

บทที่ 7

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของดงไม้ประกอบรูปตัวไอที่ผลิตจากไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด ในระบบดงพื้นไม้ ระบบคร่าวฝาไม้ และระบบแปหลังคา ได้ดำเนินการทดสอบกลสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด การทดสอบกำลังรอยต่อประสานไม้ของปีกคานและรอยต่อระหว่างแผ่นปีกและเอว จากนั้นจะทำการวิเคราะห์และออกแบบดงไม้รูปตัวไอแบบหนึ่งมิติที่เหมาะสมโดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานเป็นเกณฑ์ การตรวจสอบพฤติกรรมตัวแทนดงไม้ประกอบรูปตัวไอในลักษณะสองมิติโดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม STRAP และการทดสอบกำลังรับน้ำหนักตัวแทนดงไม้ประกอบรูปตัวไอในระบบพื้นไม้ ระบบฝาไม้ และระบบแปหลังคา ซึ่งได้สรุปผลรายละเอียดในหัวข้อ 7.1.1 – 7.1.4

7.1.1 กลสมบัติพื้นฐานของไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด ที่ใช้ประกอบเป็นดงไม้รูปตัวไอ ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบกำลังอัดขนานเส้น กำลังอัดตั้งฉากเส้น กำลังดัด และกำลังดึง ของไม้ยางพารา และการทดสอบกำลังเฉือนของไม้ไผ่อัดตามมาตรฐาน ASTM D143-83 พบว่าสำหรับไม้ยางพารามีกำลังอัดขนานเส้นปลอดภัยเฉลี่ยเท่ากับ 64 กก./ตร.ซม. กำลังอัดตั้งฉากเส้นปลอดภัยเฉลี่ยเท่ากับ 48 กก./ตร.ซม. กำลังดึงปลอดภัยเฉลี่ยเท่ากับ 89 กก./ตร.ซม. กำลังดัดปลอดภัยเฉลี่ยเท่ากับ 93 กก./ตร.ซม. โดยมีค่าส่วนปลอดภัยสำหรับแรงอัดขนานเส้น แรงอัดตั้งฉากเส้น แรงดึง และแรงดัดเท่ากับ 5.75 2.5 6.5 และ 6.5 ตามลำดับ และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 100,000 กก./ตร.ซม. สำหรับไม้ไผ่อัดมีกำลังเฉือนปลอดภัยเฉลี่ยเท่ากับ 14 กก./ตร.ซม. โดยใช้ส่วนปลอดภัยเท่ากับ 9 สำหรับการทดสอบค่าปริมาณความชื้นของไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัดตามมาตรฐาน ASTM D4442-84 พบว่าปริมาณความชื้นของไม้ยางพารามีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.5 และของไม้ไผ่อัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 9.3

7.1.2 กำลังรอยต่อของไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด

รอยต่อที่ใช้ประกอบเป็นดงไม้รูปตัวไอประกอบด้วย รอยต่อแบบประสานไม้บริเวณส่วนปีกของดงไม้รูปตัวไอซึ่งได้ทำการทดสอบกำลังดึงตามมาตรฐาน ASTM D4688-90 และรอยต่อระหว่างไม้ยางพารากับไม้ไผ่อัดซึ่งได้ทำการทดสอบกำลังดึงตามมาตรฐาน ASTM D143-83

ก. รอยต่อแบบประสานนิ้ว

รอยต่อแบบประสานนิ้วที่ใช้กาวเป็นตัวยึดประสานบริเวณส่วนปีกของตงไม้ได้ทำการทดสอบกำลังดึงตามมาตรฐาน ASTM D4688-90 โดยเปรียบเทียบกันระหว่างกาวเนชั่นแนล 5001 และกาวลาเทกซ์ เอฟเจ-35 ซึ่งกาวทั้งสองชนิดเหมาะกับการต่อแบบประสานนิ้ว เนื่องจากเนื้อกาวมีคุณสมบัติใช้งานได้ง่าย แห้งเร็ว และการยึดเกาะดี พบว่ารอยต่อประสานนิ้วที่ใช้กาวลาเทกซ์ เอฟเจ-35 เป็นตัวยึดประสานมีความแข็งแรงมากกว่าที่ใช้กาวเนชั่นแนล 5001 ทั้งสามสภาพการทดสอบ ซึ่งกำลังดึงตลอดภัยเฉลี่ยของรอยต่อประสานนิ้วที่ใช้กาวลาเทกซ์ เอฟเจ-35 เป็นตัวยึดประสานในสภาพแบบแห้ง แบบแช่น้ำภายใต้สูญญากาศ-ความดัน และแบบดัดม้วนรอบ มีค่าเท่ากับ 49 กก./ตร. ซม. 5 กก./ตร. ซม. และ 2 กก./ตร. ซม. โดยใช้ส่วนปลอดภัยเท่ากับ 9 ตามลำดับ สำหรับที่ใช้กาวเนชั่นแนล 5001 เป็นตัวยึดประสานในสภาพแบบแห้งและแบบแช่น้ำภายใต้สูญญากาศ-ความดัน มีค่าเท่ากับ 48 กก./ตร. ซม. และ 3 กก./ตร. ซม. ส่วนการทดสอบแบบดัดม้วนรอบไม่สามารถหาค่าความเค้นดึงตลอดภัยได้ เนื่องจากกาวเนชั่นแนล 5001 ไม่ทนความชื้น ขึ้นตัวอย่างจึงหลุดออกจากกันหมด สำหรับการใช้งานของตงไม้รูปตัวโอจากไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัดเหมาะที่จะใช้งานในร่มตลอดเวลา ดังนั้นในการทดสอบจึงพิจารณาเลือกใช้กาวเนชั่นแนล 5001 ซึ่งสามารถหาได้ง่าย และราคาถูกกว่ากาวลาเทกซ์ เอฟเจ-35 เป็นตัวยึดประสานรอยต่อแบบประสานนิ้วในตงไม้ประกอบรูปตัวโอ

ข. รอยต่อระหว่างไม้ยางพารากับไม้ไผ่อัด

รอยต่อระหว่างไม้ยางพารากับไม้ไผ่อัดในตงไม้รูปตัวโอที่ใช้กาวเป็นตัวยึดประสานได้ทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D143-83 โดยเปรียบเทียบกันระหว่างกาว 4 ชนิด คือ กาวเนชั่นแนล 5001 กาวพานาเทกซ์ พี-300 กาวพานาเทกซ์ เอคิ-15 และกาวพานาเทกซ์ เอช-125 ซึ่งกาวทั้ง 4 ชนิดเหมาะสำหรับการอัดประสานไม้ และการใช้งานไม้ทั่วไป ในสภาวะอุณหภูมิปกติ จึงได้ทำการทดสอบเฉพาะสภาวะแบบแห้ง พบว่ารอยต่อไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัดที่ใช้กาวเนชั่นแนล 5001 เป็นตัวยึดประสาน ให้กำลังรับแรงเฉือนมากกว่ากาวชนิดอื่น ซึ่งมีค่าแรงเฉือนไหลตลอดภัยเฉลี่ยเท่ากับ 14 กก./ซม. ส่วนค่าแรงเฉือนไหลตลอดภัยเฉลี่ยของรอยต่อไม้ที่ใช้กาวพานาเทกซ์ พี-300 กาวพานาเทกซ์ เอคิ-15 และกาวพานาเทกซ์ เอช-125 มีค่าเท่ากับ 7 กก./ซม. โดยใช้ส่วนปลอดภัยเท่ากับ 9 ซึ่งพิจารณาการใช้งานของตงไม้รูปตัวโอจากไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัดเหมาะที่จะใช้งานในร่มตลอดเวลา และจากผลการทดสอบพบว่ากาวทั้ง 4 ชนิดสามารถยึดรอยต่อระหว่างไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัดได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเกิด

การเสียหายในเนื้อไม้ยางพาราก่อนเสียหายที่รอยต่อถึงร้อยละ 80 ส่วนอีกร้อยละ 20 เป็นการหลุดของกาวโดยที่ไม้ยังไม่แตกเนื่องจากการติดกาวไม่ดี

7.1.3 การวิเคราะห์หน้าตัดรูปไอจากไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด

จากการออกแบบขนาดหน้าตัดของไม้รูปตัวไอในระบบตงพื้นไม้ ระบบคร่าวฝาไม้ และระบบแปหลังคา โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานหนึ่งมิติเป็นเกณฑ์ พบว่าขนาดของตงไม้รูปไอที่เหมาะสมในระบบตงพื้นไม้ได้แก่ขนาด 8 นิ้ว 10 นิ้ว และ 12 นิ้ว ระบบคร่าวฝาไม้และระบบแปหลังคาได้แก่ขนาด 4 นิ้ว 6 นิ้ว และเมื่อได้นำขนาดตงไม้รูปตัวไอดังกล่าวนี้นามาวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับระยะห่างระหว่าง 0.30-0.60 ม. และระยะช่วงพาด 2.00-5.00 ม. ในอาคารบ้านพักอาศัย เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัยมากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ข้อกำหนด พบว่าสำหรับระบบตงพื้นไม้รูปไอขนาด 8 นิ้ว 10 นิ้ว และ 12 นิ้ว ความหนาแผ่นเอนด้าสุด 8 มม. สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัยได้ระหว่าง 151-898 กก./ตร.ม. สำหรับระบบคร่าวฝาไม้ตงไม้รูปตัวไอขนาด 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ความหนาแผ่นเอนด้าสุด 6 มม. สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัยได้ระหว่าง 50-314 กก./ตร.ม. และระบบแปหลังคาขนาด 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ความหนาแผ่นเอนด้าสุด 6 มม. สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัยได้ระหว่าง 31-235 กก./ตร.ม. ซึ่งความสัมพันธ์ขนาดหน้าตัด ระยะห่าง และระยะช่วงพาด ของตงไม้รูปตัวไอในการรับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัยแสดงในตาราง 7.1 โดยน้ำหนักบรรทุกจรมากที่สุดที่ตงไม้รูปตัวไอระบบต่าง ๆ สามารถรับได้ ถูกกำหนดโดยกำลังดึงปลอดภัยบริเวณรอยต่อประสานไม้ในไม้ยางพารา

ตาราง 7.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของตงไม้รูปตัวไอในระบบพื้นไม้ ระบบคร่าวฝาไม้ และระบบแปหลังคา

ระบบตงไม้	ขนาด (นิ้ว x นิ้ว x มม.)	ระยะห่าง (ม.)	ช่วงพาด(ม.) / น้ำหนักบรรทุกจรมากที่สุด(กก./ตร.ม.)						
			2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
พื้นไม้	8 x 1.5 x 8	0.30	580	423	291	211	159	-	-
		0.40	435	317	218	158	-	-	-
		0.50	348	254	175	-	-	-	-
		0.60	290	212	-	-	-	-	-
พื้นไม้	10 x 1.5 x 8	0.30	741	591	414	301	228	178	-
		0.40	555	442	310	225	170	-	-
		0.50	444	354	248	180	-	-	-
		0.60	370	295	206	150	-	-	-

ตาราง 7.1(ต่อ) ความสามารถในการรับน้ำหนักของตงไม้รูปตัวไอในระบบพื้นไม้ ระบบฝาไม้ และระบบแปหลังคา

ระบบ	ขนาด (นิ้ว x นิ้ว x มม.)	ระยะห่าง (ม.)	ช่วงพาด(ม.) / น้ำหนักบรรทุกจรมากที่สุด(กก./ตร.ม.)						
			2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
พื้นไม้	12 x 1.5 x 8	0.30	898	716	547	399	303	237	189
		0.40	674	537	411	299	227	177	-
		0.50	538	429	328	239	181	-	-
		0.60	449	358	274	199	151	-	-
คร่าวฝาไม้	4 x 1.5 x 6	0.30	190	124	84	60	-	-	-
		0.40	149	93	63	-	-	-	-
		0.50	114	74	50	-	-	-	-
		0.60	95	62	-	-	-	-	-
คร่าวฝาไม้	6 x 1.5 x 6	0.30	314	250	180	130	98	75	60
		0.40	236	187	135	97	73	57	-
		0.50	188	150	108	78	58	-	-
		0.60	157	125	90	65	-	-	-
แปหลังคา	4 x 1.0 x 6	0.30	122	77	52	37	-	-	-
		0.40	92	58	39	-	-	-	-
		0.50	73	46	31	-	-	-	-
		0.60	61	38	-	-	-	-	-
แปหลังคา	6 x 1 x 6	0.30	238	151	103	74	56	43	34
		0.40	179	113	77	56	42	32	-
		0.50	143	90	62	45	34	-	-
		0.60	119	75	51	37	-	-	-

7.1.4 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของตงไม้ประกอบรูปตัวไอ

การศึกษาถึงกำลังรับน้ำหนักของระบบตงไม้ ในระบบตงพื้นไม้ ระบบคร่าวฝาไม้ และระบบแปหลังคา ได้เลือกขนาดตัวแทนตงไม้รูปตัวไอจากผลการวิเคราะห์หน้าตัดรูปไอโดยใช้ ทฤษฎีพื้นฐานเป็นเกณฑ์ มาทำการประกอบเป็นคานารูปตัวไอในระบบที่มีแผ่นไม้ประกบซึ่งเปรียบเสมือนแผ่นพื้นและฝ้าเพดานในระบบตงพื้นไม้ ฝ้าผนังในระบบคร่าวฝาไม้ และวัสดุปกคลุมหลังคาในระบบแปหลังคา และระบบที่ไม่มีแผ่นไม้ประกบ รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 ตัวอย่าง

เมื่อนำตัวอย่างดังกล่าวมาทดสอบกำลังรับน้ำหนักในรูปแบบน้ำหนักกระทำแบบสองจุด พบว่าตัวอย่างระบบดงไม้รูปตัวไอที่มีแผ่นไม้ประกบในระบบดงพื้นไม้ขนาด 8 นิ้ว 10 นิ้ว 12 นิ้ว ระบบคร่าวฝาไม้และระบบแปหลังคาขนาด 4 นิ้ว 6 นิ้ว สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายใช้งานเทียบเท่าได้ตั้งแต่ 178-353 กก./ตร.ม. 52-140 กก./ตร.ม. และ 53-129 กก./ตร.ม. สำหรับระบบดงไม้รูปตัวไอที่ไม่มีแผ่นไม้ประกบสามารถรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 183-304 กก./ตร.ม. 63-125 กก./ตร.ม. และ 53-88 กก./ตร.ม. ตามลำดับ โดยใช้ความปลอดภัยเท่ากับ 6.5 ของกำลังรับน้ำหนักแผ่กระจายที่จุดยึดหยุน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแผ่กระจายใช้งานตามทฤษฎีในระบบพื้นไม้ระบบฝาไม้ และระบบแปหลังคาที่มีแผ่นไม้ประกบ พบว่ามีค่าสูงกว่าอยู่ในเกณฑ์ 1.0-2.1 เท่า และ 1.1-1.5 เท่า ในระบบที่ไม่มีแผ่นไม้ประกบและที่มีระยะค้ำข้างเพียงพอ สำหรับระบบที่ไม่มีแผ่นไม้ประกบและมีระยะค้ำข้างไม่เพียงพอมีค่าในเกณฑ์ 0.8-1.1 เท่า

ในการทดสอบกำลังรับน้ำหนักดงไม้ประกอบรูปตัวไอจำเป็นต้องพิจารณาค่าโมดูลัสยึดหยุนเทียบเท่าเนื่องจากดงไม้รูปตัวไอเป็นวัสดุจากไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด และเพื่อตรวจสอบค่าโมดูลัสยึดหยุนเทียบเท่าที่ใช้ในการออกแบบวิเคราะห์ขั้นต้น ซึ่งได้ใช้เท่ากับโมดูลัสยึดหยุนของไม้ยางพาราที่มีค่าเฉลี่ย 100,000 กก./ตร.ซม. ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าโมดูลัสยึดหยุนเทียบเท่าขึ้นกับความลึกและการประกอบของหน้าตัด โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าโมดูลัสความยึดหยุนของไม้ยางพาราซึ่งในระบบพื้นไม้มีค่าระหว่าง 75,000-90,000 กก./ตร.ซม. โมดูลัสความยึดหยุนเทียบเท่าของระบบฝาไม้มีค่าระหว่าง 80,000-125,000 กก./ตร.ซม. โมดูลัสความยึดหยุนเทียบเท่าของระบบแปหลังคามีค่าระหว่าง 75,000-115,000 กก./ตร.ซม.

ดังนั้นสามารถเลือกใช้ดงไม้ประกอบรูปตัวไอสำหรับอาคารที่พักอาศัยในระบบดงพื้นไม้ ระบบคร่าวฝาไม้ และระบบแปหลังคา ตามที่ได้ออกแบบและวิเคราะห์ได้ตามความเหมาะสม ดังแสดงในตาราง 7.1

7.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของตงไม้รูปตัวไอที่ผลิตจากไม้ยางพารา และไม้ไผ่อัด ในงานวิจัยนี้ ยังมีอุปสรรคในการดำเนินการซึ่งควรศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

7.2.1 กลสมบัติพื้นฐานของไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัดยังมีความแปรปรวนอยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งในการผลิตจริงควรมีหน่วยงานคัดเลือกไม้ที่นำมาผลิต และมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบ กลสมบัติพื้นฐานตามช่วงเวลาในการผลิตโดยใช้หลักเกณฑ์ศึกษาแบบเดียวกัน

7.2.2 ในการใช้งานจริงของตงไม้ประกอบรูปตัวไอระบบพื้นไม้ ระบบฝาไม้ และแปะหลังคา ควรใช้ระบบค้ำยันตามระยะห่างไม่เกินเกณฑ์การโก่งเดาะด้านข้างที่ได้จากการวิเคราะห์ และออกแบบตงไม้ประกอบรูปตัวไอ อย่างไรก็ตามแผ่นพื้นไม้ไผ่อัดที่เสริมด้านบนและด้านล่าง ช่วยเพิ่มเสถียรภาพรูปตัดไอในการค้ำข้าง และถ้ามีการปูแผ่นไม้อย่างต่อเนื่องจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรได้มากยิ่งขึ้น

7.2.3 การใช้งานและการบำรุงรักษาตงไม้รูปไอจากไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด ควรใช้งานในที่ร่มตลอดเวลา ซึ่งควรมีการดูแลรักษา การอัดฉีดน้ำยากันปลวกลงในเนื้อไม้ในขั้นตอนการผลิต และเคลือบรูปตัดด้วยวัสดุกันความชื้น แมลง เช่น ยูรีเทน ซึ่งจะช่วยให้ระบบตงไม้ทำหน้าที่ดียิ่งขึ้น

7.2.4 ในการผลิตตงไม้รูปไอดังกล่าวที่ใช้ควรมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ และควรมีการทดสอบในแง่ความทนทานระยะยาว