บทที่ 5

บทสรุป

แผ่นแปรรูปแถบไม้อัดเรียงเสี้ยนหรือโอเอสแอล (oriented strand lumber : OSL) ซึ่งเป็นไม้ประกอบชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับแผ่นชิ้นไม้อัด (particleboard) ที่ใช้ทำเป็นเครื่องเรือนทั่วไป แต่โอเอสแอลทำขึ้นเพื่อนำไปใช้งานเป็นไม้โครงสร้างเช่น เสา หรือ คาน และเพื่อนำไปใช้แทนไม้โครงสร้างที่ทำจากไม้จริง เศษไม้ยางพาราจึงถูกพิจารณาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากมีเศษเหลือจำนวนมากภายในประเทศ ขั้นตอนการผลิตโอเอสแอลต้องเตรียมแถบไม้ (strand) จากเศษไม้ยางพารา แล้วผสมกาวและอัดให้แถบไม้เกาะกันแน่นเป็นไม้ประกอบ แถบไม้ที่เป็นวัตถุหลักจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดสมบัติต่าง ๆของโอเอสแอล ความแข็งแรงซึ่งเป็นสมบัติเชิงกลอย่างหนึ่งของโอเอสแอลถูกนำมาพิจารณาเป็นประเด็นหลักของงานวิจัยนี้ และจากการสำรวจเอกสารพบว่าความยาวแถบไม้ แลการเรียงตัวของแถบไม้มีผลต่อความแข็งแรงของโอเอสแอล วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของขนาดและการเรียงแถบไม้ต่อความแข็งแรงของโอเอสแอลที่ทำจากเศษไม้ยางพาราเพื่อให้ได้องค์ความรู้ในการผลิตโอเอสแอลในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

งานวิจัยแย่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่หนึ่งทำการวิเคราะห์แบบจำลองการเรียงแถบไม้ต่อความแข็งแรงของโอเอสแอลที่ใช้เป็นคาน และส่วนที่สองทำการทดลองเพื่อนเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดสอบจริง แล้วนำไปสู่ข้อสรุปของขนาดแถบไม้และแบบการเรียงแถบไม้ที่ดีที่สุดในการทำโอเอสแอล

งานวิจัยได้นำเสนอวิธีคำนวณความเค้นของไม้ประกอบโอเอสแอลที่ทำเป็นคานและทำนายความวิบัติ ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาแบบการเรียงที่สามารถรับโมเมนต์ดัดได้สูงสุด การเรียงแถบไม้ในแต่ละชั้นได้มุมที่แตกต่าง ๆกันโดยขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแกนกลาง ซึ่งยิ่งห่างจากแกนกลางมากเท่าไรมุมเรียงแถบไม้ก็จะมีค่ามากขึ้นเท่านั้น มุมเรียงแถบไม้สำหรับโอเอสแอล 20 ชั้นที่ได้จากแบบจำลองเป็นดังนี้ $[29°, 25°, 21°, 16°, 9°, 0°, -6°, -8°, -6°, -11°]_A$ โดยเรียกว่า แบบ I (Type I) การกระจายความเค้นของโอเอสแอลแบบ I ที่คำนวณได้ทางทฤษฎีให้ค่าความเค้นในแนวตามเสี้ยนโดยเฉพาะความเค้นที่เกิดขึ้นในชั้นนอก ๆ ใกล้เคียงกับความแข็งแรงของโอเอสแอล ทำให้โมเมนต์ที่ได้จากการอินทิเกรตมีค่าสูงด้วย ส่วนความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวอื่น ๆไม่เกินค่าความแข็งแรงในแนวนั้น และนอกจากนั้นยังได้วิเคราะห์ความไวต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆที่ใช้ในการคำนวณได้แต่สมบัติเชิงกลและมุมเรียงแถบไม้ที่เปลี่ยนไปจากจุดออกแบบทำให้ทราบว่า พารามิเตอร์แรกคือสมบัติเชิงกลของแถบไม้ที่แบ่งออกเป็นความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ความแข็งแรงได้แก่ ความแข็งแรงอัดตามเสี้ยน ความแข็งแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนและความแข็งแรงเฉือนมีผลทำให้ขอบเขตการวิบัติเปลี่ยนแปลง ความแข็งแรงของโอ

เอสแอลจึงเปลี่ยนแปลงไปด้วย ส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นต่าง ๆได้แก่ โมดูลัสยืดหยุ่นตามเสี้ยนและโมดูลัสเฉือน เมื่อเปลี่ยนแปลงจะทำให้การกระจายความเค้นเปลี่ยนแปลงไป ความแข็งแรงของโอเอสแอลก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย พารามิเตอร์ที่สองคือมุมเรียงแถบไม้ การเรียงแถบไม้ในบริเวณชั้นนอก ๆมีผลต่อความแข็งแรงของโอเอสแอลมากกว่าการเรียงแถบไม้ที่อยู่บริเวณกึ่งกลาง แบบการเรียงแบบใหม่จึงเกิดขึ้นโดยมุมการเรียงเป็นดังนี้ [26°, 22°, 18°, 12°, 5°, 0°, 0°, 0°, 0°, 0]$_A$ เรียกว่าแบบ II (Type II) การกระจายความเค้นแตกต่างจากแบบ I เพียงเล็กน้อยบริเวณชั้นที่อยู่กึ่งกลาง โมเมนต์ที่รับได้ก็น้อยกว่าแบบ I เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (1.21%)

โอเอสแอลทำขึ้นในห้องปฏิบัติการโดยใช้เศษไม้บางที่คัดความหนาแล้วเฉลี่ย 1.03 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร 100 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ใช้กาว pMDI เป็นสารยึดติด อัดร้อนที่ความดันสูงสุด 9 MPa ที่อุณหภูมิ 150 °C เวลาอัดร้อนรวม 26 นาที ทดสอบการดึงและการอัดตามมาตรฐาน ASTM D1037-99 โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดและการทดสอบการดัดสถิตย์ตามมาตรฐาน JIS A5908-1994 ใช้การทดลองแบบ 3×3 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

จากการทดสอบการดึงและการอัด พบว่าความแข็งแรงของโอเอสแอลขึ้นอยู่กับความยาวของแถบไม้โดยเมื่อแถบไม้ยาวขึ้นความแข็งแรงก็จะมากขึ้นด้วย แต่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของแถบไม้ แบบจำลองของบาร์นส์สามารถทำนายความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงอัดของโอเอสแอลที่ทำจากไม้ยางพาราได้ดีโดยใช้ค่า n = 1.25 สำหรับทำนายความแข็งแรงดึงและ n = 1.00 สำหรับทำนายความแข็งแรงอัด และยังแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของโอเอสแอลสามารถเขียนอยู่ในรูปของความแข็งแรงของไม้ยางพาราจริงและอัตราส่วนชลูดได้ อัตราส่วนชลูดที่มากขึ้นทำให้ความแข็งแรงของโอเอสแอลมีค่าเข้าใกล้ความแข็งแรงของไม้จริงมากขึ้น การทดสอบการดัดสถิตย์พบว่าความแข็งแรงอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นการดัดขึ้นอยู่กับการเรียงแถบไม้และความยาวของแถบไม้ โอเอสแอลแบบ 0 ให้ความแข็งแรงและโมดูลัสยืดหยุ่นการดัดสูงกว่าโอเอสแอลที่เรียงแบบ I และ แบบ II ประมาณ 10%–25% และ 50% ตามลำดับ โอเอสแอลแบบ I มีความแข็งแรงเท่ากับแบบ II เนื่องจากบริเวณกึ่งกลางใกล้แกนสะเทินมีผลต่อความแข็งแรงและโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยเป็นไปตามที่ได้วิเคราะห์ความไวต่อมุม โอเอสแอลที่จะผลิตในภาคอุตสาหกรรมจึงควรเรียงแถบไม้เป็นมุม 0 องศาทุกชั้น และต้องพิถีพิถันเป็นพิเศษสำหรับชั้นที่อยู่ภายนอก นอกจากนั้นแบบจำลองของบาร์นส์ยังใช้ทำนายความแข็งแรงและโมดูลัสยืดหยุ่นการดัดของโอเอสแอลเรียงแบบ 0 ได้ดีโดยใช้ค่า n = 1.00 และ n = 0.95 ตามลำดับ และเช่นเดียวกับความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงอัด ความแข็งแรงดัดและโมดูลัสยืดหยุ่นการดัดของโอเอสแอลก็สามารถเขียนให้อยู่ในรูปความแข็งแรงและโมดูลัสยืดหยุ่นการดัดของไม้ยางพาราจริงได้เช่นกัน ความยาวแถบไม้ที่ทำให้เกิดมุมถ่ายทอดความเค้นและช่องว่างในเนื้อโอเอสแอลจึงส่งผลต่อความแข็งแรงของโอเอสแอลด้วย ความแข็งแรงของโอเอสแอลใน

งานวิจัยนี้แม้จะน้อยกว่าความแข็งแรงของไม้จริงที่ความถ่วงจำเพาะเท่ากัน แต่สามารถเพิ่มความแข็งแรงขึ้นได้อีกเมื่อความหนาของแถบไม้ลดลงหรืออีกนัยหนึ่งก็คืออัตราส่วนชลูดเพิ่มขึ้นนั่นเอง

แบบจำลองการเรียงแถบไม้ที่พัฒนาขึ้นแม้ว่าจะทำนายความแข็งแรงของโอเอสแอลที่เรียงมุมแถบไม้แบบต่าง ๆได้ไม่ดีจนทำให้ผลการทดลองที่ได้กลับตรงข้ามกับที่ได้คำนวณไว้ แต่ก็สามารถทำนายความแข็งแรงของโอเอสแอลแบบ 0 ได้ดี ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับการทำนายความแข็งแรงของโอเอสแอลแบบ I และ แบบ II เนื่องจากใช้สมบัติเชิงกลของไม้จริงแต่เมื่อใช้สมบัติเชิงกลของโอเอสแอลโดยตรงแล้วทำให้ทราบว่าแบบการเรียงที่ได้คำนวณไว้มีความแข็งแรงน้อยกว่าจริง การคำนวณความแข็งแรงของโอเอสแอลจึงต้องใช้สมบัติเชิงกลของโอเอสแอโดยตรง แต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นอีกเมื่อเทียบกับผลการทดลอง ความผิดพลาดเหล่านี้เกิดจากอิทธิพลของความยาว ผลของการกระจายความหนาแน่นตามความหนา และโมดูลัสเฉือนกับอัตราส่วนพัวส์ซอง

ความยาวไม้ทำให้เกิดมุมถ่ายทอดความเค้นที่เป็นเหตุให้ความแข็งแรงของโอเอสแอลลดลง ความยาวแถบไม้ยิ่งน้อยมุมถ่ายทอดความเค้นก็จะยิ่งมาก ความแข็งแรงของโอเอสแอลก็จะยิ่งลดลง นอกจากนั้นความยาวแถบไม้ยังทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อโอเอสแอล ทำให้โอกาสเกิดการวิบัติมีมากขึ้น ความยาวแถบไม้ยิ่งน้อยช่องว่างก็จะยิ่งมากโอกาสเกิดการวิบัติก็จะยิ่งมากขึ้น ความแข็งแรงของโอเอสแอลก็จะยิ่งน้อยลง

การกระจายความหนาแน่นตามความหนาที่มีลักษณะการกระจายเป็นรูป Σ โดยมีความหนาแน่นสูงที่ผิวด้านนอกทำให้พฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของโอเอสแอลเหมือนความรูปตัว I ความแข็งแรงดัดจากการทดลองจึงมีค่าสูงกว่าการคำนวณทางทฤษฎีที่สมมติให้ความหนาแน่นกระจายสม่ำเสมอเท่ากันทั้งหน้าตัด

โมดูลัสเฉือนกับอัตราส่วนพัวส์ซองมีผลต่อความแข็งแรงดัดของโอเอสแอลด้วย เมื่อสมบัติเชิงกลคู่นี้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมีช่วงหนึ่งที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงมีค่าสูงมาก และเนื่องจากค่าที่ได้จากกการทดลองตกอยู่ในช่วงที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงนี้เอง ความผิดพลาดจากการคำนวณความแข็งแรงจึงมีค่าสูงด้วย

งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าความยาวแถบไม้ที่ควรเลือกใช้ในระดับอุตสาหกรรมคือแถบไม้ที่ยาวถึงค่า ๆหนึ่งก็เพียงพอต่อความแข็งแรงที่ต้องการ แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆในขั้นตอนการเตรียมแถบไม้ด้วย โอเอสแอลซึ่งสามารถพัฒนากระบวนการผลิตจากโรงงานผลิตโอเอสบีอาจจะใช้แถบไม้ที่เตรียมจากขั้นตอนการผลิตโอเสบีได้ แต่ขั้นตอนการเรียงแถบไม้ควรเรียงแถบไม้เป็นมุม 0 องศาทั้งหมดเพื่อสามารถรับโหลดการดึง การอัดและการดัดได้สูงสุด โอเอสแอลที่ทำจากเศษไม้ยางพาราสามารถทำให้มีความแข็งแรงสูงกว่าไม้ยางพาราได้เพราะโอเอสแอลสามารถทำให้มีความหนาแน่นสูงกว่าไม้จริงได้ การนำเศษไม้ยางพารามาแทนไม้จริงจึงเป็นสิ่งที่ทำได้ในทางปฏิบัติ

ข้อเสนอแนะ

1. ในแง่ของความแข็งแรงความยาวแถบไม้ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมควรมีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ความหนา 0.6 มิลลิเมตร ก็เพียงพอ ไม่จำเป็นต้องยาวมากไปกว่านี้ เพราะถ้าแถบไม้ยาวกว่านี้ความของแรงที่ได้ก็มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้าพิจารณาในแง่อื่น ๆเช่น การคืบตัว (creep) ในช่วงอายุการใช้งานของโอเอสแอล การเตรียมแถบไม้ การผสมกาว เป็นต้น อาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

2. แบบจำลองโอเอสแอลรับแรงดัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังต้องปรับปรุงในหลายปัจจัย ได้แก่ ความสัมพันธ์ของความถ่วงจำเพาะกับความแข็งแรงของโอเอสแอล รูปแบบการกระจายความหนาแน่นตลอดความหนา โมดูลัสเฉือนและอัจราส่วนพัวส์ซอง ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

3. รูปแบบการกระจายความหนาแน่นตลอดความหนาทำให้โอเอสแอลรับโมเมนต์ดัดได้มากขึ้น รูปแบบการกระจายที่ทำให้มีความแข็งแรงสูงสุดก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่น่าจะทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยรูปแบบการกระจายความหนาแน่นนี้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการอัดร้อนได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และความชื้นของแถบไม้ โดยตรง