บทที่ 3
ทฤษฎีพื้นฐาน

3.1 การทดสอบกลสมบัติพื้นฐาน

3.1.1 ปริมาณความชื้นในไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด

การทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D4442-84 โดยใช้ตัวอย่างของไม้ยางพาราหรือไม้ไผ่อัดขนาด 50x50x50 มม. นำมาวัดและชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103±2 °c เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นในไม้คำนวณได้จาก

$$MC\% = \frac{W_0 - W_1}{W_1} \times 100 \qquad (3.1)$$

โดยที่ W_0 และ W_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างไม้ก่อนและหลังการอบในเตาอบ

3.1.2 กำลังอัดขนานเสี้ยนไม้ยางพารา

การทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D143-83 โดยใช้ตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 50x50x200 มม. มาทำการกดขนานเสี้ยนไม้ในเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล โดยทำการติดตั้งชุดวัดการหดตัวของตัวอย่าง บันทึกค่าแรงอัดและค่าการหดตัวในช่วงวัดและทำการวาดรูปความสัมพันธ์ของแรงอัดและค่าการหดตัว ค่ากลสมบัติที่ได้จากการทดสอบประกอบด้วย

ก. ค่าความเค้นที่จุดสัดส่วน

$$\sigma_{PL} = \frac{P_{PL}}{A} \qquad (3.2)$$

ข. ค่าความเค้นที่จุดสูงสุด

$$\sigma_{UL} = \frac{P_{UL}}{A} \qquad (3.3)$$

ค. ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น

$$E = \frac{P_{PL}L}{A\Delta_{PL}} \qquad (3.4)$$

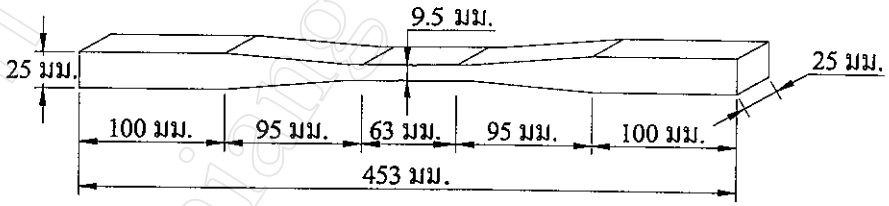
โดยค่า P_{PL} Δ_{PL} และ P_{UL} เป็นค่าแรงอัด ค่าการหดตัวที่จุดสัดส่วน และค่าแรงอัดสูงสุด σ_{PL} σ_{UL} และ E เป็นค่าความเค้นที่จุดสัดส่วน ค่าความเค้นสูงสุด และค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นขนานเสี้ยนของไม้ยางพารา

3.1.3 กำลังอัดตั้งฉากเสี้ยนไม้ยางพารา

การทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D143-83 โดยใช้ตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 50x50x150 มม. มาทำการกดในทิศตั้งฉากเสี้ยนไม้ การทดสอบและการบันทึกข้อมูลดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับการทดสอบแบบขนานเสี้ยนไม้ ซึ่งค่ากลสมบัติที่ได้สามารถใช้สมการ(3.2) ถึง (3.4) ในการคำนวณ และค่าที่ได้เป็นค่ากำลังของไม้ในกรณีตั้งฉากเสี้ยน

3.1.4 กำลังดึงขนานเสี้ยนไม้ยางพารา

การทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D143-83 โดยใช้ตัวอย่างดังแสดงในรูป3.1



รูป 3.1 ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบหากำลังดึงขนานเสี้ยน

การทดสอบและการบันทึกข้อมูลดำเนินการเหมือนในหัวข้อ 3.1.2 และใช้สมการ(3.2) ถึง (3.4) ในการคำนวณหาค่ากำลังของไม้ในกรณีกำลังดึงขนานเสี้ยนไม้

3.1.5 กำลังดัดของไม้ยางพารา

การทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D143-83 ตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 50x50x760 มม. โดยทำการกดน้ำหนักที่จุดกึ่งกลางคานที่มีช่วงพาด 710 มม. ทำการบันทึกค่าน้ำหนักและระยะแอ่นตัวของตัวอย่าง และทำการเขียนรูปความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับการแอ่นตัว

กลสมบัติที่ได้จากการทดสอบประกอบด้วย

ก. ค่าความเค้นที่จุดสัดส่วน

$$\sigma_{PL} = \frac{M_{PL}}{S} \qquad (3.5)$$

ข. ค่าโมดูลัสของการแตกหัก

$$R = \frac{M_{MAX}}{S} \qquad (3.6)$$

ค. ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น

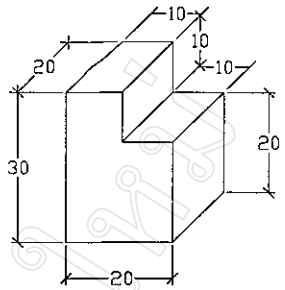
$$E = \frac{P_{PL}L^3}{48\delta_{PL}I} \qquad (3.7)$$

โดยที่ P_{PL} δ_{PL} และ M_{PL} เป็นค่าน้ำหนักที่หาได้จากกราฟ ค่าการแอ่นตัว และค่าโมเมนต์ดัดที่จุดสัดส่วน R เป็นค่าโมดูลัสของการแตกหัก S เป็นค่าโมดูลัสภาคตัด I เป็นค่าโมเมนต์ความเฉื่อย L เป็นความยาวของชิ้นงาน และ M_{MAX} เป็นค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด

3.1.6 กำลังเฉือนของไม้ไผ่อัด

ไม้ไผ่อัดเป็นวัสดุแปรรูปซึ่งได้จากการนำเอาเสื่อลำแพนมาวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยใช้กาวเป็นตัวประสาน และกดอัดด้วยความร้อน ในการนำเอาไม้ไผ่อัดมาเป็นส่วนเอวของคานประกอบรูปตัวไอได้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแผ่นเอวเป็นแรงเฉือนเป็นหลัก ดังนั้นคุณสมบัติทางด้านการรับแรงเฉือนได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-83 โดยมีการจัดเตรียมตัวอย่างดังรูป 3.2

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูป 3.2 ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบหากำลังเฉือน

การทดสอบจะทำการวัดขนาดและบันทึกค่าน้ำหนักที่ใช้กด ค่ากำลังเค้นเฉือนสูงสุด τ คำนวณได้จาก

$$\tau = \frac{P_{MAX}}{A} \qquad (3.8)$$

โดยที่ P_{MAX} เป็น ค่าแรงเฉือนที่เกิดในระนาบเฉือน และA เป็นพื้นที่รับแรงเฉือน

3.2 การทดสอบกำลังรอยต่อ

3.2.1 การทดสอบกำลังดึงรอยต่อประสานนิ้ว

การทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTMD4688–90 โดยใช้ตัวอย่างของไม้ยางพารา ดังรูป 3.3 นำมาทดสอบตามแต่ละวิธีดังนี้

ก. การทดสอบแบบแห้ง (Dry Test)

นำตัวอย่างมาวัดขนาดและทำการดึงไม้ในเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดเมื่อตัวอย่างขาดจากกันและทำการคำนวณค่าความเค้นได้จาก

$$\sigma_m = \frac{P_{max}}{A} \qquad (3.9)$$

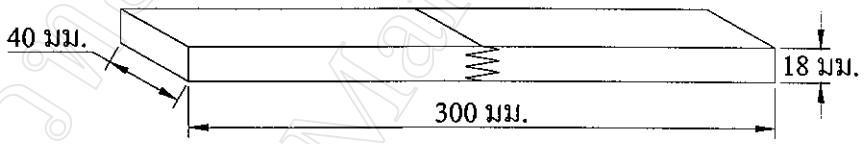
โดยที่ σ_m เป็นค่าความเค้นสูงสุด P_{max} และ A เป็นค่าแรงดึงสูงสุดก่อนไม้จะขาดและ พื้นที่หน้าตัดของไม้ยางพาราตามลำดับ

ข. การทดสอบแบบแช่น้ำภายใต้สูญญากาศ – ความดัน (Cold Water Vacuum - Pressure Soak Test)

นำตัวอย่างไปแช่ในหม้ออัดความดัน แล้วใส่น้ำโดยให้ระดับน้ำท่วมชิ้นตัวอย่างบนสุดอย่างน้อย 5 ซม. อัดความดันน้ำโดยใช้ความดัน 5 บรรยากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นปรับความดันสู่ภาวะปกติแล้วนำตัวอย่างมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องแล้วนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ เช็ดให้หมาดแล้วทำการทดสอบเหมือนขั้นตอนการทดสอบแบบแห้งต่อไป

ค. การทดสอบแบบต้มวนรอบ (Cyclic Boil Test)

นำตัวอย่างใส่หม้อที่เตรียมไว้ โดยเว้นระยะเรียงพอประมาณ เติมน้ำให้ท่วมตัวอย่างชิ้นบนสุดอย่างน้อย 5 ซม. ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิของน้ำจนกระทั่งน้ำเดือด ทิ้งไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจึงนำตัวอย่างไปอบประมาณ 1 วัน ทำเช่นนี้ 5 ครั้ง หลังจากการอบครั้งสุดท้าย ให้นำตัวอย่างแช่น้ำปล่อยไว้ให้เย็น จากนั้นเช็ดผิวให้หมาดก่อนทำการทดสอบตามขั้นตอนการทดสอบแบบแห้งต่อไป



รูป 3.3 ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบหากำลังดึงรอยต่อประสานนิ้ว

3.2.2 การทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อไม้ระหว่างไม้ยางกับไม้ไผ่อัด

การทดสอบใช้ตัวอย่างไม้ยางพารากับไม้ไผ่อัดตามลักษณะการใช้งานดังรูป 3.4 นำมาวัดและชั่งน้ำหนัก และทำการดึงไม้ในเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซลบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด เมื่อตัวอย่างขาดออกจากกัน ค่าการคำนวณประกอบด้วย

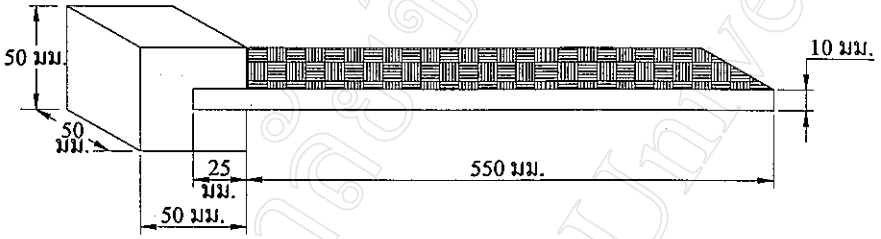
ก. ค่าความเค้นสูงสุด

$$\tau = \frac{Q}{b(2d_w + t_w)} \qquad (3.10)$$

ข. ค่า แรงเฉือนไหล

$$q = \frac{Q}{b} \qquad (3.11)$$

โดยค่า τ และ q เป็นค่าความเค้นเฉือน และค่าแรงเฉือนไหล Q , b , d_w และ t_w เป็นค่าแรงดึงสูงสุด ค่าความกว้างของไม้ยาง ค่าความลึกของรอยต่อ และความหนาของแผ่นเอวตามลำดับ



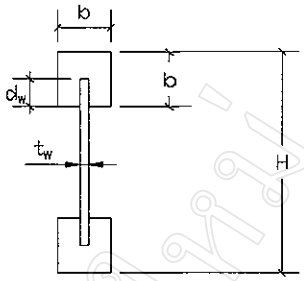
รูป 3.4 ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อไม้ยางกับไม้ไผ่อัด

3.3 การออกแบบรูปหน้าตัดรูปไอโดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานหนึ่งมิติ

การออกแบบหน้าตัดรูปไอ ซึ่งประกอบขึ้นจากไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัดจะขึ้นกับกำลังของรูปตัดในการรับความเค้นอัด ดึง และเฉือน การแอ่นตัวขององค์อาคาร การโก่งเดาะของรูปไอในแนวดิ่ง และการโก่งเดาะแบบผสมแรงดัดและแรงบิด ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกินหน่วยแรงปลอดภัยดังต่อไปนี้

1. กำลังดัดปลอดภัยของไม้ยางพารา (σ_R)
2. กำลังเฉือนปลอดภัยของไม้ไผ่อัด (τ_b)
3. กำลังดึงปลอดภัยของรอยต่อประสานนิ้ว (σ_f)
4. แรงเฉือนไหลปลอดภัยที่รอยต่อไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด (q)
5. ระยะแอ่นตัวปลอดภัยขององค์อาคาร (Δ_a)
6. กำลังรับการโก่งเดาะของรูปตัดไอในแนวดิ่ง (σ_a)
7. กำลังรับการโก่งเดาะแบบผสมแรงดัดและแรงบิด

เมื่อพิจารณาหน้าตัดคานรูปตัวไอใด ๆ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและระยะห่างของตงได้ดังนี้



รูป 3.5 แสดงหน้าตัดของตงไม้ประกอบรูปตัวไอ

3.3.1 กำลังดัดปลอดภัยของไม้ยางพารา

ความสามารถรับแรงดัดปลอดภัยของรูปตัดประกอบรูปไอคำนวณได้จากสูตร

$$\sigma = \frac{My}{I} \le \sigma_R \tag{3.12}$$

โดยที่

$$M = w.\frac{sL^2}{8} \tag{3.13}$$

$$y = H/2 \tag{3.14}$$

$$I = \frac{1}{12}bH^3 - \frac{1}{12}(b - t_w)(H - 2b)^3 \tag{3.15}$$

ในที่นี้ w คือค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดจากน้ำหนักคงที่ (w_o) และน้ำหนักจร (w_L) ต่อหน่วยเป็น กก./ตร.ม. ค่า s เป็นระยะห่างของตงที่ใช้เป็นเมตร ค่า L เป็นค่าความยาวของตงไม้ใช้เป็นเมตร และ σ คือค่าความเค้นดัดของตงไม้รูปไอมีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม. และ σ_R คือค่าความเค้นดัดปลอดภัยของไม้ยางพาราซึ่งใช้เท่ากับความเค้นอัดขนานเสี้ยนปลอดภัยมีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม. สมการ (3.12) เขียนใหม่ในเทอมของน้ำหนักจรที่รับได้สูงสุดได้ในรูป

$$w_L = \frac{16\sigma_R}{sL^2H}\left[\frac{1}{12}bH^3 - \frac{1}{12}(b - t_w)(H - 2b)^3\right] - w_0 \tag{3.16}$$

โดยค่า b คือความกว้างของปีกตงไม้รูปตัวไอ H ค่าความสูงของตงไม้รูปตัวไอ t_w ค่าความหนาแผ่นเอวของตงไม้รูปตัวไอ และ d_w คือค่าความลึกรอยต่อระหว่างไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด ดังรูป 3.5

3.3.2 กำลังเฉือนปลอดภัยของไม้ไผ่อัด

ความสามารถในการรับแรงเฉือนของตงไม้รูปไอ คำนวณได้จากสูตร

$$\tau = \frac{VQ}{It_w} \leq \tau_b \qquad (3.17)$$

โดยที่

$$V = \frac{wsL}{2} \qquad (3.18)$$

และ

$$Q = b^2\frac{(H-b)}{2} + \frac{(H/2-b)^2 t_w}{2} \qquad (3.19)$$

ค่า τ คือค่าความเค้นเฉือนของตงไม้รูปไอมีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม. และค่า τ_b เท่ากับค่าความเค้นเฉือนปลอดภัยของไม้ไผ่อัดมีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม. และเมื่อเขียนในรูปของน้ำหนักจรสูงสุดที่รับได้ในรูป

$$w_L = \frac{2\tau_b}{sL}\frac{\left[\frac{1}{12}bH^3 - \frac{1}{12}(b-t_w)(H-2b)^3\right].t_w}{\left[b^2\frac{(H-b)}{2} + \frac{(\frac{H}{2}-b)^2}{2}t_w\right]} - w_D \qquad (3.20)$$

3.3.3 กำลังดึงปลอดภัยของรอยต่อประสานนิ้ว

ความสามารถของรอยต่อแบบประสานนิ้วในส่วนปีกของรูปตัดไอ คำนวณโดยสมการ (3.12) โดยที่ค่าโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งรอยต่อ คำนวณได้จาก

$$M = \frac{ws}{2}(La - a^2) \qquad (3.21)$$

และ

$$\sigma = \frac{My}{I} \leq \sigma_f \qquad (3.22)$$

ซึ่ง ค่า σ_f คือค่าความเค้นดึงปลอดภัยของรอยต่อแบบประสานนิ้วในส่วนปีกของรูปตัดไอ หน่วยเป็นกก./ตร.ซม. และ a เป็นตำแหน่งของรอยต่อแบบประสานนิ้วจากจุดรองรับในช่วงตงไม้รูปตัวไอ ค่าน้ำหนักจรสูงสุดปลอดภัยของตงไม้รูปไอจะคำนวณได้ในรูปสมการ

$$w_L = \frac{4\sigma_f}{s(La-a^2)H}\left[\frac{1}{12}bH^3 - \frac{1}{12}(b-t_w)(H-2b)^3\right] - w_D \qquad (3.23)$$

3.3.4 แรงเฉือนไหลปลอดภัยที่รอยต่อไม้ยางพาราและไม้ไผ่อัด

จากค่าแรงเฉือนไหลปลอดภัยของรูปตัดประกอบ คำนวณได้จากสูตร

$$q = \frac{VQ}{I} \le q_j \qquad (3.24)$$

โดยที่ค่า V Q และ I ได้จากหัวข้อ3.3.2 และ q_j คือค่าแรงเฉือนไหลปลอดภัยที่รอยต่อไม้ยางพารา และไม้ไผ่อัดของตงไม้รูปไอหน่วยเป็น กก./ซม. สามารถเขียนค่าน้ำหนักจรปลอดภัยสูงสุดของรูปตัดได้ในรูปสมการ

$$w_L = \frac{2q_j}{sL}\frac{\left[\frac{1}{12}bH^3 - \frac{1}{12}(b-t_w)(H-2b)^3\right]}{\left[b^2\left(\frac{H}{2}-\frac{b}{2}\right) - d_w t_w\left(\frac{H}{2}-b+\frac{d_w}{2}\right)\right]} - w_D \qquad (3.25)$$

3.3.5 ระยะแอ่นตัวปลอดภัย

ค่าระยะแอ่นตัวปลอดภัยของระบบพื้นที่รับน้ำหนักคงที่และน้ำหนักจรมีค่าดังต่อไปนี้

$$\Delta = \frac{5}{384}\frac{wsL^4}{E_m I} < \frac{L}{240} \qquad (3.26)$$

ซึ่งจากสมการ (3.26) เราเขียนในรูปของน้ำหนักจรปลอดภัยสูงสุดดังนี้

$$w_L = \frac{384}{1200}\frac{E_m}{sL^3}\left[\frac{1}{12}bH^3 - \frac{1}{12}(b-t_w)(H-2b)^3\right] - w_D \qquad (3.27)$$

โดย E_m คือ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเทียบเท่าจากการทดสอบระบบตงโดยน้ำหนักกระทำ 2 จุดซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$E_m = \frac{PL^3}{6\Delta I}\left[\frac{3a_0}{4L} - \left(\frac{a_0}{L}\right)^3\right] \qquad (3.28)$$

ค่า P คือแรงกระทำเป็นจุดสองจุดหน่วยเป็นกิโลกรัม Δ เป็นค่าการแอ่นตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางตงไม้รูปตัวไอ ค่า a_0 เป็นระยะที่แรงกระทำเป็นจุดห่างจากที่รองรับ และค่า L เป็นระยะช่วงพาด

3.3.6 กำลังรับการโก่งเดาะของรูปตัดไอในแนวดิ่ง

ค่าความโก่งปลอดภัยของแผ่นเอวภายใต้การกระทำของน้ำหนักจรแผ่ w_L คำนวณได้จาก

$$\sigma_a = \frac{w_L s}{100 t_w} = \frac{\pi^2 E_w}{\frac{(kL/r)^2}{F.S.}} \qquad (3.29)$$

ในสมการ(3.29) σ_a คือความเค้นโก่งเดาะปลอดภัยของรูปตัดมีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม. t_w เท่ากับความหนาของแผ่นเอวมีหน่วยเป็นเซนติเมตร E_w ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นแผ่นเอวมีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม. k ค่าสัมประสิทธิความยาวประสิทธิผลในกรณีรูปตัดไอใช้ค่า 0.75 ความยาวของแผ่นเอวในการโก่งเดาะมีค่าเท่ากับ (H–2b) รัศมีไจเรชั่นต่ำสุดของแผ่นเอวมีค่าเท่ากับ $t_w/\sqrt{12}$ และ F.S. คือ ค่าส่วนปลอดภัยของแผ่นเอวในการรับแรงโก่งเดาะมีค่าเท่ากับ 5.75 ค่าน้ำหนักจรที่รูปตัดไอสามารถรับได้สูงสุดโดยไม่มีการโก่งเดาะจะคำนวณได้จาก

$$w_L = \frac{25.43 E_w t_w}{\left[\frac{H-2b}{t_w}\right]^2 s} \qquad (3.30)$$

3.3.7 กำลังรับการโก่งเดาะแบบผสมแรงดัดและแรงบิด

ค่าหน่วยแรงวิกฤตที่ทำให้คานประกอบรูปตัวไอ เกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างคำนวณได้จาก

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} \cong \frac{C_1\pi}{S_x L_b}\sqrt{EI_y GJ} \qquad (3.31)$$

โดยที่ M_{cr} = โมดูลัสดัดวิกฤติที่เกิดการโก่งเดาะทางข้างหน่วย กก. - ซม.

S_x = ค่าโมดูลัสภาคตัดมีหน่วยเป็น ลบ.ซม.

C_1 = ค่าคงที่สำหรับการโก่งเดาะสำหรับกรณีน้ำหนักกระทำแบบ 1 จุดกลางคาน น้ำหนักกระทำแบบ 2 จุด และน้ำหนักแผ่กระจายมีค่าเท่ากับ 1.35 1.04 และ 1.13 ตามลำดับ

L_b = ระยะค้ำยันข้างมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

I_y = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดรอบแกน y มีหน่วยเป็น ซม^4

J = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของหน้าตัดมีหน่วยเป็น ซม^4

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ยางพารามีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม.

และ G = โมดูลัสความเฉือนของไม้ยางพารามีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม.

สมการ (3.31) สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ของระยะค้ำข้างกับค่าวิกฤติสูงสุดที่มีค่าเท่ากับค่าความเค้นปลอดภัยของไม้ยางพาราได้

$$L_b = \frac{1.04\pi\sqrt{EI_yGJ}}{S_x.\sigma_R.F.S.} \qquad (3.32)$$

โดยที่ σ_R คือค่าความเค้นดัดปลอดภัยของไม้ยางพารา และ F.S. คือค่าส่วนปลอดภัยของความเค้นดัดเท่ากับ 6.5