

การศึกษารูปแบบการใช้ไม้ยางพาราสำหรับเป็นหมอนรองเสาเข็มคอนกรีต

วินัย อวยพรประเสริฐ^{1*} และ กิจเกษม คล้ายกรุด¹
owinai@yahoo.com^{1*}, kitkasem.kb@gmail.com¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

Received	: 26-Sep-2021
Revised	: 10-Jun-2022
Accepted	: 14-Jun-2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบการใช้ไม้ยางพาราสำหรับใช้เป็นหมอนรองเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษา ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง การวิเคราะห์ค่าสถิติของไม้ยางพารา กำลังอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพารา การหาหน่วยแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพารา การหารูปแบบการกองเก็บเสาเข็มคอนกรีตขนาดต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ไม้ยางพาราที่ถูกแปรรูปจากส่วนกิ่งไม้ และปีกไม้ จำนวน 50 ท่อน มีความยาวเฉลี่ย 1.146 ม. และขนาดเฉลี่ย 7.0 ซม. ตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 5x5x15 ซม. จำนวน 245 ชิ้น มีกำลังอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ย เท่ากับ 105.2 กก./ตร.ซม. สัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 0.327 รูปแบบการแจกแจงที่กระชับที่สุดได้แก่ แบบแกมมา จากขั้นตอนวิธีที่เสนอโดยอาศัยการทดลองเชิงสุ่มแบบมอนติคาร์โลร่วมกับเทคนิคการชักตัวอย่างสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้สำหรับโครงสร้างชั่วคราวไม่เกิน 10^{-2} และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานไม่เกิน 1% จะได้หน่วยแรงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ยอมให้ เท่ากับ 41.6 กก./ตร.ซม. ผลที่ได้มีค่าสูงเป็น 1.65 เท่า ของกรณีที่เหมาะสมให้มีรูปแบบการแจกแจงปกติ ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์จำนวนชั้น และจำนวนไม้หมอนที่เหมาะสมสำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง หน้าตัดรูปตัวไอ(I) และสี่เหลี่ยมจัตุรัส(□) จำนวนชั้นสูงสุดของหน้าตัดเสาเข็มแต่ละชนิด ที่รองรับด้วยไม้หมอนยางพาราที่ฐานรองรับแบบ 2 จุด ที่ระยะ 0.207 ของความยาวเสาเข็ม ดังสรุปต่อไปนี้ คือ I22 และ □22 จำนวน 24 ชั้น I26 และ □26 จำนวน 21 ชั้น I30 และ □30 จำนวน 18 ชั้น I35 และ □35 จำนวน 16 ชั้น I40 และ □40 จำนวน 14 ชั้น

คำสำคัญ: ไม้ยางพารา หมอนรองเสาเข็ม เสาเข็มคอนกรีต หมอนรองไม้ยางพารา

A Study of the Use of Para Wood as Sleepers for Concrete Piles

Winai Ouypornprasert^{1*} and Kitkasem Khaikrut¹
owinai@yahoo.com^{1*}, kitkasem.kb@gmail.com¹

¹ Department of Civil Engineering, College of Engineering, Rangsit University

Received	: 26-Sep-2021
Revised	: 10-Jun-2022
Accepted	: 14-Jun-2022

Abstract

The propose of this research was to find the most effective pattern of using Para wood as sleepers for prestressed concrete piles were studied structural reliability theory, statistical analysis of Para wood sleepers, statistical analysis for compressive strength perpendicular to grain, proposed algorithms for finding compressive stress perpendicular to grain and finding suitable patterns for stacking of prestressed concrete piles. Results of study showed that fifty Para wood sleepers of the mean square section of 7.0 cm in width and 1.146 m in length were sawn from tree branches and tree slabs. Two hundred forty-five Para wood specimens of square section of 5 cm in width and 15 cm in length were tested. The mean compressive strength perpendicular to grain was 105.2 ksc. The best fitted distribution was gamma. Monte-Carlo simulations together with importance sampling technique under the conditions of the acceptable failure probability for temporary structure less than 10^{-2} and standard error not more than 1% yielded the allowable compressive stress perpendicular to grain of 41.6 kg/cm² which is 1.65 times higher than that of the case of normal distribution assumption. This allowable stress could be used to analyze the suitable numbers of layers and the numbers of Para wood sleepers at supports of any type of prestressed concrete piles. The maximum layers for I and square concrete piles supported by Para wood sleepers at 0.207 of the length from both ends were summarized as in the following: I22&□22 - 24 layers, I26&□26 - 21 layers, I30&□30 - 18 layers, I35&□35 - 16 layers, I40&□40 - 14 layers.

Keywords: Para Wood, Sleepers, Concrete Piles, Para Wood Sleepers

1. บทนำ

โรงงานผลิตเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงส่วนใหญ่ใช้ไม้หมอนรองเสาเข็มในคลังสินค้าที่แปรรูปจากไม้ยางพาราเป็นหลัก เนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูก แต่โรงงานผลิตเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงส่วนใหญ่ไม่มีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ยางพารา เมื่อนำไปใช้งานทำให้ไม้หมอนเกิดความเสียหายเนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุกเกินขนาด ส่งผลให้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงที่อยู่ในคลังสินค้าเกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก เช่น เสาเข็มเกิดรอยร้าวแตกหัก และร่วงหล่นจากที่กองเก็บ เป็นต้น ส่งผลให้ไม่สามารถนำเสาเข็มเหล่านั้นมาใช้ได้ อีกทั้งยังก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน และความเสียหายต่อทรัพย์สินของบริษัท ในอดีตได้มีผู้นำไม้ยางพารามาใช้เป็นองค์อาคารในโครงสร้างไม้ โดยออกแบบตามมาตรฐาน วสท. [1] [2] จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำไม้ยางพารามาใช้เป็นไม้หมอนรองเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงอย่างเหมาะสม โดยนำตัวอย่างไม้ยางพารามาทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างปลอดภัยสำหรับหน้าตัดและความยาวต่างๆ ของหน้าตัดเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

2. ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาในโรงงานผลิตเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงบริเวณภาคกลางตะวันตก ที่มีแท่นผลิตจำนวน 7 แท่น หน้าตัดเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง หน้าตัดรูปตัวโอ (I) ขนาด I22, I26, I30, I35, I40 และหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมตัน (□) ขนาด □22, □26, □30, □35, □40 ที่ความยาว 9-14 เมตร [3] ไม้ยางพาราที่นำมาใช้ ถูกแปรรูปจากส่วนกิ่งและส่วนปีกไม้ของลำต้นไม้ยางพารา โดยมีขนาดประมาณ $0.07 \times 0.07 \times 1.2$ ม. ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงอัดของไม้ในแนวตั้งฉากเส้นไม้ (Compression Test of Wood Perpendicular to Grain) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D143 [4] การวิเคราะห์เชิงสถิติเบื้องต้นของขนาดของไม้และการทดสอบภาวะเข้าสู่ปฏิกิริยาของกำลังอัดในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ยางพารา โดยมีระดับความเชื่อมั่น (Level

of Confidence) เท่ากับร้อยละ 95 [5,6] หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในการหาหน่วยแรงอัดตั้งฉากเส้นที่ยอมให้ใช้ได้ของไม้หมอนยางพารา ด้วยขั้นตอนวิธีที่เสนอโดยอาศัยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง เพื่อเป็นแนวทางในการนำไม้หมอนยางพารามาใช้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

3. ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง

ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง (Structural Reliability) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้างจะมีค่ามากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุกตลอดอายุการใช้งาน ในการปฏิบัติมักนิยมนำเสนอในรูปของพจน์เติมเต็ม (Complementary Term) ได้แก่ ความน่าจะเป็นวิบัติ (Failure Probability) ของระบบโครงสร้าง p_f ซึ่งก็คือ ความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้าง (R) จะมีค่าไม่มากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (S) ตลอดอายุการใช้งาน p_f อาจเขียนในรูปอย่างย่อ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$p_f = \int_{\forall x \in D_f} f_x(x) dx \quad (1)$$

เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรสุ่ม จำนวน n ตัว ได้แก่ $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$
 $f_x(x)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Density Function) ของตัวแปรสุ่ม X

และ D_f คือ บริเวณวิบัติ (Failure Domain) ที่ค่าของตัวแปรสุ่ม x มีผลทำให้ระบบโครงสร้างเกิดการวิบัติ ซึ่งกำหนดโดยสภาวะขีดจำกัด (Limit State)

ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสำหรับตัวแปรสุ่ม X_i ได้แก่ $f_{X_i}(x_i)$ สามารถหาได้จากการทดสอบภาวะเข้าสู่ปฏิกิริยาของชุดข้อมูล ในทางปฏิบัติอาจใช้ซอฟต์แวร์การทดสอบภาวะเข้าสู่ปฏิกิริยาสำหรับการแจกแจงต่อเนื่องที่ใช้กันอย่างสามัญในด้าน

วิศวกรรมโยธา (CESTTEST, Civil Engineering Statistical TEST) เพื่อใช้วิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการแจกแจงที่กระชับได้ดีที่สุดกับข้อมูลทางวิศวกรรม เนื่องจากรูปแบบการแจกแจงมีผลและไวต่อการพิจารณาตัวคุณความปลอดภัยเป็นอย่างยิ่ง การทดสอบภาวะเข้าสู่ปสนิทในซอฟต์แวร์ CESTTEST พิจารณาจากรูปแบบการแจกแจงทั้งหมด 11 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงปกติ (Normal Distribution) การแจกแจงเอกรูป (Uniform Distribution) การแจกแจงเลขชี้กำลังแบบเลื่อน (Shifted Exponential Distribution) การแจกแจงเลย์รีฟแบบเลื่อน (Shifted Rayleigh Distribution) การแจกแจงค่าต่ำสุดกุ่มเบล (Gumbel Type I Smallest Distribution) การแจกแจงค่าสูงสุดกุ่มเบล (Gumbel Type I Largest Distribution) การแจกแจงลอการปกติ (Lognormal Distribution) การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution) การแจกแจงเฟรเชต์ (Fréchet Type II Largest Distribution) และการแจกแจงบีตา (Beta Distribution) การทดสอบภาวะเข้าสู่ปสนิทมี 2 แบบ ได้แก่ การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-Square Test) และ การทดสอบ K-S (Kolmogorov-Smirnov Test) [6]

โดยการศึกษาี้ คณะผู้เขียนใช้การทดสอบไคกำลังสอง ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

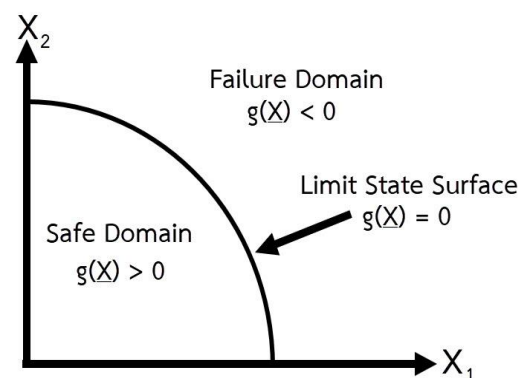
$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \quad (2)$$

เมื่อ χ^2 คือ ค่าความคลาดเคลื่อนไคกำลังสอง
 n_i เป็นความถี่ของข้อมูลจริงสำหรับอันตรภาคชั้น i
 k คือ จำนวนชั้นของค่าตัวอย่าง
 และ e_i เป็นความถี่ของข้อมูลที่ได้จากรูปแบบการแจกแจงที่พิจารณาสำหรับอันตรภาคชั้น i

สมภาวะขีดจำกัดอาจถูกกำหนดในรูปแบบของฟังก์ชันสมภาวะขีดจำกัด (Limit State Function - Z) ได้ดังสมการที่ 3

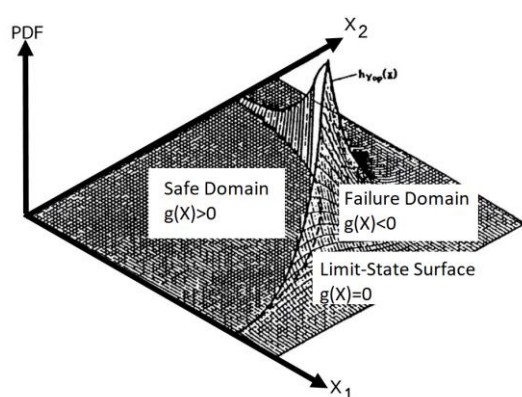
$$Z = g(X) \quad (3)$$

Z แสดงถึงสมภาวะการวิบัติ สำหรับ $g(X) \leq 0$ และสมภาวะปลอดภัย สำหรับ $g(X) > 0$ ดังนั้น บริเวณปลอดภัย (Safe Domain - D_s) และบริเวณวิบัติ (D_f) จะถูกแบ่งแยกออกจากกันด้วยพื้นผิวสมภาวะขีดจำกัด (Limit State Surface) ซึ่งถูกนิยามจาก $g(X) = 0$ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 บริเวณวิบัติและบริเวณปลอดภัยในกรณีตัวแปรสุ่มสองตัวแปร

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่า p_f คือ การหาปริพันธ์ของฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมบนบริเวณวิบัติสำหรับกรณีตัวแปรสุ่ม 2 ตัว p_f ก็คือ ปริมาตรใต้ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วมบนบริเวณวิบัตินั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาตรภายใต้ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วมและขอบเขตของการวิบัติ [Ouyornprasert W.,1989]

การหาค่า p_f จากสมการที่ 1 โดยตรง ทำได้ค่อนข้างยาก จึงอาจเปลี่ยนสมการที่ 1 ให้อยู่ในรูปสมการที่ 4

$$p_f = \int_{\forall \underline{x}} 1(g(\underline{x})) f_{\underline{x}}(\underline{x}) d\underline{x} \quad (4)$$

เมื่อ $1(g(\underline{x}))$ เป็น ฟังก์ชัน ดัชนี (Indicator Function) ของ $g(\underline{x})$ กำหนดให้
 $1(g(\underline{x})) = 1$; สำหรับ $\underline{x} \in D_f$
 และ $1(g(\underline{x})) = 0$; สำหรับกรณีอื่นๆ

จากสมการที่ 4 เราอาจสามารถหาคำตอบได้จากการทดลองเชิงสุ่มแบบมอนติคาร์โล (Monte-Carlo Simulation) ดังสมการที่ 5

$$p_f \cong \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 1[g(\underline{x}_j)] \quad (5)$$

เมื่อ N เป็นจำนวนการทดลองเชิงสุ่ม

ฟังก์ชันดัชนีมีลักษณะเป็นแบบทวินาม ดังนั้นความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) จึงอยู่ในรูปของสมการที่ 6

$$S_{IE} = \sqrt{\frac{1}{N} p_f (1 - p_f)} \quad (6)$$

สำหรับงานด้านความปลอดภัย p_f มักมีค่าต่ำมาก เพื่อให้ได้ร้อยละความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (เช่น 1%) จำนวนการทดลองเชิงสุ่มจึงต้องมีค่ามาก เทคนิคหนึ่งที่ยอมรับใช้ลดจำนวนการทดลองเชิงสุ่ม ได้แก่ เทคนิคการชักตัวอย่างสำคัญ (Importance Sampling) หากกำหนดให้ ฟังก์ชันความหนาแน่นการชักตัวอย่างสำคัญ $h_{\underline{y}}(\underline{x})$ อาจหา p_f จากสมการที่ 7

$$p_f = \int_{\forall \underline{x}} 1[g(\underline{x})] \frac{f_{\underline{x}}(\underline{x})}{h_{\underline{y}}(\underline{x})} h_{\underline{y}}(\underline{x}) d\underline{x} \quad (7)$$

ดังนั้น การทดลองเชิงสุ่มแบบมอนติคาร์โลร่วมกับเทคนิคการชักตัวอย่างสำคัญ p_f อาจประมาณได้จากสมการที่ 8

$$p_f \cong \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 1[g(\underline{x}_j)] \frac{f_{\underline{x}}(\underline{x}_j)}{h_{\underline{y}}(\underline{x}_j)} \quad (8)$$

ความแปรปรวน S_f^2 อาจประมาณได้จากสมการที่ 9

$$S_f^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[1[g(\underline{x}_j)] \frac{f_{\underline{x}}(\underline{x}_j)}{h_{\underline{y}}(\underline{x}_j)} \right]^2 - \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 1[g(\underline{x}_j)] \frac{f_{\underline{x}}(\underline{x}_j)}{h_{\underline{y}}(\underline{x}_j)} \right]^2 \quad (9)$$

โดยที่ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน S_{IE} สามารถหาได้จาก

$$S_{IE} = \frac{100}{p_f} \times \sqrt{\frac{S_f^2}{N}} \quad (10)$$

รูปแบบการแจกแจงของฟังก์ชันการชักตัวอย่างสำคัญ จะมีผลต่อจำนวนการทดลองเชิงสุ่มเป็นอย่างมาก ในทางปฏิบัติอาจเลือกใช้รูปแบบการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับฟังก์ชันการแจกแจงดั้งเดิม และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเป็น 1.5-2.5 เท่าของฟังก์ชันการแจกแจงแบบดั้งเดิม

สำหรับกรณีตัวแปรสุ่มสองตัว ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด อาจเขียนในรูปอย่างง่าย ดังสมการที่ 11

$$Z = g(\underline{X}) = R - S \quad (11)$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานของโครงสร้าง
 และ S คือ ผลของน้ำหนักบรรทุก

หากทั้ง R และ S มีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ รูปแบบการแจกแจงของ $g(\underline{X})$ จะเป็นแบบปกติด้วย และ p_f จะหาได้จากสมการที่ 12 ถึง 16

$$\mu_g = \mu_R - \mu_s \quad (12)$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_s^2} \quad (13)$$

$$p_f = \Phi\left(Z_g = \frac{0 - \mu_g}{\sigma_g}\right) = \Phi(-\beta) \quad (14)$$

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} \quad (15)$$

เมื่อ μ_g คือ ค่าเฉลี่ยของสถานะขีดจำกัด
 σ_g คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสถานะขีดจำกัด
 $\Phi(.)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบปกติมาตรฐาน
 และ β คือ ดัชนีความปลอดภัย (Safety Index)

อัตราส่วนความปลอดภัยสู่ศูนย์กลาง [7]
 (Central Safety Factor, FS) นิยามจากสมการที่ 16

$$FS = \frac{\mu_s}{\mu_R} \quad (16)$$

สำหรับกรณีทั้ง R และ S มีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติทั้งคู่ FS อาจหาได้จากสมการที่ 17

$$FS - 1 = \beta \cdot \sqrt{FS^2 \cdot \Omega_R^2 + \Omega_s^2} \quad (17)$$

$$\Omega_R = \frac{\sigma_R}{\mu_R} \quad (18)$$

$$\Omega_s = \frac{\sigma_s}{\mu_s} \quad (19)$$

เมื่อ μ_R , σ_R และ Ω_R คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์การแปรผันของความต้านทานของโครงสร้างตามลำดับ

และ μ_s , σ_s และ Ω_s คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์การแปรผันของผลของน้ำหนักบรรทุกทุก ตามลำดับ [8]

4. การวิเคราะห์การใช้ไม้ยางพาราเป็นหมอนรองเสาเข็ม

4.1 คุณสมบัติเชิงเรขาคณิตของไม้ยางพารา

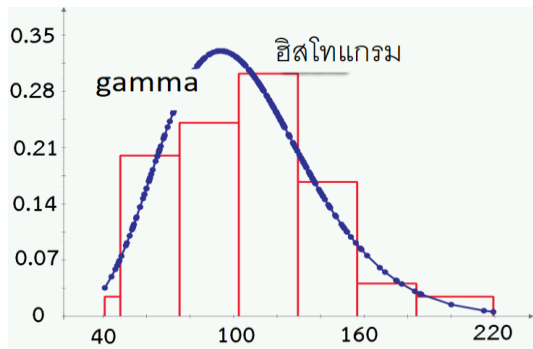
คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้ยางพารา สำหรับความยาวของไม้จำนวน 50 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.146 ม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.019 ม. และสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 0.017 ในขณะที่ ความกว้างของไม้จำนวน 100 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.0 ซม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.1 ซม. และสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 0.015 จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของตัวแปรมิติ มีค่าค่อนข้างต่ำ ในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็น (p) จึงอาจกำหนดให้เป็นปริมาณเชิงกำหนด (Deterministic Quantity)

4.2 กำลังอัดในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้

ยางพารา

กำลังอัดในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ยางพารา ($F_{c\perp}$) หาได้จาก การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143 หรือ มยผ. 12211-51 [4] โดยใช้ตัวอย่างไม้ขนาด 5×5×15 ซม. จำนวน 245 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 105.2 กก./ตร.ซม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 34.4 กก./ตร.ซม. และสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 0.327

เมื่อนำข้อมูลมาหารูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมที่สุด (Best Fitted Distribution) โดยใช้ซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่ารูปแบบการแจกแจงที่ดีที่สุดได้แก่ การแจกแจงแกมมา ด้วยระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า 95% สำหรับการทดสอบได้กำลังสองสามารถแสดงในรูปแบบที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบการแจกแจงที่กระชับดีที่สุดสำหรับการทดสอบโคกำลังสองของกำลังอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยน

รูปตัวอย่างการวิบัติของตัวอย่างไม้ยางพาราที่ได้ทำการทดสอบกำลังอัดของไม้ในแนวตั้งฉากเสี้ยน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างไม้ยางพารา

ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นแกมมา มีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ 20

$$f_x(x) = \frac{v(vx)^{k-1} e^{-vx}}{\Gamma(k)}; x \geq 0 \quad (20)$$

เมื่อ v และ k เป็นพารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter) ในขณะที่ $\Gamma(\cdot)$ เป็นค่าของฟังก์ชันแกมมา มีรูปดังแสดงในสมการที่ 21

$$\Gamma(k) = \int_0^{\infty} x^{k-1} e^{-x} dx; k > 0 \quad (21)$$

พารามิเตอร์รูปร่างทั้งสอง มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในสมการที่ 22 และ 23

$$\mu = \frac{k}{v} \quad (22)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{k}}{v} \quad (23)$$

เราสามารถหาค่าพารามิเตอร์รูปร่าง k จากสมการที่ 24

$$k = \frac{1}{\Omega^2} \quad (24)$$

เมื่อ Ω คือ สัมประสิทธิ์การแปรผัน

และสามารถหาค่าพารามิเตอร์รูปร่าง v จากสมการที่ 25

$$v = \frac{k}{\mu} \quad (25)$$

5. ผลการศึกษาและการวิจารณ์ผล

5.1 ขั้นตอนในการหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

การหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) เริ่มต้นจากการทราบค่าที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์ทางสถิติของไม้ยางพารา ค่าจากการทดสอบมีดังนี้ $\mu_R = 105.2$ กก./ตร.ซม. $\sigma_R = 34.4$ กก./ตร.ซม. และ $\Omega_R = 0.327$ รูปแบบการแจกแจงที่กระชับที่สุด คือ แกมมา

กำหนดให้หน่วยแรงอัดที่กระทำต่อฐานรองรับมีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ $\Omega_s = 0.05$ ตามข้อกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของขนาดเสาเข็มที่ยอมให้ตาม มอก. 396/2549

สำหรับโครงสร้างชั่วคราว อาจกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ p_f อยู่ที่ระดับ เท่ากับ 10^{-2} [9]

สภาวะขีดจำกัดของกำลังอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพารา จะอยู่ในรูปของสมการที่ 26

$$g(x) = F_{c\perp} - f_{sp} \quad (26)$$

เมื่อ $F_{c\perp}$ คือ กำลังอัดไม้ยางพาราตั้งฉากเส้น (R)

และ f_{sp} คือ หน่วยแรงอัดที่กระทำต่อฐานรองรับ สำหรับจุดรองรับแบบ 2 ฐาน (S) หาได้จาก สมการที่ 27

$$f_{sp} = 0.5 \cdot \left(\frac{w_p}{b_s \cdot b_p} \right) \cdot n_l \quad (27)$$

เมื่อ w_p คือ น้ำหนักของเสาเข็มตอตัน

b_s คือ ความกว้างของไม้หมอนยางพารา

b_p คือ ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม

และ n_l คือ จำนวนชั้น (layer) ในแนวตั้งของ เสาเข็ม

โดยมีเงื่อนไขเพื่อคำนวณหน่วยแรงอัดที่ ฐานรองรับแต่ละฐานดังสมการที่ 28-29

$$(b_p + h_s)(n_l) \leq h_{limit} \quad (28)$$

เมื่อ h_{limit} คือ ความสูงขีดจำกัดของกองเสาเข็ม ทั้งนี้ระดับหลังเสาเข็มชั้นบนสุดจะต้องไม่มาก เกินกว่าความสูงที่โครงสามารถทำงานได้ อย่างสะดวกและปลอดภัย

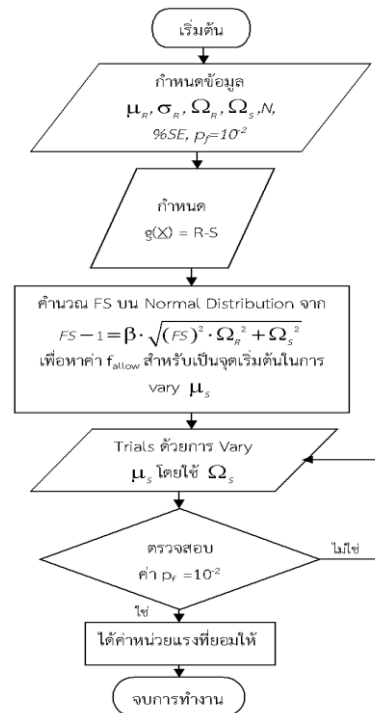
และ $h_s = b_s$ คือ ความสูงของไม้หมอนยางพารา

ความกว้างของแท่นกองเสาเข็ม จะต้อง สอดคล้องกับสมการที่ 29

$$(b_p \cdot n_h) \leq l_s \quad (29)$$

เมื่อ l_s คือ ความยาวของไม้หมอนยางพารา

และ n_h คือ จำนวนเสาเข็มในแนวราบ



รูปที่ 5 ขั้นตอนการหาหน่วยแรงที่ยอมให้

แผนภาพขั้นตอนที่เสนอใช้วิธีลองผิดลองถูก จนกระทั่งได้ค่าหน่วยแรงอัดตั้งฉากเส้นที่ยอมให้ได้ของ ไม้ยางพารา เท่ากับ 41.6 กก./ตร.ซม. (กำหนดจากค่า f_{sp} ที่ทำให้ p_f เท่ากับ 10^{-2}) โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อน มาตรฐานน้อยกว่า 1% สำหรับการทดลองเชิงสุ่มแบบ มอนติคาร์โลร่วมกับการชักตัวอย่างสำคัญจำนวน 400,000 ครั้ง ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ที่ได้จะนำไปใช้หา จำนวนไม้หมอนยางพาราสำหรับรองเสาเข็มต่อไป จาก ข้อมูลของไม้ยางพาราและผลของน้ำหนักบรรทุกทุกที่ กำหนดให้ หากข้อมูลทั้งสองมีรูปแบบการแจกแจงแบบ ปกติทั้งคู่ จากการแก้สมการไม่เชิงเส้นดังแสดงในสมการ ที่ 17 อัตราส่วนความปลอดภัยสู่ศูนย์กลาง (FS) จะมีค่า เท่ากับ 4.188 และมีค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ใช้ได้ เท่ากับ 25.1 กก./ตร.ซม. แต่เนื่องจากค่ากำลังอัดตั้งฉาก เส้นของไม้ยางพารามีรูปแบบการแจกแจงแบบไม่ปกติ ได้แก่ การแจกแจงแบบแกมมา

ให้สังเกตว่าค่าหน่วยแรงอัดตั้งฉากเส้นของไม้ ยางพาราสำหรับรูปแบบการแจกแจงแกมมา มีค่าสูงเป็น 1.65 เท่า ของกรณีที่สมมุติให้มีรูปแบบการแจกแจงเป็น แบบปกติ ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์ทางสถิติอย่างละเอียด จึงสามารถประหยัดค่าไม้หมอนลงได้อย่างมาก

5.2 ผลการวิเคราะห์หารูปแบบการวางหมอนไม้ยางพาราที่เหมาะสม

จากการสำรวจการกองเก็บเสาเข็มแบบดั้งเดิมที่ไม่ได้คำนวณดังแสดงในตารางที่ 1 และการกองเก็บเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเดิม ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าลักษณะการกองเก็บแบบดั้งเดิมส่งผลให้เสาเข็มเกิดความเสียหายดังแสดงในรูปที่ 6

ในปัจจุบัน จากการสำรวจการกองเก็บเสาเข็มตามแท่นผลิตหรือแท่นกองเก็บหลักแบบดั้งเดิมดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ความสูงของระดับหลังเสาเข็มชั้นบนสุดที่กองเก็บ มีค่าค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้การเคลื่อนย้ายเสาเข็มเป็นไปด้วยความลำบากและอันตราย ยิ่งไปกว่านั้น รูปแบบการรองไม้หมอนที่ฐานรองรับเสาเข็ม ยังไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนและตายตัวอีกด้วย ส่งผลให้เสาเข็มเกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากไม้หมอนเกิดการยุบตัวมากเกินไป (10 มม.) และทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามเสาเข็มเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความเสียหายของเสาเข็ม

จากตารางที่ 4 เมื่อเพิ่มจำนวนไม้หมอนยางพาราตามที่เสนอ ทำให้ไม้หมอนสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย และส่งผลให้สามารถกองเสาเข็มได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถช่วยให้การบริหารแท่นกองเก็บเสาเข็มเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังลดความเสียหายของเสาเข็มและไม้รองเสาเข็มจากการกองเก็บได้อีกด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการคำนวณจำนวนไม้หมอนสำหรับแต่ละชั้นได้อย่างเหมาะสม

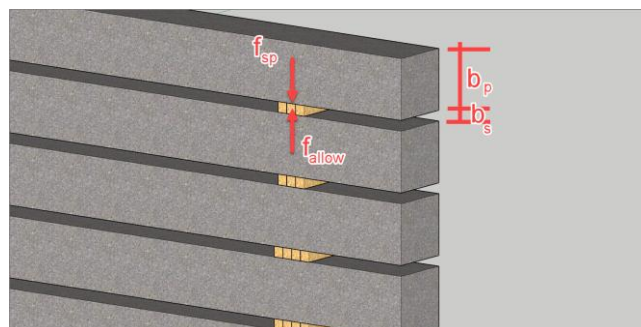
จากน้ำหนักเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงต่อต้านดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำมาใช้คำนวณการกองเก็บเสาเข็มแบบดั้งเดิม ดังแสดงในตารางที่ 2 จะพบว่าหน่วยแรงที่ฐานรองรับทุกชั้นมีค่าเกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ใช้ได้ ด้วยเหตุนี้ จึงเสนอจำนวนชั้นกองเก็บเสาเข็มที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนไม้หมอนยางพาราของเสาเข็มชนิดต่างๆ ชั้นที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 1 น้ำหนักของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงต่อต้น

ชนิดเสาเข็ม	น้ำหนัก เสาเข็มต่อ เมตร (กก./ม.)	ความยาวเสาเข็ม (ม.)					
		9	10	11	12	13	14
		น้ำหนักเสาเข็มต่อต้น (กก.)					
I22	93	837	930	1023	1116	1209	1302
□22	116	1044	1160	1276	1392	1508	1624
I26	117	1053	1170	1287	1404	1521	1638
□26	162	1458	1620	1782	1944	2106	2268
I30	159	1431	1590	1749	1908	2067	2226
□30	216	1944	2160	2376	2592	2808	3024
I35	211	1899	2110	2321	2532	2743	2954
□35	294	2646	2940	3234	3528	3822	4116
I40	298	2682	2980	3278	3576	3874	4172
□40	384	3456	3840	4224	4608	4992	5376

ตารางที่ 2 ผลจากการคำนวณการกองเก็บแบบดั้งเดิม

ชนิดเสาเข็ม	b_s (ซม.)	b_p (ซม.)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)	ความยาวเสาเข็ม (ม.)					
				9	10	11	12	13	14
				หน่วยแรงอัดที่กระทำต่อฐานรองรับ (กก./ตร.ซม.)					
I22	5	22	41.6	136	151	166	181	196	211
□22		22		169	188	207	226	245	264
I26		26		116	129	141	154	167	180
□26		26		160	178	196	214	231	249
I30		30		89	98	108	118	128	138
□30		30		120	134	147	160	174	187
I35		35		85	95	104	114	123	133
□35		35		119	132	145	158	172	185
I40		40		105	117	129	140	152	164
□40		40		136	151	166	181	196	211



รูปที่ 7 ลักษณะการกองเสาเข็ม

ตารางที่ 3 จำนวนชั้นการกองเก็บเสาเข็มที่เสนอ

ชนิดเสาเข็ม	จำนวนชั้น	ความสูง (ม.)
I22	24	7.0
□22	24	7.0
I26	21	7.0
□26	21	7.0
I30	18	6.9
□30	18	6.9
I35	16	7.0
□35	16	7.0
I40	14	6.8
□40	14	6.8

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนไม้หมอน

ยางพาราของเสาเข็มชนิดต่างๆ ชั้นที่ 1

ชนิดเสาเข็ม	ความยาวเสาเข็ม (ม.)					
	9	10	11	12	13	14
	ชั้นที่ 1 (ชั้นล่างสุด)					
I22	2	2	2	3	3	3
□22	2	3	3	3	3	4
I26	2	2	2	2	3	3
□26	3	3	3	3	3	4
I30	2	2	2	2	3	3
□30	2	3	3	3	3	4
I35	2	2	2	2	3	3
□35	3	3	3	3	4	4
I40	2	2	2	3	3	3
□40	3	3	3	3	4	4

จากน้ำหนักเสาเข็มที่แสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำมาใช้คำนวณการเสริมไม้ยางพารารองเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ขนาด □40 ความยาว 14 ม. จำนวน 14 ชั้น จะได้หน่วยแรงที่ฐานรองรับทุกชั้นไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (f_{allow}) รวมถึงให้จำนวนท่อนไม้ยางพาราที่ฐานรองรับแต่ละจุด ที่สามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย ดังสรุปในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนไม้หมอน

ยางพาราของเสาเข็ม □40 ความยาว 14 ม.

ลำดับชั้นกอง	n (ชั้น)	f_{sp} (ksc)
14	1	10.000
13	1	19.000
12	1	29.000
11	1	38.000
10	2	24.000
9	2	29.000
8	2	33.500
7	2	38.500
6	3	28.667
5	3	32.000
4	3	35.333
3	3	38.333
2	4	31.250
1	4	33.500

6. สรุปผลการศึกษา

1) ความยาวของหมอนรองไม้ยางพาราจำนวน 50 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.146 ม. และสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 0.017 ในขณะที่ ความกว้างของหมอนรองไม้ยางพารา จำนวน 100 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.0 ซม. และสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 0.015 เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของสองปริมาณนี้มีค่าต่ำจึงอาจกำหนดเป็นปริมาณเชิงกำหนด

2) การทดสอบกำลังอัดในแนวตั้งฉากกับเส้นไม้ของไม้ ยางพารา จำนวน 245 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 105.2 กก./ตร.ซม. และสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 0.327 จากการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท จะได้รูปแบบการแจกแจงที่กระชับที่สุดเป็นแบบแกมมา โดยมีระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า 95%

3) จากขั้นตอนวิธีการหาหน่วยแรงใช้งานที่เสนอ โดยใช้การทดลองเชิงสุ่มแบบมอนติคาร์โลร่วมกับเทคนิคการชักตัวอย่างสำคัญ โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นที่ที่ยอมรับได้สำหรับโครงสร้างชั่วคราวมีค่าไม่เกิน 10^{-2}

และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานไม่เกิน 1% จะได้หน่วยแรงดึงฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ยอมให้ใช้ได้ เท่ากับ 41.6 กก./ตร.ซม. ให้สังเกตว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ใช้ได้นี้ มีค่าสูงเป็น 1.65 เท่า ของกรณีที่เหมาะสมให้มีรูปแบบการແຈກແຈງเป็นแบบปกติ

4) ทราบจำนวนชั้นสูงสุดของที่กองเก็บสำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดต่างๆ ได้แก่ I, □22 จำนวน 24 ชั้น I, □26 จำนวน 21 ชั้น I, □30 จำนวน 18 ชั้น I, □35 จำนวน 16 ชั้น I, □40 จำนวน 14 ชั้น

5) ทราบจำนวนท่อนไม้หมอนยางพาราที่ฐานรองรับแบบ 2 จุด แต่ละฐาน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงทุกขนาดหน้าตัด โดยสามารถคำนวณจำนวนการเสริมไม้หมอนได้ดังรูปแบบที่เสนอ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ouyornprasert W, Boonyachut S. Engineering properties of softwood in Thailand for structural design. Research Institute of Rangsit University. 2000. (in Thai)
- [2] Ouyornprasert W, Boonyachut S. Usage of softwood in Thailand as structural components in wood structures. Research Institute of Rangsit University. 2000. (in Thai)
- [3] Ministry of Industry. Precast prestressed concrete piles (TIS.396-2549). 2006. (in Thai)
- [4] Building Control Bureau. Standard test method for compression perpendicular to grain (DPT.1 2 2 1 -5 1). Department of Public Works and Town & Country Planning. 2008. (in Thai)

[5] Ouyornprasert W. Calibration of building design for Thailand based on structural reliability theory. Structural design base on probability theory: EIT. 2001. (in Thai)

[6] Ouyornprasert W. Structural design base on probability theory: EIT. 2001. (in Thai)

[7] Ouyornprasert W. Accurate structural reliability analysis utilizing efficient integration method [dissertation]. Innsbruck: Institute of Engineering Mechanics University of Innsbruck; 1989.

[8] Ouyornprasert W, Jirayut T. Algorithms for determination of allowable holding loads for nails and screws based on probability theory. International Journal of Materials & Structural Reliability. 2003;2:89-99.

[9] Vereecken E, Botte W, Droogné D, Caspeele R. Reliability-based calibration of partial factors for the design of temporary scaffold structures. Maintenance Management Life-Cycle Design and Performance Structure and Infrastructure Engineering. 2020;16(4):642-58.