

ผลกระทบของขนาด รูปร่าง และทิศทางของเส้นของชิ้นไม้ย่อยต่อความแข็งแรงของ โอเอสแอล

Effect of Strand Configuration and Grain Directions on the Strength of Oriented Strand Lumber (OSL)

รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ

ดร.วรวัธ วิสุทธิ์เมฆางกูร

สมยศ จิรสติติสิน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หาดใหญ่ สงขลา 90112

โทร 074-212893, 222250, 222251, 211030 ต่อ. 2250-1 โทรสาร 074-212893

ผศ.ดร.บุญนา เกี้ยวข้อง

สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160

โทร. 66-75-672301, 66-75-672303 โทรสาร. 66-75-672302

Assoc.Prof.Dr.Suteera Prasertsan

Dr.Worawut Wisutmethangoon

Mr.Somjot Chirasatitsin

Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

Haad Yai, Songkla 90112, Thailand

Tel. 66-74-212893, 222250, 222251, 211030 Ext. 2250-1 FAX 66-74-212893

Asst.Prof.Dr.Bunnum Kyokong

Institute of Industrial and Resources Technology, Walailak University.

222 Thaiburi, Thasala, Nakhon Si-Thammarat 80160, Thailand

Tel. 66-75-672301, 66-75-672303 FAX. 66-75-672302

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการนำเศษไม้ยางที่มีเหลือจำนวนมากจากอุตสาหกรรมภายในประเทศมาทำเป็นไม้ประกอบโครงสร้าง โดยเทคนิคของไม้ประกอบที่จะศึกษาคือไม้ประกอบประเภทโอเอสแอล คือการนำแถบไม้หนา 1 มม. กว้าง 10 มม. และยาว 75 มม. มาเรียงซ้อนทับกัน และอัดติดด้วยกาว ความแข็งแรงของโอเอสแอลจะขึ้นอยู่กับทิศทางของการวางตัวของแถบไม้ ลักษณะทางเรขาคณิตของแถบไม้ กาว และกระบวนการผลิต โครงการนี้ต้องการศึกษาในประเด็นของขนาด ทิศทางการวางแถบไม้ ที่มีต่อความแข็งแรงของ โอเอสแอล เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตระดับอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโอเอสแอลในโครงการวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นสูงสุดและทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์เป็นเกณฑ์โดยการคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นในโอเอสแอลเมื่อรับภาระใช้ทฤษฎีวัสดุที่เรียงเป็นชั้นมี

สมมติฐานเบื้องต้นว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเกิดขึ้นที่เนื้อไม้ไมใช่ที่กาวหรือช่วงรอยต่อ การเรียงตัวของแถบไม้ในโอเอสแอลเป็นแบบสมมาตร ออกแบบคานขนาด $2'' \times 6'' \times 4m$ ผลจากการวิเคราะห์หาการเรียงที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้มากที่สุดที่การเรียงมุมเป็นดังนี้คือ $[23^\circ, 20^\circ, 15^\circ, -42^\circ, -13^\circ]$ s โมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้คือ $9,322.8 \text{ N}\cdot\text{m}$ ตามทฤษฎีความเค้นสูงสุด และตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์ การเรียงมุมที่ได้คือ $[19^\circ, 13^\circ, 2^\circ, -11^\circ, -10^\circ]$ s โมเมนต์ดัดสูงสุดคือ $8,231.63 \text{ N}\cdot\text{m}$ เปรียบเทียบกับโอเอสแอลที่ไม่ได้เรียงมุม (แถบไม้เรียงตัวขนานกับความยาวของคาน) มีความแข็งแรงขึ้นประมาณ 33% ตามทฤษฎีความเค้นสูงสุดและ 17% ตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ยังต้องนำไปใช้ในการสร้างต่อไป

Abstract

This research studied the use of waste wood from rubber wood industry in the country to make wood-based structural composite. Oriented strand lumber or OSL was considered. It is composed of strands, roughly 1 mm. thick, 10 mm. wide, 75 mm. long. The strands are smeared with an adhesive or resin, formed a fluffy mat, pressed and heated, and consolidated into an OSL. Strength properties of OSL are affected by strand orientation, strand geometry, adhesive, and manufacturing. This paper present an effect of size and alignment of strands on the strength of OSL in order to guide for an industry. Failure theories, such as Maximum Stresses Theory and Tsai-Hill Theory, were applied for predicting the strength. Stresses in OSL were determined by laminate theory. Assuming that the failure occurs in wood, not in an adhesive or interface, was established. The results of these were that OSL 2"×6"×4m optimized with symmetrical lamination was oriented [23°,20°,15°,-42°,-13°]s , maximum moment of 9,322.8 N·m, by Maximum Stresses Theory and [19°,13°,2°,-11°,-10°]s , maximum moment of 8,231.63 N·m, by Tsai-Hill Theory. Comparing with parallel strand alignment of OSL, the strength of OSL optimized by these theories was increased by 33% and 17%, respectively.

1.บทนำ

ไม้เป็นวัสดุอย่างหนึ่งที่ใช้เป็นโครงสร้างมาช้านานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างการใช้งานก็ได้แก่ การนำไปใช้เป็นฝ้าบ้าน คานตง พื้นบ้าน เสา โครงหลังคา เป็นต้น ในอดีตที่ผ่านมา การนำไม้มาใช้นั้นจะแปรรูปจากต้นไม้เป็นไม้ท่อน แผ่นไม้แปรรูป แล้วจึงนำไปใช้งานต่อไป แต่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง ทรัพยากรไม้ถูกใช้ไปมากจนไม่สามารถปลูกทดแทนได้ทันใช้งาน จึงมีการพัฒนาแผ่นไม้อัด (plywood) ซึ่งมีลักษณะเป็นไม้แผ่นประกอบ เพื่อใช้ในการทำพื้น ผนัง และหลังคาแทนแผ่นไม้แปรรูป และได้มีการพัฒนาเรื่อยมาเป็น แผ่นไม้ประกอบ (COM-PLY® panel) แผ่นชิ้นไม้อัด (particleboard) และแผ่นแถบไม้อัดเรียงเสี้ยน (oriented strand board : OSB) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ไม้ประกอบโครงสร้างเช่น คานหรือเสา ได้มีการพัฒนาดังแต่ต้นทศวรรษที่ 1970 โดยมีความพยายามที่จะใช้เศษเหลือจากการทำอุตสาหกรรมไม้เช่น เศษไม้บาง ไม้ท่อนที่มีขนาดเล็ก เป็นต้น ยกตัวอย่างไม้ประกอบที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ แผ่นแปรรูปไม้บางประกบ (laminated veneer lumber : LVL) , แผ่นแปรรูปไม้อัดประกบ (COM-PLY® lumber) , แผ่นแปรรูปแถบไม้อัดขนาน (parallel strand lumber : PSL) , แผ่นแปรรูปแถบไม้อัดเรียงเสี้ยนหรือโอเอสแอล (oriented strand lumber : OSL) (Malony 1996)

ขั้นตอนการผลิตโอเอสแอลโดยทั่วไปคือการนำแถบไม้ (strand) อาบกาแล้วเรียงซ้อนทับกัน จากนั้นจึงอัดให้ได้ขนาดตามต้องการมีโอเอสแอลที่ออกจำหน่ายสู่ตลาดบ้างแล้วโดยใช้ชื่อทางการค้าว่า

TimberStrand™ LSL ผลิตโดย MacMillan Bloedel, Ltd. ประเทศแคนาดา ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนเป็น Trus Joist MacMillan เป็นโอเอสแอลทำจากแถบไม้ที่เป็นเศษเหลือจากไม้บาง (veneer) ยาวประมาณ 12 นิ้ว เป็นการนำเศษไม้บางมาเรียงเป็นแนวตามยาว นอกจากนั้นแล้วยังมีโอเอสแอลที่ใช้ชื่อทางการค้าอื่น ๆ อีกเช่น Scrimber™ ของประเทศออสเตรเลีย และ Zephyrwood™ ของประเทศญี่ปุ่น แต่สองชนิดหลังนี้ยังไม่ประสบความสำเร็จด้านการตลาดเท่าที่ควร

โอเอสแอลสามารถผลิตได้จากขบวนการผลิตแผ่นแถบไม้อัดเรียงเสี้ยน (oriented strand board : OSB) แต่ต้องปรับปรุงกระบวนการเรียงแถบไม้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เหมาะสมกับการใช้งาน โอเอสแอลจึงกำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนาเนื่องจากคุณสมบัติความแข็งแรงยังต้องทำการทดสอบให้ได้ค่าตามมาตรฐาน แต่น่าจะมีแนวโน้มไปในทางที่ดีในอนาคต

ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมไม้ยางพารา ซึ่งมีเศษเหลือจำนวนมาก เป็นที่ประมาณการว่าไม้ยางพารา 1 ไร่ จะประกอบด้วยเศษเหลือเป็นไม้ท่อนขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 15 ซม.) 24.3 ลบ.ม. และปึกไม้จากการแปรรูปในโรงเรียว 10.3 ลบ.ม. จากพื้นที่เพาะปลูกกว่า 12 ล้านไร่ และอายุการตัดโค่น 25 - 30 ปี จึงประมาณการได้ว่า จะมีเศษไม้ประมาณ 10.4 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี (Prasertsan and Vanapruk, 1998)

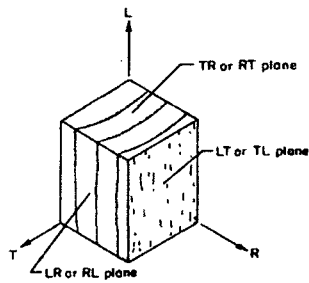
แนวคิดเบื้องต้นของโครงการวิจัยนี้จึงต้องการใช้เศษไม้ยางพารา มาทำเป็นไม้ประกอบขนาดใหญ่ เพื่อทดแทนไม้เนื้อแข็งในการใช้งานเป็นไม้โครงสร้าง เทคนิคของไม้ประกอบที่จะศึกษาคือโอเอสแอล (Oriented Strand Lumber : OSL) และต้องการศึกษาในประเด็นของขนาด การเรียงตัวแถบไม้ และชนิดของกาวที่มีต่อความแข็งแรงของ โอเอสแอล เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2.ทฤษฎีความเสียหาย

ไม้ถือเป็นวัสดุออร์โทโทรปิกคือวัสดุที่มีคุณสมบัติขึ้นอยู่กับทิศทางที่ตั้งฉากกัน 3 ทิศทาง ซึ่งจะเป็นแกนหลักในการคำนวณหาความต้าน และใช้ในการพิจารณาความเสียหายด้วย แกนหลักทั้ง 3 คือ

- (1) แกนตามเสี้ยน ใช้สัญลักษณ์ L หรือ 1
 - (2) แกนตามแนวเส้นสัมผัส ใช้สัญลักษณ์ T หรือ 2
 - (3) แกนตามแนวรัศมี ใช้สัญลักษณ์ R หรือ 3
- แกนหลักทั้งสามจะก่อให้เกิดระนาบที่ตั้งฉากกัน 3 ระนาบคือ
- (1) ระนาบตามเสี้ยน-ตามเส้นสัมผัส ใช้สัญลักษณ์ LT หรือ 12
 - (2) ระนาบตามเสี้ยน-ตามรัศมี ใช้สัญลักษณ์ LR หรือ 13
 - (3) ระนาบตามเส้นสัมผัส-ตามรัศมี ใช้สัญลักษณ์ TR หรือ 23

ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1- ทิศทางและระนาบต่าง ๆ ของไม้

2.1 ทฤษฎีความเค้นสูงสุด (Maximum Stress Theory)

สำหรับความเค้นในระนาบ การเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อความเค้นในแกนหลักในแนวใดแนวหนึ่งของวัสดุเกินความต้านทานแรง (strength) ในแกนนั้นๆ

$$X > \sigma_1 \quad \dots\dots\dots(1ก)$$

$$Y > \sigma_2 \quad \dots\dots\dots(1ข)$$

$$S > \tau_{12} \quad \dots\dots\dots(1ค)$$

เมื่อ $\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}$ เป็นความเค้นในระนาบในแกนหลักของวัสดุ
 X, Y, S เป็นความต้านทานแรงในแกนหลักของวัสดุ

2.2 ทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์ (Tsai-Hill Theory)

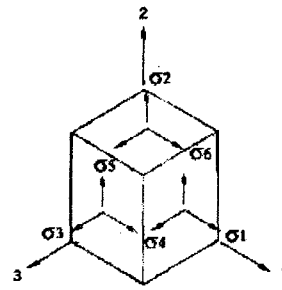
สำหรับความเค้นในระนาบแล้วเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นไปตามสมการ

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

ความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อผลลัพธ์ทางด้านซ้ายของสมการมีค่ามากกว่า 1

3. การคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นในโอเอสแอล

โอเอสแอลที่ออกแบบเป็นคานที่มีการรองรับอย่างง่าย (simply supported beam) มีน้ำหนักบรรทุกกระทำตามขวาง (transverse load) ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โอเอสแอลมีลักษณะเป็นชั้นที่มีการเรียงมุมต่าง ๆ กัน เพื่อให้มีความแข็งแรงสูงสุด การคำนวณความเค้นจึงอาศัยทฤษฎีวัสดุที่เรียงซ้อนเป็นชั้น (Laminate Theory) โดยความเค้นที่เกิดขึ้นในองค์ประกอบเล็ก ๆ มีสัญลักษณ์เป็นไปตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในองค์ประกอบเล็ก ๆ

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ คือ ความเค้นตั้งฉากที่เกิดขึ้นในทิศทาง 1 2 และ 3 ตามลำดับ $\sigma_4, \sigma_5, \sigma_6$ คือ ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในระนาบ 12 23 และ 13 ตามลำดับ อาจเขียนเป็น $\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{13}$

3.1 โอเอสแอลที่มีลักษณะเป็นวัสดุออร์โทโทรปิก

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในระนาบของไม้ ซึ่งเป็นวัสดุออร์โทโทรปิกนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 2Q_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \frac{1}{2}\gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}$$

$$Q_{12} = \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} = \frac{\nu_{21}E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}$$

$$Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}$$

$$Q_{66} = G_{12}$$

โดยที่

E_1 คือโมดูลัสยืดหยุ่นในทิศทางตามเส้น
 E_2 คือโมดูลัสยืดหยุ่นในทิศทางตั้งฉากเส้น
 G_{12} คือโมดูลัสเฉือน
 ν_{12} และ ν_{21} คืออัตราส่วนพัวส์ของ

โดยที่

$$\frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{\nu_{21}}{E_2}$$

หรืออาจเขียนได้เป็น

.....(4)

สำหรับความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางขนานและตั้งฉากเส้น สามารถหาได้จากความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางใด ๆ จากสมการ

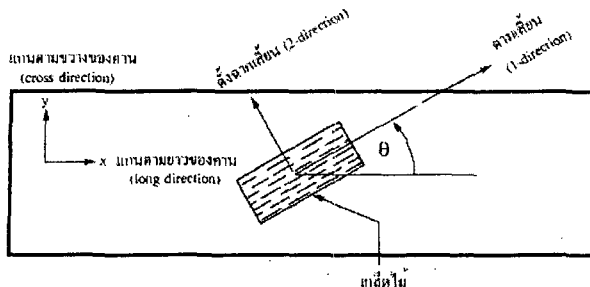
$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2\sin\theta\cos\theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2\sin\theta\cos\theta \\ -\sin\theta\cos\theta & \sin\theta\cos\theta & -(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

หรือเขียนได้เป็น

$$\{\sigma\}_{12} = [T]\{\sigma\}_{xy}$$

เมื่อ $[T]$ คือเมทริกซ์ตัวแปลงโดยที่

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2\sin\theta\cos\theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2\sin\theta\cos\theta \\ -\sin\theta\cos\theta & \sin\theta\cos\theta & -(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \end{bmatrix}$$



รูปที่ 3 ทิศทางตามยาวและตั้งฉากของแกน (x-direction, y-direction) และทิศทางขนาน (1-direction) และตั้งฉากเส้น (2-direction)

3.2 การคำนวณความเค้น

การคำนวณความเค้นในงานวิจัยนี้อาศัยทฤษฎีวัสดุที่เรียงซ้อนเป็นชั้น (Laminate Theory) ซึ่งอ้างอิงสมมติฐานของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff Hypothesis) และสมบัติของวัสดุออร์โทโทรปิกเป็นหลัก ความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่ได้รับและความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ (Jones 1975)

$$\{N\} = [A]\{\epsilon\} + [B]\{\kappa\} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\{M\} = [B]\{\epsilon\} + [D]\{\kappa\} \quad \dots\dots\dots(6)$$

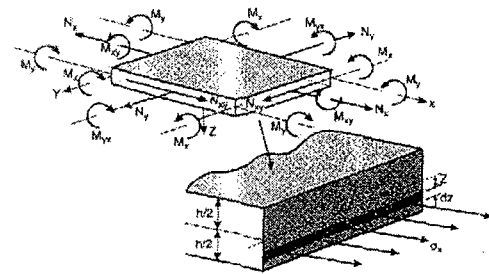
เมื่อ

$\{N\}$ คือ เวกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำตามแนวแกน ประกอบด้วย N_x , N_y และ N_{xy}

$\{M\}$ คือ เวกเตอร์ของโมเมนต์ดัดที่กระทำตามแนวแกนประกอบด้วย M_x , M_y และ M_{xy}

$\{\epsilon\}$ คือ เวกเตอร์ของความเครียดที่แนวกึ่งกลางหรือแนวอ้างอิงประกอบด้วย ϵ_x , ϵ_y และ γ_{xy}

$\{\kappa\}$ คือ เวกเตอร์ของความโค้งที่แนวกึ่งกลางหรือแนวอ้างอิงประกอบด้วย κ_x , κ_y และ κ_{xy}



รูปที่ 4 ลักษณะภาระต่าง ๆ ที่กระทำต่อวัสดุที่เรียงตัวเป็นชั้น

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ijk} (z_k - z_{k-1})$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ijk} (z_k^2 - z_{k-1}^2)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ijk} (z_k^3 - z_{k-1}^3)$$

[A] คือเมทริกซ์ความแข็งแรงแรงยืดหด (Extensional Stiffness Matrix)

[B] คือเมทริกซ์ความแข็งแรงแรงคัปปลิง (Coupling Stiffness Matrix)

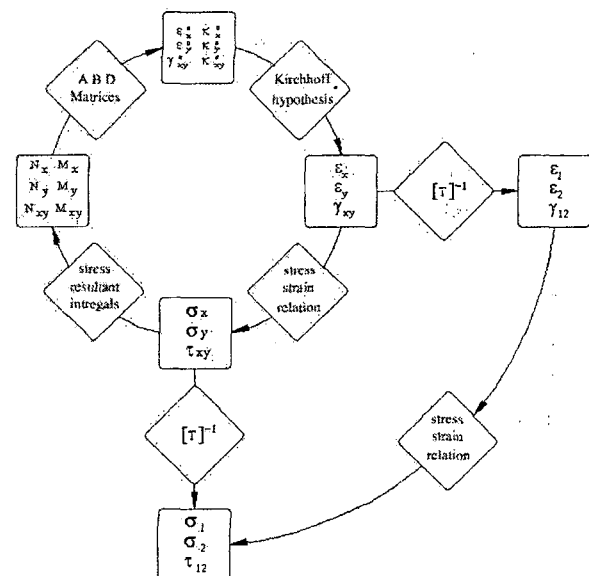
[D] คือเมทริกซ์ความแข็งแรงแรงดัดโค้ง (Bending Stiffness Matrix)

z_k คือระยะจากแนวกึ่งกลางหรือแนวอ้างอิงถึงชั้นที่ k

$\bar{Q}_{ijk}$ คือสมาชิกแถวที่ i หลักที่ j ของเมทริกซ์ความแข็งแรง $[\bar{Q}]$ ในชั้นที่ k

$[\bar{Q}]$ คือเมทริกซ์ความแข็งแรงเป็นฟังก์ชันของมุมระหว่างแกนใด ๆ และแกนหลักของวัสดุ

ตัวห้อย x, y, 1, 2 แสดงถึงทิศทางของความเค้นตามแกนต่าง ๆ ตัวห้อย xy แสดงระนาบตามแกน xy ใด ๆ ตัวห้อย ij แทนสมาชิกแถวที่ i หลักที่ j ของเมทริกซ์ และ [A] [B] [D] เป็นเมทริกซ์ขนาด 3x3



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการคำนวณหาความเค้นในแนวนอนและตั้งฉากเส้น (Hyar 1998)

วิธีการหาความเค้นตามแกนหลักของวัสดุเป็นไปตามรูป (1) เมื่อทราบสมบัติของวัสดุ [A] [B] [D] และทราบน้ำหนักบรรทุก (load) N_x N_y N_{xy} M_x M_y M_{xy} ก็จะหาความเครียดที่แนวอ้างอิงได้ และใช้สมมติฐานของเคอร์ชอฟฟ์เพื่อหาความเครียดของชั้นต่าง ๆ จากนั้นใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดและเมทริกซ์ตัวแปลง เพื่อคำนวณความเค้นตามแกนหลักของวัสดุ ความเค้นที่ได้จะนำไปคำนวณน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่อไป

ในกรณีนี้คำนวณอย่างง่าย และรับโมเมนต์ดัด $M_x = m_x$ เพียงอย่างเดียว $N_x = N_y = N_{xy} = M_y = M_{xy} = 0$

ความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงกับโมเมนต์ดัด m_x (Hyer 1998)

$$\sigma_1 = A \cdot m_x$$

$$\sigma_2 = B \cdot m_x$$

$$\tau_{12} = C \cdot m_x$$

เมื่อ A B C เป็นค่าคงที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (5) และ (6) เป็นความเค้นในแต่ละชั้น

แทนค่าในทฤษฎีความเค้นสูงสุดตามสมการที่ (1) เพื่อหาโมเมนต์ดัดสูงสุด

$$X = A m_x \quad \dots\dots\dots(7ก)$$

$$Y = B m_x \quad \dots\dots\dots(7ข)$$

$$S = C m_x \quad \dots\dots\dots(7ค)$$

และแทนค่าลงสมการที่ (2) ตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์

$$\frac{(A \cdot m_x)^2}{X^2} + \frac{(A \cdot m_x)(B \cdot m_x)}{X^2} + \frac{(B \cdot m_x)^2}{Y^2} + \frac{(C \cdot m_x)^2}{S^2} = 1$$

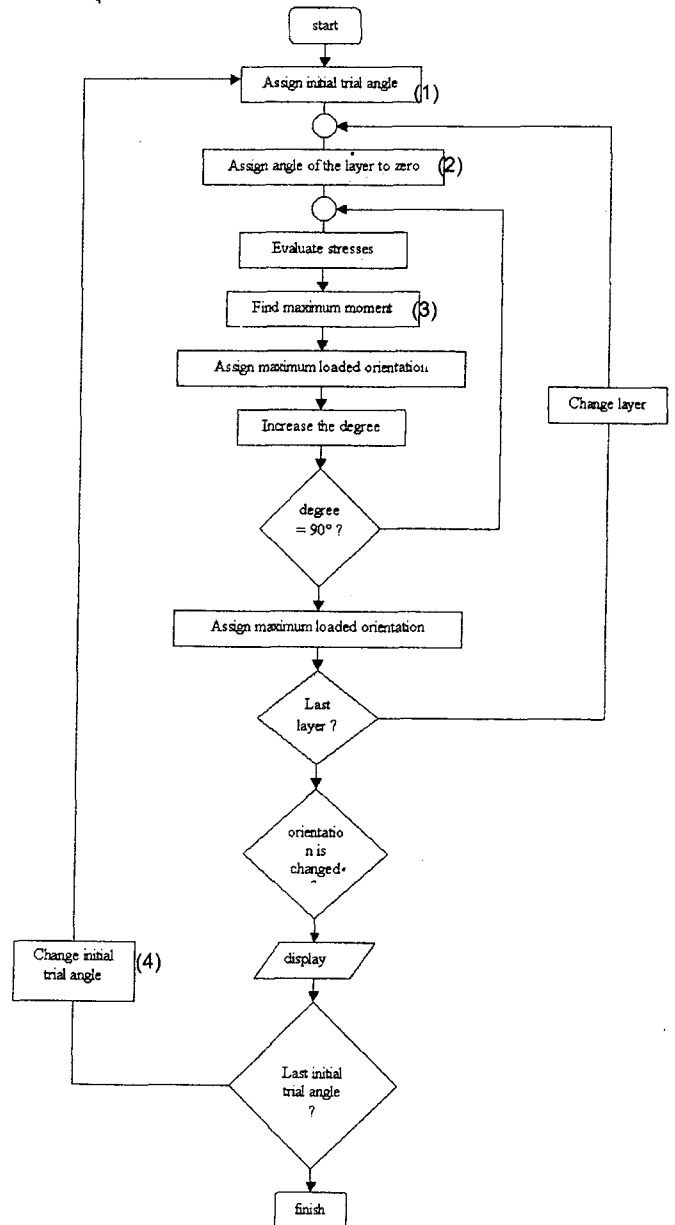
จะได้

$$m_x = \frac{1}{\sqrt{\frac{A^2}{X^2} - \frac{A \cdot B}{X^2} + \frac{B^2}{Y^2} + \frac{C^2}{S^2}}} \quad \dots\dots\dots(8)$$

4. การเรียงตัวที่เหมาะสมของชั้นไม้ย่อย

แผนภาพที่ใช้สำหรับหาการเรียงตัวที่เหมาะสมที่สุดหรือในโรงงานนี้ก็คือหาการเรียงตัวที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากที่สุดเป็นไปดังรูปที่ 6 แผนภาพเริ่มต้นด้วย (1) สุ่มมุมที่จะทำการเริ่มทำการค้นหาตามวิธีค้นหาแบบสุ่มครั้งละหนึ่งตัวแปร (univariate search method) หาความเค้นในชั้นตอนที่ (2) และน้ำหนักบรรทุกที่สามารถรับได้สูงสุดในแต่ละชั้นในชั้นตอนที่ (3) ชั้นที่รับภาระได้ดีที่สุดจะเป็นชั้นที่กำหนดความแข็งแรงของโอเอสแอลที่การเรียงตัวนั้น ๆ เมื่อได้ภาระสูงสุดที่รับได้ในแต่ละแบบของการเรียงตัวแล้วก็นำมาเปรียบเทียบกับในแต่ละแบบของการเรียงตัวแล้วหาแบบการเรียงตัวที่ให้ภาระสูงสุดเป็นแบบที่

ดีที่สุด จากนั้นก็สุ่มมุมเริ่มต้นใหม่(4) และทำซ้ำกระบวนการข้างต้นอีกจนครบมุมเริ่มต้นการค้นหา

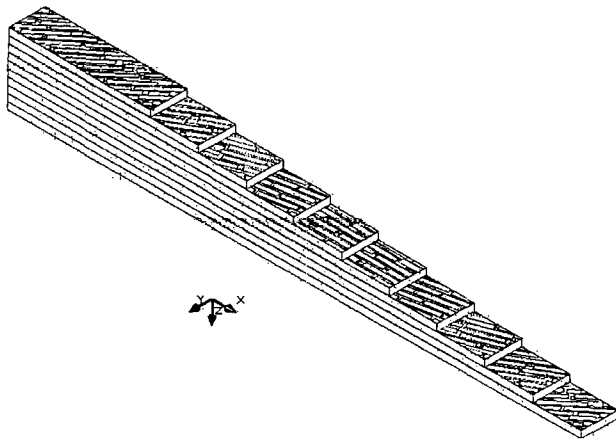


รูปที่ 6 แผนภาพการหาการเรียงตัวที่เหมาะสมที่สุดของโอเอสแอลโดยหมายเลข (2) คำนวณความเค้นตามสมการที่ (5) และ (6) หมายเลข (3) คำนวณน้ำหนักบรรทุกสูงสุดตามสมการที่ (7) และ (8)

5. ผลและวิจารณ์ผล

โอเอสแอลขนาด 2 นิ้ว × 6 นิ้ว × 4 เมตร รองรับแบบง่ายที่ปลายทั้งสองข้างของคาน รับน้ำหนักบรรทุกแบบกระจายสม่ำเสมอ และมีการเรียงชั้นแบบสมมาตร แบ่งเป็น 10 ชั้น ดังนั้นแต่ละชั้นจะมีความหนา 0.6 นิ้ว (0.0152m) การเรียงตัวที่รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดตามทฤษฎีความเค้นสูงสุดที่ [-23°,-20°,-15°,43°,-1°]s (สัญลักษณ์ s หมายถึงสมมาตรกับแนวกึ่งกลาง) น้ำหนักบรรทุกที่รับได้สูงสุด (maximum load) คือ $1.8373 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/m}$ (หน่วยเป็นโมเมนต์ดัดต่อ

หนึ่งหน่วยความกว้างของคาน) หรือโมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้คือ 9,333.48 N·m คิดเป็นน้ำหนักบรรทุกแบบกระจายสม่ำเสมอได้ 4,666.74 N/m และคำนวณตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์การเรียงมุมที่ได้คือ $[19^\circ, 13^\circ, 2^\circ, -11^\circ, -10^\circ]$ น้ำหนักบรรทุกที่รับได้สูงสุดคือ 1.6204×10^5 N·m/m หรือโมเมนต์ดัดสูงสุดที่รับได้คือ 8,231.63 N·m คิดเป็นน้ำหนักบรรทุกแบบกระจายสม่ำเสมอได้ 4,115.82 N/m เปรียบเทียบกับโอเอสแอลที่แถบไม้เรียงตัวขนานกับแนวตามยาวของคานซึ่งรับน้ำหนักสูงสุดได้ 1.38×10^5 N·m/m น้ำหนักบรรทุกสูงสุดตามทฤษฎีความเค้นสูงสุดและตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์มีค่ามากกว่า 33% และ 17% ตามลำดับ



รูปที่ 7 การเรียงตัวของแถบไม้ในแต่ละชั้นของโอเอสแอล

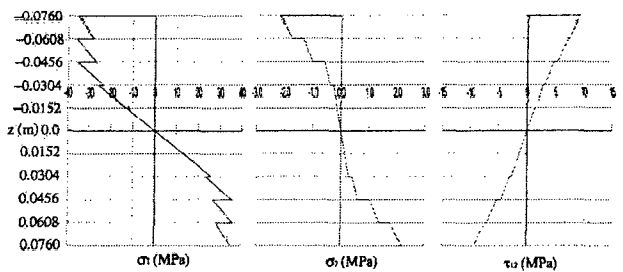
ลักษณะการเรียงตัวของแถบไม้ในแต่ละชั้นเป็นดังรูปที่ 7 ชั้นบนสุดและชั้นล่างสุดจะทำให้มุมกับแนวตามยาวของคานมากที่สุด -23° ตามทฤษฎีความเค้นสูงสุดและ 19° ตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์ ชั้นที่อยู่ต่ำลงมาก็จะห้มุมกับแนวตามยาวของคานน้อยลง ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวตามและตั้งฉากเสี้ยนเป็นดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ความเค้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแนวขนานและตั้งฉากเสี้ยนของโอเอสแอลที่เรียงมุมตามทฤษฎีความเค้นสูงสุด (MPa)

มุม	σ_1	σ_2	τ_{12}
-23° ($z = -0.0760$ m)	-35.89	-2.65	-13.90
-20° ($z = -0.0608$ m)	-35.80	-1.77	-11.00
-15° ($z = -0.0456$ m)	-35.50	-8.98	-7.860
43° ($z = -0.0304$ m)	-35.89	4.46	4.00
-1° ($z = -0.0152$ m)	-18.70	4.07	-1.87

ตารางที่ 2 ความเค้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแนวขนานและตั้งฉากเสี้ยนของโอเอสแอลที่เรียงมุมตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์ (MPa)

มุม	σ_1	σ_2	τ_{12}
19° ($z = -0.0760$ m)	-30.95	-1.75	8.41
13° ($z = -0.0608$ m)	-33.20	-0.98	6.34
2° ($z = -0.0456$ m)	-35.01	-0.24	3.71
-11° ($z = -0.0304$ m)	-28.54	0.10	1.19
-10° ($z = -0.0152$ m)	-14.27	0.05	6.52



รูปที่ 8 ความเค้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนโอเอสแอลที่การเรียงตัวแบบสมมาตรตามทฤษฎีความเค้นสูงสุดที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุด

โอเอสแอลที่ออกแบบตามทฤษฎีความเค้นสูงสุด ความเค้นอัดสูงสุดในแนวตามเสี้ยนที่เกิดขึ้นคือ 35.89 MPa ที่ $z = -0.0760$ m ในชั้นที่ 1 ซึ่งเท่ากับค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของไม้ ที่ชั้นที่ 2 3 และ 4 ก็ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานแรงอัดเช่นกัน คือ 35.80 MPa 35.50 MPa และ 35.89 MPa ตามลำดับ ความเค้นดึงสูงสุดตามแนวเสี้ยนคือ 35.89 MPa ที่ $z = 0.0760$ m ซึ่งมีขนาดเท่ากับค่าความเค้นอัดสูงสุดเนื่องจากโอเอสแอลมีความสมมาตรเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดตามแนวเสี้ยนคือ 56.68 MPa ความเค้นอัดและความเค้นดึงสูงสุดในแนวตั้งฉากเสี้ยนมีขนาดเท่ากับ 2.65 MPa เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานแรงอัดและแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนซึ่งมีค่า 11.87 MPa และ 2.80 MPa ตามลำดับความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดมีขนาด 13.90 MPa โดยที่ค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงสุดมีค่า 15.99 MPa

สำหรับโอเอสแอลที่ออกแบบตามทฤษฎีความเสียหายของไซ-ฮิลล์ ความเค้นตามแนวเสี้ยนสูงสุดมีขนาด 35.01 MPa ในชั้นที่ 3 ความเค้นตั้งฉากเสี้ยนสูงสุดมีขนาด 1.75 MPa ในชั้นที่ 1 และความเค้นเฉือนสูงสุดมีขนาด 8.41 MPa

แถบไม้ที่เปี่ยมมุมไปจากแนวตามยาวของคาน มีผลทำให้ (1) ความเค้นตามแนวเสี้ยนลดลง แต่ความเค้นตั้งฉากเสี้ยนและความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น และ (2) ความแข็งแกร่ง (stiffness) ของคานลดลง ส่งผลให้ความเค้นตามแนวยาวของคานเพิ่มขึ้นอีก (น้ำหนักบรรทุกยังคงเท่าเดิม) จากผลทั้งสองประการนี้ ถ้าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นที่มีผลเนื่องมาจากความแข็งแกร่งของคานที่ลดลงนั้น ทำให้ความเค้นตามแนวเสี้ยนและตั้งฉากเสี้ยนไม่เกินค่าความต้านทานแรง ผลลัพธ์ก็คือคานจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้นอีก

ความเสียหายที่เกิดขึ้นของโอเอสแอลนั้นเกิดจากความเสียหายเนื่องจากแรงอัดตั้งฉากเปลี่ยนเป็นสำคัญ ตามปกติแล้วความเค้นอัดที่เกิดขึ้นสูงสุดที่เท่ากับความต้านทานแรงอัดจะเกิดขึ้นที่ชั้นบนสุดของโอเอสแอลเมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกถึงค่า ๆ หนึ่ง ถ้าน้ำหนักเกินกว่านั้นแล้ว จะเกิดความเสียหายที่ชั้นบนสุดก่อน เพื่อมิให้เกิดความเสียหายจึงต้องเรียงแถบไม้ในชั้นที่ถัดลงมาเพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้นกับชั้นบนสุดแล้วกระจายความเค้นมายังชั้นอื่น ๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากที่การเรียงตัวที่เหมาะสมที่สุดนั้น ความเค้นจะกระจายไปยังชั้นที่สองและที่สามมากขึ้น จนมีค่าเข้าใกล้ค่าความต้านทานแรงแสดงดังรูปที่ 8

6.สรุป

การหาการเรียงตัวที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นจากทฤษฎีการเรียงตัวเป็นชั้นจะคำนึงถึงคุณสมบัติของแต่ละชั้น เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในชั้นใดชั้นหนึ่งความเค้นก็จะเปลี่ยนแปลงไปมีผลให้การคำนวณหาการเรียงตัวที่เหมาะสมมีความซับซ้อนมากขึ้น ผลที่ได้จากการหาการเรียงตัวที่เหมาะสมที่สุดหรือสำหรับโครงการนี้คือการเรียงตัวที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุดให้ผลดังนี้คือ การเรียงมุมจะเรียงจากมากไปหาน้อยจากชั้นบนสุดลงมายังชั้นที่อยู่กึ่งกลางมีผลให้เกิดการกระจายความเค้นและทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าความต้านทานแรงของไม้ แนวโน้มซึ่งเป็นไปได้สำหรับการเรียงตัวของแถบไม้ในโอเอสแอลแบบสมมาตรจึงต้องเรียงแถบไม้ในชั้นบนสุดหรือยังไกลออกไปจากแนวกึ่งกลางคานให้มีมุมมากกว่าชั้นที่อยู่ใกล้กับแนวกึ่งกลางคาน ซึ่งการเรียงตัวในลักษณะนี้พบได้ในงานวิจัยของ Sharma and Sharon (1993) ด้วย

ค่าที่ได้จากการคำนวณนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุผสมระหว่างแถบไม้และกาวโดยในโครงการนี้ตั้งสมมติฐานว่าสมบัติทางกลอันได้แก่ โมดูลัสความยืดหยุ่นและความต้านทานแรงของโอเอสแอลเท่ากับไม้ การคำนวณหาควรใช้สมบัติของวัสดุผสมเพื่อความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งอาจจะใช้ทฤษฎีวัสดุผสมเพื่อช่วยในการคำนวณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Forest Products Laboratory. 1999. Wood Handbook-Wood as an Engineering Material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [2] Hyer, M.W. 1998. Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials. International edition, Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- [3] Jones, R.M., 1975. Mechanics of Composite Materials. International Student Edition, Tokyo, Japan : Kosaido Printing Co., Ltd.
- [4] Malony, T.M., 1996. "The Family of Wood Composite Materials", Forest Product Journal. Vol 46 no 2. , 19-28.

- [5] Prasertsan, S. and Vanapruk P., 1998. "Rubber Plantation : an Overlooked Dendropower" , The 5th ASEAN Science and Technology Week, 103-111. Hanoi : ASEAN Committee on Science and Technology.
- [6] Sharma V. and Sharon A., 1993. "Optimal Orientation of Flakes in Oriented Strand Board (OSB)", Experimental Mechanics. Vol 33 no 2. , 91-98.