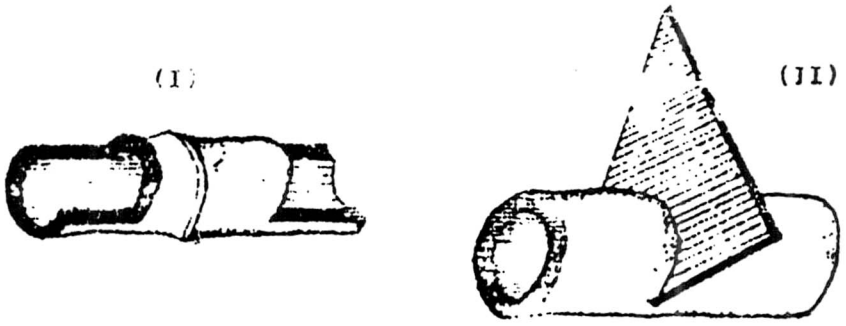
ผึ่งให้แห้งก่อนนำไปใช้ จะลดการดูดน้ำของไม้ไผ่ลงได้ราว 60 ถึง 70 เปอร์เซนต์ (รูปที่ 12) และการยืดหดตัวของไม้ไผ่ในขณะที่คอนกรีตแข็งตัวก็ลดลงอย่างมาก (รูปที่ 13) เกี่ยวกับอุปสรรคที่ไม้ไผ่มีสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นต่ำกว่าคอนกรีตนั้น มีนักวิจัยพยายามแก้โดยการผสมคอนกรีตให้มีสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นต่ำกว่าคอนกรีตนั้น มีนักวิจัยพยายามแก้โดยการผสมคอนกรีตให้มีสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นลดลงเท่าไม้ไผ่ด้วยการใช้ปริมาณซีเมนต์น้อยลง (40-80 ก.ก. ของซีเมนต์ต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต) และเติมดินเหนียว bentonite เล็กน้อย (10-30 % ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก) เพื่อช่วยให้การคลุกเคล้าปูนง่ายขึ้น การใช้ส่วนผสมของ ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : ทราย : กรวดแดง(ลูกรัง, laterite) : น้ำ = 1:0.3:11:19:4.2 โดยน้ำหนัก จะได้คอนกรีตที่มีพฤติกรรมทางกลเข้ากับไม้ไผ่ได้ดี เมื่อใช้คอนกรีตชนิดนี้เสริมด้วยไม้ไผ่จะลดการแตกร้าวลง จากหลักการเดียวกันนี้ได้มีการทดลองใช้ไม้ไผ่เสริมวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน เช่น เสริมดินผสมซีเมนต์ (soil-cement) เพื่อใช้เป็นฐานราก ทำพื้นถนนและผนังอาคารได้ผลดี หรือนำไปทำเสาเข็มเพื่อเป็นฐานรากของอาคารขนาดเบา

ง) การออกแบบแผ่นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่

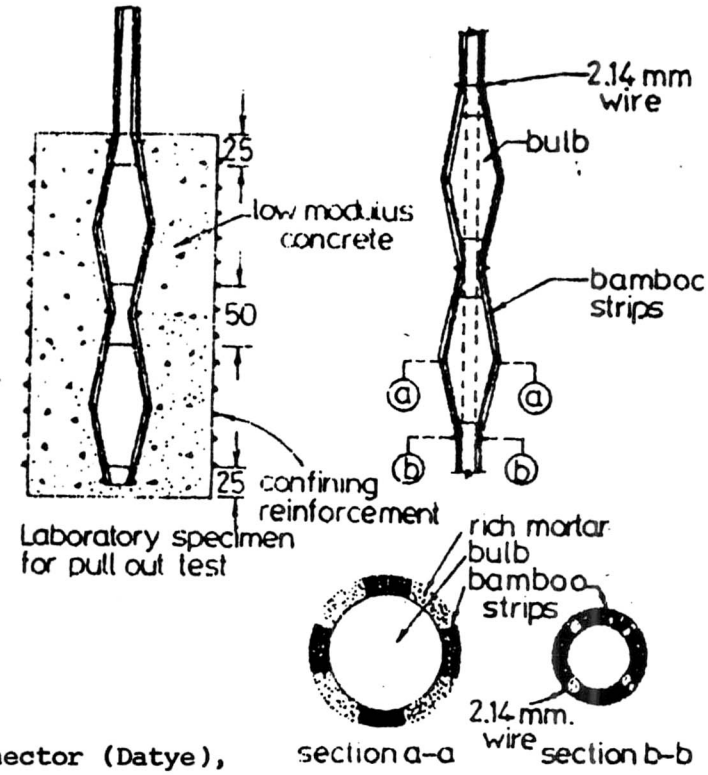
การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ใช้หลักการเดียวกับการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กและจะต้องเข้าใจสมบัติทางกลและทางกายภาพของไม้ไผ่เป็นอย่างดี จากการวิจัยพบว่าควรใช้ไม้ไผ่ซีก (หรือลำไม้ไผ่) ขนาดไม่เกิน 2 ซ.ม. เสริมคอนกรีต และระยะห่างระหว่างไม้ไผ่แต่ละชิ้นไม่ควรน้อยกว่าขนาดของหิน (ที่ใช้ผสมเป็นคอนกรีต) + 0.75 ซ.ม. หรือขนาดของไม้ไผ่ + 0.75 ซ.ม. โดยเลือกเอาขนาดที่โตกว่าเป็นหลัก การเรียงไม้ไผ่ควรสม่ำเสมอ ถ้าใช้ลำไม้ไผ่ที่ปลายเรียวกว่าโคนจะต้องวางสลับกลับหัวกลับหาง ปริมาณไม้ไผ่ที่ใช้จะต้องเหมาะสมด้วย ถ้ามากเกินไปทำให้คอนกรีตแตกง่ายขึ้น เนื้อที่ไม้ไผ่ประมาณ 5 % ของเนื้อที่หน้าตัดคอนกรีตเสริมไม้ไผ่จะให้ความแข็งแรงสูงที่สุด (ดูรูปที่ 14) ความเค้นดึงของคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ยอมให้ใช้ในการออกแบบอยู่ระหว่าง 34-41 MPa (ถ้าต้องการความโก่งไม่เกิน $\frac{1}{360}$ ของความยาวจะต้องใช้ความเค้นดึง = 21-27 MPa) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่กับคอนกรีตเท่ากับ 0.34 MPa ลักษณะโครงสร้างของแผ่นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ โดยใช้ไม้ไผ่ฉีกกันไปมา และแบบตะแกรงไม้ไผ่ผูกด้วยลวด (วิธีเดียวกับการผูกเหล็กเส้น) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 15



รูปที่ 9 พฤติกรรมการยืดและหดตัวของลำไม้ไผ่ (ปราศจากผิว) ในระหว่างการแข็งตัวของคอนกรีต (Fang and Fay 1978)

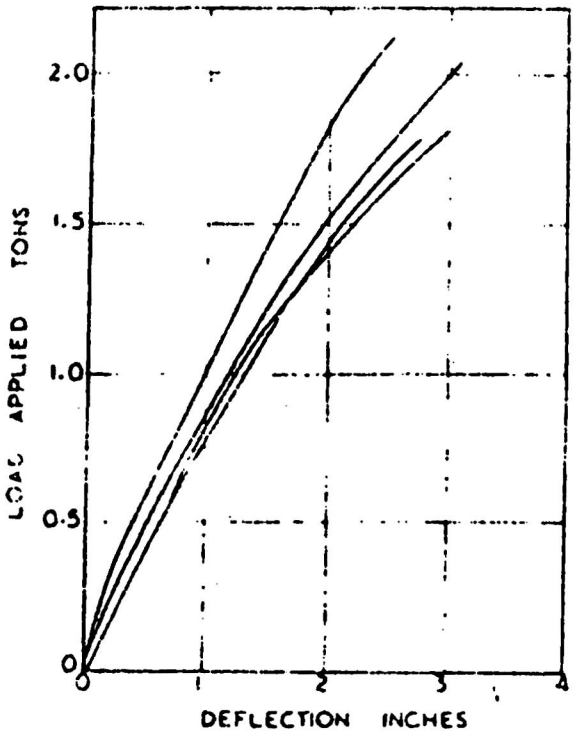


ก. Integral (I) and mechanical (II) shear connectors (United Nations 1972)

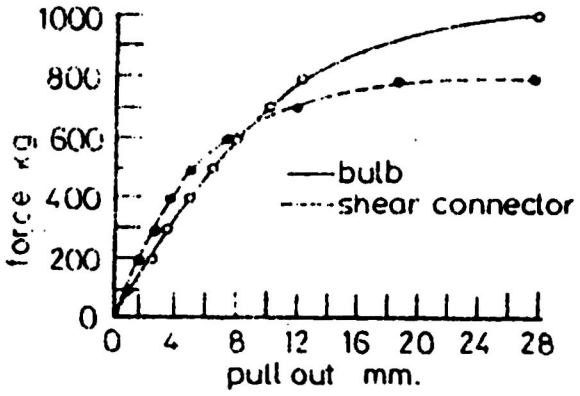


ข. Bulb connector (Datye), Nagaraju and Pandit 1978)

รูปที่ 10 การปรับปรุงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่และคอนกรีตด้วยวิธีกล (โดยการป้องกันการเลื่อนไถล เนื่องจากแรงเฉือน)

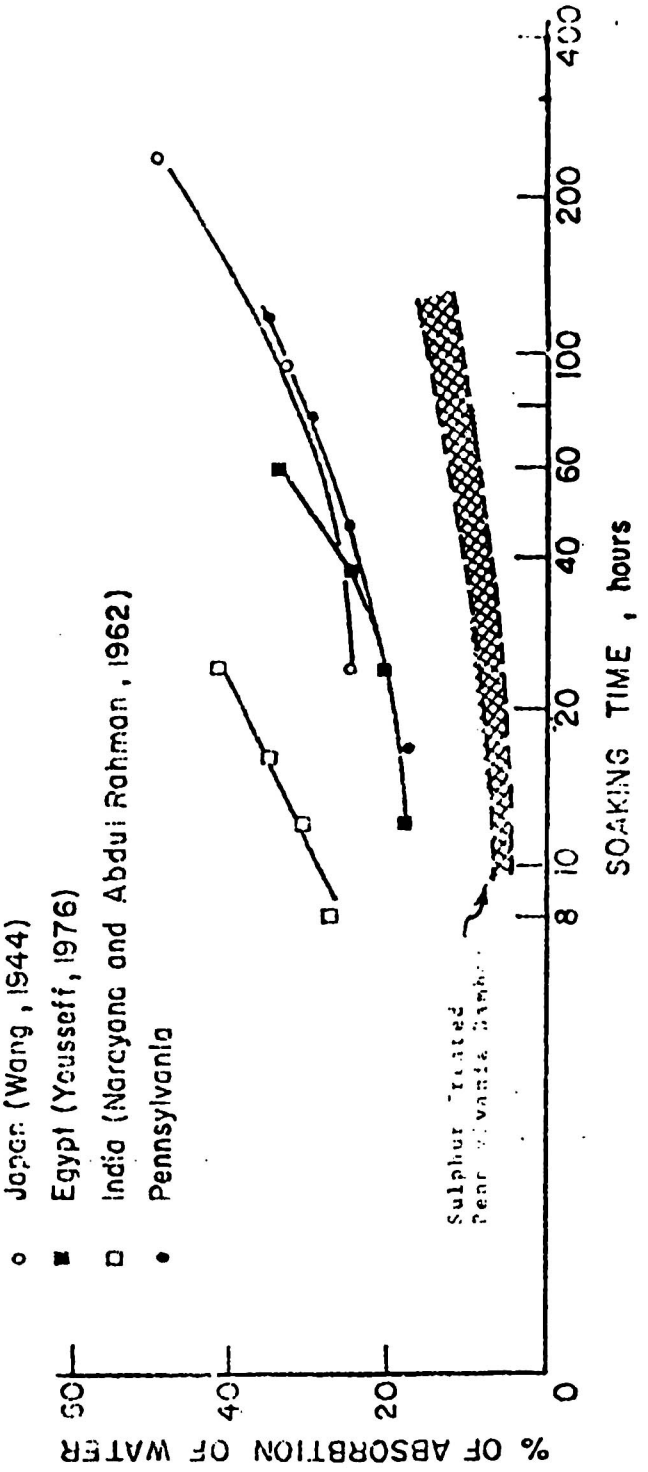


ก. ข้อมูลจาก United Nations 1972

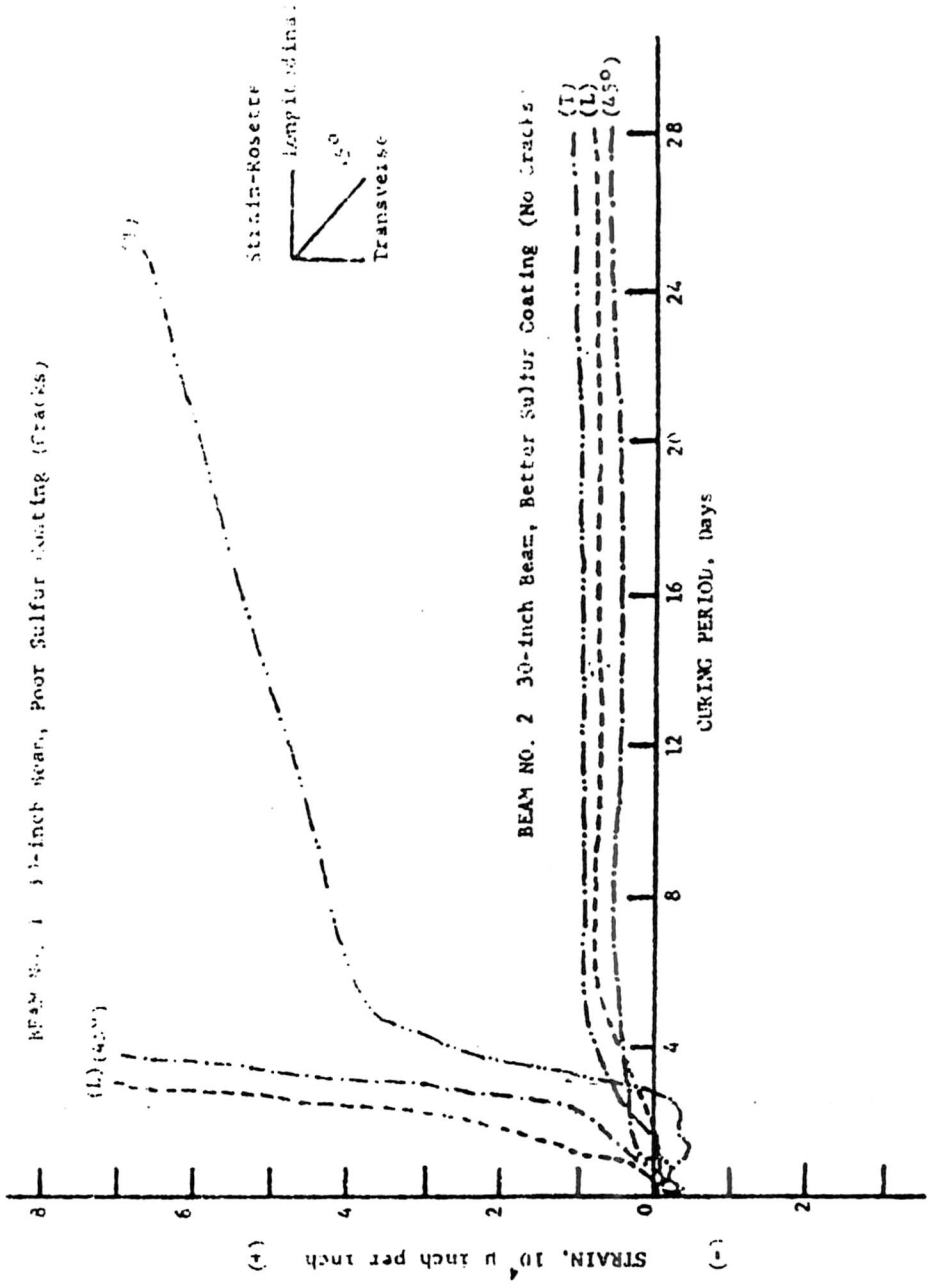


ข. ข้อมูลจาก Datye, Nagaraju and Pandit 1978

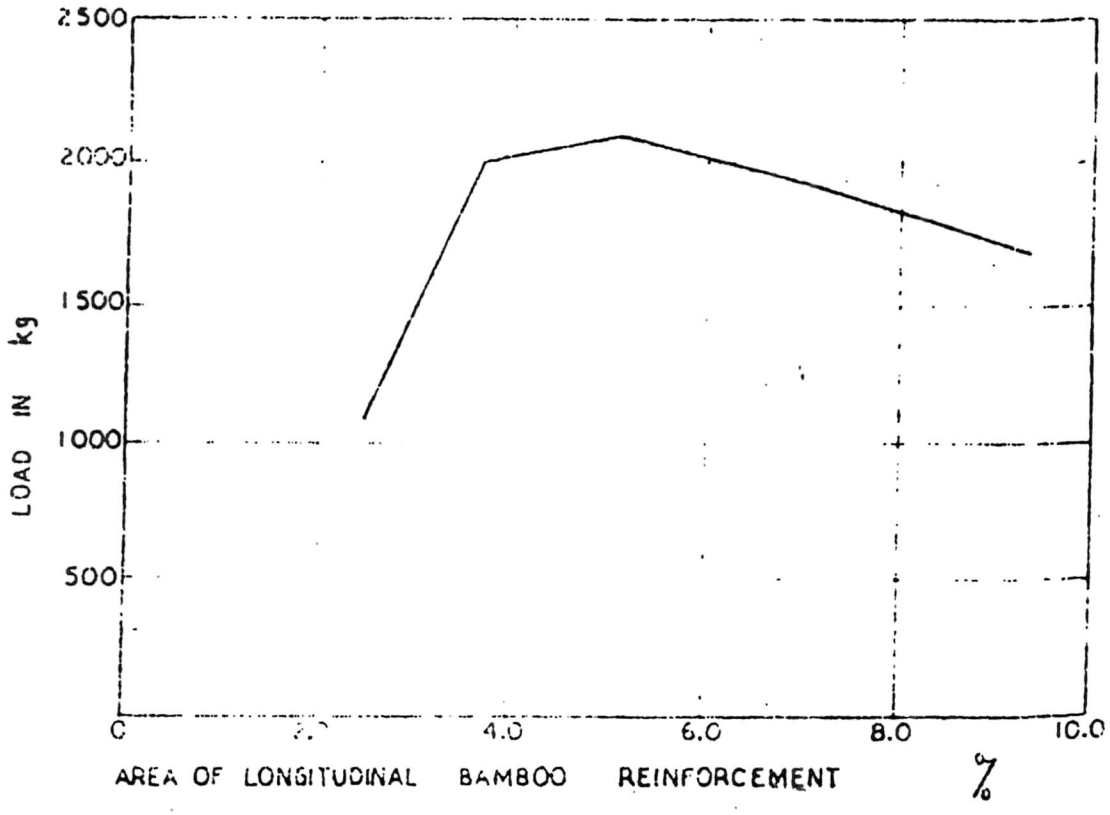
รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ใช้ integral shear connectors (ก) และกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและการเลื่อนไถลของ bulb และ shear connectors (ข)



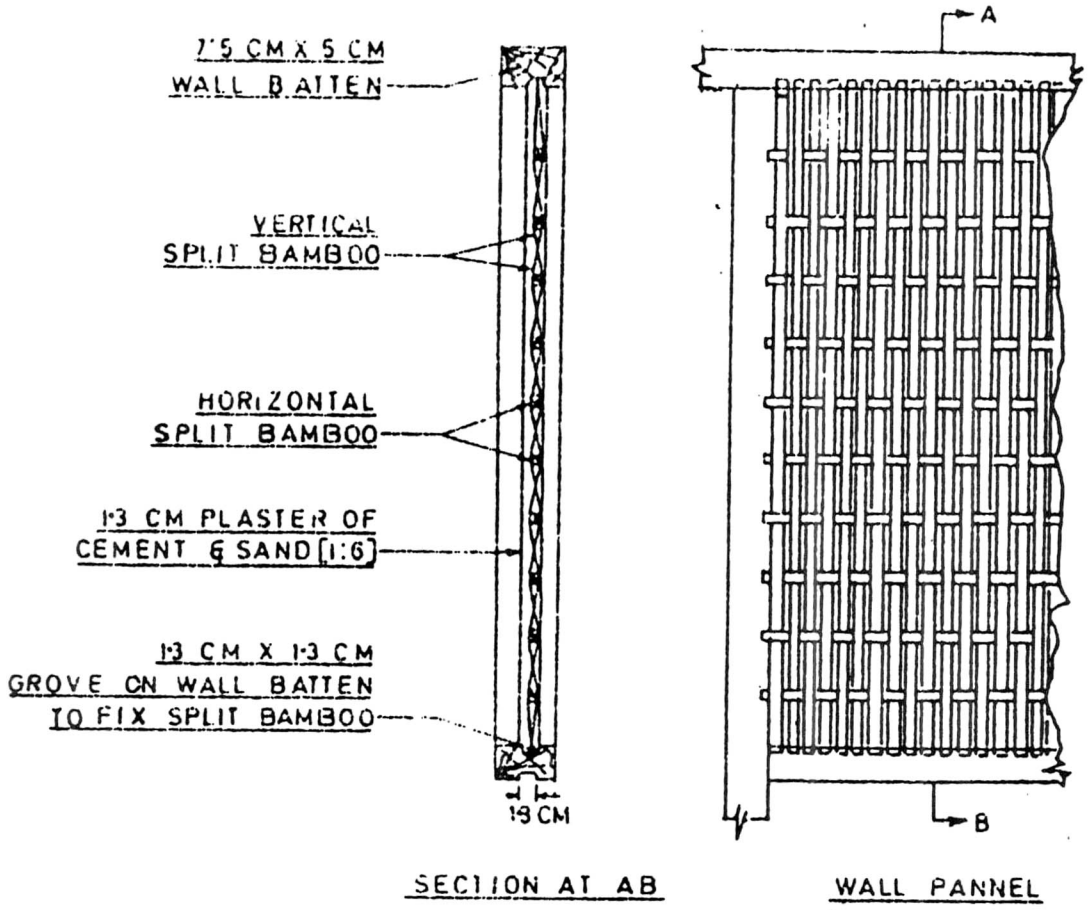
รูปที่ 12 กราฟแสดงให้เห็นว่าการใช้กำมะถันเคลือบลำไม้ไผ่ (ที่ขูดผิวออกแล้ว) ช่วยลดการดูดน้ำของไม้ไผ่ลงอย่างมาก (Fang and Fay 1978)



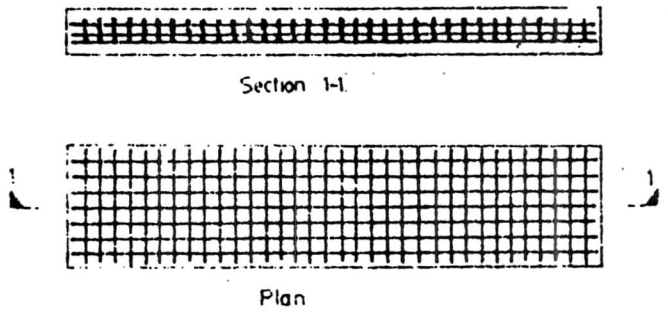
รูปที่ 13 ผลกระทบของการเคลือบลำไม้ไผ่ (ชูดผิวออก) ด้วยกำมะถันต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของลำไม้ไผ่ในขณะที่คอนกรีตแข็งตัว (Fang and Fay 1978)



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักประลัย (failure load) ของคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และปริมาณของไม้ไผ่ที่ใช้เสริม (United Nations 1972)



ก. การใช้ซีกไม้ไผ่ถักเป็นแผงเพื่อเสริมผนังคอนกรีต (Kalita et al. 1978)



ข. แผ่นคอนกรีตเสริมด้วยตะแกรงไม้ไผ่สามชั้น (Ali and Pama 1978)

รูปที่ 15 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่

3. ข้อดีข้อเสียของไม้ในแง่การใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

ไม้เป็นวัสดุอินทรีย์และผลิตขึ้นโดยธรรมชาติซึ่งควบคุมให้มีคุณสมบัติตามที่เราต้องการได้ยาก การนำไม้และวัสดุอื่น ๆ ที่มีไม้เป็นองค์ประกอบไปใช้ในการก่อสร้าง จึงมีทั้งข้อดีและข้อเสีย การใช้ประโยชน์ไม้ที่มีประสิทธิภาพจะต้องพยายามใช้คุณสมบัติที่ดี และพยายามหลีกเลี่ยงจุดอ่อน ถ้าหลีกเลี่ยงข้อ เสียบางอย่างไม่ได้ ก็จะต้องใช้เทคโนโลยีปรับปรุงแก้ไขข้อเสียเหล่านั้นให้ดีขึ้น เช่นใช้สารเคมีอาบน้ำยาไม้เพื่อป้องกันการทำลายของแมลงและเห็ดรา เป็นต้น ข้อดีและข้อเสียของไม้ในแง่การใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างสรุปได้ดังต่อไปนี้

ข้อดี	เหตุผล
(1) ความแข็งแรงดึงขนานเสี้ยนสูง	- การยึดแบบโควาเลนท์ในโมเลกุลของเซลลูโลส,ต้านแรงเฉือนระหว่างเซลล์ได้สูง
(2) ความแข็งแรงจำเพาะ และความแข็งดึงจำเพาะมีค่าสูงมาก	- เช่นเดียวกับข้อ(1) ผนวกกับมีความแน่นต่ำและมีโครงสร้างแบบวัสดุประกอบ
(3) ความเหนียวสูง	- มีโครงสร้างแบบวัสดุประกอบยึดกันทุกทิศ
(4) ตกแต่งง่าย	- ความแน่นต่ำ องค์ประกอบเป็นเซลล์ มีความแข็งดึงสูง
(5) ฉนวนความร้อนและไฟฟ้าที่ดี	- โครงสร้างเป็นโพลี่เมอร์
(6) มีใช้ตลอดไป	- งอกเองหรือปลูกทดแทนได้
(7) ราคาถูก	- ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ
(8) ไม่สึกกร่อนโดยสารเคมี	- วัสดุอินทรีย์

ข้อเสีย	เหตุผล
(1) สมบัติทางกลและกายภาพแปรปรวนมาก	- พันธุกรรมของแต่ละต้น และผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมในขณะเจริญเติบโต
(2) เสียความแข็งแรงเมื่อความชื้นเพิ่ม (ไม่เกินจุดหมาด)	- โครงสร้างของผนังเซลล์บางส่วนเป็นอสัณฐาน (น้ำลดการยึดระหว่างโมเลกุลเซลลูโลส)
(3) ยืดหรือหดตัวเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง	- เช่นเดียวกับข้อ(2) และการเรียงตัวของไมโครไฟบริลส์

ข้อเสีย	เหตุผล
(4) เสียรูปตามกาลเวลา (creep)	- วัสดุหนืดหยุ่น (viscoelastic material)
(5) คุณสมบัติต่างกันทุกทิศทาง (anisotropy)	- การเรียงตัวของเซลล์และทิศทางของไมโครไฟบริลส์
(6) ถูกทำลายโดยแมลงและเห็ดราได้ง่าย	- วัสดุอินทรีย์
(7) ไหม้ไฟได้ง่าย(เมื่อไม้มีขนาดเล็ก)	- อินทรียสาร

บรรณานุกรม

นิรนาม. 2528. อุตสาหกรรมเซลโลกรีต. เอกสารเผยแพร่ของบริษัทเซลโลกรีตไทย จำกัด ปทุมธานี. 3 หน้า.

บุญนำ เกี่ยวข้อง และ วิจิตร กฤษณบำรุง. 2528. วัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบสำหรับใช้ในการก่อสร้าง. เอกสารการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง "การใช้ไม้ในการก่อสร้าง", วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. หน้า 3-1 ถึง 3-39.

ปรีชา เกียรติกระจาย ชัยรัตน์ ตียานุกูลมงคล ธีระชัย จันทรเสนา และ อำนวย คอวนิช. 2525. แผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดจากไม้ยูคาลิปต์และไม้สัก. เอกสารเสนอในที่ประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2525 สาขาวนผลิตภัณฑ์. กรมป่าไม้. หน้า 162-170.

ปรีชา เกียรติกระจาย บุญนำ เกี่ยวข้อง และ อำนวย คอวนิช. 2524. แผ่นชิ้นไม้ผสมซีเมนต์อัดจากไม้โตเร็ว. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม. 5 หน้า.

มนตรี พรหมโชติกุล และ ศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์. 2528. ความแข็งแรงดัดของไม้ไผ่. เอกสารการสัมนาเรื่องไม้ไผ่, คณะวนศาสตร์ ม.ก. หน้า 199-205.

มอก. 2525. ไม้แปรรูป : ข้อกำหนดทั่วไป. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.421-2525, กระทรวงอุตสาหกรรม. 28 หน้า.

มอก. 2525. ไม้สักแปรรูป. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.422-2525, กระทรวงอุตสาหกรรม. 17 หน้า.

มอก. 2525. ไม้กระยาเลยแปรรูป. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.423-2525, กระทรวงอุตสาหกรรม. 18 หน้า.

มอก. 2525. ไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.424-2525, กระทรวงอุตสาหกรรม. 6 หน้า.

AITC. 1981. Glulam Systems. American Institute of Timber Construction, Englewood, Colorado, U.S.A. 40 pp.

Ali., Z., and R.P. Pama 1978. Mechanical properties of bamboo reinforced slabs. In "Proceedings of the Int. Conf. on Materials of Construction for Developing Countries". Bangkok, Thailand. pp. 49-66.

Aziz, M.A. and S.D. Ramaswamy. 1981. Bamboo technology for low cost constructions. In "Appropriate Technology in Civil Engineering". ICE, London. pp. 110-112.

Bovornsombat, S. 1975. Mechanical Properties of Wood-Cement Composites. M. Eng. Thesis, Asian Inst. of Technology, Bangkok, Thailand.

CWC. 1982. Structural Glued Laminated Timber. Canadian Wood Council, Ottawa, Canada. 24 pp.

Datye, K.R., S.S. Nagaraju, and C.M. Pandit. 1978. Engineering applications of bamboo. In "Proceedings of the Int. Conf. on Materials of Construction for Developing Countries". Bangkok, Thailand. pp. 3-20.

Fang H.Y., and S.M. Fay. 1978. Mechanism of bamboo-water-concrete interaction. In "Proceedings of the Int. Conf. on Materials of Construction for Developing Countries". Bangkok, Thailand. pp. 37-48.

ISO. 1985. Boards of Wood-Fibre Reinforced Cement. Draft International Standard, ISO/DIS 8335. International Organization for Standardization, Paris. 9 pp.

Jokerst, R.W. 1981. Finger-Jointed Wood Products. USDA Forest Products Labaratory, Madison, Wis., U.S.A. 24 pp.

Kalita, U.C., A.C. khazanchi, and G. Thyagarajan. 1978. Bamboo-crete panels and roofing elements for low cost housing. In "Proceeding of the Int. Conf. on Materials of construction for Developing Counstries". Bangkok, Thailand. p. 21-35.

Krisnabamrung, W. 1980. Manufacture and Properties of Wood-Cement Products. Dept. of Forest Products, Faculty of Forestry, Kasetsart Univ., Bangkok, Thailand. 45 pp.

Kumar, V.K., E.G. Stern, and T. Szabo. 1972. Built-Up and Composite Beams. Bulletin No. 110. Wood Research and Wood construction Lab., Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Virginia, U.S.A. 24 pp.

United Nations. 1972. The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction. U.N. Publication, New York. 95 pp.