

การใช้ไม้สนประดิษฐ์เป็นองค์อาคาร

สุภาวดี บุญยฉัตร¹

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

วินัย อวยพรประเสริฐ² และ สัจจา บุญยฉัตร³

มหาวิทยาลัยรังสิต เมืองเอก ถนนพหลโยธิน ปทุมธานี 12000

บทคัดย่อ

ไม้สนประดิษฐ์เป็นไม้โตเร็วต่างถิ่นที่มีถิ่นกำเนิดเดิมในประเทศอินโดนีเซีย และนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยประมาณปลายศตวรรษที่ 19 ในปัจจุบันสามารถพบโดยทั่วไปในประเทศไทย แต่ยังไม่มีการนำไม้ชนิดนี้มาใช้ประโยชน์เป็นไม้โครงสร้างอย่างแพร่หลาย เนื่องจากขาดข้อมูลทางวิศวกรรมเพื่อประกอบการตัดสินใจ จึงยังคงใช้ไม้สนประดิษฐ์ทำเครื่องเรือน ไม้เสาเข็ม ถ่าน และไม้ปาร์เก้ เป็นต้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิษฐ์ตามมาตรฐาน ASTM จากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติ ภายใต้ช่วงแห่งความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 99 และความน่าจะเป็นในการนำไปใช้งาน สำหรับอาคาร 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งสูงไม่เกิน 2 ชั้น และมีความสูงระหว่างชั้น 3.00 เมตร โดยที่ขนาดหน้าตัดออกแบบตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) ท้ายที่สุดจะแนะนำขนาดที่เหมาะสมขององค์อาคารไม้สนประดิษฐ์

ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติส่วนใหญ่ของไม้สนประดิษฐ์สามารถแทนได้ด้วยการแจกแจงแบบปกติ และจากการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นกับคุณสมบัติทางสถิติ พบว่าขนาดที่เหมาะสมในการใช้ไม้สนประดิษฐ์เป็นองค์อาคารที่มีระยะพาดช่วงระหว่างเสาถึงเสา 3.00 เมตร โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็น (p) ที่ยอมรับได้สำหรับการโก่งตัวในแนวตั้งของตงและคานไว้ที่ระดับ 10^{-4} และสำหรับการโก่งเดาะของเสาที่ระดับ 10^{-6} ในช่วงการรับน้ำหนักบรรทุกระยะสั้น และ 10^{-2} ในช่วงระยะยาว ดังนี้

ขนาดตงไม้สนประดิษฐ์ที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทที่พักอาศัย สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจร 150 กก./ม.^2 250 กก./ม.^2 และ 300 กก./ม.^2 ตามลำดับ คือ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 8$ " โดยมีระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างตงไม้ไม่เกิน 50 ซม. 35 ซม. และ 50 ซม. สำหรับอาคารแต่ละประเภทตามลำดับ

คานไม้สนประดิษฐ์ ควรเป็นคานคู่เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ ขนาดที่เหมาะสมสำหรับที่พักอาศัยและสถานศึกษา คือ ขนาด $2 - 2 \times 10$ " ในขณะที่สำหรับสำนักงาน คือ ขนาด $2 - 2 \times 12$ "

สำหรับเสาไม้สนประดิษฐ์ แนะนำให้ใช้ค่าตัวคูณความปลอดภัยเท่ากับ 3.3 สำหรับการคำนวณหาขนาดหน้าตัดในสมการของออยเลอร์ในทุกกรณีศึกษา

¹ อาจารย์ สายวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์

³ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์

Usage of *Casuarina junghuhniana* Mig. as Structural Components

Supawadee Boonyachut¹

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Winai Ouypornprasert² and Sutja Boonyachut³

Rangsit University, Muang Ake, Phahonyothin Rd., Pathumthani 12000

Abstract

Casuarina junghuhniana Mig. is fast-growing wood originated in Indonesia and cultivated in Thailand since the late 19th century. Now it can be found everywhere in Thailand. At present, this wood is used mainly for furniture, pile, charcoal, and parquet, etc. It is not popularly used as structural components because of the lack of its engineering data for decision making. Therefore, the objective of this research is to study physical and mechanical properties of *Casuarina junghuhniana* Mig. Then the statistical properties under the confidence interval of 99% and failure probability calculation would be carried out. The research scope covers three building types i.e. residence, offices, and schools. The building height is limited to two storeys and floor-to-floor height is 3.00 meters. The building design is in accordance with E.I.T. Standard (The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the Kings Patronage). Finally, the appropriate size of each structural component would be recommended.

Results showed that most properties could be represented by normal distribution. Analyses of structural members spanned 3.00 meters were based on the accepted values of failure probability less than 10^{-4} for the deflections of joist and beam, less than 10^{-6} for short term buckling loading, and 10^{-2} for long term buckling loading. The size for each component was recommended as followed :

$1\frac{1}{2}$ "x8" joist could be used in residence, office, and school which received live load of 150 kg/m^2 , 250 kg/m^2 , and 300 kg/m^2 , respectively. The appropriate spacing of joist is 50, 35, and 50 cm for each building type, respectively.

2-2"x 10" beam was recommended for residence and school. Whereas 2-2"x12" beam was recommended for office.

For columns, the safety factor value of 3.3 in Euler's equation was recommended for all cases.

¹ Lecturer, Architecture Program, School of Architecture.

² Assistant Professor, Department of Civil Engineering, College of Engineering.

³ Lecturer, Department of Civil Engineering, College of Engineering.

1. บทนำ

พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2536 มี 83.5 ล้านไร่ คิดเป็น 26% ของพื้นที่ประเทศ ซึ่งลดลงจากในปี พ.ศ. 2504 ที่เคยมีพื้นที่ป่าไม้ 171 ล้านไร่ คิดเป็น 53% ของพื้นที่ประเทศ อัตราการลดลงของพื้นที่ป่าไม้โดยเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2504-2536 คิดเป็น 2.73 ล้านไร่ต่อปี [1] และหากปล่อยให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงเช่นนี้ต่อไป จะยังผลเสียหายให้แก่ประเทศโดยเฉพาะด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

พื้นที่ป่าไม้ซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วยังผลให้ไม้เนื้อแข็งมีราคาแพง ทำให้ความนิยมในการก่อสร้างบ้านด้วยโครงสร้างไม้ลดลงตามไปด้วย ปัจจุบันแม้จะมีการใช้ไม้เป็นส่วนประกอบอาคาร เช่น วงกบ ประตู และผนังกันห้องอยู่บ้าง ไม้ที่นำมาใช้งานเหล่านี้เป็นไม้เนื้อแข็งคุณภาพต่ำ ไม้เนื้ออ่อน หรือไม้ที่สังเคราะห์จากเศษไม้เป็นส่วนใหญ่ ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และสภาพภูมิประเทศของประเทศไทย การอยู่อาศัยในบ้านไม้ไม่มีความเหมาะสมมากกว่าบ้านผนังก่ออิฐฉาบปูน เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีค่าการดูดความร้อนน้อยกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน [2] ดังนั้นการอาศัยในบ้านไม้จึงเย็นสบายกว่า และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อย่างเกินความจำเป็นในปัจจุบัน

ทั้งนี้จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าประเทศไทยมีไม้โตเร็วกว่า 40 ชนิด ซึ่งมีศักยภาพเป็นไม้โครงสร้างได้ แต่เท่าที่ผ่านมายังไม่มีกรรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ไม้ชนิดต่างๆ เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างอาคาร ทำให้ไม้เหล่านี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างไม่เต็มที่ เป็นส่วนใหญ่ เช่น การเผาทำถ่าน และเชื้อเพลิง ทั้งที่ไม้โตเร็วสามารถมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 12 นิ้ว ในระยะเวลาเพียง 12 ปี [3] จึงสมควรที่จะสนับสนุนให้มีการปลูกป่าไม้โตเร็วชนิดที่มีคุณสมบัติสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างคุ้มค่ามากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิพัทธ์ โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM [4]
2. วิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิพัทธ์
3. วิเคราะห์ความน่าจะเป็นวิบัติขององค์อาคารไม้สนประดิพัทธ์ ที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. [5]
4. เสนอระดับความน่าจะเป็นวิบัติที่ยอมรับได้สำหรับองค์ประกอบต่างๆ ในอาคารโครงสร้างไม้สนประดิพัทธ์
5. เสนอแนะค่าตัวคุณความปลอดภัย และขนาดที่เหมาะสมขององค์ประกอบต่างๆ สำหรับการออกแบบอาคารด้วยไม้สนประดิพัทธ์

3. ขอบเขตของงานวิจัย

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิพัทธ์ ใช้มาตรฐาน ASTM 11 รายการ โดยขนาดของไม้ที่ทำการวิเคราะห์เป็นขนาดจริงหลังแต่งไสแล้ว (dressed dimension) การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นวิบัติขององค์อาคารไม้ จะพิจารณาจากโอกาสที่องค์อาคารไม้จะเกิดการวิบัติโดยนิยามจากสภาวะขีดจำกัด (limit state) ขององค์อาคารไม้ที่ถูกออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ทั้งนี้เงื่อนไขการวิบัติหลักเกิดจากการโก่งตัวในแนวตั้ง (deflection) สำหรับตงและคาน และหน่วยแรงอัดขนานเส้นใยไม้ (compressive stress parallel to grain) สำหรับเสา โดยใน

การวิจัยนี้จะทำการออกแบบตง คาน และเสา ของอาคารไม้สูงไม่เกิน 2 ชั้น มีความสูงระหว่างชั้น 3.00 เมตร สำหรับอาคาร 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับการออกแบบ ตามข้อกำหนดของเทศบัญญัติ [6] คือ 150 กก./ม.² 250 กก./ม.² และ 300 กก./ม.² สำหรับอาคารแต่ละประเภทตามลำดับ คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้สนประติพันธ์แต่ละรายการ พิจารณาจากข้อมูลที่ให้ช่วงแห่งความเชื่อมั่น (confidence interval) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 ผลการวิเคราะห์ขนาดไม้ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน จะพิจารณาจากขนาดไม้แปรรูปที่มีขายตามท้องตลาด

คำนิยาม

ไม้โตเร็ว (fast growing wood) หมายถึง ไม้ที่เจริญเติบโตเร็วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 12 นิ้ว ในระยะเวลา 12 ปี

โครงสร้างไม้ (wood structure) หมายถึง โครงสร้างที่มอดค้ประกอบทำด้วยไม้ เช่น พื้น คาน เสา และ กำแพง

ความน่าจะวิบัติ (failure probability, p_f) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้าง (R) จะมีค่าไม่มากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (S) ตลอดอายุการใช้งาน [7] อันเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนของกำลังความต้านทานของชิ้นส่วนโครงสร้าง และน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$p_f = \Pr(R \leq S) \quad (1)$$

ในความเป็นจริง ทั้ง R และ S อาจเป็นฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม (random variable) หลายตัว จึงอาจอธิบาย p_f ในรูปทั่วไปดังแสดงในสมการที่ (2)

$$p_f = \int_{D_f} f_{\underline{X}}(\underline{X}) d\underline{X} \quad (2)$$

เมื่อ \underline{X} เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรสุ่ม n ตัว X_1, X_2, \dots, X_n

$f_{\underline{X}}(\underline{X})$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วม (joint probability density function) ของเวกเตอร์ \underline{X}

และ D_f เป็นอาณาบริเวณที่ค่าของเวกเตอร์ \underline{X} มีผลให้ระบบโครงสร้างเกิดการวิบัติ

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

4.1.1 ไม้สนประติพันธ์ จำนวน 35 ลูกบาศก์ฟุต โดยไม้ที่เลือกมาทดสอบจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นไม่ต่ำกว่า 12 นิ้ว ความสูงไม่ต่ำกว่า 16 เมตร [8] และนำมาแปรรูปตามขนาดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM ดังแสดงในตารางที่ 1 และเลือกเฉพาะส่วนที่อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย ตรง ไม่บิดงอ ไม่มีรอยแตก ไม่มีตำไม้ หรือผ่านการใช้งานมาก่อน (clear specimen)

4.1.2 proving ring (อุปกรณ์วัดน้ำหนักกระทำ) ขนาด 10 ตัน

4.1.3 load cell (อุปกรณ์วัดค่าของน้ำหนักกระทำ และแปลงสัญญาณไปที่ data logger) ขนาด 10 ตัน

4.1.4 เครื่องอ่านค่าจาก load cell (data logger)

4.1.5 ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางสถิติ และซอฟต์แวร์วิเคราะห์ความน่าจะเป็น

4.1.6 เครื่องวัดความชื้นในเนื้อไม้

4.2 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

4.2.1 รวบรวมและศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งทดสอบการใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางสถิติ และซอฟต์แวร์วิเคราะห์ความน่าจะเป็น

4.2.2 เตรียมตัวอย่างทดสอบ

4.2.3 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิษฐ์ ตามมาตรฐาน ASTM [4]

4.2.4 วิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิษฐ์

4.2.5 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นขององค์ประกอบอาคารไม้สนประดิษฐ์ ถ้าข้อมูลมีช่วงแห่งความเชื่อมั่นต่ำกว่า 99% จะดำเนินการในข้อ 4.2.2 - 4.2.5 ซ้ำใหม่เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำถูกต้องยิ่งขึ้น

4.2.6 เสนอระดับความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้สำหรับองค์ประกอบต่างๆ ในอาคารโครงสร้างไม้สนประดิษฐ์ เพื่อการใช้งานทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม

4.2.7 เสนอคำแนะนำตัวคุณความปลอดภัยและขนาดที่เหมาะสมขององค์ประกอบต่างๆ สำหรับการออกแบบอาคารด้วยไม้สนประดิษฐ์

4.3 การรวบรวมและศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ไม้สนประดิษฐ์ (*Casuarina junghuhniana* Mig.) มีชื่อสามัญในภาษาอังกฤษว่า Australian Pine หรือ Horsetail Tee [9] เป็นไม้ใบเดี่ยว ใบเรียงตัวแบบช่อ มีกิ่งย่อยสีเขียวเรียวเป็นรูปเข็มต่อกันเป็นปล้องๆ [10] ไม้สนประดิษฐ์เป็นไม้ต่างถิ่นในวงศ์ (Family) *Casuarinaceae* มีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่บริเวณตอนกลางและตะวันออกของเกาะซาวา ประเทศอินโดนีเซีย พันธุ์ที่นำมาปลูกในประเทศไทยเป็นไม้พันธุ์ผสมระหว่าง *Casuarina junghuhniana* และ *Casuarina montana* จึงมีรูปทรงที่แตกต่างจากพันธุ์แท้ในเกาะซาวา [11] สนประดิษฐ์เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ ขนาดกลาง มีความสูงประมาณ 10-20 เมตร ลำต้นเปลาตรง ขึ้นได้ดีในทุกสภาพภูมิประเทศ โดยเฉพาะในที่แห้งแล้ง เติบโตได้ดีในดินทุกชนิด แต่ชอบขึ้นในดินทรายใกล้ทะเลและภูเขาสูง แต่จะมีการเจริญเติบโตดีในดินที่ระบายน้ำได้ดี และมีน้ำอุดมสมบูรณ์

ในช่วงสองปีแรกสนประดิษฐ์เจริญเติบโตค่อนข้างช้า เมื่อเทียบกับระยะสามปีต่อมาซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออายุ 5 ปี สนประดิษฐ์จะสูงถึง 21 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร อายุการตัดฟันที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5-10 ปี แต่ถ้าเป็นป่าเศรษฐกิจควรตัดที่อายุ 6 ปี การลงทุนปลูกสวนป่าสนประดิษฐ์เป็นการลงทุนระยะยาว ในช่วง 1-5 ปีแรก สามารถหาผลกำไรจากการลงทุนโดยการขายกิ่งตอนจากต้นที่มีอายุ 1 ปีขึ้นไป หรือปลูกพีชล้มลุกระหว่างแถวต้นสนประดิษฐ์เพื่อขายผลิตผล

4.4 การเตรียมตัวอย่าง

ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิษฐ์ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM [4] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิษฐ์

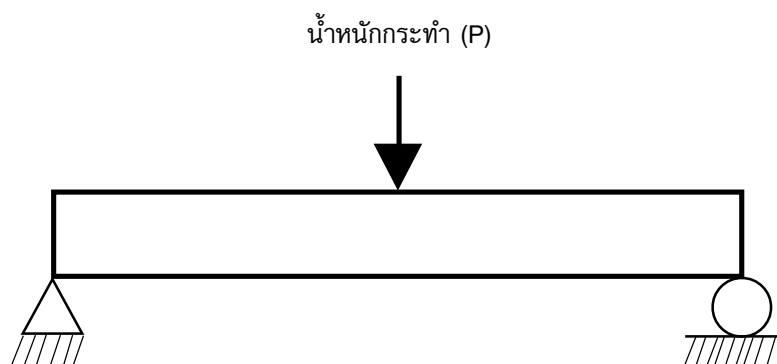
ลำดับ	รายการทดสอบไม้	ขนาดตัวอย่างทดสอบ (นิ้ว)	ปริมาตร/ชิ้น (ลบ.ฟุต)
1	การรับแรงดัดของไม้ (static bending)	2 x 2 x 30	0.069
2	การรับแรงอัดในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ (compression parallel to grain)	2 x 2 x 8	0.019
3	การรับแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเส้นของเนื้อไม้ (compression perpendicular to grain)	2 x 2 x 6	0.014
4	การรับแรงดึงในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ (tension parallel to grain)	1 x 1 x 30	0.017
5	การรับแรงดึงในแนวตั้งฉากกับเส้นของเนื้อไม้ (tension perpendicular to grain)	2 x 2 x 2.5	0.006
6	ความเหนียวของเนื้อไม้ (toughness)	0.79 x 0.79 x 11	0.004
7	ความแข็งของเนื้อไม้ (hardness)	2 x 2 x 6	0.014
8	การรับแรงเฉือนในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ (shear parallel to grain)	2 x 2 x 2.5	0.006
9	การรับแรงฉีกของเนื้อไม้ (cleavage)	2 x 2 x 3.75	0.009
10	หน่วยน้ำหนักจำเพาะและการหดตัวของเนื้อไม้ (specific gravity and shrinkage in volume)	2 x 2 x 6	0.014
11	การหดตัวในแนวรัศมีและในแนววงปี (radial and tangential shrinkage)	1 x 4 x 1	0.002

4.5 การทดสอบ

4.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิษฐ์

ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สนประดิษฐ์ 11 รายการตามมาตรฐาน ASTM [4] ได้แก่ 1) การรับแรงดัดของไม้ 2) การรับแรงอัดในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ 3) การรับแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเส้นของเนื้อไม้ 4) การรับแรงดึงในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ 5) การรับแรงดึงในแนวตั้งฉากกับเส้นของเนื้อไม้ 6) ความเหนียวของเนื้อไม้ 7) ความแข็งของเนื้อไม้ 8) การรับแรงเฉือนในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ 9) การรับแรงฉีกของเนื้อไม้ 10) หน่วยน้ำหนักจำเพาะและการหดตัวของเนื้อไม้ และ 11) การหดตัวในแนวรัศมีและในแนววงปี

สำหรับการทดสอบการรับแรงดัดของไม้ จะนำตัวอย่างทดสอบขนาด 2"x2"x30" มารับน้ำหนักกระทำหนึ่งจุด (one point load) ณ ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงคานดังแสดงในรูปที่ 1 จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติ แล้วนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะโก่งตัวในแนวดิ่ง



รูปที่ 1 การติดตั้งตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรับแรงดัดของไม้

การหาค่าโมดูลัสแตกหัก (modulus of rupture) พิจารณาจากค่าน้ำหนักกระทำ ณ จุดประลัย (ultimate load) โดยอาศัยสมมติฐานที่ว่า ระบายหน้าตัดยังคงเป็นระนาบเมื่อรับแรงดัด แล้วแสดงผลในรูปของหน่วยแรงดัด ณ จุดประลัย (ultimate bending stress) หรือเรียกว่ากำลังดัด (bending strength) หรือโมดูลัสแตกหัก

การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) สามารถพิจารณาได้จากความชัน (slope) ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะโก่งตัวในแนวดิ่งภายในช่วงพิกัดยืดหยุ่น (proportional limit) ซึ่งกราฟมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยอาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง เช่น ทฤษฎีโมเมนต์ของพื้นที่ (moment area) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบโดยใช้น้ำหนักกระทำหนึ่งจุด ณ จุดกึ่งกลางช่วงคานจะต้องปรับแก้โดยการคูณด้วยค่าคงตัว 1.2 ตามข้อแนะนำในมาตรฐาน ASTM [4] เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

4.5.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างทดสอบแต่ละรายการที่มีจำนวนมากเพียงพอที่จะทำให้ข้อมูลในช่วงความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของ

ข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้สนประดิษฐ์ โดยจะแสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และรูปแบบการแจกแจง (Type of Distribution) ที่เหมาะสม ซึ่งผ่านการยอมรับจากการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท (Goodness-of-Fit Test) 2 รายการ ได้แก่ การทดสอบไคกำลังสอง (Chi - Square Test) และการทดสอบโคลโมโกรอฟ - สเมียร์นอฟ (Kolmogorov - Smirnov Test) หรือเรียกสั้นๆ ว่า การทดสอบ K-S

การทดสอบไคกำลังสองจะพิจารณาในแง่ของฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น (Probability Density Function) โดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าความถี่ของข้อมูลตัวอย่างในแต่ละอันตรภาคชั้นกับค่าความถี่คาดหวังของรูปแบบการแจกแจงที่ต้องการทดสอบ และจะยอมรับชนิดของการแจกแจงนั้นก็ต่อเมื่อค่าไคกำลังสองน้อยกว่าค่าวิกฤติที่ระดับความเชื่อมั่น (confident level) ร้อยละ 95 สำหรับการวิจัยนี้

การทดสอบ K-S จะพิจารณาในแง่ของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function : CDF) โดยจะเปรียบเทียบค่าความถี่สัมพัทธ์สะสม (cumulative relative frequency) ของตัวอย่างกับค่า CDF ของรูปแบบการแจกแจงที่ต้องการทดสอบ [12] ขนาดของความแตกต่างสูงสุดจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติซึ่งกำหนดด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับการวิจัยนี้

การหาคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้ จากการเปรียบเทียบภาวะเข้ารูปสนิทระหว่างข้อมูลของตัวอย่างทดสอบแต่ละรายการกับรูปแบบการแจกแจงแบบต่อเนื่องที่ใช้กันโดยทั่วไปในงานด้านวิศวกรรมโยธาจำนวน 11 รูปแบบ ได้แก่ การแจกแจงปกติ (Normal Distribution) การแจกแจงเอกรูป (Uniform Distribution) การแจกแจงเลขชี้กำลังแบบเลื่อน (Shifted Exponential Distribution) การแจกแจงเรย์ลีแบบเลื่อน (Shifted Rayleigh Distribution) การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล (Gumbel Distribution - Type I - Largest) การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล (Gumbel Distribution - Type I - Smallest) การแจกแจงลอการิทึม (Lognormal Distribution) การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution) การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเชต์ (Frechet Distribution - Type II - Largest) การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution - Type III - Smallest) และการแจกแจงบีตา (Beta Distribution) งานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ CESTTEST (Civil Engineering Statistical TEST) ซึ่งถูกพัฒนามาเพื่อใช้ในงานนี้โดยเฉพาะ กล่าวคือ เมื่อนำข้อมูลคุณสมบัติเชิงกายภาพ หรือเชิงกลแต่ละรายการที่ให้ช่วงแห่งความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 มาจัดทำเป็นแฟ้มข้อมูลนำเข้า (input data file) ในรูปแฟ้มตัวหนังสือ (text file) ซอฟต์แวร์ CESTTEST จะคำนวณและแสดงผลค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรูปแบบการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทด้วยวิธีไคกำลังสอง และวิธี K-S ณ ระดับความเชื่อมั่นตามที่ต้องการโดยอัตโนมัติ ในขณะที่การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ซอฟต์แวร์อื่น ผู้ใช้ซอฟต์แวร์อาจจะต้องดำเนินการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทของรูปแบบการแจกแจงที่ละรูปแบบ รวมถึงอาจจะต้องคำนวณค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (shape parameters) สำหรับรูปแบบการแจกแจงบางรูปแบบ เช่น การแจกแจงค่าสูงสุดแบบเฟรเชต์ การแจกแจงค่าต่ำสุดแบบไวบูลล์ และการแจกแจงบีตา เป็นต้น พารามิเตอร์รูปร่างของรูปแบบการแจกแจงทั้งสามไม่สามารถหาได้โดยวิธีการวิเคราะห์ แต่หาได้จากระเบียบวิธีทางตัวเลข (numerical methods) เท่านั้น [12]

4.5.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของโครงสร้าง

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของค้ออาคารไม้ จะพิจารณาโอกาสที่ค้ออาคารไม้จะวิบัติจากสภาวะขีดจำกัดหลัก (main limit state) ได้แก่ การโก่งตัวในแนวดิ่งของตงและคาน และแรงอัดในแนวขนานกับเสี้ยนไม้ของเสา การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นสำหรับหน้าตัดค้ออาคารไม้จากการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. จะใช้ซอฟต์แวร์ ISPUD (Importance Sampling Procedures Using Design Points) ซึ่งสามารถให้คำตอบถูกต้องสำหรับอาคารตามขอบเขตที่กำหนดไว้สำหรับการวิจัยนี้ คือ อาคารไม้สูงไม่เกิน 2 ชั้น มีความสูงระหว่างชั้น 3.00 เมตร สำหรับอาคาร 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และสถานศึกษา โดยน้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการออกแบบคือ 150 กก./ม.² 250 กก./ม.² และ 300 กก./ม.² สำหรับอาคารแต่ละประเภทตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ขนาดไม้ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจะพิจารณาจากขนาดไม้แปรรูปที่มีขายตามท้องตลาด

5. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

คุณสมบัติทางวิศวกรรม

ข้อมูลจากการทดสอบแต่ละรายการที่ให้ช่วงแห่งความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 และผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางสถิติโดยใช้ซอฟต์แวร์ CESTTEST สามารถสรุปรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้สนประดิดัทท์

รายการทดสอบไม้	หน่วย	ค่าเฉลี่ย (Mean)	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	ส.ป.ส. การแปรผัน (COV)	รูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสม ¹
การรับแรงดัดของไม้	กก./ซม. ²	134,643	120	0.113	Gumbel (Type I - largest), Lognormal, Gamma
โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)					
โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture)	กก./ซม. ²	1,418	120	0.122	Weibull, normal, Gumbel (Type I - Smallest)
การรับแรงอัดในแนวขนานกับเสี้ยน (Compression Parallel to Grain)	กก./ซม. ²	559.66	120	0.117	Normal , Uniform
การรับแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเสี้ยน (Compression Perpendicular to Grain)	กก./ซม. ²	136.54	120	0.169	Gumbel (Type I - largest), Lognormal, Gamma, Normal
การรับแรงดึงในแนวขนานกับเสี้ยน (Tension Parallel to Grain)	กก./ซม. ²	1,830	120	0.152	Gamma, Lognormal, Normal
การรับแรงดึงในแนวตั้งฉากกับเสี้ยน (Tension Perpendicular to Grain)	กก./ซม. ²	80.18	70	0.089	Gamma, Normal, Lognormal
ความเหนียวของไม้ (Toughness)	กก.ซม.	584.03	60	0.084	Uniform
ความแข็งของไม้ (Hardness)	กก.	1,078	70	0.043	Gumbel (Type I - Smallest), Normal, Lognormal, Uniform
ความแข็งตั้งฉากวงปี					
ความแข็งลัมผัสวงปี					
ความแข็งขนานเสี้ยนที่ปลายไม้	กก.	1,072	70	0.029	Lognormal, Gamma, Normal, Uniform, Gumbel (Type I - Largest)
การรับแรงเฉือนในแนวขนานกับเสี้ยน (Shear Parallel to Grain)	กก./ซม. ²	177.11	70	0.129	Normal, Gamma, Lognormal, Weibull

ตารางที่ 2 (ต่อ) คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้สนประดิษฐ์

รายการทดสอบไม้	หน่วย	ค่าเฉลี่ย (Mean)	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	ส.ป.ส. การแปรผัน (COV)	รูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสม ¹
การรับแรงฉีกของเนื้อไม้ (Cleavage)	กก./ชม.	49.23	50	0.071	Rayleigh, Normal, Lognormal, Uniform, Gamma
ความชื้น และหน่วยน้ำหนักจำเพาะ	ร้อยละ	21.02	70	0.132	Uniform, Normal, Gumbel (Type I - Smallest), Lognormal, Gamma, Weibull
ความชื้น (Moisture Content)					
หน่วยน้ำหนักจำเพาะ (Specific gravity)	-	1.12	70	0.051	Rayleigh, Gumbel (Type I - Largest), Lognormal, Gamma
การหดตัว (Shrinkage)	-	2.91	30	0.302	Normal, Gumbel (Type I - Largest) Gumbel (Type I - Smallest), Lognormal, Gamma, Weibull
การหดตัวในแนววงปี (Tangential Shrinkage)					
การหดตัวในแนวรัศมี (Radial Shrinkage)					
การหดตัวในแนวรัศมี (Radial Shrinkage)	-	4.76	30	0.172	Normal, Gumbel (Type I - Largest), Gumbel (Type I - Smallest), Lognormal, Gamma, Weibull

หมายเหตุ¹ รูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสมเรียงตามลำดับจากดีที่สุด

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้สนประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 134,643 กก./ชม.² ซึ่งค่าที่ได้นี้ใกล้เคียงกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 136,300 กก./ชม.² ของไม้เนื้อแข็งที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ว.ส.ท. ในขณะที่ค่าโมดูลัสแตกหักของไม้สนประดิษฐ์ มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 1,418 กก./ชม.² นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าความแข็งของเนื้อไม้ที่ตั้งฉากวงปี สัมผัสวงปี และขนานเส้นใยที่ปลายไม้จะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 1,078 กิโลกรัม 1,084 กิโลกรัม และ 1,072 กิโลกรัม ตามลำดับ และค่าความชื้นของเนื้อไม้มีค่าเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 21 ในขณะที่หน่วยน้ำหนักจำเพาะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.12

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation, COV) ซึ่งนิยามจาก อัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลกับค่าเฉลี่ยของข้อมูล ค่า COV นี้เป็นปริมาณไร้มิติ (dimensionless quantity) ที่มีผลต่อค่าความน่าจะเป็นวิบัติเป็นอย่างมาก โดยไม้สนประดิษฐ์จะมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันตั้งแต่ 0.029 ถึง 0.302 โดยที่คุณสมบัติด้านความแข็งแรงขนานเส้นใยที่ปลายไม้จะมีค่า COV น้อยที่สุด ในขณะที่ค่าการหดตัวในแนววงปีจะมีค่า COV มากที่สุด

สำหรับรูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสมในแต่ละคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้สนประดิษฐ์สามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. การแจกแจงปรกติ ได้แก่ ค่าโมดูลัสแตกหัก การรับแรงอัดในแนวขนานเส้นใย การรับแรงเฉือนในแนวขนานเส้นใยของเนื้อไม้ การหดตัวทั้งในแนววงปี และในแนวรัศมี

2. การแจกแจงเอกรูป ได้แก่ คุณสมบัติด้านความเหนียวของเนื้อไม้ และความชื้น การรับแรงอัดในแนวขนานเสี้ยน
3. การแจกแจงเรย์ลีย์ ได้แก่ กำลังรับแรงฉีกของเนื้อไม้ และหน่วยน้ำหนักจำเพาะ
4. การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล ได้แก่ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น การรับแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนของเนื้อไม้
5. การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล ได้แก่ คุณสมบัติด้านความแข็งตั้งฉากวงปีและสัมผัสวงปี
6. การแจกแจงลอกปรกติ ได้แก่ ความแข็งขนานเสี้ยนที่ปลายไม้
7. การแจกแจงแกมมา ได้แก่ กำลังรับแรงดึงในแนวขนานกับเสี้ยนของเนื้อไม้ กำลังรับแรงดึงและแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนของเนื้อไม้

แต่จะพบว่ารูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องของคุณสมบัติที่ผ่านการทดสอบส่วนใหญ่และสามารถอนุมานให้ใช้ได้จะเป็นการแจกแจงแบบปรกติ ยกเว้นคุณสมบัติในส่วนของคุณสมบัติความแข็งสัมผัสวงปี ความเหนียวของไม้ และหน่วยน้ำหนักจำเพาะ ที่มีรูปแบบการแจกแจงที่ดีที่สุดเป็นแบบค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล การแจกแจงเอกรูป และการแจกแจงเรย์ลีย์ ตามลำดับ

● ความน่าจะเป็นของโครงสร้าง

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นขององค์อาคารไม้ (ตง คาน และเสา) ที่ทำการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. โดยใช้ซอฟต์แวร์ ISPUAD การทดสอบและวิเคราะห์ที่เน้นที่อาคารซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติ 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และสถานศึกษา โดยเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกับข้อมูลตัวอย่างในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติที่จัดเก็บในประเทศไทย [13]

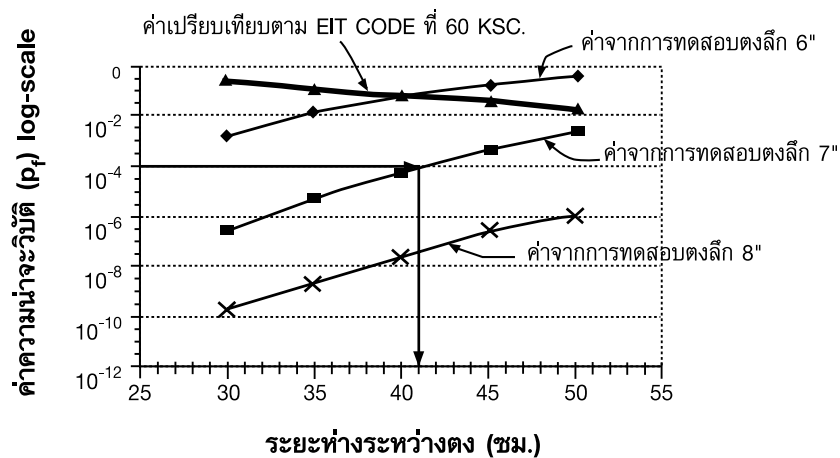
ประเภทการใช้งานในอาคาร	ค่าระบุ (กก./ม. ²)	ข้อมูลที่จัดเก็บ				
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย/ค่าระบุ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ส.ป.ส. การแปรผัน	ชนิดของการแจกแจง
ที่พักอาศัย	150	182.40	1.216	33.93	0.186	ปรกติ
สำนักงาน	250	350.80	1.403	63.85	0.182	ปรกติ
สถานศึกษา	300	163.30	0.544	21.72	0.133	ปรกติ

ผลการวิเคราะห์สามารถแบ่งตามประเภทขององค์อาคารไม้ได้ดังต่อไปนี้

1. ตงไม้ (Joist)

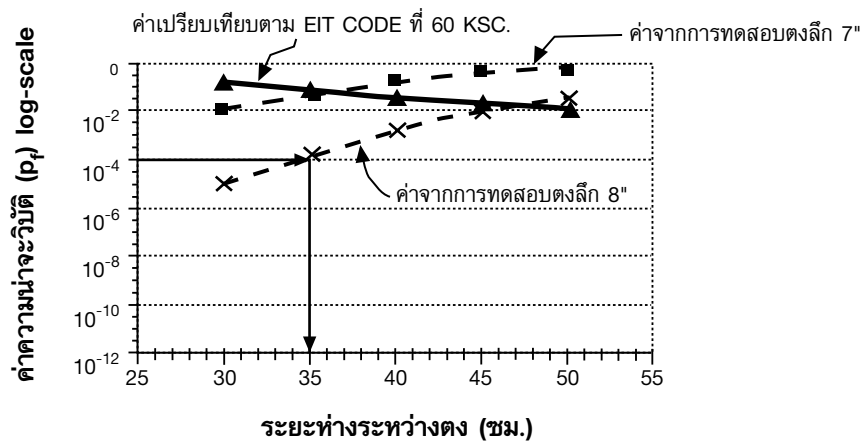
การทดสอบตงไม้สนประติพัทธ์ที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. เทียบกับค่าแรงดัดที่ยอมให้และผ่านข้อกำหนดการออกแบบ 60 กก./ชม.² ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของไม้เนื้ออ่อนมาก ค่าความน่าจะเป็นวิบัติของตงไม้เนื่องจากการโค้งตัวที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ระดับ 10^{-4} ($p_f = 10^{-4}$) [14] โดยมีความยาวตง 3.00 เมตร ขนาดไม้สนประติพัทธ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ คือ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 6$ ", $1\frac{1}{2} \times 7$ ", $1\frac{1}{2} \times 8$ " โดยตงไม้สนประติพัทธ์แต่ละขนาดจะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตง (spacing) 30, 35, 40, 45 และ 50 ซม. และพบว่า

- ในกรณีของที่พักอาศัย น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับการออกแบบ คือ 150 กก./ม.² ค่าความน่าจะเป็นวิบัติที่แสดงในรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าตงไม้สนประติพัทธ์ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 6$ " ไม่มีความเหมาะสมในการใช้งาน หากต้องการใช้ไม้สนประติพัทธ์ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 7$ " ควรใช้ระยะห่างระหว่างตง ไม่เกิน 44 ซม. ในขณะที่การใช้ไม้สนประติพัทธ์ขนาดใหญ่ขึ้น คือ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 8$ " สามารถใช้ระยะห่างระหว่างตงไม่เกิน 50 ซม. ได้



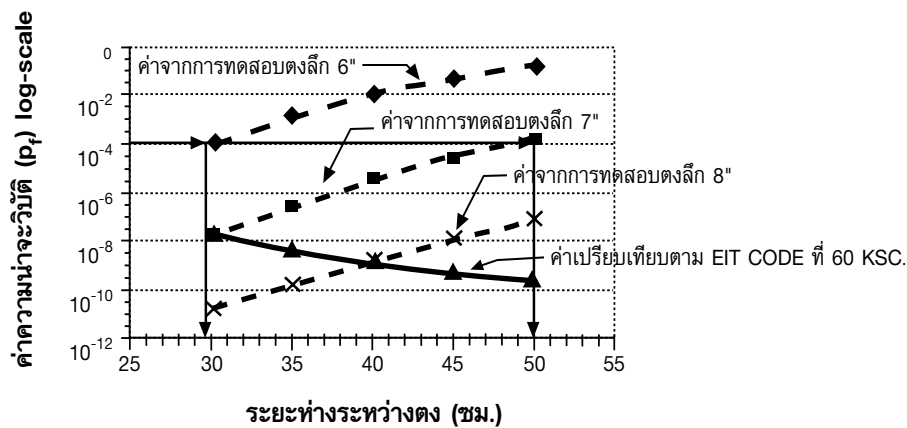
รูปที่ 2 ค่าความน่าจะเป็นวิบัติของตงไม้ยาว 3.00 ม. หน้ากว้าง $1\frac{1}{2}$ " (3.81 ซม.) ที่ขนาดความลึกต่างๆ ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจรของที่พักอาศัย

- ในกรณีของอาคารสำนักงาน น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับการออกแบบ คือ 250 กก./ม.² ค่าความน่าจะเป็นวิบัติที่แสดงในรูปที่ 3 แสดงว่าตงไม้สนประติพัทธ์ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 6$ " และ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 7$ " ไม่มีความเหมาะสมในการใช้งาน ขนาดที่เหมาะสม คือ ขนาด $1\frac{1}{2} \times 8$ " ที่ระยะห่างระหว่างตงไม่เกิน 35 ซม.



รูปที่ 3 ค่าความน่าจะเป็นของตงไม้ยาว 3.00 ม. หน้ากว้าง 1 1/2" (3.81 ซม.) ที่ขนาดความลึกต่างๆ ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจรของสำนักงาน

- ในกรณีของสถานศึกษา น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับการออกแบบ คือ 300 กก./ม.² ค่าความน่าจะเป็นที่แสดงในรูปที่ 4 แสดงว่า สามารถใช้ตงไม้สนประติบัติได้ทุกขนาด คือ 1 1/2"x6", 1 1/2"x7" และ 1 1/2"x8" ที่ระยะห่างระหว่างตงไม่เกิน 50 ซม.



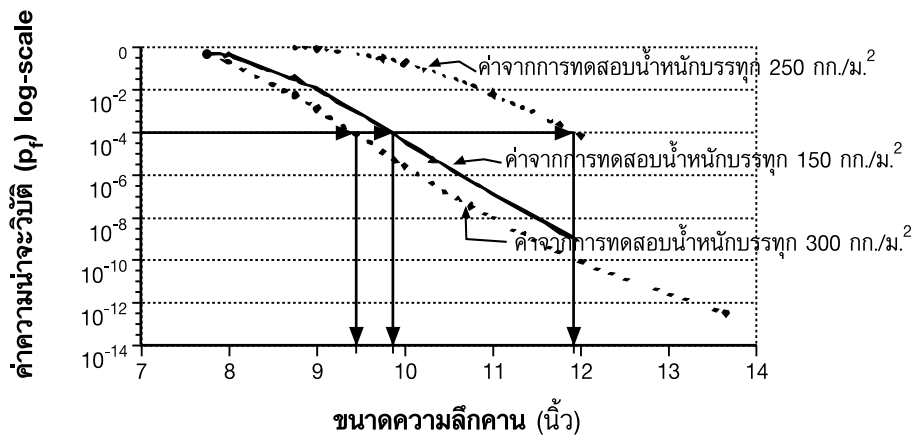
รูปที่ 4 ค่าความน่าจะเป็นของตงไม้ยาว 3.00 ม. หน้ากว้าง 1 1/2" (3.81 ซม.) ที่ขนาดความลึกต่างๆ ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจรของสถานศึกษา

ให้สังเกตว่า สำหรับอาคารทุกประเภทที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ตงจะมีค่าความน่าจะเป็นที่น้อยลงเล็กน้อย เมื่อระยะระหว่างตงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระยะระหว่างตงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้หน้าหนักของตงต่อความยาวมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามที่ทุกค่าความลึกของหน้าตัดตง (หน้าหนักตงคงที่) ค่าความน่าจะเป็นที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก

เมื่อระยะระหว่างตงเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะระหว่างตงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ตงรับน้ำหนักบรรทุกจรในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำหนักตง โดยปกติแล้วความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกจรมีค่ามากกว่าความไม่แน่นอนของน้ำหนักตง น้ำหนักบรรทุกจรมีผลต่อค่าความน่าจะเป็นมากกว่าน้ำหนักตง

2. คาน (Beam)

การทดสอบคานไม้สนประติพันธ์ที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. เทียบกับค่าแรงดัดที่ยอมให้และผ่านข้อกำหนดการออกแบบ 60 กก./ซม.² ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของไม้เนื้ออ่อนมาก ค่าความน่าจะเป็นของคานไม้เนื่องจากการโค้งตัวที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ระดับ 10^{-4} ($p_f = 10^{-4}$) [14] โดยมีความยาวคาน 3.00 เมตร ขนาดไม้สนประติพันธ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ คือ ขนาด 2"x 8", 2"x 9", 2"x 10", 2"x 11", 2"x 12" พบว่า หน้าตัดคานที่ยอมรับได้สำหรับอาคารทุกประเภทเป็นคานคู้ ที่ขนาดความลึกสำหรับการใช้งานประเภทสถานศึกษา ที่พักอาศัย และสำนักงาน 9.40" 9.80" และ 11.80" ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับขนาดหน้าตัดที่มีขายในท้องตลาด จึงแนะนำให้ใช้ขนาดหน้าตัดต่ำสุดที่ยอมรับได้ตามประเภทการใช้งานที่พักอาศัยและสถานศึกษาเป็น คานคู้ขนาด 2"x10" ในขณะที่สำนักงานจะใช้คานคู้ขนาด 2"x12" ซึ่งไม่มีขายในท้องตลาด แต่สามารถสั่งซื้อให้ได้ขนาดที่ต้องการได้

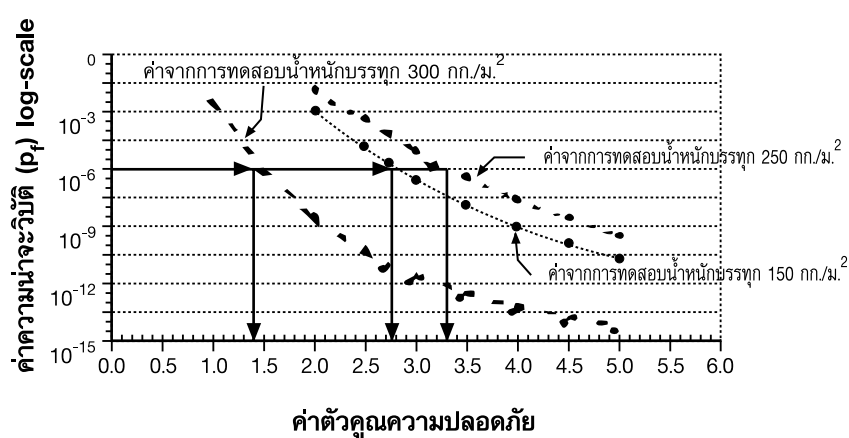


รูปที่ 5 ค่าความน่าจะเป็นของคานคู้ไม้ยาว 3.00 ม. หน้ากว้าง 2" ที่ขนาดความลึกและการรับน้ำหนักบรรทุกจรในทุกกรณีต่างๆ

3. เสา (Column)

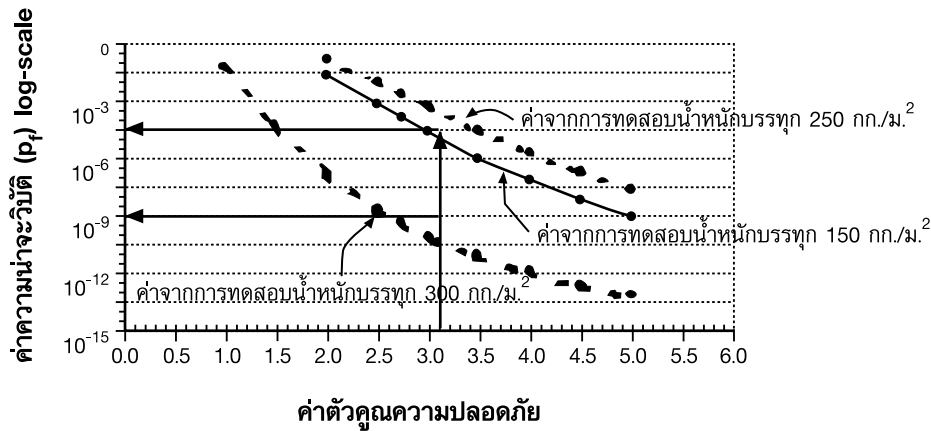
การทดสอบเสาไม้สนประติพันธ์ที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ใช้เสายาว 3.00 เมตร ตงและคานยาว 3.00 เมตร เป็นการนำสมการของออยเลอร์ (Euler's Formula) มาใช้ในการคำนวณหาขนาดหน้าตัดเสาไม้ โดยใช้ค่าตัวคูณความปลอดภัย 2.727 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นของเสาไม้ในช่วงการรับน้ำหนักกระยะสั้น เนื่องจากแรงอัดที่ยอมรับได้ที่ระดับ 10^{-6} ($p_f = 10^{-6}$) ในขณะที่ช่วงการรับน้ำหนักกระยะยาวที่ระดับ 10^{-2} ($p_f = 10^{-2}$) [14]

จากการทดสอบพบว่า ควรพิจารณาค่าตัวคูณความปลอดภัยที่แท้จริงสำหรับเสาที่ใช้ไม้สนประติพันธ์ใหม่ โดยนำขนาดหน้าตัดของเสาไม้สนประติพันธ์ที่ได้จากสมการของออยเลอร์ที่ค่าตัวคูณความปลอดภัยต่างๆ มาวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่เสาไม้สนประติพันธ์ทั้งในช่วงระยะสั้นและระยะยาว โดยแบ่งตามน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติเป็นที่พักอาศัย สำนักงาน และสถานศึกษา จากการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นที่ในช่วงระยะสั้นค่าตัวคูณความปลอดภัยที่ยอมรับได้ของอาคารประเภทสถานศึกษา ที่พักอาศัย และสำนักงานอยู่ที่ 1.5 2.7 และ 3.3 ตามลำดับ ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ค่าตัวคูณความปลอดภัยในสมการของออยเลอร์ สำหรับใช้ในการออกแบบเสาไม้สนประติพันธ์ด้วยค่า 3.3 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าความน่าจะเป็นที่ของเสาไม้ ตง และคานยาว 3.00 ม. ที่ช่วงการรับน้ำหนักระยะสั้น

หากนำหน้าตัดที่ได้จากการออกแบบโดยใช้ตัวคูณความปลอดภัยเท่ากับ 3.3 มาวิเคราะห์ผลการรับน้ำหนักบรรทุกจรในระยะยาว โดยการลดทอนความต้านทานของโครงสร้างด้วยตัวคูณความทนทานเท่ากับ 0.8 [4] จะเห็นว่าค่าความน่าจะเป็นที่เสาไม้สนประติพันธ์ในระยะยาวจะมีค่าน้อยกว่า 10^{-2} ในทุกกรณีดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้สำหรับการรับน้ำหนักในระยะยาว ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า สำหรับการออกแบบเสาสามารถใช้ตัวคูณความปลอดภัยเท่ากับ 3.3 เพื่อลดทอนกำลังของเสาจากสูตรของออยเลอร์สำหรับทุกกรณี



รูปที่ 7 ค่าความน่าจะเป็นของเสาไม้ ตงและคานยาว 3.00 เมตร ที่ช่วงการรับน้ำหนักระยะยาว โดยการทนความต้านทานของโครงสร้างด้วยตัวคูณความทนทานที่ 0.8

4. องค์อาคารไม้

จากผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นทั้งตง คาน และเสา จะได้ข้อสรุปไปในทางเดียวกันว่า การใช้งานองค์อาคารในอาคารสำนักงานจะมีความเสี่ยงมากที่สุด รองลงมาได้แก่ อาคารที่พักอาศัย และอาคารสถานศึกษา ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยต่อค่าระบุน้ำหนักบรรทุกจรรยาที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 โดยค่าเฉลี่ยต่อค่าระบุน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารสำนักงานมีค่าสูงที่สุดในขณะที่อัตราส่วนนี้มีค่าน้อยกว่าสำหรับอาคารที่พักอาศัยและอาคารสถานศึกษาตามลำดับ

6. สรุปและวิจารณ์

6.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้งานทั่วไป

ไม้สนประดิพัทธ์ที่ได้ขนาดสามารถนำไปใช้งานทั่วไปได้ดังที่มีผู้ศึกษาวิจัยไว้เช่น วรกิจ และคณะ [15] สรุปว่าไม้สนประดิพัทธ์สามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเรือนได้ จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้สนประดิพัทธ์แปรรูป จากจังหวัดลพบุรี อายุ 6 - 7 ปี การใช้ประโยชน์อื่นๆ จากไม้สนประดิพัทธ์ เช่น ไม้เสาเข็ม ไม้ค้ำยัน เสาโป๊ะ เสากระโดงเรือ ไม้พินและถ่าน เขื่อกระดาษ ไม้ปาร์เก้ [10]

สุทธิ [16] ศึกษาขั้นตอนการแปรรูปไม้สนประดิพัทธ์จากการเลื่อยไม้ซุงท่อนให้เป็นไม้แผ่นหรือไม้แปรรูป พบว่าผลผลิตหรืออัตราการแปรรูปไม้จะมากหรือน้อยและมีคุณภาพดีเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เป็นตัวแปรสำคัญหลายประการ เช่น ลักษณะของไม้ท่อน คลองเลื่อย การเลื่อยเพื่อขนาด การเปิดปีกครั้งแรก รูปแบบการเลื่อย การดูแลบำรุงรักษาเครื่องจักรกลฯ ซึ่งปัจจุบันนี้อัตราการแปรรูปไม้นั้นสูญเสียเนื้อไม้มาก นอกจากนี้ไม้ซุงที่นำมาแปรรูปก็เป็นไม้ขนาดเล็กจากสวนป่าที่มีอายุน้อย เมื่อเลื่อยแล้วจะทำให้เกิดการบิดงอซึ่งเป็นปัญหาในการแปรรูปไม้สนประดิพัทธ์ จึงต้องใช้เทคนิคในการเลื่อยไม้แตกต่างไปจากปกติทั่วไป

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้งานด้านสถาปัตยกรรม และวิศวกรรมโครงสร้าง

ไม้สนประดิพัทธ์ มีเนื้อไม้สีขาวแกมเหลือง มีเส้นตรงขนานแกนไม้ มีความทนทานตามธรรมชาติ 3-5 ปี สามารถอาบน้ำยาได้ง่ายซึ่งจะช่วยความทนทานได้มาก [10] จากการวิจัยนี้ พบว่าไม้สนประดิพัทธ์มีความถ่วงจำเพาะ 1.12 และความชื้นในเนื้อไม้ร้อยละ 21 เมื่อนำคุณสมบัติของเนื้อไม้สนประดิพัทธ์มาเปรียบเทียบกับไม้เนื้อแข็งที่นิยมใช้เป็นไม้โครงสร้างแต่เดิม สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเนื้อไม้มีคุณสมบัติไม่ด้อยกว่าไม้อื่นๆ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้เนื้อแข็งที่นิยมใช้เป็นไม้โครงสร้างแต่เดิมกับไม้สนประดิพัทธ์

ชนิดของไม้	ความถ่วงจำเพาะ	ความแข็ง (กก.)	ความเหนียว (กก.-ม.)	ความแข็งแรงของเนื้อไม้ (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)
สัก ¹	0.83	493	1.95	1,034	108,800
เต็ง ¹	1.01	964	6.10	1,732	175,100
รัง ¹	1.00	755	3.42	1,352	143,100
มะค่าโมง ¹	0.85	807	3.80	1,229	101,700
ประดู่ ¹	1.07	926	3.20	1,334	119,000
ตะเคียนทอง ¹	0.82	625	4.70	1,172	120,200
สนประดิพัทธ์²	1.12	1,072	5.84	1,418	134,643

ที่มาของข้อมูล 1 กองคันท้า, กรมป่าไม้. 2526. ไม้และของป่าบางชนิดในประเทศไทย. ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3, สมาคมป่าไม้แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
2 ผลการวิจัย

เนื้อไม้สนประดิพัทธ์มีสีสวยงามและมีความเหมาะสมในการใช้เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างอาคาร จากผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้ในส่วนของตง คาน และเสา ซึ่งออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติ 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และสถานศึกษา ในรูปของค่าความน่าจะเป็น (p) ด้วยซอฟต์แวร์ ISPU โดยแยกตามประเภทขององค์อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ขนาดที่เหมาะสมของไม้สนประดิษฐ์ในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่างๆ

ชนิดขององค์ประกอบ	ค่าความน่าจะเป็น (p)	ขนาดหน้าตัดองค์อาคารส่วนต่างๆ สำหรับอาคารแต่ละประเภท			ค่าตัวคูณความปลอดภัย
		ที่พักอาศัย	สำนักงาน	สถานศึกษา	
ตง	10 ⁻⁴	1½" x 8" @ 0.50	1½" x 8" @ 0.35	1½" x 8" @ 0.50	-
คาน	10 ⁻⁴	คานคู่ 2" x 10"	คานคู่ 2" x 12"	คานคู่ 2" x 10"	-
เสา	10 ⁻⁶ และ10 ⁻²	-	-	-	3.3

หมายเหตุ : ความสูงอาคารไม่เกิน 2 ชั้น ระยะระหว่างเสา 3.00 ม. ความสูงพื้นถึงพื้น 3.00 ม.

: ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังแต่งไสแล้ว

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณประสาน วาณิชดี ที่ได้แนะนำหนังสือเรื่อง “ไม้และของป่าบางชนิดในประเทศไทย” ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3 โดยกองค้นคว้า กรมป่าไม้ และสมาคมป่าไม้แห่งประเทศไทย พ.ศ. 2526 อันเป็นการจุดประกายความคิดและเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้วิจัย คุณณรงค์ศักดิ์ มากุล และ คุณคมกฤษ ไวก้อยกร ผู้ช่วยวิจัยในการรวบรวมข้อมูล อนึ่งขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบเบื้องต้น

8. เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, *นโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559*, หน้า 22-23.
2. U.S. Department of Agriculture, 1974, *Wood Handbook : Wood as an Engineering Material*, Forest Products Laboratory, Forest Service.
3. สุรีย์ ภูมิภมร และอนันต์ คำคง, 2538, *ไม้โตเร็วเอนกประสงค์พื้นเมืองของประเทศไทย*, คณะอนุกรรมการประสานงานวิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าไม้และไม้โตเร็วเอนกประสงค์.
4. ASTM Standards, 1998, *Annual Book of ASTM Standard : Volume 04.10 (WOOD)*.
5. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2517, “มาตรฐานสำหรับอาคารไม้”, *E.I.T. Standard*, 1002-1016.
6. สุพินท์ เรียนศรีวิไล, 2542, *กฎหมายอาคาร อาษา/2542*, บริษัท เมฆาเพรส จำกัด. กรุงเทพฯ.
7. วินัย อวยพรประเสริฐ, 2537, “ความน่าเชื่อถือและปลอดภัยทางโครงสร้าง”, *เอกสารประกอบการสอน*

วิชา CEN 618 Structural Safety and Reliability, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต.

8. กฤษณะชัย ทิพย์ปลุก และคณะ, 2542, “การศึกษาคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของไม้สนประดิษฐ์”, *โครงการการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยรังสิต.*

9. สะอาด บุญเกิด, จเร สดากกร และทิพย์พรรณ สดากกร, 2543, *ชื่อพรรณไม้ในเมืองไทย*, บริษัท อนิเมทพรินท์ แอนด์ ดีไซน์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

10. ปาริชาติ ฤทธิเดช, 2537, “ไม้สนประดิษฐ์”, *ไม้โตเร็วต่างกัน*, กรุงเทพฯ.

11. บุญชู บุญทวี และพิศาล วสุวานิช, 2523, “สนประดิษฐ์”, *เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฉบับที่ 8, ฝ่ายวิจัยป่าไม้ กองบำรุง กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.*

12. วินัย อวยพรประเสริฐ, 2544, “การทดสอบภาวะเข้ารูปสนสำหรับการแจกแจงแบบต่อเนื่องที่ใช้กันอย่างสามัญในวิศวกรรมโยธา”, *รายงานฉบับที่ ว.ย. 1/2545, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยรังสิต.*

13. สุชาติ ชะโยชัยชนะ, 2531, “การวิเคราะห์ค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกในงานคอนกรีตเสริมเหล็กตามสภาพก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานคร”, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*

14. วินัย อวยพรประเสริฐ, 2544, “การเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบอาคารสำหรับประเทศไทย ตามทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง”, *วารสาร RSU JET, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, พฤษภาคม 2543, หน้า 5-14.*

15. วรกิจ สุนทรบุระ, ศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์ และศรันธร์ สุขวัฒน์นิจกุล, 2542, *การใช้ประโยชน์ไม้สนประดิษฐ์แปรรูป อายุ 6-7 ปี, ฉบับปรับปรุงแก้ไข, กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.*

16. สุธี วิสุทธิเทพกุล, 2542, *การแปรรูปไม้*, เล่มที่ ๗7 กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.