



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การใช้ไม้พฤษภและไม้จามจรีเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไม้

Usage of Albizia lebbeck (L.) Benth. and Samanea saman Merrill

as Components in Wood Structures

โดย

นายจักรพันธ์ แสงสุวรรณและคณะ

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

แผนห้องสมุดกลางแห่งชาติ
ศูนย์บริการและแหล่งข้อมูลสารสนเทศ
ร.ศ. 14 ส.ค. 2552
เลขทะเบียน 000145
เลขหมู่ ๖๙

พ.ศ.2549

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การใช้ไม้พฤษและไม้จามจุรีเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไม้
Usage of Albizia lebbeck (L.) Benth. and Samanea saman Merrill
as Components in Wood Structures

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | | |
|-----------------|---------------|-------------------------|
| 1. นายจักรพันธ์ | แสงสุวรรณ | มทร.ราชมงคลพระนคร |
| 2. ผศ.ดร.วินัย | อวยพรประเสริฐ | มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 3. ผศ.อุดมวิทย์ | กาญจนวงศ์ | มทร.ราชมงคลรัตนโกสินทร์ |

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ.2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไม้พฤษและไม้จามรีซึ่งเป็นไม้โตเร็ว ที่พบโดยทั่วไปในประเทศไทยแต่ในปัจจุบัน ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นองค์อาคารได้อย่างประหยัดและปลอดภัยเพียงพอทั้งนี้เนื่องมาจากยังขาดคำแนะนำเพื่อใช้งานทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคุนสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ทั้งสองชนิด โดยอาศัยผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจำนวน 11 รายการตามมาตรฐาน ASTM D-143, D-198 และ D-1037 โดยให้มีจำนวนตัวอย่างมากเพียงพอทางสถิติที่จะให้ช่วงแห่งความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาภาวะเข้าสู่ปฐนิตด้วยระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 โดยพิจารณาโครงสร้างอาคารที่วิเคราะห์ประกอบด้วย บ้านพักอาศัย อาคารสำนักงาน และโรงเรียนเป็นอาคาร 2 ชั้น มีความสูงระหว่างชั้น 3 เมตร กำหนดความยาวของตงและคานเป็นแบบช่วงเดี่ยวธรรมดา (Simple Supports) การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้ใช้วิธีคำตอบถูกต้อง

จากผลการทดสอบพบว่าคุนสมบัติทางวิศวกรรมของไม้ทั้งสองชนิด อาจแทนได้ดีด้วยการแจกแจงแบบปรกติ (Normal Distribution) และจากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือรวมทั้งหาขนาดหน้าตัดขององค์อาคารตามสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้าง ตง คาน และเสา พบว่าการรับน้ำหนักของตงและคาน ถูกควบคุมด้วยพิกัดการโก่งตัวเป็นหลัก โดยมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) เป็นตัวแปรหลักและเมื่อกำหนดให้ค่า ความน่าจะเป็น (p) ด้านการใช้งานเท่ากับ 10^{-4} จะให้ค่าขีดจำกัดสัมประสิทธิ์การแปรผัน (COV) อยู่ที่ 0.269 ในขณะที่การรับน้ำหนักของเสาถูกควบคุมด้วยน้ำหนักบรรทุกวิกฤตของออยเลอร์ (Luler's Loads) ซึ่งมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) เป็นตัวแปรหลักเช่นกัน เมื่อกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นสำหรับสภาวะขีดจำกัดเชิงประลัยมีค่าเป็น 10^{-6} จะให้ค่าขีดจำกัด COV เป็น 0.21 เนื่องจาก COV ของไม้ทั้งสองชนิดมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดบนดังกล่าวจึงสามารถนำไม้ทั้งสองชนิดมาใช้งานได้ ในส่วนของ การหาขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้ที่เสนอมีขั้นตอนการออกแบบที่คล้ายกับวิธีหน่วยแรงใช้งานตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. ต่างกันเพียงใช้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจรที่จัดเก็บในประเทศไทยแทนที่จะใช้ค่าที่ระบุตามเทศบัญญัติ ทั้งนี้จากผลการออกแบบให้ขนาดหน้าตัดตรงกับขนาดที่ได้จากซอฟต์แวร์ WCCAL พร้อมกันนี้ได้แนะนำขนาดหน้าตัดขององค์อาคารและค่าตัวคุนความปลอดภัยซึ่งแสดงไว้ในตารางภาคผนวก (ค) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแรงอัดและแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ทั้งสองชนิด สามารถประยุกต์นำมาใช้ในการทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบหากำลังรับแรงดัดของไม้ได้อีกด้วย

ABSTRACT

The Research of this paper to propose the usage of *Albizia lebbek* (L.) Benth. and *Samanea saman* Merrill are fast-growing commonly found in Thailand. However these species of wood could not be utilized as structural components either economically or safely due to the lack of recommended values for their engineering properties. Therefore the objective of this research was to study their physical and mechanical properties based on statistical data obtained from 11 series of tests in accordance with ASTM D-143, D-198 and D-1037. The number of samples for each test was large enough to ensure 99% interval of confidence. Then goodness-of-fit tests were performed for each set of data to achieve at least 95% level of confidence. Buildings analyzed included residences, offices, and schools. The buildings were limited to two-storeyed buildings with floor-to-floor height of 3.00 meters. Given to joists and beams were simply supported. Values of structural reliability were obtained by using accurate methods.

Results from testing showed that engineering properties of both species of wood could be represented well by normal distribution. Reliability analyses and designs of wood sections for joists, beams and columns showed that designs of joists and beams were controlled by deflection; whereas those of columns were controlled by buckling. Based on these reasons the governing basic variable for designs of wood sections was the modulus of elasticity (E). If the accepted value of failure probability (p_f) for serviceability limit states was set to be 10^{-4} , the corresponding upper limit coefficient of variation (COV) of E would be 0.269. Similarly if the accepted value of p_f for ultimate limit states was set to be 10^{-6} , the corresponding upper limit COV of E would be 0.210. Since COV of E for both species of wood were lower than limit COV mentioned above, they could be used safely as structural components. Proposed design procedures were similar to Working Stress Methods. The only difference from E.I.T. standard was live load. Instead of nominal live loads for residence, office and school as stated in the Municipal law, mean live loads based on data gathered in Thailand were recommended. Wood sections obtained from numerical procedures proposed were as large as those obtained from WCCAL Software. Furthermore recommended wood sections and factor of safety (FS) were summarized in appendices. It was also interesting to note that the value of E for compression and tension parallel to grain of both species of wood could be used to predict the corresponding value of E for bending.

คำขอบคุณ

รายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ในการให้ทุนอุดหนุนวิจัยและสนับสนุนโครงการวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณ ผศ.ดร.วินัย อวยพรประเสริฐ จากมหาวิทยาลัยรังสิต เป็นจุดเริ่มต้นที่ได้แนะนำหนังสือเรื่อง "ไม้และของป่าบางชนิดในประเทศไทย" ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3 โดยกองคั้นคว่ำกรมป่าไม้ และสมาคมป่าไม้แห่งประเทศไทย พ.ศ.2526 ซึ่งเป็นการจุดประกายแนวความคิดและเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้วิจัย ความสำเร็จอย่างดียิ่งของการวิจัยส่วนหนึ่งเกิดจากความอนุเคราะห์ในการประสานงานของผู้ร่วมวิจัยและที่ปรึกษา ทุกท่านที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและเสนอแนะสิ่งที่มีคุณค่า ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อที่จะได้ศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับไม้เนื้ออ่อนที่โตเร็วให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการทดสอบและการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ รวมทั้งการคัดข้อมูลการจัดเก็บข้อมูลอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพโดยผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน

คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม วงการก่อสร้าง และเป็นแนวทางการปลูกสวนป่าเพื่อเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ เพิ่มต้นน้ำลำธาร อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และสร้างเครือข่ายประโยชน์ทางเศรษฐกิจแก่ประเทศไทยต่อไป

จักรพันธ์ แสงสุวรรณคณะ

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	
คำขอบคุณ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูปภาพ	
สัญลักษณ์และคำย่อ	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 คำนียาม	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
บทที่ 2 ไม้	
2.1 ไม้ : ทรัพยากรธรรมชาติ	4
2.2 ไม้ : วัสดุก่อสร้าง	10
บทที่ 3 การนำไม้มาใช้ประโยชน์	
3.1 หลักการแปรรูปไม้ซุงท่อน	15
3.2 รูปแบบการแปรรูปไม้	16
3.3 ข้อกำหนดทั่วไปของการแปรรูปไม้	17
3.4 การใช้ไม้ให้คุ้มค่า	18
3.5 การนำไม้มาใช้เป็นโครงสร้างอย่างปลอดภัย	19
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย	
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	25
4.2 ขั้นตอนและวิธีการ	25
4.3 การทดสอบและวิเคราะห์เชิงสถิติคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล	27
4.4 ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผันของความต้านทานเชิงโครงสร้าง	30
4.5 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างองค์อาคาร	31
4.6 ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดขององค์อาคาร	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไม้ที่นำมาทดสอบ	
5.1 ไม้พฤษ	40
5.2 ไม้จามจุรี	41
บทที่ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้พฤษและไม้จามจุรี	
6.1 ไม้พฤษ	42
6.2 ไม้จามจุรี	45
6.3 คุณสมบัติเชิงกลสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้พฤษ และไม้จามจุรี	49
บทที่ 7 การใช้ประโยชน์จากไม้พฤษและไม้จามจุรีเป็นองค์อาคาร	
7.1 ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง	53
7.2 การนำไม้พฤษมาใช้เป็นองค์อาคาร ไม้	57
7.3 การนำไม้จามจุรีมาใช้เป็นองค์อาคาร ไม้	66
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
8.1 สรุปผลการวิจัย	75
8.2 ข้อเสนอแนะการใช้งานทั่วไป	76
8.3 ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก ก	82
ภาคผนวก ข	100
ภาคผนวก ค	110
ภาคผนวก ง	130
ภาคผนวก จ	204
ภาคผนวก ฉ	278

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ง.18	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (หุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษ	157
ตารางที่ ง.19	การทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น ของไม้พฤษ	159
ตารางที่ ง.20	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น ของไม้พฤษ	160
ตารางที่ ง.21	แรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้พฤษ (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E)	162
ตารางที่ ง.22	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น ของไม้พฤษ (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E)	163
ตารางที่ ง.23	การทดสอบแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น ของไม้พฤษ	165
ตารางที่ ง.24	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น ของไม้พฤษ	166
ตารางที่ ง.25	การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้พฤษ	168
ตารางที่ ง.26	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้พฤษ	169
ตารางที่ ง.27	การทดสอบการฉีกขาด ของไม้พฤษ	171
ตารางที่ ง.28	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบการฉีกขาดของไม้พฤษ	172
ตารางที่ ง.29	การทดสอบความเหนียว ของไม้พฤษ	174
ตารางที่ ง.30	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบความเหนียวของไม้พฤษ	175
ตารางที่ ง.31	การทดสอบความแข็งของไม้พฤษ (ขนานเส้น)	177
ตารางที่ ง.32	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความแข็งของไม้พฤษ (ขนานเส้น)	178

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ข้อแตกต่างระหว่างลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่	5
ตารางที่ 2.2	ปริมาณการใช้ไม้ในประเทศไทยระหว่างปี 2521-2543	11
ตารางที่ 2.3	เปรียบเทียบพื้นที่ป่าไม้ระหว่างปี 2521-2534	12
ตารางที่ 2.4	มาตรฐานในการแบ่งช่วงความแข็งแรงของไม้ โดยกรมป่าไม้	14
ตารางที่ 2.5	ตัวอย่างไม้ตามมาตรฐานในการแบ่งช่วงความแข็งแรง โดยกรมป่าไม้	14
ตารางที่ 3.1	การเลื่อยเพื่อความหนาของไม้แปรรูป	18
ตารางที่ 3.2	การเลื่อยเพื่อความกว้างของไม้แปรรูป	18
ตารางที่ 3.3	ระดับของมาตรฐานการออกแบบ	21
ตารางที่ 3.4	ระดับความปลอดภัย	22
ตารางที่ 3.5	ระดับของการตรวจสอบความปลอดภัย	22
ตารางที่ 3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความปลอดภัย (β)และความน่าจะเป็นดี (p_r)	22
ตารางที่ 4.1	ขนาดตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลไม้	27
ตารางที่ 6.1	คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้พฤษ	44
ตารางที่ 6.2	คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้จามจุรี	47
ตารางที่ 7.1	ประเภทของสภาวะขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน	53
ตารางที่ 7.2	ข้อมูลน้ำหนักรรทุกจรตามเทศบัญญัติที่จัดเก็บในประเทศไทย	54
ตารางที่ 7.3	ขนาดหน้าตัดของตงไม้พฤษ แบ่งตามประเภทของน้ำหนักรรทุกจร	60
ตารางที่ 7.4	ขนาดหน้าตัดของคานไม้พฤษ (คานคู่) แบ่งตามประเภทของน้ำหนักรรทุกจร	62
ตารางที่ 7.5	ขนาดหน้าตัดของเสาไม้พฤษ แบ่งตามประเภทของน้ำหนักรรทุกจร	64
ตารางที่ 7.6	ขนาดที่เหมาะสมของไม้พฤษในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่างๆ	65
ตารางที่ 7.7	ขนาดหน้าตัดตงไม้จามจุรี แบ่งตามประเภทของน้ำหนักรรทุกจร	68
ตารางที่ 7.8	ขนาดหน้าตัดของคานไม้จามจุรี (คานคู่) แบ่งตามประเภทของน้ำหนักรรทุกจร	71
ตารางที่ 7.9	ขนาดหน้าตัดของเสาไม้จามจุรีแบ่งตามประเภทของน้ำหนักรรทุกจร	73
ตารางที่ 7.10	ขนาดที่เหมาะสมของไม้จามจุรีในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่างๆ	74
ตารางที่ 8.1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ที่นิยมใช้เป็นโครงสร้างกับไม้พฤษและจามจุรี	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 8.2	ขนาดที่เหมาะสมของไม้พฤษภใช้ในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่างๆ	77
ตารางที่ 8.3	ขนาดที่เหมาะสมของไม้จามจุรีในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่างๆ	78
ตารางที่ ข.1	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเทียบกับค่าความน่าจะเป็นวิบัติและค่าดรรชนีความปลอดภัย	107
ตารางที่ ข.2	ข้อมูลทางวิศวกรรมในประเทศไทย	107
ตารางที่ ค.1	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (ตง) (ที่พักอาศัย)	112
ตารางที่ ค.2	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (ตง) (สำนักงาน)	113
ตารางที่ ค.3	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (ตง) (โรงเรียน)	114
ตารางที่ ค.4	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (คาน) (ที่พักอาศัย)	115
ตารางที่ ค.5	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (คาน) (สำนักงาน)	116
ตารางที่ ค.6	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (คาน) (โรงเรียน)	117
ตารางที่ ค.7	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (เสา) (ที่พักอาศัย)	118
ตารางที่ ค.8	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (เสา) (สำนักงาน)	119
ตารางที่ ค.9	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษภ สำหรับ (เสา) (โรงเรียน)	120
ตารางที่ ค.10	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(ตง) ที่พักอาศัย	121
ตารางที่ ค.11	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(ตง) สำนักงาน	122
ตารางที่ ค.12	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(ตง) โรงเรียน	123
ตารางที่ ค.13	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(คาน) ที่พักอาศัย	124
ตารางที่ ค.14	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(คาน) สำนักงาน	125
ตารางที่ ค.15	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(คาน) โรงเรียน	126
ตารางที่ ค.16	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ (เสา) ที่พักอาศัย	127
ตารางที่ ค.17	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(เสา) สำนักงาน	128
ตารางที่ ค.18	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้จามจุรี สำหรับ(เสา) โรงเรียน	129
ตารางที่ ง.1	แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษภ	132
ตารางที่ ง.2	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้พฤษภ	133
ตารางที่ ง.3	แรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษภ	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ง.4	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้พฤษ	136
ตารางที่ ง.5	แรงอัดขนานเสี้ยนสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษ	138
ตารางที่ ง.6	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดขนานเสี้ยนใช้ค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษ	139
ตารางที่ ง.7	แรงอัดขนานเสี้ยนสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษ	141
ตารางที่ ง.8	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดขนานเสี้ยนใช้ค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษ	142
ตารางที่ ง.9	ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ของไม้พฤษ	144
ตารางที่ ง.10	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ของไม้พฤษ	145
ตารางที่ ง.11	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษ	147
ตารางที่ ง.12	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษ	148
ตารางที่ ง.13	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษ	150
ตารางที่ ง.14	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษ	151
ตารางที่ ง.15	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษ	153
ตารางที่ ง.16	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษ	154
ตารางที่ ง.17	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษ	156

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ง.33	การทดสอบความแข็งของไม้พฤษ (สัมผัสนี้ย)	180
ตารางที่ ง.34	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความแข็งของไม้พฤษ (สัมผัสนี้ย)	181
ตารางที่ ง.35	การทดสอบความแข็งของไม้พฤษ (ตั้งฉากนี้ย)	183
ตารางที่ ง.36	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความแข็งของไม้พฤษ (ตั้งฉากนี้ย)	184
ตารางที่ ง.37	การทดสอบความถ่วงจำเพาะของไม้พฤษ	186
ตารางที่ ง.38	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความถ่วงจำเพาะของไม้พฤษ	187
ตารางที่ ง.39	การทดสอบปริมาตรการหดตัวของไม้พฤษ	189
ตารางที่ ง.40	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับปริมาตรการหดตัวของไม้พฤษ	190
ตารางที่ ง.41	การทดสอบปริมาณความชื้นของไม้พฤษ	192
ตารางที่ ง.42	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับปริมาณความชื้นของไม้พฤษ	193
ตารางที่ ง.43	การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของไม้พฤษ	195
ตารางที่ ง.44	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความหนาแน่นของไม้พฤษ	196
ตารางที่ ง.45	การทดสอบการหดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้พฤษ	198
ตารางที่ ง.46	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการหดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้พฤษ	199
ตารางที่ ง.47	การทดสอบการหดตัวในแนวรัศมีของไม้พฤษ	201
ตารางที่ ง.48	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการหดตัวในแนวรัศมีของไม้พฤษ	202
ตารางที่ จ.1	แรงอัดขนานนี้ย (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจรี	206
ตารางที่ จ.2	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดขนานนี้ยของไม้พฤษ	207
ตารางที่ จ.3	แรงอัดขนานนี้ย (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้จามจรี	209

สารบัญญัตราสาร (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ จ.4	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แรงอัดขนานเส้นของไม้จามจรี	210
ตารางที่ จ.5	แรงอัดขนานเส้นสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจรี	212
ตารางที่ จ.6	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดขนานเส้นใช้ค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจรี	213
ตารางที่ จ.7	แรงอัดขนานเส้นสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้จามจรี	215
ตารางที่ จ.8	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดขนานเส้นใช้ค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้จามจรี	216
ตารางที่ จ.9	ค่าแรงอัดตั้งฉากเส้น ของไม้จามจรี	218
ตารางที่ จ.10	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับค่าแรงอัดตั้งฉากเส้นไม้จามจรี	219
ตารางที่ จ.11	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจรี	221
ตารางที่ จ.12	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจรี	222
ตารางที่ จ.13	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจรี	224
ตารางที่ จ.14	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจรี	225
ตารางที่ จ.15	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้จามจรี	227
ตารางที่ จ.16	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษ	228
ตารางที่ จ.17	การทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้จามจรี	230
ตารางที่ จ.18	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับโมดูลัสแตกหัก(ทุติยภูมิ) ³	231

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ จ.19	การทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น ของไม้จามจรี	233
ตารางที่ จ.20	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น ของจามจรี	234
ตารางที่ จ.21	การทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น ของไม้จามจรี (E)	236
ตารางที่ จ.22	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น ของจามจรี (E)	237
ตารางที่ จ.23	การทดสอบแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น ของไม้พฤษ	239
ตารางที่ จ.24	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น ของไม้จามจรี	240
ตารางที่ จ.25	การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้จามจรี	242
ตารางที่ จ.26	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้จามจรี	243
ตารางที่ จ.27	การทดสอบการฉีกขาด ของไม้จามจรี	245
ตารางที่ จ.28	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการฉีกขาดของไม้จามจรี	246
ตารางที่ จ.29	การทดสอบความเหนียว ของไม้จามจรี	248
ตารางที่ จ.29	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความเหนียวของไม้จามจรี	249
ตารางที่ จ.30	การทดสอบความแข็งของไม้จามจรี(ขนานเส้น)	251
ตารางที่ จ.31	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความแข็งของจามจรี (ขนานเส้น)	252
ตารางที่ จ.32	การทดสอบความแข็งของไม้จามจรี(สัมผัสเส้น)	254
ตารางที่ จ.33	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความแข็งของไม้จามจรี (สัมผัสเส้น)	255

สารบัญญัตราสาร (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ จ.34	การทดสอบความแข็งของไม้จามจรี (ตั้งฉากเสี้ยน)	257
ตารางที่ จ.35	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความแข็งของไม้จามจรี (ตั้งฉากเสี้ยน)	258
ตารางที่ จ.36	การทดสอบความถ่วงจำเพาะของไม้จามจรี	260
ตารางที่ จ.37	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความถ่วงจำเพาะของไม้จามจรี	261
ตารางที่ จ.38	การทดสอบปริมาตรการหดตัวของไม้จามจรี	263
ตารางที่ จ.39	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับปริมาตรการหดตัวของไม้จามจรี	264
ตารางที่ จ.40	การทดสอบปริมาณความชื้นของไม้จามจรี	266
ตารางที่ จ.41	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับปริมาณความชื้นของไม้จามจรี	267
ตารางที่ จ.42	การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของไม้จามจรี	269
ตารางที่ จ.43	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับความหนาแน่นของไม้จามจรี	270
ตารางที่ จ.44	การทดสอบการหดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้จามจรี	272
ตารางที่ จ.45	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง การหดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้จามจรี	273
ตารางที่ จ.46	การทดสอบการหดตัวในแนวรัศมีของไม้จามจรี	275
ตารางที่ จ.47	การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจง ที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองสำหรับการหดตัวในแนวรัศมีของไม้จามจรี	276

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 การนำท่อนซุงรูปทรงตาลมาเลื่อย	15
รูปที่ 3.2 การนำไม้ท่อนที่ได้จากการเลื่อยครั้งแรกในรูปที่ 1.3 มาแปรรูปเป็นไม้แผ่น	15
รูปที่ 3.3 การเลื่อยเปิดปีกเพื่อให้ได้ไม้แผ่นรูป	15
รูปที่ 3.4 การเลื่อยไม้ให้ขนานกับใจไม้	15
รูปที่ 3.5 การเลื่อยไม้แบบตะ	16
รูปที่ 3.6 การเลื่อยไม้แบบตามรัศมี	16
รูปที่ 3.7 การเลื่อยไม้แบบพลิก	16
รูปที่ 3.8 การเลื่อยไม้แบบเปิดปีกสองข้าง	17
รูปที่ 3.9 ไม้แผ่นที่ได้จากการเลื่อยแบบตะ	17
รูปที่ 3.10 กระบวนการแปรรูปไม้ให้คู้มค่า	18
รูปที่ 3.11 กระบวนการแปรรูปไม้ให้คู้มค่า	19
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบ โคกกำลังสอง	29
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบ โคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ	30
รูปที่ 4.3 อาณาบริเวณวิบัติและปลอดภัยในกรณีตัวแปรสุ่ม 2 ตัว	32
รูปที่ 4.4 ปริมาตรภายใต้ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วม	33
รูปที่ 4.5 ระยะห่างระหว่างค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดกับสภาวะวิบัติ	34
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง β และ Ω_R ที่มี R แจกแจงแบบปกติ	35
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ω_R และ FS ที่ $p_f = 10^{-6}$	36
รูปที่ 6.1 พฤติกรรมการรับแรงของคานไม้ภายใต้น้ำหนักบรรทุก	50
รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ ที่ระยะเรียง 30 ซม.	58
รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ ที่ระยะเรียง 40 ซม.	59
รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ ที่ระยะเรียง 50 ซม.	59

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 7.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของคานไม้ แบ่งตามประเภท น้ำหนักรการใช้งานของอาคาร	62
รูปที่ 7.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของคานกับขนาดเสาไม้ แบ่งตามประเภท น้ำหนักรการใช้งานของอาคาร	64
รูปที่ 7.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ์ ที่ระยะเรียง 30 ซม.	67
รูปที่ 7.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ์ ที่ระยะเรียง 40 ซม.	67
รูปที่ 7.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ์ ที่ระยะเรียง 50 ซม.	68
รูปที่ 7.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของคานไม้ แบ่งตามประเภท น้ำหนักรการใช้งานของอาคาร	70
รูปที่ 7.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของคานกับขนาดเสาไม้ แบ่งตามประเภท น้ำหนักรการใช้งานของอาคาร	72
รูปที่ ก.1	การถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงตงและคาน	84
รูปที่ ก.2	การถ่ายน้ำหนักจากหลังคา – พื้นลงสู่เสาชั้นล่าง	95
รูปที่ ข 1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (Ω_R) และ FS ที่ $p_r = 10^{-6}$	101
รูปที่ ข 2	ชาร์ตออกแบบของค้ออาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น $p_r = 10^{-4}$ สำหรับที่พักอาศัยในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ,2546)	102
รูปที่ ข 3	ชาร์ตออกแบบของค้ออาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น $p_r = 10^{-6}$ ที่พักอาศัยในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ,2546)	102
รูปที่ ข 4	ชาร์ตออกแบบของค้ออาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น $p_r = 10^{-4}$ สำหรับสำนักงานในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ,2546)	103
รูปที่ ข 5	ชาร์ตออกแบบของค้ออาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น 10^{-6} สำหรับสำนักงานในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ,2546)	103
รูปที่ ข 6	ชาร์ตออกแบบของค้ออาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น 10^{-4} สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ,2546)	104

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ข 7	ชาร์ตออกแบบของค้ออาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็นวิบัติ 10^{-6} สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ,2546)	104
รูปที่ ข 8	Flow Chart การออกแบบของค้ออาคารไม้ในสภาวะขีดจำกัดด้านการโก่งตัวกรณีออกแบบตงและคาน	105
รูปที่ ข 9	Flow Chart การออกแบบของค้ออาคารไม้ในสภาวะขีดจำกัดด้านการโก่งเดาะกรณีออกแบบเสาไม้	106
รูปที่ ข 10	ชาร์ตออกแบบของค้ออาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็นวิบัติ $p_r = 10^{-6}$ สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ,2546)	109
รูปที่ ง 1	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	134
รูปที่ ง 2	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	134
รูปที่ ง 3	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของแรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	137
รูปที่ ง 4	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ) ³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	137
รูปที่ ง 5	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	140
รูปที่ ง 6	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	140
รูปที่ ง 7	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	143
รูปที่ ง 8	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	143

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ง 9 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	146
รูปที่ ง 10 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	146
รูปที่ ง 11 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	149
รูปที่ ง 12 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	149
รูปที่ ง 13 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ) ² พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	152
รูปที่ ง 14 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	152
รูปที่ ง 15 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	155
รูปที่ ง 16 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	155
รูปที่ ง 17 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	158
รูปที่ ง 18 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสแตกหักกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	158
รูปที่ ง 19 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวขนานเสี้ยนของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง	161

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ง 20 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้น กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	161
รูปที่ ง 21 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่า(E)แรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	164
รูปที่ ง 22 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าของไม้แรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	164
รูปที่ ง 23 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	167
รูปที่ ง 24 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นกับ ฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	167
รูปที่ ง 25 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	170
รูปที่ ง 26 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	170
รูปที่ ง 27 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบการฉีกขาด ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	173
รูปที่ ง 28 เปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบการฉีกขาดของไม้พฤษ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	173
รูปที่ ง 29 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความเหนียว ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	176
รูปที่ ง 30 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความเหนียวของไม้ พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	176

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ง 31 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งแรงขนานเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	179
รูปที่ ง 32 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งแรงขนานเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	179
รูปที่ ง 33 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งแรงสัมผัสเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	182
รูปที่ ง 34 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งแรงสัมผัสเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	182
รูปที่ ง 35 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งแรงตั้งฉากเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	185
รูปที่ ง 36 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งแรงตั้งฉากเส้น ของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	185
รูปที่ ง 37 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความถ่วงจำเพาะ ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	188
รูปที่ ง 38 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความถ่วงจำเพาะ ของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	188
รูปที่ ง 39 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบปริมาตรการหดตัว ของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	191
รูปที่ ง 40 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบปริมาตรการหดตัว ของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	191
รูปที่ ง 41 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าปริมาณความชื้นของไม้พฤษ กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	194

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ง 42	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าปริมาณความชื้นของไม้พฤษชาติ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	194
รูปที่ ง 43	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นของไม้พฤษชาติ กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	197
รูปที่ ง 44	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นของไม้พฤษชาติ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	197
รูปที่ ง 45	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวสัมผัส กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	200
รูปที่ ง 46	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวสัมผัส กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	200
รูปที่ ง 47	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวรัศมี กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	203
รูปที่ ง 48	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวรัศมี กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	203
รูปที่ จ 1	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดขนานเส้น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	208
รูปที่ จ 2	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดขนานเส้น (ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	208
รูปที่ จ 3	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของแรงอัดขนานเส้น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	211
รูปที่ จ 4	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดขนานเส้น (ทุติยภูมิ) ³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	211
รูปที่ จ 5	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	214

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ จ 6	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าไมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	214
รูปที่ จ 7	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าไมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ ของไม้ไม่จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	217
รูปที่ จ 8	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าไมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	217
รูปที่ จ 9	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดตั้งจากเสี้ยนของไม้ ไม่จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	220
รูปที่ จ 10	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดตั้งจากเสี้ยน กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	220
รูปที่ จ 11	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าไมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² ไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	223
รูปที่ จ 12	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าไมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	223
รูปที่ จ 13	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าไมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ) ² ไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	226
รูปที่ จ 14	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าไมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ) ² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	226
รูปที่ จ 15	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าไมดูลัสยืดหยุ่น(ทุติยภูมิ) ³ ไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	229
รูปที่ จ 16	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าไมดูลัสยืดหยุ่น(ทุติยภูมิ) ³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	229

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ จ 17	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสแตกหัก(ทุติยภูมิ) ³ ไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	232
รูปที่ จ 18	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ) ³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	232
รูปที่ จ 19	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของ ไม้ไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	235
รูปที่ จ 20	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้น กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	235
รูปที่ จ 21	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่า(E)แรงดึงในแนวขนานเส้น ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	238
รูปที่ จ 22	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่า(E)แรงดึงในแนวขนานเส้น กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	238
รูปที่ จ 23	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ ไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	241
รูปที่ จ 24	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นกับ ฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	241
รูปที่ จ 25	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	244
รูปที่ จ 26	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	244
รูปที่ จ 27	การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบการฉีกขาด ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	247

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ จ 28 เปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบการฉีกขาดของไม้พฤษ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	247
รูปที่ จ 29 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความเหนียว ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	250
รูปที่ จ 30 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความเหนียวของไม้ จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	250
รูปที่ จ 31 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งแรง ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	253
รูปที่ จ 32 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งแรง ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	253
รูปที่ จ 33 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งแรง ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	256
รูปที่ จ 34 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งแรง ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	256
รูปที่ จ 35 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งแรง ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	259
รูปที่ จ 36 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งแรง ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	259
รูปที่ จ 37 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความถี่ ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบ ไคกำลังสอง	262
รูปที่ จ 38 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความถี่ ของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	262

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ จ 39 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบปริมาตรกำหนดตัวของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	265
รูปที่ จ 40 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบปริมาตรกำหนดตัวของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	265
รูปที่ จ 41 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าปริมาณความชื้นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	268
รูปที่ จ 42 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าปริมาณความชื้นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	268
รูปที่ จ 43 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	271
รูปที่ จ 44 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	271
รูปที่ จ 45 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวสัมผัสกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	274
รูปที่ จ 46 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวสัมผัสกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	274
รูปที่ จ 47 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวรัศมีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง	277
รูปที่ จ 48 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวรัศมีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S	277

สัญลักษณ์และคำย่อ

n	การแจกแจงปกติ (Normal Distribution)
un,	การแจกแจงเอกรูป (Uniform Distribution)
ex, e	การแจกแจงเลขชี้กำลัง (Shifted Exponential Distribution)
RI, R	การแจกแจงเรย์ลีย์ (Shifted Rayleigh Distribution)
GbL, GL	การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุมเบล Gumbel (Type I - Largest Values Distribution)
Gbs, GS	การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุมเบล Gumbel (Type I- Smallest Values Distribution)
Ln, ln	การแจกแจงแบบลอกปกติ (Lognormal Distribution)
Gm, g	การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution)
Fc, FL	การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเชต์ (Frechet Type II - Largest Distribution)
Wb, W	การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ (Weibull Type III - Smallest Distribution)
bt, b	การแจกแจงบีตา (Beta Distribution)
plotf	การสร้างความสัมพันธ์ของการแจกแจงความถี่สัมพัทธ์
pcf	การสร้างความสัมพันธ์ของความถี่สะสม
p_f	ความน่าจะเป็นวิบัติ
p_s	ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง
S	ผลของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง
R	ความต้านทานเชิงโครงสร้าง
cov, Ω_E	สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่น
cov, Ω_R	ขีดจำกัดสัมประสิทธิ์การแปรผันของความต้านทานเชิงโครงสร้าง
cov, Ω_S	สัมประสิทธิ์การแปรผันของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง
FS	อัตราส่วนของความปลอดภัย
β	ดรรชนีความปลอดภัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2536 มี 83.5 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 26 ของพื้นที่ประเทศ ซึ่งลดลงจากในปี พ.ศ. 2504 ที่เคยมีพื้นที่ป่าไม้ 171 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 53 ของพื้นที่ประเทศ อัตราการลดลงของพื้นที่ป่าไม้โดยเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2504-2536 คิดเป็น 2.73 ล้านไร่ต่อปี^[1] และหากปล่อยให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงเช่นนี้ต่อไป เช่น ในปี พ.ศ. 2541 พื้นที่ป่าไม้ลดลงเหลือร้อยละ 25.28 ของพื้นที่ประเทศ จะยังผลเสียหายให้แก่ประเทศโดยเฉพาะด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

พื้นที่ป่าไม้ซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วยังผลให้ไม้เนื้อแข็งมีราคาแพง ทำให้ความนิยมในการก่อสร้างบ้านด้วยโครงสร้างไม้ลดลงตามไปด้วย ปัจจุบันแม้จะมีการใช้ไม้เป็นส่วนประกอบอาคาร เช่น วงกบ ประตู ผนังกันห้อง อยู่บ้าง ก็เป็นไม้เนื้อแข็งคุณภาพต่ำ ไม้เนื้ออ่อน หรือไม้ที่สังเคราะห์จากเศษไม้เป็นส่วนใหญ่ ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และสภาพภูมิประเทศของประเทศไทย การอยู่อาศัยในบ้านไม้มีความเหมาะสมมากกว่าบ้านผนังก่ออิฐฉาบปูน เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีค่าการดูดความร้อนน้อยกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน ดังนั้นการอาศัยในบ้านไม้จึงเย็นสบายกว่า และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อย่างเกินความจำเป็นในปัจจุบัน

นอกจากนี้ ในเขตที่มีแผ่นดินไหวบ่อยครั้ง อาคารที่สร้างด้วยไม้มีศักยภาพในการรับแรงแผ่นดินไหว และมีโอกาสอยู่รอดมากกว่าอาคารที่สร้างด้วยวัสดุประเภทอื่น เนื่องจากไม้เป็นวัสดุอ่อนไหว (Flexible) และสามารถขยับตัวได้มากขณะเกิดแผ่นดินไหว ประเทศไทยมีไม้โตเร็วกว่า 40 ชนิด ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น ไม้โตเร็วเหล่านี้มีศักยภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นไม้โครงสร้างได้ แต่เท่าที่ผ่านมาไม่มีการวิจัยหาข้อมูลเชิงกล และการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างของไม้โตเร็ว เพื่อให้ผู้ออกแบบใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ไม้ชนิดต่างๆ เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างอาคาร ทำให้ไม้โตเร็วถูกนำไปใช้งานที่ไม่ได้ประโยชน์อย่างเต็มที่ เป็นส่วนใหญ่ เช่น การเผาทำถ่าน และเชื้อเพลิง ทั้งที่ในระยะเวลาเพียง 12 ปี ไม้โตเร็วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 12 นิ้ว²

¹ สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. นโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559. หน้า 22-23.

² สุริย์ ภูมิภมร และอนันต์ คำคง (บรรณาธิการ). ไม้โตเร็วเอนกประสงค์พื้นเมืองของประเทศไทย. คณะอนุกรรมการประสานงานวิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าไม้และไม้โตเร็วเอนกประสงค์.

จึงสมควรที่จะสนับสนุนให้มีการปลูกป่าไม้โตเร็วชนิดที่มีคุณสมบัติสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างคุ้มค่ามากขึ้น

คณะผู้วิจัยมีจุดประสงค์จะทำการวิจัยไม้โตเร็วเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้ทรัพยากร อันเป็นการสนองนโยบายของรัฐบาล เนื่องจากรัฐบาลได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ โดยให้การสนับสนุนการปลูกสวนป่า ด้วยการออกพระราชบัญญัติสวนป่า พ.ศ. 2535 ซึ่งประกาศใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2535³ และระบุให้มีพื้นที่ป่าเศรษฐกิจร้อยละ 20 เป็นเป้าหมายหนึ่งในนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้โตเร็ว ที่สามารถใช้เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไม้จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ไม้พฤกษ์ และไม้จามจุรี โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM
2. วิเคราะห์เชิงสถิติเบื้องต้นและทำการทดสอบภาวะเข้ารูปสัณทิตของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้พฤกษ์ และไม้จามจุรี
3. วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างขององค์ประกอบอาคารไม้พฤกษ์และไม้จามจุรีที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท.
4. เสนอระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้สำหรับองค์ประกอบต่างๆ ในอาคารโครงสร้างไม้พฤกษ์และไม้จามจุรี
5. เสนอขนาดที่เหมาะสมของตงและคานและตัวคูณความปลอดภัยของเสาสำหรับการออกแบบอาคารด้วยไม้พฤกษ์ และไม้จามจุรี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้พฤกษ์ และไม้จามจุรีจะใช้ตามมาตรฐาน ASTM จำนวน 11 รายการโดยขนาดของไม้ที่ทำการวิเคราะห์เป็นขนาดจริงหลังแต่งไสแล้ว (Dressed Dimension)
2. การวิเคราะห์เชิงสถิติเบื้องต้นและทำการทดสอบภาวะเข้ารูปสัณทิตของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้พฤกษ์ และไม้จามจุรี จะใช้ช่วงแห่งความเชื่อมั่น (Interval of Confidence) ของข้อมูลที่ระดับไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 และเมื่อจำนวนข้อมูลที่ทดสอบอยู่ในช่วงแห่งความเชื่อมั่นดังกล่าวแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาภาวะเข้ารูปสัณทิต ที่ระดับความ

³ สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่าเอกชน กรมป่าไม้. 2535. ระเบียบ กฎกระทรวงและพระราชบัญญัติสวนป่า พ.ศ.2535. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เชื่อมั่น (Level of Confidence) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ถ้าต่ำกว่า จะต้องทำการทดสอบตัวอย่างเพิ่มเติมจนกว่าจะได้ค่าที่ระดับดังกล่าว

3. การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้จะเป็นแบบไม่ขึ้นอยู่กับเวลา โดยพิจารณาจากโอกาสที่องค์อาคารไม้จะเกิดการวิบัติ
4. องค์อาคารไม้ที่พิจารณาจะออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ของอาคารไม้สูงไม่เกิน 2 ชั้น มีความสูงระหว่างชั้น 3.00 เมตร สำหรับอาคาร 3 ประเภทคือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับการออกแบบตามข้อกำหนดของเทศบัญญัติคือ 150 กก./ม.² 250 กก./ม.² และ 300 กก./ม.² สำหรับการใช้งานของอาคารแต่ละประเภทตามลำดับ

1.4 คำนิยาม

ไม้โตเร็ว (Fast Growing Wood) หมายถึง ไม้ที่เจริญเติบโตเร็วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 12 นิ้ว ในระยะเวลา 12 ปี

โครงสร้างไม้ (Wood Structure) หมายถึง โครงสร้างที่มีองค์ประกอบทำด้วยไม้ เช่น พื้น ตง คาน เสา และ กำแพง

ความน่าจะวิบัติ (Failure Probability, p_f) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้าง (R) จะมีค่าไม่มากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (S) ตลอดอายุการใช้งาน [11] อันเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนของกำลังความต้านทานของชิ้นส่วนโครงสร้าง และน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อโครงสร้าง ดังแสดงในสมการที่ (1)

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

ในความเป็นจริง ทั้ง R และ S เอง อาจเป็นฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม (Random Variable) หลายตัว จึงอาจอธิบาย p_f ในรูปทั่วไปดังแสดงในสมการที่ (2)

$$p_f = \int_{D_f} f_x(x) dx \quad (2)$$

เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรสุ่ม n ตัว X_1, X_2, \dots, X_n

$f_x(x)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Density Function) ของเวกเตอร์ X

และ D_f เป็นอาณาบริเวณที่ค่าของเวกเตอร์ X มีผลให้ระบบโครงสร้างเกิดการวิบัติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถเลือกใช้ไม้พฤษและไม้จามจุรี เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไม้ได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม
2. บรรจุข้อมูลที่ได้ในธนาคารข้อมูลทางด้านวิศวกรรม และมาตรฐานการออกแบบทางด้านวิศวกรรมโยธา
3. จัดทำมาตรฐานการออกแบบทางด้านวิศวกรรมโยธา สำหรับประเทศในภูมิภาคอาเซียน
4. เป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร
5. เป็นแนวทางในการส่งเสริมการเพิ่มพื้นที่ป่าเศรษฐกิจในประเทศตามเป้าหมายให้มีพื้นที่ป่าเศรษฐกิจร้อยละ 20 ในนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559



บทที่ 2 ไม้ (Wood)

2.1 ไม้ : ทรัพยากรธรรมชาติ

ต้นไม้ (Tree) ได้รับสมญานามว่า พืชที่ใช้ประโยชน์ได้หมื่นอย่าง "Trees are the plant of ten thousand uses"¹ เราสามารถใช้ทุกส่วนของต้นไม้ให้เป็นประโยชน์ได้ เช่น ส่วนใบ ผล เมล็ด ราก ใช้เป็นอาหารและยา เปลือกไม้ใช้ทำเชื้อเพลิงและประดับสวน ยางไม้ใช้ทำยางรถยนต์ dung มีอ ยาง ลูกโป่ง เบ้าพิมพ์ เป็นต้น ลำต้นสามารถทำเสา เสาเข็ม ไม้กระดาน เศษที่เหลือจากการแปรรูป ลำต้น และส่วนของกิ่ง ก้านเล็กๆ สามารถใช้ทำเชื้อเพลิง หรือไม้ประกอบได้ เป็นต้น

การนำไม้มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทำให้เกิดการศึกษาไม้ และโดยที่ไม้เป็นสิ่งมีชีวิต ประเภทหนึ่งจึงมีวิธีการจำแนกเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตประเภทอื่น โดยระบบการจำแนกพันธุ์สิ่งมีชีวิต (System of Classification) สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระบบหลักๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่างการ จำแนกเฉพาะพืชในแต่ละระบบ โดยไม่กล่าวถึงสัตว์ ระบบดังกล่าวมีดังนี้คือ

1. Artificial system ระบบนี้ใช้ลักษณะของพืชที่เห็นได้ง่ายๆ และชัดเจนมาเป็นหลักในการแยก เช่น พวงพืชมงคลสีแดง พืชมงคลสีขาว หรือ แยกเป็นกลุ่มพวงพืชมงคล พืชมงคล เป็นระบบเริ่มแรก และใช้มาจนถึงปี พ.ศ. 2373

2. Formal System มีวิวัฒนาการมาจากระบบแรกตั้งแต่ปี พ.ศ.2317 โดยการหา องค์ประกอบต่างๆ มาประกอบการจำแนกพันธุ์พืชหลายอย่างขึ้น เช่น จำนวนกลีบดอก ฐานกลีบ ร่องดอก เกสรดอก และใบเลี้ยง มีผู้จัดทำระบบนี้หลายราย เช่น Linnaeus's sexual system, Darwin's system และ Bentham and Hooker's system แต่โดยทั่วไปนิยมระบบ Bentham and Hooker ระบบนี้มีการใช้งานมาจนกระทั่งปี พ.ศ. 2463

3. Phylogenetic system เริ่มพัฒนามาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2418 และยังมีการอ้างอิง ใช้จนถึง ปัจจุบัน ระบบเริ่มพัฒนาจากความสำเร็จของดาร์วิน ในการค้นคว้าที่มาของพืชและสัตว์ โดยนำ สายสัมพันธ์ของพืชมาพิจารณาถึงความเกี่ยวเนื่องกัน เกณฑ์ในการแยกพันธุ์ไม้ที่นิยมในระบบนี้ มากที่สุดมีอยู่ 2 หลักการ คือ Hutchinson's system ซึ่งมีการปรับปรุงหลักการล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2502 และ Engler's system ซึ่งจัดทำหลักการระหว่างปี พ.ศ. 2329-2435 การจัดทำหนังสือพันธุ์ ไม้ของประเทศไทยยึดหลักตามแบบของ Hutchinson's system

4. Modern system เป็นระบบล่าสุดมีการพัฒนาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 จนถึงปัจจุบัน ระบบนี้เป็น ส่วนผสมระหว่าง formal system กับ phylogenetic system ผลงานตามทฤษฎีนี้ที่ พิมพ์ออกมาในปัจจุบันมีรายเดียว คือ Takhtajan จัดพิมพ์เมื่อ พ.ศ. 2510 ระบบนี้ได้รวมเอา

¹ C.C. Bajza, M.G. Bowden. 1964. Your Texas Geography. W.S. Benson & Company, Publishers.

ลักษณะทั้งภายนอก-ภายในต้นอ่อน ลักษณะของละอองเกสร กรรมพันธุ์ และชีวเคมีพืช มาเป็นข้อพิจารณาในการแยกหนังสือพันธุ์ไม้อเมริกาดำเนินการตามระบบนี้ ระบบ Formal, Phylogenetic และ Modern นี้ ส่วนที่เหมือนกัน คือ การแยกพืช มีดอกออกเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และพืชใบเลี้ยงคู่ ความแตกต่างของพืช 2 กลุ่มนั้น Bentham and Hooker ได้ให้คำจำกัดความไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อแตกต่างระหว่างลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่

พืชใบเลี้ยงเดี่ยว	พืชใบเลี้ยงคู่
ลำต้นมีข้อและปล้องมองเห็นได้ชัด เช่น ไม้ อ้อย ข้าว ข้าวโพด หญ้า	ข้อและปล้องมองเห็นไม่ชัด
กลุ่มท่อน้ำท่ออาหารมีมาก และกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปไม่เป็นระเบียบ ไม่มีวงปี	กลุ่มท่อน้ำท่ออาหารจัดไว้เป็นวง เป็นระเบียบ มีเยื่อเสริมสร้าง และมักมีวงปี

นอกจากการจำแนกพืชใน 4 ระบบหลักแล้ว ยังมีการจำแนกประเภทของพืชอีกหลายๆ วิธีดังนี้คือ

1. การจำแนกตามลักษณะแหล่งกำเนิดอาศัย (habitat)

- Aquatic Plant (hydrophyte, hydric plant) เป็นพืชที่อาศัยอยู่ในน้ำ เช่นบัว ผักตบชอก แหน
- Mesophyte (mesic plant) เป็นพืชบกที่อาศัยอยู่ในที่มีน้ำพอสมควร เช่น มะม่วง ลำไย เงาะ
- Xerophyte (xeric plant) เป็นพืชที่อาศัยอยู่ในที่แห้งแล้งขาดแคลนน้ำ เช่น กระบองเพชร เต็มภา
กุหลาบหิน
- Helophyte เป็นพืชที่ชอบน้ำเค็ม ได้แก่ พืชชายเลน ชายทะเล เช่น ผักนึ่งทะเล คนทีสอทะเล
ชะคราม เตยทะเล โกงกาง ลำพู ลำแพน ตะบูน
- Epiphyte เป็นพืชที่ขึ้นอยู่บนต้นไม้อื่นแต่ไม่เบียดเบียนต้นไม้ต้น เช่น กลิ้วไม้
- Parasitic Plant เป็นพืชที่ขึ้นอยู่บนต้นไม้อื่นและเบียดเบียนแย่งอาหารต้นไม้ต้น เช่น ผอยทอง

2. การจำแนกตามเนื้อไม้และความสูง

- ไม้ยืนต้น (tree) ลำต้นมีเนื้อไม้แข็งสูงเกิน 10 ฟุต หรือ 3 เมตร มีลำต้นหลัก (main trunk) เนื้อไม้แข็ง ลำต้นเดี่ยวตั้งตรง แตกกิ่งก้านด้านข้างจากโคนต้นขึ้นไป ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เช่น สัก
มะหาด ขนุน
- ไม้พุ่ม (shrub) ลำต้นมีเนื้อไม้แข็ง ขนาดเล็ก สูงระหว่าง 4-10 ฟุต หรือ 1.2-3.0 เมตร เนื้อ
ไม้แข็ง ลำต้นหลักมองเห็นไม่ชัดเจน แตกกิ่งก้านใกล้โคนต้น หรือมีลำต้นเล็กๆ หลายต้นจากโคน
เดียวกันใกล้พื้นดิน เช่น ยี่โถ
- ไม้ล้มลุก (herb) ลำต้นอ่อนไม่มีเนื้อไม้ หักง่าย สูงไม่เกิน 4 ฟุต หรือ 1.2 เมตร มีอายุ 1 ปี
หรือหลายปี อาจตายหลังจากให้ดอกออกผลแล้ว เช่น ชิง

- ไม้เลื้อย (climber) เป็นพืชที่มีลำต้นยาวและไม่สามารถตั้งตรงได้ ต้องอาศัยเลื้อยพาดพันกับต้นไม้อื่น เช่น อัญชัน สายน้ำผึ้ง

3. การจำแนกตามลักษณะของเนื้อไม้

- ไม้ล้มลุก (herbaceous stem) ลำต้นมีสีเขียว เนื้ออ่อน มักไม่ค่อยมีเนื้อเยื่อที่แข็งแรงหรืออาจมีเล็กน้อย เป็นพืชที่มีอายุสั้น และเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นไม่มาก

- ไม้ยืนต้น (woody stem) ลำต้นจะมีขนาดใหญ่ แข็ง หนา และมีอายุยืน มีแก่นไม้แข็ง เปลือกต้นไม้จะหยาบ และเป็นเซลล์ cork หนาหลายชั้น เป็นลักษณะของไม้ยืนต้น (tree) และไม้พุ่ม (shrub)

4. จำแนกตามลักษณะของการผลัดใบ

- Evergreen Plant เป็นพืชที่ไม่มีการผลัดใบให้เห็นอย่างเด่นชัด ดูเสมือนว่าไม่มีการผลัดใบ เช่น เข็ม ฝรั่ง โพธิ์ ไทร สน

- Deciduous Plant เป็นพืชที่มีการผลัดใบพร้อมกันเห็นได้ชัดเจน เช่น ราชพฤกษ์ ทองหลาง

5. จำแนกตามอายุของพืช

- Annual เป็นพืชฤดูเดียว มีอายุเพียงไม่กี่เดือน หรืออาจยืนยาวถึงหนึ่งปี

- Biennial เป็นพืชที่มีอายุอยู่ได้ 2 ฤดู ปีแรกเป็นปีแห่งการเจริญเติบโต และจะออกดอก ออกผลในปีที่ 2 แล้วจึงตาย

- Perennial เป็นพืชที่มีอายุยืนหลายๆ ปี แต่แต่ละปีพืชจะออกดอก ออกผล และเจริญเติบโตใหญ่ขึ้นทุกปี

ในการจำแนกพืชทั้ง 5 วิธีนั้น ไม่นำเอาลักษณะของรากมาเป็นเกณฑ์ประกอบการตรวจเอกลักษณ์ของพืช เพราะโครงสร้างของรากไม่มีความแตกต่างเพียงพอที่จะนำมาใช้ตรวจเอกลักษณ์ได้ ส่วนที่นำมาใช้ในการจำแนกพืช คือ ลำต้น และ ใบ

• ลำต้น (Stem) เป็นแกนหลักของต้นพืชที่ยึดตรงขึ้นอยู่เหนือดิน โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกตั้งตรง แต่ก็มีลำต้นบางชนิดที่อยู่ใต้ดิน บางชนิดทอดไปตามผิวดิน ลำต้นเป็นทางลำเลียงอาหาร และน้ำไปยังส่วนอื่นๆ ของพืช ใบ ดอก และผลจะเกิดบนลำต้น นอกจากนี้ลำต้นของพืชบางชนิดทำหน้าที่ขยายพันธุ์ได้ด้วย

ลักษณะภายนอกของลำต้นพืชประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ตาจะเกิดบริเวณข้อ (node) พืชบางชนิดมีใบเกล็ดหรือ bud scales หุ้มบริเวณตาที่เกิดใหม่เพื่อป้องกันอันตราย เมื่อตาแก่ใบเกล็ดจะหลุดร่วงหล่น ปล่อยให้ยอด ใบ และลำต้นแตกออกมา ตาของพืชเกิดได้ 2 ตำแหน่งบนลำต้น ตาที่ปลายยอดเรียกว่า terminal bud ส่วนตาที่เกิดด้านข้างของลำต้นเรียกว่า lateral หรือ axillary bud ถ้าใบร่วงไปที่ฐานของ axillary bud จะมีรอยแผลเป็นเรียกว่า

leaf scar พืชที่มีอายุมากขึ้นลำต้นจะมีรูเปิดเล็กๆที่เนื้อเยื่อผิวไม้ทำหน้าที่เป็นจุดแลกเปลี่ยนก๊าซ เรียกว่า lenticel

ลำต้นประกอบด้วยเซลล์และเนื้อเยื่อที่จะรวมกันเป็นระบบที่สำคัญ 3 ระบบ ดังนี้

1. ระบบเนื้อเยื่อพื้นผิว (Dermal Tissue System) ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากภายนอก ได้แก่ epidermis และ periderm

2. ระบบเนื้อเยื่อพื้น (Ground Tissue System) ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวระบบอื่นๆให้ทรงรูปร่างเป็นส่วนต่างๆของพืช ได้แก่ เซลล์ในชั้น cortex และ pith ซึ่งส่วนใหญ่เป็น parenchyma

3. ระบบนำน้ำและอาหาร (Vascular Tissue System) เป็นระบบท่อลำเลียงน้ำ และแร่ธาตุไปสู่ส่วนต่างๆของพืช

การจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อภายใน ทำให้เกิดลำต้นแบบต่างๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ขนาดรูปร่าง สี และเนื้อไม้ การจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อ และการกระจายอย่างมีสัดส่วนระหว่างเนื้อเยื่อพื้น และเนื้อเยื่อนำน้ำและอาหาร ทำให้ลักษณะโครงสร้างปฐมภูมิของพืชตระกูลต่างๆ แตกต่างกัน แต่โดยปรกติลำต้นปฐมภูมิประกอบด้วยกายวิภาคหลัก ดังนี้

1. epidermis มักจะมีชั้นเดียวและมีผนังด้านนอกเป็นสารคิวติน หรือมีชั้นคิวตินเคลือบ มีปากใบ (stomata) กระจายอยู่ทั่วไป แต่จะเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเหมือนในใบ เป็นเซลล์ที่มีชีวิต และตราบโตที่ยังไม่มีการสร้าง periderm epidermis สามารถขยายใหญ่ขึ้นแบบ ไมโทติค (mitotic) ทางด้านรัศมี เพื่อรับกับการเจริญเติบโตขึ้นของต้นไม้ได้ด้วย

2. cortex และ pith เซลล์ส่วนใหญ่ที่พบใน cortex คือ parenchyma ซึ่งตามปกติพบเม็ดสีเขียว (chloroplast) และมีช่องว่างระหว่างเซลล์ชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณตอนกลางของ cortex Angiosperm ที่เป็นพืชน้ำจะมี parenchyma ชนิดพิเศษที่เรียงตัวหลวมมากมาย และมีช่องว่างระหว่างเซลล์ใหญ่เรียกว่า aerenchyma บริเวณ cortex ที่ติดกับ epidermis มักจะพบเซลล์ที่ให้ความแข็งแรง ได้แก่ collenchyma ซึ่งอาจรวมอยู่เป็นกลุ่มในบริเวณสันของลำต้น หรือเป็นแถบยาว หรือเป็นวงรอบลำต้นก็ได้ แต่ในพืชบางชนิดเช่น พืชตระกูลหญ้าจะพบ sclerenchyma แทนที่ collenchyma ได้

3. ระบบนำน้ำและอาหาร การเรียงตัวของระบบนำน้ำและอาหารในลำต้นปฐมภูมินั้นจะเป็นระเบียบรอบลำต้น การจัดเรียงตัวของ phloem และ xylem ในกลุ่มเนื้อเยื่อนำน้ำและอาหาร มีได้หลายแบบ เช่น collateral, bicollateral, concentric, amphicribal หรือ amphivasal

การเจริญระยะทุติยภูมิพบได้ที่ลำต้นและกิ่ง สำหรับที่ใบ เส้นใบ และก้านใบนั้นพบได้น้อยมาก vascular cambium ที่ลำต้นจะแบ่งตัว ทำให้ปริมาณเนื้อเยื่อนำน้ำและอาหารเพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตชนิดนี้พบได้เสมอในพืชสนและพืชยืนต้นใบเลี้ยงคู่ พืชใบเลี้ยงคู่ ส่วนใหญ่จะมี

interfascicular cambium เป็นบริเวณแคบถึงแคบมาก ดังนั้นเนื้อเยื่อทุติยภูมิจะพัฒนาเป็นรูปร่างแหวนโดยสมบูรณ์ และจะไม่เห็นแนว ray กว้างดังเช่นในพืช ล้มลุกใบเลี้ยงคู่

โดยปกติจะไม่พบการเจริญระยะทุติยภูมิในพืชล้มลุกใบเลี้ยงคู่ (herbaceous dicotyledons) และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว แต่ถ้าพบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมักจะเป็นการเจริญเติบโตแบบพิเศษจากการแบ่งตัวหรือขยายตัวของ parenchyma ที่เป็นเซลล์พื้นในลำต้น การเจริญระยะทุติยภูมิแบบนี้เรียกว่า diffuse (diffuse secondary growth) ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีเนื้อไม้ เช่น ลักกะจั่น ป่านครนารายณ์ หมากผู้หมากเมีย หรือดอกไซ้ เป็นต้น สามารถสร้าง cambium ชนิดพิเศษขึ้นที่ parenchyma นอกกระบวนการนำน้ำและอาหารปฐมภูมิ และสร้างระบบนำน้ำและอาหารทุติยภูมิขึ้น นอกจากนี้ยังพบเซลล์ schlerenchyma ด้วย พืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิดจะสร้าง periderm หนามากไว้ป้องกันอันตรายด้วย

ส่วนประกอบที่สำคัญของลำต้นซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างคือส่วนเปลือกและแก่นเปลือก หมายถึงชั้นเนื้อเยื่อตั้งแต่ vascular cambium ออกไปด้านนอก ประกอบด้วยชั้น Phloem ทุติยภูมิและเนื้อเยื่อปฐมภูมิของ phloem และ cortex ถ้ายังคงเหลืออยู่ periderm และเนื้อเยื่อที่ตายแล้วนอก periderm

สำหรับพืชที่มีอายุน้อยหรือพืชที่มีขนาดเล็กไม่ใหญ่มาก จะเกิด periderm เพียงครั้งเดียว ซึ่งอาจเป็นที่ตำแหน่งใต้ epidermis หรือใน cortex หรือใน phloem ปฐมภูมิหรือทุติยภูมิก็ได้ เปลือกของพืชชนิดนี้จึงประกอบด้วยชั้นเนื้อเยื่อที่ไม่หนามากเรียกว่า เปลือกชนิดบาง เมื่อพืชมีขนาดใหญ่ ชั้นเปลือกชนิดบางไม่เพียงพอที่จะป้องกันอันตรายให้พืชได้ พืชสร้าง periderm ชั้นใหม่เพิ่มลึกลงไปภายในลำต้น และทำให้ความหนาของเปลือกเพิ่มขึ้น เมื่อ periderm เกิดขึ้นไม่ว่าที่ตำแหน่งใดก็ตาม ชั้น cork หรือ phellem ที่เกิดขึ้นจะกันขวางอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อชั้นนอกและชั้นใน ทำให้ขาดการติดต่อ กลุ่มเนื้อเยื่อด้านนอกของ periderm จะไม่ได้รับน้ำและเกลือแร่จึงตายไป ดังนั้นเมื่อเกิด periderm หลายๆ ชั้นลึกลงไป เนื้อเยื่อด้านนอกจะค่อยๆ ตาย เปลือกจะหนาขึ้นผิววนอกมีลักษณะหยาบและมีรอยแตกชัดเจนเรียกว่า เปลือกชนิดหนา หรือ Rhytidome ภาคตัดขวางของเปลือกชนิดหนาจะแบ่งได้เป็น 2 บริเวณ คือ เปลือกชั้นนอก (outer bark หรือ rhytidome) และเปลือกชั้นใน (inner bark หรือ living phloem)

เปลือกชั้นนอก (Outer bark หรือ Rhytidome)

บริเวณ rhytidome จะนับตั้งแต่ periderm ชั้นที่เกิดขึ้นล่าสุดออกไปด้านนอก periderm ที่เกิดขึ้นก่อนจะถูกดันออกไปด้านนอก periderm ที่เกิดขึ้นใหม่จะเกิดระหว่างแนว phellogen ของ periderm ชุดที่เกิดขึ้นล่าสุดกับชั้นเนื้อเยื่อที่ลึกลงไป และจะเกิดเช่นนี้ลึกลงไปเรื่อยๆ จนถึง phloem ทุติยภูมิซึ่งในชั้นนี้ phellogen จะมีกำเนิดมาจาก phloem parenchyma และ ray cell

ดังนั้น rhytidome จึงประกอบด้วย periderm ที่ไม่อาจแบ่งตัวได้แล้วเรียงตัวสลับกับชั้นเนื้อเยื่ออื่นๆ ได้แก่ parenchyma (อาจเป็น cortical parenchyma หรือ phloem parenchyma) schlereid และ fiber ซึ่งไม่มีชีวิตแล้วและมีสารสีแดง หรือ สีน้ำตาล ที่เกิดจากการตายของเซลล์ และแทนนินสะสมอยู่ ทำให้ชั้น rhytidome สีเข้มกว่าบริเวณอื่นๆ จำนวนชั้นของ periderm ใน rhytidome ไม่แน่นอนขึ้นกับชนิดของพืช การเรียงตัวของ periderm จะจำแนกเลือกชนิดหนาหรือ rhytidome ได้เป็น 2 ชนิด

1. scale bark เปลือกชั้นนอกที่แก่มากจะหลุดออกมาเป็นแผ่นเกล็ด เนื่องจาก periderm เกิดเรียงซ้อนกันเป็นรูปเกล็ดปลา

2. ring bark เปลือกชั้นนอกที่แก่มากจะหลุดรอบเป็นวง เนื่องจาก periderm เกิดเป็นวงรอบแกน phloem เป็นชุดๆ

เปลือกชั้นใน (inner bark หรือ Living Secondary Phloem)

การแบ่งตัวของ vascular cambium มักจะทำให้บริเวณ phloem ทุดิยภูมิแคบกว่าบริเวณ secondary xylem เสมอ การเรียงตัวของเซลล์ต่างๆจะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของพืช ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว phloem ที่มีอายุมากมักจะถูกเซลล์ที่เกิดจากการแบ่งตัวใหม่เบียด ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ และถูกแยกออกไปโดย periderm ที่เกิดลึกลงมา จึงยังทำให้บริเวณเปลือกชั้นในแคบลงอีก ในพืชใบเลี้ยงคู่ phloem ทุดิยภูมิจะมีลักษณะที่แปรเปลี่ยนไปมาก ทั้งส่วนประกอบ การเรียงตัวและขนาดของเซลล์ รวมถึงลักษณะเฉพาะของ phloem ที่หมดสภาพ (non-functional phloem) แล้ว

แก่น หมายถึงชั้นเนื้อเยื่อตั้งแต่ vascular cambium เข้าไปสู่แกนกลางต้นซึ่งประกอบด้วย xylem ทุดิยภูมิทั้งหมด สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ softwood หมายถึง แก่นของพืชกลุ่มสน (gymnospermae) มีลักษณะเนียนและเบา เพราะมี fiber และ tracheid เป็นส่วนใหญ่เหมาะที่จะใช้ทำเยื่อกระดาษ และ hardwood หมายถึง แก่นของพืชใบเลี้ยงคู่ซึ่งแข็งแรง เนื้อแน่นและหนัก เพราะมี fiber และ vessel เป็นจำนวนมากเหมาะที่จะใช้ในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามแก่นพืชทั้งสองกลุ่มให้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ

แก่นพืชใบเลี้ยงคู่ (Dicotyledon wood หรือ Hardwood)

แก่นประกอบด้วยระบบเนื้อเยื่อแนวตั้ง ได้แก่ fiber, tracheid, vessel และ axial parenchyma กับระบบเนื้อเยื่อแนวรัศมี คือ ray parenchyma ภาคตัดขวางของแก่นพืชใบเลี้ยงคู่ จะแสดงลักษณะแตกต่างของการเจริญเติบโตในช่วงปี เซลล์ที่เกิดจากการแบ่งตัวของ vascular cambium ในฤดูใบไม้ผลิซึ่งมีน้ำมากจะมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นน้อย เรียกว่า early wood ส่วนเซลล์ที่เกิดจากการแบ่งตัวของ vascular cambium ในฤดูหนาวซึ่งขาดแคลนน้ำจะมีขนาดเล็กกว่า เรียกว่า late wood

แก่นพืชใบเลี้ยงคู่แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ กลุ่มที่ไม่มี vessel ในบริเวณ xylem ทุกติภูมิ และกลุ่มที่มี vessel ซึ่งจะมีลักษณะทางกายวิภาคที่ซับซ้อนกว่ามากแก่นบางชนิดมี vessel ขนาดเท่าๆกัน และมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ บางชนิด vessel ของเนื้อไม้ที่เกิดก่อน (early wood)จะมีขนาดใหญ่กว่า vessel ของเนื้อไม้ที่เกิดทีหลัง (late wood) บางชนิดมีการกระจายตัวของ vessel แบบเดี่ยว หรือแบบกลุ่มก็ได้

- ใบ

ใบเป็นส่วนของพืชที่มีความแปรเปลี่ยนในโครงสร้างและหน้าที่ได้หลายลักษณะ โดยทั่วไปมีหน้าที่สังเคราะห์แสง ประกอบด้วยส่วนของแผ่นใบ (lamina) และก้านใบ (petiole) ซึ่งติดกับลำต้น ใบพืชบางชนิดอาจไม่มีก้านใบเลยก็ได้เรียกว่า sessile leaf แผ่นใบมี 2 ด้าน คือ ด้านหลังใบ (ventral side) จะมีสีเขียวเข้มมัน ด้านหลังใบนี้จะหันขึ้นด้านบนเพื่อรับแสง เรียกอีกอย่างว่า upper side และด้านท้องใบ (dorsal side) จะมีสีอ่อนกว่า ผิวหยาบ และเห็นเส้นใบนูนชัด ด้านท้องใบนี้จะหันคว่ำลงสู่ดิน เรียกอีกอย่างว่า lower side

ระบบนำน้ำและอาหารในใบเรียกว่า เส้นใบ (vein) ซึ่งจะติดต่อกะจ่ายไปทั่วทั้งใบ เส้นใบใหญ่ เรียกว่า เส้นกลางใบ (midrib) และมีเส้นใบย่อยกระจายออกไป ในพืชใบเลี้ยงคู่ เส้นใบเป็นแบบร่างแห (reticulate) และในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเส้นใบเป็นแบบขนาน (parallel)

ในการตรวจเอกลักษณ์ของพืชนั้น ต้องอาศัยลักษณะต่างๆ ของใบมาประกอบเป็นอย่าง มาก เช่น แผ่นใบของพืชใบเลี้ยงคู่มักจะมีแผ่นกว้าง (board leaves) ส่วนใบของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและสนจะมีลักษณะแคบและยาว (needle leaves)

2.2 ไม้ : วัสดุก่อสร้าง

ตามบันทึกทางประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรมส่วนใหญ่ จะพบว่าวัสดุที่มนุษย์นำมาใช้ก่อสร้างเป็นที่พักอาศัย หรือเทวสถาน และยังปรากฏหลงเหลือเป็นหลักฐานให้สามารถศึกษานั้นคือ หิน หรือ ดินโคลน แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า หิน และดินโคลนจะเป็นวัสดุชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ในงานก่อสร้าง เนื่องจากการก่อสร้างด้วยหินต้องอาศัยเครื่องมือในการตัดและสกัด และแรงงานจำนวนมาก แต่ไม้เป็นวัสดุที่สามารถตัดฟันลงมาใช้งานได้ง่ายกว่า จึงมีความเป็นไปได้สูงว่าไม้จะเป็นวัสดุชนิดแรกๆ ที่มนุษย์นำมาใช้ในงานก่อสร้าง และวัตถุประสงค่อื่นๆ ในการดำรงชีวิต เช่น ฟืน อาวุธ เป็นต้นหากแต่การสูญหายของหลักฐานการใช้ไม้ในยุคโบราณ เนื่องมาจากไม้เป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ ไม้แปรสภาพและสูญสลายเมื่อถูกเผาไหม้ ซึ่งเพลิงไหม้ที่เกิดในสมัยโบราณมีอยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากอุบัติเหตุ และการทำสงครามแย่งชิงดินแดน อาคารไม้ในยุคต่อมามีปรากฏหลงเหลืออยู่ในสภาพที่สมบูรณ์หลังจากการ

กระทรวงวัสดุขาออกเพื่อทำการซ่อมแซมอาคารซึ่งแสดงถึงพัฒนาการในการรักษาสภาพของไม้ให้สามารถต้านทานไฟได้ดีขึ้น

ประเทศไทยใช้ไม้เป็นวัสดุก่อสร้างมาตั้งแต่สมัยโบราณ ปริมาณการใช้ไม้ในประเทศไทยมีมาก ดังตารางที่ 2.2 และถึงแม้ว่าในอดีตประเทศไทยจะเป็นประเทศที่ผลิตไม้ส่งออกจำหน่ายในตลาดโลก แต่เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ลดลงดังตารางที่ 2.3 ทำให้ผลผลิตไม้เพื่อการก่อสร้างมีปริมาณไม่เพียงพอ กับความต้องการภายในประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 เป็นต้นมา ประเทศไทยนำเข้าไม้ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จาก 488,500 ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2525 และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 4,065,700 ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2537 แต่หลังจากปี พ.ศ. 2538 ปริมาณการใช้ไม้ในประเทศลดลงดังตารางที่ 2.2 ทำให้ปริมาณการนำเข้าไม้ลดลงตามไปด้วย แต่ก็ยังเป็นตัวเลขที่สูงกว่าการนำเข้าในปี พ.ศ. 2525 โดยตัวเลขการนำเข้าในปี พ.ศ. 2543 อยู่ที่ 1,856,800 ลบ.ม.

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการใช้ไม้ในประเทศ ระหว่างปี 2521-2543 (หน่วย : 1,000 ลบ.ม.)

พ.ศ.	ปริมาณไม้ที่ผลิตได้ [5]	ปริมาณไม้นำเข้า [6]	ปริมาณไม้ส่งออก [7]	ปริมาณไม้ใช้ ภายในประเทศ [8]
2525	1,769.4	488.5	1.5	2,256.4
2526	1,819.7	630.4	1.7	2,448.4
2527	2,031.7	581.5	6.7	2,606.5
2528	1,882.6	418.2	11.2	2,289.6
2529	2,014.7	348.7	29.2	2,334.2
2530	2,149.0	725.2	112.0	2,762.2
2531	2,048.1	1,123.3	181.1	2,990.3
2532	919.0	2,508.0	53.3	3,373.7
2533	491.6	3,340.9	48.6	3,783.9
2534	231.5	3,280.8	57.8	3,454.5
2535	119.4	3,814.4	45.1	3,888.7
2536	64.9	3,168.2	53.8	3,179.3
2537	62.3	4,065.7	62.4	4,065.6
2538	34.9	3,463.6	80.5	3,418.0
2539	43.9	3,151.8	45.4	3,150.3
2540	59.7	2,358.6	79.7	2,338.6
2541	54.8	1,239.7	108.2	1,186.3
2542	50.2	1,723.6	289.3	1,484.5
2543	46.4	1,856.8	378.5	1,524.7

ที่มา : [5] กรมป่าไม้ [6],[7] กรมศุลกากร [8] =[5]+[6]-[7]

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบพื้นที่ป่าไม้ระหว่างปี 2521-2534

ภาค	พื้นที่		พื้นที่ป่าไม้ ปี 2521		พื้นที่ป่าไม้ ปี 2534		พื้นที่เปลี่ยนแปลง	
	ไร่	%	ไร่	%	ไร่	%	ไร่	%
เหนือ	106,027,680	33.06	59,335,625	55.96	48,214,375	45.47	11,121,250	10.49
ตะวันออกเฉียงเหนือ	105,533,126	32.91	19,513,126	18.49	13,624,375	12.91	5,888,751	5.58
ตะวันออก	22,814,063	7.11	6,898,125	30.24	4,806,875	21.07	2,091,250	9.17
กลาง	42,124,189	13.14	12,766,250	30.31	10,385,000	24.65	2,381,250	5.65
ใต้	44,196,992	13.78	11,001,875	24.89	8,405,625	19.02	2,596,250	5.87
รวม	320,696,882		109,515,000	34.15	85,436,250	26.64	24,076,750	7.51

ที่มา :- กรมป่าไม้

การนำเข้าไม้จากต่างประเทศทำให้ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างมีราคาแพง ผิดกับปัญหาเศรษฐกิจที่ถดถอยของประเทศไทยในปัจจุบัน และราคาวัสดุก่อสร้างที่สูงมากขึ้น ทำให้ความเติบโตด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างต่างๆ มีขนาดลดลงเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามการนำเข้าไม้ก็ยังมืออย่างต่อเนื่อง คณะผู้วิจัยมีแนวความคิดว่าไม้โตเร็วเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะสามารถนำมาใช้ทดแทนได้ อีกทั้งมีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่า และในความเป็นจริงแล้วยังมีไม้โตเร็วหลายชนิดและหลายประเภท ที่มีความน่าสนใจที่จะทำการศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกล และเชิงกายภาพของไม้ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้

ในการระบุชนิดของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างนั้น เมื่อระบุชนิดของไม้นิยมใช้คำนิยามเป็นกลางๆ ว่าเป็นไม้เนื้ออ่อน หรือไม้เนื้อแข็ง ดังนั้นก่อนอื่นจะต้องศึกษาคำนิยามเกี่ยวกับการจัดประเภทไม้ เนื่องจากหลักการแบ่งชนิดไม้นั้นมีหลายวิธี ดังนี้

1. การจำแนกต้นไม้ตามหลักพฤกษศาสตร์ จะมีความเกี่ยวข้องกับพวกพืชชั้นสูง (Spermatophyta) ซึ่งนอกจากจะเป็นพืชมีดอกตามปกติแล้ว ยังมีท่อน้ำ ท่ออาหาร มีลำต้น และอื่นๆ เป็นองค์ประกอบ สามารถแยกได้เป็น 2 อนุกรม คือ

- Gymnosperms หมายถึงพันธุ์ไม้ที่ถือกำเนิดมาจากเมล็ดที่เกิดจากการผสมพันธุ์ภายนอกไข่ (ovary) ตามปกติจะเกิดตามด้านหน้าของกาบ (bracts or scales) โดยมีลมเป็นพาหะนำเรณู (pollen grains) ไปผสมกับไข่อ่อน (ovule) ได้โดยตรง ใบไม้ส่วนใหญ่มีลักษณะเล็กแหลมคล้ายรูปเข็ม หรือเป็นเกล็ด (needle-like or scale-like) เท่าที่พบว่ามีอยู่ในประเทศไทยขณะนี้ มี 6 วงศ์ (family) จำนวนทั้งหมด 25 ชนิด (species) ด้วยกัน แต่ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางคือ พวกไม้สน (Pinus) และถูกจัดเป็น ไม้เนื้ออ่อน (softwoods)

• Angiosperms หมายถึงพันธุ์ไม้ที่ถือกำเนิดมาจากเมล็ดที่เกิดจากการผสมพันธุ์ภายในรังไข่ (ovary) ใบไม้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกว้าง (broad leaf) และแยกออกเป็น 2 ชั้น (class) คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledones) และพืชใบเลี้ยงคู่ (Dicotyledones) และถูกจัดเป็น ไม้เนื้อแข็ง (hardwoods)

2. การจำแนกต้นไม้ ตามหลักวิชาการทางลักษณะโครงสร้างไม้สามารถแยกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

ไม้ที่เนื้อไม้ไม่มีรู (Non-porous Wood) ถูกจัดเป็นไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ซึ่งได้แก่ พวกไม้สน (Conifers)

ไม้ที่เนื้อไม้มีรู (Porous Wood) ถูกจัดเป็น ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood)

การแบ่งชนิดของไม้ในแต่ละสาขาวิชานั้น ทำให้ได้ไม้ในกลุ่มเดียวกัน แต่เมื่อนำไม้มาใช้ในการก่อสร้าง คำนียามของไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน หมายถึงไม้ที่สามารถรับแรงหรือน้ำหนักได้มากไม่แตกหักเสียหาย กองวิจัยผลิตผลป่าไม้จึงได้เสนอหลักเกณฑ์การกำหนดไม้เนื้ออ่อน-เนื้อแข็ง ต่อกรมป่าไม้ ที่ กส. 0702/6679 ลงวันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2517 เรื่อง ข้อกำหนดเกี่ยวกับไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างในส่วนราชการกรมป่าไม้

หลักเกณฑ์การแบ่งไม้เนื้ออ่อน-เนื้อแข็งตามมาตรฐานของกรมป่าไม้ โดยที่คุณสมบัติของไม้ทางด้านกลสมบัติ (Mechanical Properties) เกี่ยวข้องกับหน่วยแรง (Stress) 4 ลักษณะด้วยกัน คือ แรงอัด (Compressive Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม แรงดึง (Tensile Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้มีขนาด หรือปริมาตรใหญ่กว่าเดิม แรงเฉือน (Shear Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้แยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรงดัด (Bending Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้โค้งงอจนหัก เป็นแรงที่รวมเอาแรง 3 ชนิดแรกเข้าด้วยกัน ความสามารถที่ไม้จะต้านทานต่อแรงที่มากกระทำ เรียกว่า ความแข็งแรง (Strength) แรงดัดสูงสุดที่ทำให้ไม้หัก เรียกว่า แรงประลัย หรือสัมประสิทธิ์ในการหัก (modulus of rupture) ความต้านทานของไม้ต่อแรงประลัยนี้ เรียกว่า ความแข็งแรงของไม้ในการดัด ซึ่งยอมรับและใช้กันเป็นมาตรฐานของความแข็งแรงของไม้ ในการแบ่งไม้ออกเป็นประเภทไม้เนื้ออ่อน หรือไม้เนื้อแข็ง กรมป่าไม้ใช้ค่าความแข็งแรงในการดัดของไม้ตะเคียนทอง (*Hopea odorata* Roxb.) ที่แห้ง (ความชื้น 12%) เป็นค่ามาตรฐานในการแบ่งช่วงความแข็งแรง โดยแบ่งไม้ออกเป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานในการแบ่งช่วงความแข็งแรงของไม้ โดยกรมป่าไม้

ชนิดไม้	ความแข็งแรงในการตัด (กก./ ซม. ²)	ความทนทานตามธรรมชาติ (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	สูงกว่า 1,000	สูงกว่า 6
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	600-1,000	2-6
ไม้เนื้ออ่อน	ต่ำกว่า 600	ต่ำกว่า 2

ที่มา :- กรมป่าไม้

ค่าความทนทานตามธรรมชาติของไม้ได้จากการทดลอง โดยใช้ไม้ที่เป็นแก่นล้วน ไม่มีตำหนิ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 ซม. ยาว 50 ซม. ฝั่งไว้จนแห้งดีมีความชื้นประมาณไม่เกิน 20% ฝังลงดินในแปลงทดลองกลางแจ้ง ตากแดด ตากฝนตามภาคต่างๆของประเทศ โดยฝังลึกประมาณ 25 ซม. เพื่อเก็บสถิติทุก 6 เดือน ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างไม้ตามมาตรฐานในการแบ่งช่วงความแข็งแรง โดยกรมป่าไม้

ชนิดไม้	ปริมาณความชื้น (%)	ความถ่วงจำเพาะ	ความแข็งแรง (กก./ ซม. ²)			ความเคี้ยว x 100 (กก./ ซม. ²)	ความเหนียว (กก.- ซม.)		ความแข็ง (กก.)	ความทนทานจากการทดลองปักดิน (ปี)
			การตัด	การบีบ	การฉีก		จากการตัด	จากการเจาะ		
ไม้เนื้อแข็ง										
ตะเคียนทอง (<i>Hopea odorata</i> Roxb.)	12.0	0.80	1,172	20	48	1,202	-	4.70	649	7.7 (3.0-10.5)
กระถินพืมาน (<i>Acacia siamensis</i> Craib)	5.0	0.96	1,429	13	47	1,050	-	4.33	1,200	11.1 (2.0-16.0)
ไม้ที่มีความแข็งแรงสูง										
สนประดิพัทธ์ (<i>Casuarina Junghuhniana</i> Miq.)	12.0	0.79	1,525	50	75	1580	-	5.89	865	3.6 (1.0-5.0)
มะม่วงป่า (<i>Mangifera</i> spp.)	12.3	0.81	832	98	55	987	-	1.23	199	5.3 (2.0-11.0)
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง										
ทุเรียน (<i>Durio zebethinus</i> Murr)	2.2	.49	724	92	6	943	-	.95	249	1.4 (0.5-3.5)

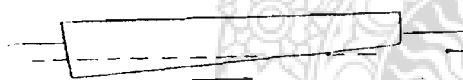
บทที่ 3

การนำไม้มาใช้ประโยชน์ (Wood Utilization)

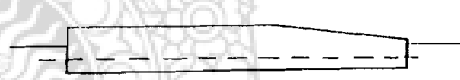
การนำไม้มาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนโดยการเลื่อยไม้ซุงท่อน ให้เป็นไม้แผ่นหรือไม้แปรรูป โดยผลผลิตหรืออัตราการแปรรูปไม้ที่ได้จากการเลื่อยจะมากหรือน้อย และมีคุณภาพดีเพียงใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวแปรหลายประการ เช่น ลักษณะของไม้ท่อน คลองเลื่อย การเลื่อยเพื่อขนาด การเปิดปีกครั้งแรก รูปแบบการเลื่อย การดูแลบำรุงรักษา เครื่องจักร ฯลฯ ซึ่งปัจจุบันนี้อัตราการแปรรูปไม้นั้นสูญเสียเนื้อไม้มาก นอกจากนี้ไม้ซุงที่นำมาแปรรูปก็เป็นไม้ขนาดเล็กจากสวนป่าที่มีอายุน้อย เมื่อเลื่อยแล้วจะทำให้เกิดการบิดงอซึ่งเป็นปัญหาในการแปรรูปจึงต้องใช้เทคนิคในการเลื่อยไม้แตกต่างไปจากปกติทั่วไป (สุธี, 2542)

3.1 หลักการแปรรูปไม้ซุงท่อน (Sawing method)

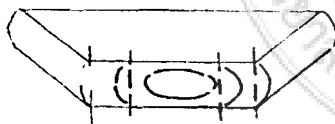
ตามธรรมชาติบริเวณโคนของต้นไม้จะมีขนาดใหญ่กว่าส่วนอื่นๆ ของลำต้น ต้นไม้บางชนิดช่วง 3-5 เมตรแรกของส่วนโคนต้นมีรูปทรงเหมือนลำต้นตาล แต่ลำต้นถัดจากส่วนโคนขึ้นมา มีรูปทรงไม่แตกต่างกันมากนัก ถ้านำท่อนซุงรูปทรงตาลมาเลื่อยจะต้องสูญเสียเนื้อไม้บางส่วนไป ดังรูปที่ 3.1 เนื้อไม้ส่วนที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นไม้แผ่นจะมีรูปทรงดังแสดงในรูปที่ 3.2 และไม้แผ่นที่ได้จะมีรูปทรงแบบลิ้ม โดยด้านหน้าของไม้แผ่นจะแคบกว่าอีกด้านหนึ่ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 การนำท่อนซุงรูปทรงตาลมาเลื่อย



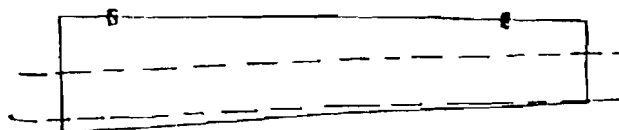
รูปที่ 3.2 การนำไม้ท่อนที่ได้จากการเลื่อยครั้งแรกในรูปที่ 3.1 มาแปรรูปเป็นไม้แผ่น



รูปที่ 3.3 การเลื่อยเปิดปีกเพื่อให้ได้ไม้แผ่นรูป

การเลื่อยวิธีนี้ ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อไม้มากพอสมควร เพราะต้องตัดขอยด้านข้างหรือแต่งให้ได้ไม้แปรรูปเหลี่ยม บางครั้งการขอยข้างของไม้แผ่นอาจทำให้คุณภาพของแผ่นไม้เสียไป และทำให้ไม้ขายได้ราคาน้อยลง

เพื่อให้ได้ไม้แปรรูปที่มีคุณภาพดี และได้ไม้แปรรูปในปริมาณสูงจากการเลื่อยไม้ที่มีรูปทรงต้นตาลควรเลื่อยให้ขนานกับใจไม้ ดังรูปที่ 3.4

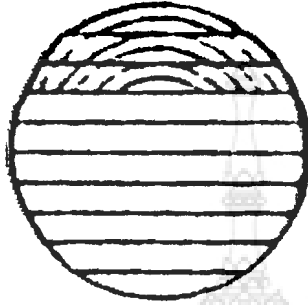


รูปที่ 3.4 การเลื่อยไม้ให้ขนานกับใจไม้

3.2 รูปแบบการแปรรูปไม้ (Sawing patterns)

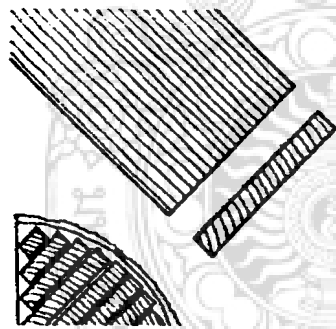
การเลื่อยไม้ซุงมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละแบบนั้นก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป การแปรรูปไม้แบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบด้วยกันคือ

1. การเลื่อยแบบตะ (Through & Through or live sawing or slab cutting) เป็นวิธีการเลื่อยขนานไปตามแกนหรือขนานกับแนวเส้นไม้ ดังรูปที่ 3.5



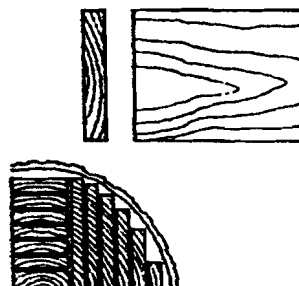
รูปที่ 3.5 การเลื่อยไม้แบบตะ

2. การเลื่อยแบบตามรัศมี (Quarter sawing) การเลื่อยแบบนี้จะเป็นการเลื่อยตามแนวรัศมีของไม้ซุงท่อน ซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะเลื่อยได้ไม่ตรงตามแนวทั้งหมด แต่ต้องพยายามให้ใกล้เคียงมากที่สุด ตามมาตรฐานของอังกฤษ ดังรูปที่ 3.6



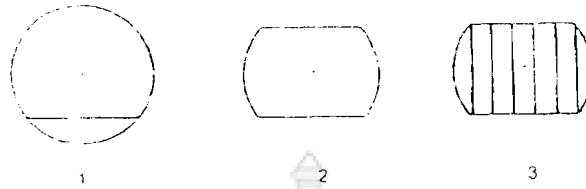
รูปที่ 3.6 การเลื่อยไม้แบบตามรัศมี

3. เลื่อยพลิก (Plain sawing or round and round) การเลื่อยวิธีนี้เป็นการเลื่อยแบบคัดคุณภาพของไม้แปรรูป โดยเลื่อยจากไม้ซุงที่มีขนาดใหญ่โดยการพลิกหมุนไปโดยรอบ เพื่อให้ได้ไม้แปรรูปคุณภาพดีที่สุด หลีกเลียงตำหนิต่างๆ ของไม้ซุง เช่น ตาไม้ รอยผุ ดังรูปที่ 3.7



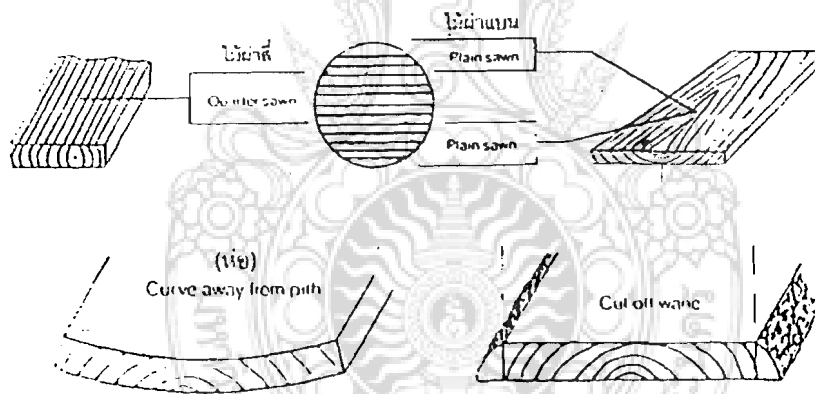
รูปที่ 3.7 การเลื่อยไม้แบบพลิก

4. เลื่อยแบบเปิดปีกสองข้าง (Cant sawing) เหมาะกับไม้ซุงที่มีขนาดเล็ก ไม้แปรรูปที่ได้หรือปึก ไม้มีการขอยข้างน้อย การเลื่อยแบบนี้สามารถกำหนดความกว้างของหน้าไม้ได้ตามต้องการ และปริมาณไม้แปรรูปที่ได้ก็ค่อนข้างสูง



รูปที่ 3.8 การเลื่อยไม้แบบเปิดปีกสองข้าง

ไม้แปรรูปที่ได้จากการเลื่อยแบบตะใบบริเวณกลางไม้ซุง จะเป็นไม้ผ่าสี่ (Quarter sawn board) หมายถึง ไม้แปรรูปที่มีแนววงปีเฉียงทำมุมไม่น้อยกว่า 45 องศาตามแนวกว้างของแผ่นไม้ แต่ไม้แปรรูปส่วนใหญ่ที่ได้จะเป็นไม้แบบผ่าแบน (Plain sawn or flat sawn board) ซึ่งมีแนววงปีเกือบตั้งฉากกับแนวกว้างของแผ่นไม้ ดังรูปที่ 3.9 แผ่นไม้แบบผ่าแบนเป็นแผ่นไม้ที่มีคุณภาพดี เนื่องจากจะเกิดการบิด การโก่ง และการงอนน้อยที่สุด



รูปที่ 3.9 ไม้แผ่นที่ได้จากการเลื่อยแบบตะ

การเลื่อยแบบตามรัศมีไม้แปรรูปที่ได้ทุกแผ่นจะเป็นไม้ผ่าแบน (Plain sawn or flat sawn board) ซึ่งแตกต่างไปจากรูปแบบการเลื่อยแบบตะ ซึ่งจะได้ไม้แปรรูปบางส่วนตรงบริเวณใกล้เส้นผ่าศูนย์กลางเป็นไม้ผ่าสี่ ส่วนการเลื่อยแบบเปิดปีกสองข้างจะได้ไม้แปรรูปเป็นไม้ผ่าแบนมากกว่าไม้ผ่าสี่

3.3 ข้อกำหนดทั่วไปของการแปรรูปไม้

ข้อกำหนดทั่วไปของการแปรรูปไม้ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 การเลือกเพื่อความหนาของไม้แปรรูป

ความหนาไม้แปรรูป		เลือกเพื่อความหนา			
		ชั้นต่ำ		ชั้นสูง	
มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว
12-22	$\frac{1}{2} - \frac{7}{8}$	1.5	0.06	3	0.12
25-44	$1 - \frac{3}{4}$	3	0.12	6	0.24
50-75	2-3	4.5	0.18	6	0.24
88-138	$3 \frac{1}{2} - 5 \frac{1}{2}$	6	0.24	9	0.36
150-200	6-8	9	0.36	12	0.48

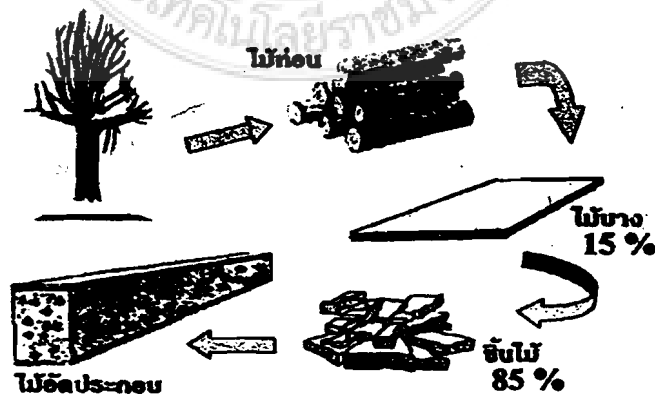
ตารางที่ 3.2 การเลือกเพื่อความกว้างของไม้แปรรูป

ความกว้างไม้แปรรูป		เลือกเพื่อความกว้างชั้นต่ำ	
มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว
25-125	1-5	6	0.24
150-175	6-7	9	0.36
200-225	8-9	12	0.48
250-400	10-16	15	0.60

อย่างไรก็ตามขนาดของไม้แปรรูปในท้องตลาดนั้น เรามักจะพบเสมอว่าจะไม่มีการเผื่อขนาดตามมาตรฐานเช่นไม้ขนาดความหนา 1 นิ้ว ผู้ซื้อจะได้ขนาดความหนา 1 นิ้วพอดี หรือต่ำกว่าขนาดเล็กน้อย ซึ่งนับว่าผู้ซื้อจะถูกเอาเปรียบในเรื่องนี้อยู่เสมอ เว้นแต่ในกรณีที่เป็นไม้สักจะได้ไม้เต็มขนาด เนื่องจากไม้สักมีราคาแพงกว่าไม้กระยาเลยชนิดอื่น

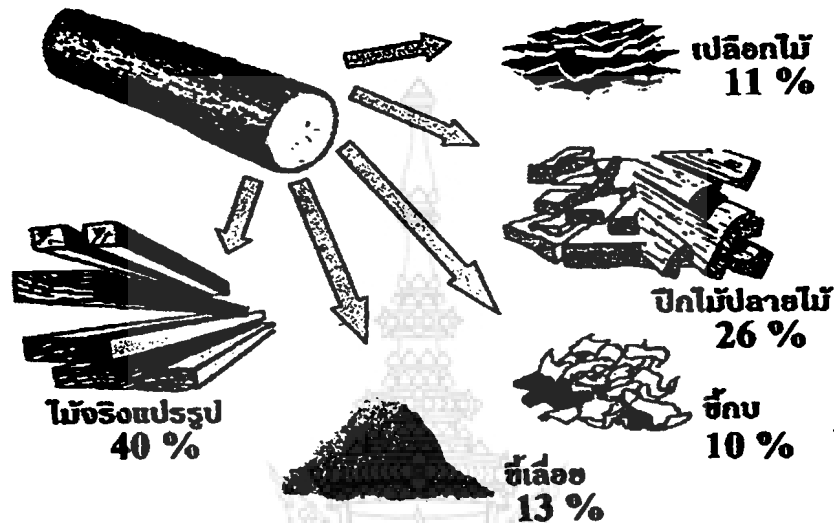
3.4 การใช้ไม้ให้คุ้มค่า

การแปรรูปไม้อย่างคุ้มค่าที่สุด คือ การที่สามารถใช้ทุกส่วนของไม้ท่อนให้เป็นประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กระบวนการแปรรูปไม้ให้คุ้มค่า

การแปรรูปไม้ท่อนเป็นไม้แผ่นนั้น ได้ไม้แผ่นแปรรูปเพียงร้อยละ 40 เศษวัสดุที่เหลือใช้
ในการผลิตเป็นไม้ประกอบ (Wood Composites) ประเภทอื่นๆ ได้ ส่วนการแปรรูปไม้ท่อนเป็นไม้
อัดนั้น ได้ผลิตภัณฑ์ไม้อัด 45% เศษวัสดุที่เหลือใช้ในการผลิตเป็นไม้ประกอบ (Wood
Composites) ประเภทอื่นๆ ได้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กระบวนการแปรรูปไม้ให้คุ้มค่า

3.5 การนำไม้มาใช้เป็นโครงสร้างอย่างปลอดภัย

ในการออกแบบอาคารไม้และโครงสร้างไม้ในประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้จัดทำ “มาตรฐานสำหรับอาคารไม้” ขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2517 โดยได้ดัดแปลงมาจากมาตรฐานของต่างประเทศซึ่งจัดทำโดยใช้ข้อมูลวิศวกรรม และระดับความเสี่ยงที่ยอมรับร่วมกันในประเทศเจ้าของมาตรฐาน แม้จะมีการปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบสำหรับประเทศไทยหลายครั้ง มาตรฐานที่ได้ยังคงอิงมาตรฐานในต่างประเทศเป็นหลัก ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ผู้ใช้จึงไม่อาจทราบถึงระดับความปลอดภัยที่แท้จริงของโครงสร้างสำหรับประเทศไทย

ดังนั้นการรวบรวมข้อมูลทางวิศวกรรมของวัสดุในแต่ละประเทศจึงมีความสำคัญ เพื่อการนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ทางสถิติก่อนที่จะนำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการประกอบวิชาชีพ เพื่อให้ได้มาตรฐานที่เหมาะสมกับการใช้งานออกแบบและก่อสร้างอย่างเที่ยงตรงมากที่สุดในประเทศนั้นๆ อันจะนำไปสู่มาตรฐานคุณภาพที่ดี โดยที่โครงสร้างจะมีความน่าเชื่อถือมาก เป็นการประกันความปลอดภัยจากการวิบัติ ในการใช้งานอาคารนั้นๆ ส่วนที่เกี่ยวกับความมั่นคง ปลอดภัย ของอาคารโดยตรง คือ น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง และกำลังต้านทานต่อแรงกระทำที่อาจจะเกิดขึ้นใน

อนาคตซึ่งวิศวกรโครงสร้างเป็นผู้คาดคะเนแรงกระทำเหล่านี้ การคาดคะเนแรงกระทำในนี้ถ้าไม่ครอบคลุมอย่างเพียงพอก็เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องความปลอดภัยของโครงสร้าง ดังนั้นวิธีวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างจึงได้ถูกคิดค้นขึ้น

ทฤษฎีความน่าเชื่อถือของโครงสร้างเป็นพฤติกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถอธิบายได้ตามหลักคณิตศาสตร์สถิติ และทฤษฎีกลศาสตร์ประยุกต์ประกอบกัน วิธีความวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็นวิธีใหญ่ๆ ได้ 2 วิธีคือวิธีคำตอบโดยประมาณ (Approximate Methods) และวิธีคำตอบถูกต้อง (Accurate Methods) ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างจะเกิดจากการก่อสร้าง และเกิดจากการใช้สอย โดยมีเงื่อนไขของอายุและสภาพการณ์ต่างๆ เป็นตัวกำหนดสมรรถภาพของโครงสร้าง ในกรอบของความประหยัดที่ให้ความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินทั้งในการก่อสร้างและการใช้งาน การใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือของโครงสร้างมาประยุกต์ให้เข้ากับการทำมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ ทั้งการออกแบบการก่อสร้างและการบำรุงรักษาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

สถิติการก่อสร้างโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการคิดราคา เช่น ราคาวัสดุ อัตราการก่อสร้าง การจัดอัตรากำลัง และการจัดอุปกรณ์เครื่องมือ เป็นต้น แต่ในแง่ของความน่าเชื่อถือของโครงสร้างจะเกี่ยวข้องกับมาตรฐานของวัสดุก่อสร้าง มาตรฐานการออกแบบชิ้นส่วนก่อสร้าง เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการก่อสร้าง เกณฑ์การยอมรับในการตรวจสอบ การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับกำลังวัสดุเป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุ สภาพแวดล้อม เงื่อนไขการใช้งาน เทคโนโลยี และมีมือแรงงาน มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของน้ำหนักบรรทุก และความต้านทานของโครงสร้างจึงขึ้นอยู่กับตัวแปรดังกล่าวข้างต้นหลายๆ ตัวประกอบกัน ซึ่งแต่ละตัวแปรสุ่มจะแสดงคุณลักษณะทางสถิติที่แตกต่างกัน [12] อีกทั้งการแจกแจง (distribution) ของตัวแปรสุ่มมีผลโดยตรงต่อทั้งวิธีการ และผลวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของตัวแปรสุ่มให้ถูกต้อง เพราะคุณสมบัติเชิงสถิติที่ถูกต้องและการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม จะส่งผลให้คำตอบของความน่าเชื่อถือของโครงสร้างมีความแม่นยำสูงสุด และเชื่อถือได้ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมมักมีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ดังนั้นภายหลังการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแล้ว จะต้องทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็น (probability) ภายใต้อายุหลายตัวที่มีความยุ่งยากในการคำนวณหรือวิเคราะห์มากขึ้นตามลำดับ ข้อมูลทางสถิติที่บันทึกไว้ในทุกกิจกรรมของการก่อสร้าง จะสามารถให้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ถึงความน่าเชื่อถือของโครงสร้างได้เกือบทั้งหมด และจุดเด่นที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งคือ

- **ลักษณะการกระจายของตัวเลข (Distribution)** โดยทั่วไปอาจจะเป็นกราฟรูป Normal Distribution, Lognormal, Beta Distribution หรือรูปแบบอื่น ตามตัวเลขหรือข้อมูลที่ตรวจวัดได้

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นเครื่องชี้บ่งถึงลักษณะการกระจายของตัวเลขเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยซึ่งชี้แนะถึงพฤติกรรมเชิงกลุ่มและใช้เป็นดัชนีวัดระดับคุณภาพได้

- สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (COV) เป็นดัชนีชี้บ่งถึงความแปรปรวนที่นำไปสู่การหายนัยสำคัญ โดยเฉพาะความน่าจะเป็นและ/ หรือความน่าจะเป็นวิบัติ และในทำนองกลับกันจะนำไปสู่การคำนวณหาความน่าเชื่อถือ ซึ่งเป็นการประกันความปลอดภัยให้ห่างไกลจากการวิบัติได้

- การวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลาง (Measures of Central Tendency) เป็นการหาค่ากลางเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลทั้งหมด มีประโยชน์ในการเปรียบเทียบข้อมูลชุดอื่นๆโดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลทั้งหมดของแต่ละชุด การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่นิยมกันทั่วไปมี 3 วิธี คือ มัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic Mean) มัชฌยฐาน (Median) และฐานนิยม (Mode)

- การวัดการกระจาย (Measures of Variation) เป็นการวัดว่าข้อมูลมีการกระจายต่างจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้นมากน้อยเพียงใด การวัดการกระจายที่ใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง ได้แก่ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน และสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

- ความเบ้ (Skewness) เมื่อทราบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัชฌิมเลขคณิต และมัชฌยฐานแล้ว สามารถคำนวณหาความเบ้ได้จากสูตร

$$\text{ความเบ้} = \frac{3(\text{ค่ามัชฌิมเลขคณิต} - \text{ค่ามัชฌยฐาน})}{\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน}}$$

นอกจากข้อมูลทางสถิติแล้วยังมีความจำเป็นต้องใช้สถิติอ้างอิง โดยการใช้สถิติทดสอบประเภทที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ (Nonparametric Test) ซึ่งได้แก่ การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-square Test) และการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) เพื่อใช้ในการทดสอบการแจกแจง (Type of Distribution) มาตรการออกแบบสามารถแบ่งตามวิธีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและการใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรมเชิงสถิติออกเป็น 3 ระดับ [14] ดังสรุปในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ระดับของมาตรฐานการออกแบบ [14]

ระดับมาตรฐาน	รูปแบบ	ลักษณะสำคัญ
1	มาตรฐานเชิงกำหนด (Deterministic Code)	ระดับความเสี่ยงได้ถูกกำหนดแบ่งไว้ล่วงหน้าในสูตรและขั้นตอนต่างๆ ที่ต้องใช้ออกแบบโดยคณะกรรมการร่างมาตรฐาน
2	มาตรฐานแบบกึ่งน่าจะเป็น (Semi-probabilistic Code)	<ul style="list-style-type: none"> - กำหนดตัวแปรมูลฐาน ตัวแปรเสริม และการแจกแจงที่เหมาะสมไว้ล่วงหน้า สำหรับแต่ละสภาพการณ์ - กำหนดระดับความน่าจะเป็นเกิดความวิบัติที่ยอมรับได้ สำหรับสภาวะขีดจำกัดแต่ละชนิด - การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือโดยวิธี FOSM

ตารางที่ 3.3 ระดับของมาตรฐานการออกแบบ [14] (ต่อ)

ระดับมาตรฐาน	รูปแบบ	ลักษณะสำคัญ
3	มาตรฐานแบบน่าจะเป็นเต็ม อัตรา (Fully probabilistic Code)	<ul style="list-style-type: none"> - พิจารณาความไม่แน่นอนทั้งหมดตามความเป็นจริง - กำหนดระดับความน่าจะเป็นที่จะเกิดความวิบัติที่ยอมรับได้สำหรับสภาวะขีดจำกัดแต่ละชนิด - การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือโดยวิธีคำตอบถูกต้อง หรือวิธีให้คำตอบประมาณที่สามารถให้คำตอบเป็นที่ยอมรับได้ เช่น วิธี Advanced FOSM

การเลือกระดับความปลอดภัยในการกำหนดมาตรฐานการออกแบบควรคำนึงถึงผลกระทบการวิบัติของระบบโครงสร้างต่อชีวิต ทรัพย์สิน และความรู้สึกละอายของสาธารณชน ดังสรุปในตารางที่ 3.4 ระดับความปลอดภัยอาจพิจารณาได้ทั้งในระดับโครงสร้าง หรือเฉพาะหน้าตัด หรือเฉพาะที่ ดังตารางที่ 3.5 เมื่อได้ข้อสรุปแล้วจึงพิจารณาเลือกค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับดัชนีความปลอดภัยดังสรุปในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.4 ระดับความปลอดภัย [14]

ระดับความปลอดภัย	ระดับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้
1	ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตคน และ/ หรือ มีผลต่อทรัพย์สินน้อย
2	เป็นอันตรายต่อชีวิตคน และ/ หรือ มีผลต่อทรัพย์สินอย่างเห็นได้ชัด
3	เป็นอันตรายต่อชีวิตคนเป็นจำนวนมาก และ/ หรือ มีผลต่อทรัพย์สินอย่างรุนแรง, มีผลกระทบต่อสาธารณชนอย่างกว้างขวาง

ตารางที่ 3.5 ระดับของการตรวจสอบความปลอดภัย [14]

ระดับ	R^*	\geq	S^*
โครงสร้าง	ความต้านทานของโครงสร้าง	\geq	น้ำหนักบรรทุก
หน้าตัด	ความต้านทานของหน้าตัด	\geq	ผลของแรงที่หน้าตัด
เฉพาะจุด	กำลังของวัสดุ	\geq	หน่วยแรงที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความปลอดภัย (β) และความน่าจะเป็นวิบัติ (P_f)

P_f	β	P_f	β
10^{-2}	2.33	10^{-6}	4.75
10^{-3}	3.09	10^{-7}	5.20
10^{-4}	3.72	10^{-8}	5.61
10^{-5}	4.27	10^{-9}	6.00

เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุและน้ำหนักบรรทุกที่ระบบโครงสร้างต้องแบกรับตลอดอายุการใช้งานได้แสดงถึงคุณลักษณะทางสถิติ ดังนั้นจึงอาจนิยามความปลอดภัยของโครงสร้างเชิงปริมาณในรูปของความน่าเชื่อถือ (Reliability) ว่าเป็นความน่าจะเป็นที่ผลของน้ำหนักบรรทุก (Load Effects = S) จะมีค่าไม่มากเกินกว่าความต้านทานของโครงสร้าง (Structural Resistance = R) ในทางปฏิบัตินิยมใช้พจน์สำหรับความน่าเชื่อถือว่า ความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้าง (R) จะมีค่ามากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (S) ตลอดอายุการใช้งาน สามารถเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$P_s = P_r (R > S) \quad (3.1)$$

ในทางปฏิบัติ เรานิยมนำเสนอความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง (Structural Reliability) ในรูปของพจน์เต็มเต็มของ P_s ได้แก่ ความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้าง (R) จะมีค่ามากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (S) ตลอดอายุการใช้งาน สามารถเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$P_f = P_r (R \leq S) \quad (3.2)$$

สำหรับปัญหาที่ไม่ขึ้นกับเวลา สามารถเขียนความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้าง (R) จะมีค่ามากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (S) ตลอดอายุการใช้งาน สามารถเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$P_f = \int_{D_f} f_x(x) dx \quad (3.3)$$

เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรสุ่ม X_1, X_2, \dots, X_n , $f_x(x)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Density Function) ของ X และ D_f เป็นอาณาบริเวณที่ระบบโครงสร้างเกิดการวิบัติ การคำนวณความน่าจะเป็นที่ความต้านทานของระบบโครงสร้าง (R) จะมีค่ามากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (S) ตลอดอายุการใช้งาน สามารถเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

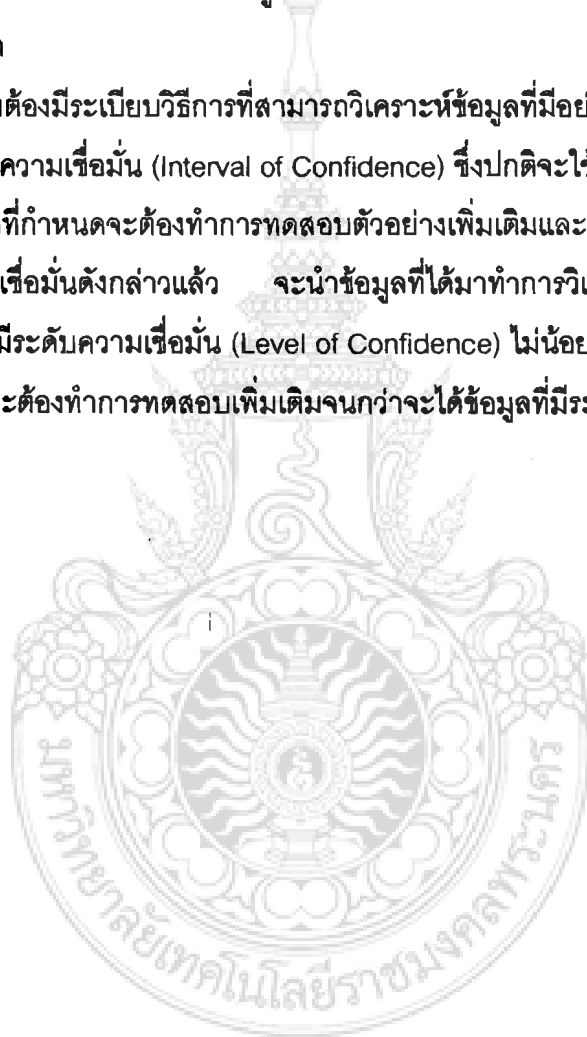
ตามความเป็นจริงแล้วพฤติกรรมของโครงสร้างขึ้นกับตัวแปรหลายตัว และอาจวิบัติด้วยเงื่อนไขที่จำกัดในรูปแบบต่างๆ เช่น เงื่อนไขด้านการใช้งาน หรือเงื่อนไขด้านความคงทน ดังนั้นการนิยามสภาวะวิบัติ (Failure State) ของระบบโครงสร้างให้ใช้ได้กว้างขวางยิ่งขึ้นในรูปของฟังก์ชันสถานะที่จำกัด (Limit-State Function) ซึ่งขึ้นกับตัวแปรมูลฐาน (Basic Variables) คือ สภาวะที่จำกัด (Limit State) ขององค์อาคารใดๆ ของโครงสร้าง ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) สภาวะที่จำกัดสำหรับความปลอดภัยของโครงสร้าง ซึ่งอาจหมายถึงการสูญเสียความสมดุลของโครงสร้างหรือองค์อาคาร ได้แก่ การขาดเสถียรภาพ (การโก่งเดาะ,) หรือการเกิดกลไกวิบัติของโครงสร้าง (การพังทลายทั้งหมด หรือการพังทลายเพียงบางส่วน เป็นต้น) หรือเกิดการแตกหักของหน้าตัดวิกฤตในรูปแบบต่างๆ เช่น การแตกหักการสูญเสียความคงทน (เช่น โดยการการร่อน) หรือการล้าของวัสดุ (เช่น การแตกหักเนื่องจากการล้า) เป็นต้น

2) สภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งานหมายถึงการเปลี่ยนรูปที่มากเกินไป (มีผลกระทบต่อความสามารถในการใช้งาน) ได้แก่ การเกิดรอยแตกเพิ่มขึ้น การแกว่งหรือสั่นอย่างเห็นได้ชัด การสูญเสียความคงทน (เช่น ไม่สามารถรับผลของการซึมผ่านของน้ำ และ/หรือ การแข็งตัวของน้ำ) หรือความเสียหายที่เห็นด้วยตาอย่างชัดเจน (เช่น การโก่งตัวอย่างเห็นได้ชัด)

3) สภาวะขีดจำกัดในรูปแบบอื่นๆจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างจะมีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ ฐานข้อมูล การกำหนดสภาวะขีดจำกัด และการคำนวณความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง โดยจะพบว่าข้อมูลทางวิศวกรรมสำหรับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือนั้นจะต้องมีจำนวนมาก

ดังนั้นจึงต้องมีระเบียบวิธีการที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการกำหนดช่วงแห่งความเชื่อมั่น (Interval of Confidence) ซึ่งปกติจะใช้ที่ระดับไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 ถ้ามีค่าน้อยกว่าที่กำหนดจะต้องทำการทดสอบตัวอย่างเพิ่มเติมและเมื่อจำนวนข้อมูลที่ทดสอบอยู่ในช่วงแห่งความเชื่อมั่นดังกล่าวแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาภาวะเข้าสู่สภาวะ โดยยอมรับข้อมูลที่มีระดับความเชื่อมั่น (Level of Confidence) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ซึ่งถ้าต่ำกว่าระดับดังกล่าวจะต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมจนกว่าจะได้ข้อมูลที่มีระดับความเชื่อมั่น



บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย (Materials and Research Methods)

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย

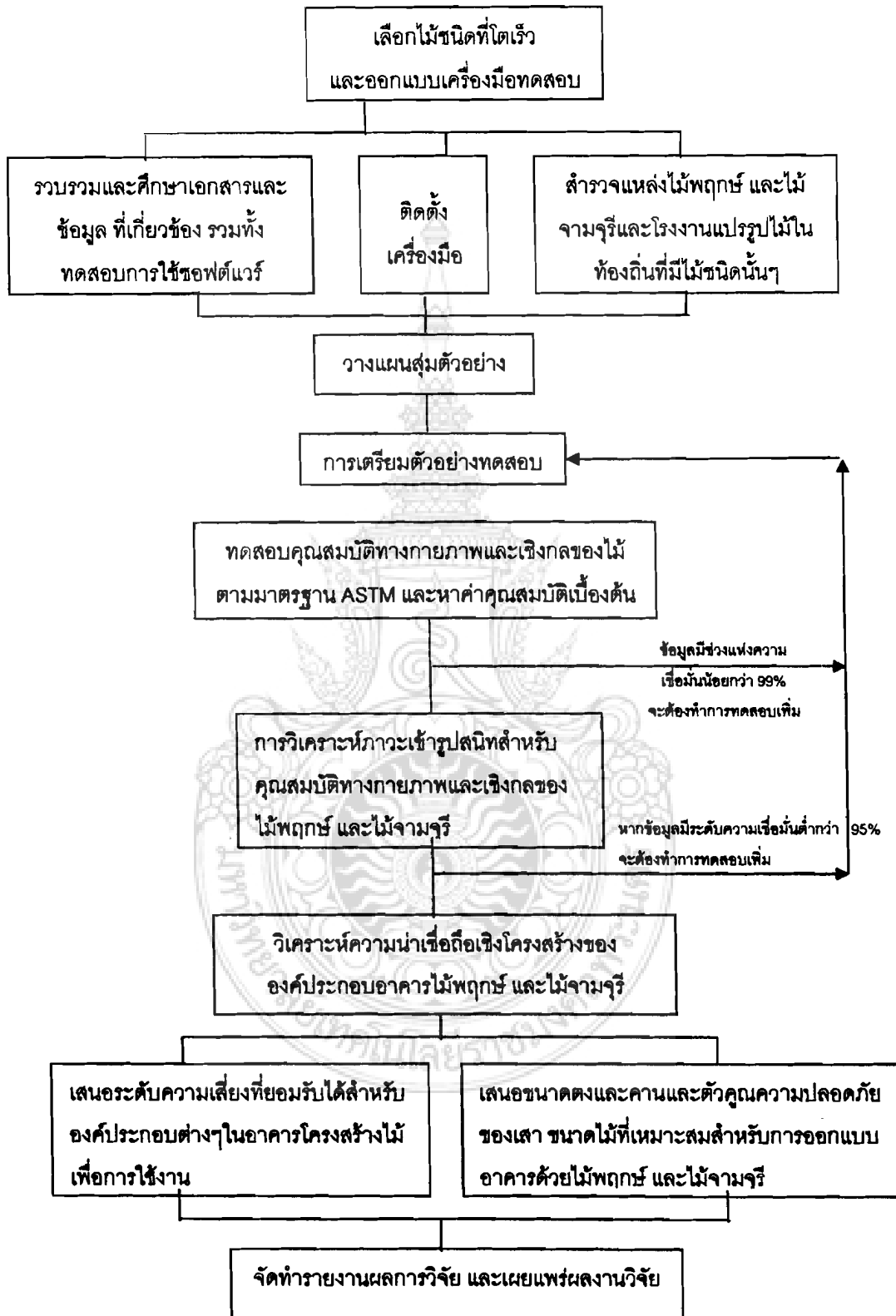
- ไม้พฤกษ์ และไม้จามจรี จำนวนชนิดละ 35 ลูกบาศก์ฟุต โดยไม้ที่เลือกมาทดสอบจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นไม้ต่ำกว่า 12 นิ้ว ความสูงไม้ต่ำกว่า 8 เมตร¹ และนำมาแปรรูปตามขนาดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM [23] ดังแสดงในตารางที่ 1 และเลือกเฉพาะส่วนที่อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย ตรงไม่มีดงอไม่มีรอยแตกไม่มีตำไม้หรือผ่านการใช้งานมาก่อน
- ซอฟต์แวร์ WCCAL [8-10] สำหรับใช้วิเคราะห์ทางสถิติ และเขียนแบบ

4.2 ขั้นตอนและวิธีการ

1. รวบรวมและศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งทดสอบการใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางสถิติ
2. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ
3. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้พฤกษ์และไม้จามจรีตามมาตรฐาน ASTM D143 [23]
4. วิเคราะห์เชิงสถิติเบื้องต้นและการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้พฤกษ์ และไม้จามจรี
ถ้าข้อมูลมีช่วงแห่งความเชื่อมั่น (Interval of Confidence) น้อยกว่าร้อยละ 99 จะต้องทำการทดสอบตัวอย่างเพิ่มเติมเมื่อจำนวนข้อมูลที่ทดสอบอยู่ในช่วงแห่งความเชื่อมั่นดังกล่าวแล้วจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาภาวะเข้ารูปสนิท โดยถ้าข้อมูลมีระดับความเชื่อมั่น (Level of Confidence) ต่ำกว่าร้อยละ 95 จะต้องทำการทดสอบเพิ่มจนกว่าจะได้ค่าที่ระดับดังกล่าว
5. วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างขององค์ประกอบอาคารไม้พฤกษ์ และไม้จามจรี
6. เสนอระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้สำหรับองค์ประกอบต่างๆ ในอาคารโครงสร้างไม้พฤกษ์ และไม้จามจรี เพื่อการใช้งานทางสถาปัตยกรรม และวิศวกรรม
7. เสนอขนาดที่เหมาะสมของตงและคานและตัวคุณความปลอดภัยของเสา สำหรับการออกแบบอาคารด้วยไม้พฤกษ์ และไม้จามจรี
8. จัดทำรายงานผลการวิจัย และเผยแพร่ผลงานวิจัย

¹ ฤกษ์รัชย์ ทิพย์ปลุกและคณะ, "การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและทางกายภาพของไม้สนประดิษฐ์"โครงการงานการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยรังสิต, 2542.

ผังการดำเนินงาน



4.3 การทดสอบและวิเคราะห์เชิงสถิติคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

4.3.1 การเก็บข้อมูล

1. รวบรวมคุณสมบัติเชิงสถิติ เกี่ยวกับน้ำหนักบรทุกจร
2. รวบรวมทฤษฎี มาตรฐานการทดสอบ งานวิจัย และเอกสารที่เกี่ยวข้อง
3. รวบรวมข้อมูลทางวิศวกรรม เกี่ยวกับน้ำหนักบรทุก และข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไม้ พฤษ และไม้จามจุรี
4. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานการทดสอบ มาตรฐานการออกแบบ วิธีการใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางสถิติ และวิธีการใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ

4.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของไม้

ลำดับ	รายการทดสอบไม้	ขนาดตัวอย่างทดสอบ (นิ้ว)	ปริมาตร/ชิ้น (ลบ.ฟุต)
1	การรับแรงดัดของไม้ (Static Bending)	2 × 2 × 30	0.069
2	การรับแรงอัดในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ (Compression Parallel to Grain)	2 × 2 × 8	0.019
3	การรับแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเส้นของเนื้อไม้ (Compression Perpendicular to Grain)	2 × 2 × 6	0.014
4	การรับแรงดึงในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ (Tension Parallel to Grain)	1 × 1 × 30	0.017
5	การรับแรงดึงในแนวตั้งฉากกับเส้นของเนื้อไม้ (Tension Perpendicular to Grain)	2 × 2 × 2.5	0.006
6	ความเหนียวของเนื้อไม้ (Toughness)	0.79 × 0.79 × 11	0.004
7	ความแข็งของเนื้อไม้ (Hardness)	2 × 2 × 6	0.014
8	การรับแรงเฉือนในแนวขนานกับเส้นของเนื้อไม้ (Shear Parallel to Grain)	2 × 2 × 2.5	0.006
9	การรับแรงฉีกของเนื้อไม้ (Cleavage)	2 × 2 × 3.75	0.009
10	หน่วยน้ำหนักจำเพาะ และการหดตัวของเนื้อไม้ (Specific Gravity and Shrinkage in Volume)	2 × 2 × 6	0.014
11	การหดตัวในแนวรัศมี และในแนววงปี (Radial and Tangential Shrinkage)	1 × 4 × 1	0.002

4.3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

ไม้พฤษ และไม้จามจุรีที่นำมาใช้ในการทดสอบจะใช้ไม้ที่มีอายุประมาณ 10 - 15 ปี ลักษณะลำต้นตรง สูงมากกว่า 8 เมตร ขึ้นไปโดยนำไม้ที่ทำการสุ่มตัวอย่างมาทำการแปรรูปสำหรับการทดสอบ แล้วนำไปอบเพื่อให้เหลือความชื้นที่ร้อยละ 12 แล้วจึงนำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM [23] โดยในการทดสอบไม้ถ้าผลการทดสอบที่ได้มีช่วงแห่งความเชื่อมั่น (Interval of Confidence) น้อยกว่าร้อยละ 99 จะต้องทำการทดสอบตัวอย่างเพิ่มเติม เมื่อจำนวนข้อมูลที่ทดสอบอยู่ในช่วงแห่งความเชื่อมั่นดังกล่าวแล้วจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาภาวะเข้าสู่รูปสนิท โดยถ้าข้อมูลมีระดับความเชื่อมั่น (Level of Confidence) ต่ำกว่าร้อยละ 95 จะต้องทำการทดสอบเพิ่มจนกว่าจะได้ค่าที่ระดับดังกล่าว

4.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้พฤษและไม้จามจุรีประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และรูปแบบการแจกแจงต่อเนื่อง (Type of Distribution) ที่เหมาะสม โดยรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมจะใช้ค่าไคกำลังสอง (Chi - Square) ซึ่งอาศัยหลักการเปรียบเทียบการแจกแจงของข้อมูลตัวอย่างกับการแจกแจงที่ต้องการทดสอบ และพิจารณาความคลาดเคลื่อนระหว่างความถี่ของข้อมูลตัวอย่างที่เกิดขึ้นจริงกับความถี่ที่เกิดจากการแจกแจงภายใต้สมมุติฐานว่าง (Null Hypothesis) ดังสมการที่ 4.1 และจะยอมรับชนิดของการแจกแจงนั้นก็ต่อเมื่อค่าไคกำลังสองมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติที่ระดับความเชื่อมั่น (Confident Interval) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดที่ร้อยละ 95 และการทดสอบโคโลโมโกรอฟ - สเมียร์นอฟ (Kolmogorov - Smirnov) ซึ่งเป็นวิธีการเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ของตัวอย่างกับ CDF ของการแจกแจงที่เหมาะสม ดังแสดงในสมการที่ 4.2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (4.1)$$

เมื่อ O_i = ความถี่ที่เกิดขึ้นจริง

E_i = ความถี่ที่เกิดจากการสมมติการแจกแจง

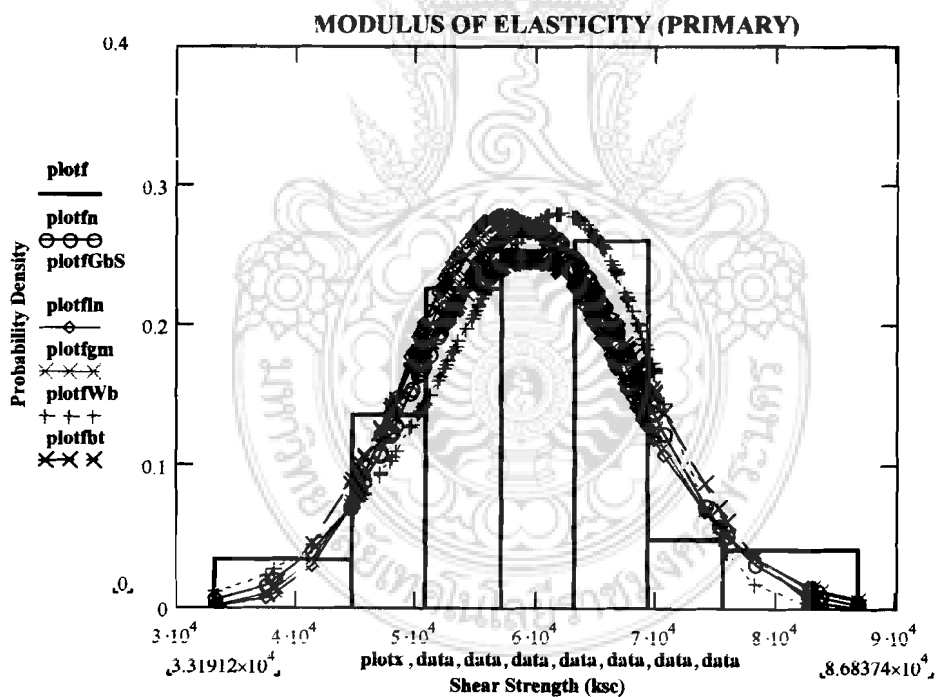
$$D = \text{Max } |F(x) - S(x)| \quad (4.2)$$

เมื่อ $F(x)$ = CDF ที่ตำแหน่ง x ของข้อมูล

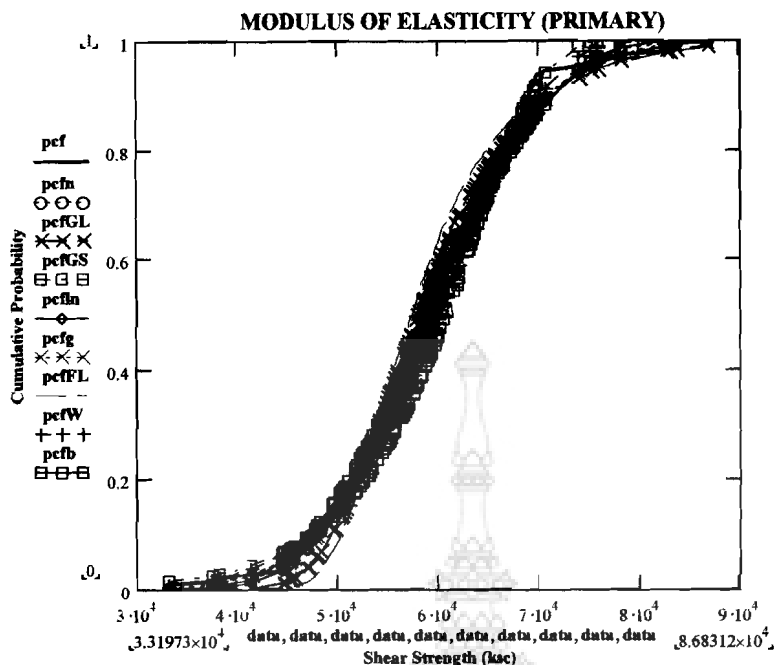
$S(x)$ = CDF ที่ตำแหน่ง x ของการแจกแจงที่คาดไว้

การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-square Test) และการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogolov-Smirnov Test) ซึ่งการทดสอบทั้ง 2 ชนิด เป็นการทดสอบที่ใช้พารามิเตอร์ การทดสอบการแจกแจงนี้บางที เรียกว่า การทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท (Goodness-of-Fit Test) การทดสอบไคกำลังสองมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่และระดับของข้อมูล กล่าวคือความถี่ที่ควรจะเป็นจะต้องไม่ต่ำกว่า 5 และจำนวนกลุ่มของข้อมูลจะต้องไม่น้อยกว่า 2 ชั้น

เนื่องจากข้อมูลไม่มีความหลากหลาย หลายประเภทมีลักษณะการแจกแจงแบบค่าปลายสุด (Extreme-valued distributions) จึงไม่สามารถใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ CESTTEST (Civil Engineering Statistical Test) [12] เพื่อหาคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้ต่างๆ ดังตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองและโคลโมโกรอฟ – สเมียร์นอฟ ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบการทดสอบโคลโมโกรอฟ – สเมียร์นอฟ

โปรแกรม CESTTEST ให้ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถืออันได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และรูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสมซึ่งมี 11 แบบประกอบด้วย การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) การแจกแจงเอกรูป (Uniform Distribution) การแจกแจงเลขชี้กำลัง (Exponential Distribution) การแจกแจงเรย์ลีย์ (Rayleigh Distribution) การแจกแจงค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล (Gumbel Type I (Largest) Distribution) การแจกแจงค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล (Gumbel Type I (Smallest) Distribution) การแจกแจงแบบลอการิทึม (Lognormal Distribution) การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution) การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเชต์ (Frechet Type II (Largest) Distribution) การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ (Weibull Type III Distribution) และการแจกแจงบีตา (Beta Distribution)

4.4 ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผันของความต้านทานเชิงโครงสร้าง (Limit Coefficient of Variation of Structural Resistance)

คุณสมบัติทางสถิติด้านการกระจายตัว (Dispersion) การแจกแจง (Distribution) ของตัวแปรสุ่ม (Random Variable) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation: มีอิทธิพลและไวต่อการให้ผลคำตอบของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง

จากการศึกษาที่ผ่านมาในเรื่องการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้เนื้ออ่อนโดยการใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมในประเทศไทยพบว่าหน้าตัดของโครงสร้างไม้ที่ออกแบบโดยอาศัยหลักความน่าจะเป็นนั้น มีขนาดหน้าตัดใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็วมากตามการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้แนวโน้มความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นนี้เมื่อนำมาขยายผลกับระบบโครงสร้างทั่วไปอาจจะทำให้ศึกษาพบถึงขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผันของความต้านทานเชิงโครงสร้าง ที่จะทำให้ระบบโครงสร้างยังคงความน่าเชื่อถือ (Reliability) ภายใต้สภาพการแบกรับน้ำหนักบรรทุก

4.5 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างขององค์อาคาร

4.5.1 แนวความคิดพื้นฐานของความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง

ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (Structural Safety : p_s) อาจนิยามในรูปความน่าเชื่อถือว่าความน่าจะเป็นที่ผลของน้ำหนักบรรทุก (Load Effects : S) จะมีค่าไม่มากเกินไปกว่าความต้านทานเชิงโครงสร้าง (Structural Resistance : R)

$$p_s = P_r(R-S > 0) \quad (4.3)$$

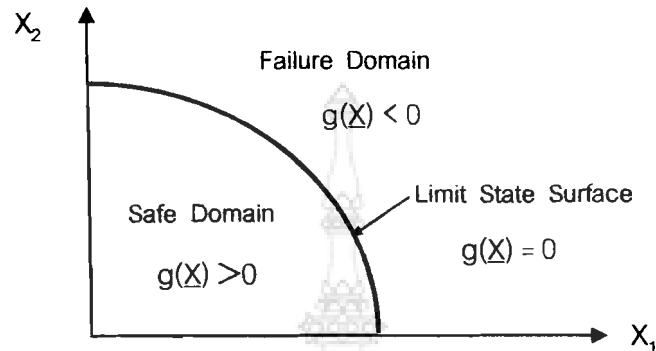
ในทางปฏิบัตินิยมใช้พจน์เต็มเต็มสำหรับความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างได้แก่ความน่าจะเป็นการวิบัติ (Failure Probability : p_f) แทนความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง

$$\begin{aligned} p_f &= 1 - p_s \\ &= P_r(R-S \leq 0) \end{aligned} \quad (4.4)$$

โดยความเป็นจริงแล้วระบบโครงสร้างประกอบด้วยตัวแปรหลายตัวรวมกัน ซึ่งอาจมีหรือไม่มี ความสัมพันธ์ต่อกัน (Correlation) อีกทั้งโครงสร้างอาจวิบัติด้วยเงื่อนไขขีดจำกัดได้หลายรูปแบบ เช่น สภาวะขีดจำกัดเชิงประลัย (Ultimate Limit States) สภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งาน (Serviceability Limit States) เป็นต้น ดังนั้นสภาวะวิบัติของโครงสร้างจึงอาจสามารถนิยามในรูปของฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดของตัวแปรสุ่ม (X) ได้ดังสมการที่ 4.5

$$g(X) = R - S \quad (4.5)$$

ในกรณีนี้ $g(X) < 0$ หมายถึงสภาวะวิบัติ และจะหมายถึงสภาวะปลอดภัยในกรณีที่ $g(X)$ มีค่าอื่น ซึ่งผิวของอาณาบริเวณที่ปลอดภัย (Safe Domain : D_s) และผิวของอาณาบริเวณวิบัติ (Failure Domain : D_f) จะถูกแยกจากกันด้วยสภาวะขีดจำกัด (Limit State) ที่ $g(X) = 0$ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อาณาบริเวณวิบัติและปลอดภัยในกรณีตัวแปรสุ่ม 2 ตัว (Ouyornprasert, 1988)

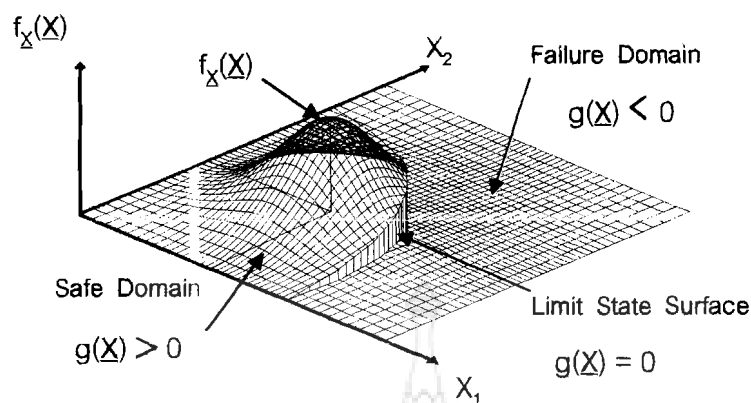
เมื่อ R และ S ถูกนิยามเป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น (Probability Density Function) ถูกแทนด้วย f_R และ f_S ตามลำดับ ความน่าจะเป็นของการวิบัติ จึงหาได้จากการหาปริพันธ์ (Integral) ของฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วมบนบริเวณที่เกิดการวิบัติ ดังสมการที่ 4.6

$$\begin{aligned}
 p_f &= P_f(R \leq S) \\
 &= P_f(R - S \leq 0) \\
 &= \int_{D_f} f_{R,S}(r,s) dr ds
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

หาก R และ S ถูกแทนได้มากกว่าสองตัวแปรและฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดอาจมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นความน่าจะเป็นของการวิบัติจึงอาจอธิบายในรูปการหาปริพันธ์ได้ดังสมการที่ 4.7

$$P_f = \int_{D_f} f_x(x) dx \tag{4.7}$$

โดยที่ $f_x(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นรวมสำหรับตัวแปร X_1, X_2, \dots, X_n ซึ่งในกรณีสองตัวแปรจะหมายถึง การหาปริพันธ์ของฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วมในบริเวณที่เกิดการวิบัติ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาตรภายใต้ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วม (Ouyornprasert, 1988)

ในทางปฏิบัติการหาปริมาตรให้ถูกต้องโดยวิธีปริพันธ์สังวัตนาการ (Convolution Integrals) ในรูปแบบหลายมิติอาจไม่สามารถทำได้โดยง่ายเนื่องจากขอบเขตการหาปริพันธ์และฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นร่วมมีความซับซ้อนมาก และจะใช้แก้ปัญหาได้ดีในกรณีมิติต่ำ ๆ เท่านั้น จึงเป็นเหตุให้มีวิธีการหาค่าปริพันธ์ในรูปเชิงวิเคราะห์หรือตัวเลข โดยรายละเอียดอาจศึกษาเพิ่มเติมในอ้างอิง [29]

4.5.2 โอกาสน่าจะมีการวิบัติกรณีความปลอดภัยและตัวคูณความปลอดภัย

เมื่อ R และ S ถูกพิจารณาให้เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ ซึ่งอาจแทนคุณลักษณะทางสถิติได้ด้วย $N(\mu_R, \sigma_R)$ และ $N(\mu_S, \sigma_S)$ ตามลำดับ ในกรณีปัญหาสองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.5 ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดจะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Relation) และมีการกระจายแบบปกติ โดยค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด (μ_g) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_g) สามารถหาได้จากสมการที่ 4.8 และ 4.9

$$\mu_g = \mu_R - \mu_S \quad (4.8)$$

$$\sigma_g = \sqrt{(\sigma_R)^2 + (\sigma_S)^2} \quad (4.9)$$

ณ ที่สถานะวิบัติ $g(X) = 0$ ความน่าจะมีการวิบัติสามารถหาได้จากค่าการกระจายปกติแบบมาตรฐาน (Standard Normal Variate ; β) ดังสมการที่ 4.10

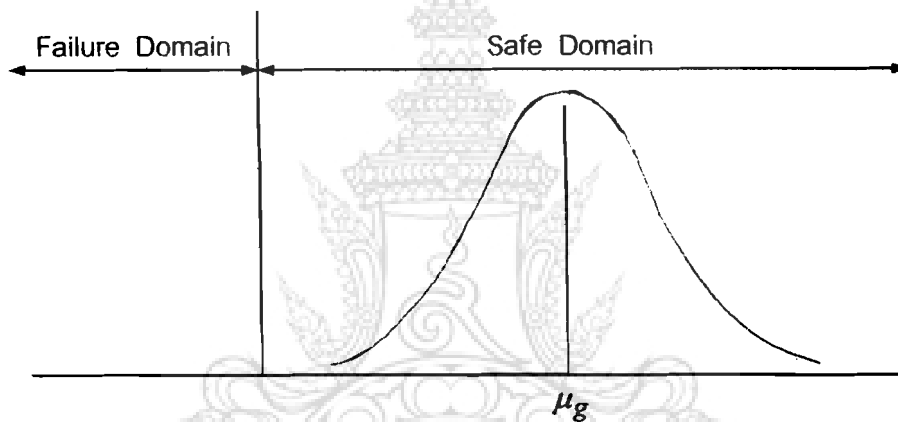
$$p_f = \Phi\left(\frac{0 - \mu_g}{\sigma_g}\right) \quad (4.10)$$

$$p_f = \Phi(-\mu_g/\sigma_g)$$

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad (4.11)$$

$$p_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (4.12)$$

โดยที่ $\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g}$ คืออัตราส่วนความปลอดภัย และ $\Phi(\bullet)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงปกติแบบมาตรฐาน



รูปที่ 4.5 ระยะห่างระหว่างค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดกับสถานะวิบัติ

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า β มีความหมายเป็นระยะห่างจากค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดไปยังสถานะวิบัติ โดยค่า β ที่สูงขึ้นหมายถึงการลดลงของความหนาแน่นได้โค้งในอาณาบริเวณวิบัติ ซึ่งความหนาแน่นดังกล่าวคือ ความน่าจะเป็นวิบัติของระบบโครงสร้าง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าระบบโครงสร้างมีความเสี่ยงลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ β

สำหรับวิธีการคำนวณความปลอดภัยของระบบโครงสร้าง โดยไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนของวัสดุโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุก มักจะพิจารณาให้ R และ S เป็นค่าเชิงกำหนดหรือค่าคงที่ อัตราส่วนของค่าเฉลี่ย R และ S จะถูกนิยามเป็นตัวคูณความปลอดภัย

$$FS = \frac{\mu_R}{\mu_S} \quad (4.13)$$

4.5.3 ความต้านทานเชิงโครงสร้าง

4.5.3.1 ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดและตรรกะความปลอดภัย

ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดของ R และ S ในสมการที่ 4.10 สามารถนิยามความสัมพันธ์ในรูป β ที่แสดงในสมการที่ 4.12 ได้ดังนี้

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{(\sigma_R)^2 + (\sigma_S)^2}} \quad (4.14)$$

โดยที่ μ_R และ σ_R คือ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R ที่มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วน μ_S และ σ_S คือ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ S ที่มีการแจกแจงแบบปกติ

4.5.3.2 ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน

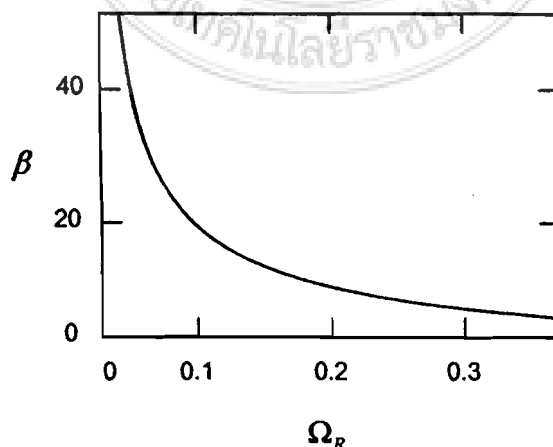
เมื่อพิจารณาให้ S มีการแปรผันน้อยมากจนถือว่าเป็นค่าคงที่ ($\sigma_S \approx 0$) หากแทนค่า $\Omega_R = \frac{\sigma_R}{\mu_R}$ ลงในสมการที่ 4.14 และจัดเรียงความสัมพันธ์ใหม่จะได้ดังผลในสมการที่ 4.15

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sigma_R}$$

$$\mu_S = \mu_R (1 - \beta \Omega_R) \quad (4.15)$$

ด้วยข้อเท็จจริงที่น้ำหนักบรรทุกจะไม่เป็นค่าลบ สมการที่ 4.15 จึงแสดงให้เห็นว่าจะต้องมีค่าของ Ω_R ที่จะทำให้ผลของพจน์ในวงเล็บมีค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้คือ ศูนย์ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถเขียนความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่าง β กับ Ω_R เพื่อหาค่าขีดจำกัดของ Ω_R ได้ดังสมการที่ 4.16 และรูปที่ 4.6

$$\beta = \frac{1}{\Omega_R} \quad (4.16)$$

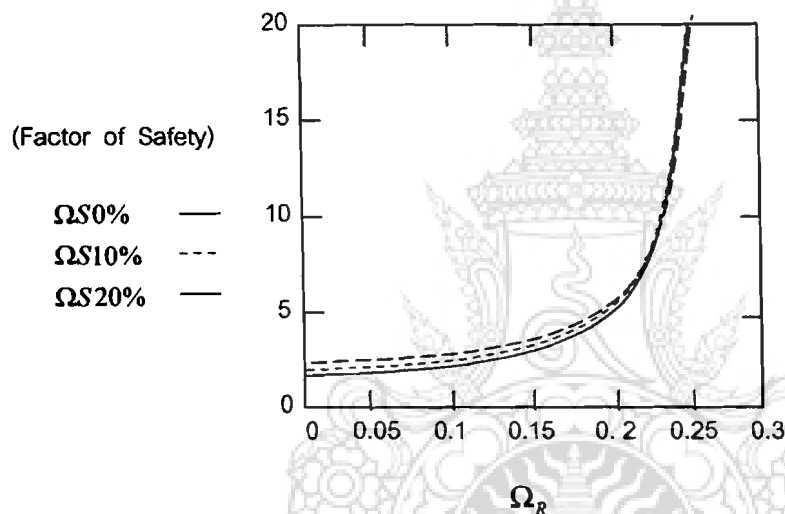


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง β และ Ω_R ที่มี R แจกแจงแบบปกติ

โดยแท้จริงแล้วน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำต่อโครงสร้างมีการแปรผัน จึงไม่อาจจะละเลยผลของความไม่แน่นอนนี้ได้ สมการที่ 4.17 เมื่อแทนด้วย $\Omega_R = \frac{\sigma_R}{\mu_R}$, $\Omega_S = \frac{\sigma_S}{\mu_S}$, และ $FS = \frac{\mu_R}{\mu_S}$ สามารถจัดเรียงความสัมพันธ์ระหว่าง β , FS , Ω_R และ Ω_S ได้ดังนี้

$$FS - 1 = \beta \sqrt{FS^2 (\Omega_R)^2 + (\Omega_S)^2} \quad (4.17)$$

จากสมการที่ 4.17 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ω_R และ FS ที่ $\beta = 4.753$ ($p_f = 10^{-6}$) โดยการแปรผัน Ω_S ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ω_R และ FS ที่ $P_f = 10^{-6}$

รูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า F_S จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของ Ω_R ในขณะที่ผลกระทบของ Ω_S จะลดลงอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของ Ω_R และจะหายไปเมื่อ Ω_R เข้าใกล้ขีดจำกัด โดยความเป็นจริงแล้วทั้ง R และ S อาจมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (Non-normal Distribution) การแจกแจงของ R มักมีลักษณะเฉพาะตามคุณสมบัติของวัสดุ ส่วนการแจกแจงของ S จะมีลักษณะตามพฤติกรรมของการกระทำ ลักษณะการแจกแจงที่สำคัญได้แก่ การแจกแจงแบบแกมมา (Gamma Distribution) การแจกแจงแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution) และการแจกแจงแบบลอการิทึม (Lognormal Distribution) เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแตกต่างกันไปจากการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงการแจกแจงให้เทียบเท่ากับการแจกแจงแบบปกติ (Equivalent Normal) เพื่อเป็นประโยชน์ในการหาขีดจำกัดของ Ω_R ซึ่งจะสามารถนำไปหาความสัมพันธ์เชิงผกผันกับค่า β ในบริบทปกติแบบมาตรฐาน

(Standard Normal Space) ได้โดยวิธีการนี้จะได้อัตราความน่าจะเป็นของ Ω_R และค่า β ตามชนิดการแจกแจง ดังเช่น ที่ระดับความเสี่ยง 10^{-6} การแจกแจงแบบปรกติจะให้ค่าขีดจำกัดของ Ω_R เป็น 0.210 ขณะที่การแจกแจงแบบลอกปรกติจะให้ค่าขีดจำกัดเป็น 0.120 เป็นต้น

4.5.4 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างของไม้จามจรีและไม้พฤษภ

การวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้จามจรีและไม้พฤษภที่มีความสูงของโครงสร้างไม่เกิน 2 ชั้น และมีความสูงระหว่างชั้น 3.00 เมตร สำหรับการใช้งานของอาคาร 3 ประเภท คือที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน นำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการออกแบบตามเทศบัญญัติ คือ 150 250 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับอาคารแต่ละประเภทตามลำดับ เมื่อได้ชนิดของการแจกแจงที่เหมาะสมจากโปรแกรม CESTTEST [12] จึงนำไปวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือตามรายการคำนวณที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 2517 [15] สำหรับอาคารไม้ โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นไปตามสภาวะขีดจำกัดของโครงสร้างที่พิจารณา และจะได้ค่าตัวคูณความปลอดภัย Factor of Safety (FS) ซึ่งจะเป็นค่าที่นำไปใช้ออกแบบหาขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้ ตง คาน และเสา ในขณะเดียวกันเมื่อใช้ซอฟต์แวร์ WCCAL [8-10] ค่าคำนวณออกแบบก็จะให้คำตอบที่ตรงกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงสำหรับตัวแปรสุ่มเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์หาการแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือการทดสอบด้วย Probability Paper และการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบการแจกแจงด้วย Probability Paper มีขั้นตอนดังนี้

1. จัดเรียงลำดับตำแหน่งข้อมูลจากค่าน้อยไปหาค่ามาก
2. หาค่าฟังก์ชันการแจกแจงเหมาะสม (Cumulative Distribution Function: CDF)
3. นำค่า CDF และค่าข้อมูลกำหนดลงใน Probability Paper ของการแจกแจงที่ต้องการทดสอบ
4. หากความสัมพันธ์ระหว่าง CDF และค่าข้อมูลสามารถแทนด้วยเส้นตรงแสดงว่าตัวแปรสุ่มนั้นมีการแจกแจงเป็นชนิดเดียวกับการแจกแจงตาม Probability Paper

4.6 ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดขององค์อาคาร (Limit State Function)

การวิบัติของโครงสร้างจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่จะมากระทำกับโครงสร้าง และกำลังต้านทานของโครงสร้าง โดยที่สภาวะของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแทนด้วย (S) และกำลังต้านทานของโครงสร้างจะแทนด้วย (R) โอกาสที่โครงสร้างจะวิบัติจะขึ้นอยู่กับการกระจายแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ระดับน้อยกว่ากำลังของโครงสร้างเสมอ แต่ถ้า

น้ำหนักบรรทุก (S) มีค่ามากกว่ากำลังต้านทานของโครงสร้าง (R) ก็จะทำให้เกิดโอกาสวิบัติของโครงสร้างได้ รูปแบบฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดโดยทั่วไปแสดงได้ดังนี้

ก. ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดเชิงประลัย (Ultimate Limit State) กรณีของตงและคาน รับแรงดัด (Bending)

$$g(X) = R - S \quad (4.18)$$

เมื่อ X คือ ตัวแปรสุ่ม(Random Variable)

และ R คือ ความต้านทานของโครงสร้าง (Structural Resistance) ขึ้นอยู่กับขนาดขององค์อาคารที่สามารถรับแรงดัดได้อย่างปลอดภัยดังสมการที่ 4.19

$$R = F_b = \frac{f_r}{FS} \quad (4.19)$$

เมื่อ f_r คือ ค่าโมดูลัสแตกหัก(Modulus of Rupture) ที่ได้จากการทดสอบแรงดัด

FS คือ ตัวคูณความปลอดภัย

และ F_b คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (Allowable Bending Stress)

โดยที่ S คือ ผลของแรง(โมเมนต์ดัด)ที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังสมการที่ 4.20

$$S : f_b = \frac{6M}{bd^2} \quad (4.20)$$

โดยที่ f_b คือ หน่วยแรงดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

ข. ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งาน (Serviceability Limit State)

กรณี ของตงและคานรับแรงเฉือน (Shear Strength)

$$g(X) = F_h - f_h \quad (4.21)$$

เมื่อ F_h คือ หน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยนที่ยอมให้จากการทดสอบ ; $\left(\frac{F_h}{FS}\right)$

และ f_h คือ หน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยนที่เกิดขึ้นจริง ; $\left(\frac{3(V)}{2bd}\right)$

กรณี ของตงและคาน เกิดการโก่งตัวในแนวตั้ง (Deflection)

$$g(X) = \Delta_{Limit} - \Delta_{Max} \quad (4.22)$$

พิจารณา ตงและคานมีฐานรองรับแบบธรรมดา (Simply Supported)

$$\text{เมื่อ } \Delta_{\text{Limit}} = \text{พิกัดของการโก่งตัวที่ยอมให้} ; \left(\frac{L}{360}\right)$$

$$\text{และ } \Delta_{\text{Max}} = \text{ค่าการโก่งตัวมากที่สุดของตงและคานโดยพิจารณาน้ำหนัก} \\ \text{บรรทุกแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ} ; \frac{5wL^4}{384EI}$$

ค. ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดเชิงประลัย (Ultimate Limit State)

กรณี ของเสาเมื่อเกิดการโก่งเดาะตามสมการของออยเลอร์ (Euler's Formula)

$$g(X) = R - S \quad (4.23)$$

เมื่อ R คือความต้านทานของโครงสร้างขึ้นอยู่กับขนาดขององค์อาคารที่สามารถรับแรงอัดได้อย่างปลอดภัยดังสมการที่ 4.24

$$R = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (4.24)$$

เมื่อ R คือ กำลังรับน้ำหนักวิกฤตของเสาที่โก่งเดาะในช่วงอิลาสติก (P_{cr})

และ S คือ ผลของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง น้ำหนักวิกฤต (P_o) ตามแนวแกนของเสา

หรือพิจารณาให้ R เป็นหน่วยแรงอัดวิกฤตเฉลี่ยสามารถหาได้จากสมการที่ 4.25

$$\frac{P_o}{A} = \frac{\pi^2 E}{12 \left(\frac{L}{d}\right)^2} \quad (4.25)$$

นำฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดจำกัดทั้งหมด 4 กรณี ไปประมวลผลหาขนาดองค์อาคารตามขั้นตอนการออกแบบในภาคผนวก ก ซึ่งให้คำตอบเท่ากันเมื่อออกแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ WCCAL [8-10] บนพื้นฐานของข้อมูลทางวิศวกรรมในประเทศไทย

บทที่ 5

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไม้ที่นำมาทดสอบ (General Data of Tested Materials)

5.1 ไม้พฤษ

5.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของไม้

ต้นพฤษ ชื่อสามัญ : Indian Walnut, Labbeck Tree

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Albizia lebbeck (L.) Benth.

ชื่อวงศ์ : LEGUMINOSAE - MIMOSOIDEAE

ชื่ออื่น : มะขามโคก มะขามป้า (นครราชสีมา)กะซึก ถ่อนนา ตืด (เลย) กาแซ กาไฟ แก้วระ (สุราษฎร์ธานี) ตะโก ก้ามปู พฤษ ชูรุง (ภาคกลาง) จเร(ปราจีนบุรี) จ้าขาม(ภาคเหนือ) กระพี้เขาควาย (เพชรบุรี) พฤษกระบุก(อัญประเทศ)

ลักษณะทั่วไป ลำต้น : ไม้ยืนต้นไม้ผลัดใบขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงถึง 20-30 เมตร เรือนยอดเป็นรูปร่มแผ่กว้างเนื้อไม้สีน้ำตาลเข้มเป็นมันเลื่อมมีสีเส้นอ่อนเนื้อหยาบสม่ำเสมอแข็งแรงปานกลาง ดอก : เป็นช่อกลม 1-4 ช่อตามง่ามใบ ดอกสีขาวมีกลิ่นหอมกลีบเลี้ยงติดกันคล้ายรูปแตรกลีบดอกติดกันเป็นหลอดปลายแยกเป็นห้าแฉก

ผล : เป็นฝักรูปบรรทัดแบน บางขนาด 2.3 – 5x 10-30 เซนติเมตร สีเทาอมเหลืองหรือสีฟางข้าวเกลี้ยง เมล็ดจำนวน 4-12 เมล็ด รูปไขว้นูนขึ้นมาชัดเจนบริเวณรอบเมล็ดเป็นแอ่ง

ใบ : ใบประกอบแบบขนนกสองชั้นปลายคู่ ช่อใบแขนงด้านข้าง 2-4 คู่ ช่อใบแขนงแต่ละคู่มีใบย่อย 4-9 คู่ ใบย่อยรูปรีถึงรูปขอบขนานหรือรูปรีแกมรูปไข่กลับขนาด 1-2.5x2.2-4 เซนติเมตร ฐานใบกลมหรือเบี้ยว ปลายใบมนหลังใบเกลี้ยงท้องใบมีขนละเอียดบริเวณเส้นกลางใบ

การกระจายพันธุ์ : ขึ้นได้ดีในพื้นที่เสื่อมโทรมเป็นไม้เบิกนำที่ตี พบขึ้นอยู่ตามป่าเบญจพรรณทั่วทุกภาคของประเทศไทย

การขยายพันธุ์ : ขึ้นได้ในดินร่วนปนทราย ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด หรือตอนกิ่ง

ประโยชน์ ใช้งาน : ยอดอ่อนและช่อดอกรับประทานได้มีรสมันเนื้อไม้แห้งลายไม้สวยใช้ทำสิ่งปลูกสร้างเครื่องมือทางการเกษตรเปลือกให้น้ำฝาดใช้พอกหนัง

เปลือก : เปลือกนอกขรุขระ สีเทาแก่ หรือสีน้ำตาลอมเหลือง มีรสฝาด ใช้รักษาแผลในปาก ลำคอ เหงือก รักษาโรคผิวหนังทวารหนักแก้ท้องร่วงห้ามโลหิตตกใน

ใบอ่อน : ใช้ต้บพิษร้อนทำให้เย็นรับประทานได้โดยนำมาลวกหรือต้มจิ้มน้ำพริกหรือใช้เป็นผักแกง

เมล็ด : รักษาโรคผิวหนัง รักษากลากเกลื้อนและโรคเรื้อนอินเดียใช้ทำยารักษาเยื่อตาอักเสบ

5.2 ไม้จามจรี

5.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของไม้

ต้นจามจรี ชื่อสามัญ : Rain Tree, Monkey Pod, East Indian Walnut

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Samanea saman Merrill

ชื่อวงศ์ : Mimosaceae

ถิ่นกำเนิด : อเมริกาใต้

ชื่ออื่น: ก้ามปู จำจา จามจรี รามจรีสีชมพูและกร้ามกราม

จามจรีนำเข้ามาปลูกโดย Mr. H. Slade เจ้ากรมป่าไม้คนแรกของไทยเป็นผู้นำเข้ามาจากพม่าในปี พ.ศ.2443 โดยปลูกไว้สองข้างถนนเจริญประเทศหน้าที่ทำการป่าไม้จังหวัดเชียงใหม่ส่วนทางภาคใต้ เข้าใจกันว่าพระยารัษฎานุประดิษฐ์(คอซิมบี๊ ณ ระนอง) เป็นผู้นำไปปลูกที่จังหวัดกระบี่ ชาวกระบี่จึงเรียกต้นจามจรีตามชื่อท่านว่า "ต้นคอซิมบี๊"

ลักษณะทั่วไป

ต้น : ไม้ยืนต้นพุ่มขนาดใหญ่ สูงถึง 24-25 เมตร เปลือกต้นสีดำแตกและหลุดล่อนได้ เรือนยอดกลมแผ่กว้างคล้ายรูปร่มเมื่อเจริญเต็มที่เรือนยอดอาจกว้างถึง 30 เมตรใบเป็นใบประกอบแบบขนนกซึ่งแตกใบย่อยซ้อนสองชั้นสีเขียวเข้มเป็นมันใบย่อยคล้ายรูปไข่แต่เบี้ยวไปข้างหนึ่งยาว 2-3.5 เซนติเมตร ผิวใบด้านล่างมีขนเล็กน้อยผลัดใบปีละครั้งแต่ใบจะร่วงไม่พร้อมกันหมดทั้งต้นใบที่ร่วงลงมานี้เมื่อทับถมกันอยู่นานๆ จะผุเปื่อยเป็นปุ๋ยอินทรีย์อย่างดี ประมาณเดือนกันยายนถึงกุมภาพันธ์จามจรีจะออกดอกเป็นช่อกลมสีชมพูตรงปลายกิ่งแต่ช่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-6 ซม. ประกอบด้วยดอกย่อยหลายดอก

ผล : เป็นฝักแบนตรงขอบหนาเป็นสันขึ้นทั้งสองข้างกว้าง 1.5-2 ซม. ยาว 15-20 ซม. เมื่อแก่มีสีดำหรือน้ำตาลเข้มและแข็งไม่แตกแต่จะหักเป็นท่อนๆ แต่ละฝักมีประมาณ 15-25 เมล็ดเมล็ดมีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำอยู่ในส่วนเป็นน้ำเหนียวๆคล้ายวุ้น

การขยายพันธุ์ : เมล็ดใช้ขยายพันธุ์ได้ง่ายขึ้นได้ดีเพาะง่ายและมีอัตราการงอกสูงเจริญเติบโตเร็ว และทนทานพอควร พบขึ้นอยู่ตามป่าเบญจพรรณทั่วทุกภาคของประเทศไทย

ดอก : ช่อกระจุกแน่นประกอบจำนวน 2-3 ช่อ ที่งามใบใกล้ปลายกิ่งแต่ช่อประกอบด้วยดอกหลายๆดอกรวมกันเป็นกระจุกกลม กลีบเลี้ยง กลีบดอกอย่างละ 5 กลีบเกสรเพศผู้สีชมพู
ประโยชน์ ใช้งาน : เนื้อไม้มีลายสวยเหมาะสำหรับแกะสลักหรือประดิษฐ์เป็นของใช้ของที่ระลึกและเฟอร์นิเจอร์เครื่องเรือนต่างๆ ต้นใช้เลี้ยงครั้ง ฝักแก่ใช้เป็นอาหารของวัวควายใบแห้งใช้ทำปุ๋ย

บทที่ 6

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้พฤษและไม้จามจุรี

ในบทนี้จะได้นำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมรวมทั้งการวิเคราะห์คุณสมบัติ ทางสถิติของไม้พฤษและไม้จามจุรีตามลำดับ

6.1 ไม้พฤษ Albizia lebbeck (L.) Benth.

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้พฤษที่ช่วงแห่งความ เชื่อมันร้อยละ 99 โดยใช้ซอฟต์แวร์ CESTTEST [12] จำนวน 11 คุณสมบัติดังรายละเอียดใน ตารางที่ 6.1 พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชนิดปฐมภูมิ Modulus of Elasticity (Primary) ของไม้พฤษมีค่า 85,903 กก./ซม² ซึ่งค่าที่ได้นี้มากกว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้เนื้ออ่อนมากที่มีค่า 78,900 กก./ซม² ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ในขณะที่ค่าโมดูลัสแตกหัก Modulus of Rupture (Primary) ของไม้พฤษมีค่า 902 กก./ซม² และจะเห็นว่าความแข็งของเนื้อไม้ในทิศทางตั้งฉากเสี้ยนและสัมผัสวงเสี้ยนจะมีค่าเฉลี่ย ใกล้เคียงกันโดยมีค่า 444 และ 449 กก./กก. ตามลำดับ ส่วนความแข็งในทิศทางขนานเสี้ยนที่ปลาย ไม้มีค่าสูงกว่าความแข็งในสองทิศทางดังกล่าวข้างต้นโดยมีค่า 631 กก./ซม² นอกจากนั้นค่าความชื้น ของเนื้อไม้มีค่าร้อยละ 10.987 และหน่วยน้ำหนักจำเพาะเท่ากับ 0.796

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation, COV) ซึ่งนิยามจาก อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลกับค่าเฉลี่ย (Mean) ของข้อมูล ค่า COV นี้เป็นปริมาณไร้มิติ (Dimensionless Quantity) ที่มีผลต่อค่าความน่าวิบัติ (Probability of Failure) ของโครงสร้างไม้เป็นอย่างมาก โดยไม้พฤษจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันตั้งแต่ 0.066 ถึง 0.211 โดยที่คุณสมบัติการทดสอบค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะและความแข็งขนานเสี้ยน จะมีค่า COV น้อยที่สุด ในขณะที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากแรงดึงในแนวขนานเสี้ยนมีค่า COV มาก ที่สุด โดยปกติค่า COV ที่ยอมรับได้จะมีค่าระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 [11,14]

สำหรับรูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสม โดยพิจารณาการทดสอบภาวะเข้ารูปสัณฐานด้วยการทดสอบไคกำลังสองและการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogrov-Smirnov) ที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในแต่ละคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้พฤษ สามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. การแจกแจงปกติ (Normal) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงดัด แรงดึงในแนวขนานเสี้ยน แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยนแรงเฉือนขนานเสี้ยน ความแข็งขนานเสี้ยน ความแข็งสัมผัสเสี้ยนและตั้งฉากเสี้ยน ความถ่วงจำเพาะปริมาตรการหดตัว และความหนาแน่น

2. การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล (Gumbel Type I-Largest) ได้แก่ โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)² ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² (ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงดัด การทดสอบการฉีกขาดและความหนาแน่น

3. การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล Gumbel (Type I- Smallest Values Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ค่าโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงดัดและค่าความเหนียว

4. การแจกแจงแบบลอกปรกติ (Lognormal Distribution) ได้แก่ โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)² ได้จากค่าแรงดัด แรงเฉือนขนานเสี้ยน การฉีกขาด ความแข็งแรงขนานเสี้ยนและสัมพันธ์เสี้ยน ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรการหดตัว ความหนาแน่นและการหดตัวในแนวรัศมี

5. การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² และ (ทุติยภูมิ)³ แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ)² แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน การทดสอบการฉีกขาด ความแข็งแรงขนานเสี้ยนและสัมพันธ์เสี้ยน ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรการหดตัว ความหนาแน่นและการหดตัวในแนวรัศมี

6. การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเชต์ (Frechet Type II – Largest Distribution) ได้แก่ แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน การทดสอบการฉีกขาดและความหนาแน่น

7. การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ (Weibull Type III – Smallest Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงดัด ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่นได้จากแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน ค่าความเหนียวและปริมาตรการหดตัว

8. การแจกแจงบีตา (Beta Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงดัด ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่นได้จากแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน ค่าความเหนียว ความแข็งแรงขนานเสี้ยน สัมผัสสัมพันธ์ และตั้งฉากเสี้ยน ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรการหดตัวและการหดตัวในแนวรัศมี

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้พฤษ

รายการทดสอบไม้	หน่วย	ค่าเฉลี่ย (Mean)	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	สปส.การแปรผัน (COV)	รูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสม ¹
1. แรงอัดขนานเส้น (ปรุณภูมิ) ² Compression Parallel to Grain	กก./ซม. ²	565.557	130	0.119	Beta, Weibull, Normal, Gumbel Smallest, Gamma
แรงอัดขนานเส้น (ทุติยภูมิ) ³ Compression Parallel to Grain	กก./ซม. ²	773.621	130	0.139	Weibull, Beta, Gumbel Smallest, Normal, Gamma
โมดูลัสยืดหยุ่น (ปรุณภูมิ) ² Modulus of Elasticity	กก./ซม. ²	35,481	130	0.200	Lognormal, Gumbel largest, Gamma, Normal
โมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ Modulus of Elasticity	กก./ซม. ²	32,259	130	0.201	Gamma, Lognormal, Normal, Beta
2. แรงอัดตั้งฉากเส้น Compression Perpendicular to Grain	กก./ซม. ²	465	130	0.195	Gumbel Smallest, Lognormal, Gamma, Frechet Largest
3. การทดสอบแรงคัต โมดูลัสยืดหยุ่น (ปรุณภูมิ) ² Modulus of Elasticity (MOE)	กก./ซม. ²	85,903	130	0.204	Gumbel largest, Lognormal, Gamma, Beta
โมดูลัสแตกหัก (ปรุณภูมิ) ² Modulus of Rupture (MOR)	กก./ซม. ²	902	130	0.162	Normal, Beta, Gamma, Weibull
การทดสอบแรงคัต โมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ) ³ Modulus of Elasticity (MOE)	กก./ซม. ²	75,233	130	0.202	Beta, Gamma, Normal, Gumbel largest, Weibull
โมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ) ³ Modulus of Rupture (MOR)	กก./ซม. ²	1,027	130	0.170	Weibull, Beta, Gumbel Smallest, Normal
4. แรงดึงในแนวขนานเส้น Tension Parallel to Grain	กก./ซม. ²	1,075	130	0.201	-
4.1 แรงดึงในแนวขนานเส้น (E)	กก./ซม. ²	25,657	130	0.211	Normal, Beta, Weibull
5. แรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น Tension Perpendicular to Grain	กก./ซม. ²	61	130	0.182	Beta, Normal, Gamma, Rayleigh, Lognormal
6. แรงเฉือนขนานเส้น Shear Parallel to Grain	กก./ซม. ²	253	130	0.171	Normal, Gamma, Lognormal, Beta, Weibull
7. การทดสอบการฉีกขาดของไม้ Cleavage	กก./ซม.	59	130	0.194	Gumbel largest, Lognormal, Rayleigh, Gamma, Frechet Largest
8. ความเหนียว Toughness	กก.-ซม.	536	130	0.139	Gumbel Smallest, Beta, Weibull
9. การทดสอบความแข็งของไม้ ขนานเส้น Parallel to Grain	กก./มม.	631	130	0.076	Beta, Gamma, Lognormal, Normal
สัมผัสเส้น Tangent to Grain	กก./มม.	449	130	0.101	Normal, Gamma, Lognormal, Beta
ตั้งฉากเส้น Perpendicular to Grain	กก./มม.	444	130	0.104	Beta, Uniform, Rayleigh, Normal

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้พฤษ (ต่อ)

รายการทดสอบไม้	หน่วย	ค่าเฉลี่ย (Mean)	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	สปส.การแปรผัน (COV)	รูปแบบการแจกแจงต่อเนื้อที่ที่เหมาะสม ¹
10.ความถ่วงจำเพาะ Specific Gravity	-	0.796	130	0.068	Lognormal, Gamma, Beta, Normal
ปริมาตรการหดตัว (%) Shrinkage in volume	ร้อยละ	5.955	130	0.181	Normal, Gamma, Lognormal, Weibull, Beta
ปริมาณความชื้น (%) Moisture Content	ร้อยละ	10.987	130	0.128	-
ความหนาแน่น Density	กก./ม ³	834.318	130	0.066	Lognormal, Gamma, Normal, Gumbel largest, Frchet Largest
11. การทดสอบการหดตัวในแนวรัศมีและแนวสัมผัส การหดตัวในแนวสัมผัส (%) Tangential Shrinkage	ร้อยละ	2.399	130	0.154	-
การหดตัวในแนวรัศมี (%) Radial Shrinkage	ร้อยละ	2.593	130	0.187	Beta, Lognormal, Gamma

หมายเหตุ ¹ รูปแบบการแจกแจงต่อเนื้อที่ที่เหมาะสมเรียงตามลำดับจากดีที่สุดที่สุด

² ขนาดของตัวอย่างที่ใช้จะมีขนาด 5x5 ซม. ยาว 76 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM

³ ขนาดของตัวอย่างที่ใช้จะมีขนาด 2.5x2.5 ซม. ยาว 41 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM

6.2 ไม้จามจรี *Samanea saman* Merrill

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติ สำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้จามจรีที่ช่วงแห่งความชื้นร้อยละ 99 โดยใช้ซอฟต์แวร์ CESTTEST [8-10] จำนวน 11 คุณสมบัติดังรายละเอียดในตารางที่ 6.2 พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชนิดปฐมภูมิ (Modulus of Elasticity (Primary)) ของไม้จามจรีมีค่า 49,997 กก./ซม² ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้เนื้ออ่อนมากที่มีค่า 78,900 กก./ซม² ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.[15] ในขณะที่ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture (Primary)) ของไม้จามจรีมีค่า 392 กก./ซม² และจะเห็นว่าความแข็งของเนื้อไม้ในทิศทางเส้นสัมผัสเส้นและตั้งฉากเส้นจะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันโดยมีค่า 81 และ 92 กก./มม.ตามลำดับ ส่วนความแข็งในทิศทางขนานเส้นที่ปลายไม้หรือที่ด้านหน้าตัดมีค่าสูงกว่าความแข็งในสองทิศทางดังกล่าวข้างต้น โดยมีค่า 176 กก./มม. นอกจากนั้นค่าความชื้นของเนื้อไม้มีค่าร้อยละ 14 และค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.51

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation, COV) ซึ่งนิยามจากอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลกับค่าเฉลี่ย (Mean) ของข้อมูลค่า COV นี้เป็นปริมาณไร้มิติ (Dimensionless Quantity) ที่มีผลต่อค่าความน่าจะเป็น (Probability

of Failure) ของโครงสร้างไม้เป็นอย่างมากโดยไม้จามจรีจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันตั้งแต่ 0.086 ถึง 0.214 โดยที่คุณสมบัติการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการหดตัวจะมีค่า COV น้อยที่สุด ในขณะที่แรงดึงในแนวขนานเสี้ยนมีค่า COV มากที่สุดโดยปกติค่า COV ที่ยอมรับได้จะมีค่าระหว่าง 0.1 ถึง 0.26 [11,14]

สำหรับรูปแบบการแจกแจงต่อเนื่องที่เหมาะสม โดยพิจารณาการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทด้วยการทดสอบโคกำลังสอง และการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogrov-Sminor) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในแต่ละคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้จามจรีสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. การแจกแจงปกติ (Normal) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² และ(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ได้จากค่าแรงดัด ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ แรงดึงในแนวขนานเสี้ยน แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน ความแข็งขนานเสี้ยน ความแข็งขนานเสี้ยนและสัมผัสเสี้ยน ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรการหดตัว ปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

2. การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล (Gumbel Type I-Largest) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² แรงดึงในแนวขนานเสี้ยน การทดสอบการฉีกขาด ความแข็งสัมผัสเสี้ยนและตั้งฉากเสี้ยน

3. การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล Gumbel (Type I- Smallest Values Distribution) ได้แก่แรงอัดขนานเสี้ยน(ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ทุติยภูมิ)³ ได้จากแรงอัดขนานเสี้ยน ค่าโมดูลัสแตกหัก(ทุติยภูมิ)³ ได้จากค่าแรงดัด แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยนและความถ่วงจำเพาะ

4. การแจกแจงแบบลอการิทึม (Lognormal Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ได้จากค่าแรงดัด ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² แรงดึงในแนวขนานเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่นได้จากแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน การฉีกขาด ความเหนียว ความแข็งขนานเสี้ยน สัมผัสเสี้ยนและตั้งฉากเสี้ยน ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรการหดตัว ปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

5. การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)² ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทุติยภูมิ)³ได้จากค่าแรงดัด ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)²(ทุติยภูมิ)³ แรงดึงในแนวขนานเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่นได้จากแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน การฉีกขาด ความเหนียว ความแข็งขนานเสี้ยนและสัมผัสเสี้ยน ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรการหดตัว ปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

6. การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเชต์ (Frechet Type II – Largest Distribution) ได้แก่ แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

7. การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ (Weibull Type III – Smallest Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน (ทศนิยม)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทศนิยม)³ ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²(ทศนิยม)³ ได้จากค่าแรงดัด ค่าโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² (ทศนิยม)³ แรงดึงในแนวขนานเสี้ยน แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน ความแข็งขนานเสี้ยนและสัมพัทธ์เสี้ยน ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรการหดตัว ปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

8. การแจกแจงบีตา (Beta Distribution) ได้แก่ แรงอัดขนานเสี้ยน(ปฐมภูมิ)²และ(ทศนิยม)³ โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทศนิยม)³ ได้จากค่าแรงอัดขนานเสี้ยน โมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)²และ(ทศนิยม)³ ได้จากค่าแรงดัด ค่าโมดูลัสแตกหัก(ทศนิยม)³ แรงดึงในแนวขนานเสี้ยน แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน การฉีกขาด ความเหนียว ความแข็งขนานเสี้ยนและตั้งฉากเสี้ยน ปริมาตรการหดตัว ปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

ตารางที่ 6.2 คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้จามจรี

รายการทดสอบไม้	หน่วย	ค่าเฉลี่ย (Mean)	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	สปส.การแปรผัน (COV)	รูปแบบการแจกแจงต่อเนื้อที่เหมาะสม ¹
1. แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ) ² Compression Parallel to Grain	กก./ซม. ²	275.84	130	0.202	Gamma, Lognormal, Beta, Normal, Gumbel Largest
แรงอัดขนานเสี้ยน (ทศนิยม) ³ Compression Parallel to Grain	กก./ซม. ²	295	130	0.197	Gumbel Smallest, Weibull, Beta, Normal
โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² Modulus of Elasticity	กก./ซม. ²	18,738	130	0.208	Beta, Normal, Weibull, Gamma, Lognormal
โมดูลัสยืดหยุ่น (ทศนิยม) ³ Modulus of Elasticity	กก./ซม. ²	5,006	130	0.214	Gumbel Smallest, Weibull, Beta, Normal
2. แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน Compression Perpendicular to Grain	กก./ซม. ²	122	130	0.183	Gumbel largest, Lognormal, Gamma, Frechet Largest
3. การทดสอบแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ² Modulus of Elasticity (MOE)	กก./ซม. ²	49,997	130	0.202	Normal, Weibull, Beta, Gamma, Lognormal
โมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ) ² Modulus of Rupture (MOR)	กก./ซม. ²	392	130	0.188	Lognormal, Gumbel largest, Gamma, Normal, Weibull
โมดูลัสยืดหยุ่น (ทศนิยม) ³ Modulus of Elasticity (MOE)	กก./ซม. ²	49,361	130	0.189	Normal, Gamma, Lognormal, Beta, Weibull
โมดูลัสแตกหัก (ทศนิยม) ³ Modulus of Rupture (MOR)	กก./ซม. ²	391	130	0.203	Weibull, Normal, Gumbel Smallest, Beta, Gamma

ตารางที่ 6.2 คุณสมบัติทางสถิติสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้จามจุรี (ต่อ)

รายการทดสอบไม้	หน่วย	ค่าเฉลี่ย (Mean)	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	สปส.การแปรผัน (COV)	รูปแบบการแจกแจงต่อเนื้อที่ที่เหมาะสม ¹
4. แรงดึงในแนวขนานเส้น Tension Parallel to Grain	กก./ซม. ²	492	130	0.133	Normal, Gamma, Weibull, Lognormal, Beta
4.1 แรงดึงในแนวขนานเส้น (E)	กก./ซม. ²	14,375	130	0.198	Lognormal, Gumbel largest, Gamma, Rayleigh
5. แรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น Tension Perpendicular to Grain	กก./ซม. ²	34	130	0.155	Beta, Weibull, Gumbel Smallest, Normal, Gamma
6. แรงเฉือนขนานเส้น Shear Parallel to Grain	กก./ซม. ²	129	130	0.171	Weibull, Normal, Gumbel Smallest, Beta, Gamma
7. การทดสอบการฉีกขาดของไม้ Cleavage	กก./ซม.	64	130	0.192	Beta, Gumbel largest, Lognormal, Gamma
8. ความเหนียว Toughness	กก.-ซ.ม.	366	130	0.190	Beta, Gamma, Lognormal
9. การทดสอบความแข็งของไม้ ขนานเส้น Parallel to Grain	กก./มม.	176	130	0.131	Beta, Normal, Weibull, Gamma, Lognormal
สัมผัสเส้น Tangent to Grain	กก./มม.	81	130	0.183	Lognormal, Gamma, Gumbel largest, Normal
ตั้งฉากเส้น Perpendicular to Grain	กก./มม.	92	130	0.184	Beta, Gumbel largest, Lognormal
10. การทดสอบค่า ถ.พ. และการหดตัว ความถ่วงจำเพาะ Specific Gravity	-	0.51	130	0.086	Normal, Gamma, Weibull, Lognormal, Gumbel Smallest
ปริมาตรการหดตัว (%) Shrinkage in volume	ร้อยละ	4.707	130	0.149	Normal, Weibull, Gamma, Lognormal, Beta
ปริมาณความชื้น (%) Moisture Content	ร้อยละ	14	130	0.186	Beta, Gamma, Lognormal, Normal, Weibull
ความหนาแน่น Density	กก/ม ³	557	130	0.089	Beta, Normal, Gamma, Lognormal, Weibull
11. การทดสอบการหดตัวในแนวรัศมี และแนวสัมผัส การหดตัวในแนวสัมผัส (%) Tangential Shrinkage	ร้อยละ	0.824	130	0.099	-
การหดตัวในแนวรัศมี (%) Radial Shrinkage	ร้อยละ	0.810	130	0.133	-

หมายเหตุ ¹ รูปแบบการแจกแจงต่อเนื้อที่ที่เหมาะสมเรียงตามลำดับจากดีที่สุด

² ขนาดของตัวอย่างที่ใช้จะมีขนาด 5x5 ซม. ยาว 76 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM

³ ขนาดของตัวอย่างที่ใช้จะมีขนาด 2.5x2.5 ซม. ยาว 41 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM

6.3 คุณสมบัติเชิงกลสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้พฤษและไม้จามจุรี

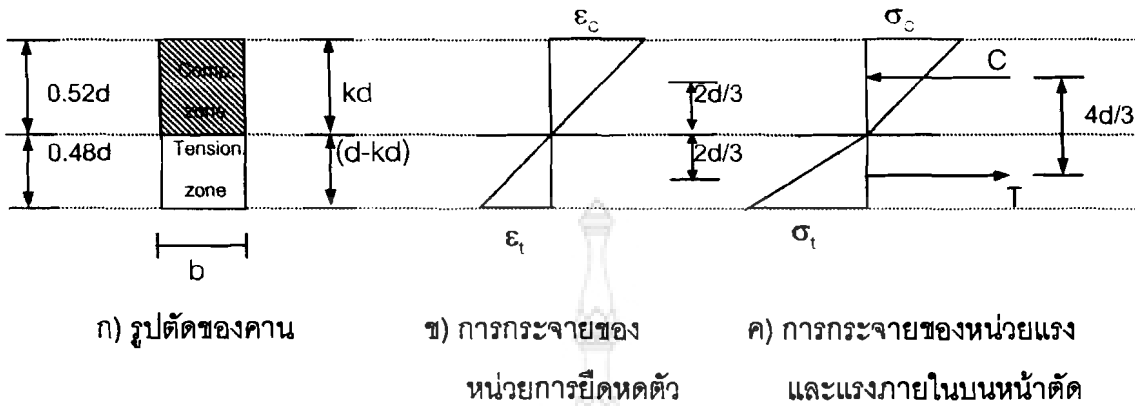
จากการทดสอบและวิเคราะห์ค่าทางสถิติสำหรับคุณสมบัติเชิงกลของไม้พฤษและไม้จามจุรี จากการทดสอบหลายชนิด พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแรงอัดและแรงดึงขนาน เส้นยืนให้ค่าใกล้เคียงกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแรงดัด (MOE)

ตงหรือคานไม้ ที่พิจารณาทำด้วยวัสดุเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานโดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินกว่าพิกัดยืดหยุ่นของวัสดุนั้น ตงหรือคานไม้ จะมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น (Elasticity) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าของหน่วยแรงดัด (Flexural Stress) ที่ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าตัดใดๆ ได้โดยใช้สูตรแรงดัด $f = \frac{My}{I}$ ภายใต้ข้อสมมุติที่ให้ระนาบของรูปตัดทั้งก่อนและหลังการรับโมเมนต์ดัดยังคงเป็นระนาบและความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวเป็นไปตามกฎของฮุก ดังนั้นจะได้รูปการกระจายของหน่วยแรงดัดในช่วงอิลาสติกทั้งส่วนที่อยู่เหนือและใต้แนวแกนสะเทินดังรูปที่ 6.1 (ก) หากพิจารณาว่าหน้าตัดของส่วนโครงสร้างของตงและคานไม้ประกอบด้วยแรง 2 ชนิด คือ แรงอัดและแรงดึงและอาศัยหลักความสมดุลของแรงภายในบนหน้าตัด ซึ่งเป็นไปตามหลักการของทฤษฎีเส้นตรง (Straight – Line Theory) โดยมีข้อสมมุติฐานที่คำนึงถึงพฤติกรรมยืดหยุ่นของโครงสร้างที่ต้องมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดปลอดภัย สามารถพิจารณาได้จากตงหรือคานไม้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง b ซม. ความลึกทั้งหมด d ซม. ดังรูปที่ 6.1 (ก) ในขณะที่ตงหรือคานรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานและเกิดโมเมนต์ดัดที่ทำให้ หลังคานถูกแรงอัด วัดระยะจากผิวบนสุดลงมาเท่ากับ $0.58d$ และที่ผิวคานด้านล่างจะทำหน้าที่รับแรงดึงเป็นระยะ $0.42d$ จากระยะ $0.58d$ ลงมา จะได้รูปการกระจายของหน่วยการยืด – หดตัว (Strain Distribution) ตรงหน้าตัดคานซึ่งรับโมเมนต์ดัดมากที่สุด ดังรูปที่ 6.1 (ข) โดยมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน โดยให้ (ϵ_c) เป็นหน่วยการหดตัวสูงสุดของไม้หลังคานและให้ (ϵ_t) เป็นหน่วยการยืดตัวสูงสุดที่ท้องคาน โดยที่ kd เป็นระยะที่วัดจากผิวบนของคานถึงแนวแกนสะเทินโดยที่หน้าตัดคานจะประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนบนของหน้าตัดทำหน้าที่รับแรงอัดและส่วนล่างทำหน้าที่รับแรงดึงซึ่งเกิดจากการกระทำของโมเมนต์ดัด ส่วนการกระจายของหน่วยแรงอัด (Stress Distribution) จะเป็นรูปสามเหลี่ยมมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการหดตัวตาม (กฎของฮุก) ดังรูปที่ 6.1(ค) ให้หน่วยแรงอัดที่ผิวบนของคานมีค่าเท่ากับ $\sigma_c = \epsilon_c E_c$ กก./ซม.² และหน่วยแรงดึงที่ผิวด้านล่างมีค่าเท่ากับ $\sigma_t = \epsilon_t E_t$ กก./ซม.² จากการกระจายของหน่วยแรง ในรูปที่ 6.1 (ค) จะมีแรงคู่ขนานภายในกระทำตั้งฉากกับระนาบของหน้าตัดเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดที่กระทำประกอบด้วยแรงอัด (C) ได้จากการกระจายหน่วยแรงอัดรูปสามเหลี่ยมและแรงดึงในส่วนล่างจากแกนสะเทิน (T) ดังนั้นจะได้

$$\text{แรงอัดภายในส่วนบนทั้งหมด} : C = \frac{1}{2} (kd)(\sigma_c) \quad (6.1)$$

ซึ่งมีตำแหน่งของแรงลัพธ์กระทำที่ระยะ $\frac{1}{3} (kd)$ เมื่อวัดจากผิวบนของคาน

$$\text{แรงดึงภายในส่วนล่างทั้งหมด} : T = \frac{1}{2} (d-kd)(\sigma_t) \quad (6.2)$$



รูปที่ 6.1 พฤติกรรมการรับแรงของคานไม้ภายใต้้น้ำหนักบรรทุก

จากพฤติกรรมการรับแรงของคานไม้ภายใต้้น้ำหนักบรรทุก ดังรูปที่ 6.1 สามารถที่จะวิเคราะห์หาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_c) ที่ต้องการได้ พิจารณาจากสมดุลของแรงภายในบนหน้าตัดคานและหาตำแหน่งแนวแกนสะเทิน (kd) ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน Modular Ratio (n) ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงขนานเส้น E_s กับโมดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดขนานเส้น E_c ดังสมการที่ 6.1

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (6.1)$$

จากรูปตัดคาน รูปที่ 6.1ก เมื่อกำหนดให้ความแข็งแรงของหน้าตัดคาน ($E_b I_b$) มีค่าเท่ากับผลรวมของความแข็งแรงของหน้าตัดคานในส่วนที่รับแรงอัด ($E_c I_c$) รวมกับความแข็งแรงของหน้าตัดคานในส่วนที่รับแรงดึง ($E_s I_s$) ดังสมการที่ 6.2

$$(E_b I_b) = (E_c I_c) + (E_s I_s) \quad (6.2)$$

และแทนค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของคานแต่ละส่วนดังสมการที่ 6.3

$$E_b \frac{bd^3}{12} = E_c \frac{b(0.58d)^3}{3} + E_s \frac{b(0.42d)^3}{3} \quad (6.3)$$

จะได้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหน้าตัด (E_b) ที่ต้องการ โดยใช้ค่า E_c และ E_s ดังสมการที่ 6.4

$$E_b, \text{ req.} = 4 [(0.58)^3 E_c + (0.42)^3 E_s] \quad (6.4)$$

และเมื่อพิจารณาการสมดุลของแรงภายในบนหน้าตัดคานจากรูปที่ 6.1 ค) จะได้

แรงอัดทั้งหมดส่วนบน (C) = แรงดึงทั้งหมดส่วนล่าง (T)

และหาค่า k โดยที่ kd เป็นระยะที่วัดจากผิวบนของคานถึงแนวแกนสะเทินซึ่งถือเป็นระยะช่วงแขนของโมเมนต์จะได้ดังสมการที่ 6.5

$$\frac{1}{2}(d-kd)(\sigma_c) = \frac{1}{2}(d-kd)(\sigma_t) \quad (6.5)$$

$$\frac{1}{2}(kd)(E_c \varepsilon_c) = \frac{1}{2}(d-kd)(E_t \varepsilon_t)$$

$$(kd)(E_c \varepsilon_c) = (d-kd)(E_t \varepsilon_t) \quad (6.6)$$

จากสามเหลี่ยมคล้ายรูปที่ 16.1 ค) ได้ $(\varepsilon_x) = \frac{\varepsilon_t}{(d-kd)}(kd)$ (6.7)

แทนค่า ε_c ลงในสมการ (6.7) จะได้

$$(kd) \left(E_c \frac{\varepsilon_t}{d-kd} (kd) \right) = (d-kd)(E_t \varepsilon_t)$$

$$kd = (d-kd)^2 \frac{E_t}{E_c} \quad (6.8)$$

เมื่อ $n = \frac{E_t}{E_c}$ และแทนค่าลงในสมการที่ 6.8 จะได้

$$(kd)^2 = (d-kd)^2 (n) \quad (6.9)$$

ให้ $(d)^2$ หารตลอดจะได้ $k^2 = (1-k)^2 n$

$$\text{ดังนั้นจะได้สมการกำลังสองของค่า k ; } k^2 - (1-k)^2 (n) = 0 \quad (6.10)$$

และจากสมการที่ (6.4) นำมาประยุกต์ใช้กับสมการที่ 6.10 จะหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหน้าตัด (E_o) ที่ต้องการของไม้พฤษและไม้จามจุรีได้ โดยนำผลที่ได้จากการทดสอบของ $E_{t//}$ และ $E_{c//}$ ของไม้ทั้งสองชนิดมาคำนวณตามขั้นตอนดังกล่าวจะได้ค่า (E_o) ที่ต้องการ ใกล้เคียงกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแรงดัดชนิด (ปฐมภูมิ)² ดังต่อไปนี้

ก) กรณีของไม้พฤษจากการทดสอบแรงดึงและแรงอัดขนานเส้นใยไม้ชนิด(ปฐมภูมิ)²

- โมดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงขนานเส้นใย $E_{t//} = 25,657$ กก./ชม.²

- โมดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดขนานเส้นใย $E_{c//} = 35,481$ กก./ชม.²

สำหรับโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแรงดัด (MOE) ให้คูณด้วย 1.2 (กรณีทดสอบโดยใช้น้ำหนักกด หนึ่งจุดตรงกึ่งกลางคาน) จะได้

$$\text{- โมดูลัสยืดหยุ่นของแรงดัด} \quad E_b = 85,903(1.2) = 103,083.6 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

เมื่อแทนค่า ($E_{c//}$) และ $E_{c\perp}$ ลงในสมการที่ 6.4 จะได้

$$E_b, \text{ req.} = 4 [(0.58)^3 35,481 + (0.42)^3 25,657] \quad (6.11)$$

และนำสมการที่ 6.11 ไปประยุกต์ใช้กับสมการที่ 6.10 จะได้ สมการที่ 6.12

$$E_b, \text{ req.} = 4 [k^3 \times E_{c//} + (1-k)^3 \times E_{c\perp}] \quad (6.12)$$

$$\text{ไม้พฤษภ} \quad E_b, \text{ req.} = 30,570 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

$$\text{จากการทดสอบแรงดัด} \quad E_b = 103,083.6 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

ข) กรณีของไม้จามจรีจากการทดสอบแรงดึงและแรงอัดขนานเส้นใยไม้ชนิด(ปฐมภูมิ)²

$$\text{- โมดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงขนานเส้นใย} \quad E_{c//} = 14,375 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

$$\text{- โมดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดขนานเส้นใย} \quad E_{c\perp} = 18,738 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

$$\text{- โมดูลัสยืดหยุ่นของแรงดัด} \quad E_b = 49,997(1.2) = 59,996.4 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

$$E_b, \text{ req.} = 4 [k^3 \times E_{c//} + (1-k)^3 \times E_{c\perp}]$$

$$\text{ไม้จามจรี} \quad E_b, \text{ req.} = 16,560 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

$$\text{จากการทดสอบแรงดัด} \quad E_b = 59,996.4 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

จากผลการคำนวณและเปรียบเทียบค่าระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึง $E_{c//}$ และแรงอัดขนานเส้นใย $E_{c\perp}$ กับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแรงดัด (E_b) ซึ่งค่า E_b จะให้กำลังสูงกว่าค่าที่คาดการณ์ไว้ประมาณ 72,000 และ 43,000 กก./ซม.² สำหรับไม้พฤษภ และ ไม้จามจรี ตามลำดับ ดังนั้นถ้าหากเพิ่มจำนวนตัวอย่างทดสอบของแรงดึงและแรงอัดขนานเส้นใย ไม้ให้มีจำนวนมากขึ้นเพียงพอจะทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการทดสอบแรงดัดชนิด (ปฐมภูมิ)²

บทที่ 7

การใช้ประโยชน์จากไม้พฤษและไม้จามจุรี

ในบทนี้จะได้กล่าวถึง การนำไม้พฤษและไม้จามจุรี มาใช้เป็นองค์อาคาร ตง คาน และเสา ซึ่งทำการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 2517 [15] โดยลำดับขั้นตอนการคำนวณออกแบบตามวิธีปฏิบัติที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีความเชื่อถือแบบสม่าเสมอโดยอ้างอิงการใช้ซอฟต์แวร์ WCCAL [8-10] และแนะนำค่าที่ยอมรับได้ รวมทั้งการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability) โดยจะเริ่มจากข้อมูลทางวิศวกรรมในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างซึ่งผลจากการวิเคราะห์ขององค์อาคาร ไม้พฤษ และไม้จามจุรี สามารถสรุปผลได้ดังนี้

7.1 ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง

การวิเคราะห์หาขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้ ตง คาน และเสา ซึ่งทำการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 2517 [15] โดยลำดับขั้นตอนการคำนวณออกแบบตามวิธีปฏิบัติที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ที่ให้ความเชื่อถือแบบสม่าเสมอ ซึ่งความต้านทานเชิงโครงสร้างขององค์อาคารไม้ แต่ละประเภท สามารถแบ่งแยกได้ตามสภาวะขีดจำกัด (Limit State) ซึ่งแสดงค่าความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างในรูปของความน่าจะเป็น (p) และขีดจำกัดบนของสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Limit cov) ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ประเภทของสภาวะขีดจำกัด และขีดจำกัดบน ของสัมประสิทธิ์การแปรผัน

Type of Structural Resistance	(Limit State)	(p)	Limit cov.	β
Modulus of Rupture	Ultimate	10^{-6}	0.210	4.753
Shear Strength	Serviceability	10^{-4}	0.269	3.179
Modulus of Elasticity (joist, Beam)	Serviceability	10^{-4}	0.269	3.179
Modulus of Elasticity (Column)	Ultimate	10^{-6}	0.210	4.753

ในการออกแบบขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้ที่มีความเชื่อถือแบบสม่าเสมอ สำหรับการทดสอบและวิเคราะห์นี้ จะเน้นที่ประเภทของการใช้อาคารซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติกรุงเทพฯ มี 3 ประเภทคือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน โดยจะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกจรเฉลี่ยที่จัดเก็บในประเทศไทย เป็นข้อมูลสำหรับใช้ออกแบบขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้ ดังแสดงในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติที่จัดเก็บในประเทศไทย [18]

ประเภทการใช้งานอาคาร	ค่าที่ระบุ (กก./ม. ²)	ข้อมูลที่จัดเก็บ			
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	สัมประสิทธิ์ การแปรผัน	ชนิดของ การแจกแจง
ที่พักอาศัย	150	182.4	33.93	0.186	ปกติ
สำนักงาน	250	350	63.85	0.180	ปกติ
โรงเรียน	300	163.3	21.72	0.133	ปกติ

7.1.2 ขั้นตอนการออกแบบของค้ำอาคารไม้ตามมาตรฐาน ว.ศ.ท. [15]

วิธีการออกแบบตงและคานไม้ที่มีฐานรองรับแบบธรรมดา (Simply Supported)

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้และน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับใช้ออกแบบขนาดหน้าตัดของค้ำอาคารไม้ กำหนดประเภทการใช้งานโดยใช้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจร และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้ มีค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ค่าโมดูลัสแตกหัก กำลังรับแรงเฉือน

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ ของพื้นไม้ ผนังไม้ ตง คาน และค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจร

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบโดยใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง กำหนดสภาวะขีดจำกัดของตงและคานเป็นสภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งาน และสภาวะขีดจำกัดเชิงประลัย มีค่าความน่าจะเป็น (p) เท่ากับ 10^{-4} และ 10^{-6} ตามลำดับและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้แทนได้ดีด้วยการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) จะได้ค่าธรรมเนียมความปลอดภัย (β) เท่ากับ 3.719, 4.753 และขีดจำกัดสัมประสิทธิ์การแปรผัน ($COV; \Omega_R$) เท่ากับ 0.269, 0.21 ตามลำดับ เนื่องจากการโค้งตัวของตงและคานเป็นฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ควบคุมความน่าจะเป็น ดังนั้นให้ตรวจสอบค่า COV ของโมดูลัสยืดหยุ่น (Ω_E) และกำลังรับแรงเฉือน (Ω_V) ต้องมีค่าไม่เกิน (Ω_R) จากนั้นคำนวณหาค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) จากสมการที่ 7.1

$$\Omega_s = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL}{\mu_{LL}}} \quad (7.1)$$

และ

$$FS - 1 = \beta \sqrt{(FS)^2 (\Omega_R)^2 + (\Omega_s)^2} \quad (7.2)$$

นำค่า FS ที่ได้ไปคำนวณหาขนาดหน้าตัดของตงและคาน โดยสมมุติความกว้าง (b) จะได้ความลึก (d) จากสมการที่ 7.3

$$\frac{L}{360(FS)} = \frac{5WL^4}{384EI} \quad (7.3)$$

โดยที่ $I =$ โมเมนต์ของความเฉื่อยเท่ากับ $\frac{bd^3}{12}$ ซม.⁴

ดังนั้นจะเลือกขนาดไม้ที่มีขายตามท้องตลาดเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้ว

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกตามขั้นตอนที่ 2 และออกแบบโดยใช้ทฤษฎีความนำเชื่อถือเชิงโครงสร้าง ตรวจสอบกำลังรับแรงดัดของตงและคานไม้ ที่สภาวะขีดจำกัดเชิงประลัยมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 10^{-6} พิจารณาขีดจำกัดสัมประสิทธิ์การแปรผัน (COV; Ω_R) เท่ากับ 0.21 ดังนั้นตรวจสอบค่า COV ของค่าโมดูลัสแตกหัก MOR; (Ω_b) ต้องมีค่าไม่เกิน (Ω_R) จากนั้นคำนวณหาค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) จากสมการที่ 7.4

$$\Omega_s = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{\mu_{LL}}{DL}} \quad (7.4)$$

และ
$$FS-1 = \beta \sqrt{(FS)^2 (\Omega_R)^2 + (\Omega_s)^2} \quad (7.5)$$

นำค่า FS ที่ได้ไปคำนวณหาหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ F_b ดังสมการที่ 7.6
$$F_b = \frac{f_r}{FS} \quad (7.6)$$

โดยเปรียบเทียบกับหน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น σ_b ดังสมการที่ 7.7
$$\sigma_b = \frac{MC}{I} \quad (7.7)$$

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกตามขั้นตอนที่ 2 และออกแบบโดยใช้ทฤษฎีความนำเชื่อถือเชิงโครงสร้าง ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนของตงและคานไม้ ที่สภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งานมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 10^{-4} พิจารณาขีดจำกัดสัมประสิทธิ์การแปรผัน (COV; Ω_R) เท่ากับ 0.269 และตรวจสอบค่า COV ของกำลังรับแรงเฉือน V ; (Ω_s) ต้องมีค่าไม่เกิน (Ω_R) จากนั้นคำนวณหาค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) จากสมการที่ 7.8

$$\Omega_s = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{\mu_{LL}}{DL}} \quad (7.8)$$

และ
$$FS-1 = \beta \sqrt{(FS)^2 (\Omega_R)^2 + (\Omega_s)^2} \quad (7.9)$$

นำค่า FS ที่ได้ไปคำนวณหาหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ F_v ดังสมการที่ 7.6 $F_v = \frac{V}{FS}$ (7.10)

โดยเปรียบเทียบกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น f_v ดังสมการที่ 7.11 $f_v = \frac{3V}{2bd}$ (7.11)

ดังนั้นหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต้องมีค่าไม่เกินหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

วิธีการออกแบบเสา (Column)

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้และน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับใช้ออกแบบขนาดหน้าตัดของค้ำอาคารไม้ กำหนดประเภทการใช้งานโดยใช้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจร และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้ มีค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น แรงอัดขนานเสี้ยนไม้

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ ของโครงหลังคา พื้นไม้ ผนังไม้ ตง คาน เสาและค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจร ได้น้ำหนัก (P_{max}) กระทำตามแนวแกนเสา

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบโดยใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง พิจารณาให้เสามีสถานะขีดจำกัดเชิงประลัย มีค่าความน่าจะเป็น (p_f) เท่ากับ 10^{-6} และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้แทนได้ดีด้วยการแจกแจงแบบปรกติ (Normal Distribution) จะได้ค่าดัชนีความปลอดภัย (β) เท่ากับ 4.753 และขีดจำกัดสัมประสิทธิ์การแปรผัน ($COV; \Omega_R$) เท่ากับ 0.21 เนื่องจากการโก่งเดาะ (Buckling) ของเสาเป็นฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดที่ควบคุมความน่าจะเป็น ดังนั้นตรวจสอบค่า COV ของโมดูลัสยืดหยุ่น (Ω_E) ต้องมีค่าไม่เกิน (Ω_R) จากนั้นคำนวณหาค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) จากสมการที่ 7.12

$$\Omega_s = \frac{\Omega_u}{1 + \frac{DL}{\mu_u}} \quad (7.12)$$

และ $FS - 1 = \beta \sqrt{(FS)^2 (\Omega_R)^2 + (\Omega_s)^2}$ (7.13)

นำค่า FS ที่ได้ไปคำนวณหาขนาดหน้าตัดของเสา จากสมการ Euler's Formula สมการที่ 7.14

น้ำหนักวิกฤต $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(L_e)^2}$ (7.14)

หรือ หน่วยแรงอัดวิกฤตเฉลี่ย $\frac{P_c}{A} = \frac{\pi^2 E}{12 \frac{L}{d^2}}$ (7.15)

คำนวณหาค่า d จากสมการ 7.14 หรือ 7.15 จะได้ขนาดหน้าตัดเสาที่ต้องการ และเลือกขนาดไม้ที่มีขายตามท้องตลาดเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้ว

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกตามขั้นตอนที่ 2 และออกแบบโดยใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง ตรวจสอบการโก่งเดาะ (Buckling) ของเสาที่สภาวะขีดจำกัดเชิงประลัยมีค่าความน่าเชื่อถือเท่ากับ 10^6 พิจารณาขีดจำกัดสัมประสิทธิ์การแปรผัน (COV; Ω_R) เท่ากับ 0.21 ดังนั้นตรวจสอบค่า COV ของกำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยน (Ω_c) ต้องมีค่าไม่เกิน (Ω_R) จากนั้นคำนวณหาค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) จากสมการที่ 7.16

$$\Omega_s = \frac{\Omega_{LL}}{DL} \quad (7.16)$$

$$1 + \frac{\mu_{LL}}{\Omega_s}$$

และ
$$FS - 1 = \beta \sqrt{(FS)^2 (\Omega_R)^2 + (\Omega_s)^2} \quad (7.17)$$

นำค่า (FS) ไปคำนวณหาหน่วยแรงอัดที่หน้าตัดวิกฤตที่ยอมให้ $F_{allow} = \frac{F_{test}}{FS}$

โดยเปรียบเทียบกับหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง $\frac{P}{A}$ มีค่าไม่เกิน หน่วยแรงอัดที่หน้าตัดวิกฤตที่ยอมให้

7.2 การนำไม้พฤษมาใช้เป็นองค์อาคารไม้

ผลการวิเคราะห์สามารถแบ่งตามประเภทขององค์อาคารไม้ได้ดังต่อไปนี้

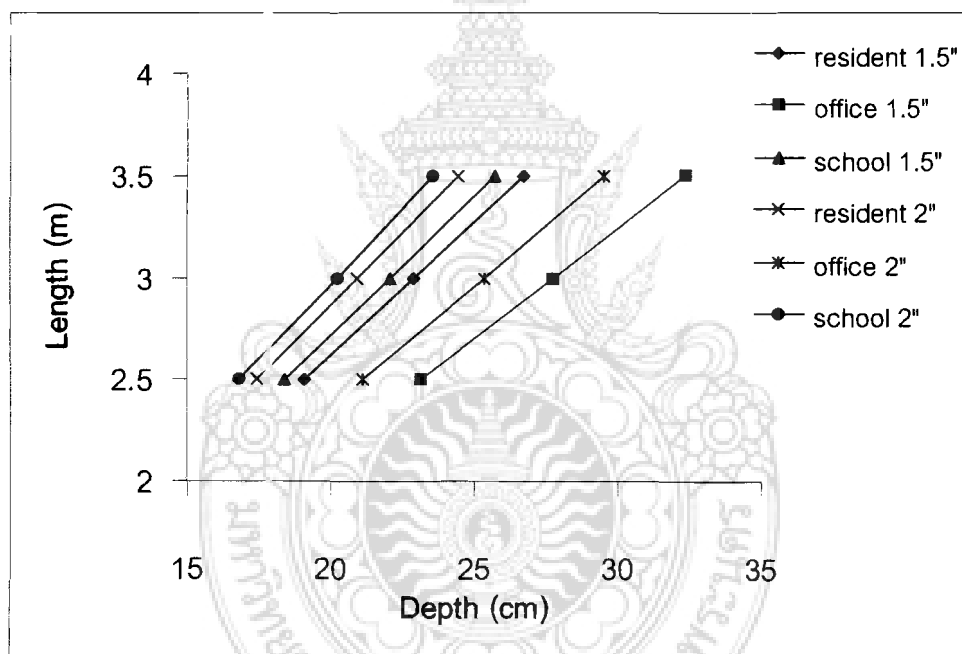
7.2.1 ตงไม้ (Joist)

การออกแบบขนาดหน้าตัดของตงไม้พฤษออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท.(EIT CODE) [15] โดยใช้ข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติทางด้านเชิงกลของไม้พฤษ ที่ช่วงแห่งความชื้นร้อยละ 99 โดยการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 85,903 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.204 การทดสอบโมดูลัสแตกหักมีค่าเท่ากับ 902 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.162 การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนมีค่าเท่ากับ 253 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.171 การทดสอบความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 0.796 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.068 กำหนดค่าความน่าเชื่อถือเนื่องจากการโก่งตัวของตงไม้อยู่ในพิสัยที่ยอมรับได้ที่ระดับ $p_f = 10^{-4}$ [14] โดยพิจารณาตัวแปรเชิงกำหนด มีขนาดความกว้างของตงไม้ 2 ขนาดคือ 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) และ 2 นิ้ว (5.08 ซม.) ความยาวของตงไม้ 3 ขนาดคือ 2.50, 3.00 และ 3.50 เมตร โดยที่ขนาดและความยาวดังกล่าว จะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตงไม้ (Spacing) ที่ระยะ 30 40 และ 50 ซม. ตามลำดับ สำหรับการออกแบบตงไม้ตามรูปแบบในภาคผนวก (ก) พิจารณาฐานรองรับเป็นแบบช่วงเดียวธรรมดา สำหรับบ้านพักอาศัยน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าเฉลี่ย 182.4 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปร

ผันเท่ากับ 0.186 อาคารสำนักงาน น้ำหนักบรรทุกจรมีค่าเฉลี่ย 350 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.180 และโรงเรียน น้ำหนักบรรทุกจรมีค่าเฉลี่ย 163.3 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.133 พื้นไม้พฤษ มีความหนาคงที่เท่ากับ 1 นิ้ว (2.54 ซม.)

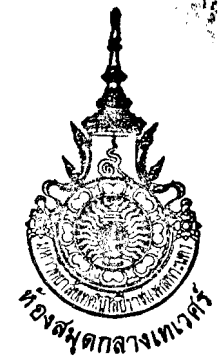
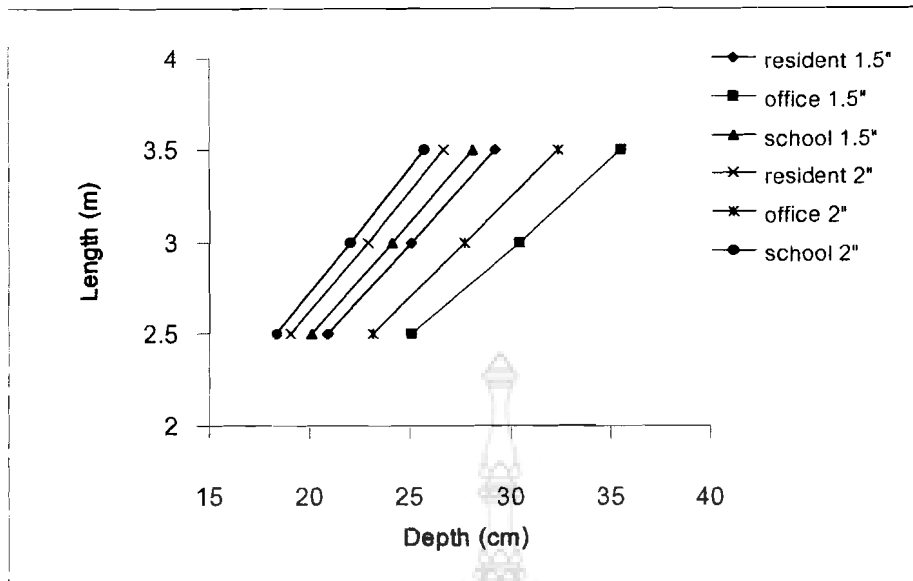
จากการนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาออกแบบหาขนาดหน้าตัด ตงไม้พฤษเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้ว รายละเอียดขั้นตอนการออกแบบแสดงในภาคผนวก ก) พบว่า

ก. ในกรณีที่พิจารณาขนาดความกว้าง 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 30 ซม. ที่ความยาวตงมากที่สุดเท่ากับ 3.5 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกจรมที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน จะได้ขนาดตงไม้ที่ใส่แต่งแล้ว (2-1½"x 5½", 2-2"x 5"), (2-1½"x 6½", 2-2"x 6"), (2-1½"x 5½", 2-2"x 5") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.1 และตารางที่ 7.3



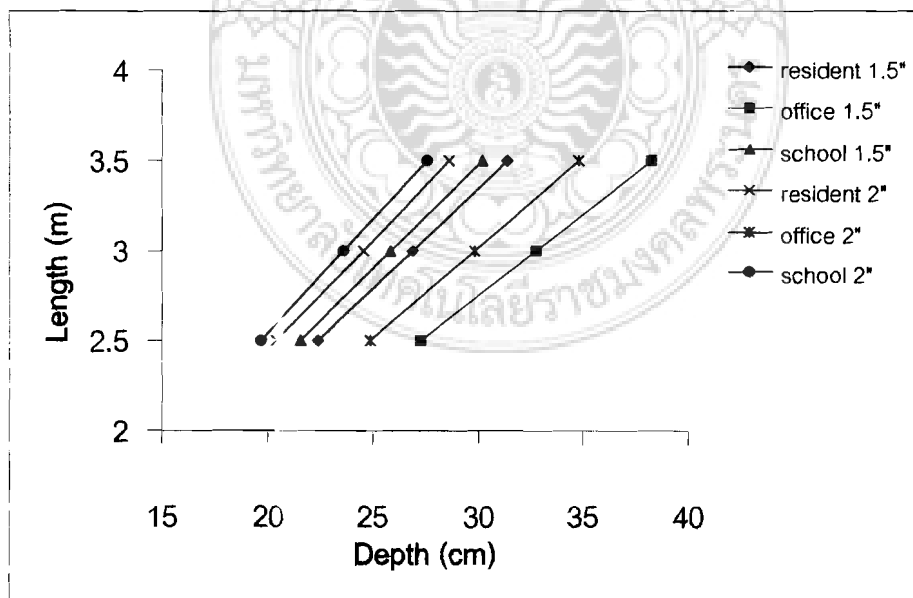
รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ ที่ระยะเรียง 30 ซม.

ข. ในกรณีที่พิจารณาขนาดความกว้าง 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 40 ซม. ที่ความยาวตงมากที่สุดเท่ากับ 3.5 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกจรมที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน จะได้ขนาดตงไม้ที่ใส่แต่งแล้ว (2-1½"x 6", 2-2"x 5½"), (2-1½"x 7½", 2-2"x 6½"), (2-1½"x 6", 2-2"x 5½") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.2 และตารางที่ 7.3



รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พุกษ์ ที่ระยะเรียง 40 ซม.

ค. ในกรณีที่พิจารณาขนาดความกว้าง 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 50 ซม. ที่ความยาวตงมากที่สุดเท่ากับ 3.5 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกจร ที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน จะได้ขนาดตงไม้ที่ไต่เต่างแล้ว (2-1½"×6½", 2-2"×6"), (2-1½"×8", 2-2"×7"), (2-1½"×6", 2-2"×5½") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.3 และตารางที่ 7.3



รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พุกษ์ ที่ระยะเรียง 50 ซม.

ตารางที่ 7.3 ขนาดหน้าตัดตง(คู่)ไม้พุกษ์ แบ่งตามประเภทของน้ำหนักบรรทุกจร

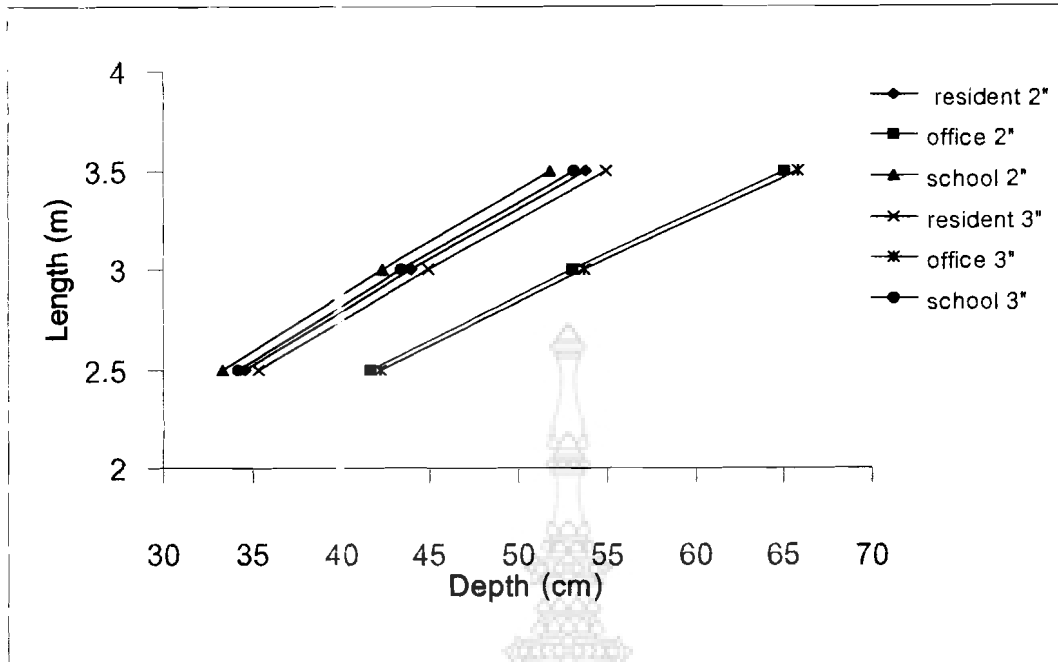
ประเภทของอาคาร	ความยาวตง (เมตร)	ระยะเรียงตง (ซม.)	จำนวน (ท่อน)	ขนาดหน้าตัดที่ต้องการ		
				ไม้หนา 1½ นิ้ว	ไม้หนา 2 นิ้ว	
อาคารพักอาศัย	2.5	30	2	1½" x 4"	2" x 3½"	
		40	2	1½" x 4½"	2" x 4"	
		50	2	1½" x 4½"	2" x 4½"	
	3	30	2	1½" x 5"	2" x 4½"	
		40	2	1½" x 5"	2" x 5"	
		50	2	1½" x 5½"	2" x 5"	
	3.5	30	2	1½" x 5½"	2" x 5"	
		40	2	1½" x 6"	2" x 5½"	
		50	2	1½" x 6½"	2" x 6"	
	อาคารสำนักงาน	2.5	30	2	1½" x 5"	2" x 4½"
			40	2	1½" x 5½"	2" x 5"
			50	2	1½" x 5½"	2" x 5"
3		30	2	1½" x 5½"	2" x 5"	
		40	2	1½" x 6½"	2" x 5½"	
		50	2	1½" x 6½"	2" x 6"	
3.5		30	2	1½" x 6½"	2" x 6"	
		40	2	1½" x 7½"	2" x 6½"	
		50	3	1½" x 8"	2" x 7"	
โรงเรียน		2.5	30	2	1½" x 4"	2" x 3½"
			40	2	1½" x 4"	2" x 4"
			50	2	1½" x 4½"	2" x 4"
	3	30	2	1½" x 4½"	2" x 4"	
		40	2	1½" x 5"	2" x 4½"	
		50	2	1½" x 5½"	2" x 5"	
	3.5	30	2	1½" x 5½"	2" x 5"	
		40	2	1½" x 6"	2" x 5½"	
		50	2	1½" x 6"	2" x 5½"	

หมายเหตุ : ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไม้แล้ว (Dressed dimensions)

7.2.2 คานไม้ (Beam)

การออกแบบขนาดหน้าตัดคานไม้พฤษ์ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (EIT CODE) [15] โดยใช้ข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติทางด้านเชิงกลของไม้พฤษ์ ที่ช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 85903 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.204 การทดสอบโมดูลัสแตกหักมีค่าเท่ากับ 902 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.162 การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้นใยมีค่าเท่ากับ 253 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.171 การทดสอบความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 0.796 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.068 กำหนดค่าความน่าจะเป็นที่เนื่องจากการโค้งตัวของคานไม้ กำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงเฉือน ให้อยู่ในพิสัยที่ยอมรับได้ที่ระดับ ($p_f = 10^{-4}$) ($p_f = 10^{-6}$) และ ($p_f = 10^{-4}$) [14] ตามลำดับ โดยพิจารณาตัวแปรเชิงกำหนด มีขนาดความกว้างของตงและคานไม้ อย่างละ 2 ขนาดคือ 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และ 3 นิ้ว (7.62 ซม.) ตามลำดับ ความยาวของคานไม้ 3 ขนาดคือ 2.50 3.00 และ 3.50 เมตร โดยที่ขนาดและความยาวดังที่กล่าวมา จะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตงไม้ (Spacing) ที่ระยะ 30 40 และ 50 ซม. ตามลำดับ สำหรับการออกแบบคานไม้ ตามรูปแบบในภาคผนวก (ก) พิจารณาฐานรองรับเป็นแบบช่วงเดียวธรรมดา สำหรับบ้านพักอาศัย มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 182.4 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.186 อาคารสำนักงาน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 350 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.180 และ อาคารโรงเรียน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 163.3 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.133 มีความหนาของพื้นไม้พฤษ์คงที่ เท่ากับ 1 นิ้ว (2.54 ซม.) และจากการนำเอาข้อมูลดังที่กล่าวมาทำการออกแบบหาขนาดหน้าตัดของคานไม้พฤษ์ซึ่งเป็นขนาดที่ไผ่แต่งแล้ว รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบ แสดงไว้ในภาคผนวก ก พบว่า

ในกรณีที่พิจารณาขนาดหน้าตัดคานหนา 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และ 3 นิ้ว (7.62 ซม.) ระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 30 40 และ 50 ซม. ความยาวคาน 2.50 3.00 และ 3.50 เมตร ซึ่งแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกจรของ อาคารที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และโรงเรียน ตัวอย่างเช่น พิจารณาขนาดคานหนา 2 นิ้ว (5.08 ซม.) และ 3 นิ้ว (7.62 ซม.) ความยาวคาน 3.50 เมตร จะได้ขนาดหน้าตัดของคานไม้ (คานคู่) ที่ไผ่แต่งแล้วโดยเลือกให้ขนาดที่มีขายตามท้องตลาดคือ 2-2"x11", 2-2"x13", 2-2"x10½" และ 2-3"x11", 2-3"x13", 2-3"x10½" ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.4 และตารางที่ 7.4



รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของคานไม้ แบ่งตามประเภทหน้าพนักงาน
ใช้งานของอาคาร

ตารางที่ 7.4 ขนาดหน้าตัดของคานไม้พุกซ์ (คานคู่) แบ่งตามประเภทของหน้าพนักงานบรรจุ

ประเภทองค์ อาคาร	ความยาวคาน (ม.)	จำนวน (ท่อน)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 2 นิ้ว)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 3 นิ้ว)
พักอาศัย	2.5	2	2"x7"	3"x7"
	3.0	2	2"x9"	3"x9"
	3.5	2	2"x11"	3"x11"
สำนักงาน	2.5	2	2"x 8½"	3"x 8½"
	3.0	2	2"x10½"	3"x11"
	3.5	2	2"x13"	3"x13"
โรงเรียน	2.5	2	2"x 7"	3"x7"
	3.0	2	2"x 8½"	3"x9"
	3.5	2	2"x10½"	2"x10½"

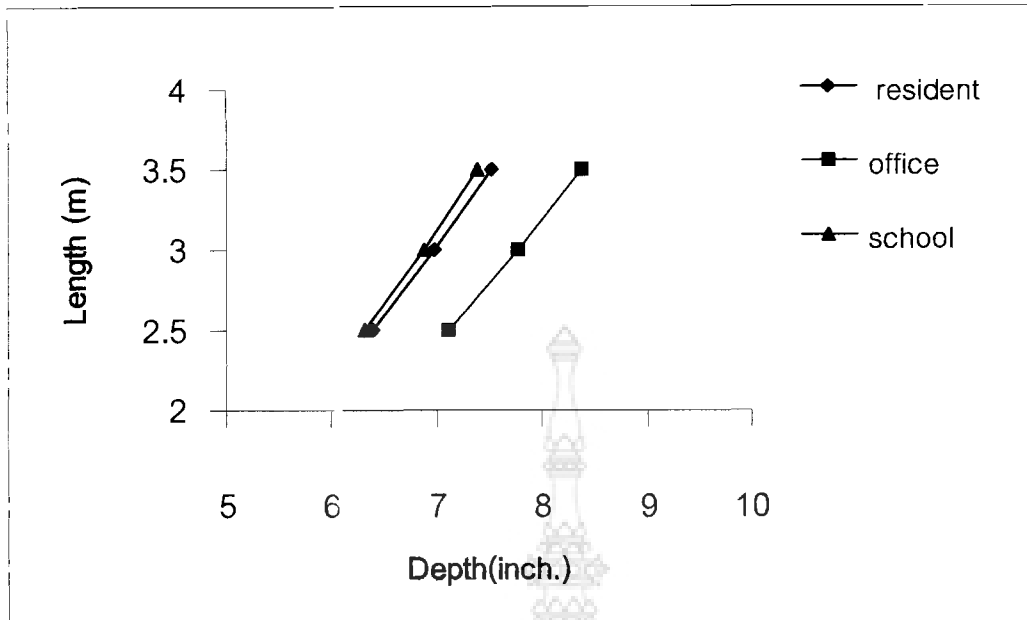
หมายเหตุ : ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions)

: ระยะเรียงของตงเท่ากับ 0.50 เมตร

7.2.3 เสาไม้ (Column)

การออกแบบขนาดหน้าตัดคานไม้พฤษ์ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (EIT CODE) [15] โดยใช้ข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติทางด้านเชิงกลของไม้พฤษ์ ที่ช่วงแห่งความชื้นร้อยละ 99 โดยการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 85,903 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.204 การทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยนมีค่าเท่ากับ 565.56 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.119 การทดสอบความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 0.796 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.068 กำหนดค่าความน่าจะเป็นวิบัติเนื่องจากการโก่งตัว (Buckling) ของเสาไม้ ให้อยู่ในพิภคที่ยอมรับได้ที่ระดับ ($p_r = 10^{-6}$) [14] ตามลำดับ โดยพิจารณาตัวแปรเชิงกำหนด โดยให้ขนาดความกว้างของตงและคานไม้อย่างละ 2 ขนาดคือ 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และ 3 นิ้ว (7.62 ซม.) ตามลำดับ ความยาวของตงและคานไม้ 3 ขนาดคือ 2.50 3.00 และ 3.50 เมตร โดยที่ขนาดและความยาวดังกล่าว จะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตงไม้ (Spacing) ที่ระยะ 30 40 และ 50 ซม. ตามลำดับ สำหรับการออกแบบเสาไม้ ตามรูปแบบในภาคผนวก (ก) กำลังการรับน้ำหนักของเสาโดดๆ วิเคราะห์ได้ตามแนวทางที่ Leonhard Euler ได้เสนอไว้โดยการนำสมการ (Euler's Formula) มาใช้ในการคำนวณหาขนาดหน้าตัดเสาไม้ โดยแนะนำค่าตัวคูณความปลอดภัย Factor of Safety (F.S.) เท่ากับ 25 ได้จากการเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นวิบัติของเสาไม้ เนื่องจากการโก่งเดาะ (Buckling) ที่ช่วงการรับน้ำหนักระยะสั้นเนื่องจากแรงอัดที่ยอมรับได้ที่ระดับ 10^{-6} ($p_r = 10^{-6}$) โดยแบ่งประเภทการใช้น้ำหนักบรรทุก ตามเทศบัญญัติ เป็นที่พักอาศัย มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุก 182.4 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.186 อาคารสำนักงานมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุก 350 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.180 และโรงเรียน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุก 163.3 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.133 ความหนาของพื้นไม้พฤษ์คงที่ เท่ากับ 1 นิ้ว (2.54 ซม.) และนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาทำการออกแบบหาขนาดหน้าตัดของเสาไม้พฤษ์ ซึ่งเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้ว (Dressed Dimension) รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบแสดงไว้ในภาคผนวก ก พบว่า

ในกรณีที่พิจารณาขนาดหน้าตัดคานกว้าง 2 นิ้ว (5.04 ซม.) 3 นิ้ว (7.62 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 30 40 และ 50 ซม. ความยาวคานที่ 2.50 3.00 และ 3.50 เมตร ซึ่งแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกของอาคารที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และโรงเรียน ตัวอย่างเช่น หาก พิจารณาคานกว้าง 3 นิ้ว (7.62 ซม.) ความยาว คานเท่ากับ 3.50 เมตร เมื่อกำหนดออกแบบแล้ว จะได้ขนาดหน้าตัดของเสาไม้ที่ใส่แต่งแล้วโดยเลือกใช้น้ำหนักที่มีขายตามท้องตลาด คือ (5"x5"), (6"x6") (7"x7"), (8"x8") และ (9"x9") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.5 และตารางที่ 7.5



รูปที่ 7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของคานกับขนาดเสาไม้ แบ่งตามประเภท
น้ำหนักการใช้งานของอาคาร

ตารางที่ 7.5 ขนาดหน้าตัดของเสาไม้พุกซ์ แบ่งตามประเภทของน้ำหนักบรรทุก

ประเภทของอาคาร	ความสูงเสา (ม.)	ความยาวคาน (ม.)	หน้าตัดที่คำนวณได้ (คานไม้หนา 2 นิ้ว)	ขนาดหน้าตัดที่เลือกใช้ (คานไม้หนา 3 นิ้ว)
พักอาศัย	3.00	2.5	6½" x 6½"	6½" x 6½"
		3.0	7" x 7"	7" x 7"
		3.5	7½" x 7½"	7½" x 7½"
สำนักงาน	3.00	2.5	7½" x 7½"	7½" x 7½"
		3.0	8" x 8"	8" x 8"
		3.5	8½" x 8½"	8½" x 8½"
โรงเรียน	3.00	2.5	6½" x 6½"	6½" x 6½"
		3.0	7" x 7"	7" x 7"
		3.5	7½" x 7½"	7½" x 7½"

หมายเหตุ : ความสูงอาคารไม่เกิน 2 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงพื้น 3.00 ม.

: ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions)

: ระยะเรียงของตงไม้ 0.50 ม. และความหนาของคานไม้ 2" และ 3"

7.2.4 สรุปและวิจารณ์ (Discussion) การนำไม้พฤษมาใช้เป็นองค์อาคาร

7.2.4.1 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ความน่าจะเป็น (p_r) ขององค์อาคารไม้ในส่วนของตงหรือคานจะเห็นว่าเมื่อทำการออกแบบขององค์อาคารไม้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (2517)[15] จะทำให้เกิดค่าความน่าจะเป็นเมื่อขนาดตงหรือคานที่ได้มีค่าลดลง เมื่อระยะเรียงของตงหรือคานมีค่าเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจาก เมื่อระยะเรียง (Spacing) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักที่กระทำกับตงหรือคานเพิ่มขึ้น (ขนาดพื้นที่ในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น) เพื่อให้ค่าการโก่งตัว (Deflection) อยู่ในพิสัยที่ระดับที่ยอมรับได้ (1 ใน 360 เท่าต่อหน่วยความยาว ในกรณีของน้ำหนักที่กระทำเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform)) จึงต้องเพิ่มขนาดความลึกของตงหรือคานให้อยู่ในพิสัยที่กำหนด ในขณะที่ขนาดความลึกของตงหรือคานที่คำนวณได้ ไม่มีขายในท้องตลาด จึงจำเป็นต้องใช้ขนาดที่ใหญ่กว่า ซึ่งมีขายในท้องตลาด ทำให้น้ำหนักที่กระทำกับตงหรือคานเพิ่มขึ้นตาม จากค่าการโก่งตัวที่มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความน่าจะเป็นของตงและคานจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับเสาก็เช่นเดียวกันเมื่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นตามและส่งผลให้ขนาดหน้าตัดเสาเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

7.2.4.2 ข้อเสนอแนะการใช้งาน

เนื้อไม้พฤษมีสีสวยงามและมีความเหมาะสมในการใช้เป็นองค์ประกอบของโครงสร้าง ของอาคาร จากผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้ในส่วนของตง คาน และเสา ซึ่งออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (2517) [15] เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติ 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และโรงเรียน ในรูปของค่าความน่าจะเป็น (p_r) [14] โดยแยกตามประเภทขององค์อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 ขนาดที่เหมาะสมของไม้พฤษในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่าง ๆ

ชนิดขององค์ประกอบ	ค่าความน่าจะเป็น (p _r)	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารส่วนต่างๆ สำหรับอาคารแต่ละประเภท		
		ที่พักอาศัย	สำนักงาน	โรงเรียน
ตง	10 ⁻⁴	2-1½"×6" 2- 2"×5½" @ 0.50	2-1½"×8" 2- 2"×7" @ 0.50	2-1½"×6" 2- 2"×5½" @ 0.50
คาน	10 ⁻⁴	2- 2"×11"	2- 2"×13"	2- 2"×10½"
		2- 3"×11"	2- 3"×13"	2- 3"×10½"
เสา	10 ⁻⁶	7½" × 7½"	8½"×8½"	7½" × 7½"

หมายเหตุ : ความสูงอาคารไม่เกิน 2 ชั้น ระยะระหว่างเสา 3.50 ม. ความสูงพื้นถึงพื้น 3.00 ม.

: ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions)

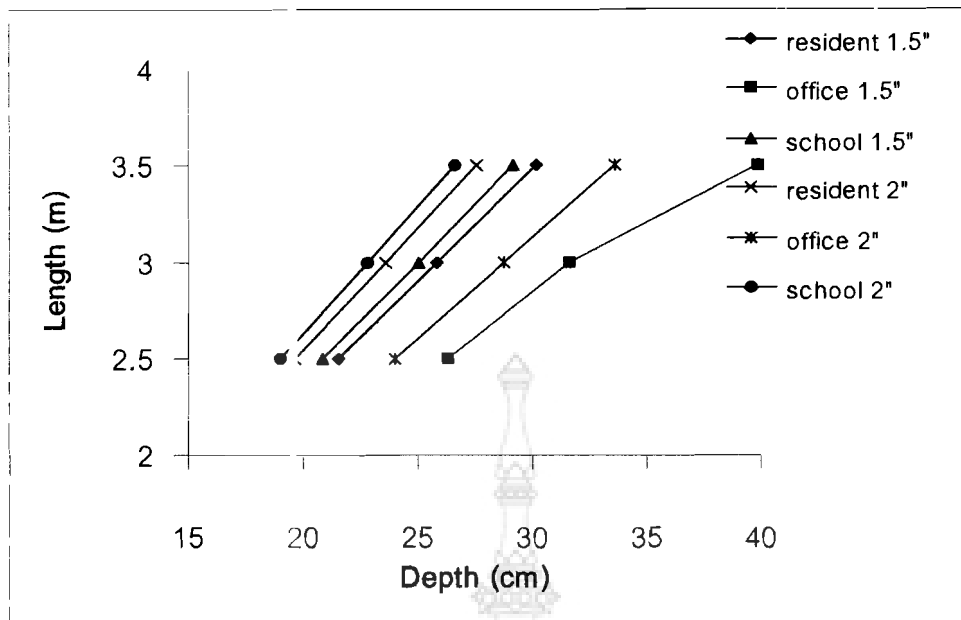
7.3 การนำไม้จามจรีมาใช้เป็นองค์อาคารไม้

ผลการวิเคราะห์สามารถแบ่งตามประเภทขององค์อาคารไม้ได้ดังต่อไปนี้

7.3.1 ตงไม้ (Joist)

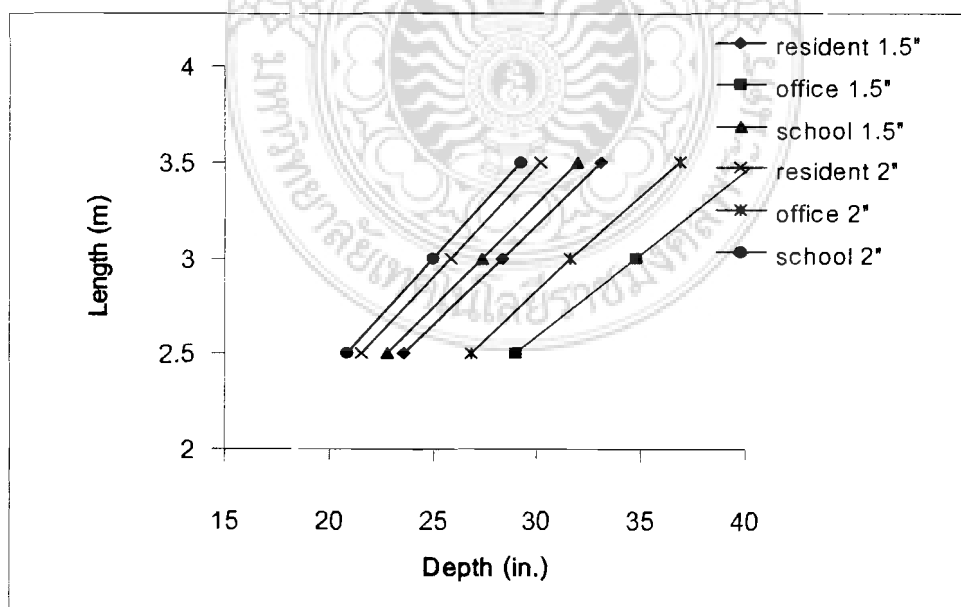
การออกแบบขนาดหน้าตัดของตงไม้จามจรีออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท.(EIT CODE) โดยใช้ข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติทางด้านเชิงกลของไม้จามจรี ที่ช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 49,997 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.202 การทดสอบโมดูลัสแตกหักมีค่าเท่ากับ 392 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.188 การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้นใยมีค่าเท่ากับ 129 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.171 การทดสอบความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 0.51 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.086 กำหนดค่าความน่าจะเป็นที่เนื่องจากการโค้งตัวของตงไม้ที่อยู่ในพิสัยที่ยอมรับได้ที่ระดับ ($p_r = 10^{-4}$) [14] โดยพิจารณาตัวแปรเชิงกำหนด มีขนาดความกว้างของตงไม้ 2 ขนาดคือ 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) และ 2 นิ้ว (5.08 ซม.) ความยาวของตงไม้ 3 ขนาดคือ 2.50, 3.00 และ 3.50 เมตรโดยที่ขนาดและความยาวดังกล่าว จะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตงไม้ (Spacing) ที่ระยะ 30 40 และ 50 ซม. ตามลำดับ สำหรับการออกแบบตงไม้ ตามรูปแบบในภาคผนวก (ก) พิจารณาฐานรองรับเป็นแบบช่วงเดียวธรรมดาสำหรับบ้านพักอาศัย มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 182.4 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.186 อาคารสำนักงาน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 350 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.180 และอาคารโรงเรียน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 163.3 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.133 มีความหนาของพื้นไม้พฤษ์คงที่เท่ากับ 1 นิ้ว (2.54 ซม.) จากการนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาออกแบบขนาดหน้าตัดตงไม้จามจรีเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้วรายละเอียดขั้นตอนการออกแบบแสดงในภาคผนวก ก. พบว่า

ก. ในกรณีที่พิจารณาขนาดความกว้าง 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 30 ซม. ที่ความยาวตงมากที่สุดเท่ากับ 3.5 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกจรของอาคารที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และโรงเรียนจะได้ขนาดตงไม้ที่ใส่แต่งแล้ว (1½"x6", 2"x5½"), (1½"x7½", 2"x7"), (1½"x6½", 2"x5½") ตามลำดับดังรูปที่ 7.6 และตารางที่ 7.7



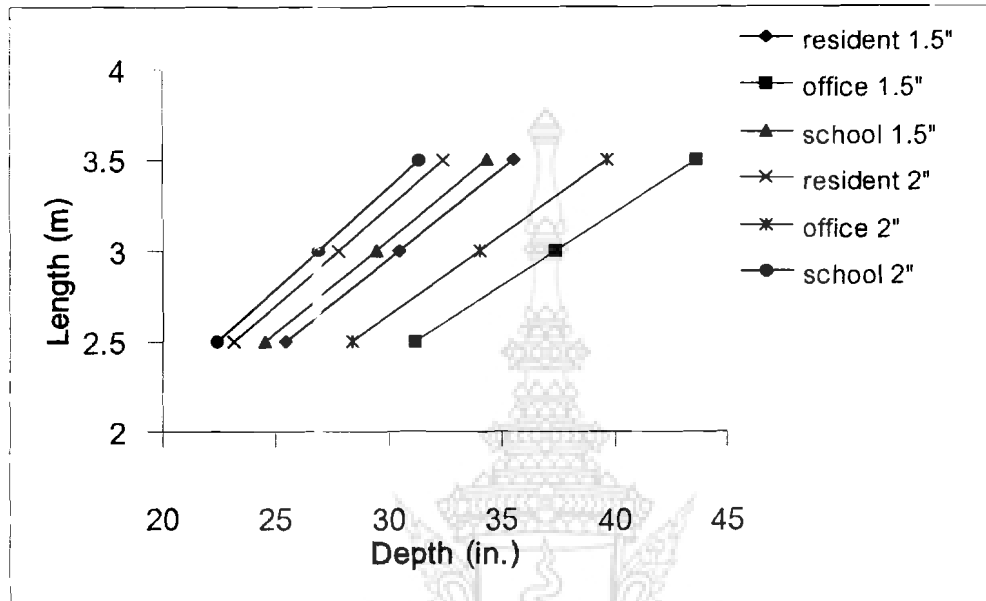
รูปที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของต้นไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับต้นไม้พุ่ม ที่ระยะเรียง 30 ซม.

ข. ในกรณีที่พิจารณาขนาดความกว้าง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และระยะเรียงของต้นไม้เท่ากับ 40 ซม. ที่ความยาวต้นไม้มากที่สุดเท่ากับ 3.5 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักรบรรทุก ที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียนได้ขนาดต้นไม้ที่ใส่แต่งแล้ว ($1\frac{1}{2}$ "x7", 2"x6"), ($1\frac{1}{2}$ "x8", 2"x7 $\frac{1}{2}$ "), ($1\frac{1}{2}$ " x6 $\frac{1}{2}$ ", 2"x6") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.7 และตารางที่ 7.7



รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของต้นไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับต้นไม้พุ่ม ที่ระยะเรียง 40 ซม.

ค. ในกรณีที่มีพิจารณาขนาดความกว้าง 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 50 ซม. ที่ความยาวตงมากที่สุดเท่ากับ 3.5 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักรรทุกจร ที่พักอาศัย สำนักงานและโรงเรียนจะได้ขนาดตงไม้ที่ใส่ต่างแล้ว (1½"x7½", 2"x6½"), (1½"x9", 2"x8"), (1½"x7", 2"x6½") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.8 และตารางที่ 7.7



รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของตงไม้ ตามประเภทของอาคาร สำหรับตงไม้พฤษ ที่ระยะเรียง 50 ซม.

ตารางที่ 7.7 ขนาดหน้าตัดตงไม้จามจรี แบ่งตามประเภทของน้ำหนักรรทุกจร

ประเภทของอาคาร	ความยาวตง (เมตร)	ระยะเรียงตง (ซม.)	จำนวน (ท่อน)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 1½ นิ้ว)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 2 นิ้ว)
อาคารพักอาศัย	2.5	30	2	1½" x 4½"	2"x4"
		40	2	1½" x 5"	2"x4½"
		50	2	1½" x 5½"	2"x5"
	3	30	2	1½" x 5½"	2"x5"
		40	2	1½" x 6"	2"x5½"
		50	2	1½" x 6½"	2"x5½"
	3.5	30	2	1½" x 6"	2"x5½"
		40	2	1½" x 7"	2"x6"
		50	2	1½" x 7½"	2"x6½"

ตารางที่ 7.7 ขนาดหน้าตัดตงไม้จามจรี แบ่งตามประเภทของน้ำหนักบรรทุกจร (ต่อ)

ประเภทของอาคาร	ความยาวตง (เมตร)	ระยะเรียงตง (ซม.)	จำนวน (ท่อน)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 1½ นิ้ว)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 2 นิ้ว)
อาคารสำนักงาน	2.5	30	2	1½" x 5½"	2"x5"
		40	2	1½" x 6"	2"x5½"
		50	2	1½" x 6½"	2"x6"
	3	30	2	1½" x 6½"	2"x6"
		40	2	1½" x 7"	2"x6½"
		50	2	1½" x 7½"	2"x7"
	3.5	30	2	1½" x 7½"	2"x7"
		40	2	1½" x 8"	2"x7½"
		50	2	1½" x 9"	2"x8"
อาคารโรงเรียน	2.5	30	2	1½" x 4½"	2"x4"
		40	2	1½" x 5"	2"x4½"
		50	2	1½" x 5"	2"x4½"
	3	30	2	1½" x 5"	2"x5"
		40	2	1½" x 5½"	2"x5"
		50	2	1½" x 6"	2"x5½"
	3.5	30	2	1½" x 6½"	2"x5½"
		40	2	1½" x 6½"	2"x6"
		50	2	1½" x 7"	2"x6½"

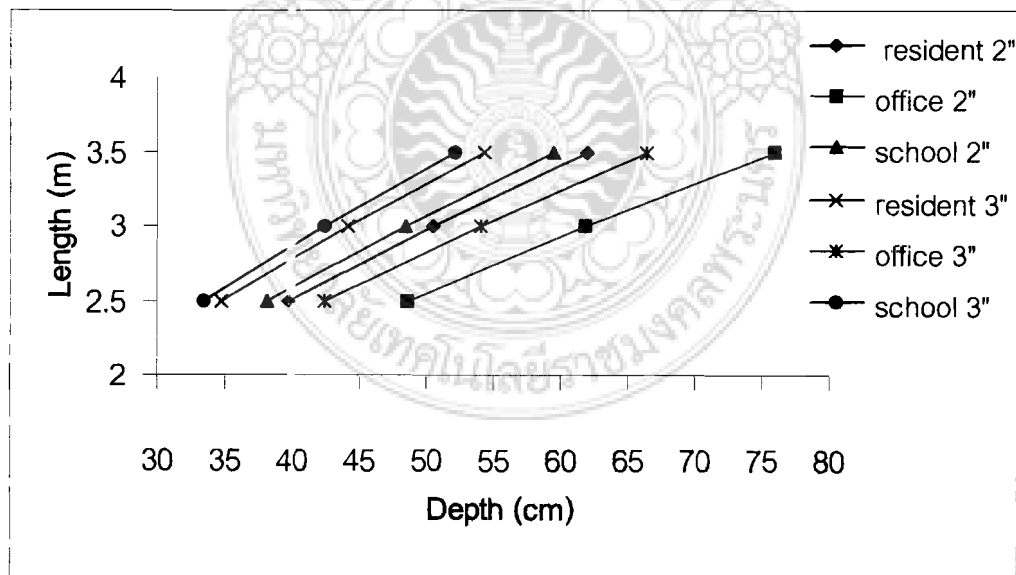
หมายเหตุ : ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions)

7.3.2 คานไม้ (Beam)

การออกแบบขนาดหน้าตัดคานไม้พฤษ์ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (EIT CODE) [15] โดยใช้ข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติทางด้านเชิงกลของไม้จามจรี ที่ช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 54,692 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.208 การทดสอบโมดูลัสแตกหักมีค่าเท่ากับ 384.325 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.177 การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้นใยมีค่าเท่ากับ 51.658 กก./ซม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.193 การทดสอบความดัดงอเฉพาะมีค่าเท่ากับ 0.368 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.083 กำหนดค่าความน่าจะเป็นวิบัติเนื่องจากการโค้งตัวของคานไม้ กำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงเฉือน ให้อยู่ในพิภพที่ยอมรับได้ที่ระดับ ($p_1 = 10^{-4}$), ($p_2 = 10^{-5}$) และ ($p_3 = 10^{-4}$)

[14] ตามลำดับ โดยพิจารณาตัวแปรเชิงกำหนด มีขนาดความกว้างของตงและคานไม้อย่างละ 2 ขนาด คือ 1½ นิ้ว (3.81 ซม.) 2 นิ้ว (5.04 ซม.) และ 3 นิ้ว (7.62 ซม.) ตามลำดับ ความยาวของคานไม้ใช้ 3 ขนาดคือ 2.50, 3.00 และ 3.50 เมตร โดยที่ขนาดและความยาวดังที่กล่าวมา จะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตงไม้ (Spacing) ที่ระยะ 30 40 และ 50 ซม. ตามลำดับ สำหรับการออกแบบคานไม้ตามรูปแบบในภาคผนวก (ก) พิจารณารูปร่างรองรับเป็นแบบช่วงเดียวธรรมดา สำหรับบ้านพักอาศัย มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 182.4 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.186 อาคารสำนักงาน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 350 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.180 และโรงเรียน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 163.3 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.133 มีความหนาของพื้นไม้พุกซ์คิงที่เท่ากับ 1 นิ้ว (2.54 ซม.) และจากการนำเอาข้อมูลดังที่กล่าวมาทำการออกแบบหาขนาดหน้าตัดของคานไม้จามจรีซึ่งเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้ว รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบแสดงไว้ในภาคผนวก ก) พบว่า

ในกรณีที่พิจารณาคานหน้าตัดคานกว้าง 2 นิ้ว (5.04 ซม.) 3 นิ้ว (7.62 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 50 ซม.ความยาวคาน 3.50 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกจรของอาคารที่พักอาศัย อาคารสำนักงานและโรงเรียนแล้วจะได้ขนาดหน้าตัดของคานไม้ (คานคู่) ที่ใส่แต่งแล้วโดยเลือกใช้ขนาดที่มีขายตามท้องตลาดคือ (2"x12½", 3"x11"), (2"x15", 3"x13½"), (2"x12"), (3"x10½") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.9 และตาราง ที่ 7.8



รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความลึกของคานไม้ แบ่งตามประเภทน้ำหนักการใช้งานของอาคาร

ตารางที่ 7.8 ขนาดหน้าตัดของคานไม้จามจรี (คานคู่) แบ่งตามประเภทของน้ำหนักบรรทุกจร

ประเภทองค์ อาคาร	ความยาวคาน (ชม.)	จำนวน (ท่อน)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 2 นิ้ว)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้หนา 3 นิ้ว)
พักอาศัย	2.5	2	2"x8"	3"x7"
	3.0	2	2"x10"	3"x9"
	3.5	2	2"x12½"	3"x11"
สำนักงาน	2.5	2	2"x10"	3"x8½"
	3.0	2	2"x12½"	3"x11"
	3.5	2	2"x15"	3"x13½"
โรงเรียน	2.5	2	2"x8"	3"x7"
	3.0	2	2"x10"	3"x8½"
	3.5	2	2"x12"	3"x10½"

หมายเหตุ : ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions)

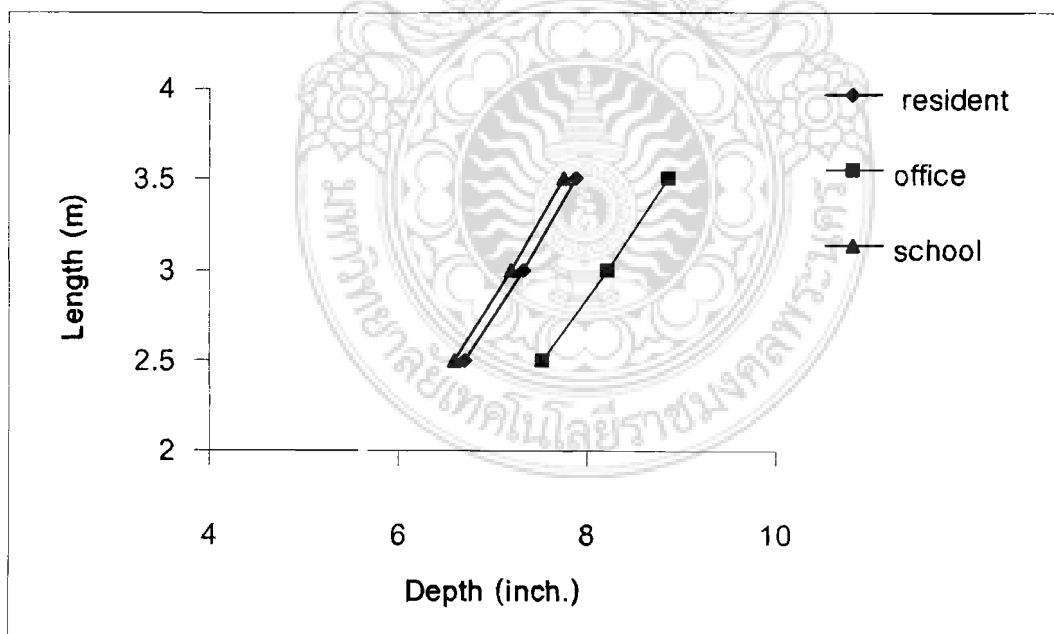
: ระยะเรียงของตง 0.50 เมตร

7.3.3 เสาไม้ (Column)

การออกแบบขนาดหน้าตัดคานไม้พฤษ์ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (EIT CODE) โดยใช้ข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติทางด้านเชิงกลของไม้จามจรี ที่ช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 49,997 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.202 การทดสอบโมดูลัสแตกหักมีค่าเท่ากับ 392 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.188 การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้นใยมีค่าเท่ากับ 129 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.171 การทดสอบความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 0.51 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.086 กำหนดค่าความน่าจะเป็นวิบัติเนื่องจากการโก่งตัว (Buckling) ของเสาไม้ ให้อยู่ในพิภพที่ยอมรับได้ที่ระดับ ($p_r = 10^{-6}$) [14] ตามลำดับ โดยพิจารณาตัวแปรเชิงกำหนด โดยให้ขนาดความกว้างของตงและคานไม้ย่อยละ 2 ขนาดคือ 1½ นิ้ว (3.81 ชม.) 2 นิ้ว (5.04 ชม.) และ 3 นิ้ว (7.62 ชม.) ตามลำดับ ความยาวของตงและคานไม้ 3 ขนาดคือ 2.50, 3.00 และ 3.50 เมตร โดยที่ขนาดและความยาวดังกล่าว จะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตงไม้ (Spacing) ที่ระยะ 30 40 และ 50 ชม. ตามลำดับ สำหรับการออกแบบเสาไม้ ตามรูปแบบในภาคผนวก (ก) และ (ข) กำลังการรับน้ำหนักของเสาโคดๆ วิเคราะห์ได้ตามแนวทางที่ Leonhard Euler ได้เสนอไว้โดยการนำสมการ (Euler's Formula) มาใช้ในการคำนวณหาขนาดหน้าตัดเสาไม้ โดยแนะนำค่าตัวคูณความปลอดภัย Factor of Safety

(FS) เท่ากับ 25 ได้จากการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของเสาะไม้ เนื่องจากการโก่งเดาะ (Bucking) ที่ช่วงการรับน้ำหนักกระยะสั้นเนื่องจากแรงอัดที่ยอมรับได้ที่ระดับ 10^{-6} ($p_r=10^{-6}$) โดยแบ่งประเภทการใช้น้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติ เป็นที่พักอาศัยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 182.4 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.186 อาคารสำนักงานมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 350 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.180 และโรงเรียนมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจร 163.3 กก./ม.² สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.133 มีความหนาของพื้นไม้พฤษคองที่เท่ากับ 1 นิ้ว (2.54 ซม.) และจากการนำเอาข้อมูลดังที่กล่าวมา ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบหาขนาดหน้าตัดของเสาะไม้จามจรี ซึ่งเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้ว (Dressed Dimension) รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบแสดงไว้ในภาคผนวก ก) พบว่า

ในกรณีที่พิจารณาขนาดหน้าตัดคานกว้าง 2 นิ้ว (5.04 ซม.) 3 นิ้ว (7.62 ซม.) และระยะเรียงของตงไม้เท่ากับ 30 40 และ 50 ซม. ความยาวคานที่ 2.50 3.00 และ 3.50 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งตามประเภทการใช้งานของน้ำหนักบรรทุกจรของ อาคารที่พักอาศัย อาคารสำนักงานและโรงเรียนแล้วจะได้ขนาดหน้าตัดของเสาะไม้ที่ใส่แต่งแล้วเมื่อระยะเรียงตง 0.50 ม. โดยจะใช้ขนาดที่มีขายตามท้องตลาด คือ (8"x8", 8"x8") , (9"x9", 9"x9") , (8"x8" , 8"x8") ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.10 และตารางที่ 7.9



รูปที่ 7.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของคานกับขนาดเสาะไม้ แบ่งตามประเภทน้ำหนักการใช้งานของอาคาร

ตารางที่ 7.9 ขนาดหน้าตัดของเสาไม้จามจรี แบ่งตามประเภทของน้ำหนักบรรทุก

ประเภทองค์ อาคาร	ความสูงเสา (ม.)	ความยาวคาน (ม.)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้คานหนา 2 นิ้ว)	หน้าตัดที่ต้องการ (ไม้คานหนา 3 นิ้ว)
พักอาศัย	3.00	2.5	7"x7"	7"x7"
		3.0	7½" x 7½"	7½" x 7½"
		3.5	8" x 8"	8" x 8"
สำนักงาน	3.00	2.5	7½" x 7½"	7½" x 7½"
		3.0	8½" x 8½"	8½" x 8½"
		3.5	9" x 9"	9" x 9"
โรงเรียน	3.00	2.5	7"x7"	7"x7"
		3.0	7½" x 7½"	7½" x 7½"
		3.5	8" x 8"	8" x 8"

หมายเหตุ : ความสูงอาคารไม่เกิน 2 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงพื้น 3.00 ม.

: ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions)

7.3.4 สรุปและวิจารณ์ (Discussion) การนำไม้จามจรีมาใช้เป็นองค์อาคาร

7.3.4.1 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (p_r) ขององค์อาคารไม้ในส่วนของตงหรือคานจะเห็นว่าเมื่อทำการออกแบบองค์อาคารไม้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.(2517) [15] จะทำให้ค่าความน่าเชื่อถือของขนาดตงหรือคานที่ได้มีค่าลดลง เมื่อระยะเรียงของตงหรือคานมีค่าเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจาก เมื่อระยะเรียง (Spacing) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักที่กระทำกับตงหรือคานเพิ่มขึ้น (ขนาดพื้นที่ในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น) เพื่อให้ค่าการโก่งตัว (Deflection) อยู่ในพิสัยที่ระดับที่ยอมรับได้ (1 ใน 360 เท่าต่อหน่วยความยาว ในกรณีของน้ำหนักที่กระทำเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform)) จึงต้องเพิ่มขนาดความลึกของตงหรือคานให้อยู่ในพิสัยที่กำหนด ในขณะที่ขนาดความลึกของตงหรือคานที่คำนวณได้ ไม่มีขายในท้องตลาด จึงจำเป็นต้องใช้ขนาดที่ใหญ่กว่า ซึ่งมีขายในท้องตลาด ทำให้น้ำหนักที่กระทำกับตงหรือคานเพิ่มขึ้นตาม จากค่าการโก่งตัวที่มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความน่าเชื่อถือของตงและคานจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับเสาก็เช่นเดียวกันเมื่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นตามและส่งผลให้ขนาดหน้าตัดเสาเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

7.3.4.2 ข้อเสนอแนะการใช้งาน

เนื้อไม้จามจุรีมีสีสวยงามและมีความเหมาะสมในการใช้เป็นองค์ประกอบของโครงสร้าง ของอาคาร จากผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้ในส่วนของตง คาน และเสา ซึ่งออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (2517) เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติ 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และโรงเรียน ในรูปของค่าความน่าจะเป็น (p) [14] โดยแยกตามประเภทขององค์อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7.10 ขนาดที่เหมาะสมของไม้จามจุรีในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่าง ๆ

ชนิดขององค์ประกอบ	ค่าความน่าจะเป็น (p)	ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารส่วนต่างๆ สำหรับอาคารแต่ละประเภท		
		ที่พักอาศัย	สำนักงาน	โรงเรียน
ตง	10^{-4}	2-1½" × 7½"	2-1½" × 9"	2-1½" × 7"
		2-2" × 6½" @ 0.50	2-2" × 8" @ 0.50	2-2" × 6½" @ 0.50
คาน	10^{-4}	2-2" × 12½"	2-2" × 15"	2-2" × 12"
		2-3" × 11"	2-3" × 13½"	2-3" × 10½"
เสา	10^{-6}	8" × 8"	9" × 9"	8" × 8"

หมายเหตุ : ความสูงอาคารไม่เกิน 2 ชั้น ระยะระหว่างเสา 3.50 ม. ความสูงพื้นถึงพื้น 3.00 ม.

: ขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions)

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

(Conclusion and Recommendation)

8.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้ซึ่งประกอบด้วย ตง คาน และ เสา สำหรับอาคารที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และอาคารโรงเรียน โดยนำเสนอผลการวิจัยในรูปแบบของการนำไปใช้งานเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างไม้ และแนะนำค่าตัวคูณความปลอดภัยขององค์อาคารต่างๆ ทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติจากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของไม้พฤษและไม้จามจุรีด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST (Civil Engineering Statistical TEST) [12] เพื่อหาคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้ทั้งสองชนิดในภาคผนวก ง และออกแบบขนาดหน้าตัดของคาน คาน ตัวแปรที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย ระยะเรียงตง ความกว้างของตง คาน และเสา ความยาวของตง คาน และเสา ตัวแปรสุ่มที่พิจารณาได้แก่ โมดูลัสยืดหยุ่น และน้ำหนักบรรทุกจร สมมติให้มีการแจกแจงแบบปกติ การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือใช้วิธีดจำกัดด้านการโก่งตัวสำหรับตง และคาน โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นเป็น 10^{-4} สำหรับเสาใช้เงื่อนไขการโก่งเดาะ (Buckling) โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นเป็น 10^{-6} ออกแบบขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้ด้วยวิธีปกติที่ใช้กันในปัจจุบันในภาคผนวก ก และ ข ซึ่งได้คำตอบตรงกันเมื่อใช้ซอฟต์แวร์ WCCAL [8-10] รวมถึงชาร์ตออกแบบของคานโดยอัตราส่วนปลอดภัย [9] ซึ่งเป็นชาร์ตที่ใช้ได้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ผลการศึกษาได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้คือ

1. ตัวแปรเชิงนำจะเป็นที่มีผลต่อขนาดหน้าตัดมากที่สุด คือ สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่น และสัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร ตามลำดับ
2. จากการศึกษาตัวแปรเชิงนำกำหนดพบว่าเมื่อความกว้างของตงและคานเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความลึกของตงและคานลดลง ในขณะที่ระยะเรียงตง ความยาวของตงและคาน ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจร เพิ่มขึ้น จะทำให้ ความลึกของตงและคาน เพิ่มขึ้นด้วย
3. เมื่อพิจารณากรณีของตงและคานในสภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งาน ($p_r = 10^{-4}$) จะเป็นค่าที่ควบคุมพิบัติการโก่งตัวของตงและคาน เมื่อเทียบกับหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ที่สภาวะขีดจำกัดเชิงประลัย ($p_r = 10^{-5}$) และในทำนองเดียวกันกรณีของเสาในสภาวะขีดจำกัดเชิงประลัย ($p_r = 10^{-6}$) จะให้เป็นค่าควบคุมการโก่งเดาะ (Buckling) ของเสา
4. ขั้นตอนการออกแบบขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้ด้วยวิธีปกติที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน สำหรับหาขนาดหน้าตัดไม้และตัวคูณความปลอดภัย FS คำตอบที่ได้มีค่าเท่ากับผลที่ได้จากซอฟต์แวร์ WCCAL และชาร์ตสำหรับออกแบบค่า FS ภาคผนวก ข

5. สามารถหาอัตราส่วนปลอดภัย (Safety Factor, FS) จากความสัมพันธ์แบบกำลังสอง (Quadratic) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การแปรผันของความต้านทานเชิงโครงสร้าง (COV_R) สัมประสิทธิ์การแปรผันของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (COV_S) อัตราส่วนปลอดภัย (FS) และดัชนีความปลอดภัย β โดยเมื่อ COV_R และ COV_S เพิ่มขึ้น จะทำให้ FS เพิ่มขึ้นด้วย

6. อัตราส่วนปลอดภัยของโครงสร้างนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับ ประเภทขององค์อาคาร ความลึก ความยาว ระยะเรียงหรือคุณสมบัติเชิงกลของไม้ แต่จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางสถิติของไม้ และคุณสมบัติทางสถิติของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างเท่านั้น

7. ผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้พฤษและไม้จามจรี เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการจำแนกไม้ตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. [15] ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ของไม้เนื้ออ่อนมาก ดังนั้นในการนำไม้สองชนิดนี้ไปใช้งานโครงสร้างจำเป็นต้องให้ข้อมูลนี้ไปออกแบบ

8. วิธีการออกแบบของค้ำอาคารนี้ ได้ครอบคลุมข้อมูลทางวิศวกรรมในประเทศไทย ดังนั้นสามารถทำการออกแบบของค้ำอาคารไม้ได้ตามวิธีการที่ได้จัดทำไว้ในภาคผนวก ก และ ข หรือใช้ชาร์ตสำหรับออกแบบ กรณีไม้ที่ทราบคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางสถิติแล้ว

9. จากการที่ได้ศึกษาพฤติกรรมของตงและคานไม้เมื่อต้องรับแรงกระทำชนิดโมเมนต์ดัด พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแรงอัดและแรงดึงขนานเส้นไม้มีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแรงดัด (MOE) โดยให้ทฤษฎีเส้นตรงเป็นไปตามกฎของฮุก ได้จากการกระจายของหน่วยการยืด - หดตัวและการกระจายของหน่วยแรงอัด

8.2 ข้อแนะนำสำหรับการใช้งานทั่วไป

เมื่อนำคุณสมบัติของไม้พฤษและไม้จามจรีมาเปรียบเทียบกับไม้เนื้อแข็งที่นิยมใช้เป็นโครงสร้างเดิมจะเห็นว่าเนื้อไม้ที่มีคุณสมบัติไม่ด้อยไปกว่าไม้อื่นๆดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ที่นิยมใช้เป็นโครงสร้างกับไม้พฤษและไม้จามจรี

ชนิดของไม้	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความแข็ง (กก.)	ความเหนียว (กก.-ม.)	ความแข็งแรงของเนื้อไม้ (กก./ ซม^2)	โมดูลัสยืดหยุ่น ค่าเฉลี่ย (กก./ ซม^2)
สัก	0.83	493	1.95	1,034	108,800
เต็ง	1.01	964	6.10	1,732	175,100
รัง	1.00	755	3.42	1,352	143,100
มะค่าโมง	0.85	807	3.80	1,229	101,700
ประดู่	1.07	926	3.20	1,334	119,000

ที่ 8.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ที่นิยมใช้เป็นโครงสร้างกับไม้พฤษและไม้จามรี

ชนิดของไม้	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความแข็ง (กก.)	ความเหนียว (กก.-ม.)	ความแข็งแรงของเนื้อไม้ (กก./ซม ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น ค่าเฉลี่ย (กก./ซม ²)
ตะเคียนทอง	0.82	625	4.70	1,172	120,200
ทุเรียน	0.465	389	2.52	993	115,853
มะม่วง	0.468	335	2.50	471	89,444
กระท้อน	0.506	392	2.50	522	74,338
ไม้ตีนเป็ด	0.342	263	1.91	389	67,550
ไม้กระบก	0.851	474	5.18	375	57,628
ไม้พฤษ	0.796	444	5.36	902	85,903
ไม้จามรี	0.510	92	3.66	392	49,997

ไม้พฤษมีสีเทาแก่ๆหรือสีน้ำตาลเข้มปนเหลือง สีสันตรง เนื้อหยาบ มีความแข็งปานกลาง ส่วนไม้จามรีเนื้อไม้มีสีเหลืองอ่อนเป็นไม้เนื้ออ่อนและน้ำหนักเบาหากนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างขนาดหน้าตัดจะต้องใหญ่มากกว่าไม้ประเภทเนื้อแข็ง แต่มีข้อได้เปรียบคือเป็นไม้ที่ปลูกแล้วโตเร็วสามารถนำมาใช้งานได้เร็วกว่าและหาได้ง่าย จากผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้ในส่วนของตง คาน และเสา ซึ่งออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกจรตามเทศบัญญัติ 3 ประเภท คือ ที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน ในรูปของค่าความน่าเชื่อถือ (p) ด้วยซอฟต์แวร์ WCCAL (Wood Components CALibration) [8-10] ได้ขนาดหน้าตัดของตง คานและเสาไม้ ดังแสดงในตารางที่ 8.2 และ 8.3 โดยอาคารจะต้องมีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น มีระยะระหว่างเสา 3.50 ม. ความสูงพื้นถึงพื้น 3.00 ม. และขนาดที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions) ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมของตงและคานและตัวคูณความปลอดภัยของเสา

ตารางที่ 8.2 ขนาดที่เหมาะสมของไม้พฤษในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่าง ๆ

ชนิดของ องค์ประกอบ	ขนาดหน้าตัดองค์อาคารส่วนต่างๆ สำหรับอาคารแต่ละประเภท		
	ที่พักอาศัย	สำนักงาน	โรงเรียน
ตง	2-1½" × 6" 2-2" × 5½" @ 0.50	2-1½" × 8" 2-2" × 7" @ 0.50	2-1½" × 6" 2-2" × 5½" @ 0.50
คาน	2 - 2" × 11"	2 - 2" × 13"	2 - 2" × 10½"
	2 - 3" × 11"	2 - 3" × 13"	2 - 3" × 10½"
เสา	7½" × 7½"	8½" × 8½"	7½" × 7½"

ตารางที่ 8.3 ขนาดที่เหมาะสมของไม้จามจรีในการใช้เป็นองค์อาคารส่วนต่าง ๆ

ชนิดของ องค์ประกอบ	ขนาดหน้าตัดองค์อาคารส่วนต่าง ๆ สำหรับอาคารแต่ละประเภท		
	ที่พักอาศัย	สำนักงาน	โรงเรียน
ตง	2-1½" × 7½" 2-2" × 6½" @ 0.50 ม.	2-1½" × 9" 2-2" × 8" @ 0.50 ม.	2-1½" × 7" 2-2" × 6½" @ 0.50 ม.
คาน	2-2" × 12½"	2-2" × 15"	2-2" × 12"
	2-3" × 11"	2-3" × 13½"	2-3" × 10½"
เสา	8" × 8"	9" × 9"	8" × 8"

8.3 ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากข้อมูลทางวิศวกรรมต่างๆอาจมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จึงควรมีการรวบรวมข้อมูลทางวิศวกรรมและวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางสถิติ รวมถึงชนิดของการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลทางวิศวกรรมแต่ละประเภท
- ควรมีการทดสอบคุณสมบัติ ทางวิศวกรรมของไม้ในประเทศไทยและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของไม้เนื้ออ่อนชนิดที่โตเร็วที่สามารถนำมาใช้งานในโครงสร้าง ทดแทนไม้เนื้อแข็งที่กำลังจะหมดไปจากป่า และสามารถนำมาใช้เป็นองค์อาคารไม้ได้อย่างประหยัด และปลอดภัย
- ในการออกแบบองค์อาคารไม้ควรศึกษาวิธีการออกแบบตามขั้นตอน และหากต้องการความสะดวกรวดเร็ว ควรใช้ชาร์ตออกแบบขององค์อาคารไม้โดยอาศัยขีดจำกัดด้านกำลัง ร่วมกับชาร์ตออกแบบขององค์อาคารไม้โดยอาศัยโมดูลัสยืดหยุ่น เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการออกแบบ
- ขนาดหน้าตัดที่ได้จากการออกแบบโดยชาร์ตออกแบบ และซอฟต์แวร์ WCCAL [8-10] ถ้าหากขนาดหน้าตัดที่ได้เล็กเกินไป เสนอให้ใช้ขนาดเล็กที่สุดที่มีการจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด หรือเสนอให้มีการผลิตขนาดหน้าตัดเพิ่มขึ้นมา เพื่อเป็นประหยัดในการใช้ทรัพยากร แต่หากขนาดหน้าตัดที่ได้ใหญ่เกินไป ควรใช้ไม้ประสานกาว (Glued laminated wood) ในการก่อสร้าง
- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของประเทศขององค์อาคารที่เป็นโครงขั้หนุมน
- ใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้เนื้ออ่อนไปศึกษาในการใช้เป็นโครงสร้างที่รับแรงเฉือน
- ใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้เนื้ออ่อนไปศึกษาและออกแบบโครงสร้างที่ต้องต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพราะโครงสร้างไม้มีความยืดหยุ่นได้ดีกว่าโครงสร้างคอนกรีตและเหล็ก

บรรณานุกรม

1. กองคั่นคว่า,กรมป่าไม้. ไม้และของป่าบางชนิดในประเทศไทย. ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3, สมาคมป่าไม้แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 2526.
2. เกศินี ระมิงค์วงศ์, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. กุมภาพันธ์ 2528. ไม้ผลเมืองร้อน.
3. คณะอนุกรรมการการศึกษาความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง คณะกรรมวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสารแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. การสัมมนาทางวิชาการ การออกแบบโครงสร้างโดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น.
4. จักรพันธ์ แสงสุวรรณ, การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางที่ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท.,การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7, วันที่ 17-18 พฤษภาคม 2544 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. ณรงค์ โทนานนท์, ศิริ เจือวิจิตรจันทร์, ฝ่ายวิจัยขั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรกฎาคม 2523. ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย.
6. บุญนำ เกียวข้อง และมยุรี ดวงเพชร. "คู่มือปฏิบัติการทดสอบเชิงกลของไม้." พิมพ์ครั้งที่ 2, ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.
7. พงศ์ ไสโน และคณะ, กลสมบัติของไม้ไทย, กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ ,เลขที่ ร.144, 2516.
8. นพดล ฉายปัญญา, การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือขององค์อาคารไม้เนื้ออ่อนโดยใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมในประเทศไทย,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (โครงสร้าง), บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยรังสิต, 2545.
9. มงคลกร ศรีวิชัย และคณะ, ชาร์ตออกแบบองค์อาคารไม้โดยอาศัยขีดจำกัดด้านกำลัง,ปริญญา นิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, 2546.
10. อัปสร จุมพรม และคณะ,ชาร์ตออกแบบองค์อาคารไม้โดยโมดูลัสยืดหยุ่น,ปริญญา นิพนธ์ ภาควิชา วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, 2546.
11. วินัย อวยพรประเสริฐ. ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยทางโครงสร้าง. เอกสารประกอบการ สอนวิชา CEN 618 Structural Safety and Reliability.
12. วินัย อวยพรประเสริฐ. "การทดสอบสภาวะเข้ารูปสนิทด้นิทสำหรับการแจกแจงต่อเนื่องที่ใช้กันอย่าง สามีญในงานวิศวกรรมโยธา" วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

13. วินัย อวยพรประเสริฐ. "ทิศทางการวิจัยด้านความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างในประเทศไทย" การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5, 2542, เล่มที่ 2, หน้า GEN25-GEN30.
14. วินัย อวยพรประเสริฐ. "การปรับเทียบมาตรฐานการออกแบบอาคารสำหรับประเทศไทยตามทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง" บทความทางวิชาการ, RSU JET, VOL.4 NO.2, 2000.
15. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, มาตรฐานสำหรับอาคารไม้, คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา 2515-16, 2517.
16. สุรีย ภูมิภมร และอนันต์ คำคง (บรรณาธิการ). ไม้โตเร็วเอนกประสงค์พื้นเมืองของประเทศไทย. คณะอนุกรรมการประสานงานวิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าไม้และไม้โตเร็วเอนกประสงค์
17. สุธี วิสุทธิเทพกุล. การแปรรูปไม้. เล่มที่ ๗ กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมป่าไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ, 2542.
18. สุชาติ ชะโยชัยชนะ. การวิเคราะห์ค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกในงานคอนกรีตเสริมเหล็กตามสภาพก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตมหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2531.
19. สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่าเอกชน กรมป่าไม้. 2535. ระเบียบ กฎกระทรวงและพระราชบัญญัติสวนป่า พ.ศ.2535. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
20. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. นโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559. หน้า22-23
21. สมภพ ประธานรักษ์, พร้อมจิต ศรีลัมพ์, ธนุชา บุญจรัส. 2542. กายวิภาคและสัณฐานวิทยาของพืช. ภาควิชาเภสัชพฤกษศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร.
22. American Institute of Timber Construction. Timber Construction Manual. 2nd ed. Englewood, Colorado, 1974
23. ASTM Standard, Annual Book of ASTM Standard: Volume 04.10 (WOOD), 1998.
24. Arthur J. Eames, Laurence H. MacDaniels. 1953. An Introduction to Plant Anatomy, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, U.S.A.
25. Carl L. Wilson, Walter E. Loomis, Taylor A. Steeves. 1971. Botany, 5th ed., Holt, Rinehart and Winston, Inc., U.S.A.
26. C.C. Bajza, M.G. Bowden. 1964. Your Texas Geography. W.S. Benson & Company, Publishers.
27. Comite European Du Beton, Bulletin D' Information No, 112, Munich, March, 1976.
28. Katherine Esau. 1977. Anatomy of Seed Plants, 2nd ed., John Wiley & Sons, U.S.A.

29. W. Ouyornprasert, Methods to Calculate Structural Reliability. Internal Working Report No. 18 : iNstitute of Engineering Mechanics, University of Innsbruck, Austria,1988.
30. W. Ouyornprasert. Towards Calibration of Building Design Codes for ASEAN Countries, in the Proceeding of CAFEO-19 (The 19th Conference of The ASEAN Federation of Engineering Organisation), 22-24 October 2001 at the Center Point Hotel, Gadong, Bander Seri Begawan, Negara Brunei Darussalam, page 217-225.
31. W. Ouyornprasert. and T. Jirayut, Algorithms for Determination of Allowable Holding Loads for nails and Screws Based on Probability Theory, International Journal of Materials Structural Reliability.2(2003):89-99.
32. P. Ngamcharoen and W. Ouyornprasert, Asymptotic Coefficient of Variation of Structural Response against Target Reliability, International Journal of Materials Structural Reliability.1(2004) : 59 – 74.



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณออกแบบของค้ำอาคารไม้ ตง คานและเสา
ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. สำหรับอาคารไม้



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการออกแบบองค์อาคารไม้ ตง คานและเสาไม้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

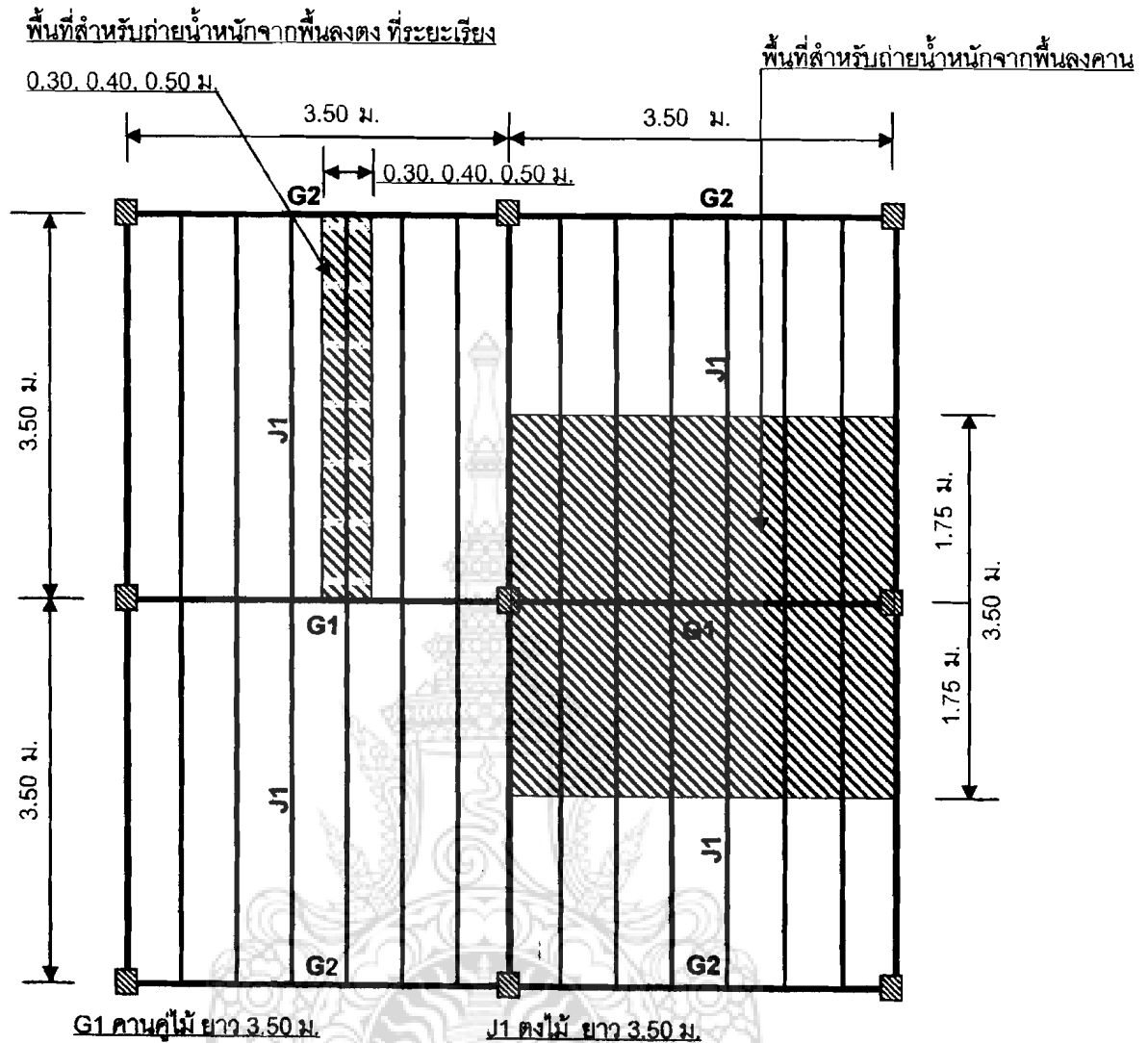
ก.1 ทั่วไป

ในภาคผนวกนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการออกแบบโดยการนำไม้พฤษและไม้จามจุรี มาใช้เป็นองค์อาคาร ตง คาน และเสา ซึ่งทำการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 2517 สำหรับอาคารไม้ [15] โดยมีการคำนวณออกแบบตามวิธีปฏิบัติที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และอ้างอิงการใช้ซอฟต์แวร์ WCCAL [8-10] รวมถึงการใช้ชาร์ตสำหรับหาค่า FS ซึ่งมีความเชื่อถือแบบสม่ำเสมอ [9] และแนะนำค่าที่ยอมรับได้รวมทั้งการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability) โดยจะเริ่มจากข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของตัวแปรสุ่ม 2 ตัวแปร คือ โมดูลัสยืดหยุ่น และน้ำหนักบรรทุกจรสมมุติให้มีการแจกแจงแบบปกติ ต่อจากนั้นพิจารณาสถานะขีดจำกัดของโครงสร้างของตง คาน และเสา ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างซึ่งจะให้ค่า FS และทำการออกแบบตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. สำหรับอาคารไม้ได้ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม้พฤษและไม้จามจุรีตามตารางในภาคผนวก ค และได้แนะนำตัวอย่างการออกแบบ ตง คาน และเสา ดังต่อไปนี้

ก.2 ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. สำหรับอาคารไม้โดยวิธีปกติ

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบตง คาน และเสา โดยให้ไม้พฤษ

ข้อมูลที่ต้องการโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ $85,903 \text{ กก./ซม.}^2$ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.204 โมดูลัสแตกหักมีค่าเท่ากับ 902 กก./ซม.^2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.162 แรงเฉือนขนานเสี้ยนมีค่าเท่ากับ 253 กก./ซม.^2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.171 แรงอัดขนานเสี้ยนมีค่าเท่ากับ 565.55 กก./ซม.^2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.119 ความดุ้งจำเพาะเท่ากับ 0.796 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.068 สำหรับน้ำหนักบรรทุกจรบ้านพักอาศัยมีค่าเฉลี่ย 182 กก./ม.^2 สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.186 อาคารสำนักงาน มีค่าเฉลี่ย 350 กก./ม.^2 สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.180 และโรงเรียนมีค่าเฉลี่ย 163.3 กก./ม.^2 สัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.133 ความหนาของพื้นไม้พฤษคงที่ เท่ากับ 1 นิ้ว (2.54 ซม.) พิจารณาตัวแปรเชิงกำหนด โดยให้ขนาดความกว้างของตงและคานไม้อย่างละ 2 ขนาดคือ $1\frac{1}{2}$ " 2" และ 3" ความยาวของตงและคานไม้ 3 ขนาดคือ 2.50, 3.00 และ 3.50 เมตร โดยที่ขนาดและความยาวดังที่กล่าวมา จะผ่านการทดสอบในระยะห่างระหว่างตงไม้ (Spacing) ที่ระยะ 30 40 และ 50 ซม. ตามลำดับ และความสูงของเสาเท่ากับ 3.00 เมตร สูง 2 ชั้น ขนาดหน้าตัดของตง คาน และเสาไม้พฤษ ซึ่งเป็นขนาดที่ใส่แต่งแล้ว (Dressed Dimension) พิจารณาลักษณะการวางโครงสร้างขององค์อาคารไม้ดังรูปที่ ก1



รูปที่ ก.1 การถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงตงและคาน

ตัวอย่างการคำนวณออกแบบตงไม้ (joist)

อาคารที่พักอาศัย (ค่าเฉลี่ย)	$LL_1 = 182.4$	กก./ม ² .
ความถ่วงจำเพาะ	$G = 0.796$	
โมดูลัสแตกหัก (MOR):	$f_r = 902$	กก./ซม ²
โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE):	$E = 85,903 \times 1.2 = 103,083.6$	กก./ซม ²
ความหนาพื้น 1 นิ้ว	$t = 0.0254$ ม.	
สมมุติความหนาและความลึกของตงไม้	$b_j = 3.81$ ซม. $d_j = 15.24$ ซม.	
ระยะห่างของตง และความยาวตง	$S = 0.50$ ม. $L = 3.50$ ม.	

$$\text{น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นไม้} + \text{ตงไม้ DL} = (G \times 1000) \left[t \times S + \left(\frac{b_j}{100} \times \frac{d_j}{100} \right) \right]$$

จะได้น้ำหนักตงไม้ขนาด 2"x6" $DL = 15.749$ กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจรพักอาศัย $LL = LL_1 \times S = 91.2$ กก./ม.

น้ำหนักที่กระทำบนตง $W = LL + DL = 106.949$ กก./ม.

Step 1 คำนวณหาขนาดหน้าตัดของตงไม้

ความน่าจะเป็นที่ในสถานะขีดจำกัดด้านการใช้งาน ($p_f = 10^{-4}$)

ค่าธรรมชาติความปลอดภัย β จากตารางความน่าจะเป็นแบบปกติ

$$\beta = -qnorm(p_f, 0, 1) \quad \beta = 3.179$$

ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน $\Omega = \frac{1}{\beta} = 0.269$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร $\Omega_{LL} = 0.186$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) $\Omega_E = 0.21$

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL} = 0.173$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_s = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL}{LL}}$

คำนวณหาค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS := 1$

$$f(FS) := \beta \cdot \sqrt{(FS)^2 \cdot (\Omega_E)^2 + (\Omega_s)^2 + 1} - FS$$

$r_x := \text{root}(f(FS), FS) \quad r_x = 4.361$

กำหนดให้ค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS := r_x$

Step 2 คำนวณออกแบบขนาดหน้าตัดของตงไม้

ความยาวตงไม้ $L = 3.5$ ม.

เลือกขนาดตงไม้หนา 1½" $b_j = 3.81$ ม.

$$dj1 := \left[\frac{\frac{5W}{100} \cdot (L \cdot 100)^4 \cdot 360 \cdot FS}{384E \cdot \left(\frac{bj}{12} \right) \cdot (L \cdot 100)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

dj1 = 30.521 ซม.

จะได้ความลึกที่ต้องการ depth := $\frac{dj1}{(2.54)}$ ceil(depth) = 13 นิ้ว

dj2 := ceil(depth) · (2.54) dj2 = 33.02 ซม.

ใช้ตงคู่ dj3 := $\left(\frac{dj2}{2.54} \cdot \frac{1}{2} \right)$ dj3 = 6.5 นิ้ว

เลือกไม้ที่มีขายตามท้องตลาดขนาดไม่น้อยกว่า 2-1½ x 6½

Step. 3 คำนวณค่า FS เนื่องจากการโก่งตัวของตงไม้

น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นไม้+ ตงไม้ DL = $(G \times 1000) \left[t \times S + \frac{bj}{100} \times \frac{dj2}{100} \right]$

= 22.488 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร L = 91.20 กก./ม.

น้ำหนักกระทำบนตงไม้ W1 = LL + DL₁ = 111.323 กก./ม.

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL} = 0.221$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_{S1} = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL_1}{LL}}$

คำนวณหาตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS = 1$

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(FS)^2 \times (\Omega_E)^2 + (\Omega_S)^2} + 1 - FS$$

$rx = \text{root}(f(FS, FS))$ $rx = 4.343$

กำหนดให้ค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS = rx$

Step. 4 ตรวจสอบกำลังรับแรงดัดของตงไม้

ความน่าจะเป็นวิบัติในสถานะขีดจำกัดเชิงประลัย ($p_f = 10^{-6}$)

ค่าธรรมชาติความปลอดภัย β จากตารางความน่าจะเป็นแบบปรกติ

$$\beta = -qnorm(p_f, 0, 1) \quad \beta = 4.753$$

ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน $\Omega = \frac{1}{\beta} = 0.21$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร $\Omega_{LL} = 0.186$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสแตกหัก (MOR) $\Omega_R = 0.162$

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL} = 0.221$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_{S2} := \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL}{LL}}$

คำนวณหาตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS := 1$

$$f(FS) := \beta \cdot \sqrt{(FS)^2 \cdot (\Omega_R)^2 + (\Omega_{S2})^2} + 1 - FS$$

$rx := \text{root}(f(FS), FS)$ $rx = 4.663$

กำหนดให้ค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS := rx$

ค่าโมดูลัสแตกหัก (MOR) ได้จากการทดสอบ	$f_r = 902$	กก./ ซม. ²
ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้	$F_b = \frac{f_r}{FS} = 193.423$	กก./ ซม. ²
ค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุด	$M_{max} = \frac{W_1 \times L^2}{8} = 170.464$	กก.-ม
ขนาดตงไม้ $b_j = 3.81$ $d_{j2} = 33.02$	$C = \frac{d_{j2}^2}{2} = 16.51$	ซม.
หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น	$\sigma_{act} = \frac{M_{max} \times 100 \times C}{b_j \times (d_{j2})^3} = 24.621$	กก./ ซม. ²
หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินหน่วยแรงดัดที่ยอมให้	$(\sigma_{act} \leq F_b)$	ok

Step. 5 ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนของตงไม้

ความน่าจะเป็นพิบัติในสภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งาน ($p_r = 10^{-4}$)

ค่าตรงรชนีความปลอดภัย β จากตารางความน่าจะเป็นแบบปรกติ

$$\beta = -qnorm(p_r, 0, 1) \quad \beta = 3.719$$

ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน $\Omega = \frac{1}{\beta}$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร $\Omega_{LL} = 0.186$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของหน่วยแรงเฉือน $\Omega_v = 0.171$

สมมุติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL}_1 = 0.221$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_{s3} = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL}{LL}}$

คำนวณหาตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS = 1$

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(FS)^2 \times (\Omega_v)^2 + (\Omega_{s3})^2} + 1 - FS$$

$r_x = \text{root}(f(FS,FS))$	$r_x = 2.975$	
กำหนดให้ตัวคูณความปลอดภัยที่หน้าตัดวิกฤต	$FS = r_x$	
หน่วยแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ	$V = 253$	กก./ ซม ²
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้	$F_v = \frac{V}{FS}$	กก./ ซม ²
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้	$F_v = 85.051$	กก./ ซม ²
แรงเฉือนที่เกิดขึ้น	$V_{\max} = \frac{W_1 \times L}{2}$	กก
ขนาดตงไม้ที่หน้าตัดวิกฤต	$b_j = 3.81$ $d_{j2} = 33.02$	ซม.
หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง	$f_{v_{act}} = \frac{3}{2} \frac{V_{\max}}{(b_j \times d_{j1})}$	กก./ ซม ²
	$f_{v_{act}} = 3.017$	กก./ ซม ²
ดังนั้นหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงต้องมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ($f_{v_{act}} \leq F_v$)		กก./ ซม ²
เลือกความหนาตงไม้	$b_j = \frac{b_{j1}}{2.54} = 1.5$	นิ้ว
ได้ความลึกที่ต้องการ	$\text{depth} = \frac{d_{j1}}{2 \times 2.54} = 6.5$	นิ้ว

สรุปเลือกขนาดไม้ที่มีขายตามท้องตลาด 2 - 1½" x 6½"

ตัวอย่างการออกแบบคาน (Beam)

อาคารที่พักอาศัย (ค่าเฉลี่ย)	$LL_1 =$	182	กก./ม ² .
ความถ่วงจำเพาะ	$G =$	0.796	
โมดูลัสแตกหัก (MOR) :	$fr =$	902	กก./ ซม ²
โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) :	$E =$	$85903 \times 1.2 = 1.031 \times 10^5$	กก./ ซม ²
ความหนาพื้น 1 นิ้ว	$t =$	0.0254 ม.	
สมมติความหนาและความลึกของตงไม้	$b_j =$	(3.81) ซม.	$d_j = 32$ ซม.
ระยะห่างของตง และความยาวคาน	$S_j =$	0.50 ม.	$L = 3.50$ ม.

จำนวนตงไม้
$$n = \left(\frac{L}{S_j} + 1 \right) = 8$$
 ท่อน

น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นไม้ + ตงไม้
$$DL_1 = \frac{1}{L} (G \times 1000) \left[(t \times S_j \times L) + \left(\frac{b_j}{100} \times \frac{d_j}{100} \times L \times n \right) \right]$$

จะได้น้ำหนัก $DL = 87.748$ กก./ม.

สมมติขนาดคาน(คู่)ไม้ (2"x8") $b_m = 5.08$ $d_m = 20$ ซม.

น้ำหนักคานไม้
$$DL_2 = \left[(G \times 1000) \times \left(\frac{b_m}{100} \times \frac{d_m}{100} \right) \right] = 16.175$$
 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกคงที่ $DL = DL_1 + DL_2 = 103.923$ กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจรพักอาศัย $LL = LL_1 \times 2 \times \frac{L}{2} = 637$ กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกแผ่เฉลี่ยบนคานไม้ $W = LL + DL = 740.923$ กก./ม.

Step. 1 คำนวณหาตัวคูณความปลอดภัย (FS)

ความน่าจะเป็นในสถานะขีดจำกัดด้านการใช้งาน ($p_f = 10^{-4}$)

ค่าธรรมชาติความปลอดภัย β จากตารางความน่าจะเป็นแบบปรกติ

$$\beta = -\Phi^{-1}(p_f, 0, 1) \quad \beta = 3.179$$

ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน $\Omega = \frac{1}{\beta}$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร $\Omega_{LL} = 0.186$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) $\Omega_E = 0.204$

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL} = 0.163$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_S = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL_1}{LL}}$

ค่าวนหาตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS = 1$

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(FS)^2 \times (\Omega_E)^2 + (\Omega_S)^2} + 1 - FS$$

$r_x = \text{root}(f(FS, FS))$ $r_x = 4.362$ (for Deflection)

กำหนดให้ค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) ที่หน้าตัดวิกฤต $FS = r_x$

Step. 2 ออกแบบขนาดหน้าตัดของคานไม้

ความยาวคานไม้ $L = 3.50$ ม.

เลือกความหนาของคานไม้ 2" $bm = 5.08$ ซม.

$$d_{m1} = \frac{\frac{5W}{100} \times (L \times 100)^4 \times 360 \times FS}{384E \times \frac{bm}{12} \times (L \times 100)} = 52.995$$
 ซม.

ได้ความลึกที่ต้องการ $dm_2 = \frac{dm_1}{2 \times 2.54} = 10.5$ นิ้ว

เลือกขนาดไม้ที่มีขายตามท้องตลาด 2 - 2" x 10½"

Step. 3 คำนวณปรับแก้ค่า FS เนื่องจากเปลี่ยนขนาดคานไม้

น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นไม้+ ตงไม้ $DL1 = 87.748$ กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกคงที่ของคาน $DL3 = (G \times 1000)(2) \frac{bm}{100} \times \frac{dm2}{100} = 43.138$ กก./ม

น้ำหนักบรรทุกคงที่ $DL4 = DL1+DL3 = 130.886$ กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจรพักอาศัย $LL = 637$ กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกแม่เหล็กบนคาน $W = LL + DL4 = 767.886$ กก./ม.

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL}_4 = 0.345$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_{S1} = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL_1}{LL}}$

ค่าวนหาตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS = 1$

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(FS)^2 \times (\Omega E)^2 + (\Omega_{S1})^2} + 1 - FS$$

$rx = \text{root}(f(FS,FS))$ $rx = 4.373$ (for deflection)

กำหนดให้ตัวคูณความปลอดภัยที่หน้าตัดวิกฤต $FS = rx$

Step. 4 ตรวจสอบกำลังรับแรงดัดของคานไม้

ความน่าจะเป็นในสภาวะขีดจำกัดเชิงประลัย ($p_f = 10^{-6}$)

ค่าธรรมเนียมความปลอดภัย β จากตารางความน่าจะเป็นแบบปกติ

$\beta = -\text{qnorm}(p_f, 0, 1)$ $\beta = 4.753$

ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน $\Omega = \frac{1}{\beta}$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร $\Omega_{LL} = 0.186$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสแตกหัก (MOR) $\Omega_R = 0.162$

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL}_4 = 0.205$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_{S2} = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL_4}{LL}}$

คำนวณหาค่าตัวคูณความปลอดภัย (FS) ค่าเริ่มต้น FS = 1

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(FS)^2 \times (\Omega_R)^2 + (\Omega_{S_2})^2} + 1 - FS$$

$$r_x = \text{root}(f(FS, FS)) \quad r_x = 4.671 \quad (\text{for bending})$$

กำหนดให้ตัวคูณความปลอดภัยที่หน้าตัดวิกฤต FS = r_x

ค่าโมดูลัสแตกนิก (MOR) ได้จากการทดสอบ $f_r = 902$ กก./ซม²

ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ $F_b = \frac{f_r}{FS} = 193.117$ กก./ซม²

ค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุด $M_{\max} = \frac{W_1 \times L^2}{8} = 1,176$ กก.-ม

ขนาดคานไม้ $b_j = 5.08$ dm1 = 53.34 $C = \frac{d_{m2}}{2} = 26.67$ ซม.

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น $\sigma_{\text{act}} = \frac{M_{\max} \times 100 \times C}{b_m \times (d_{m2})^3} = 48.812$ กก./ซม²

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นไม่เกินหน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น ($\sigma_{\text{act}} \leq F_b$) ok

Step. 5 ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนของคานไม้

ความน่าจะเป็นวิบัติในสภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งาน ($p_f = 10^{-4}$)

ค่าดรรชนีความปลอดภัย β จากตารางความน่าจะเป็นแบบปรกติ

$$\beta = -q_{\text{norm}}(p_f, 0, 1) \quad \beta = 3.179$$

ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน $\Omega = \frac{1}{\beta} = 0.269$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร $\Omega_{LL} = 0.186$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของหน่วยแรงเฉือน $\Omega_v = 0.171$

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL_4}{LL}$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_{S3} = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL_4}{LL}}$

คำนวณหาตัวคูณความปลอดภัย (FS) ค่าเริ่มต้น $FS = 1$

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(\Omega V)^2 + (\Omega S_3)^2} + 1 - FS$$

$r_x = \text{root}(f(FS, FS))$ $r_x = 2.98$ (for Shear)

กำหนดให้ตัวคูณความปลอดภัยที่หน้าตัดวิกฤต $FS = r_x$

หน่วยแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ $V = 129$ กก./ ซม.²

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $F_v = \frac{V}{FS}$ กก./ ซม.²

$$F_v = 43.289 \quad \text{กก./ ซม.}^2$$

ค่าแรงเฉือนสูงสุด

$$V_{\max} = \frac{W \times L}{2} \quad \text{กก.}$$

$$V_{\max} = 1,344 \quad \text{กก.}$$

ขนาดตงไม้ที่หน้าตัดวิกฤต

$$b_m = 5.08 \quad d_{m1} = 64.86 \quad \text{ซม.}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง (คานคู่)

$$f_{v_{\text{act}}} = \frac{3}{2} \frac{V_{\max}}{(b_m \times d_{m2})} \quad \text{กก./ ซม.}^2$$

$$f_{v_{\text{act}}} = 7.439 \quad \text{กก./ ซม.}^2$$

ดังนั้นหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ($f_{v_{\text{act}}} \leq F_v$) กก./ ซม.^2

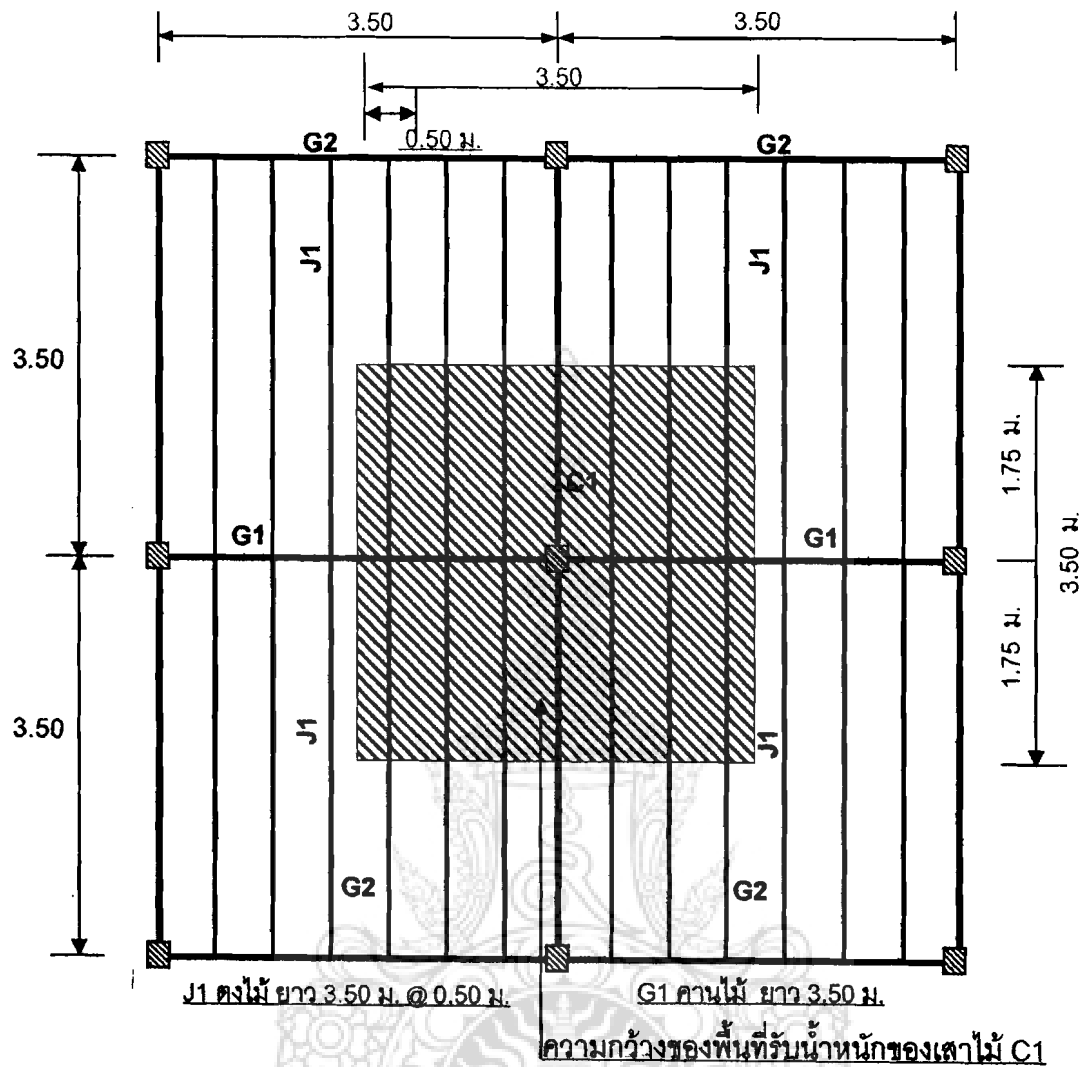
เลือกความหนาคานไม้

$$b_{m1} = \frac{b_m}{2.54} = 2 \quad \text{นิ้ว}$$

ได้ความลึกที่ต้องการคานคู่

$$d_{erq} = \frac{d_{m1}}{2 \times 2.54} = 10.50 \quad \text{นิ้ว}$$

สรุปเลือกใช้คานไม้ขนาด 2 - 2" x 10½"



รูปที่ ก.2 การถ่ายน้ำหนักจากหลังคา - พื้นลงเสาชั้นล่าง

ตัวอย่างการออกแบบเสาชั้นล่าง (Column)

อาคารที่พักอาศัย (ค่าเฉลี่ย)	$LL_1 = 182$	กก./ม ² .
ความถ่วงจำเพาะ	$G = 0.796$	
โมดูลัสแตกหัก (MOR):	$F_a = 565$	กก./ซม ²
โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE):	$E = 85903 \times 1.2 = 1.031 \times 10^5$	กก./ซม ²
ความยาวช่วงเสา	$L_c = 3.50$	ม.
พื้นที่ถ่ายน้ำหนักลงเสา	$A_{col} = (L_c)^2$	ม.

น้ำหนักบรรทุกคงที่ : หลังคา

กระเบื้องลอนคู่ + โครงหลังคาไม้ + ฝ้าเพดาน+ โครงคร่าฝ้าไม้

จะได้น้ำหนัก	$DL_{roof} = 15+25+25$	$= 65$	กก./ ม ² .
พื้นไม้หนา 1"	$Dl_{floor} = 0.0254 \times G \times 1000$	$= 20.218$	กก./ ม ² .

น้ำหนักบรรทุกคงที่ : ตง- คาน- เสา

ระยะห่างระหว่างตง $S_j = 0.50$ ม. จำนวนตง $N = \frac{L_c}{S_j} + 1 = 8$ ท่อน

สมมติขนาดตง(คู่)ไม้ $b_j = 3.81$ $d_j = 2(18)$ ซม.

น้ำหนักตงไม้ $DL_{joist} = \left[(G \times 1000) \times \left(\frac{b_j}{100} \times \frac{d_j}{100} \times L_c \times n \right) \right]$

สมมติขนาดคาน(คู่)ไม้ $b_m = 5.08$ $d_m = 30.48(2)$ ซม.

น้ำหนักคาน(คู่)ไม้ $DL_{beam} = \left[(G \times 1000) \times \left(\frac{b_m}{100} \times \frac{d_m}{100} \times L_c \right) \right]$ กก./ม.

สมมติขนาดเสาไม้ 5"x5" $C = 5 \times 2.54$ ซม. $H = 3.00$ ม.

น้ำหนักเสาไม้ $DL_{col} = \left[(G \times 1000) \times \left(\frac{C}{100} \right)^2 \times H \times 2 \right]$ กก.

ตง- คาน- เสา $DL_1 = (DL_{joist} + DL_{beam} + DL_{col})$ กก

$= 469.01$ กก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ หลังคาและพื้น $DL_2 = (DL_{roof} + DL_{floor}) \times (A_{col})$ กก

$= 1044$ กก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมด $PdL = DL_1 + DL_2 = 1513$ กก

น้ำหนักบรรทุกจร $PLL = (LL_1) \times A_{col} = 2229$ กก

น้ำหนักบรรทุกลงเสา $P = PdL + Pll = 3742$ กก

Step. 1 คำนวณหาขนาดหน้าตัดของเสาไม้สี่เหลี่ยมจัตุรัส

ความน่าจะเป็นวิบัติในสถานะขีดจำกัดเชิงประลัย ($p_f = 10^{-6}$)

ค่าตรงรชนีความปลอดภัย β จากตารางความน่าจะเป็นแบบปรกติ

$$\beta = -qnorm(p_f, 0, 1) \quad \beta = 4.753$$

ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน $\Omega = \frac{1}{\beta} = 0.21$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร $\Omega_{LL} = 0.186$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) $\Omega_E = 0.204$

สมมติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร $\frac{DL}{LL}$

สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก $\Omega_S = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{P_{dI}}{P_{dII}}}$

คำนวณหาตัวคูณความปลอดภัย (FS) $FS = 1$

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(FS)^2 \times (\Omega_E)^2 + (\Omega_S)^2 + 1} - FS$$

$rx = \text{root}(f(FS, FS)) \quad rx = 33.144$

กำหนดให้ตัวคูณความปลอดภัยที่หน้าตัดวิกฤต $FS = rx$

Step. 2 ออกแบบขนาดหน้าตัดของคานไม้ (ตรวจสอบการโก่งตัวของเสา)

ความยาวเสาไม้ $H = 3.50$ ม.

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) $E = 1.031 \times 10^5$ กก./ ซม²

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ที่ยอมให้ $E_{allow} = \frac{E}{FS} = 3.11 \times 10^3$ กก./ ซม²

ขนาดหน้าตัดเสาไม้ที่ต้องการ $d_{req} = \left[\frac{12 \times P \times (H \times 100)^2}{\pi^2 \times E_{allow}} \right]^{\frac{1}{4}}$ ซม.

$d_{req} = 19$ ซม.

$$\text{น้ำหนักเสาไม้ที่ต้องการ} \quad DL_{col} = \left[(G \times 1000) \times \left(\frac{d}{100} \right)^2 \times H \times 2 \right] = 197.202 \text{ กก}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกคงที่ ตง-คาน-เสา} \quad DL_3 = (DL_j + DL_m + DL_{col} + DL_2) = 589.18 \text{ กก}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกลงเสา C1} \quad DL_{NEW} = (DL_3 + DL_2) = 1633 \text{ กก}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} \quad LL = 2.229 \text{ กก}$$

$$\text{ถ้ายน้ำหนักบรรทุกลงเสา} \quad P_{cr} = DL_{NEW} + LL = 3,863 \text{ กก}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดเสาที่ต้องการ} \quad A = d^2 = 412.902 \text{ ซม}^2$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร} \quad \Omega_{LL} = 0.186$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การแปรผันของกำลังรับแรงอัด (Comp./)} \quad \Omega_{fa} = 0.119$$

$$\text{สมมุติให้อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกจร} \quad \frac{DL_{NEW}}{LL}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การแปรผันจากผลของน้ำหนักบรรทุก} \quad \Omega_s = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \frac{DL_{NEW}}{LL}}$$

$$\text{คำนวณหาตัวคูณความปลอดภัย (FS)} \quad FS = 1$$

$$f(FS) = \beta \times \sqrt{(FS)^2 \times (\Omega_{fa})^2 + (\Omega_{s_1})^2 + 1} - FS$$

$$rx = \text{root}(f(FS, FS)) \quad rx = 2.507$$

$$\text{กำหนดให้ตัวคูณความปลอดภัยที่หน้าตัดวิกฤต} \quad FS = rx$$

$$\text{หน่วยแรงอัดขนานเส้นที่ได้จากการทดสอบ} \quad Fa = 565 \text{ กก./ ซม}^2$$

$$\text{หน่วยแรงอัดขนานเส้นที่ยอมให้} \quad Fa_{allow} = \frac{Fa}{FS}$$

$$Fa_{allow} = 225.351 \text{ กก./ ซม}^2$$

หน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤต (Critical Section) $\frac{P_{cr}}{A} = 9.355$ กก./ ซม²

หน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤต (Critical Section) ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าหน่วยแรงอัดขนานที่ยอมให้

$$\left(\frac{P_{cr}}{A} \right) \leq F_{aallow} \quad \text{กก./ ซม}^2$$

ขนาดด้านแคบของเสาที่ต้องการ $d = \frac{d}{2.54} = 8$ นิ้ว

เลือกใช้เสาไม้ขนาด 8" x 8"



ภาคผนวก ข

การหาค่าอัตราส่วนปลอดภัย Factor of Safety (FS)
สำหรับการออกแบบของค้ำอาคารไม้



ภาคผนวก ข

การหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (FS) Factor of Safety สำหรับการออกแบบ

ข.1 ทัวไป

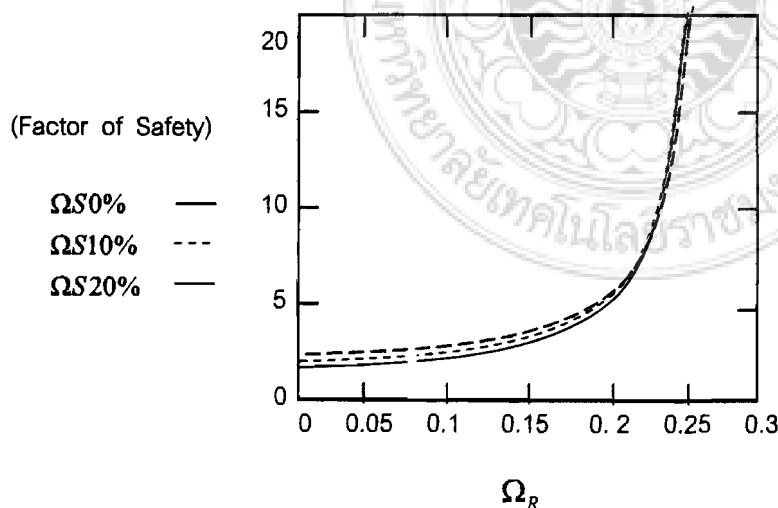
การหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเชิงโครงสร้าง (Ω_R) และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (Ω_S) จะเป็นตัวที่กำหนดค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (FS) ของการออกแบบ และยังพบว่า สัมประสิทธิ์การแปรผันของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างหาได้จากสมการ (ข.1) รายละเอียดในบทที่ 4 ข้อ 4.5 เพื่อใช้ในการศึกษาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ ข1

$$\Omega_S = \frac{\Omega_{LL}}{1 + \left(\frac{DL}{\mu_{LL}}\right)} \quad (\text{ข.1})$$

และความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเชิงโครงสร้าง (Ω_R) และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (Ω_S) เขียนได้ดังสมการที่ (ข 2)

$$FS - 1 = \beta \sqrt{(FS)^2 (\Omega_R)^2 + (\Omega_S)^2} \quad (\text{ข.2})$$

โดยที่ FS คืออัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้าง β คือค่าดรรชนีความปลอดภัย Ω_{LL} คือสัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกจร DL คือน้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้าง μ คือค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจร

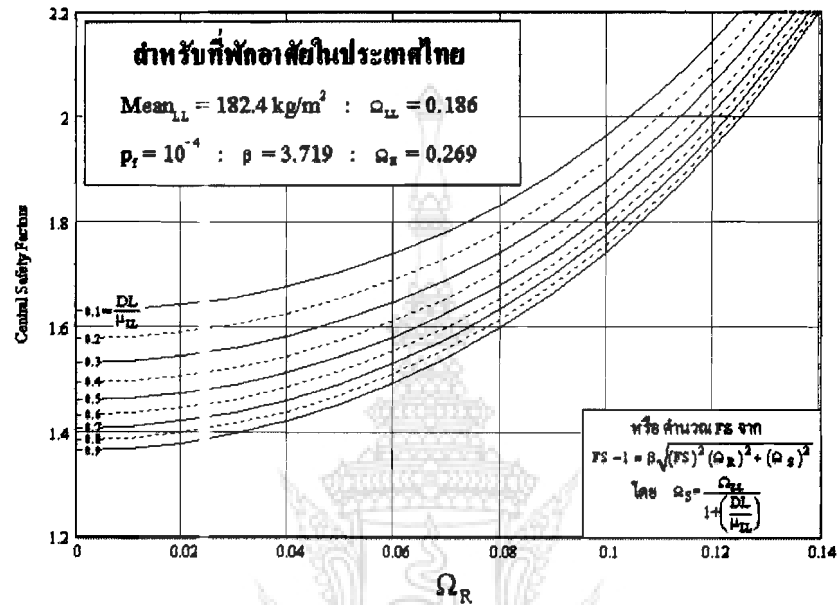


รูปที่ ข 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (Ω_R) และ FS ที่ $p_f = 10^{-6}$ [31,32]

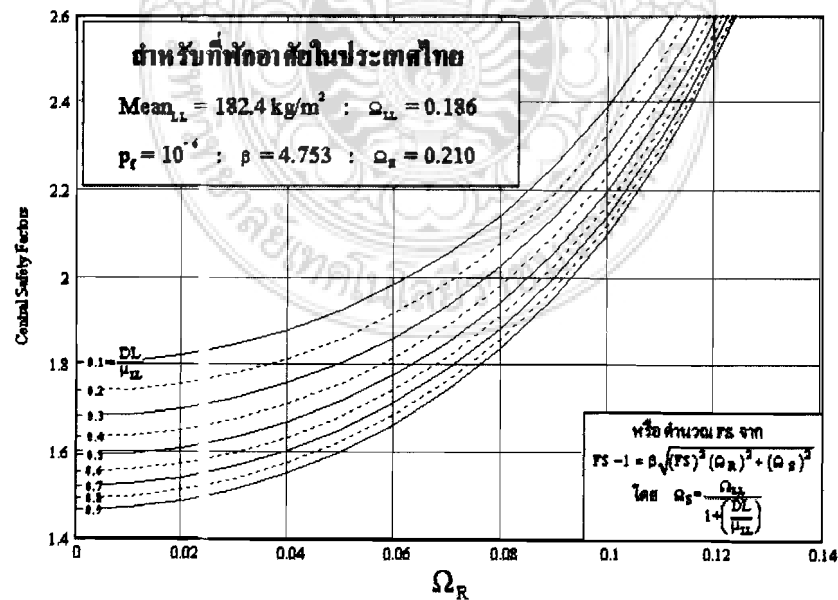
แสดงให้เห็นว่า FS จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของ Ω_R ในขณะที่ผลกระทบของ Ω_S จะลดลงอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของ Ω_R และจะหายไปเมื่อ Ω_R เข้าใกล้ขีดจำกัด

ข.2 ขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE)

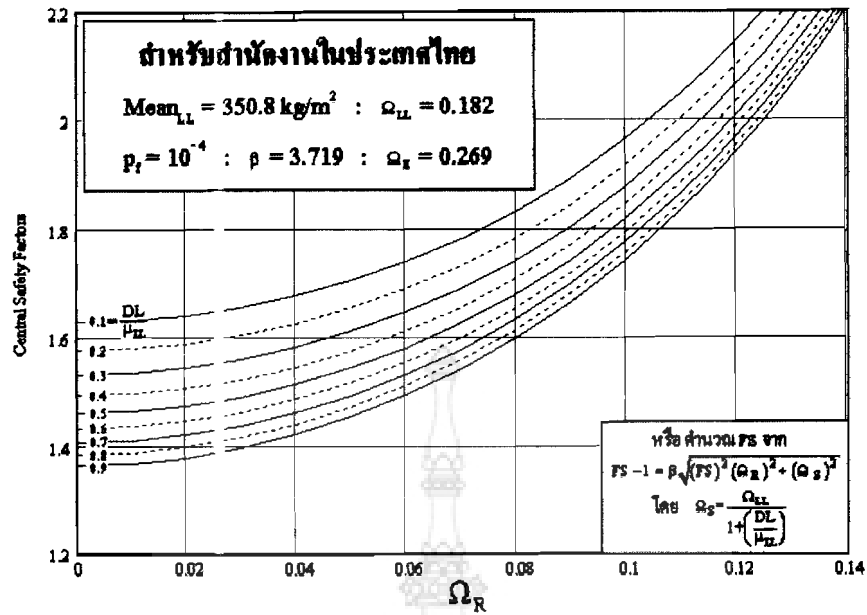
เพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้งานได้มีการพัฒนาขาร์ตออกแบบ โดยมีการนำเสนอในรูปแบบของขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยอาศัยค่าอัตราส่วนปลอดภัย FS ซึ่งได้แบ่งแยกประเภทขององค์อาคารและความน่าจะเป็นวิบัติ ดังแสดงในรูปที่ ข 2 - ข 7



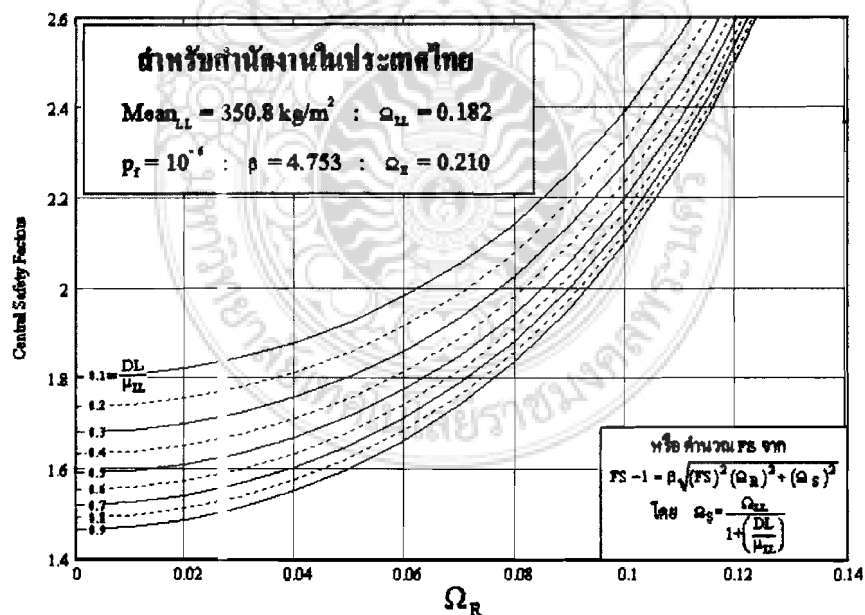
รูปที่ ข 2 ขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็นวิบัติ p_r = 10⁻⁴ สำหรับที่พักอาศัยในประเทศไทย (มกคกรและคณฯ, 2546)



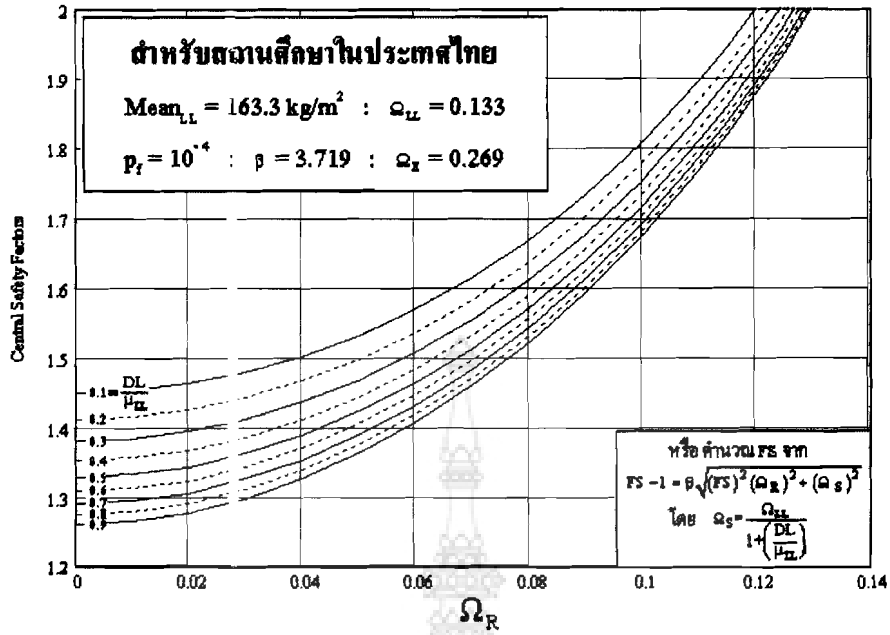
รูปที่ ข 3 ขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็นวิบัติ p_r = 10⁻⁶ สำหรับที่พักอาศัยในประเทศไทย (มกคกรและคณฯ, 2546)



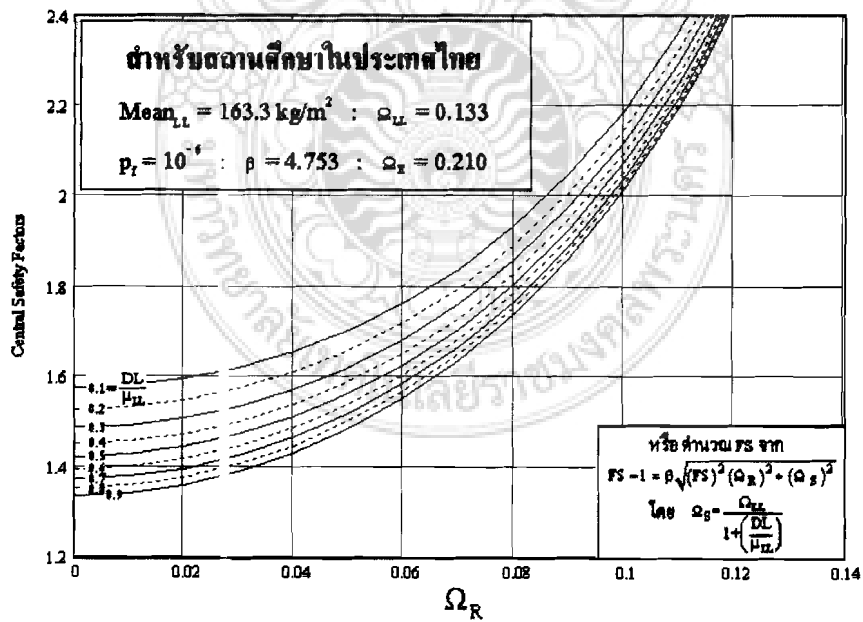
รูปที่ ข 4 ขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็นที่ $p_f = 10^{-4}$ สำหรับสำนักงานในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ, 2546)



รูปที่ ข 5 ขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็นที่ 10^{-6} สำหรับสำนักงานในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ, 2546)

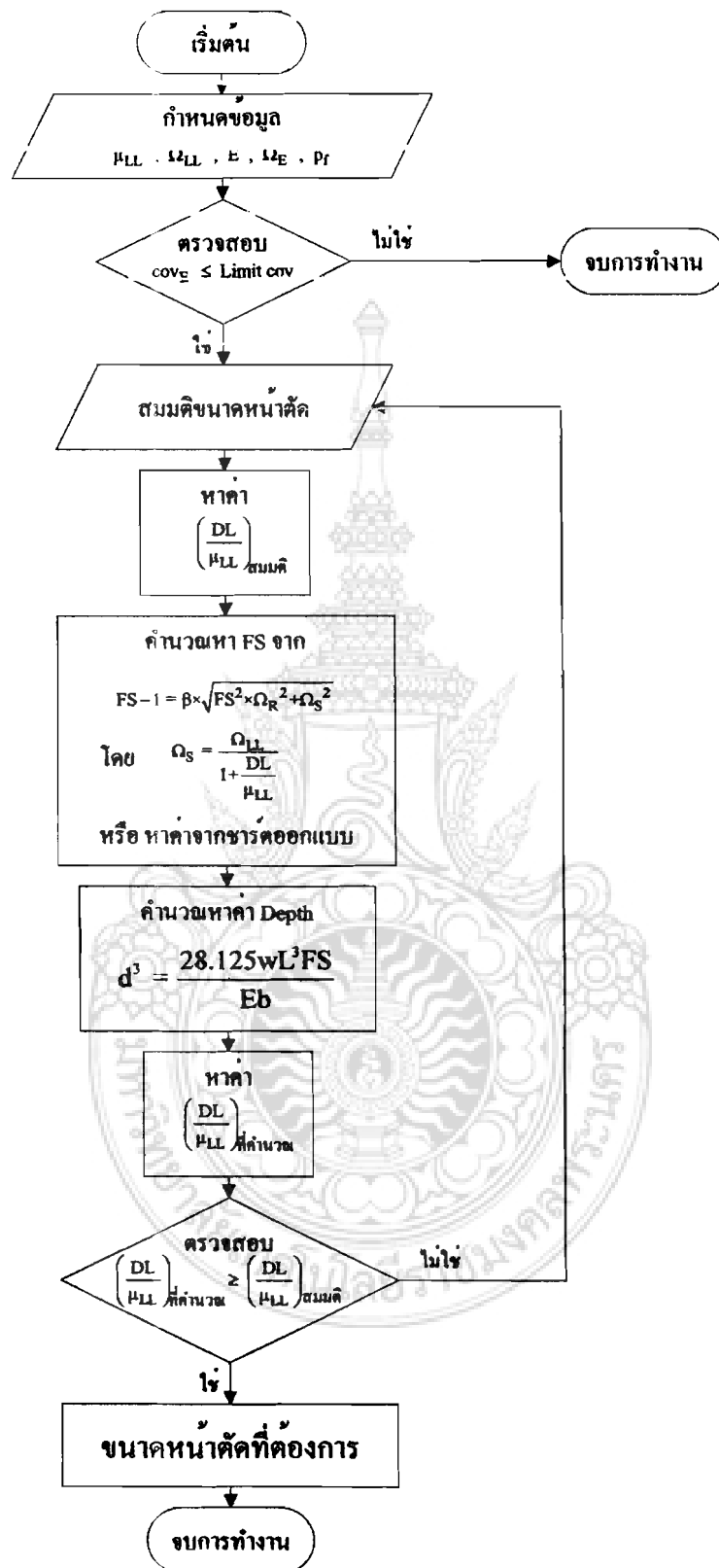


รูปที่ ข 6 ขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น $p_f = 10^{-4}$ สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ, 2546)

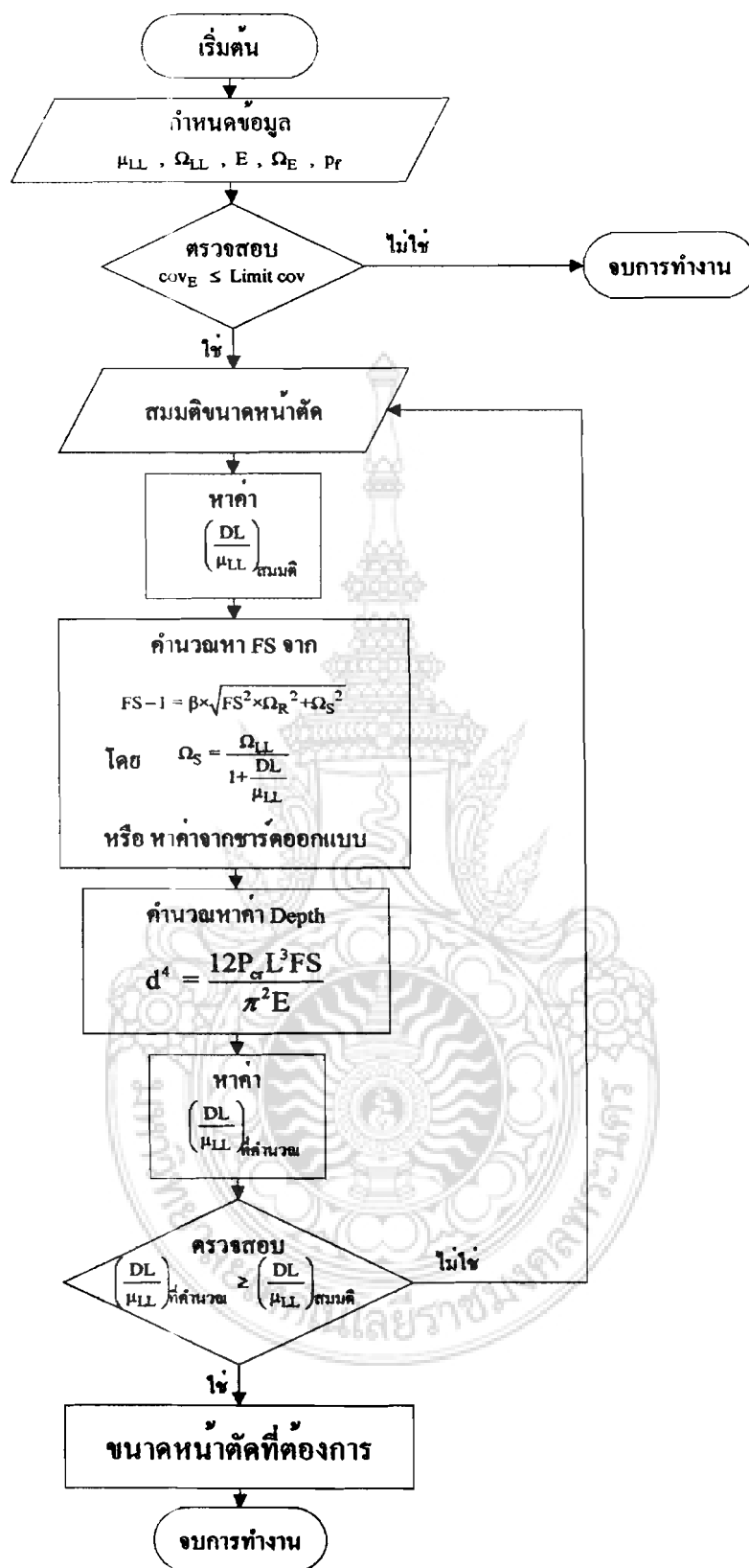


รูปที่ ข 7 ขาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น $p_f = 10^{-6}$ สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย (มงคลกรและคณะ, 2546)

ข. 3 ขั้นตอนการออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าอัตราส่วนปลอดภัย



รูปที่ ข 8 Flow Chart การออกแบบของค้ำอาคารไม้ในสภาวะขีดจำกัดด้านการแอ่นตัวกรณีออกแบบตงและคาน [9]



รูปที่ ข 9 Flow Chart การออกแบบของค้ำอาคารไม้ในสภาวะขีดจำกัดด้านการโก่งเดาะกรณีออกแบบเสาไม้ [9]

ข.4 การออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง

ข 4.1 วิธีการออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง

จากชาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยอาศัยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง สามารถสรุปวิธีการออกแบบได้ดังนี้คือ

1. ตรวจสอบขีดจำกัดบนของสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Limit cov) ของโมดูลัสยืดหยุ่นต้องไม่เกิน 0.269 ในกรณีของตงและคาน และไม่เกิน 0.210 ในกรณีของเสา หรือสามารถตรวจสอบจากตารางที่ ข.1 ดังนี้

ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเทียบกับค่าความน่าจะเป็นวิบัติและค่าดัชนีความปลอดภัย

p_f	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-8}
β	3.719	4.265	4.753	5.612
COV_E	0.269	0.230	0.210	0.178

2. กำหนดค่าทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกจรจากลักษณะขององค์อาคาร ได้แก่ ที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน ซึ่งสามารถใช้ค่าตามตารางที่ ข.2 ดังนี้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลทางวิศวกรรมในประเทศไทย (สุชาติ, 2533)

ประเภทอาคาร	ค่าที่ระบุ (kg/m ²)	ค่าเฉลี่ย (kg/m ²)	สัมประสิทธิ์ การแปรผัน	ค่าเฉลี่ย/ค่าระบุ
ที่พักอาศัย	150	182.4	0.186	1.216
สำนักงาน	250	350.8	0.182	1.400
โรงเรียน	300	163.3	0.133	0.544

3. กำหนดความยาวของตงและคาน ความกว้างของตงและคาน ระยะเรียงของตง ค่าความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง และค่า COV_E

4. เลือกชาร์ตออกแบบ ตามที่ได้กำหนด

5. กำหนดชนิดของไม้ที่จะนำมาใช้งาน จากนั้นนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไปลากเส้นตัดกับเส้น COV_E บนชาร์ตออกแบบ ก็จะได้ความลึกของหน้าตัด ซึ่งจะต้องนำความลึกของหน้าตัดที่ได้ ไปเปลี่ยนขนาดหน้าตัดให้เหมาะสมกับขนาดหน้าตัดไม้ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ข 4.2 ตัวอย่างการหาค่าอัตราส่วนปลอดภัย FS โดยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างโดยใช้ไม้พฤษ

ตัวอย่างการนำชาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้ โดยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างมาใช้ในการออกแบบของค้ำอาคารไม้พฤษ ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกจร และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็นตัวแปรสุ่ม และสมมติให้มีการแจกแจงแบบปกติ ค่าทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ ข.1 ในขณะที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้พฤษ เท่ากับ $69,150 \text{ กก./ชม.}^2$ สัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่น เท่ากับ 0.21 ความดัดงำเพาะของไม้ เท่ากับ 0.851

การออกแบบเพื่อหาความลึกของตงและคาน โดยกำหนดให้ มีระยะเรียงตง 30 ซม.ตงมีความหนา 2 นิ้ว และคาน (คู่) 3 นิ้ว ตงและคานยาว 3.50 เมตร พิจารณาจากขีดจำกัดด้านการโค้งตัว โดยค่าความน่าจะเป็นที่เท่ากับ $p_f = 10^{-4}$ ในขณะที่การออกแบบเพื่อหาขนาดของเสาน้ำตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส พิจารณาจากสูตรกำลังการโค้งเดาะของออยเลอร์ โดยค่าความน่าจะเป็นที่เท่ากับ $p_f = 10^{-6}$

ข 4.3 การออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยใช้ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (FS)

จากชาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยอาศัยค่าอัตราส่วนปลอดภัยสามารถศึกษาขั้นตอนการคำนวณได้จากภาคผนวก ก และสามารถสรุปวิธีการออกแบบได้ดังนี้คือ

1. ตรวจสอบขีดจำกัดบนของสัมประสิทธิ์การแปรผัน (limit cov) ของโมดูลัสยืดหยุ่น ต้องไม่เกิน 0.269 ในกรณีของตงและคาน และ 0.210 ในกรณีของเสา หรือให้ข้อมูลจากตารางที่ ข.1
2. กำหนดค่าทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกจรจากประเภทของอาคาร ได้แก่ ที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน ซึ่งสามารถใช้ค่าตามตารางที่ ข.2
3. สมมติหน้าตัดของค้ำอาคาร คำนวณประมาณผลของน้ำหนักบรรทุก เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่หารด้วยน้ำหนักบรรทุกจร ที่ขนาดหน้าตัดสมมติ
4. หาค่าอัตราส่วนปลอดภัยได้จาก ชาร์ตออกแบบของค้ำอาคารไม้โดยอาศัยค่าอัตราส่วนปลอดภัย หรือหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยได้จาก สมการ (ข1) และ (ข 2)
5. นำค่า FS ที่ได้ไปหารค่าโมดูลัสยืดหยุ่น จะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ยอมให้ จากนั้นนำไปคำนวณออกแบบตามปกติ ก็จะได้ขนาดหน้าตัดออกมา
6. นำขนาดหน้าตัดที่ได้ไปหาค่าผลของน้ำหนักบรรทุก จากนั้นตรวจสอบว่า ผลของน้ำหนักบรรทุกที่ได้มีค่ามากกว่าที่สมมติ แสดงว่าขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้เป็นขนาดหน้าตัดวิกฤต หากผลของน้ำหนักบรรทุกที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่สมมติ ให้ทำการคำนวณตั้งแต่ ข้อ 4 ถึง ข้อ 5 อีกครั้ง
7. ขนาดหน้าตัดวิกฤตที่ได้จะต้องเปลี่ยนขนาดหน้าตัดให้เหมาะสมกับขนาดหน้าตัดของไม้ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ข 4.4 ตัวอย่างการหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (FS)

ในกรณีการออกแบบตง คาน และเสาไม้พฤษ์ ใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 182.4 กก./ม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 0.186 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้พฤษ์เท่ากับ 85,903 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของโมดูลัสยืดหยุ่น (Ω_E) เท่ากับ 0.11 (สมมุติ) กำลังรับแรงดัดของไม้พฤษ์ เท่ากับ 902 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของกำลังรับแรงดัด (Ω_b) = 0.162 กำลังรับแรงเฉือนเท่ากับ 253 กก./ชม.² ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของกำลังรับแรงเฉือน (Ω_s) = 0.171 และความถี่จำเพาะเท่ากับ 0.796 พิจารณาสภาวะขีดจำกัดด้านการใช้งานของการโค้งตัวของตงและคานความน่าจะเป็น $p_f = 10^{-4}$ มีขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Limit COV.) ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังรับแรงเฉือนจะต้องมีค่าไม่เกิน $\Omega_R = 0.269$ ในขณะที่สภาวะขีดจำกัดเชิงประลัยของการโค้งเตาะของเสาและกำลังรับแรงดัดของตง-คานความน่าจะเป็น $p_f = 10^{-6}$ มีขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Limit COV.) จะต้องมามีค่าไม่เกิน $\Omega_R = 0.21$

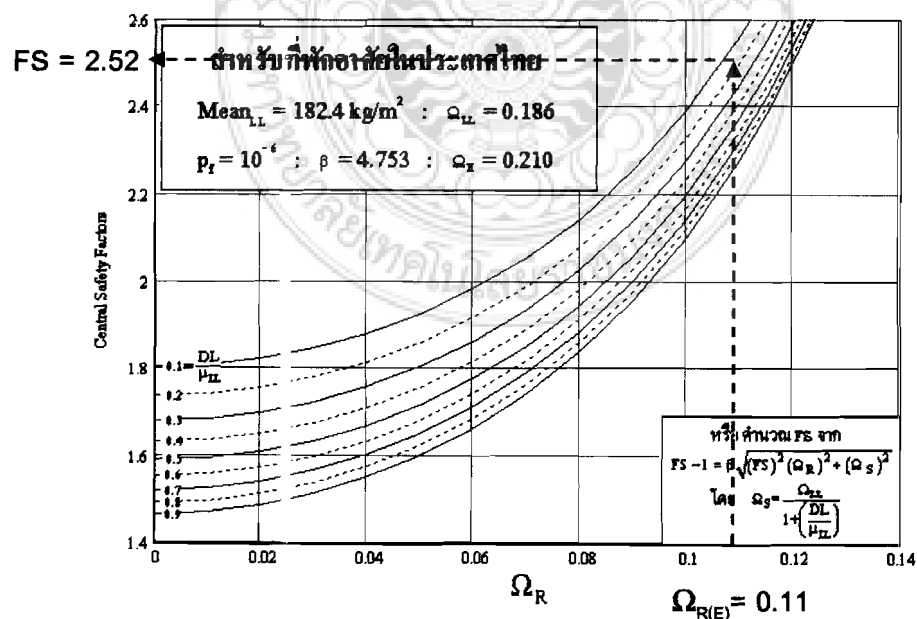
ดังนั้นจากการตรวจสอบเมื่อ ($p_f = 10^{-4}$) ; $\Omega_E < \Omega_R = 0.269$

และ ($p_f = 10^{-6}$) ; $\Omega_b, \Omega_E < \Omega_R = 0.21$

หาน้ำหนักบรรทุกคงที่คำนวณได้จากน้ำหนักพื้นหนา 1" รวมน้ำหนักตงไม้ จะได้น้ำหนักบรรทุกคงที่ DL = 15 กก./ม. และน้ำหนักบรรทุกจรบนตง LL = 182.4(0.50) = 91.2 15 กก./ม.

ดังนั้น พิจารณาจากรูปที่ ข 10 กรณีของตง - คาน มีขีดจำกัดกำลังรับแรงดัดที่ ($p_f = 10^{-6}$) สมมุติ $\Omega_{R(E)} = 0.11$ ลากเส้นตรงตั้งฉากจากแกน X ตัดกับเส้น $\frac{DL}{LL} = 0.164$ และลากเส้นขนานแกน X ไปตัด

กับแกน Y จะได้อา้ FS=2.52 นำค่าที่ได้ไปคำนวณออกแบบตามขั้นตอนที่ 5-7 (ข 4.3)



รูปที่ ข 10 ขาร้ตออกแบบของค้าคารไม้โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ความน่าจะเป็น $p_f = 10^{-6}$
 สำหรับที่หักออกด้วยในประเทศไทย (มงคคกรและคณะ, 2546)

ภาคผนวก ค

ตารางขนาดขององค์อาคารไม้ ตง คาน และเสา
ไม้พฤษภและไม้จามจุรี



ตารางภาคผนวก ค

ขนาดขององค์อาคารไม้พฤษและไม้จามจุรีจากการออกแบบ

ค.1 ทั่วไป

ในภาคผนวก ค นี้ได้นำเสนอข้อมูลที่ได้จากการออกแบบโดยให้ไม้พฤษและไม้จามจุรี มาใช้เป็นองค์อาคารตง คาน และเสา ซึ่งทำการออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 2517 [15] สำหรับอาคารไม้ โดยวิธีคำตอบถูกต้อง (Accurate Method) ออกแบบด้วยวิธีปรกติที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีค่านำเชื่อถือแบบสม่าเสมอ WCCAL [8-10] และแนะนำค่า FS ที่ยอมรับได้ ผลการวิเคราะห์และออกแบบขนาดขององค์อาคาร ไม้พฤษและไม้จามจุรีใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ที่ช่วงแห่งความชื้นร้อยละ 99 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของไม้ ที่ค่าต่างๆ ค่าเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของน้ำหนักบรรทุกทุกจรของที่พักอาศัย สำนักงาน และโรงเรียน และพิจารณาความต้านทานเชิงโครงสร้างขององค์อาคารไม้ แต่ประเภทสามารถแบ่งแยกได้ตามสภาวะขีดจำกัด (Limit State) ซึ่งแสดงค่าความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างในรูปของความน่าจะเป็น (p) ตัวอย่างเช่นกำหนดค่าความน่าจะเป็นเนื่องจากการโก่งตัวของตงไม้อยู่ในพิภคที่ยอมรับได้ที่ระดับ ($p_1 = 10^{-4}$) และ ($p_2 = 10^{-5}$) สำหรับการโก่งเดาะของเสาไม้เป็นต้น สำหรับตัวแปรเชิงกำหนดที่ใช้ในการออกแบบเช่นขนาดความหนาของตง และคาน ใช้ค่า 1½", 2", 3" ในขณะที่ด้านที่แคบที่สุดของเสาใช้ขนาดตัวอย่างเช่น 7½"x7½", 8"x8" และ 9"x9" เป็นต้น ความยาวของตงและคานใช้ขนาด 2.5, 3.0 และ 3.5 เมตร ในขณะที่ความสูงของเสาใช้ 3.00 เมตร โดยมีระยะเรียงของตงเท่ากับ 0.30, 0.40 และ 0.50 เมตร ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์และออกแบบขนาดขององค์อาคารไม้ โดยขนาดไม้ที่แนะนำเป็นขนาดภายหลังการแต่งไสแล้ว (Dressed dimensions) ซึ่งมีจำหน่ายตามท้องตลาดสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ ค.1- ค.12

ตารางที่ ค 1 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร ตงไม้พฤษ์

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 182 กก/ม ² p _t = 10 ⁻⁶ p _r = 10 ⁻⁴ COV _{LL} = 0.186 COV _E = 0.204 COV _R = 0.162 COV _V = 0.171 E = 85,903 กก/ซม ² fr = 902 กก/ซม ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	ที่หักอาศัย	150	2.5	30	3.81	19.11	2 - 4"	5	5	3
					5.08	17.49	2-3½	5	5	3
				40	3.81	20.92	2-4½	5	5	3
					5.08	19.11	2 - 4"	5	5	3
				50	3.81	22.4	2-4½	5	5	3
					5.08	20.5	2-4½	5	5	3
			3.0	30	3.81	22.93	2 - 5"	5	5	3
					5.08	20.98	2-4½	5	5	3
				40	3.81	25.1	2 - 5"	5	5	3
					5.08	22.93	2 - 5"	5	5	3
				50	3.81	26.95	2-5½	5	5	3
					5.08	24.59	2 - 5"	5	5	3
			3.5	30	3.81	26.75	2-5½	5	5	3
					5.08	24.48	2 - 5"	5	5	3
				40	3.81	29.29	2 - 6"	5	5	3
					5.08	26.75	2-5½	5	5	3
				50	3.81	31.44	2-6½	5	5	3
					5.08	28.69	2 - 6"	5	5	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมที่กีดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_t = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 2 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร ตงไม้พฤษ์

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 350.8 กก/ม ² P _f = 10 ⁻⁶ P _r = 10 ⁻⁴ COV _{LL} = 0.180 COV _E = 0.204 COV _R = 0.162 COV _V = 0.171 E = 85,903 กก/ซม ² fr = 902 กก/ซม ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	สำนักงาน	250	2.5	30	3.81	3.81	23.15	2 - 5"	5	5
					5.08	5.08	21.12	2-4½	5	5
				40	3.81	3.81	25.14	2-5½	5	5
					5.08	5.08	23.16	2 - 5"	5	5
				50	3.81	3.81	27.32	2-5½	5	5
					5.08	5.08	24.89	2 - 5"	5	5
			3.0	30	3.81	3.81	27.79	2-5½	5	5
					5.08	5.08	25.35	2 - 5"	5	5
				40	3.81	3.81	30.49	2-6½	5	5
					5.08	5.08	27.79	2-5½	5	5
				50	3.81	3.81	32.78	2-6½	5	5
					5.08	5.08	29.86	2 - 6"	5	5
			3.5	30	3.81	3.81	32.42	2-6½	5	5
					5.08	5.08	29.57	2 - 6"	5	5
				40	3.81	3.81	35.58	2-7½	5	5
					5.08	5.08	32.42	2-6½	5	5
				50	3.81	3.81	38.26	2 - 8"	5	5
					5.08	5.08	34.84	2 - 7"	5	5

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิักัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁴

ตารางที่ ค3 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร ตงไม้พฤษ์

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 163.3 กก/ม ² P _f = 10 ⁻⁶ P _r = 10 ⁻⁴ COV _{LL} = 0.133 COV _E = 0.204 COV _R = 0.162 COV _v = 0.171 E = 85,903 กก/ซม ² fr = 902 กก/ซม ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	โรงเรียน	300	2.5	30	3.81	3.81	18.4	2 - 4"	5	5
					5.08	5.08	16.86	2-3½	5	5
				40	3.81	3.81	20.13	2 - 4"	5	5
					5.08	5.08	18.41	2 - 4"	5	5
				50	3.81	3.81	21.6	2-4½	5	5
					5.08	5.08	19.73	2 - 4"	5	5
			3.0	30	3.81	3.81	22.08	2-4½	5	5
					5.08	5.08	20.23	2 - 4"	5	5
				40	3.81	3.81	24.16	2 - 5"	5	5
					5.08	5.08	22.08	2-4½	5	5
				50	3.81	3.81	25.92	2-5½	5	5
					5.08	5.08	23.67	2 - 5"	5	5
			3.5	30	3.81	3.81	25.76	2-5½	5	5
					5.08	5.08	23.61	2 - 5"	5	5
				40	3.81	3.81	28.18	2 - 6"	5	5
					5.08	5.08	25.76	2-5½	5	5
				50	3.81	3.81	30.25	2 - 6"	5	5
					5.08	5.08	27.62	2-5½	5	5

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิักการโก่งตัว(Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 4 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร คานไม้พฤษ

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 182 kg/m ² P _r = 10 ⁻⁶ P _r = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.186 cov _E = 0.204 cov _R = 0.162 cov _V = 0.171 E = 85903 kg/cm ² F _r = 902 kg/cm ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	ที่พักอาศัย	150	2.5	30	5.08	35.41	2 - 7"	5	5	3
					7.62	36.6	2-7½	5	5	3
				40	5.08	34.9	2 - 7"	5	5	3
					7.62	35.84	2-7½	5	5	3
				50	5.08	34.61	2 - 7"	5	5	3
					7.62	35.4	2 - 7"	5	5	3
			3.0	30	5.08	45.02	2 - 9"	5	5	3
					7.62	46.5	2-9½	5	5	3
				40	5.08	44.35	2 - 9"	5	5	3
					7.62	45.54	2 - 9"	5	5	3
				50	5.08	43.97	2 - 9"	5	5	3
					7.62	44.96	2 - 9"	5	5	3
			3.5	30	5.08	55.16	2 - 11"	5	5	3
					7.62	56.97	2-11½	5	5	3
				40	5.08	54.34	2 - 11"	5	5	3
					7.62	55.78	2 - 11"	5	5	3
				50	5.08	53.85	2 - 11"	5	5	3
					7.62	55.05	2 - 11"	5	5	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 5 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร คานไม้พฤษ

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 350.8 kg/m ² p _r = 10 ⁻⁶ p _r = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.180 cov _E = 0.204 cov _R = 0.162 cov _V = 0.171 E = 85903 kg/cm ² F _r = 902 kg/cm ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	สำนักงาน	250	2.5	30	5.08	42.26	2-8½	5	5	3
					7.62	43.08	2-8½	5	5	3
				40	5.08	42.91	2-8½	5	5	3
					7.62	42.56	2-8½	5	5	3
				50	5.08	41.69	2-8½	5	5	3
					7.62	42.25	2-8½	5	5	3
			3.0	30	5.08	53.78	2 - 11"	5	5	3
					7.62	54.83	2 - 11"	5	5	3
				40	5.08	53.33	2-10½	5	5	3
					7.62	54.15	2 - 11"	5	5	3
				50	5.08	53.06	2-10½	5	5	3
					7.62	53.74	2 - 11"	5	5	3
			3.5	30	5.08	65.97	2 - 13"	5	5	3
					7.62	67.24	2-13½	5	5	3
				40	5.08	65.41	2 - 13"	5	5	3
					7.62	66.4	2-13½	5	5	3
				50	5.08	65.07	2 - 13"	5	5	3
					7.62	65.89	2 - 13"	5	5	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 6 ขนาดหน้าตัดตองค์อาคาร คานไม้พฤษ

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 163.3 kg/m ² p _f = 10 ⁻⁶ p _f = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.133 cov _E = 0.204 cov _R = 0.162 cov _v = 0.171 E = 85903 kg/cm ² F _r = 902 kg/cm ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	โรงเรียน	300	2.5	30	5.08	34.24	2 - 7"	5	5	3
					7.62	35.52	2 - 7"	5	5	3
				40	5.08	33.69	2 - 7"	5	5	3
					7.62	34.72	2 - 7"	5	5	3
				50	5.08	33.36	2 - 7"	5	5	3
					7.62	34.23	2 - 7"	5	5	3
			3.0	30	5.08	43.52	2 - 9"	5	5	3
					7.62	45.12	2 - 9"	5	5	3
				40	5.08	42.79	2-8½"	5	5	3
					7.62	44.08	2 - 9"	5	5	3
				50	5.08	42.37	2-8½"	5	5	3
					7.62	43.45	2 - 9"	5	5	3
			3.5	30	5.08	53.32	2-10½"	5	5	3
					7.62	55.27	2 - 11"	5	5	3
				40	5.08	52.41	2-10½"	5	5	3
					7.62	53.97	2 - 11"	5	5	3
				50	5.08	51.87	2-10½"	5	5	3
					7.62	53.19	2-10½"	5	5	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิภักการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_f = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 7 ขนาดหน้าตัดองค์อาคาร เสาไม้พฤษ์

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ด้านแคบของเสา (d)		Factor of Safety (FS)
						(ซม.)	(นิ้ว)	E _{wood}
LL = 182 kg/m ² p _r = 10 ⁻⁶ p _r = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.186 cov _E = 0.204 cov _{fa} = 0.119 E = 85,903 kg/cm ² F _s = 565 kg/cm ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	พักอาศัย	182.4	2.5	30	5.08	16.417	6½"	33
					7.62	16.487	6½"	33
				40	5.08	16.304	6½"	33
					7.62	16.36	6½"	33
				50	5.08	16.235	6½"	33
					7.62	16.25	6½"	33
			3.0	30	5.08	17.901	7"	33
					7.62	17.75	7"	33
				40	5.08	17.77	7"	33
					7.62	17.83	7"	33
				50	5.08	17.69	7"	33
					7.62	17.76	7"	33
			3.5	30	5.08	19.27	7½"	33
					7.62	19.33	7½"	33
				40	5.08	19.13	7½"	33
					7.62	19.19	7½"	33
				50	5.08	19.05	7½"	33
					7.62	19.11	7½"	33

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโค้งเดาะ (Bucking) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁶

ตารางที่ ค 8 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร เสาไม้พฤษ์

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ด้านแคบของเสา (d)		Factor of Safety (FS)
						(ซม.)	(นิ้ว)	E _{wood}
LL = 350.8 kg/m ² p _r = 10 ⁻⁶ p _r = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.180 cov _E = 0.204 cov _{fb} = 0.119 E = 85,903 kg/cm ² F _b = 565 kg/cm ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	สำนักงาน	250	2.5	30	5.08	18.21	7½"	33
					7.62	18.25	7½"	33
				40	5.08	18.12	7½"	33
					7.62	18.16	7½"	33
				50	5.08	18.07	7½"	33
					7.62	18.12	7½"	33
			3.0	30	5.08	19.88	8"	33
					7.62	19.92	8"	33
				40	5.08	19.79	8"	33
					7.62	19.83	8"	33
				50	5.08	19.73	8"	33
					7.62	19.77	8"	33
			3.5	30	5.08	21.43	8½"	33
					7.62	21.47	8½"	33
				40	5.08	21.33	8½"	33
					7.62	21.37	8½"	33
				50	5.08	21.27	8½"	33
					7.62	21.31	8½"	33

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งเดาะ (Bucking) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁶

ตารางที่ ค 9 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร เสาไม้พฤษ์

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ด้านแคบของเสา (d)		Factor of Safety (FS)
						(ซม.)	(นิ้ว)	E _{wood}
LL = 163.3 kg/m ² P _r = 10 ⁻⁶ P _r = 10 ⁻⁴ COV _{LL} = 0.133 COV _E = 0.204 COV _{Ia} = 0.119 E = 85,903 kg/cm ² F _s = 565 kg/cm ² G = 0.796 β = 4.753 β = 3.719	โรงเรียน	300	2.5	30	5.08	16.16	6½"	33
					7.62	16.23	6½"	33
				40	5.08	16.05	6½"	33
					7.62	16.11	6½"	33
				50	5.08	15.97	6½"	33
					7.62	16.04	6½"	33
			3.0	30	5.08	17.62	7"	33
					7.62	17.68	7"	33
				40	5.08	17.48	7"	33
					7.62	17.55	7"	33
				50	5.08	17.41	7"	33
					7.62	17.47	7"	33
			3.5	30	5.08	18.97	7½"	33
					7.62	19.02	7½"	33
				40	5.08	18.83	7½"	33
					7.62	18.88	7½"	33
				50	5.08	18.74	7½"	33
					7.62	18.79	7½"	33

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งคาะ (Bucking) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁶

ตารางที่ ค 10 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร ตงไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 182 กก/ม ² p _f = 10 ⁻⁶ p _r = 10 ⁻⁴ COV _{LL} = 0.186 COV _E = 0.202 COV _R = 0.188 COV _V = 0.171 E = 49,997 กก/ซม ² fr = 392 กก/ซม ² G = 0.51 β = 4.753 β = 3.719	ที่พักอาศัย	182.4	2.5	30	3.81	21.58	2 - 4½"	5	10	3
					5.08	19.7	2 - 4"	5	10	3
				40	3.81	23.67	2 - 5"	5	10	3
					5.08	21.58	2 - 4½"	5	10	3
				50	3.81	25.43	2 - 5½"	5	10	3
					5.08	23.18	2 - 5"	5	10	3
			3.0	30	3.81	25.89	2 - 5½"	5	10	3
					5.08	23.64	2 - 5"	5	10	3
				40	3.81	28.4	2 - 6"	5	10	3
					5.08	25.89	2 - 5½"	5	10	3
				50	3.81	30.52	2 - 6½"	5	10	3
					5.08	27.81	2 - 5½"	5	10	3
			3.5	30	3.81	30.21	2 - 6"	5	10	3
					5.08	27.58	2 - 5½"	5	10	3
				40	3.81	33.13	2 - 7"	5	10	3
					5.08	30.21	2 - 6"	5	10	3
				50	3.81	35.61	2 - 7½"	5	10	3
					5.08	32.45	2 - 6½"	5	10	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_f = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 11 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร ตงไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 350.8 กก/ม ²	สำนักงาน	250	2.5	30	3.81	26.38	2 - 5½"	5	10	3
p _r = 10 ⁻⁶					5.08	24.03	2 - 5"	5	10	3
p _r = 10 ⁻⁴				40	3.81	28.98	2 - 6"	5	10	3
COV _{LL} = 0.180					5.08	26.87	2 - 5½"	5	10	3
COV _E = 0.202				50	3.81	31.18	2 - 6½"	5	10	3
COV _R = 0.188					5.08	28.38	2 - 6"	5	10	3
COV _V = 0.171				30	3.81	31.67	2 - 6½"	5	10	3
E = 49,997 กก/ซม ²					5.08	28.84	2 - 6"	5	10	3
f _r = 392 กก/ซม ²				40	3.81	34.78	2 - 7"	5	10	3
G = 0.51					5.08	31.66	2 - 6½"	5	10	3
β = 4.753				50	3.81	37.42	2 - 7½"	5	10	3
β = 3.719					5.08	34.05	2 - 7"	5	10	3
				30	3.81	39.94	2 - 7½"	5	10	3
					5.08	33.65	2 - 7"	5	10	3
				40	3.81	40.58	2 - 8"	5	10	3
					5.08	36.94	2 - 7½"	5	10	3
				50	3.81	43.66	2 - 9"	5	10	3
					5.08	39.73	2 - 8"	5	10	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 12 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร ตงไม้จามจรี

ข้อมูลที่ให้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 163.3 กก/ม ²	โรงเรียน	300	2.5	30	3.81	20.87	2 - 4½"	5	10	3
P _f = 10 ⁻⁶					5.08	19.06	2 - 4"	5	10	3
P _f = 10 ⁻⁴				40	3.81	22.87	2 - 5"	5	10	3
COV _{LL} = 0.133					5.08	20.87	2 - 4½"	5	10	3
COV _E = 0.202				50	3.81	24.58	2 - 5"	5	10	3
COV _R = 0.188					5.08	22.41	2 - 4½"	5	10	3
COV _V = 0.171				30	3.81	25.04	2 - 5"	5	10	3
E = 49,997 กก/ซม ²					5.08	22.87	2 - 5"	5	10	3
f _r = 392 กก/ซม ²				40	3.81	27.45	2 - 5½"	5	10	3
G = 0.51					5.08	25.04	2 - 5"	5	10	3
β = 4.753				50	3.81	29.51	2 - 6"	5	10	3
β = 3.719					5.08	26.89	2 - 5½"	5	10	3
				30	3.81	29.22	2 - 6"	5	10	3
					5.08	26.69	2 - 5½"	5	10	3
				40	3.81	32.03	2 - 6½"	5	10	3
					5.08	29.22	2 - 6"	5	10	3
				50	3.81	34.42	2 - 7"	5	10	3
					5.08	31.37	2 - 6½"	5	10	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิักัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_f = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 13 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร คานไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 182 kg/m ² p _f = 10 ⁻⁶ p _f = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.186 cov _E = 0.202 cov _R = 0.188 cov _S = 0.171 E = 49,997 กก/ซม ² fr = 392 กก/ซม ² G = 0.51 β = 4.753 β = 3.719	ค้ำ	150	2.5	30	5.08	40.27	2 - 8"	4.5	10	3
					7.62	35.56	2 - 7"	4.5	10	3
				40	5.08	39.96	2 - 8"	4.5	10	3
					7.62	35.02	2 - 7"	4.5	10	3
				50	5.08	39.79	2 - 8"	4.5	10	3
					7.62	34.86	2 - 7"	4.5	10	3
			3.0	30	5.08	51.24	2 - 10½"	4.5	10	3
					7.62	44.87	2 - 9"	4.5	10	3
				40	5.08	50.85	2 - 10½"	4.5	10	3
					7.62	44.53	2 - 9"	4.5	10	3
				50	5.08	50.62	2 - 10"	4.5	10	3
					7.62	44.33	2 - 9"	4.5	10	3
			3.5	30	5.08	62.84	2 - 12½"	4.5	10	3
					7.62	55.02	2 - 11"	4.5	10	3
				40	5.08	62.35	2 - 12½"	4.5	10	3
					7.62	54.59	2 - 11"	4.5	10	3
				50	5.08	62.07	2 - 12½"	4.5	10	3
					7.62	54.34	2 - 11"	4.5	10	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_f = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 14 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร คานไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 350.8 kg/m ² p _t = 10 ⁶ p _t = 10 ⁴ cov _{LL} = 0.180 cov _E = 0.202 cov _R = 0.188 cov _S = 0.171 E = 49,997 กก/ซม ² fr = 392 กก/ซม ² G = 0.51 β = 4.753 β = 3.719	สำนักงาน	250	2.5	30	5.08	48.95	2 - 10"	4.5	10	3
					7.62	42.83	2 - 8½"	4.5	10	3
				40	5.08	48.74	2 - 10"	4.5	10	3
					7.62	42.65	2 - 8½"	4.5	10	3
				50	5.08	48.63	2 - 10"	4.5	10	3
					7.62	42.55	2 - 8½"	4.5	10	3
			3.0	30	5.08	62.36	2 - 12½"	4.5	10	3
					7.62	54.55	2 - 11"	4.5	10	3
				40	5.08	62.09	2 - 12½"	4.5	10	3
					7.62	54.31	2 - 11"	4.5	10	3
				50	5.08	61.94	2 - 12½"	4.5	10	3
					7.62	54.18	2 - 11"	4.5	10	3
			3.5	30	5.08	76.52	2 - 15½"	4.5	10	3
					7.62	66.93	2 - 13½"	4.5	10	3
				40	5.08	76.19	2 - 15"	4.5	10	3
					7.62	66.63	2 - 13½"	4.5	10	3
				50	5.08	76.01	2 - 15"	4.5	10	3
					7.62	66.47	2 - 13½"	4.5	10	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_t = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 15 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร คานไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ลึก (d) (ซม.)	ขนาด (d) (นิ้ว)	Factor of Safety (FS)		
								deflection	bending	shear
LL = 182.4 kg/m ² p _f = 10 ⁻⁶ p _f = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.186 cov _E = 0.202 cov _R = 0.188 cov _S = 0.171 E = 49,997 กก/ซม ² fr = 392 กก/ซม ² G = 0.51 β = 4.753 β = 3.719	โรงเรียน	300	2.5	30	5.08	38.73	2 -8"	4.5	10	3
					7.62	33.94	2 -7"	4.5	10	3
				40	5.08	38.4	2 -8"	4.5	10	3
					7.62	33.66	2 -7"	4.5	10	3
				50	5.08	38.2	2 -8"	4.5	10	3
					7.62	33.51	2 -7"	4.5	10	3
			3.0	30	5.08	49.27	2 -10"	4.5	10	3
					7.62	42.56	2 -8½"	4.5	10	3
				40	5.08	48.84	2 -10"	4.5	10	3
					7.62	42.78	2 -8½"	4.5	10	3
				50	5.08	48.58	2 -10"	4.5	10	3
					7.62	42.57	2 -8½"	4.5	10	3
			3.5	30	5.08	60.42	2 -12"	4.5	10	3
					7.62	52.91	2 -10½"	4.5	10	3
				40	5.08	59.87	2 -12"	4.5	10	3
					7.62	52.44	2 -10½"	4.5	10	3
				50	5.08	59.56	2 -12"	4.5	10	3
					7.62	52.16	2 -10½"	4.5	10	3

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งตัว (Deflection) ที่ความน่าจะเป็น p_f = 10⁻⁴

ตารางที่ ค 16 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร เสาไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ด้านแคบของเสา (d)		Factor of Safety (FS)
						(ซม.)	(นิ้ว)	E _{wood}
LL = 182 kg/m ² p _i = 10 ⁻⁶ p _r = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.186 cov _E = 0.202 cov _{I_b} = 0.202 E = 49,997 kg/cm ² F _s = 275.84 kg/cm ² G = 0.51 β = 4.753 β = 3.719	พักอาศัย	150	2.5	30	5.08	17.15	7"	25
					7.62	17.19	7"	25
				40	5.08	17.06	7"	25
					7.62	17.11	7"	25
				50	5.08	17.02	7"	25
					7.62	17.07	7"	25
			3.0	30	5.08	18.72	7½"	25
					7.62	18.77	7½"	25
				40	5.08	18.63	7½"	25
					7.62	18.67	7½"	25
				50	5.08	18.57	7½"	25
					7.62	18.62	7½"	25
			3.5	30	5.08	20.18	8"	25
					7.62	20.22	8"	25
				40	5.08	20.08	8"	25
					7.62	20.12	8"	25
				50	5.08	20.02	8"	25
					7.62	20.06	8"	25

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโค้งเดาะ (Bucking) ที่ความน่าจะเป็น p_i = 10⁻⁶

ตารางที่ ค 17 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร เสาไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ด้านแคบของเสา (d)		Factor of Safety (FS)
						(ซม.)	(นิ้ว)	E _{wood}
LL = 350.8 kg/m ² p _r = 10 ⁻⁶ p _r = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.180 cov _E = 0.202 cov _{fb} = 0.202 E = 49,997 kg/cm ² F _s = 275.84 kg/cm ² G = 0.51 β = 4.753 β = 3.719	สำนักงาน	250	2.5	30	5.08	19.18	7½"	25
					7.62	19.21	7½"	25
				40	5.08	19.12	7½"	25
					7.62	19.16	7½"	25
				50	5.08	19.09	7½"	25
					7.62	19.12	7½"	25
			3.0	30	5.08	20.97	8½"	25
					7.62	21.01	8½"	25
				40	5.08	20.91	8½"	25
					7.62	20.93	8½"	25
				50	5.08	20.87	8½"	25
					7.62	20.91	8½"	25
			3.5	30	5.08	22.62	9"	25
					7.62	22.65	9"	25
				40	5.08	22.55	9"	25
					7.62	22.58	9"	25
				50	5.08	22.51	9"	25
					7.62	22.54	9"	25

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งเดาะ (Bucking) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁶

ตารางที่ ค 18 ขนาดหน้าตัดของค้ำอาคาร เสาไม้จามจรี

ข้อมูลที่ใช้ออกแบบ	ประเภท	LL (kg/m ²)	ความยาว (เมตร)	ระยะเรียง ของตง (ซม.)	ความกว้าง (b) (ซม.)	ด้านแคบของเสา (d)		Factor of Safety (FS)
						(ซม.)	(นิ้ว)	E _{wood}
LL = 163.3 kg/m ² P _f = 10 ⁻⁶ P _r = 10 ⁻⁴ cov _{LL} = 0.133 cov _E = 0.202 cov _{Fa} = 0.202 E = 49,997 kg/cm ² F _s = 275.84 kg/cm ² G = 0.51 β = 4.753 β = 3.719	โรงเรียน	300	2.5	30	5.08	16.86	7"	25
					7.62	16.91	7"	25
				40	5.08	16.77	7"	25
					7.62	16.82	7"	25
				50	5.08	16.72	7"	25
					7.62	16.76	7"	25
			3.0	30	5.08	18.41	7½"	25
					7.62	18.45	7½"	25
				40	5.08	18.31	7½"	25
					7.62	18.35	7½"	25
				50	5.08	18.25	7½"	25
					7.62	18.29	7½"	25
			3.5	30	5.08	19.83	8"	25
					7.62	19.87	8"	25
				40	5.08	19.73	8"	25
					7.62	19.77	8"	25
				50	5.08	19.67	8"	25
					7.62	19.71	8"	25

หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดที่คำนวณได้สามารถควบคุมพิกัดการโก่งเดาะ (Bucking) ที่ความน่าจะเป็น p_r = 10⁻⁶

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรม
ของไม้พฤษ



ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้พฤษภ

ง.1 ทัวไป

ในภาคผนวกนี้จะได้นำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม รวมทั้งการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของไม้พฤษภ ประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และรูปแบบการแจกแจงต่อเนื่อง (Type of Distribution) ที่เหมาะสม โดยรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมจะใช้ค่าไคกำลังสอง (Chi - Square) และการทดสอบโคลโมโกรอฟ - สเมียร์นอฟ (Kolmogorov - Smirnov) ซึ่งเป็นวิธีการเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ของตัวอย่างกับ CDF ของการแจกแจงที่เหมาะสม การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-square Test) และการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) ซึ่งการทดสอบทั้ง 2 ชนิด เป็นการทดสอบที่ใช้พารามิเตอร์ การทดสอบการแจกแจงนี้เรียกว่า การทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท (Goodness-of-Fit Test) การทดสอบไคกำลังสองมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่และระดับของข้อมูล กล่าวคือความถี่ที่ควรจะเป็นจะต้องไม่ต่ำกว่า 5 และจำนวนกลุ่มของข้อมูลจะต้องไม่น้อยกว่า 2 ชั้น

เนื่องจากข้อมูลไม้มีความหลากหลายประเภทมีลักษณะการแจกแจงแบบค่าปลายสุด (Extreme-valued distributions) จึงไม่สามารถใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ CESTTEST (Civil Engineering Statistical Test) [12] เพื่อหาคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้พฤษภจำนวน 11 ชนิด ประกอบด้วย 1. แรงอัดขนานเส้น (ปฐมภูมิ)² (Compression Parallel to Grain) แรงอัดขนานเส้น (ทุติยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² (Modulus of Elasticity) โมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ 2.แรงอัดตั้งฉากเส้น (Compression Perpendicular to Grain) 3. การทดสอบแรงดัด (ปฐมภูมิ)² ประกอบด้วยโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity; MOE) โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture; MOR) การทดสอบแรงดัด (ทุติยภูมิ)³ ประกอบด้วยโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity; MOE) โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture; MOR) 4.แรงดึงในแนวขนานเส้น (Tension Parallel to Grain) 5. แรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น (Tension Perpendicular to Grain) 6.แรงเฉือนขนานเส้น (Shear Parallel to Grain) 7.การทดสอบการฉีกขาดของไม้ (Cleavage) 8. ความเหนียว (Toughness) 9. การทดสอบความแข็งของไม้ (Hardness) ขนานเส้น (Parallel to Grain) สัมผัสเส้น (Tangent to Grain) ตั้งฉากเส้น (Perpendicular to Grain) 10. การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ปริมาตรการหดตัว % (Shrinkage in Volume)

ปริมาณความชื้น % (Moisture Content) ความหนาแน่น (Density) 11.การทดสอบการหดตัวในแนวสัมผัส % (Tangential Shrinkage) และการหดตัวในแนวรัศมี % (Radial Shrinkage)

ง. 2 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของไม้พฤษ

ง. 2.1 การทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยน

แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² (Compression Parallel to Grain)

ของไม้พฤษจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษ

532.10	530.90	582.60	504.80	469.80	473.40	496.40	560.20	409.40	431.80
500.60	451.60	582.60	421.40	417.30	568.50	452.30	526.60	491.70	500.30
463.40	508.00	513.10	489.50	612.90	404.70	654.40	404.60	478.60	569.80
559.10	503.10	546.80	617.40	507.30	588.50	649.00	555.00	640.80	610.70
543.10	553.80	558.30	628.20	583.50	691.90	493.20	580.50	649.30	608.30
596.80	657.70	622.40	606.10	600.00	636.40	627.80	592.80	622.10	590.40
583.30	606.20	534.80	631.30	603.50	605.80	638.10	520.30	534.20	545.70
655.90	524.50	567.50	627.40	618.80	611.60	627.90	609.20	647.70	508.6
506.80	519.70	471.60	585.60	576.30	574.90	581.60	520.40	639.40	675.20
643.60	498.60	630.00	483.10	576.80	541.30	624.40	584.70	501.40	548.70
550.30	485.10	493.00	604.90	686.50	615.40	571.30	543.80	581.40	643.20
728.50	475.80	500.10	598.50	624.00	642.20	606.10	528.00	618.50	505.70
589.70	517.00	582.80	537.90	555.40	616.70	598.30	676.50	656.90	678.90

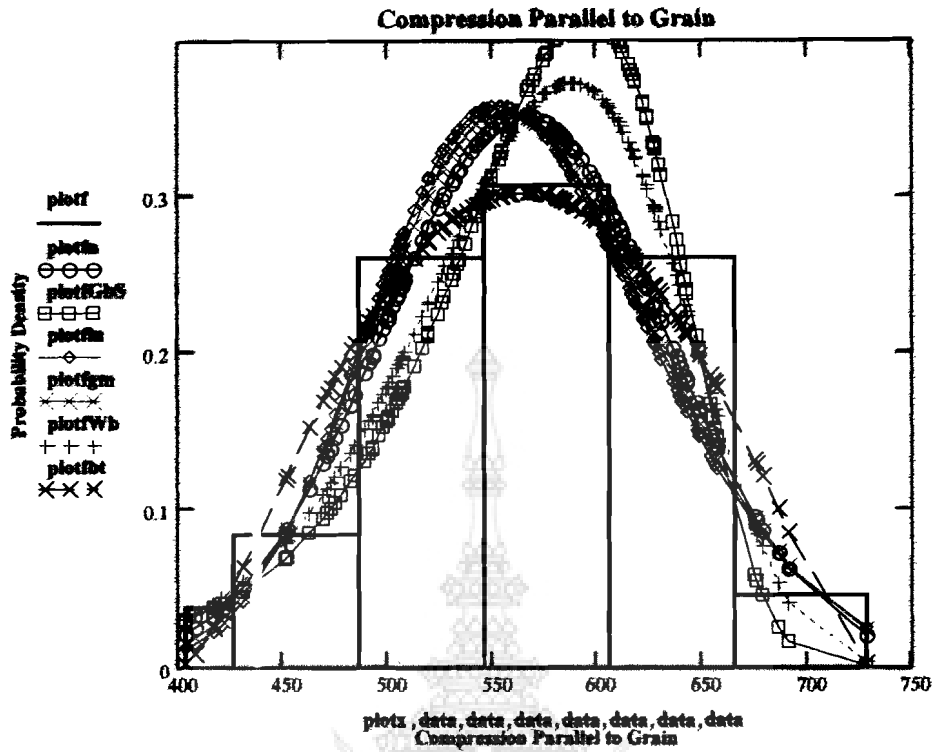
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 565.55 และ 67.80 กก./ซม.² ตามลำดับโดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ N_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t = 2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วงซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3 = 3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองพบว่าค่าความถี่ของข้อมูลผ่านการทดสอบไคกำลังสองมี 2 ชนิดได้แก่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลส์ การแจกแจงปกติ และการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล แสดงในตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง.2 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษ

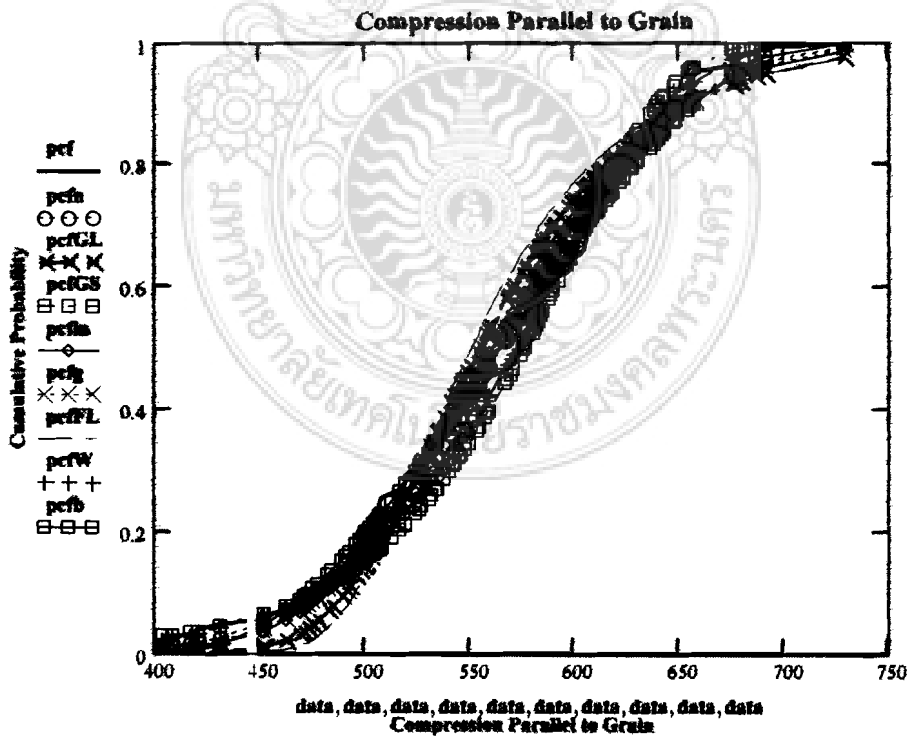
ชั้นที่	กำลังแรงอัด (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Weibull	ความถี่ Normal	ความถี่ Gumbel
1	404.54 - 427	5	4.617	2.665	5.202
2	427 - 486.75	11	11.758	13.267	10.239
3	486.75 - 546.5	34	29.092	34.680	26.675
4	546.5 - 606.25	40	46.131	43.741	49.206
5	606.25 - 666	34	32.732	26.643	35.630
6	666 - 728.55	6	5.610	7.948	3.045
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			1.799	5.275	6.738

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิด เป็นการแจกแจงบีตา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงปกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล และการแจกแจงแกมมา มีค่าเท่ากับ 0.06 0.065 0.071 0.079 และ 0.086 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดในแนวขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงบีตา มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงบีตา มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ Chi-Square Test ในขณะที่ยังการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล และการแจกแจงปกติก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสอง การทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท Chi-Square Test และการทดสอบ Kolmogorov-Sminov Test สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.1 และ ง.2 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๑ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดขนานเส้น (ปฐมภูมิ)^๒ ของไม้ พฤษภกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๑.๒ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดขนานเส้น (ปฐมภูมิ)^๒ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

แรงอัดขนานเสี้ยน(ทุติยภูมิ)³ (Compression Parallel to Grain)
ของไม้พฤษภจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.3

ตารางที่ ง.3 แรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษภ

594.03	639.89	603.28	590.56	621.39	549.71	602.51	648.75	623.44	639.57
664.32	702.27	570.32	872.26	692.72	725.22	851.44	869.15	796.80	525.44
731.57	782.64	954.16	628.72	519.26	623.31	773.20	652.61	555.10	871.49
763.58	743.17	898.85	859.17	871.87	758.19	890.37	819.74	917.34	697.70
837.20	879.20	835.28	868.02	718.50	881.12	993.65	733.92	859.94	851.46
774.00	739.31	859.94	841.82	758.58	923.90	901.94	665.71	660.64	822.54
797.50	979.39	963.60	795.97	789.02	927.38	745.09	869.18	739.31	644.13
857.62	629.10	882.29	646.43	631.02	816.00	917.34	848.37	767.82	911.57
821.39	940.86	686.51	757.81	897.70	704.24	792.50	827.95	772.83	598.27
923.52	729.30	679.20	824.66	721.20	717.73	583.63	836.82	811.38	691.14
886.91	817.15	865.71	833.73	872.26	843.36	842.59	868.34	798.27	733.15
819.26	701.94	851.84	804.05	643.74	877.66	748.94	800.19	779.39	864.18
733.92	694.99	888.06	823.33	688.45	856.46	700.78	670.34	810.99	872.26

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 773.62 และ 108.277 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ N_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่า ค่าความถี่ของข้อมูลผ่านการทดสอบไคกำลังสองมี 1 ชนิดได้แก่การแจกแจงปีตา แสดงในตารางที่ ง.4

ตารางที่ ง.4 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงอัดขนานเส้นใย (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษ

ชั้นที่	กำลังแรงอัด (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Bela
1	519.19 - 587	6	5.687
2	587 - 654.6	18	15.519
3	654.6 - 722.2	18	22.551
4	722.2 - 789.8	22	26.371
5	789.8 - 857.4	30	26.504
6	857.4 - 925	30	22.164
7	925 - 993.71	6	11.200
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			7.702

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิด เป็น การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงบีตา การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงปรกติ และการแจกแจงแกมมา มีค่าเท่ากับ 0.058 0.059 0.081 0.083 และ 0.097 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดในแนวขนานเส้นใย (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษ การแจกแจงบีตา มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงบีตาและการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ Chi-Square Test ในขณะที่การแจกแจงบีตา ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ ทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดขนานเส้นใยชนิดทุติยภูมิ³ ของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท Chi-Square Test และการทดสอบ Kolomogorov-Sminov Test สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.3 และ ง.4 ตามลำดับ

แรงอัดขนานเสี้ยน (ปรุ้มภูมิ)² ใ้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)
ของไม้พฤษ์จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.5

ตารางที่ ง.5 แรงอัดขนานเสี้ยน สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปรุ้มภูมิ)² ของไม้พฤษ์

40310.61	38751.82	43477.61	45890.91	37584.00	33104.90	46830.19	51394.50	34369.05	28452.99
36347.37	35370.79	35742.33	39754.72	40125.00	39755.24	26922.62	31159.76	43513.27	43885.96
22066.67	51836.73	43854.70	39796.75	36304.72	36451.22	24601.50	23940.83	26887.64	22345.10
37777.03	34937.50	30892.66	27078.95	30017.75	26272.32	38590.31	31511.63	33549.74	32872.66
29677.54	29774.19	32421.69	27920.00	34122.81	50137.68	39649.40	49025.00	36076.31	30722.22
30605.13	31772.95	32082.47	25682.20	38709.68	33494.74	37819.28	23430.83	32067.01	30910.99
42785.16	39881.58	33635.22	24280.77	30948.72	40119.21	28486.61	30426.90	39865.67	33894.41
33095.07	31787.88	33579.88	30754.90	38675.00	21921.15	38759.26	36698.80	34822.58	36589.93
30353.41	32995.58	32673.08	33655.17	44330.77	45992.00	31956.04	29401.13	41519.48	50388.06
29658.99	37488.72	32642.49	39880.66	49724.14	39827.84	33569.89	46776.00	31427.35	33457.32
34457.78	46902.44	49797.98	34369.32	49746.38	31558.97	30715.05	33339.06	35451.22	41766.23
38544.97	35348.39	29075.58	26021.74	29573.46	29594.47	33120.22	48540.54	47367.26	39083.02
22422.05	20763.05	24590.72	33409.94	35602.56	36581.90	38873.82	44506.58	30133.03	52223.08

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.548×10^4 และ 7.251×10^3 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ N_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 111 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองพบว่าค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.6

ตารางที่ ง.6 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับแรงอัดขนานเส้นใยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษ

ชั้นที่	กำลังแรงอัด $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	2.075 – 2.53	10	-
2	2.53 – 2.978	16	-
3	2.978 – 3.426	39	-
4	3.426 – 3.874	25	-
5	3.874 – 4.322	18	-
6	4.322 – 4.77	12	-
7	4.77 – 5.22	10	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชั้น เป็นการแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแกมมา การแจกแจงปรกติและการแจกแจงบีตามีค่าเป็น 0.048, 0.055, 0.059, 0.084 และ 0.088 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.111 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกำลังรับแรงอัดในแนวขนานเส้นใยของไม้พฤษ (ปฐมภูมิ)² ไม่มีการแจกแจงชนิดใด มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงแบบลอกปรกติ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดมีเพียงการทดสอบเดียว จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบลอกปรกติ มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดในแนวขนานเส้นใยของไม้พฤษ (ปฐมภูมิ)² สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.5 และ ง.6 ตามลำดับ

แรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ)³ ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของไม้พฤษจํานวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.7

ตารางที่ ง.7 สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษ

20001.08	25906.40	38671.79	20648.95	30311.80	34357.00	27638.17	35067.68	24544.88	25179.84
26154.33	27648.50	22453.54	34340.79	27272.44	28551.81	33521.26	34218.58	31370.08	24201.08
28801.89	30812.60	37565.35	26571.85	24424.00	21986.77	30440.94	39440.00	44055.87	42305.24
49583.38	34405.93	30671.86	36874.16	36633.28	46514.85	32495.18	32273.39	30991.35	25650.59
41445.54	36941.18	32885.04	29128.05	47269.47	40233.79	39430.48	30078.69	34260.40	25801.70
33076.92	33005.00	32947.74	40865.24	27848.85	34603.15	28724.08	28571.33	23180.35	32901.76
33936.34	39175.68	36089.89	36054.08	48705.19	33722.76	40058.49	31492.17	37528.53	23172.35
29071.73	24837.36	31736.98	18056.76	26625.49	29890.11	27465.39	20641.56	41729.57	31873.01
50703.21	33722.72	30376.64	43681.34	33621.57	42170.06	32215.28	31815.76	40890.58	38106.50
38320.33	32467.34	35936.51	31027.66	31770.93	39220.11	20265.00	33075.73	35743.44	25503.17
39418.31	34048.00	32545.56	32315.04	34340.79	36195.71	32283.22	36484.71	28818.48	18102.52
20899.59	26588.48	32889.58	31780.55	27162.19	33664.88	26843.87	32794.75	31902.80	27876.65
32331.28	29574.13	33013.53	32036.11	22065.64	32441.82	33258.27	23520.56	33932.72	34340.79

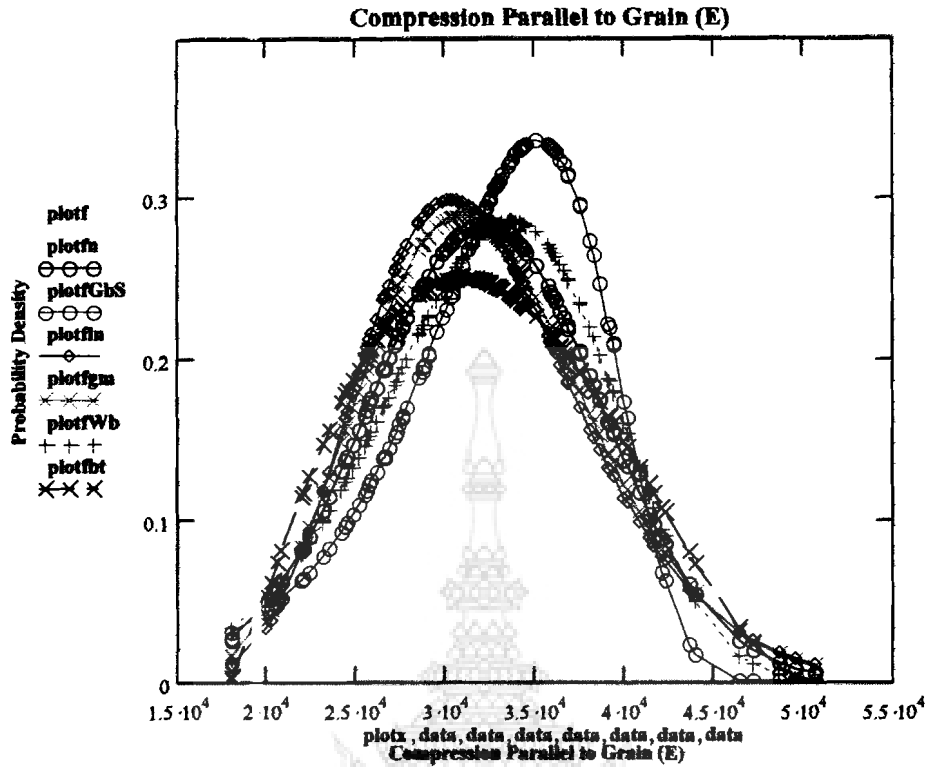
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 3.225×10^4 และ 6.491×10^3 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจํานวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจํานวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 107 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจํากัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองมี 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงปกติ แสดงในตารางที่ ง.8

ตารางที่ ง.8 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แรงอัดขนานเลียนสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษ

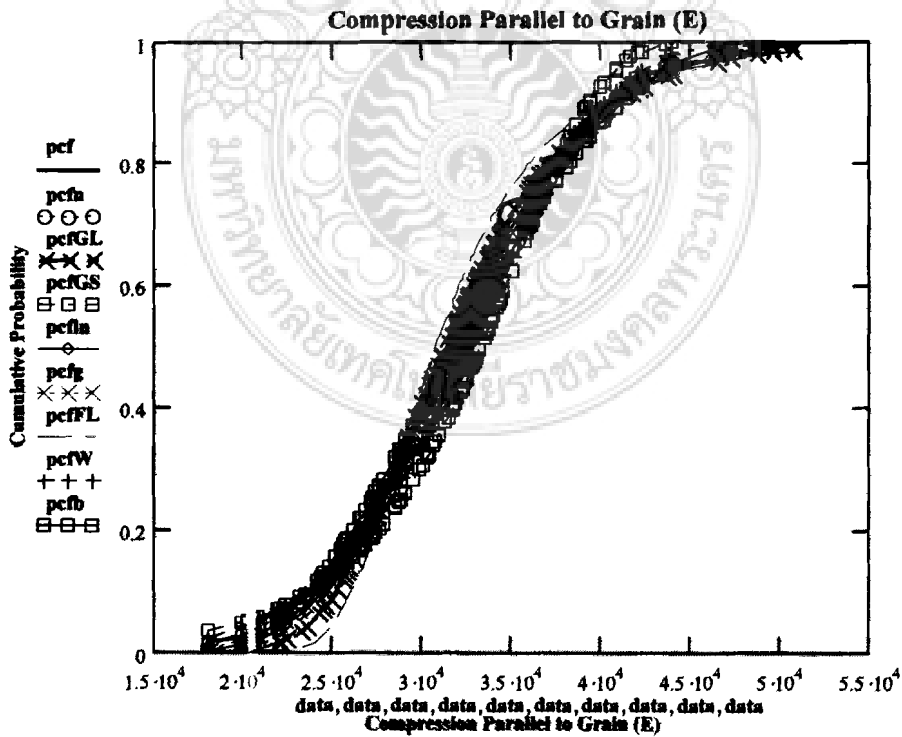
ชั้นที่	กำลังรับแรงอัด $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Gamma	ความถี่ Normal
1	1.805 – 2.280	10	7.696	9.429
2	2.280 – 2.744	19	23.153	20.330
3	2.744 – 3.208	31	36.196	33.807
4	3.208 – 3.672	43	32.471	34.453
5	3.672 – 4.163	16	19.057	21.518
6	4.163 – 4.6	6	8.011	8.232
7	4.6 – 5.07	5	2.592	1.937
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.488			8.824	9.338

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชนิดเป็น การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอปปรกติ การแจกแจงปกติ และการแจกแจงปีตา มีค่าเป็น 0.079, 0.091, 0.093 และ 0.095 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของกำลังรับแรงอัดในแนวขนานเลียนของไม้พฤษ การแจกแจงแกมมามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแกมมา มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแกมมามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงปกติ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของกำลังรับแรงอัดขนานเลียนของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง และการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.7 และ ง.8 ตามลำดับ



รูปที่ ๓.7 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้ พดุกษ์กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๓.8 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง.2.2 การทดสอบค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compression Perpendicular to Grain)
ของไม้พฤษ์จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.9

ตารางที่ ง.9 ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้พฤษ์

382.00	498.20	321.40	432.00	445.00	295.20	280.70	290.00	289.50	423.90
354.70	318.90	487.20	509.80	397.80	314.00	310.50	300.30	498.30	444.90
387.40	486.20	327.20	510.70	387.60	461.20	397.00	500.90	459.30	461.90
505.10	424.50	490.30	429.30	412.50	437.00	439.30	543.90	473.80	537.00
470.70	458.90	465.40	405.60	527.40	545.20	463.00	584.60	482.70	444.60
723.50	419.40	381.73	472.90	542.30	848.97	465.30	531.50	410.40	603.20
401.10	518.52	399.50	539.25	545.20	630.30	384.80	389.90	457.60	454.00
622.30	558.40	469.80	491.20	488.90	520.30	630.20	412.80	480.90	478.70
407.30	466.80	475.20	431.80	478.80	456.80	400.50	413.60	470.40	643.40
404.30	430.80	380.10	496.50	383.10	480.90	382.40	427.50	530.50	409.00
506.30	497.90	390.70	460.60	449.00	455.90	604.90	499.00	589.90	505.00
627.00	610.10	497.90	441.90	511.20	431.07	426.70	458.40	400.90	397.20
457.01	421.06	502.56	432.97	586.71	770.92	401.25	575.58	382.65	439.95

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเป็น 465.30 และ 91.18 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 102 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่าค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.10

ตารางที่ ง.10 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงอัดตั้งจากเสี้ยนของไม้พฤษ

ชั้นที่	กำลังแรงอัดตั้งจากเสี้ยน (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	280.619 - 306	5	-
2	306 - 386.5	13	-
3	386.5 - 467	55	-
4	467 - 547.5	41	-
5	547.5 - 628	10	-
6	628 - 849	6	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเซต และการแจกแจงแบบปรกติ ให้ค่าเป็น 0.065, 0.080, 0.083, 0.098 และ 0.099 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดในแนวตั้งจากเสี้ยนของไม้พฤษ ไม่มีการแจกแจงชนิดใด มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบไคกำลังสองไม่มีการแจกแจงชนิดใด ยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยมากกว่าค่าวิกฤต และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดตั้งจากเสี้ยน ของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.9 และ ง.10 ตามลำดับ

ง.2.3 การทดสอบแรงดัด (Modulus of Elasticity) MOE

การทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปรุฏุมภูมิ) ของไม้พฤษจํานวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.11

ตารางที่ ง.11 ค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปรุฏุมภูมิ)² ของไม้พฤษ

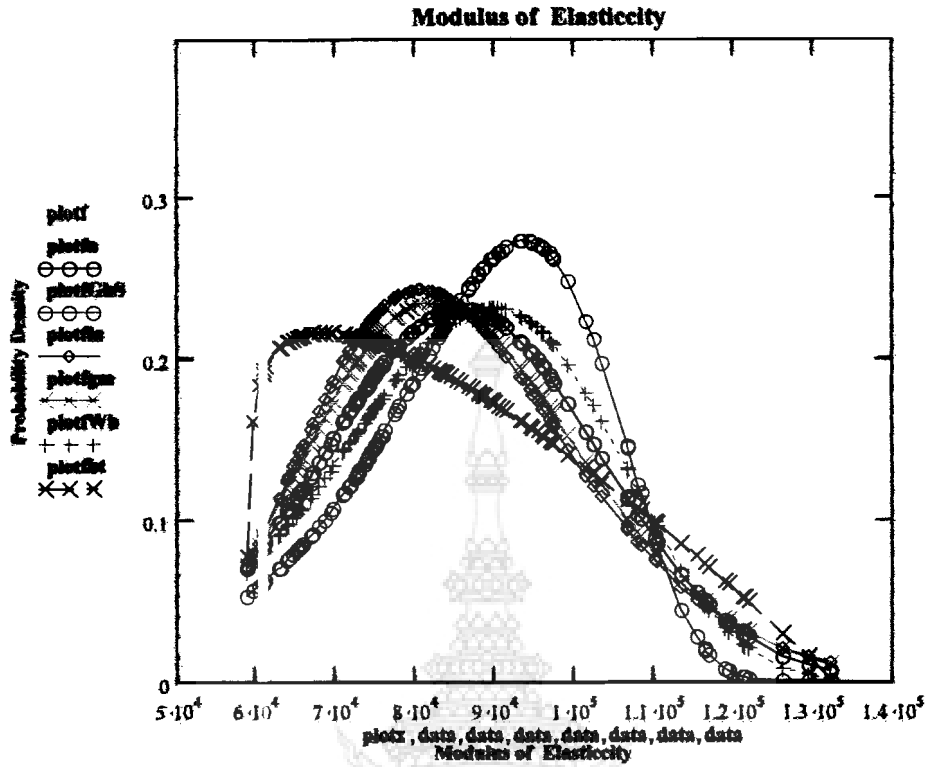
75490	67165	89671	65897	67856	74839	75194	90922	78909	129478
75030	126409	126398	76256	89936	86765	117146	83646	84071	94790
79477	73585	122115	106664	102517	101599	122132	72611	132476	96169
85142	74516	88078	75860	108433	78052	88567	72481	96033	89887
93254	71020	77488	69757	88459	64238	95378	121560	82960	79660
94411	72744	88835	86668	63052	74533	103544	82263	64027	71210
99355	108097	68614	116665	64759	85739	73897	110467	89555	80355
60973	63000	83264	106745	78060	88832	121417	83431	66818	84575
83811	96950	97256	59702	73003	90543	119511	89950	77681	65523
78878	60282	115514	74268	110180	87202	95967	97335	87862	83311
73059	80823	76215	75011	88720	85848	93567	91520	72910	64236
58784	113654	65172	81677	75489	65708	71989	74084	97557	74787
79415	116474	77426	71802	69318	75768	60831	88571	119116	61254

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 8.590×10^4 และ 1.753×10^4 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจํานวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจํานวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 111 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.639$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลัง พบว่าค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.12

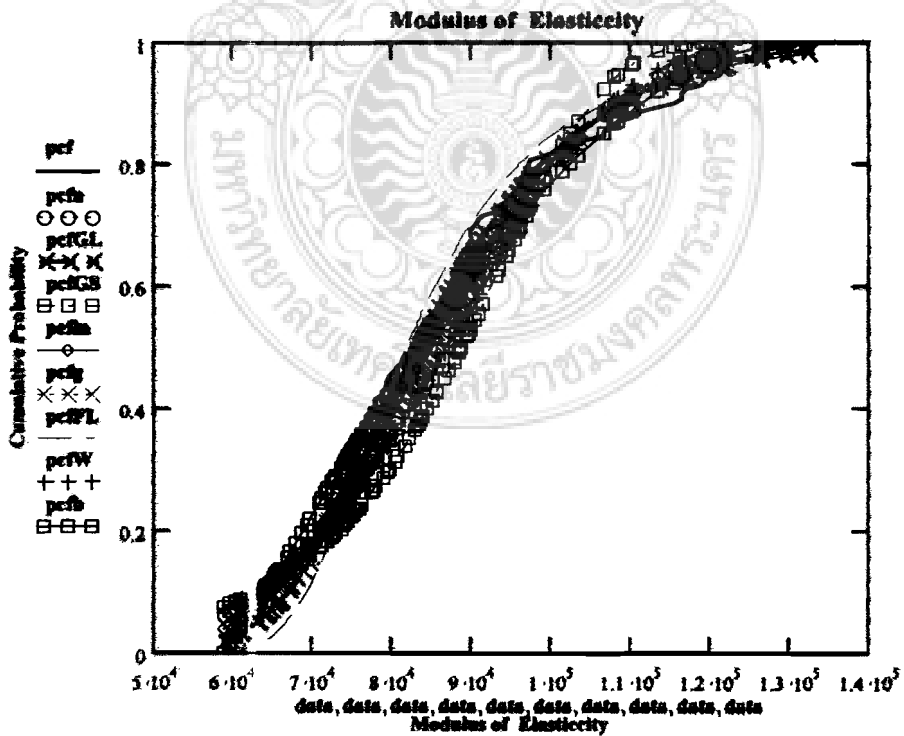
ตารางที่ ง.12 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษ

ชั้นที่	กำลังแรงดัด $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	5.877 - 7	22	-
2	7 - 8.02	37	-
3	8.02- 90.4	31	-
4	90.4 - 10.01	16	-
5	10.01 - 10.11	9	-
6	10.11 - 12.10	7	-
7	12.10 - 13.24	8	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			-

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็น การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟร์เชต มีค่าเป็น 0.056, 0.064, 0.076, 0.079 และ 0.085 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไม่มีการแจกแจงชนิดใด มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุดในขณะที่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K+S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบไคกำลังสองในขณะที่ไม่มีการแจกแจงชนิดใดยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ชนิดปฐมภูมิ ของกำลังรับแรงดัด ของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.11 และ ง.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น(ปรุณภูมิ)² ของไม้พดุษย์กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคก่าดังสอง



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (ปรุณภูมิ)² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² (Modulus of Rupture) MOR ของไม้พฤษ
จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.13

ตารางที่ ง.13 ค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษ

858.74	943.23	933.74	983.46	885.18	756.11	768.52	768.52	883.54	839.84
791.01	885.01	848.96	870.54	745.39	941.22	841.84	859.65	772.40	1165.84
880.61	1005.17	1017.44	987.50	425.40	376.47	1346.94	937.68	598.98	748.53
948.86	927.44	1028.57	859.83	984.24	1095.93	593.35	1022.29	1025.35	965.11
934.73	821.40	987.98	981.47	775.98	919.16	896.27	1212.02	763.05	970.84
801.21	1043.97	997.57	923.10	933.74	943.41	1026.91	793.54	963.26	832.74
1104.83	1012.53	853.98	1079.53	744.55	986.06	855.10	1022.15	1062.22	1060.36
876.67	862.17	1021.79	851.49	883.48	870.77	1072.01	876.88	903.73	893.93
970.84	851.90	901.22	704.14	836.95	683.62	1191.75	1090.69	865.32	1004.00
997.97	878.31	1156.13	813.51	856.23	1084.82	804.90	1036.80	1159.18	963.15
986.30	1058.54	837.57	827.49	757.36	904.91	925.96	765.36	899.34	812.21
873.10	949.88	677.15	736.38	827.90	856.44	896.78	660.72	903.81	717.84
919.38	1121.97	801.21	693.37	860.52	950.66	658.10	860.69	1327.86	874.87

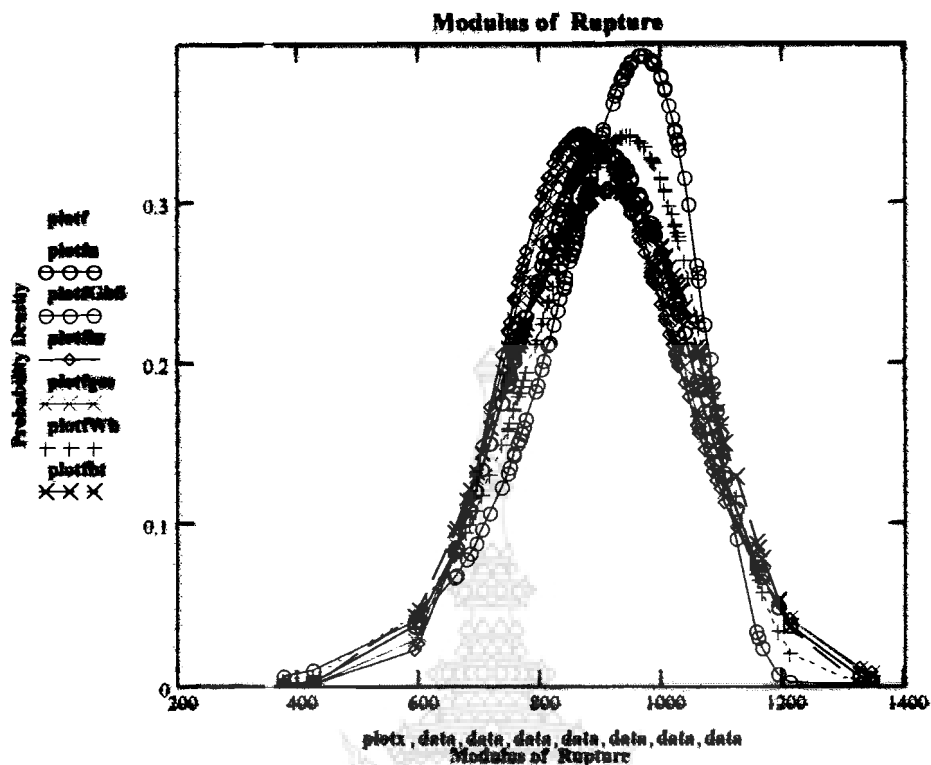
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 902.539 และ 147.01 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 70 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.639$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัด ช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3 = 3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังมี 3 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงลอกปรกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงปรกติ แสดงในตารางที่ ง.14

ตารางที่ ง.14 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษ

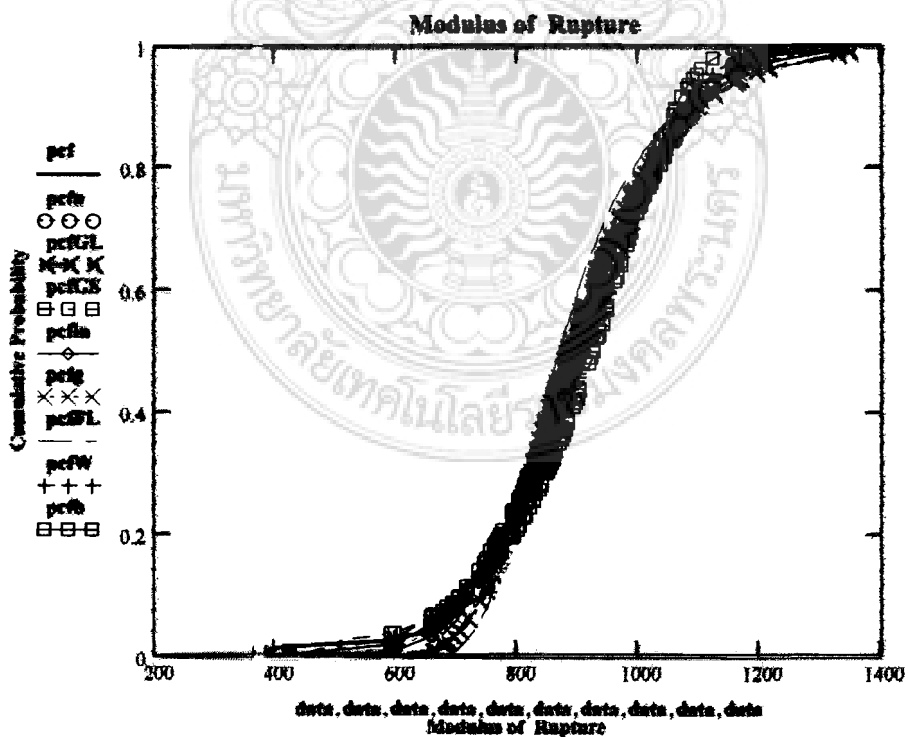
ชั้นที่	หน่วยแรง (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ lognormal	ความถี่ gamma	ความถี่ normal
1	376.34 - 660	5	4.151	4.981	6.434
2	660 - 782.5	18	23.351	22.527	20.489
3	782.5 - 905	49	42.558	41.172	38.944
4	905 - 1027	38	35.391	36.246	38.435
5	1027 - 1115	13	17.104	17.996	19.695
6	1115 - 1347	7	6.754	6.607	5.839
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			3.561	3.893	5.730

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์และการแจกแจงปกติ มีค่าเป็น 0.046, 0.070, 0.079, 0.092 และ 0.098 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสแตกหักชนิดปฐมภูมิของไม้พฤษ การแจกแจงลอกปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแบบปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบปกติ และการแจกแจงลอกปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบไคกำลังสองในขณะที่การแจกแจงลอกปกติ การแจกแจงปกติ และการแจกแจงแกมมา ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่อง จากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ ทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสแตกหักชนิดปฐมภูมิของกำลังรับแรงดัดของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและ การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.13 และ ง.14 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.13 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่ของค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² ของไม้พฤษภกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.14 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ (Modulus of Elasticity) MOE ของไม้พฤษ

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.15

ตารางที่ ง.15 ค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษ

83350	99774	90955	91326	94882	85206	79703	83098	92096	108005
80130	71786	83368	102931	89978	78979	104166	105373	106695	88946
103555	66812	108829	103095	86566	103116	94566	82529	101871	86917
66693	59952	99680.00	106669	60155	59465	52572	70508	68746	73239
82908	88275	64253.00	81857	79209	58082	79063	82197	72053	70884
82557	52080	62871.00	71100	81108	53619	57137	84627	79937	74924
79094	55936	92434.00	97228	61543	69249	65637	81145	70028	70622
78878	66533	67842.00	65252	54789	61561	88544	78417	58312	60200
75490	56890	87774.00	54485	62000	63767	75395	86910	59870	55962
56239	89323	91556.00	70698	91719	64682	73152	65968	69416	74101
52839	79179	53248.00	61882	86691	57244	63124	59052	68385	54059
55597	86046	77792	90858	79296	63927	54458	69179	62201	59825
83966	63714	63409	72658	57792	52617	70278	59825	64272	73268

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 7.523×10^4 และ 1.520×10^4 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ n_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 108 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง 1 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงแบบบีตา แสดงในตารางที่ ง.16

ตารางที่ ง.16 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (มอดูลัส) ² ของไม้พฤษ

ชั้นที่	กำลังแรงตัด $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Beta
1	5.207 - 6.02	27	26.876
2	6.02 - 6.83	22	23.852
3	6.83 - 7.64	22	21.603
4	7.64 - 8.45	23	19.295
5	8.45 - 9.26	20	16.699
6	9.26 - 10.07	5	13.475
7	10.07 - 10.09	11	8.198
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			6.976

จากการทดสอบ K-S(Kolmogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชั้นเป็นการแจกแจงบีตา การแจกแจงแกมมา การแจกแจงปกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่ง ค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล และการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าเป็น 0.046, 0.070, 0.079, 0.092 และ 0.098 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชนิดมอดูลัสของไม้พฤษ การแจกแจงบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงบีตาให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบไคกำลังสองในขณะที่การการแจกแจงแบบบีตา ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชนิดมอดูลัสของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.15 และ ง.16 ตามลำดับ

การทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ทุติยภูมิ)³ (Modulus of Rupture ; MOR) ของไม้พฤษ
จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.17

ตารางที่ ง.17 ค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษ

1053.64	1124.57	1003.83	1095.95	971.32	1008.91	602.65	1123.80	1098.77	1215.16
1091.32	640.95	1105.75	1224.56	568.71	716.93	963.51	1322.09	1168.51	1079.15
1120.66	647.32	974.87	1031.36	711.72	1089.69	1196.27	856.23	1250.72	1252.37
951.62	783.24	991.48	1158.00	987.86	781.05	772.41	1165.52	951.80	1115.10
1123.95	1188.21	966.40	973.19	857.38	1003.76	791.06	1029.45	1213.67	1081.66
1251.27	1231.37	1245.86	1201.67	1443.67	1211.88	1169.84	1164.20	1051.98	1036.14
1081.14	1067.60	864.61	863.42	738.64	1163.62	737.25	943.76	820.36	1167.38
825.27	928.21	750.08	966.90	1070.64	1070.64	1002.39	1161.10	766.87	944.16
1167.10	993.27	947.74	1374.36	1217.51	948.07	1119.03	1098.36	1102.56	1018.45
1128.63	850.16	1145.53	1038.11	907.12	1267.99	1126.94	1118.28	776.65	886.21
1218.05	1280.69	870.32	1193.36	858.63	1133.90	1138.33	1115.89	913.26	756.19
839.47	775.31	1339.44	1198.38	849.72	934.31	1197.46	1217.66	1043.69	1028.53
793.90	1044.05	1132.74	890.66	1318.61	900.94	1017.84	1155.44	918.87	1099.99

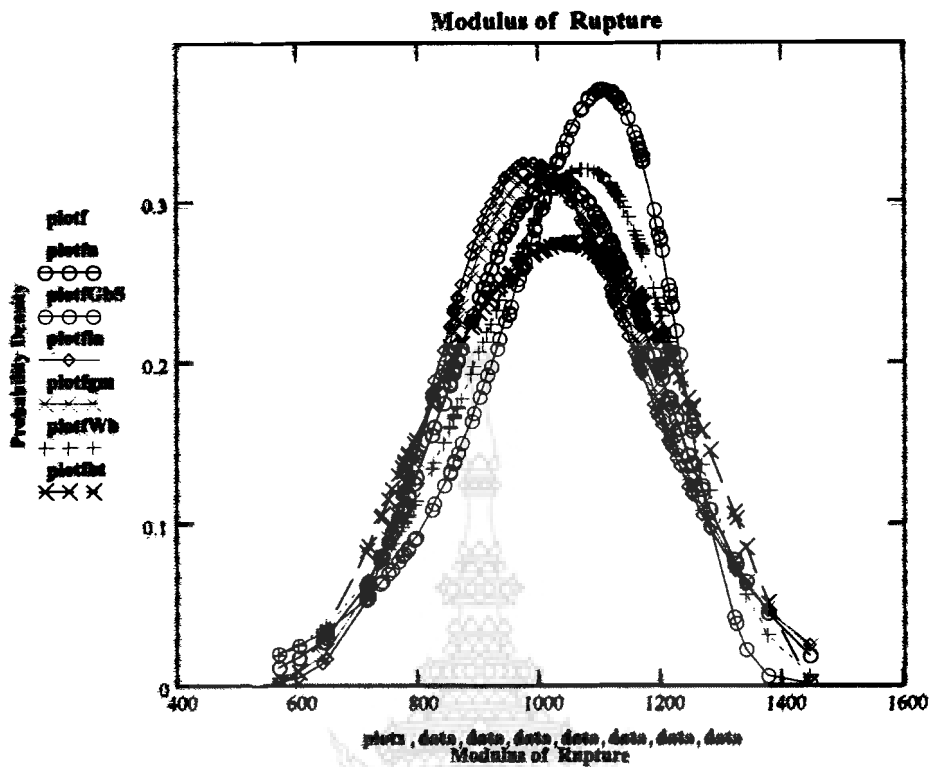
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1.027×10^3 และ 174.756 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 77 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง 4 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงบีตา การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบลและการแจกแจงแบบปกติ แสดงในตารางที่ ง.18

ตารางที่ ง.18 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ)³ ของไม้พฤษ

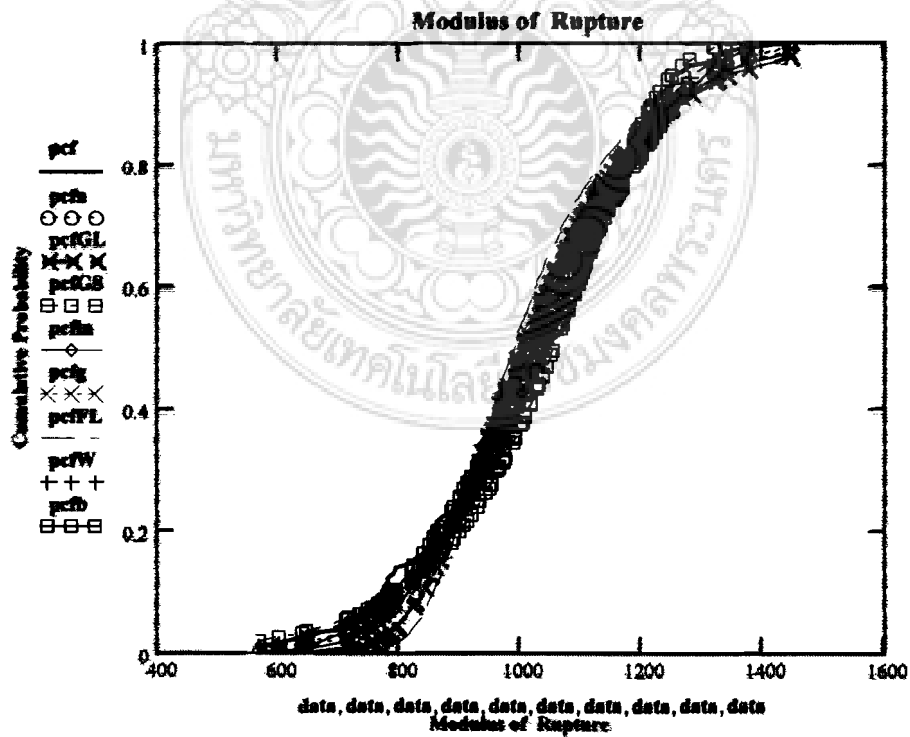
ชั้นที่	โมดูลัสแตกหัก (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Weibull	ความถี่ Beta	ความถี่ Gumbel	ความถี่ Normal
1	568.572 - 720	6	6.819	5.073	7.432	5.114
2	720 - 857.5	19	14.617	19.300	11.954	16.417
3	857.5 - 995	27	29.980	31.544	27.139	33.939
4	995 - 1132	39	40.615	35.06	44.910	38.963
5	1132 - 1270	33	29.369	27.46	33.927	24.847
6	1270 - 1443	6	8.418	11.559	4.635	9.602
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.48773			2.916	5.062	5.634	6.004

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงชนิดที่หนึ่ง ค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงปรกติและการแจกแจงแบบแกมมา มีค่าเป็น 0.042, 0.056, 0.060, 0.070 และ 0.090 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสแตกหักชนิดทุติยภูมิของไม้พฤษ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติจากทั้งสองการทดสอบ จากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบปรกติ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และ จากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสแตกหักชนิดทุติยภูมิของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.17 และ ง.18 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๑๗ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหักของไม้ พดุกษ์กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.๑๘ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบแรงคัดโมดูลัสแตกหักกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.4 การทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น (Tension Parallel to Grain)
ของไม้พฤษ์จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.19

ตารางที่ ง.19 แรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้พฤษ์

781.50	790.50	1116.70	1020.50	872.70	831.80	733.90	1239.90	1270.00	1254.90
1260.40	1254.90	832.90	957.70	732.30	1059.10	782.10	798.70	831.00	1270.90
732.30	727.70	1254.90	720.40	1254.90	745.30	1254.90	1205.20	1235.20	868.40
1297.80	1241.20	709.50	1255.80	1296.50	1247.00	883.60	1254.90	1254.90	707.40
1254.90	1175.00	1024.40	1260.40	1282.20	1240.30	1430.80	1498.10	1174.20	1210.10
1076.10	1254.90	1295.00	1046.90	716.10	1291.10	1257.50	1100.00	1254.90	1238.20
1274.50	1254.90	836.10	1254.90	1274.60	784.00	996.10	1283.00	1254.90	938.10
1082.70	1089.80	1069.60	1246.60	1191.70	833.40	764.60	1223.20	936.50	1254.90
914.40	1278.30	1250.30	1039.50	1262.00	936.20	1209.10	864.50	1203.50	889.10
905.10	637.00	1283.10	827.30	1254.90	705.50	1237.60	822.70	1210.20	1214.20
1214.30	1254.90	1232.50	1166.10	1266.10	1204.40	1386.10	980.20	704.00	732.20
770.50	974.90	723.80	1222.00	1254.90	1268.60	1201.80	1229.70	1251.10	868.10
808.20	706.20	1221.90	874.30	770.90	1233.21	1254.90	1254.90	1254.90	882.60

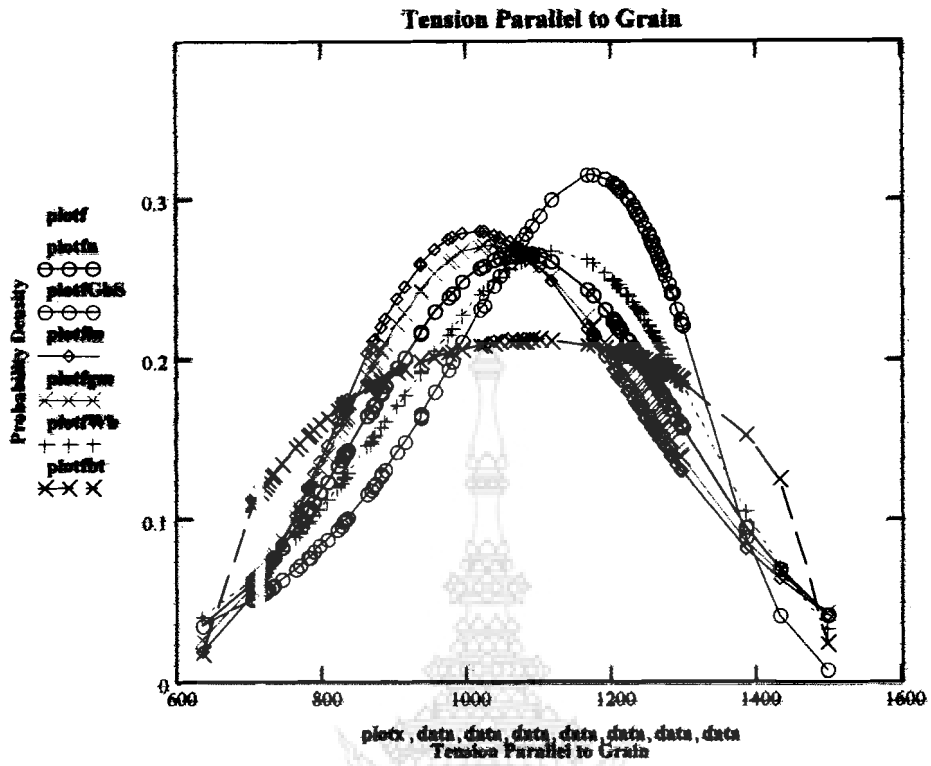
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1.075×10^3 และ $216.517 \text{ กก./ซม.}^2$ ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 107 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองพบว่าค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.20

ตารางที่ ง.20 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้พฤษ

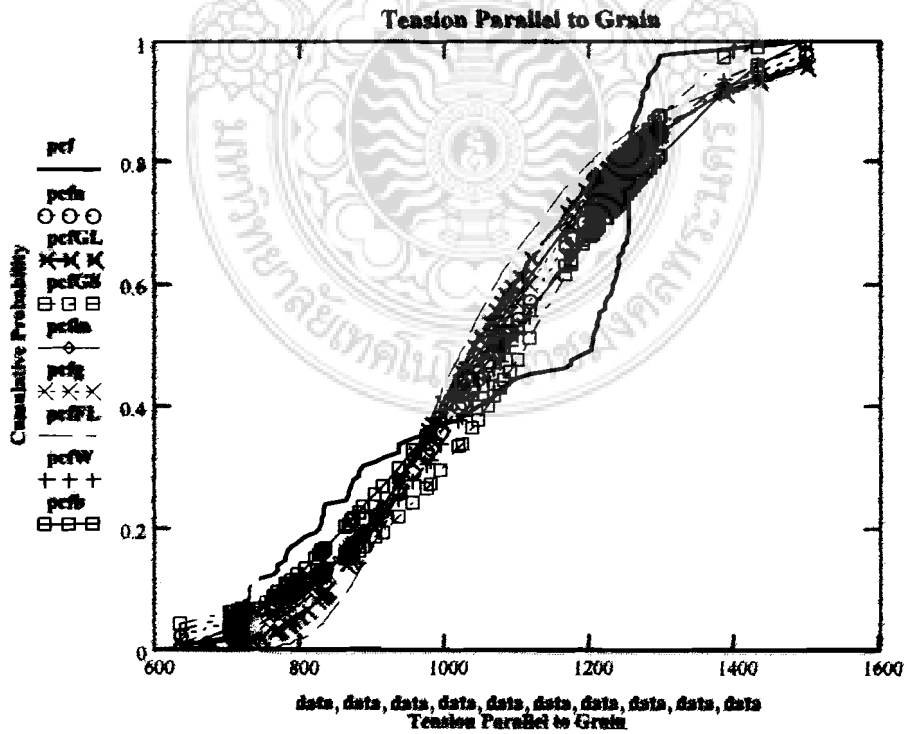
ชั้นที่	กำลังแรงดึง (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Frechet Type-II Largest
1	636.855 - 710	6	-
2	710 - 855	25	-
3	855 - 1000	17	-
4	1000 - 1145	11	-
5	1145 - 1290	64	-
6	1290 - 1498	7	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S(Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) ไม่มีการแจกแจงชนิดใดให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้พฤษ ไม่มีการแจกแจงชนิดใด มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติที่ได้จากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่เดียวกันไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติที่ได้จากการทดสอบ K-S เช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูล เนื่องจากข้อมูลการแจกแจงให้ความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤติจากทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.19 และ ง.20 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.19 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้พุกฤษ กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.20 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นกับ ฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้นใย(E) (Tension Parallel to Grain)

ของไม้พฤษจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.21

ตารางที่ ง.21 แรงดึงในแนวขนานเส้นใยของไม้พฤษ (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E)

19464.29	27556.18	28270.89	31594.43	23522.91	23630.68	26950.31	40417.32	39811.91	25454.36
35939.39	25454.36	27398.03	32137.58	33104.71	26477.50	23346.27	23757.94	35361.70	30129.67
22555.08	27254.68	25454.36	33176.47	25454.36	37265.00	25454.36	33019.18	35412.24	25541.18
36710.78	23084.34	28886.26	27061.88	29600.46	29761.34	33218.05	25454.36	25454.36	18185.63
25454.36	23129.92	24103.53	17344.42	28813.48	13643.05	20039.22	29783.30	19376.24	29573.36
21695.56	25454.36	16160.08	25977.67	19374.21	16120.57	22455.36	27295.29	25454.36	15951.31
18578.72	25454.36	29860.71	25454.36	34712.12	23543.54	30743.83	28991.87	25454.36	29875.80
29262.16	25285.38	21784.11	24932.00	15297.82	20426.47	18258.24	32194.65	27303.21	25454.36
25613.45	31655.25	29780.29	18430.85	26700.85	22613.53	21414.89	23239.25	20690.48	26461.31
24136.00	27456.90	32452.95	29028.07	25454.36	25124.48	27409.84	22980.45	27710.09	15789.34
15790.64	25454.36	23599.67	32123.97	29055.66	24047.95	26604.61	31216.56	20465.12	24503.88
18285.26	15852.03	27520.91	26931.82	25454.36	23362.80	13878.46	33404.21	25284.84	20188.37
19616.50	26059.04	29596.72	17734.28	24629.39	30374.63	25454.36	25454.36	25454.36	16135.28

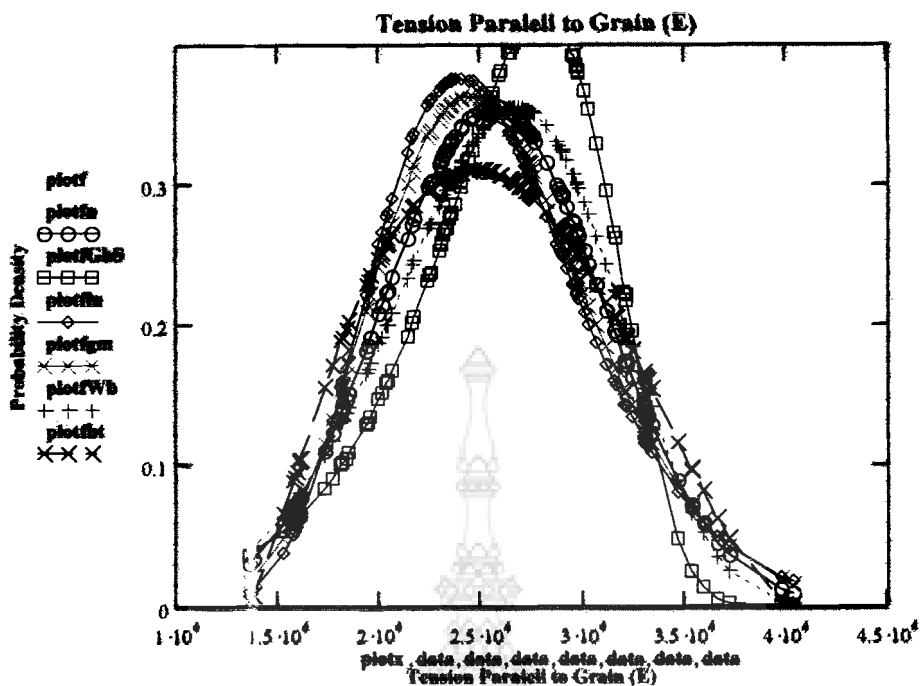
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.567×10^4 และ 5.435×10^3 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 119 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงแบบปกติ และการแจกแจงแบบแกมมา แสดงในตารางที่ ง.22

ตารางที่ ง.22 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงดึงในแนวนอนเส้นของไม้พฤษ (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E)

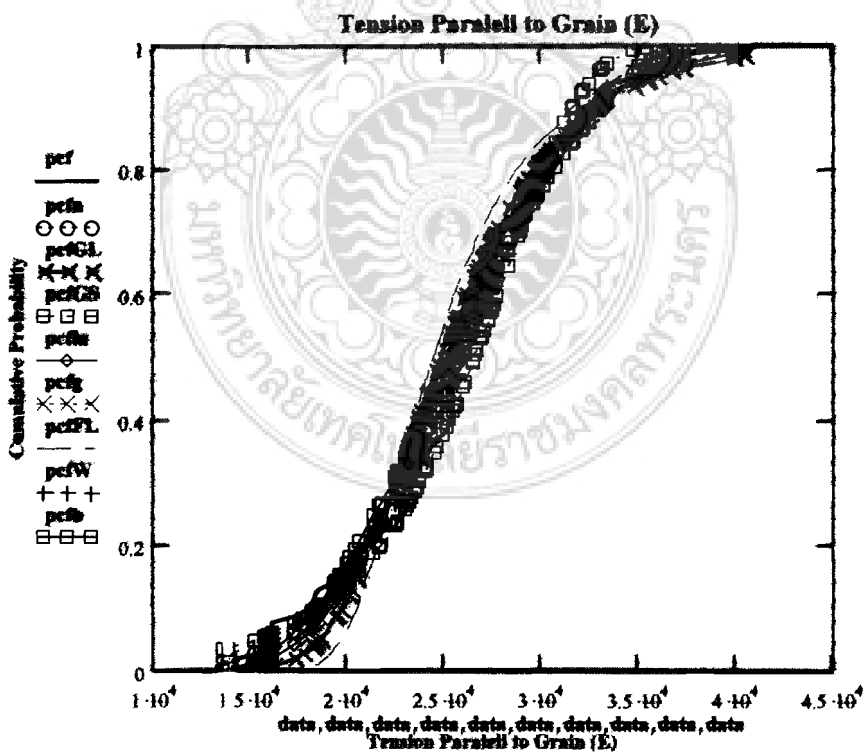
ชั้นที่	กำลังแรงดึง $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Normal	ความถี่ Gamma
1	1.363 – 1.59	6	4.718	2.825
2	1.59 – 2.075	20	19.105	21.236
3	2.075 – 2.56	47	40.623	44.049
4	2.56 – 3.045	36	40.985	38.021
5	3.045 – 3.53	14	19.622	17.558
6	3.53 – 4.042	7	4.514	5.210
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			4.976	5.278

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชนิดเป็น การแจกแจงปกติ การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงแบบแกมมา มีค่าเป็น 0.080, 0.096, 0.097 และ 0.108 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นว่าค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเส้นของไม้พฤษ (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E) การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงแบบแกมมา ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเส้นของไม้พฤษ (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E) ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง และการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.21 และ ง.22 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่า(E)แรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้ พดุกษ์กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่า(E)แรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้ พดุกษ์กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.5 การทดสอบแรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยน (Tension Perpendicular to Grain)
ของไม้พฤษ์จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.23

ตารางที่ ง.23 แรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้พฤษ์

46.04	43.83	68.71	69.17	58.01	59.64	67.78	39.81	49.13	46.32
52.91	56.37	58.98	53.20	46.22	53.15	48.98	68.31	54.99	65.31
86.48	67.52	54.90	49.09	44.79	60.47	51.09	54.56	50.92	44.99
54.41	55.16	59.54	69.92	58.33	47.13	78.94	73.05	74.28	62.57
53.88	60.21	79.50	71.24	55.87	67.71	48.02	66.99	56.88	68.49
50.45	76.49	65.20	68.70	59.17	61.32	55.21	65.92	65.16	57.89
69.66	84.68	83.62	68.72	59.45	63.63	76.28	57.15	68.63	67.65
79.62	70.93	66.84	71.55	59.79	75.00	73.36	73.98	52.13	45.39
46.12	59.11	66.25	48.40	85.95	44.05	56.68	49.33	65.64	47.23
46.28	72.10	77.74	70.86	47.45	46.47	46.22	48.40	56.21	73.18
57.95	65.33	86.49	60.89	69.97	72.68	60.21	54.22	58.56	79.21
47.66	56.88	86.14	44.27	47.08	66.48	50.60	58.11	76.24	52.72
63.50	60.36	77.34	62.22	52.42	62.15	54.90	67.41	74.42	62.56

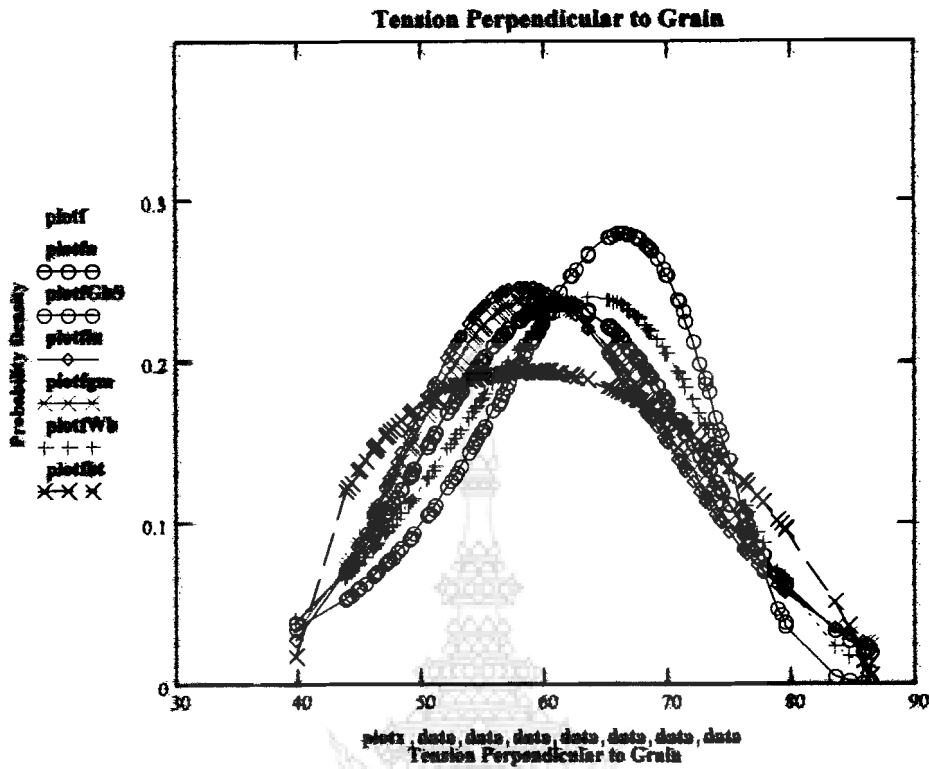
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 61.307 และ 11.193 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 88 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสองจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงบีตา การแจกแจงปกติ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงเรลลี และการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ แสดงในตารางที่ ง.24

ตารางที่ ง.24 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงดึงในดิ่งจากเส้นของไม้พฤษ

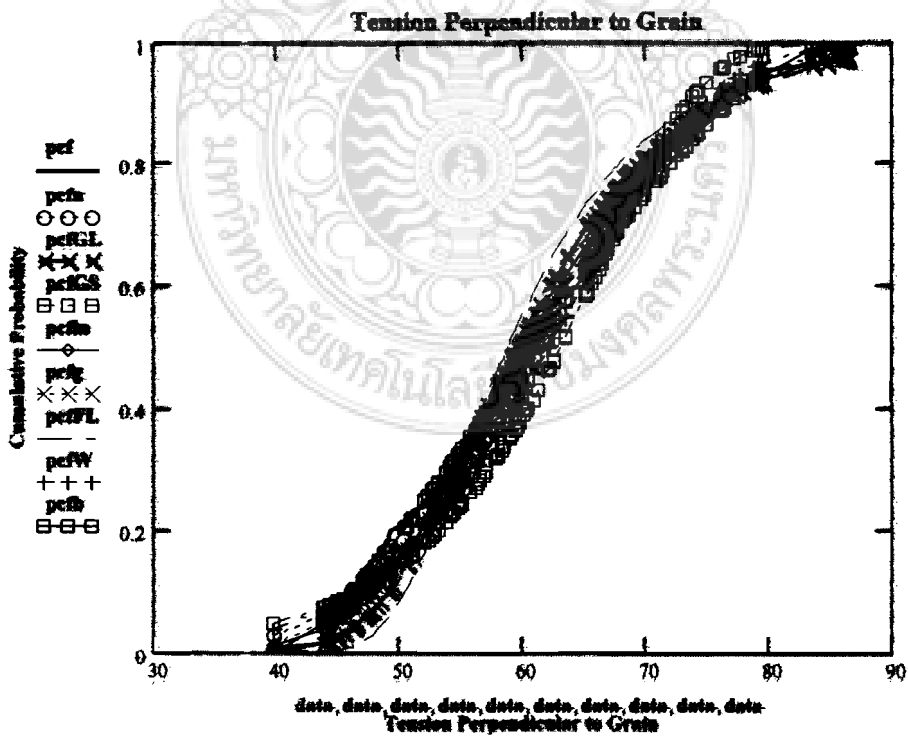
ชั้นที่	กำลังแรงดึง (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Beta	ความถี่ Normal	ความถี่ Gamma	ความถี่ Rayleigh	ความถี่ Weibull
1	39.80 – 46.5	14	13.48	12.08	10.78	9.59	13.29
2	46.5 – 53.16	21	22.34	18.25	20.61	24.60	15.87
3	53.16 – 59.82	30	25.07	27.79	29.81	30.32	25.13
4	59.82 – 66.48	19	24.57	30.01	29.13	27.03	30.77
5	66.48 – 73.14	25	21.51	22.98	20.72	19.05	26.56
6	73.14 – 79.8	15	15.94	12.47	11.34	10.98	14.09
7	79.8 – 86.49	6	7.07	4.81	5.00	5.29	3.83
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			3.11	5.91	6.74	8.35	8.52

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Smimov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงเรลลี่ การแจกแจงแบบลอกปรกติ มีค่าเป็น 0.043, 0.060, 0.061, 0.067 และ 0.066 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเส้นของไม้พฤษการแจกแจงแบบบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแบบบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบไคกำลังสองในขณะที่ การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงเรลลี่ และการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเส้นของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง และการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.23 และ ง.24 ตามลำดับ



รูปที่ ๖.23 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นของไม้ พลุกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๖.24 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นกับ ฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.6 การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น (Shear Parallel to Grain)

จำนวน 130 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ ง.25

ตารางที่ ง.25 การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น

273.7	235.9	269.3	259.60	166.30	318.80	304.3	296.9	254.8	314
128.1	227.2	310.80	291.6	335.8	326.6	245.9	182.7	282.70	355.5
269.9	247.3	197.20	237.6	295.4	192.8	219.30	249.50	205.30	267.90
262.60	260.20	227.20	268.20	204.80	228.20	230.00	180.10	257.90	293.30
261.20	215.80	342.60	203.00	269.70	230.80	248.60	309.60	204.70	287.60
201.60	241.80	262.30	222.90	252.20	348.80	192.90	199.30	350.70	230.00
187.10	202.70	274.90	213.20	248.30	299.20	294.80	250.50	211.70	210.9
286.10	199.80	335.60	282.60	294.30	196.70	261.50	290.50	287.60	311.80
262.90	275.60	203.10	251.40	309.80	204.60	292.70	251.90	181.90	262.10
271.90	215.20	262.90	317.40	248.50	243.40	259.90	224.20	221.20	299.20
308.60	342.20	211.60	224.20	270.90	252.10	213.00	244.90	206.10	187.00
269.30	216.00	232.30	224.20	254.10	247.40	200.50	224.40	256.40	280.20
268.60	259.70	247.60	240.10	263.10	259.10	269.40	250.10	213.00	303.90

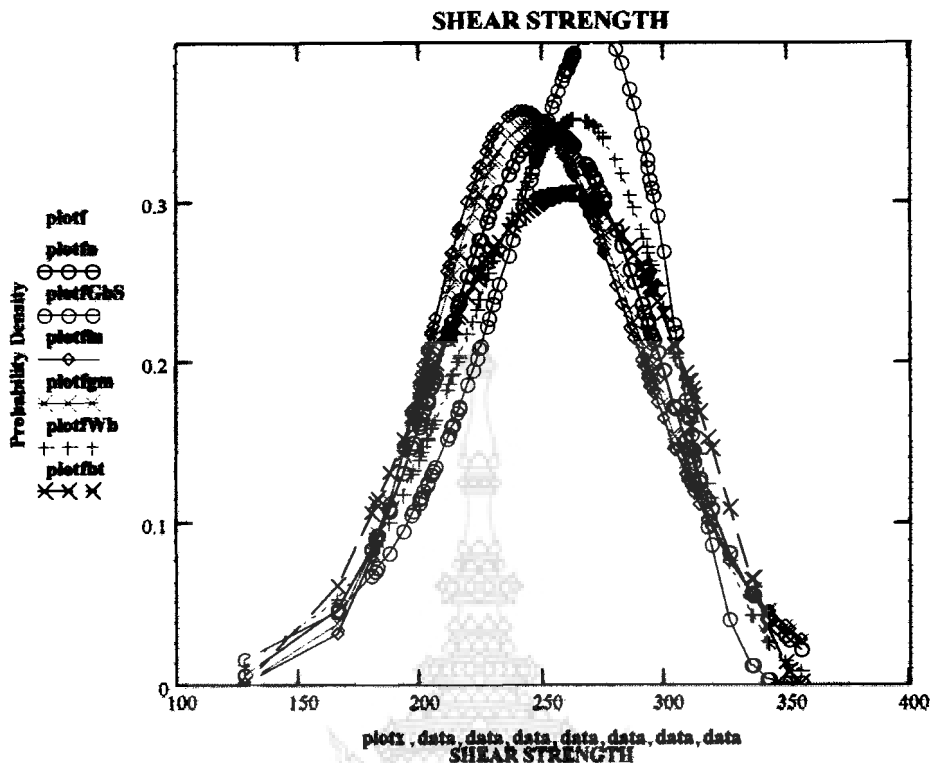
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 253 และ 43.41 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 78 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองจำนวน 2 ชนิด มีการแจกแจงแบบลอกปรกติ และการแจกแจงแบบแกมมา แสดงในตารางที่ ง.26

ตารางที่ ง.26 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยน

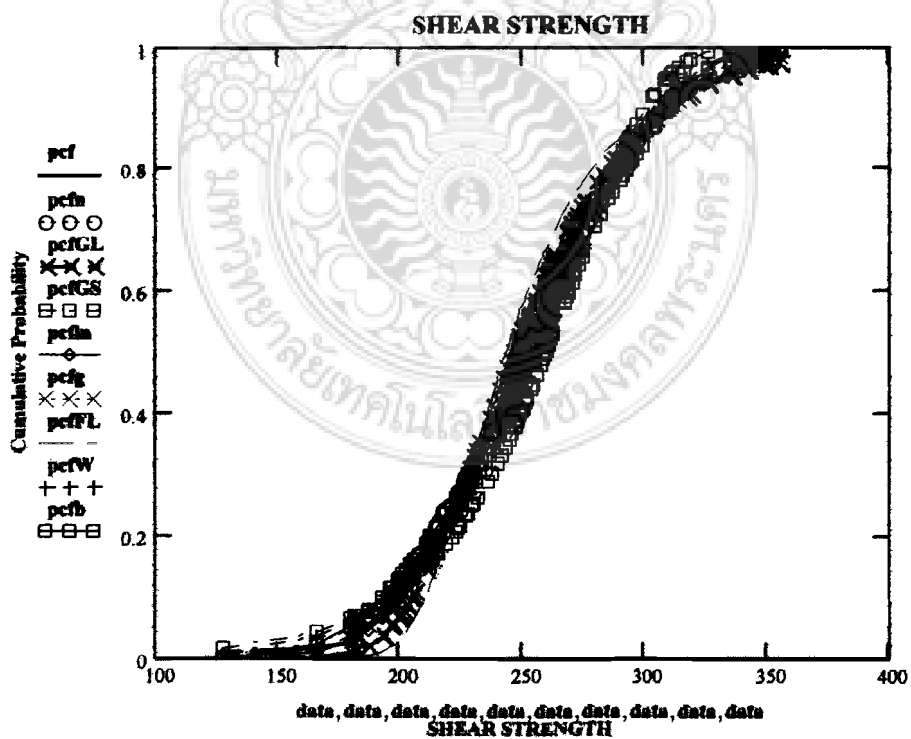
ชั้นที่	กำลังแรงเฉือน (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Lognormal	ความถี่ Gamma
1	128.06 - 185	5	5.177	6.099
2	185 - 222.5	29	27.54	26.36
3	222.5 - 260	40	44.87	43.68
4	260 - 297.5	36	32.90	34.05
5	297.5 - 335	13	14.10	14.83
6	335 - 355.53	7	2.97	2.95
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			6.435	6.666

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีค่าเป็น 0.049, 0.054, 0.065, 0.073 และ 0.078 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้พฤษี การแจกแจงแบบลอกปกติ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบลอกปกติ การแจกแจงปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตจากทั้งสองการทดสอบ จากการทดสอบไคกำลังสองในขณะที่การแจกแจงแบบแกมมาก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ และกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้พฤษี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.25 และ ง.26 ตามลำดับ



รูปที่ ๔.25 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเดี่ยวของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๔.26 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเดี่ยวของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.7 การทดสอบการฉีกขาดของไม้ (Cleavage)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.27

ตารางที่ ง.27 การทดสอบการฉีกขาดของไม้พฤษ

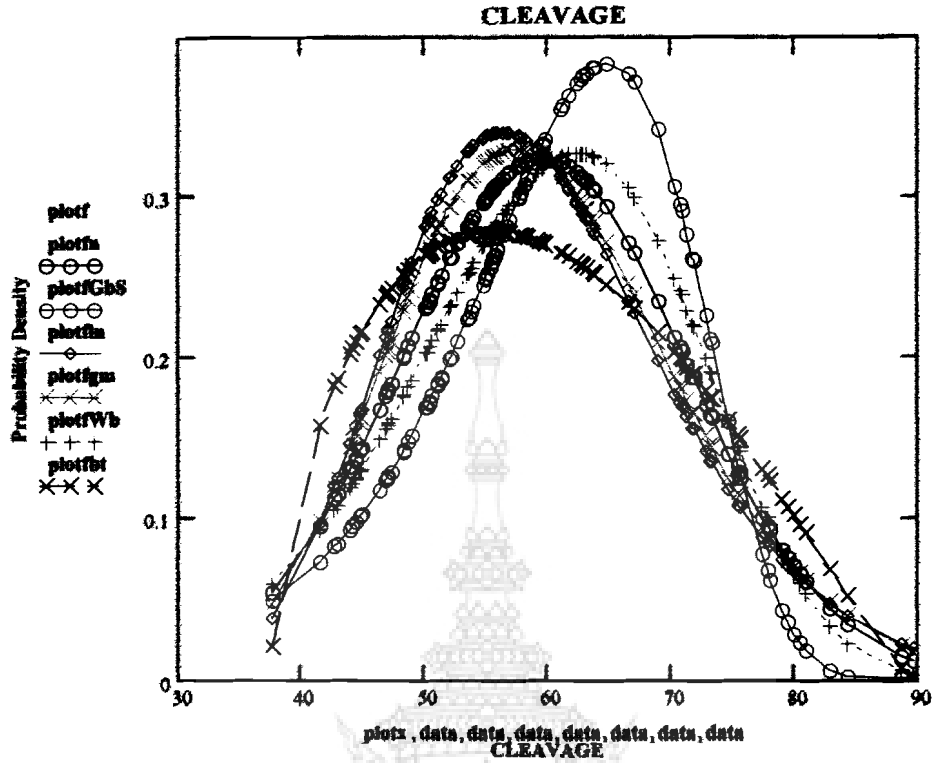
69.00	47.00	61.78	42.98	41.54	61.78	54.80	52.20	55.70	55.80
75.74	62.40	63.70	78.16	52.14	59.60	47.32	63.22	56.96	44.92
50.22	74.78	55.20	59.84	57.80	51.12	55.60	52.80	44.20	70.80
46.36	51.18	62.74	52.80	61.80	44.48	82.96	55.52	50.22	56.00
89.72	70.92	64.80	88.74	48.40	44.92	44.80	67.08	47.32	71.88
80.08	64.80	43.96	59.84	50.22	66.60	71.90	50.20	51.40	55.40
61.06	56.48	58.40	72.90	50.22	55.04	49.02	50.70	62.40	37.68
44.44	56.00	50.40	57.92	84.42	75.74	77.52	63.26	79.12	62.76
80.56	50.70	77.88	88.74	57.68	54.06	53.58	81.04	75.60	61.80
47.32	89.72	62.50	61.30	73.34	59.14	48.28	56.72	59.14	53.84
58.18	46.86	50.48	42.76	59.36	53.66	55.96	47.10	70.40	59.84
79.60	56.72	54.98	50.46	55.70	55.76	51.42	69.00	62.98	71.40
71.88	56.48	48.74	66.60	59.62	63.90	61.78	49.02	44.44	73.40

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 59.71 และ 11.63 กก./ชม². ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 101 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัด ช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง มี 3 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงเรลลีฟ การแจกแจงลอกปรกติ แสดงใน ตารางที่ ง.28

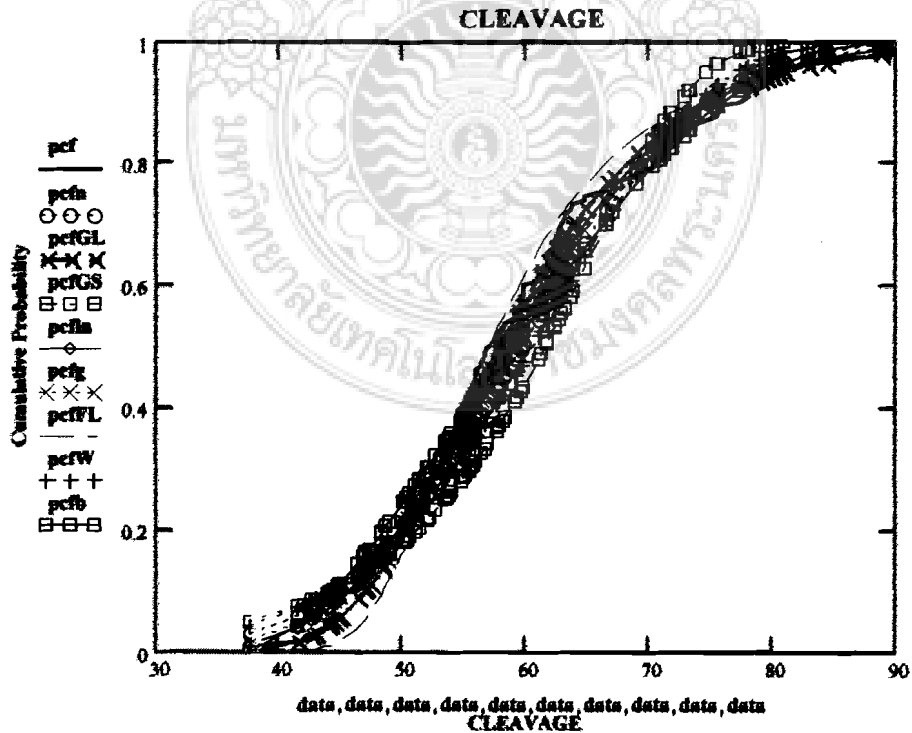
ตารางที่ ง.28 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบการแจกแจงของไม้พฤษ

ชั้นที่	กำลังแรงจิก (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Beta
1	37.67 – 44.1	5	5.63
2	44.1 – 53.57	37	37.43
3	53.57 – 63.05	49	45.04
4	63.05 – 72.52	18	25.25
5	72.52 – 82	15	10.51
6	82 – 89.72	6	3.46
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			6.26

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็น การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงเรลลี่ การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเซต มีค่าเป็น 0.048, 0.061, 0.069, 0.073 และ 0.085 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าการแจกแจงของไม้พฤษ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลมีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลก็ให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่ การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจง เรลลี่ การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเซต ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าการแจกแจงของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.27 และ ง.28 ตามลำดับ



รูปที่ 3.27 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบการฉีกขาดของไม้
พดุษย์กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ 3.28 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบการฉีกขาดของไม้
พดุษย์กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.8 ค่าการทดสอบความเหนียว (Toughness)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.27

ตารางที่ ง.29 ค่าการทดสอบความเหนียว

608.53	592.40	423.81	492.73	592.40	286.44	248.88	618.77	322.76	498.35
603.26	439.44	597.88	586.83	407.82	603.26	557.43	638.01	374.81	544.98
586.83	469.63	357.79	551.25	581.15	575.37	484.18	469.63	532.14	248.88
575.37	557.43	512.15	439.44	498.35	544.98	525.57	469.63	597.88	518.91
538.61	575.37	551.25	586.83	613.70	557.43	551.25	512.15	569.49	563.51
491.31	506.68	439.44	454.72	563.51	608.53	586.83	557.43	592.40	604.32
512.15	563.51	498.35	454.72	469.63	597.88	563.51	525.57	608.53	551.25
512.15	484.18	538.61	569.49	551.25	557.43	525.57	593.51	563.51	551.25
618.77	586.83	608.53	638.01	525.57	518.91	518.91	544.98	558.65	569.49
582.29	616.76	551.25	575.37	563.51	597.88	618.77	608.53	586.83	563.51
575.37	551.25	563.51	638.01	592.40	608.53	586.83	597.88	570.67	512.15
563.51	484.18	469.63	551.25	447.13	544.98	525.57	423.81	374.81	563.51
569.49	544.98	505.30	498.35	391.48	512.15	586.83	608.53	597.88	563.51

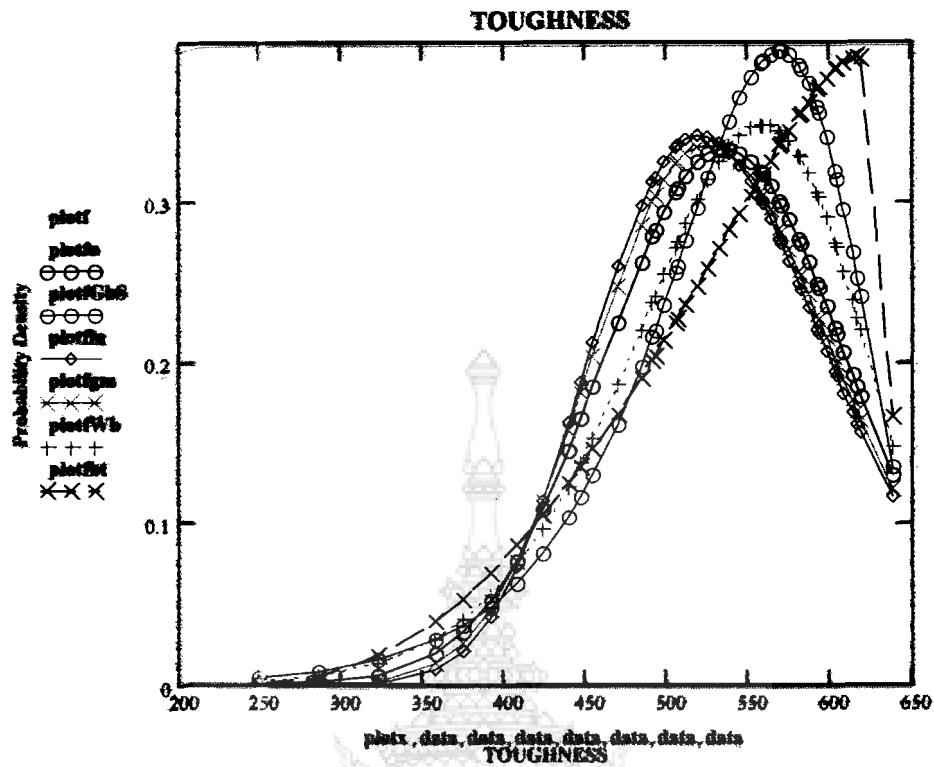
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 535.60 และ 74.707 กก./ชม². ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง 1 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล แสดงในตารางที่ ง.30

ตารางที่ ง.30 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความเหนียว

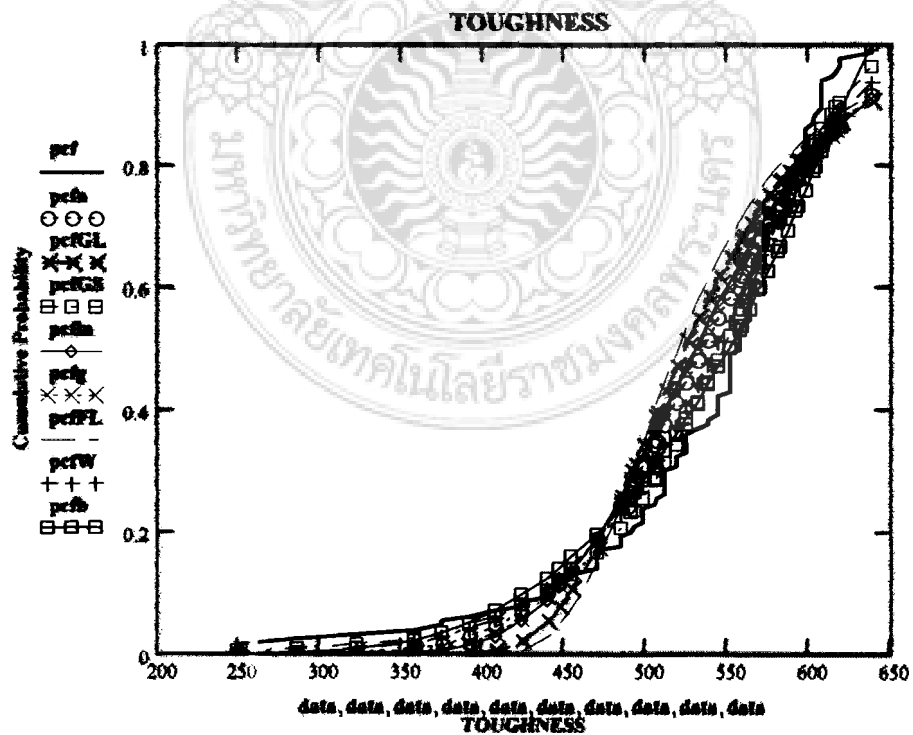
ชั้นที่	ความเหนียว (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Gumbel
1	248.81 - 367	6	3.975
2	367 - 429.5	5	7.311
3	429.5 - 492	15	19.033
4	492 - 554.5	38	39.881
5	554.5 - 617	60	46.377
6	617 - 638.07	6	8.432
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			6.145

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov- Smimov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 3 ชั้นเป็นการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีค่าเป็น 0.090, 0.115 และ 0.117 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความเหนียวของไม้พฤษ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบลมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบลมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มี ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความเหนียวของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.29 และ ง.30 ตามลำดับ



รูปที่ ๔.๒๙ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความเหนียวของไม้
 ทุกรุ่นกับฟังก์ชันความเหนียวของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๔.๓๐ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความเหนียวของไม้
 ทุกรุ่นกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.9 การทดสอบความแข็งของไม้ (Hardness)

การทดสอบความแข็งของไม้ขนานเส้น (Parallel to Grain)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.31

ตารางที่ ง.31 ค่าการทดสอบความแข็งของไม้ขนานเส้น

655.00	626.00	672.00	689.00	650.00	684.00	570.00	628.00	591.00	546.00	645.00
620.00	651.00	665.00	551.00	592.00	710.00	585.00	684.00	591.00	645.00	696.00
632.00	580.00	582.00	595.00	697.00	650.00	688.00	696.00	564.00	587.00	706.00
575.00	672.00	711.00	649.00	566.00	554.00	653.00	728.00	679.00	582.00	599.00
645.00	636.00	654.00	732.00	625.00	565.00	659.00	588.00	575.00	663.00	648.00
710.00	632.00	587.00	635.00	644.00	668.00	598.00	555.00	662.00	654.00	721.00
585.00	556.00	577.00	568.00	706.00	648.00	650.00	668.00	622.00	657.00	715.00
668.00	552.00	558.00	662.00	689.00	665.00	654.00	639.00	655.00	669.00	565.00
574.00	659.00	585.00	654.00	565.00	624.00	588.00	639.00	647.00	725.00	683.00
597.00	552.00	571.00	568.00	654.00	658.00	569.00	627.00	657.00	611.00	589.00
657.00	568.00	591.00	587.00	661.00	629.00	648.00	683.00	569.00	712.00	629.00
653.00	628.00	568.00	624.00	583.00	596.00	669.00	658.00	655.00		

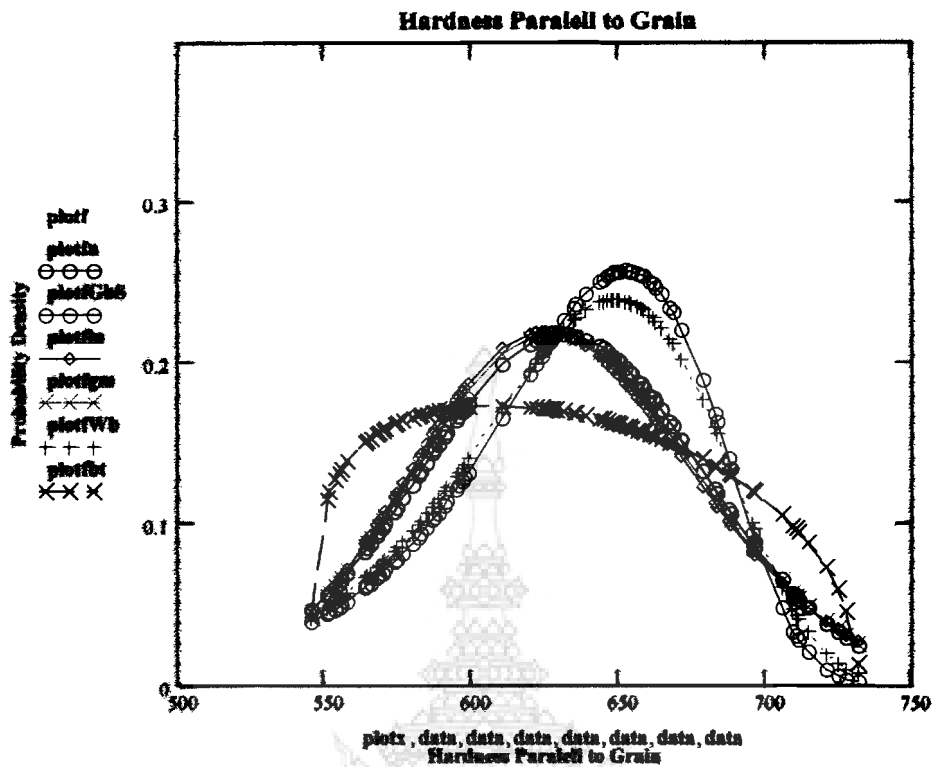
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 631.096 และ 48.327 กก./มม ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่าค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.32

ตารางที่ ง.32 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความเข้มข้นของไม้พฤษ

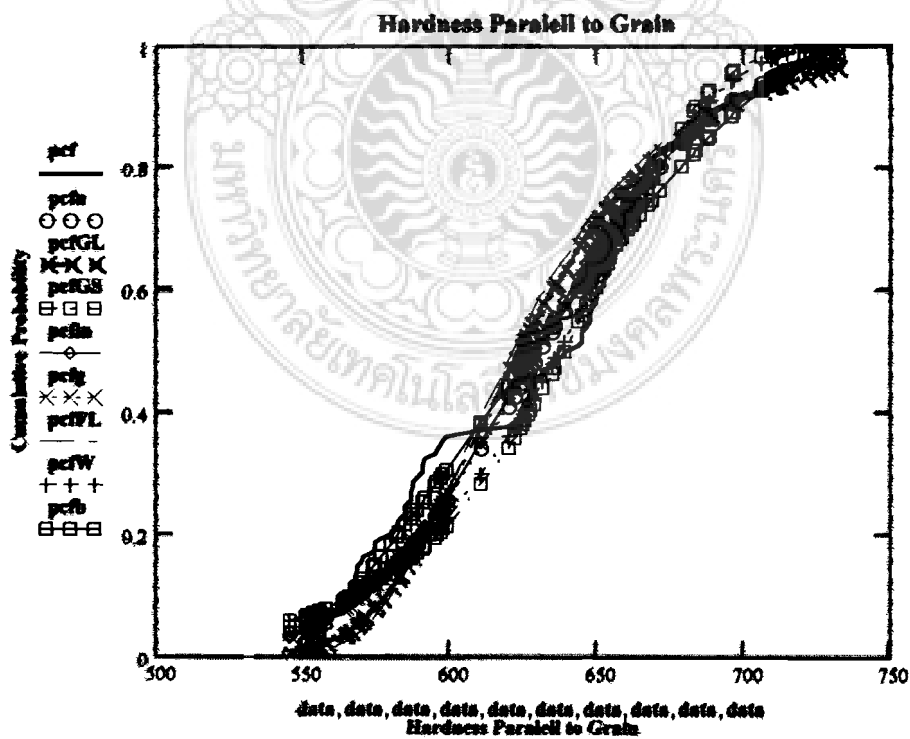
ชั้นที่	ความแข็ง (kg)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	545.97 - 573	21	-
2	573 - 599.4	26	-
3	599.4 - 625.8	6	-
4	625.8 - 652.2	25	-
5	652.2 - 678.6	30	-
6	678.6 - 705	11	-
7	705 - 732.02	11	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			-

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชนิดเป็นการแจกแจงบีตา การแจกแจงแกมมา การแจกแจงแบบลอกปรกติ และการแจกแจงปรกติ มีค่าเป็น 0.088, 0.111, 0.112 และ 0.113 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของไม้พฤษ ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกับการแจกแจงบีตาก็มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงแบบลอกปรกติ และการแจกแจงปรกติ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตจากทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความเข้มข้นของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.31 และ ง.32 ตามลำดับ



รูปที่ 3.31 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งขนานเส้นของไม้
 พฤษภกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคก่าดังสอง



รูปที่ 3.32 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งขนานเส้น
 ของไม้พฤษภกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบความแข็งสัมผัสเส้น ของไม้ (Tangent to Grain) จำนวน 130 ตัวอย่าง
แสดงในตารางที่ ง.33

ตารางที่ ง.33 ค่าการทดสอบความแข็งสัมผัสเส้นของไม้พฤษ

381.00	397.00	485.00	442.00	382.00	462.00	460.00	515.00	454.00	452.00	432.00
440.00	379.00	387.00	510.00	462.00	517.00	430.00	507.00	470.00	513.00	487.00
370.00	447.00	460.00	453.00	372.00	475.00	503.00	435.00	485.00	498.00	403.00
394.00	426.00	395.00	376.00	466.00	522.00	381.00	495.00	387.00	464.00	458.00
412.00	452.00	469.00	377.00	392.00	516.00	493.00	485.00	521.00	446.00	410.00
468.00	535.00	546.00	458.00	380.00	506.00	525.00	440.00	435.00	419.00	420.00
498.00	378.00	449.00	464.00	458.00	377.00	456.00	516.00	455.00	446.00	396.00
488.00	460.00	453.00	464.00	373.00	428.00	438.00	435.00	437.00	446.00	458.00
392.00	388.00	394.00	367.00	455.00	459.00	424.00	448.00	413.00	426.00	467.00
541.00	532.00	429.00	485.00	422.00	527.00	455.00	470.00	456.00	514.00	446.00
389.00	387.00	415.00	433.00	548.00	440.00	391.00	501.00	468.00	427.00	509.00
458.00	418.00	468.00	395.00	462.00	438.00	458.00	519.00	432.00		

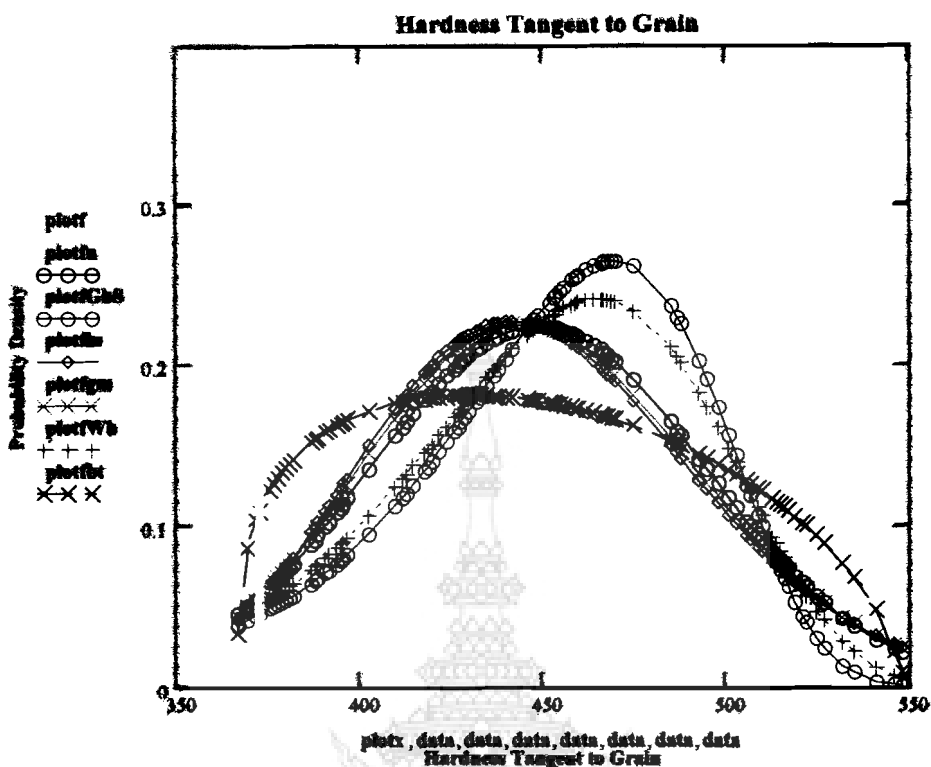
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 449.023 และ 45.70 กก./มม ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัด ช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อ เปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่า ค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.34

ตารางที่ ง.34 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความแข็งสัมพัทธ์เสี้ยนของไม้พฤษ

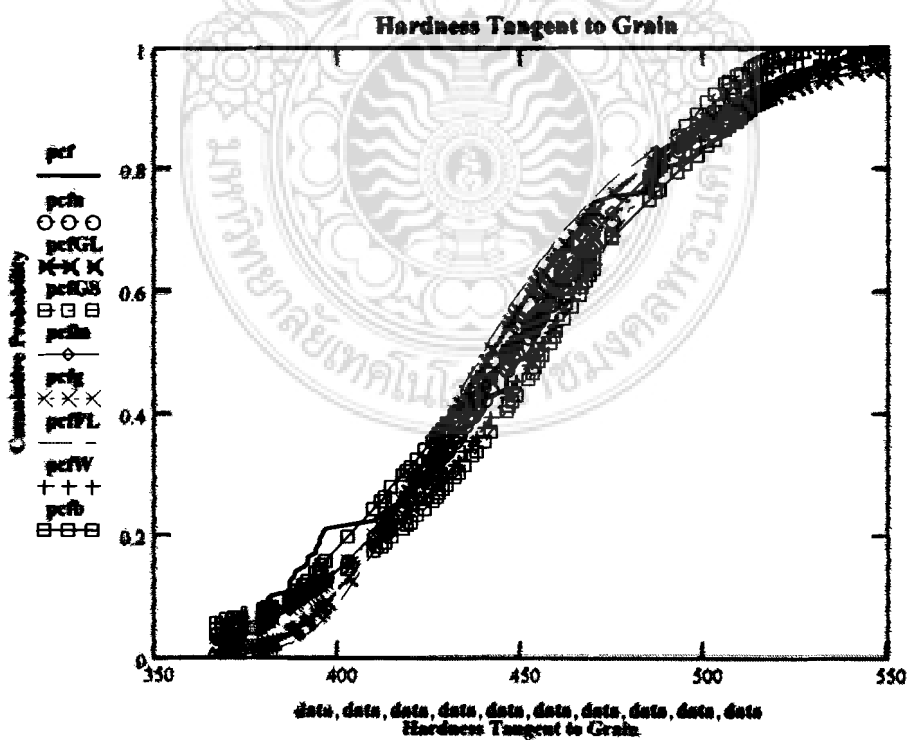
ชั้นที่	กำลังแรงอัด (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	366.97 - 393	21	-
2	393 - 418.8	12	-
3	418.8 - 444.6	23	-
4	444.6 - 470.4	41	-
5	470.4 - 496.2	9	-
6	496.2 - 522	16	-
7	522 - 548.02	8	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.48773			-

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชนิดเป็นการแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ และการแจกแจงแกมมามีค่าเป็น 0.080, 0.082, 0.085 และ 0.090 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งสัมพัทธ์เสี้ยนของไม้พฤษ ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงปกติ ก็มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปกติ มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ และการแจกแจงแกมมา ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตจากทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความแข็งสัมพัทธ์เสี้ยนของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.33 และ ง.34 ตามลำดับ



รูปที่ ๔.33 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งสัมผัสเดี่ยวของไม้พฤษกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๔.34 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งสัมผัสเดี่ยวของไม้พฤษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเส้น (Perpendicular to Grain)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.35

ตารางที่ ง.35 ค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเส้นของไม้พฤษ

465.00	398.00	521.00	388.00	375.00	354.00	496.00	423.00	454.00	442.00	433.00
479.00	387.00	395.00	410.00	511.00	432.00	455.00	397.00	484.00	501.00	467.00
458.00	441.00	380.00	425.00	428.00	520.00	459.00	460.00	479.00	482.00	444.00
474.00	451.00	384.00	512.00	392.00	421.00	428.00	496.00	396.00	452.00	516.00
399.00	411.00	457.00	488.00	481.00	452.00	455.00	472.00	385.00	495.00	385.00
391.00	503.00	511.00	498.00	389.00	391.00	505.00	520.00	489.00	396.00	376.00
453.00	487.00	386.00	379.00	429.00	451.00	510.00	487.00	450.00	511.00	455.00
388.00	395.00	465.00	421.00	481.00	382.00	514.00	498.00	495.00	417.00	465.00
391.00	495.00	423.00	449.00	489.00	432.00	528.00	424.00	388.00	461.00	397.00
473.00	435.00	513.00	366.00	436.00	393.00	496.00	391.00	466.00	425.00	441.00
374.00	494.00	489.00	416.00	390.00	368.00	496.00	455.00	432.00	361.00	516.00
381.00	509.00	489.00	410.00	385.00	422.00	458.00	446.00	396.00	324.34	436.88

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 444.09 และ 46.402 กก./มม ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสองพบว่าค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบโคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.36

ตารางที่ ง.36 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเสี้ยนของไม้พฤษ

ชั้นที่	กำลังแรงอัด (kg)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	353.97 - 379	7	-
2	379 - 403.8	30	-
3	403.8 - 428.6	15	-
4	428.6 - 453.4	19	-
5	453.4 - 478.2	19	-
6	478.2 - 503	24	-
7	503 - 528.02	16	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			-

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงเอกรูป การแจกแจงเรลลี และการแจกแจงปรกติ และมีค่าเป็น 0.075, 0.082, 0.101 และ 0.119 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นว่าค่าความแข็งตั้งฉากเสี้ยนของไม้พฤษ ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงแบบบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงบีตา การแจกแจงเอกรูป การแจกแจงเรลลี และการแจกแจงปรกติ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความแข็งตั้งฉากเสี้ยนของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.35 และ ง.36 ตามลำดับ

ง 2.10 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการหดตัว

การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) จำนวน 130 ตัวอย่าง

แสดงในตารางที่ ง.37

ตารางที่ ง.37 ค่าการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของไม้พฤษ

0.83	0.78	0.81	0.83	0.73	0.78	0.77	0.80	0.75	0.80
0.85	0.75	0.76	0.76	0.86	0.85	0.69	0.81	0.81	0.75
0.90	0.74	0.71	0.80	0.81	0.69	0.80	0.84	0.76	0.88
0.82	0.77	0.81	0.82	0.72	0.80	0.78	0.80	0.72	0.81
0.87	0.74	0.77	0.77	0.85	0.84	0.69	0.81	0.81	0.75
0.90	0.73	0.70	0.79	0.78	0.68	0.82	0.82	0.76	0.88
0.73	0.82	0.76	0.95	0.89	0.93	0.75	0.79	0.81	0.78
0.90	0.87	0.80	0.65	0.83	0.83	0.89	0.78	0.79	0.82
0.74	0.88	0.81	0.80	0.80	0.78	0.75	0.77	0.77	0.91
0.72	0.76	0.77	0.83	0.75	0.82	0.75	0.75	0.80	0.78
0.87	0.85	0.73	0.82	0.80	0.80	0.86	0.82	0.88	0.77
0.85	0.89	0.83	0.75	0.80	0.76	0.80	0.80	0.74	0.76
0.82	0.74	0.88	0.81	0.80	0.80	0.78	0.75	0.77	0.77

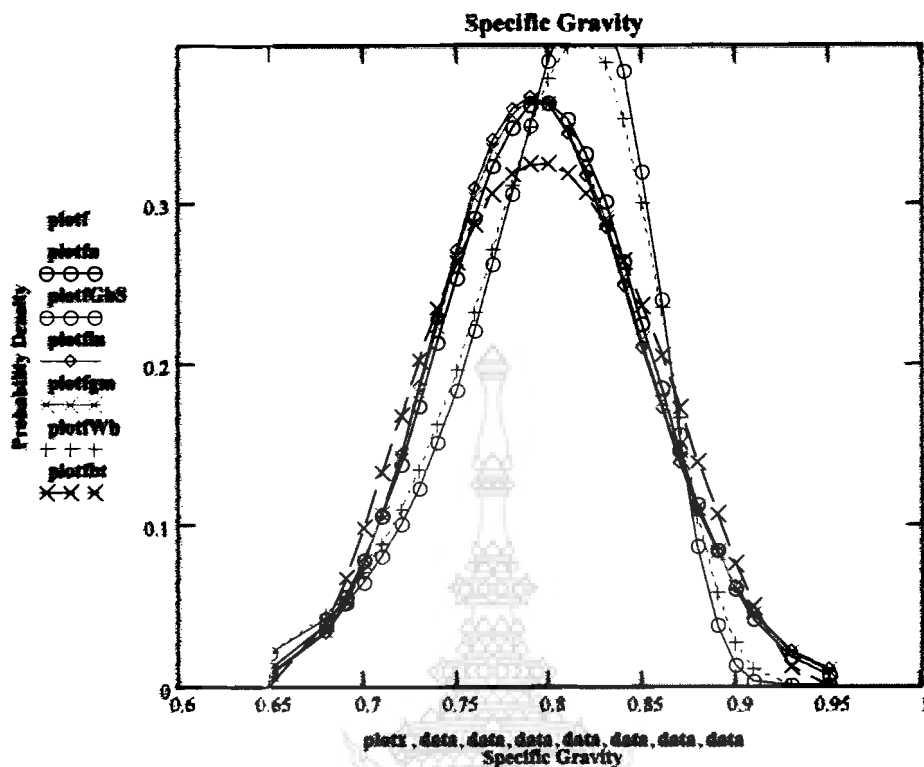
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.796 และ 0.054 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้น ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่ จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคก่าลิ่งสอง พบว่ามีการแจกแจง 4 ชนิด ได้แก่การแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงลอกปกติและการแจกแจงบีตา แสดงใน ตารางที่ ง.38

ตารางที่ ง.38 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความถี่เฉพาะของไม้พฤษ

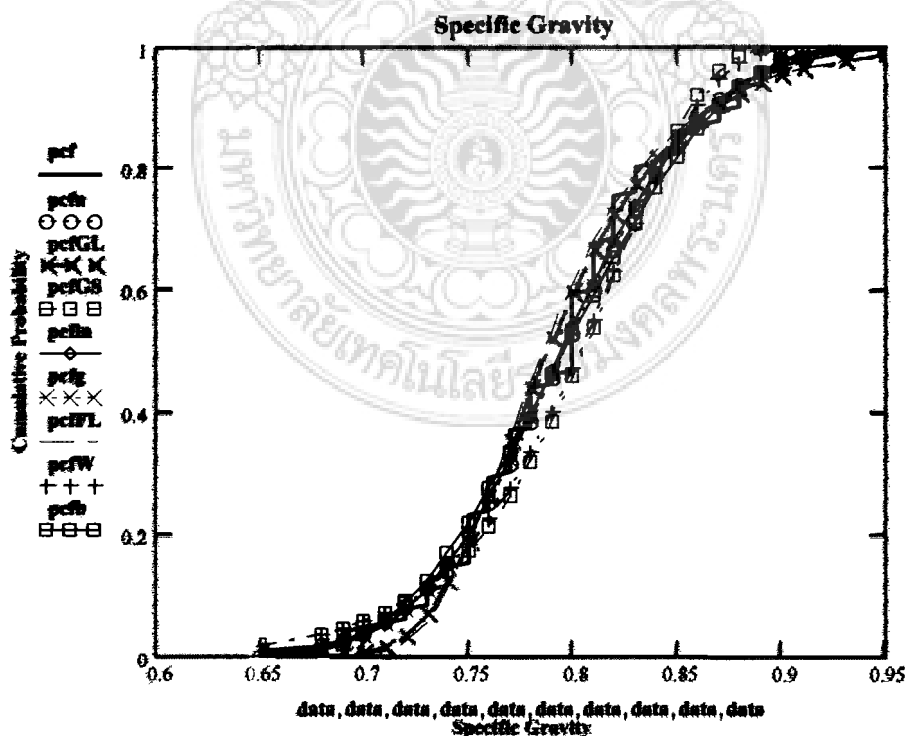
ชั้นที่	ความถี่เฉพาะ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Normal	ความถี่ Gamma	ความถี่ Lognormal	ความถี่ Beta
1	0.649 - 0.695	5	4.148	3.604	3.323	3.314
2	0.695 - 0.745	14	18.465	19.077	19.341	21.769
3	0.745 - 0.795	41	41.145	42.262	42.869	39.130
4	0.795 - 0.845	46	41.993	40.989	40.535	39.086
5	0.845 - 0.895	18	19.632	18.952	18.591	22.356
6	0.895 - 0.950	6	4.295	4.622	4.748	4.343
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			2.449	3.000	3.487	6.423

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชั้นเป็นการแจกแจงลอกปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงบีตา และการแจกแจงปกติ มีค่าเป็น 0.075, 0.079, 0.099 และ 0.086 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความถี่เฉพาะของไม้พฤษ การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกับการแจกแจงลอกปกติ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงลอกปกติและการแจกแจงปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตทั้งสองการทดสอบ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแกมมา การแจกแจงบีตาและการแจกแจงปกติ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตจากทั้งสองการทดสอบ จากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความถี่เฉพาะของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.37 และ ง.38 ตามลำดับ



รูปที่ 3.37 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความถ่วงจำเพาะของไม้พฤษภกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคก่าถึงสอง



รูปที่ 3.38 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความถ่วงจำเพาะของไม้พฤษภกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ค่าการทดสอบปริมาตรการหดตัว (Shrinkage in volume)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.39

ตารางที่ ง.39 ค่าการทดสอบปริมาตรการหดตัวของไม้พฤษ

5.64	6.85	5.78	5.73	7.62	5.03	4.35	5.53	7.00	5.83
5.61	7.07	5.36	4.59	5.79	5.89	4.91	3.97	6.96	5.35
4.61	7.80	4.03	5.36	7.57	7.04	6.19	6.60	5.41	7.85
5.93	5.70	4.52	4.70	5.37	7.79	5.75	6.10	3.29	5.99
7.57	5.35	7.80	6.00	4.80	4.12	5.47	3.84	6.74	4.78
5.45	5.82	3.51	3.90	3.36	5.08	7.73	3.44	4.11	8.78
6.52	6.07	5.25	6.32	6.37	7.33	5.23	5.45	6.00	7.14
6.36	6.70	6.01	6.28	5.70	6.49	6.15	6.23	5.12	6.95
5.99	6.61	6.05	5.66	4.87	7.15	7.12	5.77	6.88	6.86
4.98	8.40	6.22	6.54	6.51	6.42	5.24	5.98	5.15	7.08
5.40	5.20	7.02	6.22	6.04	6.60	5.40	5.92	6.93	7.18
6.12	4.57	4.85	6.97	5.35	7.02	6.31	5.87	5.59	7.38
6.95	5.99	6.61	6.05	5.66	4.87	7.15	7.12	5.77	6.88

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 5.955 และ 1.083 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 88 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้น ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสองกำลัง พบว่ามีการแจกแจง 4 ชนิด ได้แก่การแจกแจงปกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงบีตา และการแจกแจงแกมมา แสดงในตารางที่ ง.40

ตารางที่ ง.40 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบปริมาตรการหดตัวของไม้พฤษ

ชั้นที่	ปริมาตรการหดตัว %	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Normal	ความถี่ Weibull	ความถี่ Beta	ความถี่ Gamma
1	3.28 – 3.87	5	3.523	5.052	2.196	2.058
2	3.87 – 4.84	13	16.246	14.982	20.256	17.395
3	4.84 – 5.81	39	38.510	34.392	37.061	41.90
4	5.81 – 6.78	40	42.946	45.534	38.788	40.891
5	6.78 – 7.76	27	22.543	25.965	25.310	20.342
6	7.76 – 8.78	6	5.637	4.011	6.387	6.148
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			2.380	2.579	6.453	7.715

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดการแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบ การแจกแจงแบบลอกปกติ และการแจกแจงแบบบีตา มีค่าเป็น 0.041 ,0.056, 0.058, 0.060 และ 0.065 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าปริมาตรการหดตัวของไม้พฤษ การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปกติ มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแกมมา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบ การแจกแจงแบบลอกปกติ และการแจกแจงแบบบีตาก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตจากทั้งสองการทดสอบและ จากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูล ค่าความถ่วงจำเพาะของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.39 และ ง.40 ตามลำดับ

ค่าการทดสอบปริมาณความชื้น% (Shrinkage in volume)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.41

ตารางที่ ง.41 การทดสอบปริมาณความชื้นของไม้พฤษ

10.84	11.88	10.53	10.42	12.14	4.05	9.64	10.13	12.48	10.65
11.34	11.55	11.27	10.47	8.52	10.89	10.77	10.49	10.91	11.37
10.45	11.34	10.54	10.27	8.12	11.66	11.26	11.15	10.53	15.63
10.84	11.88	10.53	10.42	12.14	4.05	9.64	10.13	12.48	10.65
11.34	11.55	11.27	10.47	8.52	10.89	10.77	10.49	10.91	11.37
10.45	11.34	10.54	10.27	8.12	11.66	11.26	11.15	10.53	15.63
12.02	12.02	10.94	8.86	11.90	11.53	11.11	10.72	10.31	11.04
11.45	12.03	10.58	11.76	11.25	9.59	10.50	11.65	10.82	10.97
11.12	11.26	11.26	12.23	10.25	10.02	13.65	11.03	11.84	11.51
11.41	13.16	12.69	12.32	12.41	11.16	10.75	13.32	11.57	10.39
10.27	10.69	13.21	11.44	10.72	11.13	10.77	12.03	10.98	9.57
10.18	9.67	10.86	11.64	9.35	10.58	10.48	10.59	11.48	12.06
10.97	11.12	11.26	11.26	12.23	10.25	10.02	13.65	11.03	11.84

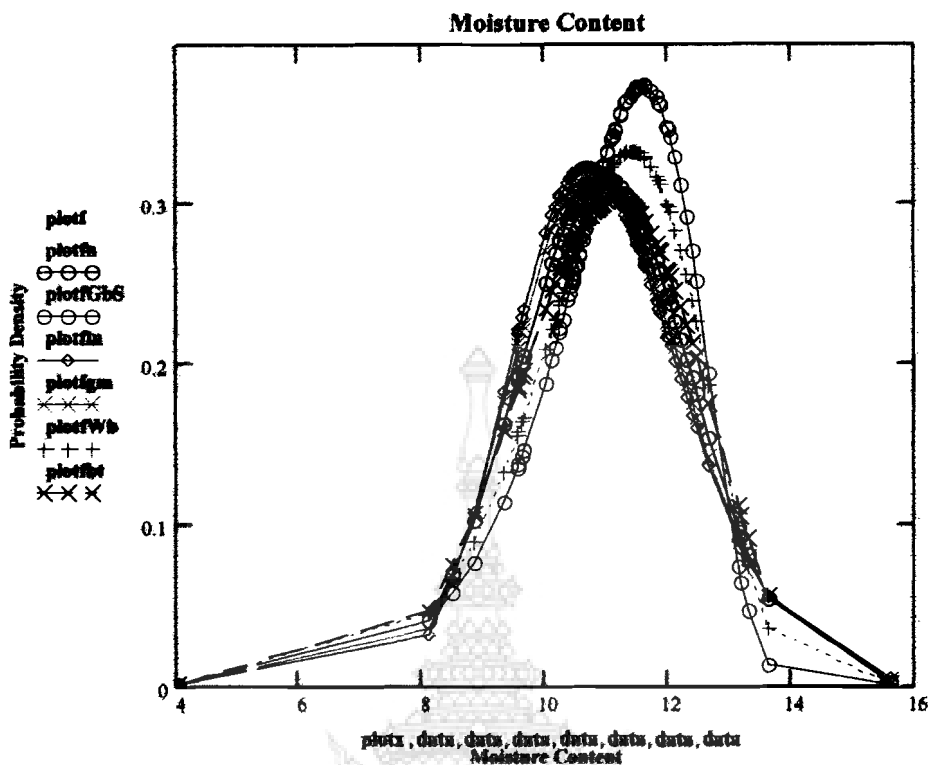
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 10.987 และ 1.417 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วงซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลัง พบว่าค่าความถี่ของ ข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.42

ตารางที่ ๑.42 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบปริมาณความถี่ของไม้พฤษ

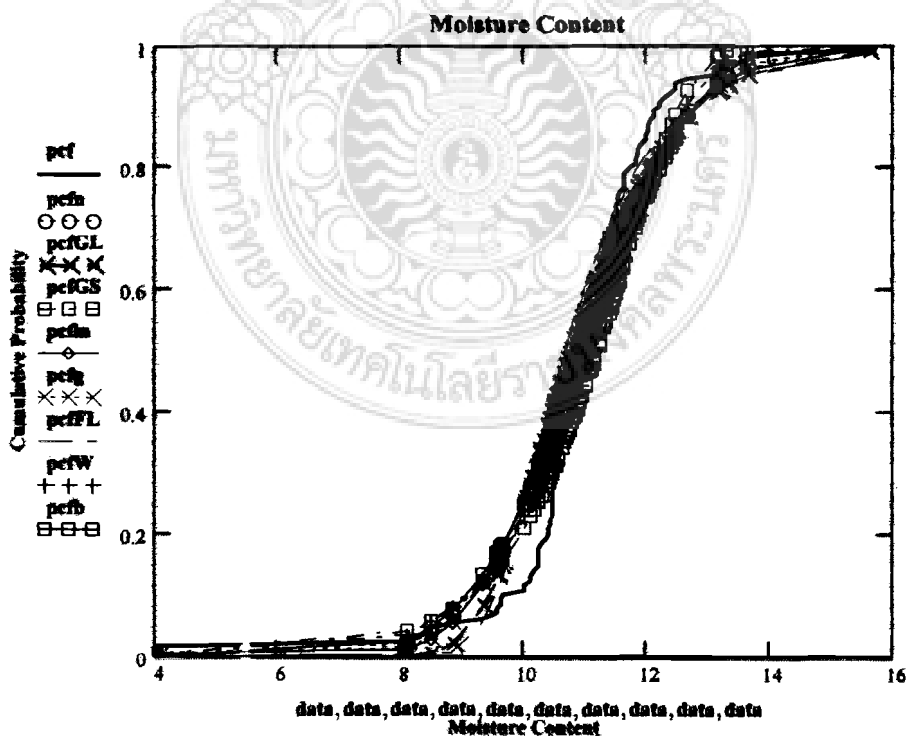
ชั้นที่	ปริมาณความถี่%	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	4.04 – 8.6	6	-
2	8.60 – 9.725	7	-
3	9.725 – 10.85	43	-
4	10.85 – 11.975	53	-
5	11.975 – 13.10	14	-
6	13.10 – 15.631	7	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			=

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) ไม่มีการแจกแจงชนิดใดให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความถี่ของไม้พฤษไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่เดียวกันไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบ K-S เช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยที่สุดและมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูล ค่าปริมาณความถี่ของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.41 และ ๑.42 ตามลำดับ



รูปที่ ๔.๔๑ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าปริมาณความชื้นของไม้พฤษภกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง



รูปที่ ๔.๔๒ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าปริมาณความชื้นของไม้พฤษภกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบความหนาแน่น (Density)

จำนวน 130 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ ง.43

ตารางที่ ง.43 ค่าการทดสอบความหนาแน่นของไม้พฤษ

868.43	820.61	849.74	867.22	762.08	773.03	810.90	836.60	787.44	837.88
894.48	780.03	799.28	805.37	880.80	894.15	730.81	864.18	843.29	795.70
945.99	762.98	755.72	835.14	810.02	715.96	838.99	872.82	802.01	941.58
853.66	819.52	851.42	868.93	764.58	774.57	811.44	835.49	787.95	840.64
896.25	781.57	798.76	802.72	881.96	891.20	729.84	863.61	843.84	795.18
945.99	763.48	748.76	836.78	813.21	719.26	842.31	879.72	803.06	939.09
770.25	863.61	797.75	972.34	931.41	962.20	796.34	825.16	845.60	812.08
946.69	912.52	838.62	681.90	874.36	858.51	923.88	822.23	827.83	853.44
779.72	914.45	854.48	850.67	843.09	804.27	800.59	804.20	809.29	946.91
763.00	795.81	819.33	875.26	787.16	860.51	784.31	801.36	847.84	806.88
908.80	897.21	776.39	862.63	838.04	831.05	901.90	866.87	917.10	783.32
882.89	931.12	880.87	784.53	828.41	785.96	829.03	837.98	780.97	788.22
853.44	779.72	914.45	854.48	850.67	843.09	804.27	800.59	804.20	809.29

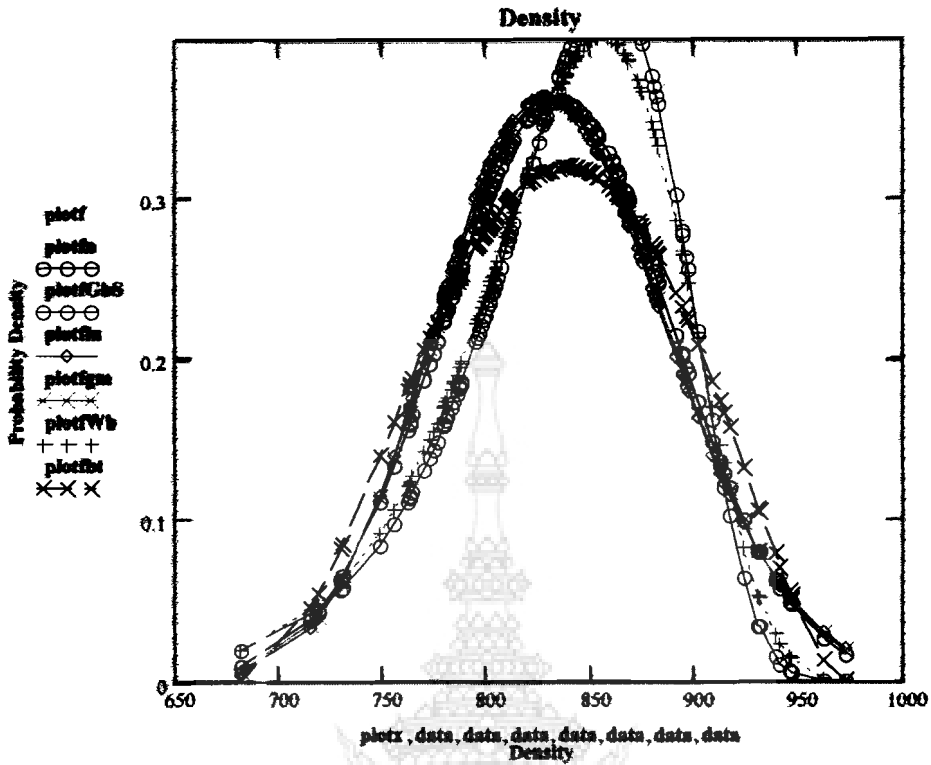
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 834.31 และ 55.88 กก/ม³ ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัด ช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง 3 ชนิด การแจกแจง ลอกปรกติ การแจกแจงแกมมา และการแจกแจงปรกติ แสดงในตารางที่ ง.44

ตารางที่ ง.44 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความหนาแน่นของไม้พฤษ

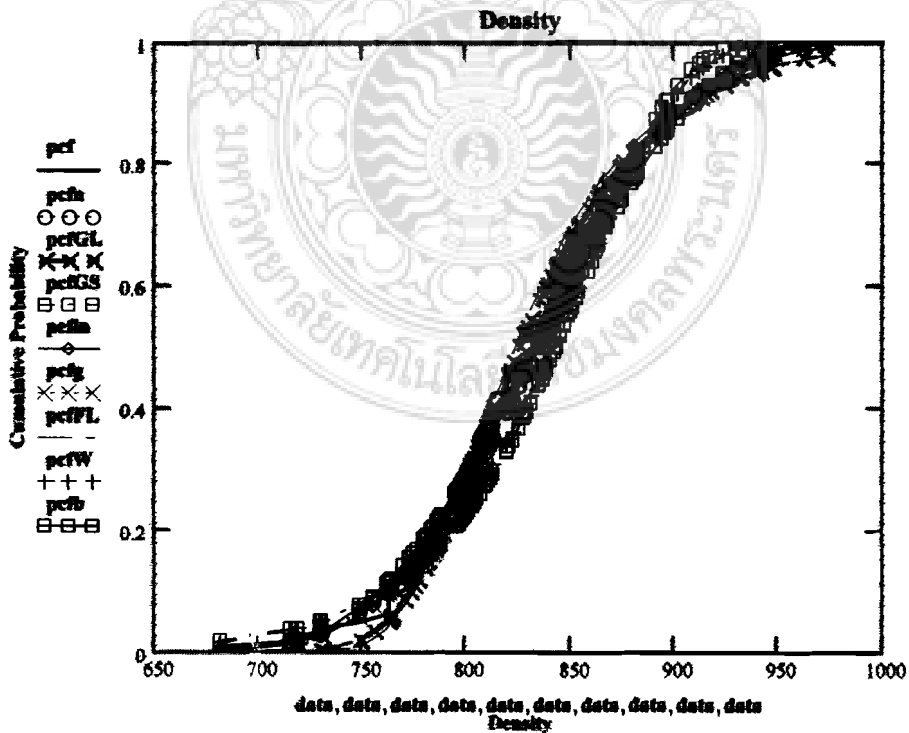
ชั้นที่	ความหนาแน่น กก/ม ³	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Lognormal	ความถี่ Gamma	ความถี่ Normal
1	681.84 - 740	5	5.102	5.397	5.945
2	740 - 790.75	24	23.654	23.242	22.370
3	790.75 - 841.5	45	44.585	44.133	43.33
4	841.5 - 892.25	35	37.167	37.705	38.858
5	892.25 - 943	15	15.434	15.686	16.127
6	943 - 972.39	6	2.740	2.672	2.491
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			4.025	4.437	5.738

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงลอกปรกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่ง ค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลและการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเซต มีค่าเป็น 0.059, 0.063, 0.070, 0.076 และ 0.089 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของไม้พฤษ การแจกแจงปรกติมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงปรกติมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปรกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแกมมา การแจกแจงปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลและการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเซต ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตจากทั้งสองการทดสอบและ จากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความหนาแน่นของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.43 และ ง.44 ตามลำดับ



รูปที่ 4.43 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นของไม้ทฤกษ์กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคก้าถึงสอง



รูปที่ 4.44 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าความหนาแน่นของไม้ทฤกษ์กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.11 การหดตัวในแนวรัศมีและในแนวเส้นสัมผัส

การทดสอบการหดตัวในแนวเส้นสัมผัส (Tangential Shrinkage)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.45

ตารางที่ ง.45 การทดสอบการหดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้พฤษ

1.80	2.20	2.33	2.38	2.00	2.05	2.31	2.32	2.41	1.60
2.31	3.19	2.05	2.45	1.99	2.40	2.71	2.38	2.42	2.31
2.33	2.82	2.02	2.37	2.37	1.98	2.35	2.00	2.43	2.00
2.41	2.01	2.27	2.37	1.98	1.98	1.89	2.39	2.71	2.26
2.69	2.61	2.26	2.35	2.40	2.30	1.92	2.82	2.67	2.71
1.99	2.40	2.69	2.40	2.41	2.66	2.28	2.40	2.60	2.24
2.27	2.29	2.65	2.38	1.98	2.38	2.80	2.39	2.82	2.27
2.33	1.99	3.15	2.29	1.99	1.91	2.33	2.00	1.99	2.31
2.80	1.55	2.40	2.01	3.04	1.98	3.20	3.53	2.80	2.00
2.34	2.70	2.38	2.80	2.00	2.80	1.92	2.97	3.14	2.80
3.00	1.92	2.38	2.00	2.96	2.40	3.00	2.80	2.40	3.02
3.05	1.97	3.03	2.01	2.01	2.81	2.68	2.67	2.31	1.95
2.39	2.40	2.64	2.23	2.40	2.26	2.07	3.19	2.40	2.59

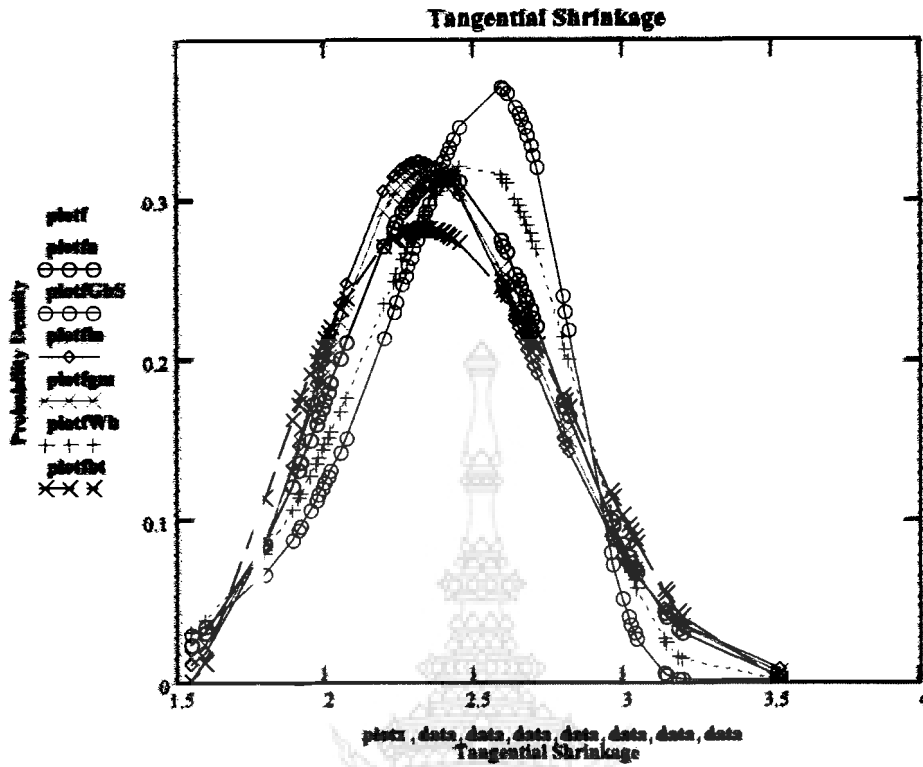
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.399 และ 0.370 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 63 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้น ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลัง พบว่าค่าความถี่ของ ข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.46

ตารางที่ ง.46 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบการหัดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้พฤษ

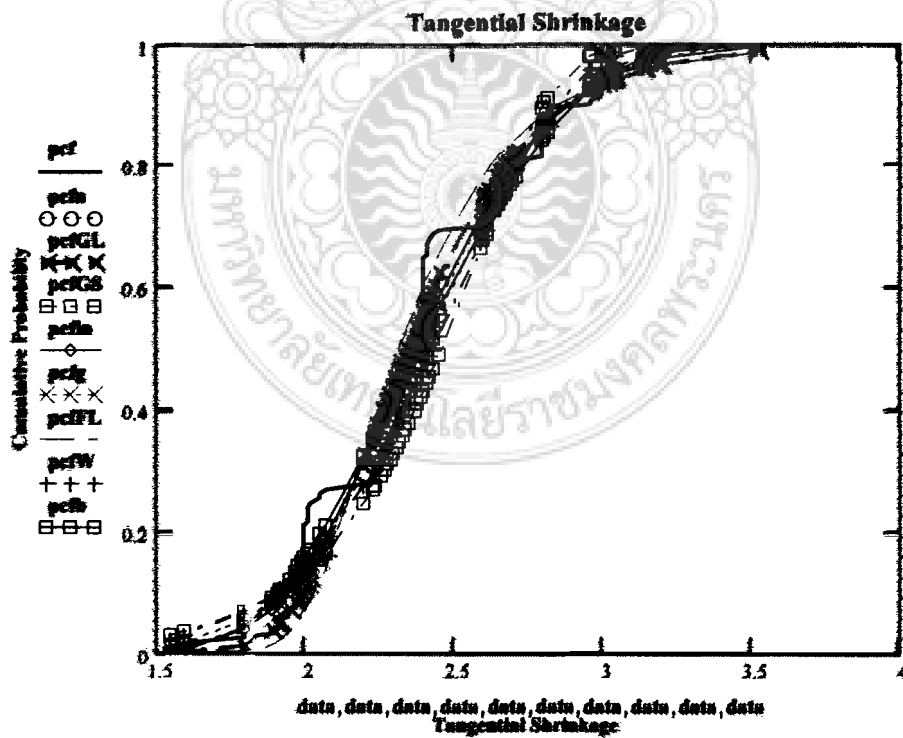
ชั้นที่	การหัดตัว	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ normal
1	1.549 -1.92	5	-
2	1.92 - 2.212	31	-
3	2.212 - 2.505	54	-
4	2.505 - 2.797	15	-
5	2.797 - 3.09	19	-
6	3.09 - 3.530	6	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) ไม่มีการแจกแจงชนิดใดให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่าการหัดตัวในแนวสัมผัสของไม้พฤษ ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูล การหัดตัวในแนวสัมผัสของไม้พฤษที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.45 และ ง.46 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.45 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวสัมผัสของไม้พฤษภกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคก่าตั้งสอง



รูปที่ ๑.46 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการหดตัวในแนวสัมผัสของไม้พฤษภกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ค่าการทดสอบการหดตัวในแนวรัศมี (Radial Shrinkage)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.47

ตารางที่ ง.47 ค่าการทดสอบการหดตัวในแนวรัศมีของไม้พฤษ

2.20	3.28	2.31	2.71	2.33	2.36	1.98	2.38	1.99	2.00
2.00	2.31	2.79	2.39	2.79	2.81	3.08	2.70	2.00	2.71
2.02	2.37	2.44	2.31	2.80	2.70	2.69	2.80	2.39	2.00
2.86	2.52	3.05	2.78	2.03	2.39	3.11	2.48	2.71	1.98
3.20	1.92	1.96	2.44	2.80	3.07	2.50	3.16	3.54	2.39
2.44	3.11	2.06	3.25	2.34	3.53	2.78	2.82	2.26	2.24
2.29	3.05	1.96	2.40	2.83	2.43	2.02	3.27	3.23	3.20
3.14	2.80	2.00	3.61	2.04	1.98	3.10	2.82	2.81	2.33
2.42	3.52	2.02	2.42	2.69	2.42	3.48	3.57	2.00	2.40
2.81	2.38	2.42	2.00	3.20	2.80	2.07	2.71	1.92	3.48
2.29	3.47	2.81	3.20	2.07	2.46	3.10	2.02	2.81	2.35
3.10	2.38	3.08	2.43	3.21	2.08	2.41	2.78	2.01	3.15
3.24	2.02	2.37	1.89	2.02	1.92	2.08	3.75	3.36	1.95

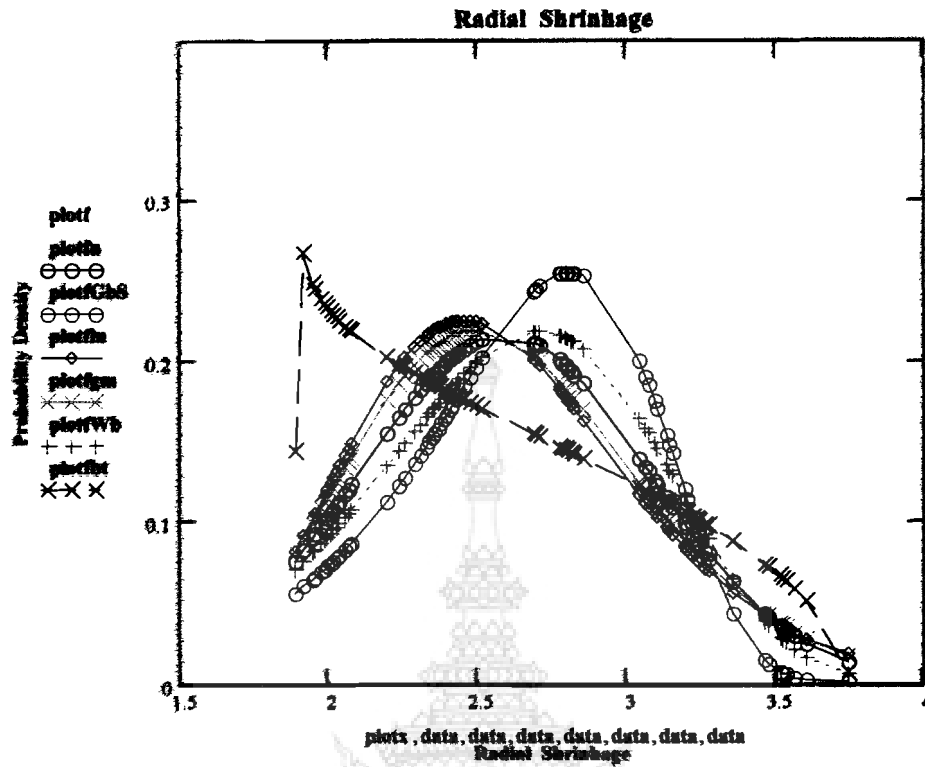
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.593 และ 0.486 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 93 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่าค่าความถี่ ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.48

ตารางที่ ง.48 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความหนาแน่นของไม้พฤษ

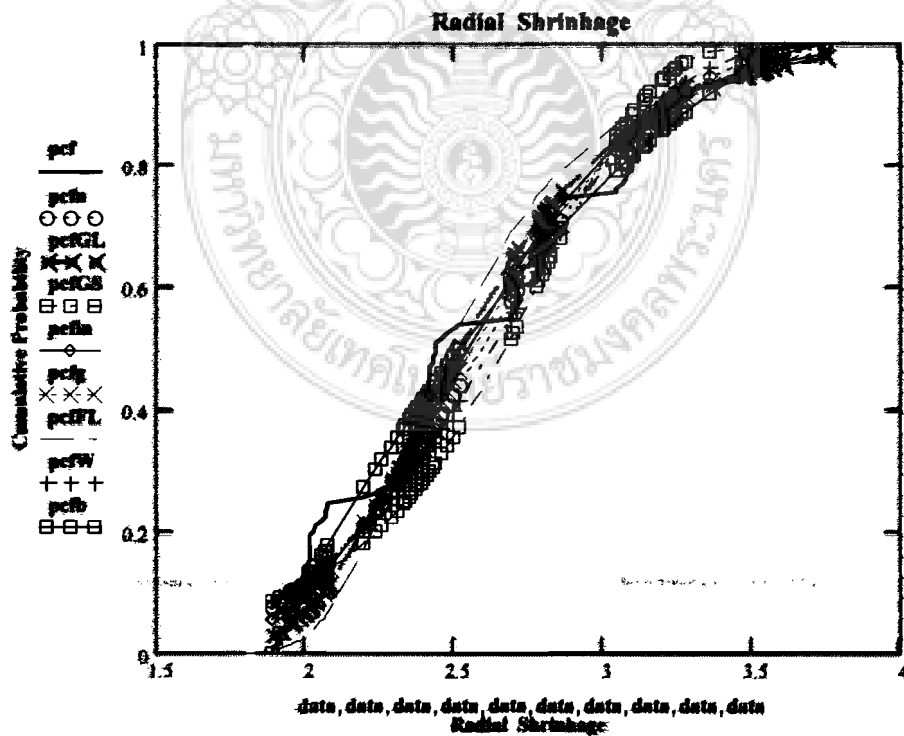
ชั้นที่	การหัดตัว %	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	1.889 – 2.16	32	-
2	2.16 – 2.424	29	-
3	2.424 – 2.688	9	-
4	2.688 – 2.952	27	-
5	2.952 – 3.216	18	-
6	3.216 – 3.48	7	-
7	3.48 – 3.75	8	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov– Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 3 ชนิดเป็นการแจกแจงบีตา การแจกแจงลอกปรกติและการแจกแจงแกมมามีค่าเป็น 0.070, 0.109, 0.110 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าการหัดตัวในแนวนอร์คมีของไม้พฤษ ไม่มีค่าความถี่การแจกแจงชนิดใดมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงลอกปรกติและการแจกแจงแกมมา ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลการหัดตัวในแนวนอร์คมีของไม้พฤษ ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ง.47 และ ง.48 ตามลำดับ



รูปที่ ๔.๕๗ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวรัศมีของไม้พดุกซ์ กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคก่าดังสอง



รูปที่ ๔.๕๘ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการหดตัวในแนวรัศมีของไม้พดุกซ์กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรม
ของไม้จามจรี



ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้จามจรี

จ.1 ทัวไป

ในภาคผนวกนี้จะได้นำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม รวมทั้งการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของไม้จามจรี ประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และรูปแบบการแจกแจงต่อเนื่อง (Type of Distribution) ที่เหมาะสม โดยรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมจะใช้ค่าไคกำลังสอง (Chi - Square) และการทดสอบโคลโมโกรอฟ - สเมียร์นอฟ (Kolmogorov - Smirnov) ซึ่งเป็นวิธีการเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ของตัวอย่างกับ CDF ของการแจกแจงที่เหมาะสม การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-square Test) และการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) ซึ่งการทดสอบทั้ง 2 ชนิด เป็นการทดสอบที่ใช้พารามิเตอร์ การทดสอบการแจกแจงนี้เรียกว่า การทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท (Goodness-of-Fit Test) การทดสอบไคกำลังสองมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่และระดับของข้อมูล กล่าวคือความถี่ที่ควรจะเป็นจะต้องไม่ต่ำกว่า 5 และจำนวนกลุ่มของข้อมูลจะต้องไม่น้อยกว่า 2 ชั้น

เนื่องจากข้อมูลไม้มีความหลากหลายประเภทมีลักษณะการแจกแจงแบบค่าปลายสุด (Extreme-valued distributions) จึงไม่สามารถใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ CESTTEST (Civil Engineering Statistical Test) [12] เพื่อหาคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรมของไม้ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของไม้จามจรีจำนวน 11 ชนิด ประกอบด้วย 1. แรงอัดขนานเส้น (ปฐมภูมิ)² (Compression Parallel to Grain) แรงอัดขนานเส้น (ทุดิยภูมิ)³ โมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² (Modulus of Elasticity) โมดูลัสยืดหยุ่น (ทุดิยภูมิ)³ 2.แรงอัดตั้งฉากเส้น (Compression Perpendicular to Grain) 3. การทดสอบแรงดัด (ปฐมภูมิ)² ประกอบด้วยโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity; MOE) โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture; MOR) การทดสอบแรงดัด (ทุดิยภูมิ)³ ประกอบด้วยโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity ; MOE) โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture ; MOR) 4.แรงดึงในแนวขนานเส้น (Tension Parallel to Grain) 5. แรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น (Tension Perpendicular to Grain) 6.แรงเฉือนขนานเส้น (Shear Parallel to Grain) 7.การทดสอบการฉีกขาดของไม้ (Cleavage) 8. ความเหนียว (Toughness) 9. การทดสอบความแข็งของไม้ (Hardness) ขนานเส้น (Parallel to Grain) สัมผัสเส้น (Tangent to Grain) ตั้งฉากเส้น (Perpendicular to Grain) 10. การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ปริมาตรการหดตัว % (Shrinkage in Volume)

ปริมาณความชื้น % (Moisture Content) ความหนาแน่น (Density) 11.การทดสอบการหดตัวในแนวสัมผัส % (Tangential Shrinkage) และการหดตัวในแนวรัศมี % (Radial Shrinkage)

จ. 2 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของไม้จามจรี

จ. 2.1 การทดสอบแรงอัดขนานเส้น

แรงอัดขนานเส้น (ปริมภูมิ)² (Compression Parallel to Grain)

ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 แรงอัดขนานเส้น (ปริมภูมิ)² ของไม้จามจรี

307.10	314.90	282.80	321.70	266.30	257.60	351.00	276.98	293.10	332.30
290.80	269.00	196.70	246.72	351.60	254.80	259.50	319.30	239.90	219.30
291.30	323.60	302.60	249.30	220.00	297.10	256.83	299.40	260.50	137.60
288.40	284.10	272.40	343.10	187.70	281.80	220.80	227.40	150.70	213.50
255.40	332.30	290.80	265.40	309.70	303.00	277.00	300.10	328.60	270.10
306.70	265.70	196.90	275.10	319.70	296.50	260.80	277.20	222.00	304.70
342.70	237.70	292.70	311.83	224.80	364.80	371.70	285.20	368.10	288.70
231.70	277.60	571.90	210.50	257.20	287.30	238.30	341.60	257.90	316.30
387.80	297.00	223.30	205.90	285.00	315.00	283.50	210.90	270.30	472.60
344.00	326.60	248.20	298.70	305.10	285.00	229.60	223.80	300.30	240.10
167.60	289.20	254.40	265.60	145.20	274.00	251.60	227.80	290.90	280.30
312.20	282.60	288.60	253.00	240.70	283.30	252.00	237.20	274.40	262.20
266.80	160.50	233.00	286.40	259.00	272.70	231.50	248.20	249.10	271.30

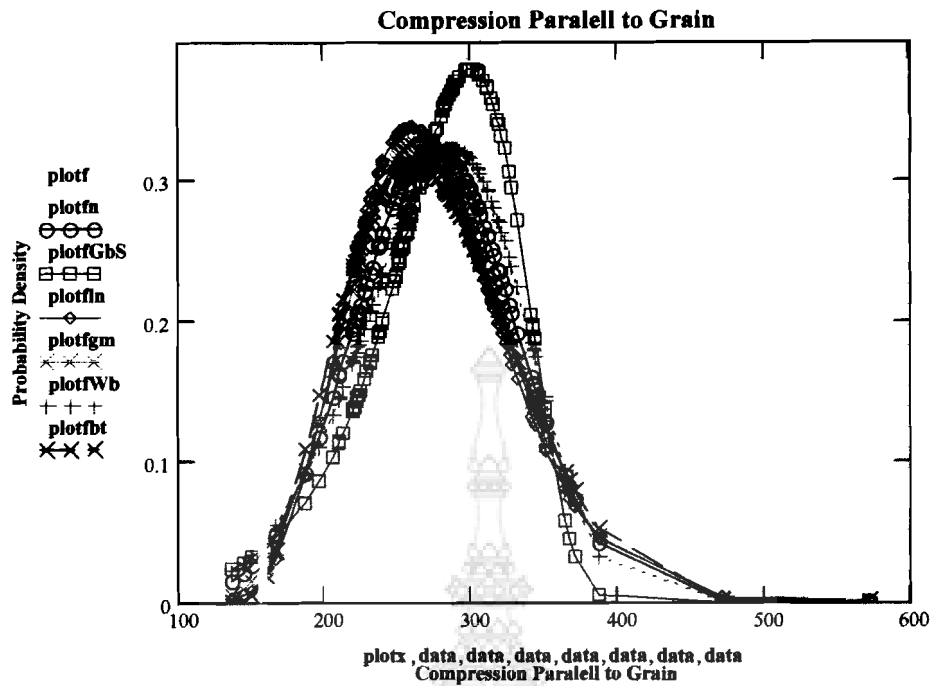
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 275.84 และ 55.63 กก./ชม.² ตามลำดับโดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ N_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 108 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วงซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, ν) เท่ากับ $6-3 = 3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง มี 3 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงปกติ และการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล แสดงในตารางที่ จ.2

ตารางที่ ๑.2 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรี

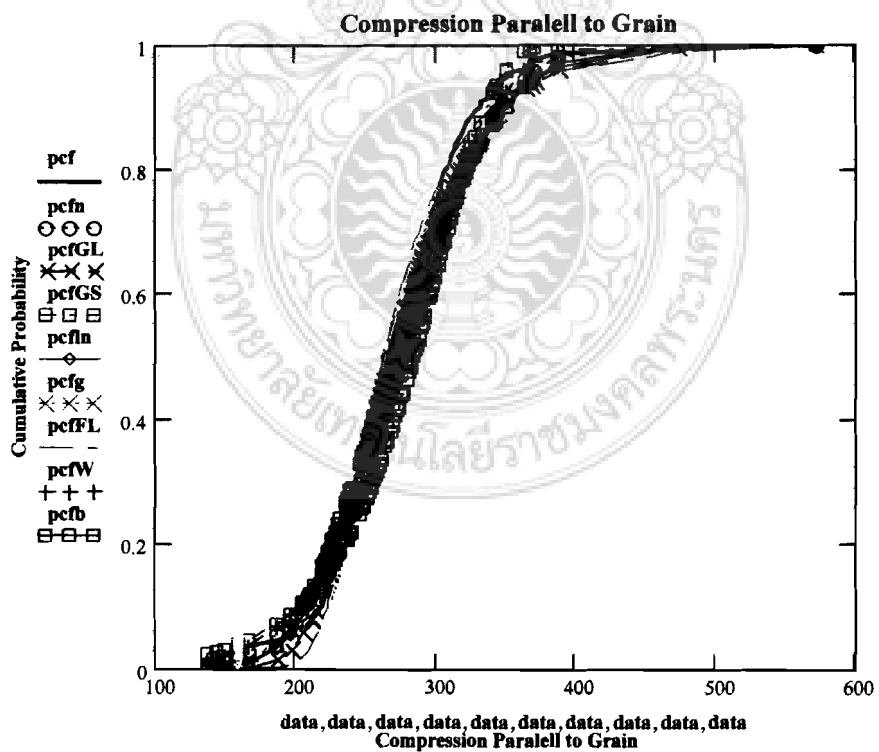
ชั้นที่	กำลังแรงอัด (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	137.55 -178	5	-
2	178 – 223	11	-
3	223 – 268	40	-
4	268 – 313	51	-
5	313 – 358	17	-
6	358 – 571.945	6	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชั้น เป็นการแจกแจงแกมมา การแจกแจงลอกปรกติ การแจกแจงบีตา การแจกแจงปรกติและการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล มีค่าเท่ากับ 0.073, 0.080, 0.086, 0.087 และ 0.091 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้จามจรี ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงแกมมามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแกมมามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงลอกปรกติ การแจกแจงบีตา การแจกแจงปรกติและการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูล ค่ากำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยนชนิดปฐมภูมิ ของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.1 และ ๑.2 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.1 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดขนานเดี่ยว (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.2 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดขนานเดี่ยว (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

แรงอัดขนานเสี้ยน(ทุติยภูมิ)³ (Compression Parallel to Grain)
ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ๑.3

ตารางที่ ๑.3 แรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ)³ ของไม้จามจรี

313.10	293.18	276.88	308.10	315.02	287.66	298.53	247.58	323.12	281.09
266.08	261.73	234.86	317.36	264.93	214.45	165.12	180.53	128.13	222.54
264.16	200.58	303.44	205.58	240.27	291.90	256.06	242.96	199.81	177.84
196.62	276.78	313.78	353.86	341.90	297.10	319.92	284.50	300.75	290.45
296.51	328.42	179.28	341.90	348.46	292.98	325.31	321.31	271.78	322.26
309.31	296.05	329.90	310.48	294.10	326.85	281.41	213.97	322.21	360.80
303.76	303.38	347.31	358.10	316.83	374.29	343.46	292.98	293.28	368.50
281.41	373.12	313.78	283.33	291.81	231.70	230.54	302.99	379.30	308.00
315.31	200.86	321.87	284.11	408.19	324.30	357.71	335.74	301.44	213.58
351.55	304.99	380.83	366.96	326.50	354.62	380.06	404.72	227.46	232.08
359.63	360.02	269.84	305.68	109.54	327.26	346.91	343.46	312.62	309.92
269.46	341.14	178.51	141.52	350.00	377.74	190.85	308.38	259.06	363.49
322.26	288.74	297.66	341.14	311.86	343.46	340.37	304.14	322.03	346.14

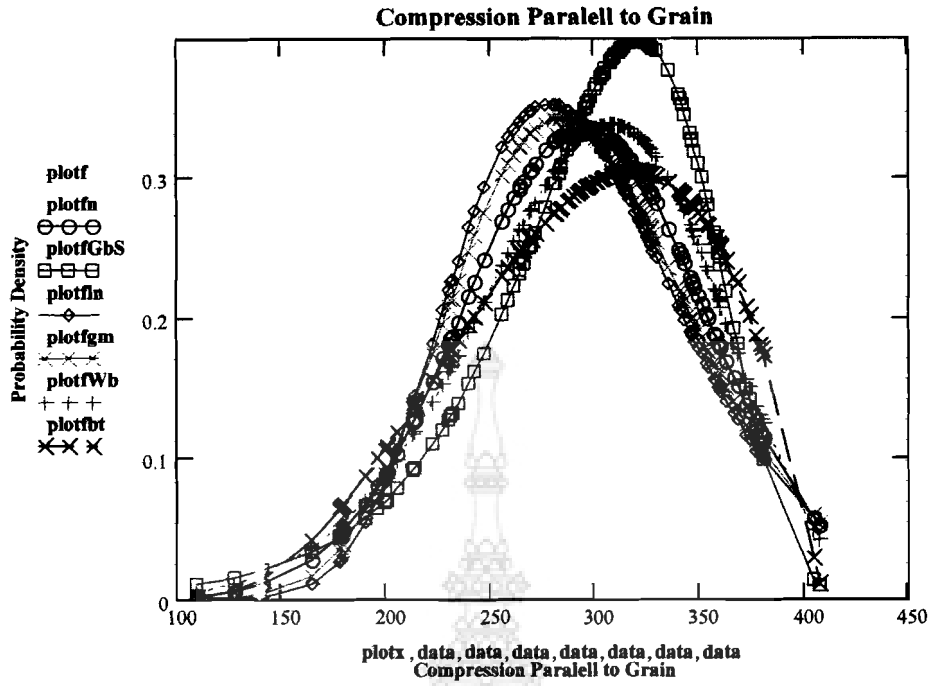
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 295.116 และ 58.314 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ N_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 104 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้น ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่ จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง 1 ชนิดได้แก่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล แสดงในตารางที่ ๑.4

ตารางที่ ๑.4 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ)³ ของไม้จามจรี

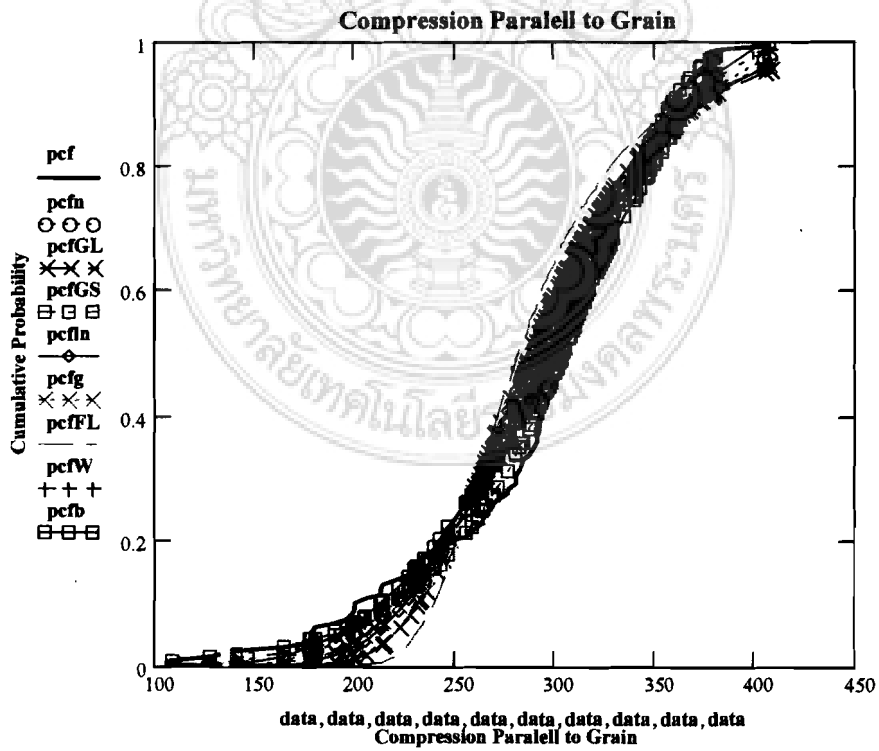
ชั้นที่	กำลังแรงอัด (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	109.49 -179	6	5.565
2	179 - 228.25	13	10.179
3	228.25 - 277.5	18	25.462
4	277.5 - 326.75	56	46.633
5	326.75 - 376	31	37.496
6	376 -408.23	6	4.521
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			6.494

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov - Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 3 ชนิดการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงบีตามีค่าเป็น 0.051, 0.089 และ 0.097 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้จามจรี มีการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบลมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤติที่ได้จากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบ K-S เช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบลมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าจากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงบีตามีค่าสามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยนชนิดทุติยภูมิ³ ของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.3 และ ๑.4 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๓ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของแรงอัดขนานเส้น (ทุติยภูมิ)^๓ ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง



รูปที่ ๑.๔ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดขนานเส้น (ทุติยภูมิ)^๓ ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

แรงอัดขนานเสี้ยน (ปฐมภูมิ)² ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ๑.5

ตารางที่ ๑.5 แรงอัดขนานเสี้ยน สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรี

17959.06	21277.03	16346.82	22496.50	22107.84	13010.10	18670.21	16127.88	19410.60	22924.37
17518.07	24234.23	16529.41	14944.29	23010.53	22156.52	19222.22	23137.68	16544.83	19756.76
20552.63	22013.61	17291.43	18604.48	15172.41	22766.36	14510.17	20722.22	23258.93	16000.00
13771.43	20586.96	19934.07	24834.78	27202.90	19569.44	23741.94	22969.70	17688.78	23206.52
20404.76	21861.84	22509.80	17693.33	24776.00	21562.50	22156.86	21649.57	23876.29	21267.72
24934.96	10219.23	25571.43	16877.30	21172.19	21164.06	18237.76	21160.31	12613.64	17511.49
20158.82	13429.38	21681.48	19930.89	14887.42	21158.62	22043.10	19013.33	26292.86	26486.24
13981.04	13475.73	23840.24	16445.31	10329.32	20970.80	14530.49	21757.96	20148.44	19404.91
23791.41	25826.09	13787.44	19995.15	16473.99	21575.34	17608.70	13389.16	23710.53	22317.92
20975.61	21317.83	17356.64	17993.98	18833.33	20212.77	17197.49	16993.75	13527.03	11712.20
16983.33	22593.75	12848.48	15532.16	14823.92	11464.44	16025.48	13890.24	22186.92	15532.16
14823.92	15464.44	16025.48	13890.24	22186.92	17302.47	20272.73	17024.10	18150.94	12047.62
14587.88	15826.82	12115.38	16733.03	17703.23	15068.97	14191.49	13275.51	14562.50	19351.35

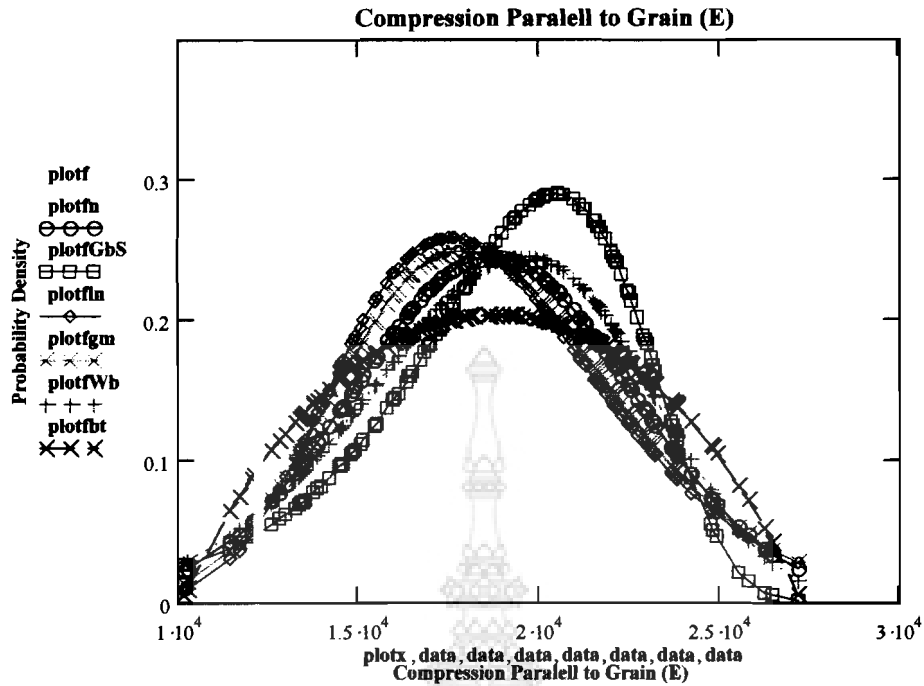
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1.874×10^4 และ 3.899×10^3 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ N_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 115 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3 = 4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองมี 1 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงบีตาแสดงในตารางที่ ๑.6

ตารางที่ ๑.6 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับแรงอัดขนานเลียนใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจุรี

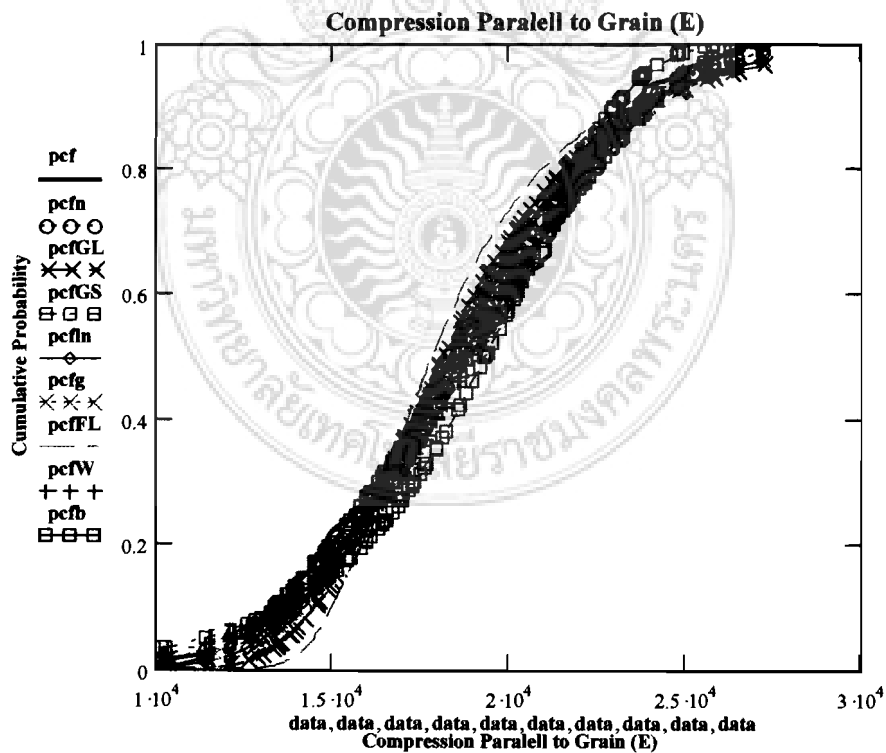
ชั้นที่	กำลังแรงอัด $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Beta
1	1.021 – 1.27	7	8.292
2	1.27 – 1.51	22	18.606
3	1.51 – 1.75	23	24.407
4	1.75 – 1.99	20	26.377
5	1.99 – 2.23	33	24.629
6	2.23 – 2.47	17	18.99
7	2.47 – 2.72	8	8.022
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			5.555

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็น การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงแบบลอกปรกติ มีค่าเป็น 0.040, 0.071, 0.072, 0.086 และ 0.095 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกำลังรับแรงอัดในแนวขนานเลียนของไม้จามจุรี การแจกแจงบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแบบบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงแบบลอกปรกติ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดขนานเลียน สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้จามจุรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.5 และ ๑.6 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.5 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าไมโครลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง



รูปที่ ๑.6 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าไมโครลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

แรงอัดขนานเสี้ยน (ทุติยภูมิ)³ ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของไม้จามรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.7

ตารางที่ จ.7 สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้จามรี

5191.68	5253.98	3607.16	5362.70	3592.06	6809.22	5583.77	3219.63	5362.33	3242.08
4334.34	5772.02	4888.86	5323.14	4623.05	5953.08	4510.70	5309.12	3376.24	4346.30
5567.15	5913.89	3816.86	6320.36	5237.17	4302.08	5217.00	6144.95	5256.53	5230.59
4359.73	4604.75	3349.47	4012.31	5975.71	2293.91	3990.00	4213.69	5772.59	4359.49
4478.14	5547.57	2133.33	5381.94	4891.62	5385.11	5459.87	4807.00	5305.81	5633.79
3996.02	5277.26	6688.62	5294.58	5983.48	5714.98	6849.68	5504.93	5411.89	4626.73
3547.29	5800.83	4176.00	4971.37	4408.35	4994.62	5698.06	5024.41	5117.83	4705.67
2141.61	2245.01	5429.50	6317.19	6717.33	5535.22	5459.14	6581.38	5747.91	5556.34
5334.94	6679.05	5754.07	4743.02	2286.79	6429.28	6752.63	5905.47	3629.41	4739.81
5829.09	5542.07	6221.89	4882.81	5904.88	4698.39	4859.41	6662.63	4703.79	6441.49
2198.24	4629.03	5490.83	5459.79	3620.84	4037.76	3374.48	4441.28	5308.05	6084.02
6564.79	4481.27	5931.21	4347.81	4726.69	2278.31	5871.85	4301.75	5343.65	5757.68
4593.75	5920.42	5977.23	4447.33	5518.29	4821.08	5547.13	5172.49	4846.51	5583.46

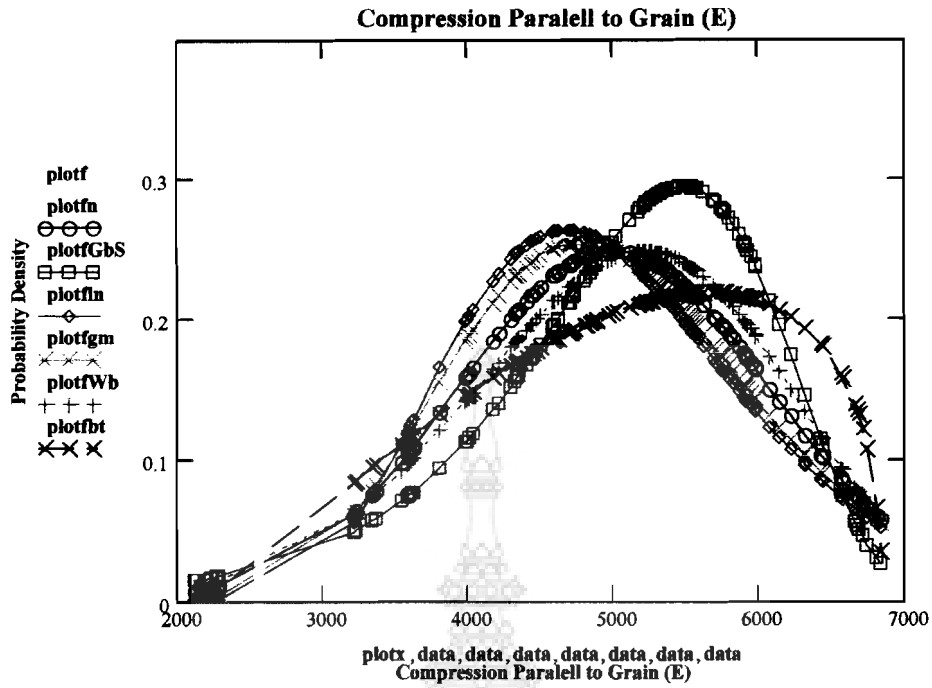
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 5.001×10^3 และ 1.074×10^3 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 122 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองมี 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบด และการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ แสดงในตารางที่ จ.8

ตารางที่ ๑.8 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แรงอัดขนานเสี้ยนสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้จามจุรี

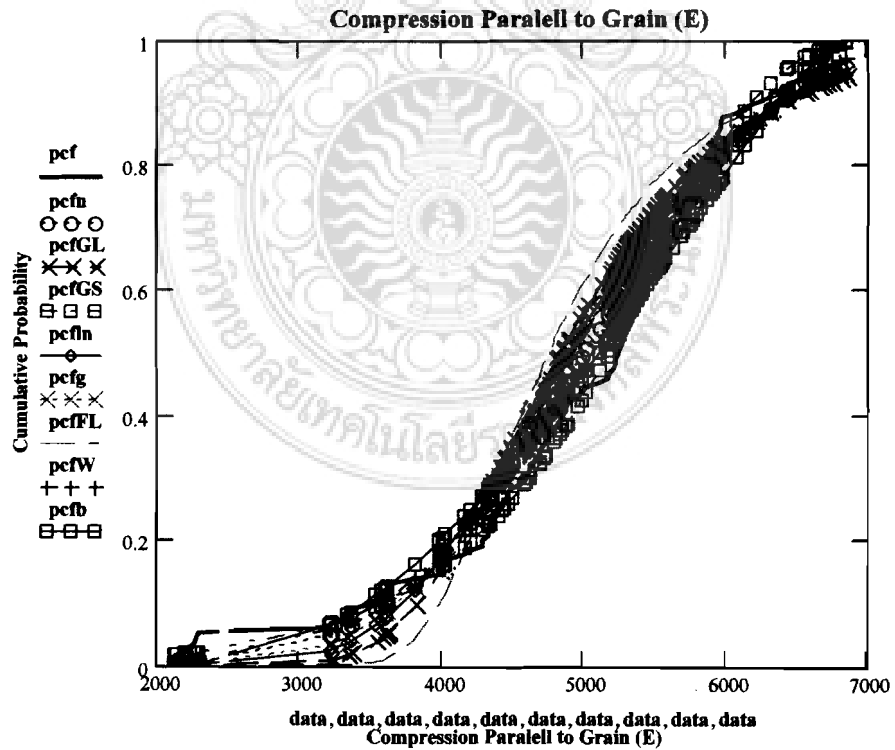
ชั้นที่	กำลังรับแรงอัด $\times 10^3$ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Gumbel	ความถี่ Weibull
1	2.132 – 2.81	7	5.192	3.723
2	2.81 – 3.482	5	6.108	7.695
3	3.482 – 4.154	10	12.572	16.032
4	4.154 – 4.826	28	23.456	26.085
5	4.826 – 5.498	34	35.318	31.825
6	5.498 – 6.17	32	33.693	26.792
7	6.17 – 6.85	14	20.342	17.834
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.488			2.474	7.399

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชั้นเป็นการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงบีตาและการแจกแจงปกติ มีค่าเป็น 0.049, 0.076, 0.095 และ 0.100 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชนิดทุติยภูมิของกำลังรับแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้จามจุรี การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงบีตาและการแจกแจงปกติก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยน สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้จามจุรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S แสดงได้ในรูปที่ ๑.7 และ ๑.8 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.7 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.8 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

จ.2.2 การทดสอบค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compression Perpendicular to Grain)
ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.9

ตารางที่ จ.9 ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้จามจรี

135.62	106.70	109.47	131.24	101.88	146.20	107.66	120.96	131.01	141.36
122.08	125.81	130.78	111.19	109.63	129.09	120.07	130.59	114.75	120.45
116.45	113.11	105.12	100.18	111.36	118.04	131.84	115.79	131.94	126.01
117.83	133.86	110.82	104.36	101.62	145.00	126.62	144.73	94.15	130.10
194.25	113.07	127.77	108.29	129.14	130.00	126.10	105.42	142.70	165.44
132.68	104.26	121.78	110.26	163.32	131.91	128.54	112.09	144.63	107.75
145.50	169.87	116.31	139.24	134.90	105.73	121.03	119.39	128.85	159.18
130.97	118.01	116.79	125.75	139.18	118.33	118.62	110.72	108.91	130.22
142.26	109.76	122.30	92.22	103.22	115.93	116.94	128.85	122.12	107.64
118.62	116.11	114.00	53.98	135.23	118.73	119.70	100.24	102.14	75.65
98.96	129.20	44.44	108.37	117.00	134.26	107.65	117.02	76.23	190.78
92.32	137.02	94.84	136.25	113.05	127.96	130.76	119.10	145.02	106.35
128.43	171.86	110.62	112.16	142.32	120.06	106.96	218.20	100.02	132.59

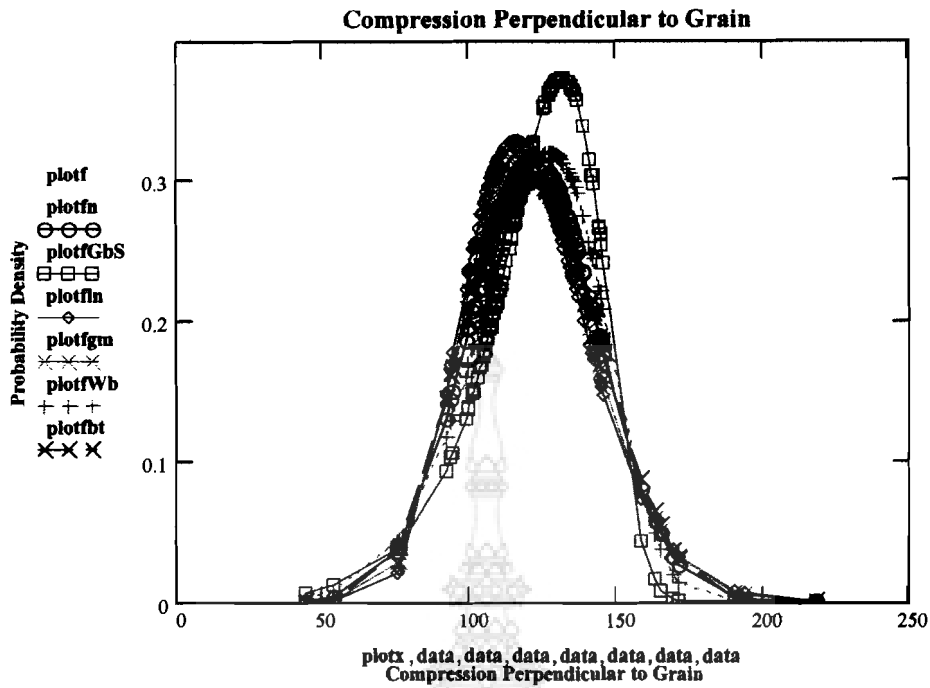
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเป็น 122.060 และ 23.396 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 89 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่าค่าความถี่ของข้อมูลไม่มีการแจกแจงชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ จ.10

ตารางที่ ๑.10 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้จามจรี

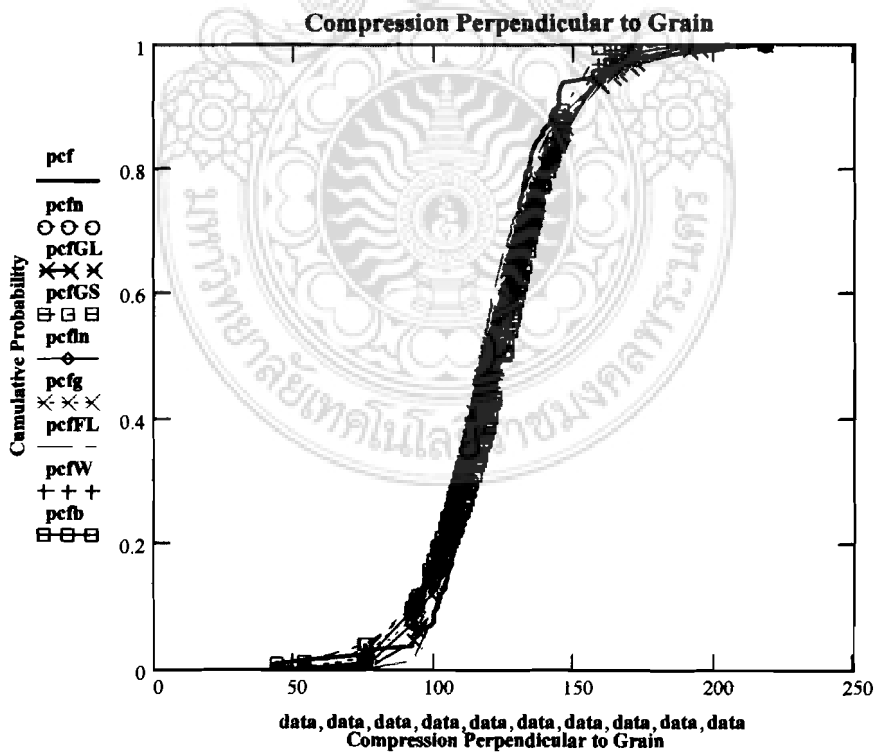
ชั้นที่	กำลังรับแรงอัด (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	44.422 – 93	6	-
2	93 – 110.75	31	-
3	110.75 -128.5	46	-
4	128.5 – 146.25	39	-
5	146.25 – 146	2	-
6	146 – 218.217	6	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov - Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบล การแจกแจงลอกปรกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเซต และการแจกแจงแบบปรกติให้ค่าเป็น 0.085, 0.088, 0.093, 0.099 และ 0.110 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้จามจรี ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การการแจกแจงชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบลมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงชนิดที่หนึ่งแบบกุ่มเบลมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงลอกปรกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟรเซต และการแจกแจงแบบปรกติก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.9 และ ๑.10 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๙ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงอัดตั้งฉากเส้นของไม้จามจู้รี้ กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคก้าลึงสอง



รูปที่ ๑.๑๐ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงอัดตั้งฉากเส้นกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

จ.2.3 การทดสอบแรงดัด (Modulus of Elasticity) MOE

การทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ) ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.11

ตารางที่ จ.11 ค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรี

52698	56009	45948	41141	48690	51459	45938	46374	52977	41286
39257	53699	51927	43895	56113	32594	53202	43269	35302	47644
43216	36288	50052	38951	60604	53647	36083	45902	40596	47147
38064	49930	53690	57807	38316	46153	60172	62360	59087	41711
26828	63089	45705	62458	56257	40144	56310	35151	59659	54154
34701	43386	45583	63244	56572	42028	52757	35758	57035	46639
67750	55287	46469	61195	69117	52252	49918	66701	65977	50505
51832	57160	40375	64596	65437	55513	50119	45147	54639	34584
48828	64628	69015	59055	60776	74095	53672	40563	31423	45877
40806	35296	70207	50967	51587	38198	47677	63462	51087	56594
50371	47476	51658	53685	53862	59942	58884	51517	53132	38548
29400	39381	58835	48124	32547	48218	75011	50117	58574	35102
60549	26725	59411	49600	48479	48312	37316	45495	51366	43046

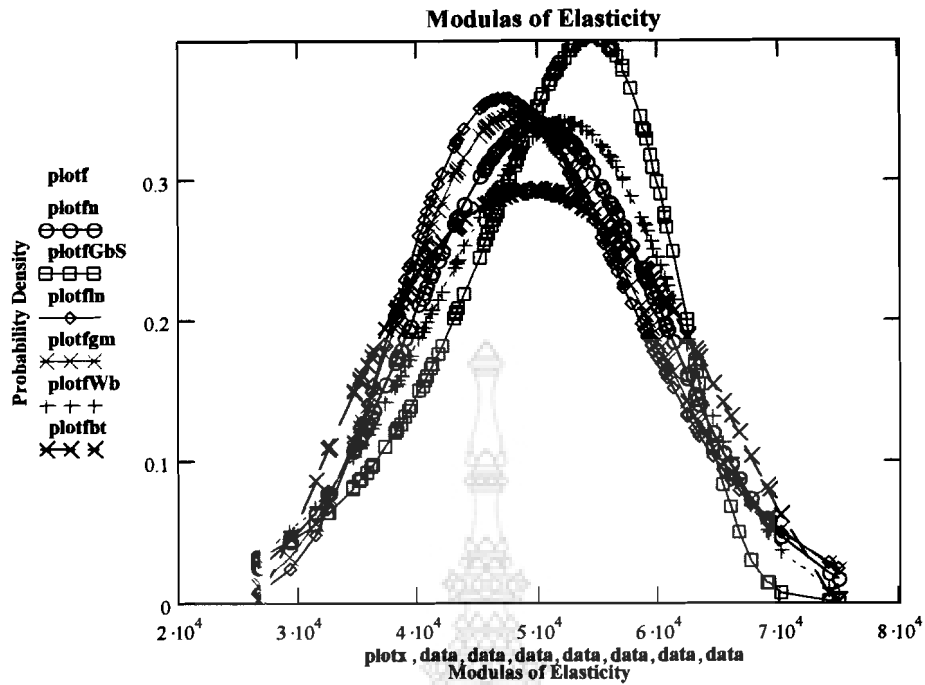
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 4.999×10^4 และ 1.012×10^4 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 109 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.639$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง มี 4 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงแบบแกมมา แสดงในตารางที่ จ.12

ตารางที่ จ.12 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจุรี

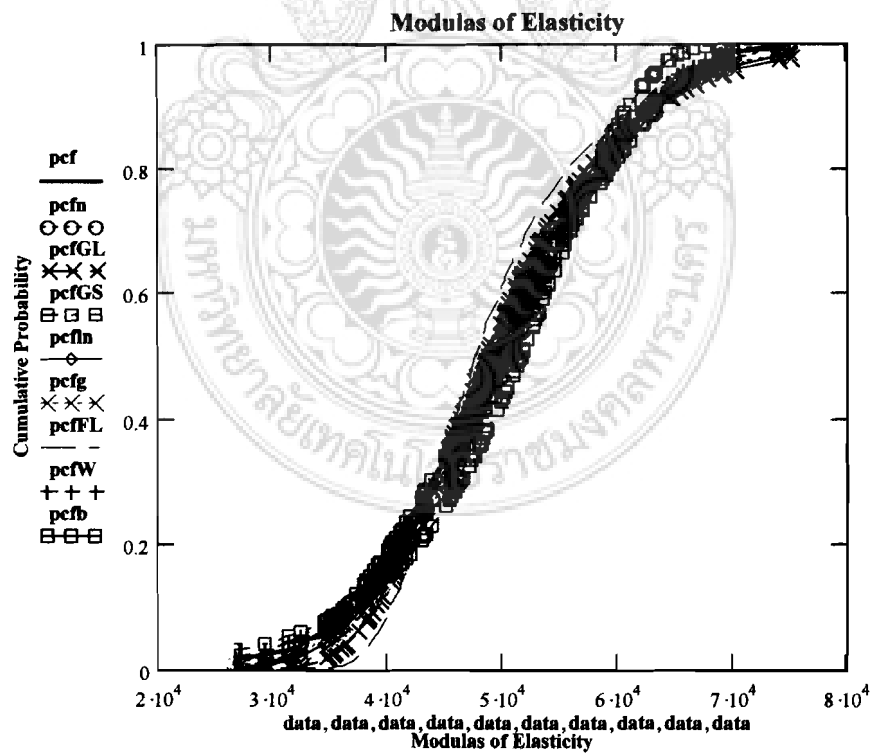
ชั้นที่	กำลังแรงดัด $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Beta	ความถี่ normal	ความถี่ Weibull	ความถี่ Gamma
1	2.671 – 3.26	6	4.603	5.580	7.032	3.724
2	3.26 – 4.125	23	24.211	19.624	17.964	21.924
3	4.125 – 4.99	31	36.331	39.293	36.049	42.352
4	4.99 -5.855	41	35.615	39.600	42.217	36.917
5	5.855 – 6.72	23	23.405	20.087	22.718	17.971
6	6.72 – 7.501	6	5.831	4.936	3.826	5.361
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			2.092	3.063	3.543	6.420

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงปกติ การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟร์เชต์ การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงลอกปรกติมีค่าเป็น 0.035, 0.051, 0.053, 0.054 และ 0.067 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชนิดปฐมภูมิของกำลังรับแรงดัดไม้จามจุรี การแจกแจงแบบบีตา มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแบบบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปกติและการแจกแจงบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงค่าสูงสุดชนิดที่สองแบบเฟร์เชต์ การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบแกมมาและการแจกแจงลอกปรกติก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ชนิดปฐมภูมิ ของกำลังรับแรงดัด ของไม้จามจุรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.11 และ จ.12 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๑๑ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น(ปฐมภูมิ)^๒ ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบใดกำลังสอง



รูปที่ ๑.๑๒ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (ปฐมภูมิ)^๒ กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² (Modulus of Rupture) MOR ของไม้จามจรี
จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.13

ตารางที่ จ.13 ค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรี

421.317	389.215	389.994	396.077	330.811	403.253	410.339	378.845	378.238	367.888
379.749	444.354	351.828	361.988	583.276	502.487	497.409	328.172	350.911	408.343
440.118	410.339	332.150	352.696	546.745	284.094	417.823	434.374	417.991	283.225
381.696	446.973	446.287	475.227	417.793	367.294	402.519	462.233	472.262	352.838
432.748	341.562	496.259	412.688	440.860	372.101	544.897	326.969	474.327	508.250
436.688	409.952	355.733	323.573	535.205	412.240	562.462	238.356	355.943	424.547
366.780	434.005	347.568	322.056	568.339	327.807	328.350	474.718	438.961	538.499
443.845	371.229	337.509	373.277	350.151	438.802	352.160	309.720	436.072	330.909
347.807	423.978	581.421	296.790	263.597	330.271	301.674	413.895	354.777	417.937
487.451	322.782	510.241	341.701	384.888	361.885	378.206	315.417	428.874	365.157
372.861	389.735	480.146	399.502	332.991	435.811	345.251	403.795	367.019	376.313
333.018	212.940	418.208	357.318	395.785	396.461	432.494	325.724	389.887	448.333
299.814	126.929	304.731	424.137	305.827	334.661	399.544	435.456	317.117	330.867

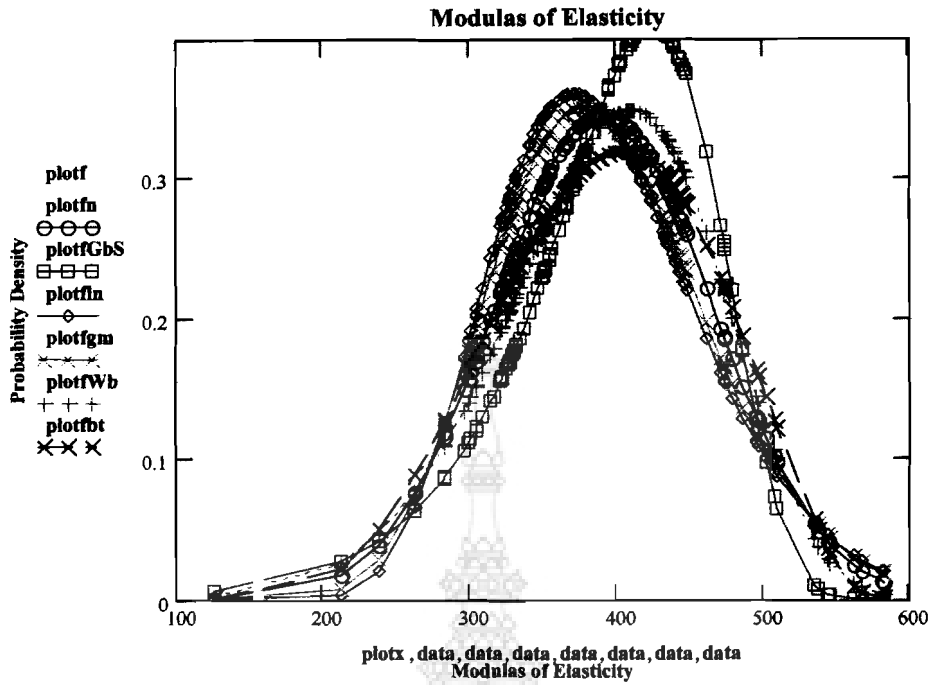
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 392.59 และ 74.092 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ(n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 95 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.639$) นอกจากนั้น ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่ จากค่าสังเกตในแต่ละช่วงซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha =0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังมี 3 ชนิดได้แก่ การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบแกมมา และการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลแสดงในตารางที่จ.14

ตารางที่ จ.14 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหัก (ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรี

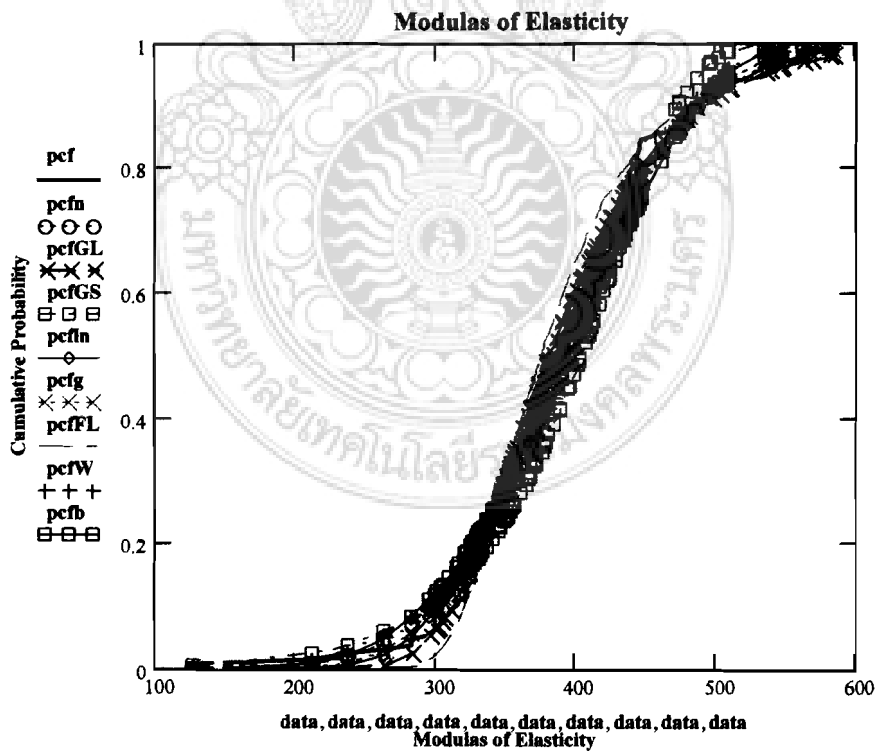
ชั้นที่	หน่วยแรง (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Lognormal	ความถี่ gamma	ความถี่ Gumbel
1	126.86 – 284	5	6.602	7.668	3.284
2	284 – 348.25	31	31.378	29.781	35.495
3	348.25 – 412.5	45	45.195	44.211	48.555
4	412.5 – 476.75	34	30.070	31.412	26.725
5	476.75 – 541	9	12.159	12.801	10.466
6	541 – 583.34	6	2.833	2.755	2.813
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			5.266	6.154	7.519

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็น การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงปรกติและการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีค่าเป็น 0.057, 0.059 0.063, 0.072 และ 0.082 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสแตกหักชนิดปฐมภูมิของไม้จามจรี การแจกแจงแบบลอกปรกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแบบลอกปรกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบลอกปรกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงปรกติและการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชนิดปฐมภูมิ ของกำลังรับแรงดัดของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.13 และ จ.14 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.13 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² ของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.14 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ปฐมภูมิ)² กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ (Modulus of Elasticity) MOE ของไม้จามจรี
จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.15

ตารางที่ จ.15 ค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (ทุติยภูมิ)³ ของไม้จามจรี

43425	44947	44715	49240	39481	54165	50755	49230	47404	48233
52600	47410	52232	55567	58669	43122	51736	37617	51471	45478
38727	45928	48450	45463	48146	53681	43592	48771	48180	46644
67705	67283	67353	75569	54183	48121	58662	47871	63583	36637
60941	73932	42146	34056	60011	62559	69013	53517	55360	42358
50710	43791	60832	75881	47500	54693	42223	45401	46963	53867
49321	39296	41792	30573	46470	36592	52596	42774	23504	36697
35819	56561	56879	53344	40249	51438	46886	58277	47826	33927
64358	32692	56228	45522	46553	55740	50556	57567	51732	47110
68330	51078	24900	50719	54265	34295	45536	45536	44420	49893
50025	47075	45825	54126	48339	41188	34647	43262	52614	51529
49053	42628	60942	49738	43909	56176	42658	52347	49521	60429
54595	46908	46778	55706	37436	56559	43297	50140	55506	38409

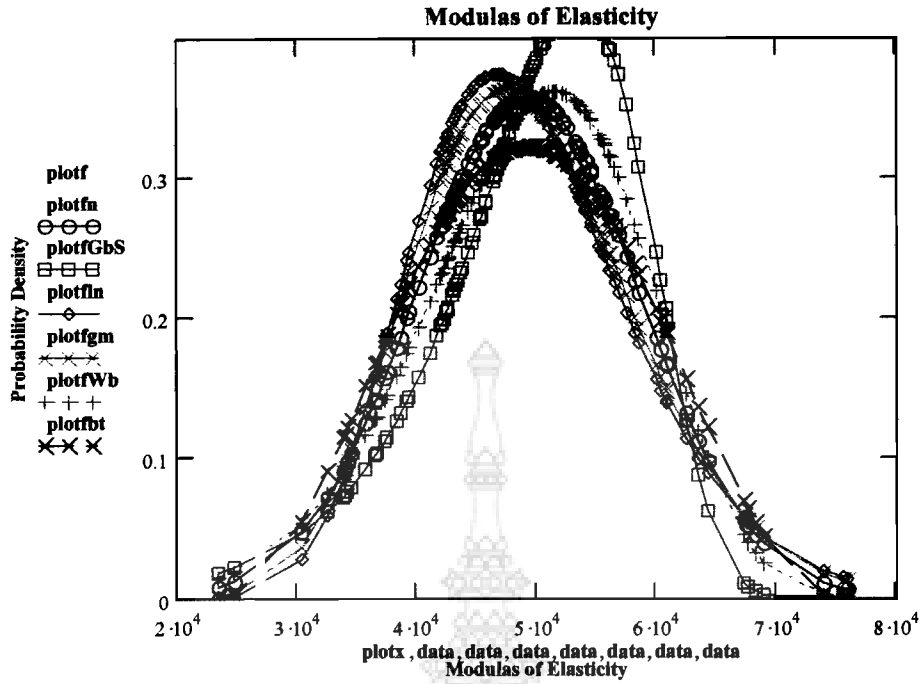
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 4.936×10^4 และ 9.327×10^3 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ n_{req} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 95 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงแบบลอกปรกติ และการแจกแจงแบบแกมมาแสดงในตารางที่ จ.16

ตารางที่ ๑.16 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบโมดูลัสยี่ดหุ่่น (ทุติยภูมิ)² ของไม้จามจรี

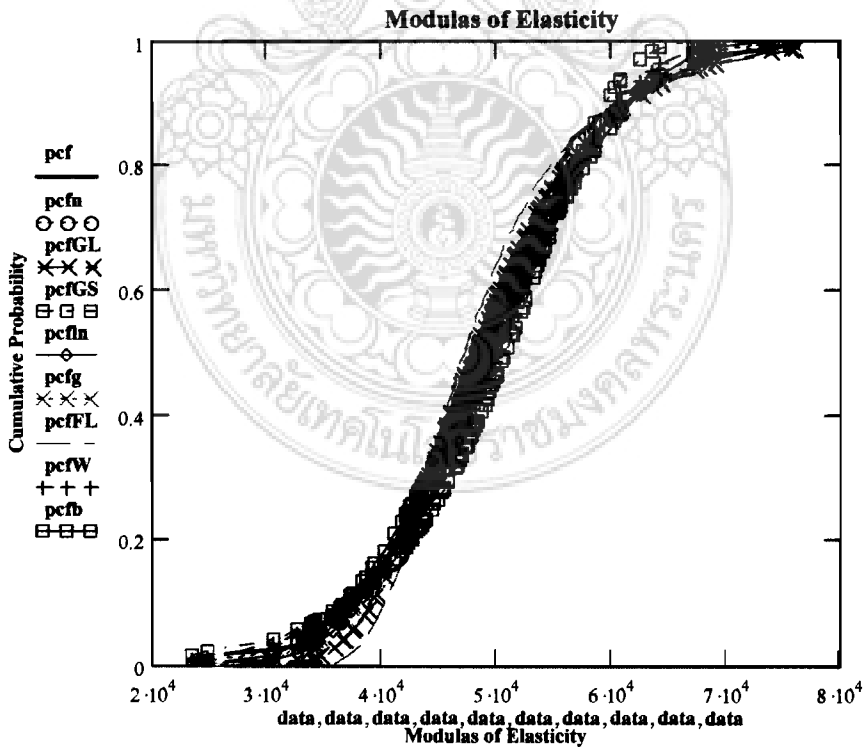
ชั้นที่	กำลังแรงดัด $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Lognormal	ความถี่ Gamma
1	2.349 – 3.40	5	3.760	4.745
2	3.40 – 4.237	19	26.842	25.751
3	4.237 – 5.075	54	46.813	45.334
4	5.075 – 5.912	36	33.707	34.982
5	5.912 – 6.75	10	13.829	14.603
6	6.75 – 7.588	6	3.951	3.803
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			6.080	6.189

จากการทดสอบ K-S(Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงปกติ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าเป็น 0.058, 0.062, 0.069, 0.077 และ 0.082 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยี่ดหุ่่นชนิดทุติยภูมิของไม้จามจรี การแจกแจงแบบลอกปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงปกติให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปกติและการแจกแจงแบบลอกปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤตทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสยี่ดหุ่่น ชนิดทุติยภูมิ ของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.15 และ ๑.16 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.15 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (หุติยภูมิ)³ ของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.16 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น กับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบโมดูลัสแตกหัก(ทุติยภูมิ)³ (Modulus of Rupture ; MOR) ของไม้จามจรี

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ๑.17

ตารางที่ ๑.17 ค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก (ทุติยภูมิ)³ ของไม้จามจรี

424.191	427.508	482.247	341.578	349.456	357.504	412.771	379.529	402.820	437.771
343.830	386.116	392.572	413.057	325.222	389.423	378.474	409.059	436.016	351.994
413.928	355.802	383.350	401.761	346.298	465.324	462.055	383.957	469.010	387.866
315.059	415.973	423.646	463.225	387.012	487.559	338.964	394.007	472.945	431.192
426.577	475.202	417.961	374.322	404.571	386.130	457.118	393.279	526.510	403.532
309.366	450.080	392.248	407.320	326.080	450.319	403.765	463.340	545.562	520.171
391.180	376.882	393.343	247.579	300.640	413.692	369.895	376.753	281.938	406.484
171.512	428.622	425.176	209.412	521.572	263.609	506.124	170.450	480.760	173.879
443.528	253.743	511.586	226.545	353.369	371.000	243.816	305.787	519.381	311.273
437.651	544.599	374.297	443.029	481.929	280.865	299.192	481.538	436.956	351.246
403.264	441.298	361.702	479.824	314.572	349.781	446.758	372.460	428.385	382.998
210.253	354.749	407.432	361.327	480.314	355.761	479.274	320.885	409.756	318.965
411.030	628.228	258.571	345.776	387.573	477.946	372.769	451.060	371.396	403.031

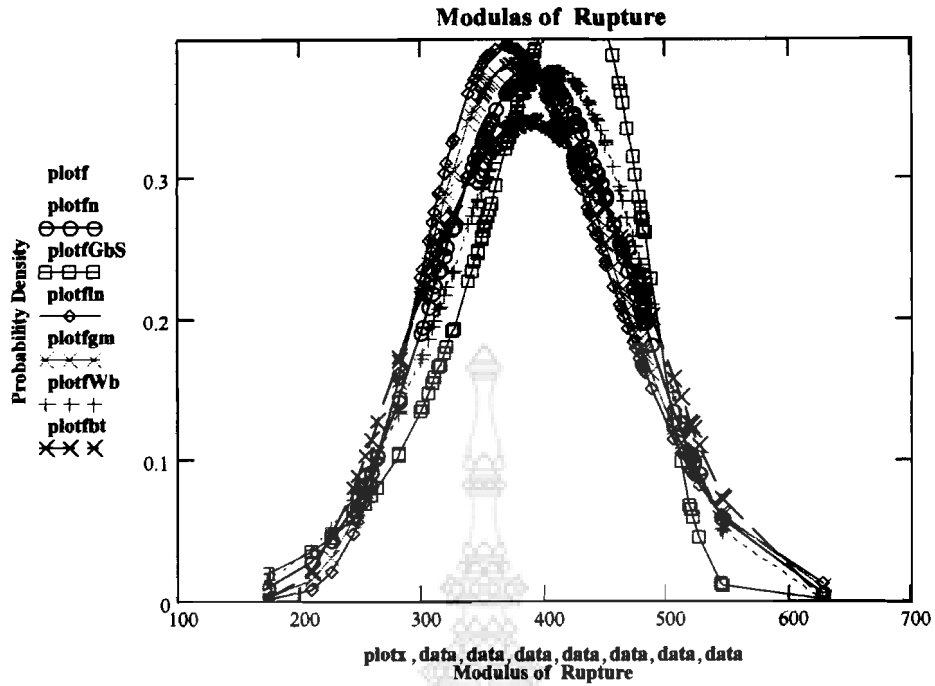
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 391.85 และ 79.614 กก./ชม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 110 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=6$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองพบว่ามีค่าความถี่การแจกแจงจากข้อมูลชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ๑.18

ตารางที่ ๑.18 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหัก ของไม้จามจรี

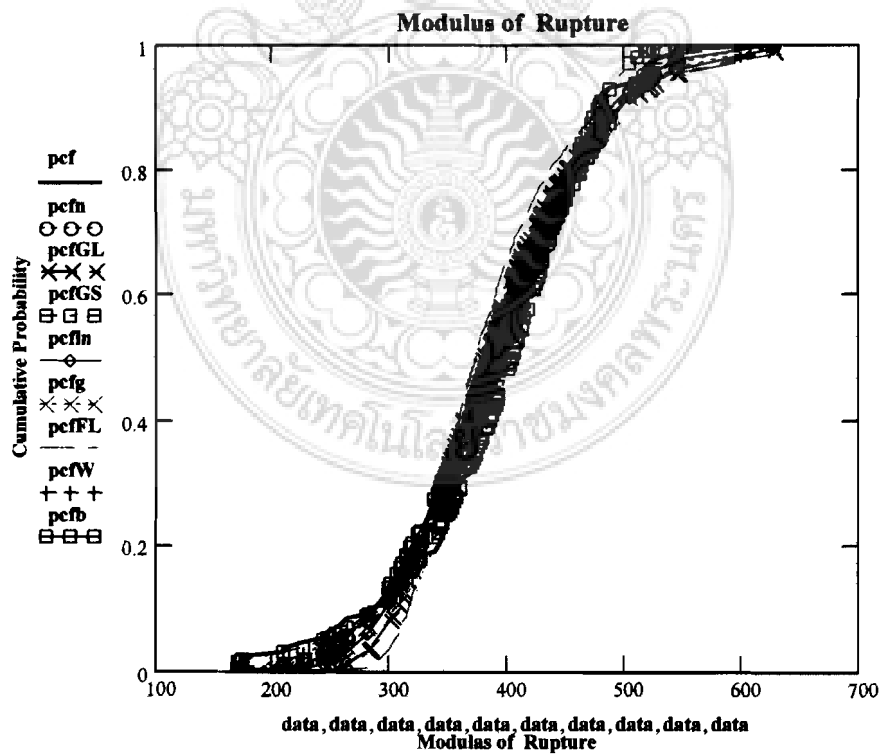
ชั้นที่	กำลังแรงคัต (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	170.375 – 219	5	-
2	219 – 294	8	-
3	294 – 369	27	-
4	369 – 444	60	-
5	444 – 519	23	-
6	519 – 628.303	7	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงแบบแกมมามีค่าเป็น 0.054, 0.075, 0.087, 0.088 และ 0.100 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นว่าค่าโมดูลัสแตกหักชนิดทุติยภูมิของไม้จามจรี ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตจากทั้งสองการทดสอบ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบบีตา และการแจกแจงแบบแกมมาก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าโมดูลัสแตกหักชนิดทุติยภูมิ ของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.17 และ ๑.18 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๑๗ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบโมดูลัสแตกหักของไม้จามจूरีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๑.๑๘ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบแรงดัดโมดูลัสแตกหักกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

จ 2.4 การทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น (Tension Parallel to Grain)

ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.19

ตารางที่ จ.19 ค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้จามจรี

551.12	529.95	472.22	593.76	598.75	446.01	524.65	545.29	548.32	566.89
468.14	517.69	517.32	533.51	328.37	420.94	492.01	564.80	543.27	533.51
388.33	474.14	414.50	384.33	515.67	410.88	355.96	500.10	420.67	459.28
624.24	623.23	509.14	533.23	473.58	509.12	429.28	467.07	408.47	571.61
563.67	368.71	545.49	347.76	525.67	501.17	478.45	503.48	438.68	451.25
454.27	542.39	615.74	451.75	543.25	489.05	457.56	422.38	562.18	464.83
488.41	484.54	514.24	463.88	551.72	583.69	426.50	465.33	428.90	456.94
481.02	301.68	665.18	456.92	570.18	443.18	538.69	516.93	531.11	467.43
491.17	544.08	505.45	484.82	475.21	496.33	482.73	528.63	454.02	665.77
490.13	508.91	475.92	522.39	329.93	499.42	492.37	530.43	506.81	457.32
503.62	482.27	432.99	598.56	432.68	508.41	495.53	396.38	562.11	550.94
522.95	493.94	600.12	509.50	411.21	527.35	354.50	493.44	470.77	436.25
460.43	495.43	500.72	498.85	387.67	472.55	534.83	501.43	513.79	556.14

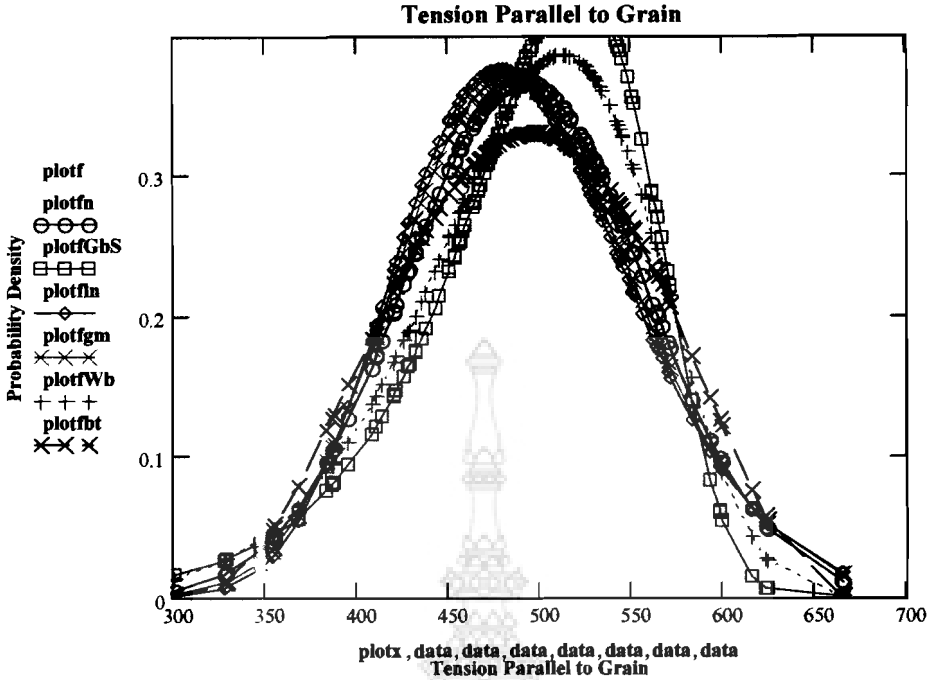
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 492.159 และ 65.769 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์และการแจกแจงปกติ แสดงในตารางที่ จ.20

ตารางที่ จ.20 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้จามจรี

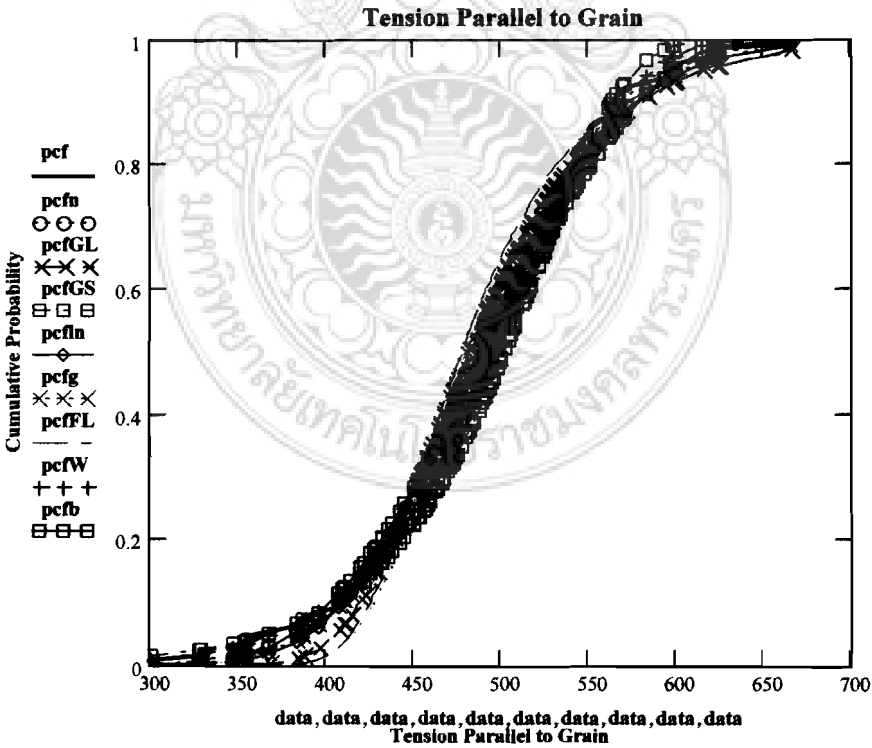
ชั้นที่	กำลังแรงดึง (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Weibull	ความถี่ Normal
1	301.619 – 356	6	4.322	2.497
2	356 – 416.75	9	12.480	13.853
3	416.75 – 477.5	35	31.714	37.184
4	477.5 – 538.25	51	48.240	45.041
5	538.25 – 599	23	29.486	24.645
6	599 – 665.83	6	3.715	6.239
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			4.946	7.646

จากการทดสอบ K-S(Kolmogorov - Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงลอกปกติ และการแจกแจงบีตามีค่าเป็น 0.051, 0.060, 0.064, 0.065 และ 0.067 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้จามจรี การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์และการแจกแจงปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแกมมา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงลอกปกติ และการแจกแจงบีตามีค่าสามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.19 และ จ.20 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.19 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้จามจรี กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.20 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นกับ ฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบแรงดึงในแนวขนานเส้น (E) (Tension Parallel to Grain)

ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.21

ตารางที่ จ.21 แรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้จามจรี (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E)

13121.79	15725.39	14223.56	13194.57	11975.10	18279.28	15995.32	17819.93	17630.76	15703.42
10266.25	26014.69	16370.89	12793.98	16753.81	14220.83	12269.60	13708.72	17356.84	16672.33
14172.75	18377.44	14392.36	13438.23	13021.89	20340.46	20457.75	11238.11	18450.43	13917.57
10634.37	15698.41	21302.92	16715.58	17035.21	15107.43	13758.86	21327.39	19267.30	12903.25
15193.14	15235.89	14317.22	15319.67	15148.90	12916.67	10401.11	11416.73	13333.72	14463.14
15398.98	18079.66	18110.07	15795.39	11861.36	11426.47	13740.40	12760.57	16781.62	12769.99
13454.71	11846.85	21337.74	15209.21	14443.04	17959.77	16094.19	11349.59	16885.64	12944.60
11032.48	10123.56	13119.85	16318.63	15838.21	15177.35	14250.93	13153.38	11157.80	14382.42
13530.97	12337.52	10686.14	14871.78	15580.50	12958.93	14807.58	12893.33	10225.57	14696.88
11614.47	10874.20	12897.69	12408.27	12265.06	11073.52	13753.38	21132.86	13302.10	17864.10
14944.18	10089.32	11305.12	12927.81	12954.48	11198.54	13958.50	15014.37	16729.32	11289.76
12540.79	10622.29	13827.56	9017.70	17205.65	12350.04	13129.53	11720.70	13566.91	13464.38
12278.26	13723.71	15696.59	14628.99	14684.60	18977.84	14074.56	11370.37	11443.00	12063.78

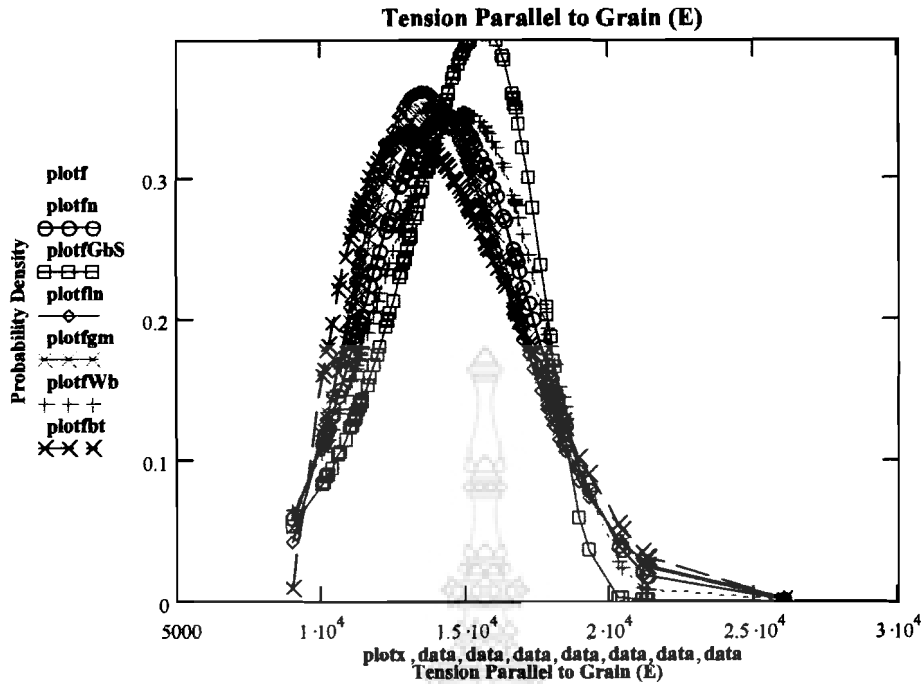
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1.437×10^4 และ 2.85×10^3 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 105 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสองจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลการแจกแจงแบบลอกปรกติและการแจกแจงเรย์ลีย์ แสดงในตารางที่ จ.22

ตารางที่ จ.22 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงดึงในแนวนานเส้นของไม้จามจรี(ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E)

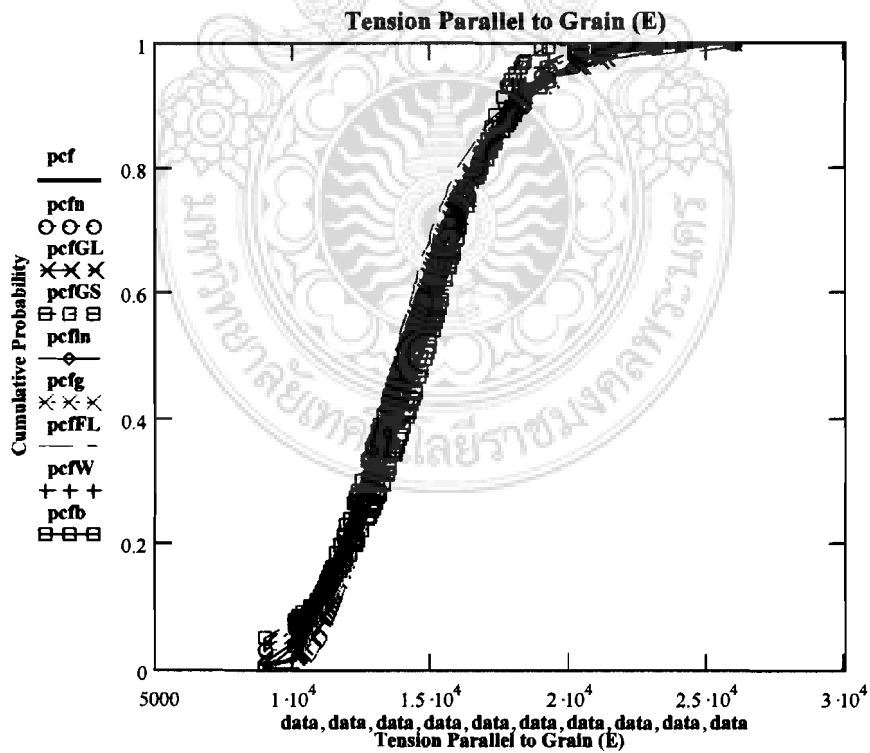
ชั้นที่	กำลังแรงดึง $\times 10^4$ (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Gumbel	ความถี่ Lognormal	ความถี่ Rayleigh
1	0.901 -1.04	5	4.583	7.931	6.370
2	1.04 - 1.287	33	38.641	33.951	35.721
3	1.287 - 1.535	53	47.249	44.833	42.615
4	1.535 - 1.782	23	24.903	28.104	28.383
5	1.782 - 2.03	9	9.614	11.017	12.334
6	2.03 - 2.60	7	4.615	4.041	4.508
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			2.978	6.059	6.331

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงเรย์ลีย์ และการแจกแจงแบบปรกติมีค่าเป็น 0.041, 0.046, 0.053, 0.055, และ 0.080 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเส้นของไม้จามจรี การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงลอกปรกติ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลและการแจกแจงลอกปรกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงเรย์ลีย์และการแจกแจงแบบปรกติก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเส้นของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.21 และ จ.22 ตามลำดับ



รูปที่ ๙.๒๑ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้จามจรี กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๙.๒๒ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวขนานเส้นของไม้ พดกษกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

จ 2.5 การทดสอบแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้น (Tension Perpendicular to Grain)
ของไม้จามจรีจำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.23

ตารางที่ จ.23 แรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นของไม้จามจรี

29.32	28.67	32.60	34.04	34.02	27.85	29.69	37.57	30.87	36.83
31.54	31.91	32.92	32.79	28.40	34.94	22.61	31.26	40.59	22.77
41.52	32.82	26.33	26.51	23.45	30.70	33.16	29.95	34.11	17.87
42.06	31.84	44.32	30.07	38.40	35.51	39.74	30.76	38.33	29.73
37.86	38.25	40.20	37.59	38.50	40.97	33.76	28.43	38.94	34.76
39.97	33.74	30.15	31.46	32.29	40.04	39.47	28.17	30.26	42.46
32.35	36.25	34.89	22.43	39.68	33.49	39.62	32.81	28.93	33.09
36.06	38.21	39.78	30.84	40.78	29.93	39.00	38.95	41.59	36.55
28.82	28.75	39.52	39.94	36.87	31.46	34.04	28.73	31.10	38.83
28.81	35.92	37.86	34.73	38.40	28.77	40.37	21.91	37.67	40.79
37.61	28.25	39.29	42.11	31.96	35.07	35.78	29.30	35.55	33.98
25.83	34.13	41.09	33.70	34.36	30.71	29.27	25.19	35.84	40.07
26.30	43.50	37.87	39.71	30.00	25.88	38.10	34.80	34.31	41.91

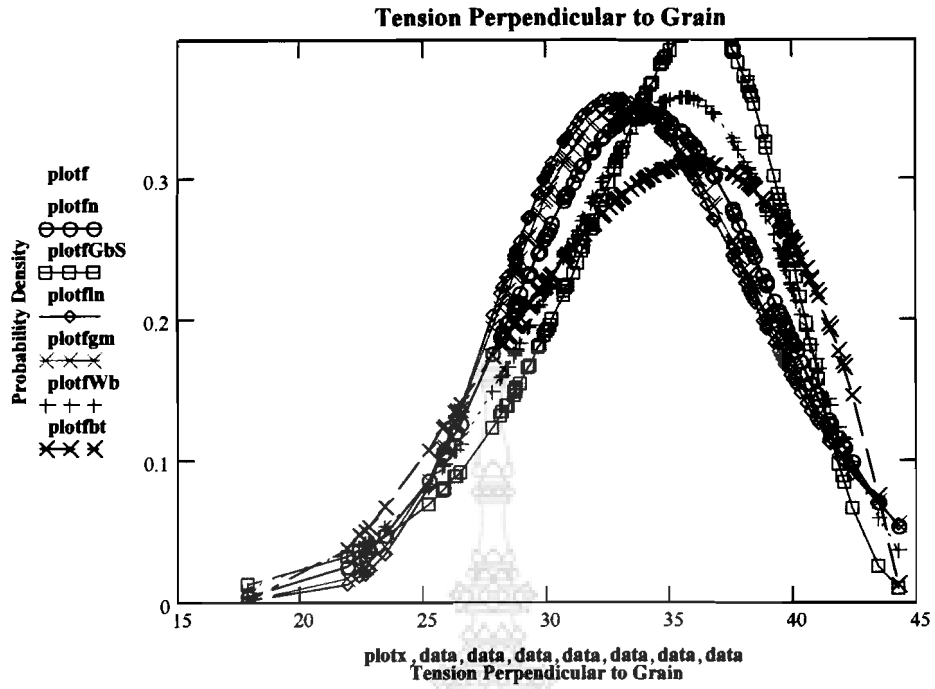
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 34.043 และ 5.298 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 64 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัด ช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงค่าสุดขั้วที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงปีตาแสดงในตารางที่ จ.24

ตารางที่ จ.24 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าแรงดึงในดิ่งจากเสี้ยนของไม้จามจรี

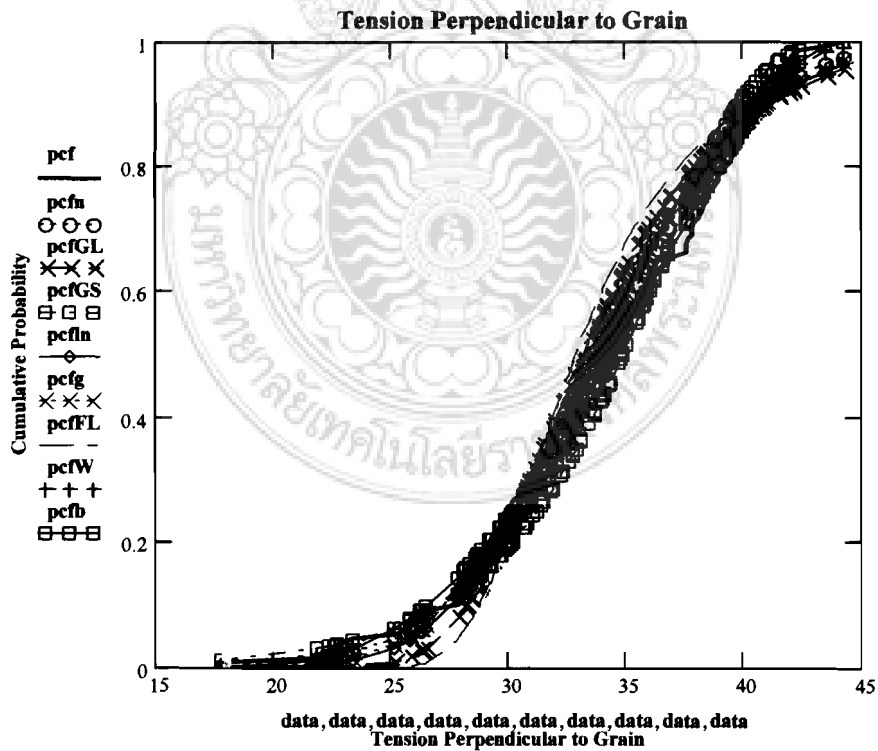
ชั้นที่	กำลังแรงดึง (ksc)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Weibull	ความถี่ Beta
1	17.865 – 23.2	5	4.309	3.285
2	23.2 – 27.825	7	12.018	15.168
3	27.825 – 32.45	38	29.262	29.881
4	32.45 – 37.075	35	44.814	39.349
5	37.075 – 41.7	39	32.477	34.477
6	41.7 – 44.32	6	5.836	7.836
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			8.279	9.003

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดการแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบปรกติ และการแจกแจงแบบแกมมามีค่าเป็น 0.047, 0.069, 0.082, 0.085 และ 0.095 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเสี้ยนของไม้จามจรี การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแบบบีตา มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบบีตาและการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบปรกติ และการแจกแจงแบบแกมมาก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติทั้งสองการทดสอบและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงดึงในแนวตั้งจากเสี้ยนของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง และการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.23 และ จ.24 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๒๓ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นของไม้
จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง



รูปที่ ๑.๒๔ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากเส้นกับ
ฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.6 การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยน (Shear Parallel to Grain)

จำนวน 130 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ จ.25

ตารางที่ จ.25 การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยน

81.20	81.90	189.50	139.70	164.20	151.00	79.70	171.30	132.50	108.80
146.10	171.20	90.40	136.20	142.10	175.40	175.40	169.90	151.10	151.60
77.70	92.50	70.10	114.30	134.90	163.20	166.80	113.80	84.10	137.20
125.30	117.30	123.80	123.60	144.30	131.10	145.20	125.50	131.40	128.30
98.90	115.00	131.80	132.50	116.50	142.70	130.70	148.10	112.40	137.30
156.60	134.00	154.60	138.50	120.40	101.50	124.30	126.80	98.90	103.70
124.60	124.60	86.60	96.60	127.00	148.00	142.20	124.60	124.30	136.90
137.70	144.30	148.50	119.20	127.50	142.50	127.90	142.70	152.60	126.30
161.90	125.50	110.20	123.30	137.40	134.60	107.90	112.70	112.00	90.20
139.00	146.90	127.80	131.20	128.00	153.70	122.60	143.20	124.60	156.90
114.30	109.20	137.70	137.70	144.60	119.60	129.20	149.40	106.30	109.70
160.90	141.40	148.50	130.90	133.60	119.90	135.30	138.10	119.60	111.60
136.20	131.40	138.10	147.20	96.20	117.70	161.20	123.30	105.30	129.50

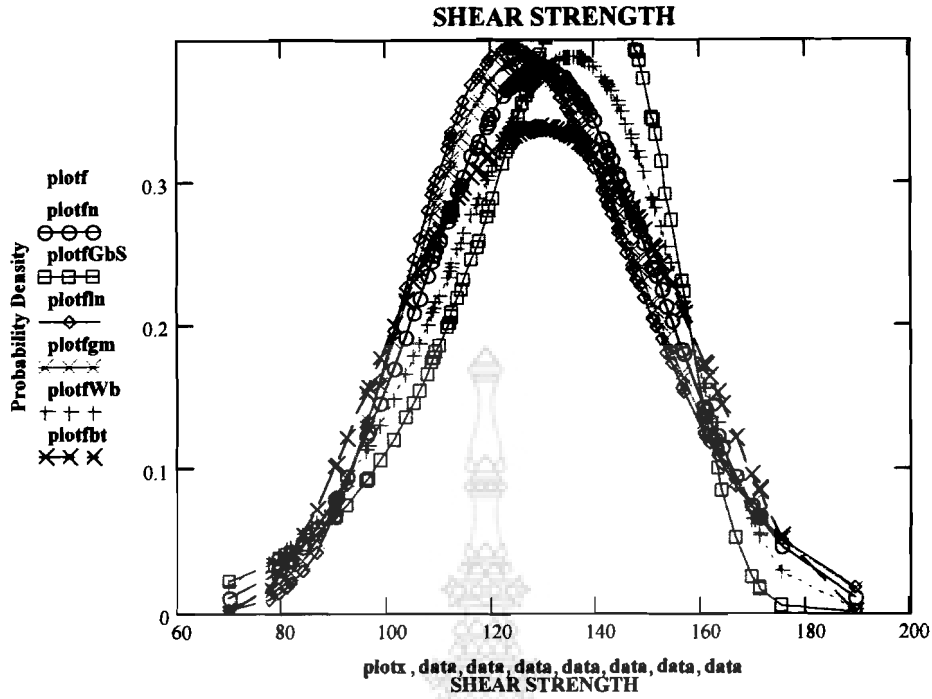
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 129.712 และ 22.186 กก./ซม.² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 78 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองจำนวน 2 ชนิด มีการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์และการแจกแจงปกติ แสดงในตารางที่ จ.26

ตารางที่ จ.26 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยน

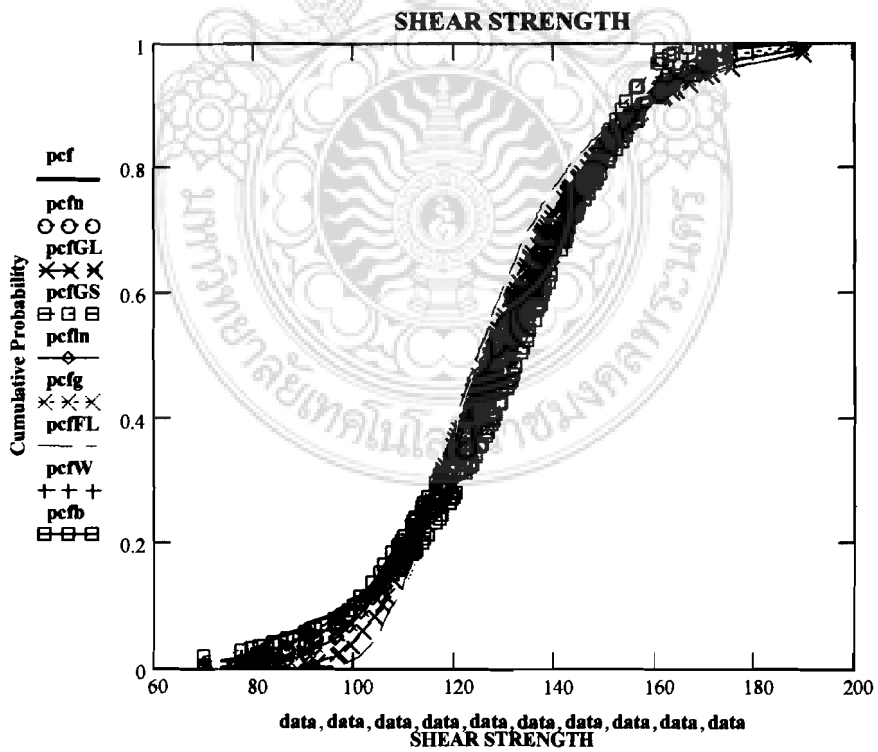
ชั้นที่	กำลังแรงเฉือน (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Weibull	ความถี่ Normal
1	7.078 – 83	5	3.807	2.345
2	83 – 104.25	11	13.304	14.115
3	104.25 – 125.5	35	34.152	38.795
4	125.5 – 146.75	52	48.556	45.847
5	146.75 – 168	21	26.899	23.320
6	168 – 189.52	6	3.250	5.103
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			4.658	5.278

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงบีตาและการแจกแจงแกมมามีค่าเป็น 0.058, 0.071, 0.079, 0.083 และ 0.092 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้จามจรีการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแบบปรกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงบีตาและการแจกแจงแกมมาก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสอง การทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.25 และ จ.26 ตามลำดับ



รูปที่ จ.25 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ จ.26 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเส้นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.7 การทดสอบการฉีกขาดของไม้ (Cleavage)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ง.27

ตารางที่ ง.27 การทดสอบการฉีกขาดของไม้จามจรี

76.00	73.12	74.52	68.78	72.60	70.46	65.16	67.82	58.62	80.74
59.62	74.08	82.04	65.42	59.54	62.98	52.38	58.28	50.24	65.42
57.32	82.04	71.42	56.54	57.46	55.02	73.36	52.64	60.64	52.38
78.94	57.02	57.98	69.82	59.20	56.28	54.68	86.62	55.34	66.84
51.18	51.68	57.88	80.04	69.18	80.86	50.06	60.90	88.12	54.94
53.18	56.80	59.94	59.50	55.84	53.44	56.10	51.50	59.12	61.88
50.06	53.32	83.04	84.26	47.80	73.66	83.48	51.02	76.56	69.82
59.54	64.52	73.62	52.72	63.32	59.46	69.52	77.52	87.16	81.34
58.20	84.20	49.58	80.38	70.08	56.76	65.22	63.52	54.88	81.26
60.66	43.32	51.02	43.80	83.04	48.14	53.92	49.34	81.86	59.22
65.00	83.78	81.86	85.00	80.64	72.66	75.10	57.76	42.84	86.68
73.42	62.58	72.70	49.38	47.90	58.02	42.60	60.18	44.76	61.38
50.54	70.78	45.72	50.54	86.18	81.34	87.16	52.46	67.62	57.06

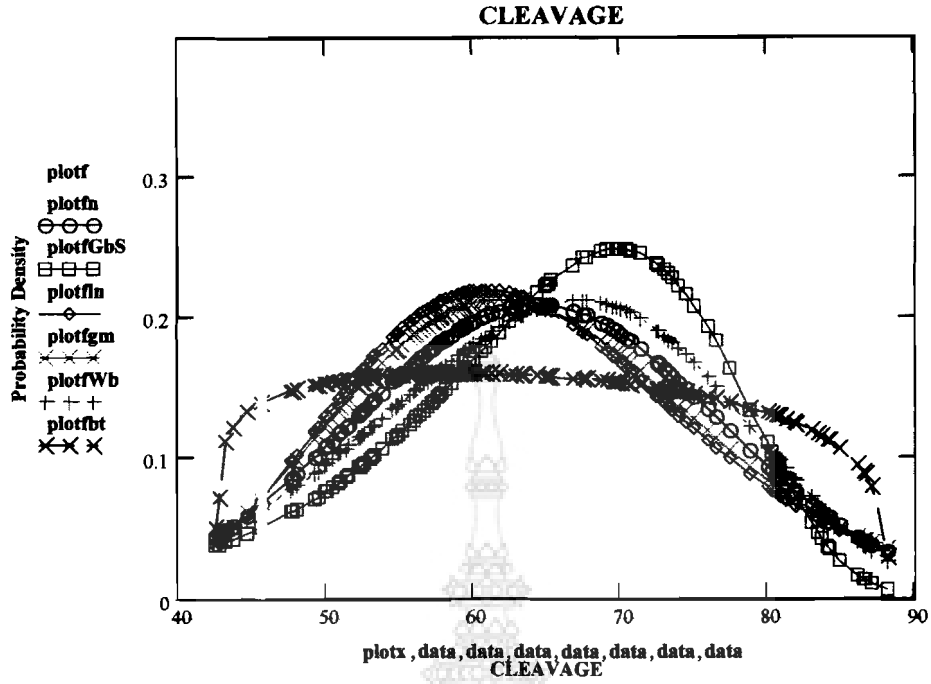
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 64.348 และ 12.355 กก./ซม² ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 98 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่ จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่าไม่มีค่าความถี่การแจกแจงจากข้อมูลชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ง.28

ตารางที่ จ.28 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบการฉีกขาดของไม้จามจรี

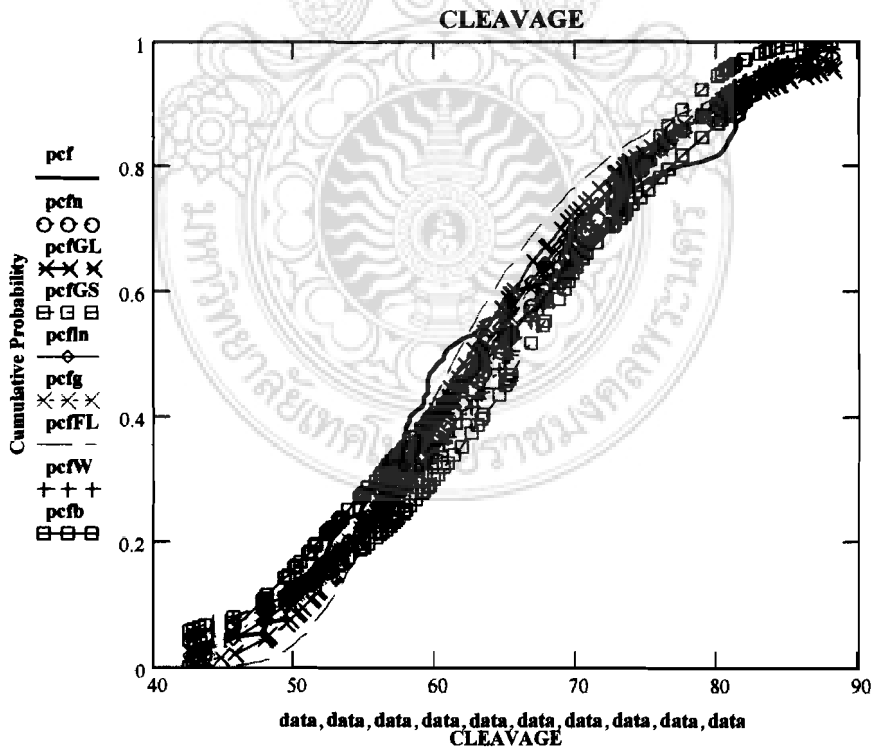
ชั้นที่	กำลังแรงฉีก (ksc)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	42.59 – 49.1	9	-
2	49.1 – 55.6	27	-
3	55.6 – 62.2	32	-
4	62.2 – 68.6	13	-
5	68.6 – 75.1	20	-
6	75.1 – 81.6	12	-
7	81.6 – 88.12	17	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบแกมมาและการแจกแจงเอกรูปมีค่าเป็น 0.084, 0.087, 0.089, 0.097 และ 0.105 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าการฉีกขาดของไม้จามจรี ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงแบบบีตาให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จากการทดสอบ K-S ในขณะที่ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบแกมมาและการแจกแจงเอกรูปก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าการฉีกขาดของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.27 และ จ.28 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๒๗ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบการศึกษาดของไม้
จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๑.๒๘ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบการศึกษาดของไม้
จามจุรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.8 ค่าการทดสอบความเหนียว (Toughness)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.29

ตารางที่ จ.29 ค่าการทดสอบความเหนียว

391.48	439.44	423.81	340.44	469.63	423.81	374.81	407.82	322.76	248.88
267.81	439.44	374.81	322.76	340.44	340.44	340.44	286.44	374.81	484.18
391.48	286.44	340.44	304.76	525.57	248.88	374.81	322.76	357.79	469.63
391.48	439.44	423.81	340.44	469.63	423.81	374.81	407.82	322.76	248.88
267.81	439.44	374.81	322.76	340.44	322.76	322.76	340.44	286.44	374.81
391.48	286.44	340.44	304.76	248.88	374.81	322.76	357.79	469.63	374.81
407.82	322.76	322.76	248.88	267.81	439.44	374.81	322.76	304.76	286.44
374.81	525.57	484.18	391.48	469.63	469.63	357.79	322.76	374.81	248.88
267.81	304.76	469.63	340.44	286.44	439.44	340.44	439.44	525.57	391.48
439.44	423.81	340.44	469.63	423.81	374.81	340.44	286.44	374.81	484.18
391.48	286.44	340.44	374.81	286.44	248.88	469.63	439.44	423.81	374.81
374.81	322.76	469.63	439.44	423.81	267.81	374.81	286.44	391.48	340.44
322.76	469.63	391.48	286.44	423.81	304.76	248.88	439.44	304.76	322.76

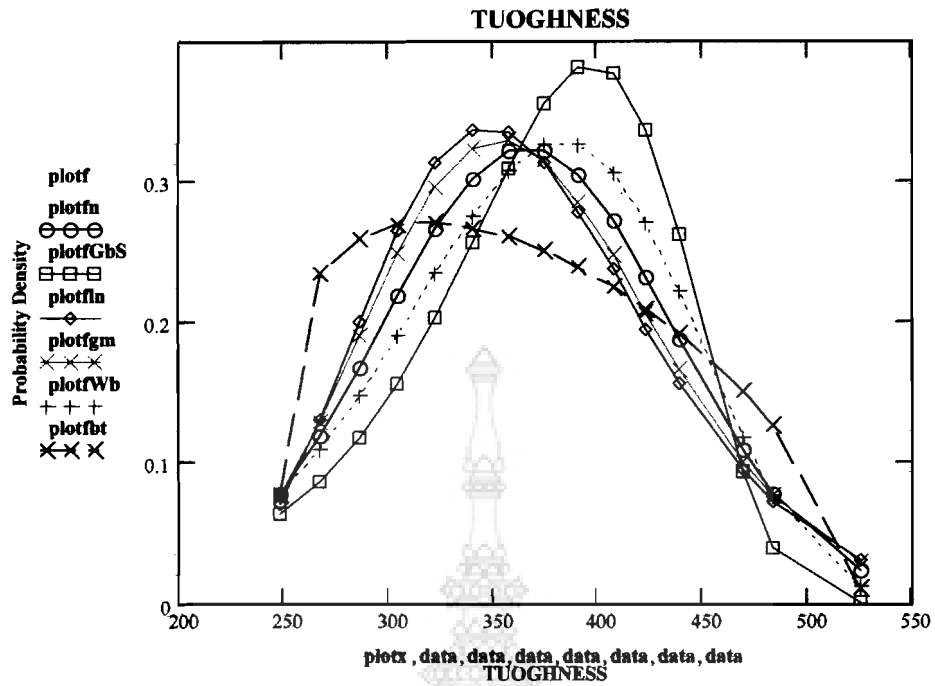
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 366.67 และ 69.682 กก./ชม². ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่า ข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 96 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่ จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคก้าถึงสอง 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์และการแจกแจงปกติ แสดงในตารางที่ จ.29

ตารางที่ ๑.29 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความเหนียว

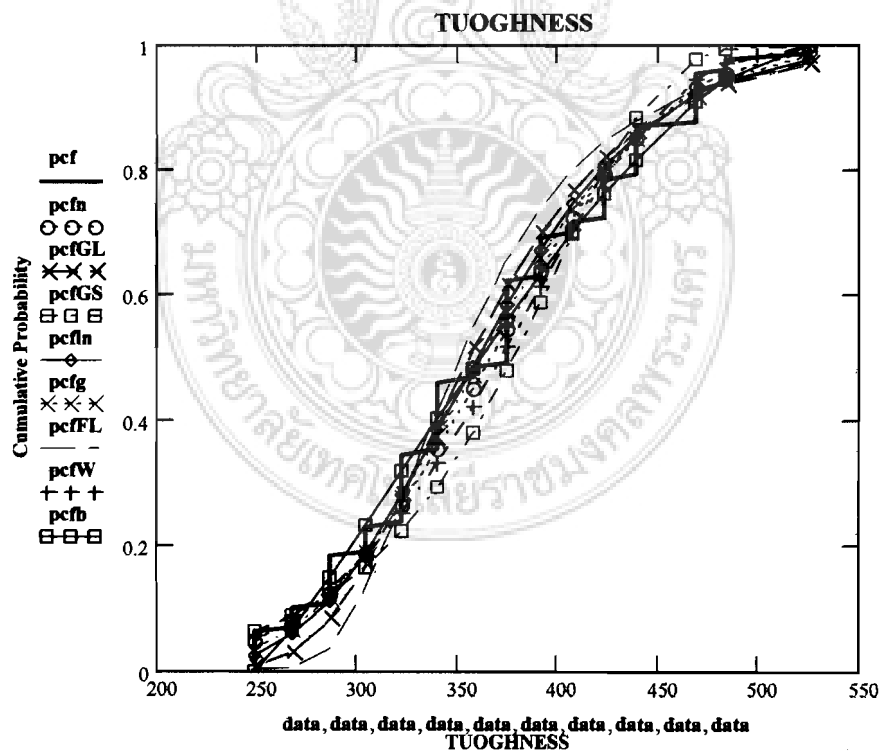
ชั้นที่	ความเหนียว (kg-cm)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Weibull	ความถี่ Normal
1	248.82 -249	8	7.491	5.932
2	249 – 305.75	22	17.012	18.894
3	305.75 – 362.5	33	33.640	37.068
4	362.5 – 419.25	30	41.226	38.819
5	419.25 - 476	31	25.042	21.701
6	476 – 525.626	6	5.185	6.117
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			6.111	7.667

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov- Smimov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 4 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปรกติและการแจกแจงปรกติมีค่าเป็น 0.080, 0.087, 0.091 และ 0.108 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นว่าค่าความเหนียวของไม้จามจรี การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์และการแจกแจงแบบบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงลอกปรกติและการแจกแจงปรกติก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความเหนียวของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.29 และ ๑.30 ตามลำดับ



รูปที่ ๑. 29 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความเหนียวของไม้
จามจุรีกับฟังก์ชันความเหนียวของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบได้กำลังสอง



รูปที่ ๑.30 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความเหนียวของไม้
จามจุรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.9 การทดสอบความแข็งของไม้ (Hardness)

การทดสอบความแข็งของไม้ขนานเส้น (Parallel to Grain)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.30

ตารางที่ จ.30 ค่าการทดสอบความแข็งของไม้ขนานเส้น

172.00	166.67	197.33	182.67	168.00	177.33	194.67	180.00	188.00	177.33	161.33
146.67	177.33	164.00	192.00	213.33	208.00	193.33	185.33	165.33	156.00	150.67
192.00	176.00	153.33	186.67	180.00	176.00	188.00	133.33	202.67	181.33	165.33
177.33	160.00	200.00	198.67	162.67	150.67	185.33	182.67	166.67	165.33	185.33
193.33	164.00	178.67	137.33	142.67	148.00	134.67	164.00	178.67	213.33	177.33
136.00	157.33	220.00	201.33	193.33	149.33	142.67	166.67	194.67	214.67	184.00
160.00	166.67	157.33	177.33	140.00	158.67	185.33	185.33	198.67	142.67	142.67
186.67	150.67	129.33	166.67	194.67	177.33	202.67	168.00	198.67	193.33	149.33
210.67	220.00	233.33	230.67	209.33	186.67	136.00	168.00	140.00	110.67	186.67
130.67	165.33	141.33	165.33	193.33	165.33	181.33	153.33	188.00	174.67	189.33
161.33	180.00	194.67	188.00	201.33	189.33	158.67	180.00	181.33	213.33	165.33
189.33	192.00	162.67	192.00	201.33	178.67	204.00	205.33	182.67	178.98	204.89

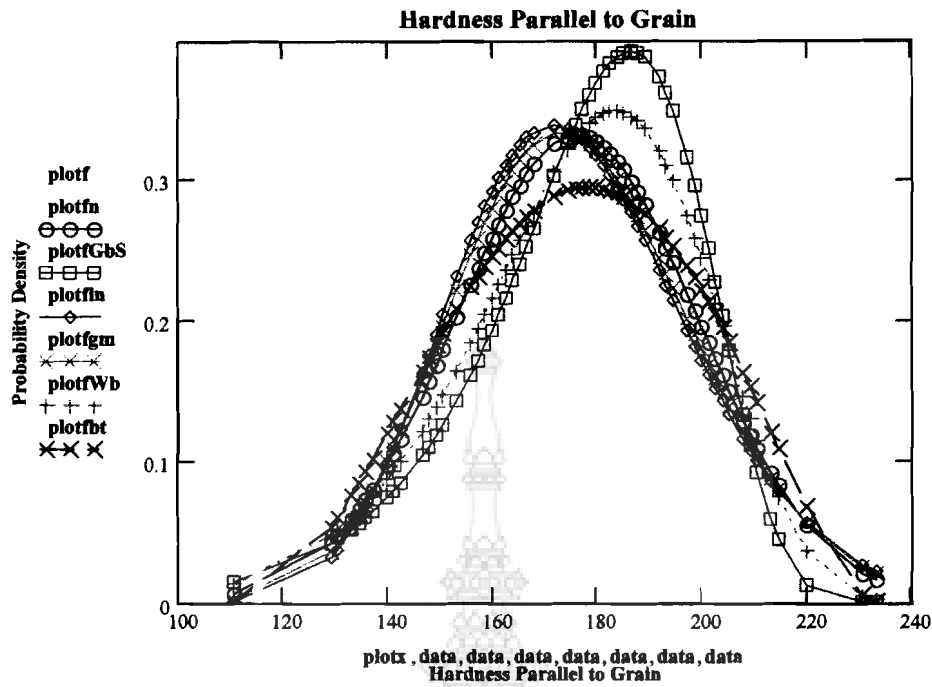
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 176.245 และ 23.105 กก./มม ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 46 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3 = 3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง 4 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงบีตา และการแจกแจงลอกปกติ แสดงในตารางที่ จ.31

ตารางที่ จ.31 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความแข็งแกร่งนัยของไม้จามจรี

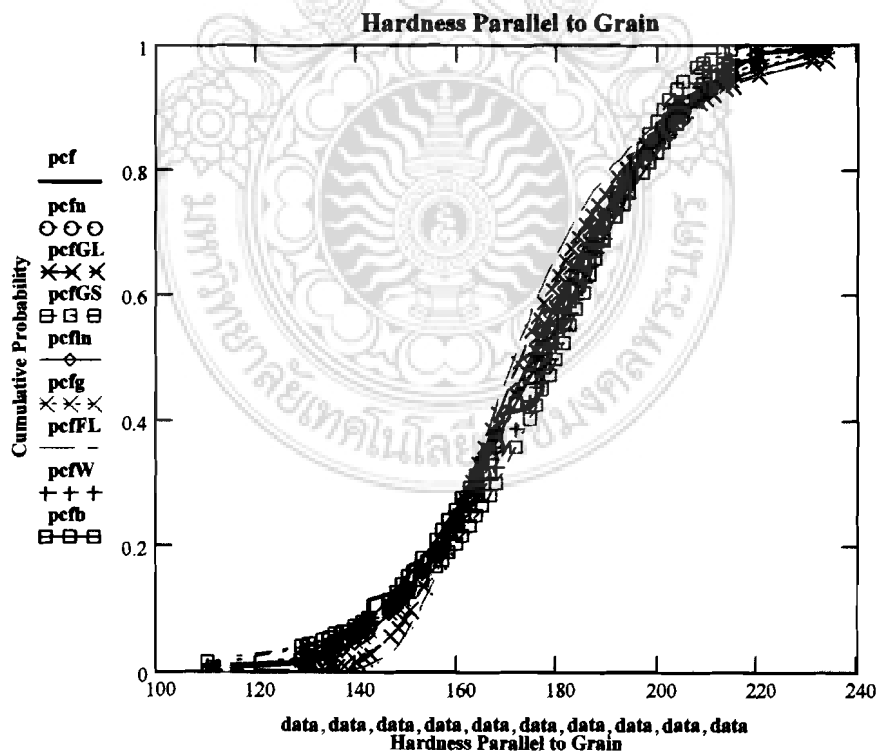
ชั้นที่	กำลังแรงอัด (kg)	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Normal	ความถี่ Gamma	ความถี่ Beta	ความถี่ Lognormal
1	110.65 – 136	5	5.3	4.172	5.566	3.561
2	136 – 155.25	19	18.328	19.639	20.553	20.145
3	155.25 – 174.5	30	37.456	39.525	34.391	40.723
4	174.5 – 193.75	49	39.749	38.255	37.128	37.674
5	193.75 – 213	19	21.907	20.294	25.548	19.480
6	213 – 233.35	8	6.384	6.675	6.811	6.676
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			4.473	5.843	6.417	7.148

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงบีตา การแจกแจงปกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแกมมาและการแจกแจงลอกปกติมีค่าเป็น 0.062, 0.072, 0.081, 0.089 และ 0.098 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแกร่งนัยของไม้จามจรี การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่า การแจกแจงปกติและการแจกแจงบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่ การแจกแจงปกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแกมมาและการแจกแจงลอกปกติก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความแข็งแกร่งนัยของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.31 และ จ.32 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.31 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งขนานเส้นของ
ไม้จามจूरกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกำลังสอง



รูปที่ ๑.32 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งขนานเส้น
ของไม้จามจूरกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบความแข็งสัมผัสเส้น ของไม้ (Tangent to Grain)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ๑.32

ตารางที่ ๑.32 ค่าการทดสอบความแข็งสัมผัสเส้นของไม้จามจรี

82.67	65.33	72.00	88.00	93.33	98.67	72.00	64.00	82.67	81.33	84.00
86.67	92.00	112.00	57.33	48.00	70.67	56.00	100.00	78.67	82.67	88.00
112.00	70.67	70.67	82.67	65.33	84.00	88.00	78.67	96.00	106.67	82.67
117.33	118.67	72.00	109.33	120.00	100.00	74.67	112.00	66.67	97.33	76.00
108.00	100.00	84.00	69.33	97.33	76.00	60.00	84.00	101.33	86.67	68.00
89.33	68.00	76.00	65.33	62.67	93.33	88.00	102.67	73.33	82.67	94.67
80.00	57.33	82.67	85.33	82.67	81.33	61.33	68.00	77.33	74.67	60.00
65.33	77.33	94.67	65.33	102.67	69.33	102.67	64.00	98.67	73.33	66.67
94.67	81.33	109.33	66.67	73.33	81.33	69.33	80.00	84.00	102.67	64.00
73.33	84.00	77.33	81.33	61.33	76.00	89.33	65.33	89.33	78.67	81.33
94.67	77.33	85.33	65.33	89.33	73.33	85.33	84.00	84.00	68.00	65.33
70.67	73.33	57.33	72.00	85.33	65.33	81.33	77.33	65.33	80.85	73.86

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 81.25 และ 14.875 กก./มม ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 89 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลัง พบว่าไม่มีค่าความถี่การแจกแจงจากข้อมูลชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ๑.33

ตารางที่ จ.33 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความถี่สัมพัทธ์ของไม้จามจรี

ชั้นที่	ความแข็ง (kg)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	48 – 59	5	-
2	59 – 69	25	-
3	69 – 79	31	-
4	79 – 89	35	-
5	89 – 99	16	-
6	99 – 109	10	-
7	109 - 120	8	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.48773			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบปรกติ และการแจกแจงแบบบีตามีค่าเป็น 0.053, 0.065, 0.080, 0.088 และ 0.089 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่าความถี่สัมพัทธ์ของไม้จามจรี ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงแบบลอกปรกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบลอกปรกติ มีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตจากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบล การแจกแจงแบบปรกติ และการแจกแจงแบบบีตาก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤต และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความถี่สัมพัทธ์ของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.33 และ จ.34 ตามลำดับ

ค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเส้น (Perpendicular to Grain)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ ๑.34

ตารางที่ ๑.34 ค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเส้นของไม้จามจรี

81.33	97.33	84.00	98.67	102.67	86.67	113.33	93.33	93.33	97.33	116.00
98.67	108.00	86.67	97.33	78.67	73.33	116.00	74.67	101.33	125.33	104.00
128.00	73.33	114.67	97.33	82.67	101.33	70.67	70.67	118.67	98.67	124.00
120.00	81.33	78.67	118.67	89.33	90.67	116.00	77.33	77.33	118.67	116.00
108.00	129.33	89.33	86.67	128.00	117.33	85.33	81.33	80.00	122.67	98.67
106.67	93.33	80.00	126.67	110.67	77.33	89.33	102.67	102.67	77.33	102.67
89.33	66.67	92.00	77.33	102.67	101.33	76.00	84.00	104.00	82.67	86.67
82.67	73.33	122.67	84.00	113.33	80.00	130.67	74.67	120.00	84.00	76.00
96.00	94.67	128.00	105.33	72.00	80.00	98.67	90.67	72.00	109.33	64.00
78.67	78.67	84.00	90.67	74.67	88.00	78.67	68.00	73.33	68.00	76.00
81.33	81.33	78.67	81.33	78.67	81.33	76.00	80.00	90.67	78.67	69.33
77.33	85.33	94.67	82.67	76.00	76.00	78.67	97.33	74.67	89.32	79.54

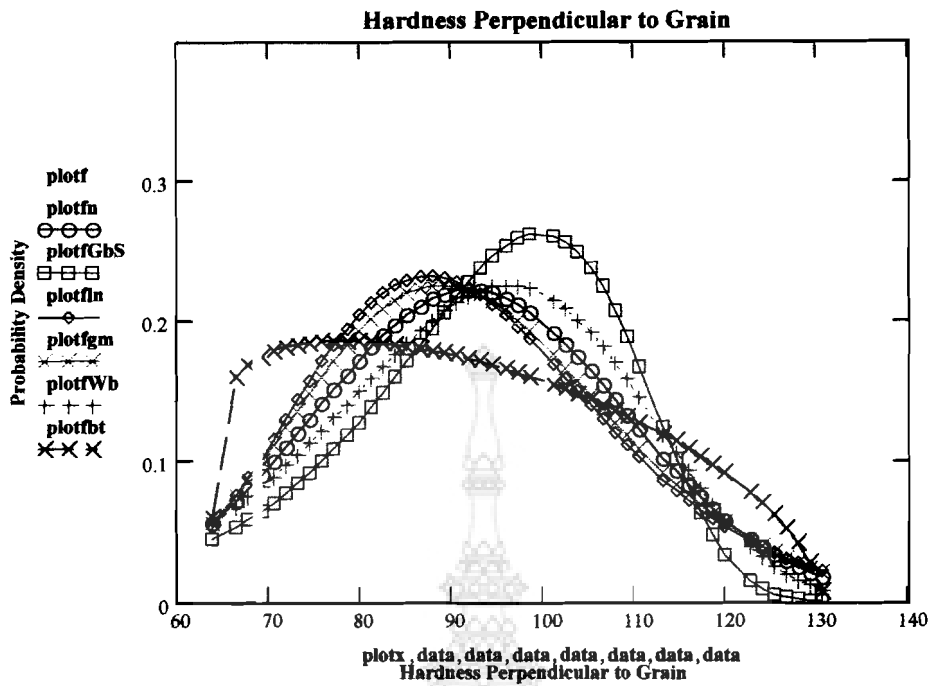
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 92.164 และ 17.026 กก./มม ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 91 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.567$) นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 7 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $7-3=4$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 9.487 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง พบว่าไม่มีค่าความถี่การแจกแจงจากข้อมูลชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ ๑.35

ตารางที่ จ.35 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเสี้ยนของไม้จามจรี

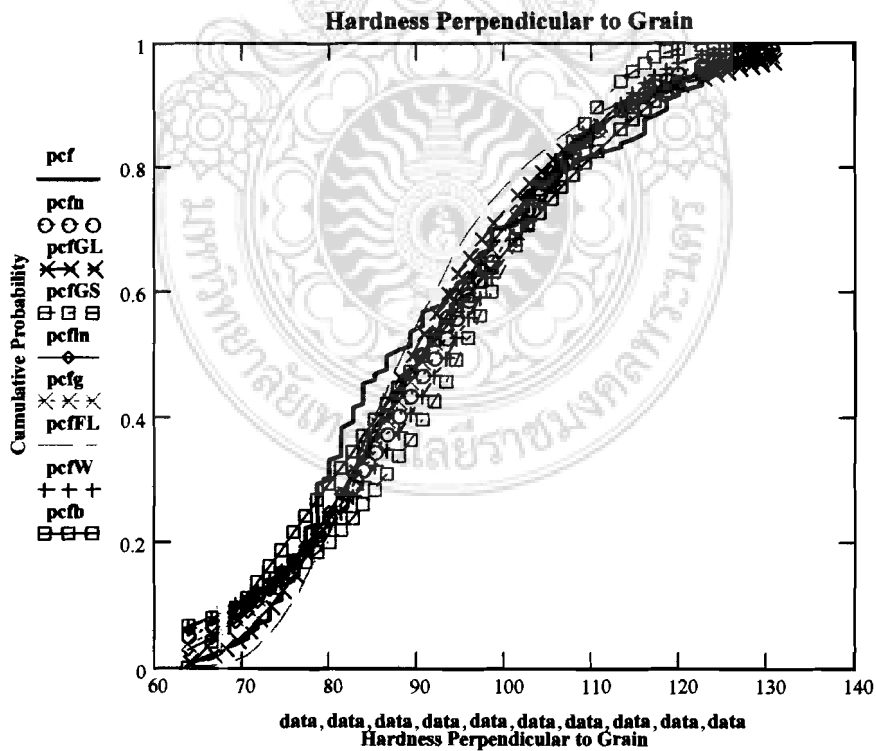
ชั้นที่	ความแข็ง (kg)	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	64 – 73.6	13	-
2	73.6 -83.1	41	-
3	83.1 – 92.6	21	-
4	92.6 – 102.1	19	-
5	102.1 – 111.6	13	-
6	111.6 – 121.1	13	-
7	121.1 -130.67	10	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 9.487			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 3 ชนิดเป็นการแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลและการแจกแจงแบบลอกปรกติมีค่าเป็น 0.085, 0.103 และ 0.114 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งตั้งฉากเสี้ยนของไม้จามจรี ไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบไคกำลังสอง ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงแบบบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าสูงสุดแบบกุ่มเบลและการแจกแจงแบบลอกปรกติ ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความแข็งตั้งฉากเสี้ยนของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ จ.35 และ จ.36 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.35 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเส้นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๑.36 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความแข็งตั้งฉากเส้นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.10 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการหดตัว

การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) จำนวน 130 ตัวอย่าง

แสดงในตารางที่ จ.36

ตารางที่ จ.36 ค่าการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของไม้จามจรี

0.55	0.43	0.54	0.48	0.56	0.54	0.54	0.57	0.49	0.48
0.48	0.54	0.54	0.56	0.48	0.49	0.55	0.54	0.53	0.47
0.52	0.47	0.54	0.58	0.51	0.56	0.56	0.55	0.61	0.54
0.50	0.46	0.49	0.48	0.45	0.54	0.50	0.48	0.49	0.51
0.55	0.50	0.51	0.57	0.40	0.41	0.44	0.45	0.52	0.54
0.53	0.48	0.48	0.48	0.45	0.51	0.42	0.56	0.50	0.40
0.51	0.54	0.52	0.58	0.48	0.39	0.56	0.51	0.50	0.56
0.51	0.41	0.52	0.46	0.57	0.56	0.51	0.46	0.54	0.48
0.48	0.53	0.61	0.55	0.50	0.53	0.54	0.52	0.56	0.55
0.53	0.56	0.52	0.49	0.55	0.49	0.51	0.55	0.49	0.49
0.49	0.57	0.52	0.47	0.53	0.48	0.53	0.51	0.51	0.49
0.45	0.55	0.49	0.57	0.55	0.52	0.54	0.49	0.51	0.49
0.53	0.52	0.57	0.50	0.48	0.51	0.46	0.57	0.60	0.44

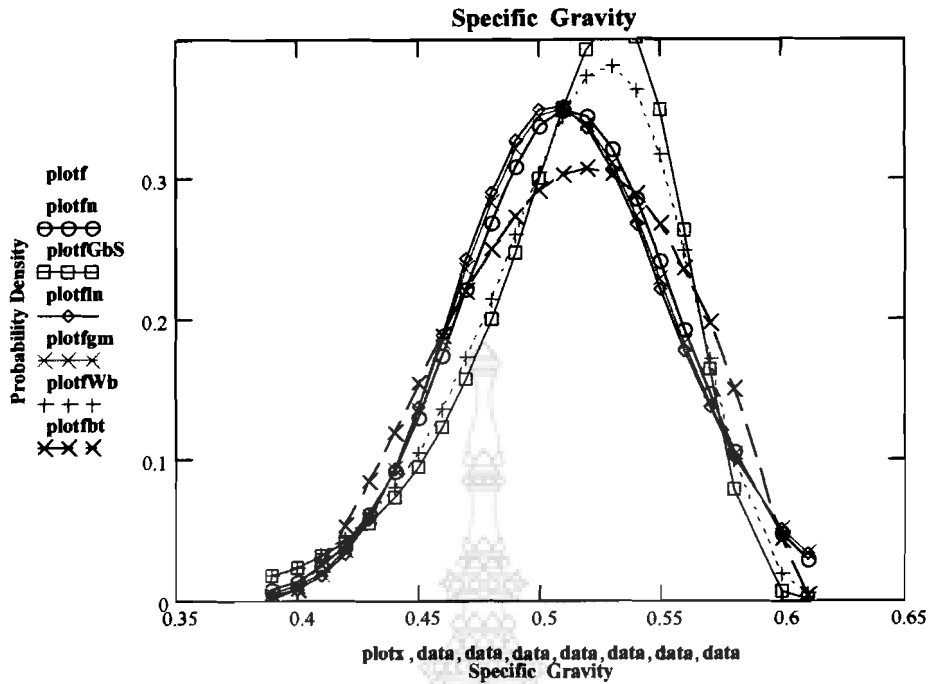
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.512 และ 0.044 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่ จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสองจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงปกติ แสดงในตารางที่ จ.37

ตารางที่ ๑.37 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความถี่จำเพาะของไม้จามจรี

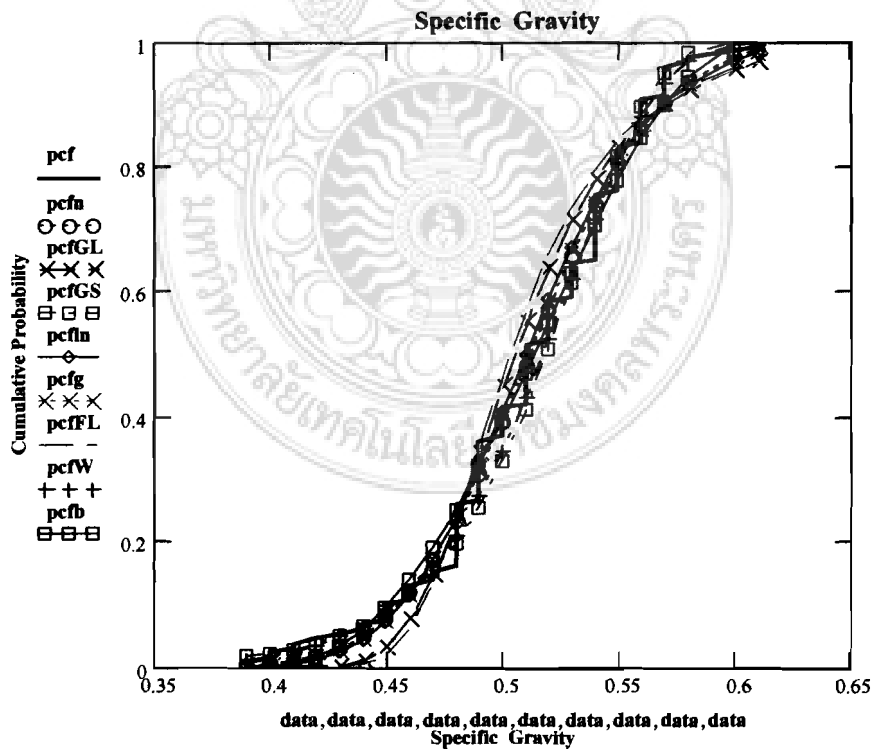
ชั้นที่	ความถี่จำเพาะ	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Weibull	ความถี่ Gumbel
1	0.389 – 0.415	5	3.844	4.274
2	0.415 – 0.452	8	9.315	8.470
3	0.452 – 0.492	34	24.493	22.708
4	0.492 – 0.531	37	44.678	45.891
5	0.531 – 0.57	41	39.176	42.393
6	0.57 – 0.61	6	8.391	6.253
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			6.998	7.783

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชั้นเป็นการแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงลอกปกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล มีค่าเป็น 0.083, 0.089, 0.090, 0.092 และ 0.105 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความถี่จำเพาะของไม้จามจรี การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงปกติ มีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์และการแจกแจงปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงแกมมา การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงลอกปกติ การแจกแจงชนิดที่หนึ่งค่าต่ำสุดแบบกุ่มเบล ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความถี่จำเพาะของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.37 และ ๑.38 ตามลำดับ



รูปที่ จ.37 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการทดสอบความถ่วงจำเพาะของไม้จามจรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบได้กำลังสอง



รูปที่ จ.38 การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการทดสอบความถ่วงจำเพาะของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ค่าการทดสอบปริมาตรการหดตัว (Shrinkage in volume)

ปริมาตรการหดตัว จำนวน 130 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ จ.38

ตารางที่ จ.38 ค่าการทดสอบปริมาตรการหดตัวของไม้จามจรี

4.83	5.20	4.88	4.64	4.99	5.20	5.28	4.85	4.92	5.23
4.71	5.18	4.91	4.70	5.44	4.90	4.73	4.18	4.19	4.79
4.09	4.70	4.09	5.35	4.84	5.00	4.35	3.97	4.44	4.77
3.71	4.03	3.81	3.78	4.85	4.63	4.26	5.32	4.57	4.76
5.44	3.28	4.06	4.45	4.42	4.73	4.97	3.70	3.53	4.82
3.61	3.92	4.86	5.30	3.94	4.70	5.04	4.61	3.35	3.56
3.48	4.79	5.44	4.47	3.65	4.75	5.00	4.64	4.18	5.06
4.30	4.50	3.42	4.66	4.33	3.91	4.08	4.74	5.07	5.06
4.14	5.65	3.36	4.22	5.36	6.08	4.75	6.05	5.47	4.28
5.93	4.62	5.07	4.93	5.33	4.61	4.85	5.46	5.50	6.25
4.66	5.81	3.28	5.78	3.87	5.30	6.23	5.30	5.73	4.83
4.33	5.43	3.94	6.64	4.72	4.31	5.76	5.55	4.65	4.73
4.69	4.67	4.43	5.46	6.12	3.24	3.56	5.08	4.56	4.45

จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 4.707 และ 0.701 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 59 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโดกำลังสองจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงปกติและการแจกแจงแกมมา แสดงในตารางที่ จ.39

ตารางที่ ๑.39 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบปริมาตรกำหนดตัวของไม้จามจรี

ชั้นที่	ปริมาตรกำหนดตัว %	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Normal	ความถี่ Gamma
1		5	3.927	2.703
2		18	18.277	19.543
3		35	41.538	44.072
4		49	42.415	40.237
5		17	19.462	18.052
6		6	3.999	4.578
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			3.661	6.350

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov - Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชั้นเป็นการแจกแจงปกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ และการแจกแจงแบบบีตามีค่าเป็น 0.068 ,0.080, 0.087,0.096 และ 0.097 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าปริมาตรกำหนดตัวของไม้จามจรี การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันการแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปกติมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ และการแจกแจงแบบบีตามีค่าสามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติและจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูล ค่าความถี่จำเพาะของไม้จามจรีที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.39 และ ๑.40 ตามลำดับ

ค่าการทดสอบปริมาณความชื้น% (Shrinkage in volume)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.40

ตารางที่ จ.40 ค่าการทดสอบปริมาณความชื้นของไม้จามจรี

14.83	16.70	12.23	13.43	15.09	10.34	16.29	12.02	11.45	11.44
15.43	10.96	13.45	13.30	12.13	12.13	15.87	12.64	12.50	13.77
15.52	16.15	14.73	11.86	15.80	14.81	10.59	14.98	18.31	14.96
11.49	12.68	12.95	11.20	15.31	12.84	10.81	11.54	8.69	15.02
16.09	12.26	14.17	12.24	16.24	12.49	16.05	11.53	11.45	8.13
10.05	12.68	15.52	11.54	14.81	11.42	12.19	13.67	12.58	15.80
12.12	17.85	10.87	12.84	16.58	9.88	13.18	18.98	12.84	9.78
14.31	14.54	8.81	14.19	16.23	11.36	11.69	16.49	15.64	17.93
15.07	12.48	14.32	17.48	13.65	13.88	11.66	15.87	17.60	17.90
13.42	17.43	13.69	14.46	13.70	10.77	14.38	15.39	9.15	15.33
18.46	11.36	16.30	19.13	16.21	14.50	14.35	10.60	17.09	10.52
15.19	14.40	17.92	14.46	16.92	18.33	17.94	16.51	16.00	17.49
16.76	22.30	16.26	10.89	12.76	17.53	12.28	17.43	9.73	13.26

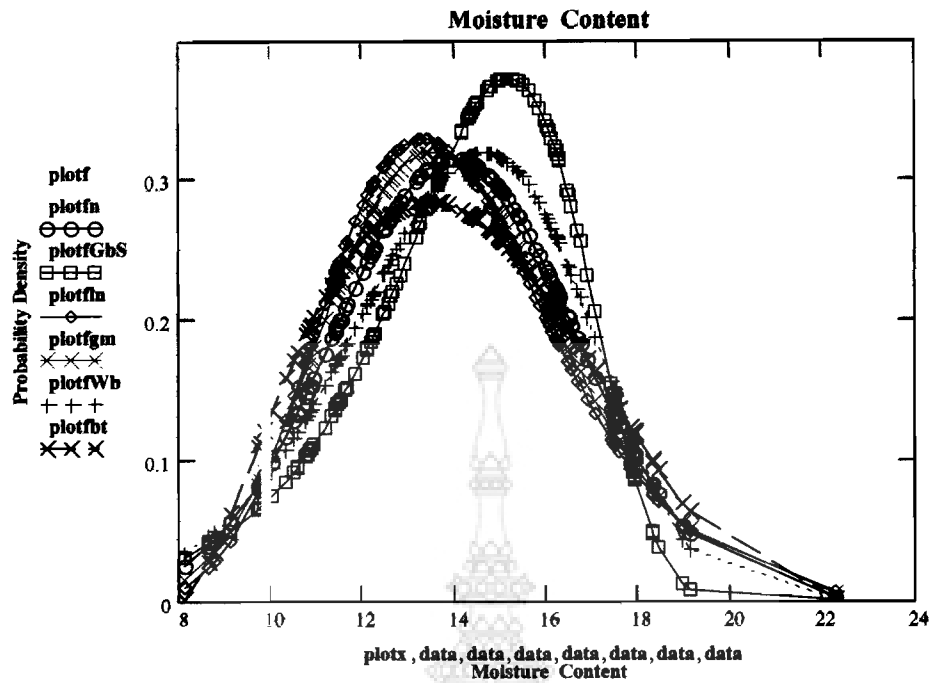
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 14.029 และ 2.622 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 93 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วงซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบ ค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง 4 ชนิด ได้แก่ การแจกแจงบีตา การแจกแจงปรกติ การแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ และการแจกแจงแบบแกมมา แสดงในตารางที่ จ.41

ตารางที่ ๑.41 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบปริมาณความชื้นของไม้จามจุรี

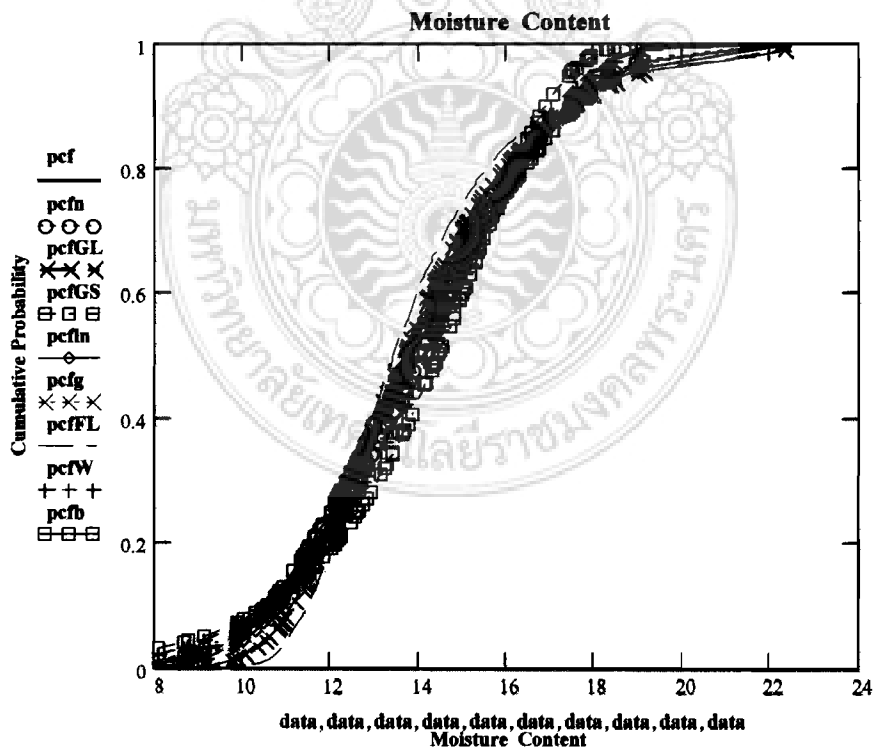
ชั้นที่	ปริมาณความชื้น%	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่ Beta	ความถี่ Normal	ความถี่ Weibull	ความถี่ Gamma
1	8.127 - 9.8	6	5.262	6.945	8.510	5.244
2	9.8 - 11.875	25	24.872	19.799	17.615	22.132
3	11.875 - 13.95	33	35.882	36.692	33.427	39.293
4	13.95 - 16.025	33	33.142	37.532	40.109	35.386
5	16.025 - 18.1	27	21.401	21.191	24.539	18.991
6	18.1 - 22.302	6	9.438	7.734	5.795	8.561
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			3.053	4.394	5.355	5.792

จากการทดสอบ K-S (Kolomogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชนิดเป็น การแจกแจงแบบบีตา การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบปรกติและการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์มีค่าเป็น 0.040, 0.051, 0.063, 0.067 และ 0.086 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความชื้นของไม้จามจุรี การแจกแจงแบบบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงแบบบีตามีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงแบบบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุดเนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปรกติ การแจกแจงแบบปรกติและการแจกแจงต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบไคกำลังสอง และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูล ค่าปริมาณความชื้นของไม้จามจุรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.41 และ ๑.42 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๔๑ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าปริมาณความชื้นของไม้จามจรี กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๑.๔๒ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าปริมาณความชื้นของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

การทดสอบความหนาแน่น (Density)

จำนวน 130 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ จ.42

ตารางที่ จ.42 ค่าการทดสอบความหนาแน่นของไม้จามจุรี

601.38	477.71	582.01	521.17	612.98	563.74	598.80	612.53	515.23	510.47
532.44	572.50	579.98	605.67	506.63	523.29	611.29	578.64	576.04	512.87
572.40	522.77	590.56	618.36	561.56	607.34	594.19	606.19	687.91	589.87
534.42	496.95	528.61	513.38	494.96	578.19	528.70	505.36	505.28	565.19
606.00	540.06	563.28	617.05	442.29	440.87	486.19	488.65	554.67	553.08
558.45	524.25	527.54	504.50	502.45	543.58	444.82	612.73	542.54	447.60
553.14	607.66	549.56	629.22	540.77	413.25	598.86	577.13	541.39	588.69
559.23	447.94	551.39	500.87	636.83	604.95	550.84	516.47	591.12	536.37
533.24	559.69	677.32	623.59	539.27	571.61	578.49	565.88	627.20	626.15
572.06	623.48	564.80	529.98	591.49	521.07	559.02	596.95	511.04	534.57
558.10	597.59	582.22	530.17	587.49	522.62	568.43	531.47	560.79	515.21
492.07	598.81	558.22	616.55	614.38	593.64	603.13	543.40	569.37	551.54
588.62	602.84	633.96	525.49	513.62	579.70	495.60	639.16	626.44	481.33

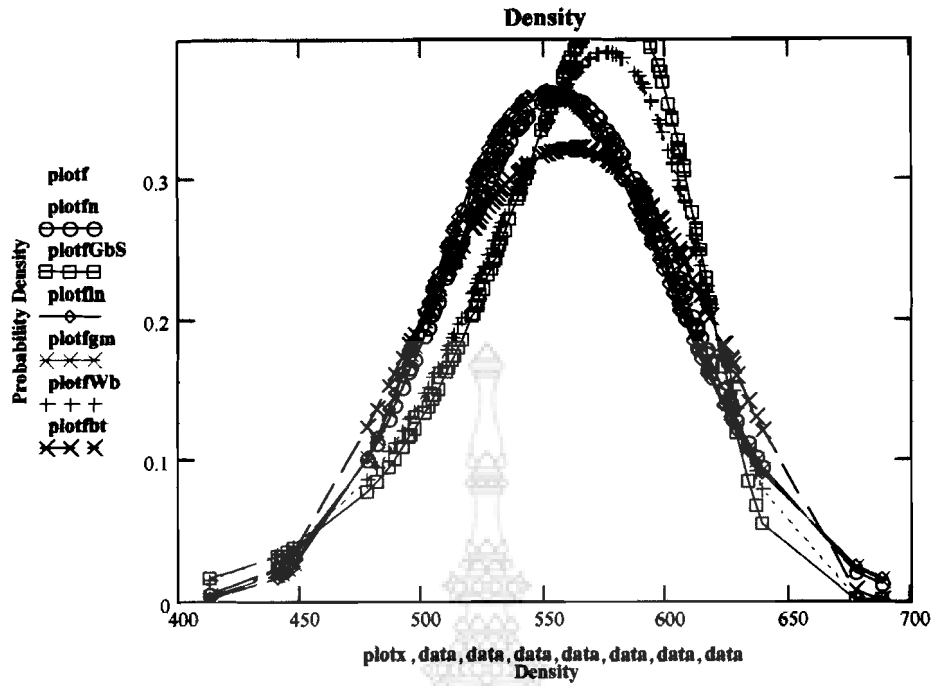
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 557.55 และ 49.89 กก/ม³ ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 5 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $5-3=2$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.95$ มีค่าเท่ากับ 5.991 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบโคก้าถึงสองจำนวน 5 ชนิด การแจกแจงปกติ การแจกแจงบีตา การแจกแจงค่าสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ การแจกแจงแกมมา และการแจกแจงแบบลอกปกติแสดงในตารางที่ จ.43

ตารางที่ ๑.43 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความหนาแน่นของไม้จามจรี

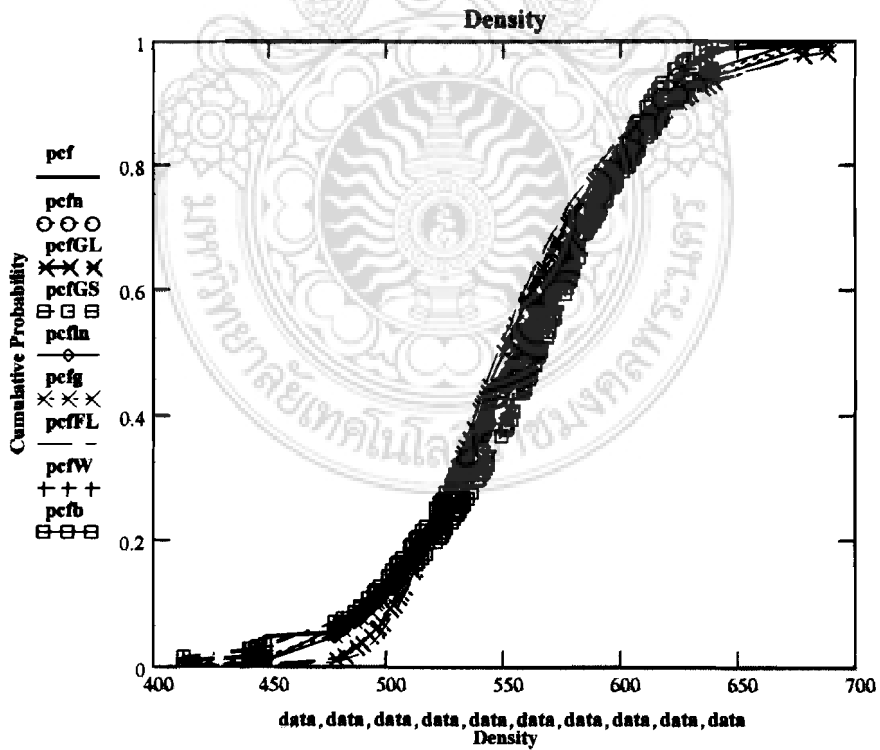
ชั้นที่	ความหนาแน่น กก/ม ³	ความถี่จาก ข้อมูล	ความถี่ Normal	ความถี่ Beta	ความถี่ Weibull	ความถี่ Gamma	ความถี่ Lognormal
1	413.2 – 493	11	12.722	14.33	13.645	12.203	11.861
2	493 – 538	35	32.457	32.132	26.150	34.194	35.099
3	538 – 539	42	45.160	41.127	46.684	44.946	44.930
4	539 – 628	36	29.387	31.562	37.175	27.879	27.149
5	628 – 687	6	9.689	10.846	6.339	9.881	9.886
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 5.991			3.546	3.838	4.032	4.220	4.667

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) มี 5 ชั้นเป็นการแจกแจงบีตา การแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา การแจกแจงลอกปกติ และการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ มีค่าเป็น 0.040, 0.041, 0.047, 0.052 และ 0.064 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของไม้จามจรี การแจกแจงปกติมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบไคกำลังสองต่ำที่สุด ในขณะที่การแจกแจงบีตามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S ต่ำที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการแจกแจงปกติและการแจกแจงบีตามีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ จากการทดสอบ K-S ในขณะที่การแจกแจงปกติ การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงแบบลอกปกติ และการแจกแจงค่าต่ำสุดชนิดที่สามแบบไวบูลล์ก็สามารถยอมรับให้ใช้แทนข้อมูลได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤติจากทั้งสองการทดสอบและ จากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลค่าความหนาแน่นของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.43 และ ๑.44 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๔๓ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบโคกกำลังสอง



รูปที่ ๑.๔๔ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าความหนาแน่นของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ง 2.11 การหดตัวในแนวรัศมีและในแนวเส้นสัมผัส

การทดสอบการหดตัวในแนวเส้นสัมผัส% (Tangential Shrinkage)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.44

ตารางที่ จ.44 การทดสอบการหดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้จามจรี

0.79	0.80	0.82	0.81	0.81	0.83	0.81	0.83	0.78	0.79
0.87	0.82	0.83	0.82	0.80	0.81	0.80	0.83	0.80	0.80
0.81	0.79	0.80	0.79	0.82	0.85	0.83	0.83	0.80	0.83
0.84	0.83	0.83	0.81	0.83	0.80	0.81	0.81	0.83	0.80
0.83	0.79	0.82	0.81	1.23	0.81	0.80	0.86	0.86	0.85
0.85	1.22	0.85	0.80	0.82	0.81	0.83	0.83	0.83	0.83
0.80	0.85	0.81	0.80	0.79	0.84	0.82	0.83	0.87	0.83
0.83	0.83	0.82	0.83	0.87	1.22	0.81	0.86	0.83	0.83
0.82	0.81	0.80	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.83	0.85
0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.82	0.82	0.85	0.80
0.82	0.80	0.83	0.83	0.81	0.83	0.84	0.86	0.86	0.82
0.79	0.83	0.83	0.81	0.82	0.81	0.82	0.83	0.82	0.42
0.85	0.83	0.41	0.82	0.82	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

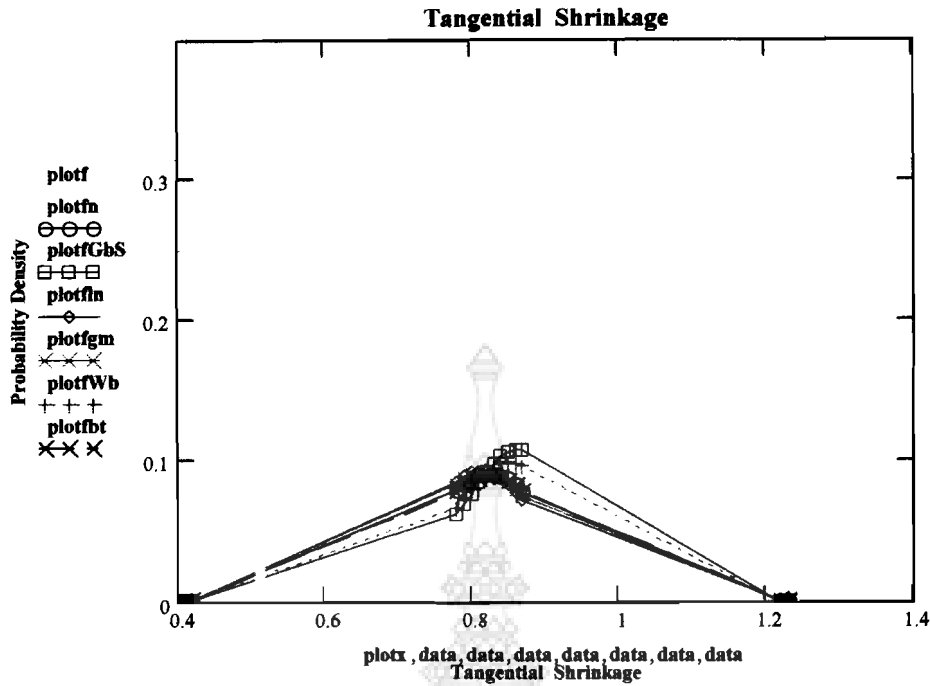
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.824 และ 0.08 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 123 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($t=2.576$) นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลัง พบว่าไม่มีค่าความถี่การแจกแจงจากข้อมูลชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ จ.45

ตารางที่ ๑.45 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบการหัดตัวในแนวเส้นสัมผัสของไม้จามจรี

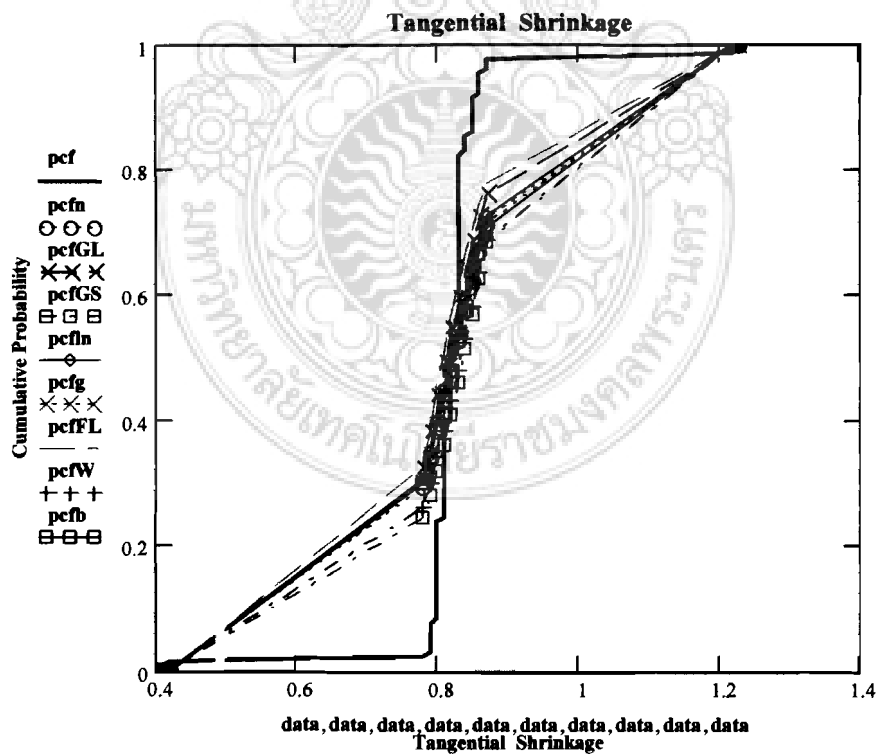
ชั้นที่	การหัดตัว %	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	0.409 – 0.79	3	-
2	0.79 – 0.80	28	-
3	0.80 – 0.82	41	-
4	0.82 – 0.84	39	-
5	0.84 – 0.86	13	-
6	0.86 – 1.23	6	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่าการหัดตัวในแนวสัมผัสของไม้จามจรี ไม่มีการการแจกแจงชนิดใดมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบไคกำลังสองเช่นเดียวกันกับการทดสอบ K-S จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S มากที่สุดและมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูล การหัดตัวในแนวสัมผัสของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.45 และ ๑.46 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๔๕ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวสัมผัสของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง



รูปที่ ๑.๔๖ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวสัมผัสของไม้จามจุรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ค่าการทดสอบการหดตัวในแนวรัศมี (Radial Shrinkage)

จำนวน 130 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ จ.46

ตารางที่ จ.46 ค่าการทดสอบการหดตัวในแนวรัศมีของไม้จามจรี

0.80	0.80	0.79	0.81	0.81	0.80	0.81	0.83	0.78	0.80
0.85	0.83	0.83	0.83	0.79	0.82	0.80	0.82	0.79	0.80
0.82	0.79	0.80	0.79	0.83	0.82	0.81	0.84	0.82	0.85
0.83	0.82	0.83	0.80	0.79	0.80	0.79	0.83	0.84	0.79
0.83	0.81	0.83	0.84	0.82	0.83	0.40	0.86	0.79	0.85
0.81	0.85	0.85	0.84	0.81	0.79	0.80	0.80	0.87	0.82
0.81	0.82	0.85	0.81	0.79	0.84	0.83	0.83	0.83	0.42
0.83	0.82	1.21	0.81	0.81	0.84	0.81	0.83	0.86	0.83
0.83	0.82	0.79	0.83	1.21	0.83	0.81	0.41	0.83	0.83
0.87	0.83	0.42	0.83	0.82	0.85	0.85	0.86	0.80	0.80
0.79	0.80	0.84	0.83	0.82	0.42	0.79	0.81	0.85	0.86
0.79	0.82	0.80	0.81	0.83	0.81	0.84	0.85	1.23	0.80
0.86	0.83	0.80	0.82	0.82	0.41	0.80	0.80	0.80	0.80

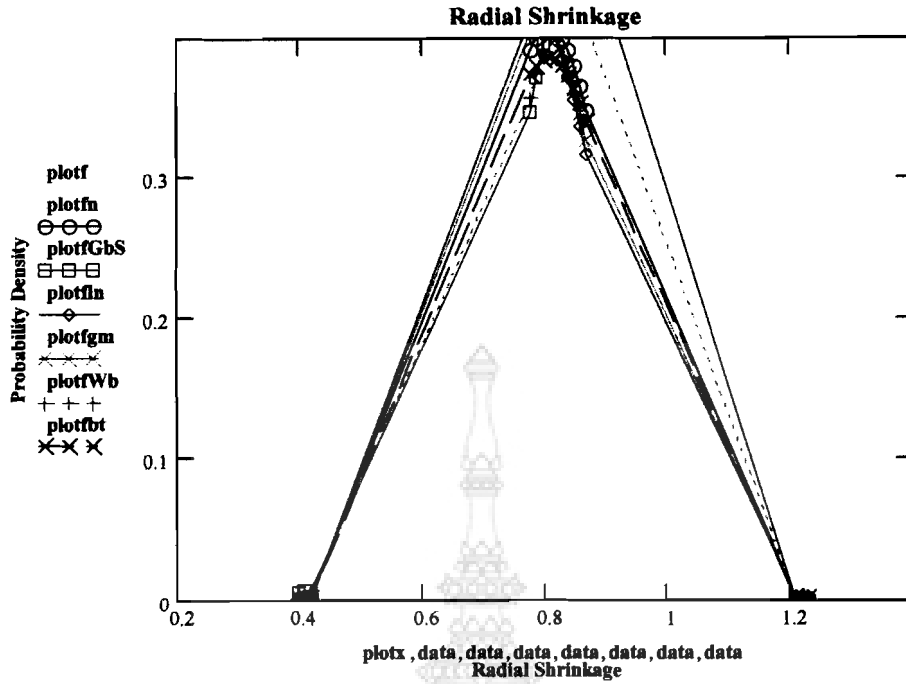
จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ CESTTEST พบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.810 และ 0.108 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าจำนวนข้อมูล 130 ตัวอย่าง มีจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ ต้องการ (n_{req}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47 สำหรับช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 99($t=2.576$) นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ CESTTEST ได้แนะนำให้มีการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 6 ชั้น โดยมีขีดจำกัดช่วงและความถี่ จากค่าสังเกตในแต่ละช่วง ซึ่งมีค่าวิกฤติสำหรับระดับชั้นเสรี (Degree of Freedom, f) เท่ากับ $6-3=3$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha =0.95$ มีค่าเท่ากับ 7.814 ค่าความถี่จากข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่ คำนวณจากความถี่จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลัง พบว่าไม่มีค่าความถี่การแจกแจง จากข้อมูลชนิดใดผ่านการทดสอบไคกำลังสอง แสดงในตารางที่ จ.47

ตารางที่ ๑.47 การเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลเทียบกับความถี่ที่ได้จากการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง สำหรับค่าการทดสอบความหนาแน่นของไม้จามจรี

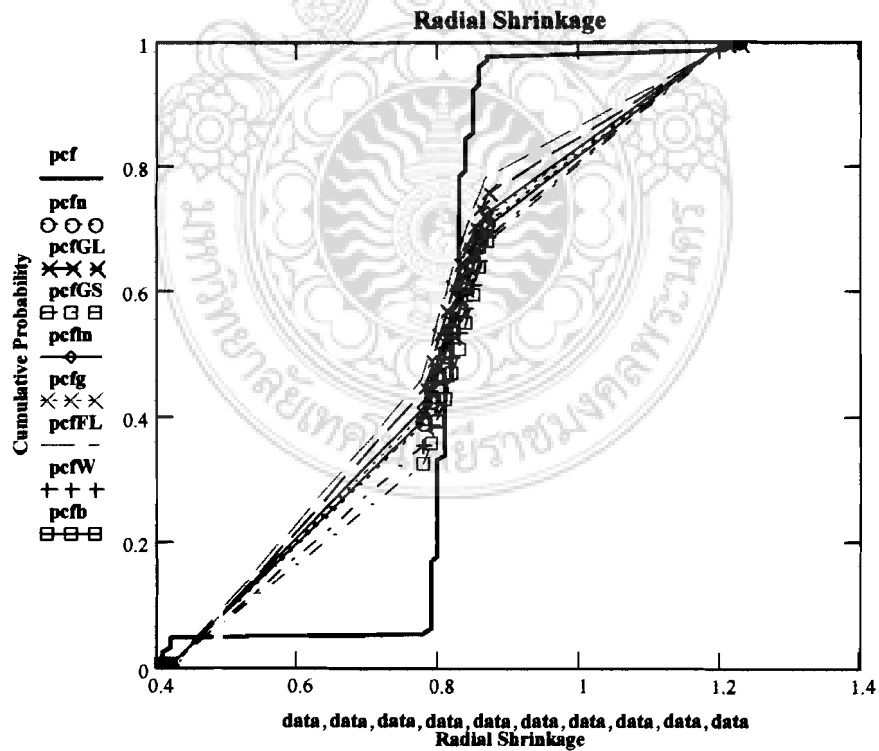
ชั้นที่	การหัดตัว %	ความถี่จากข้อมูล	ความถี่
1	0.40-0.42	3	-
2	0.42-0.53	3	-
3	0.53-0.64	0	-
4	0.64-0.75	0	-
5	0.75-0.86	114	-
6	0.86-1.23	10	-
Chi-Square Error ค่าวิกฤติ 7.814			-

จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Sminov Test) พบว่าค่าความแตกต่างสูงสุด (Maxdif) ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเท่ากับ 0.119

จะเห็นได้ว่าค่าการหัดตัวในแนวนอนของไม้จามจรี ไม่มีการการแจกแจงชนิดใดมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าวิกฤติจากการทดสอบไคกำลังสองเช่นเดียวกันกับการทดสอบ K-S จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการแจกแจงชนิดใดมีภาวะเข้ารูปสนิทกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ K-S มากที่สุดและมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ และจากกราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลการหัดตัวในแนวนอนของไม้จามจรี ที่ผ่านการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิทไคกำลังสองและการทดสอบ K-S สามารถแสดงได้ในรูปที่ ๑.47 และ ๑.48 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๔๗ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สัมพัทธ์ของค่าการหดตัวในแนวรัศมีของไม้จามจรี กับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ผ่านการทดสอบไคกำลังสอง



รูปที่ ๑.๔๘ การเปรียบเทียบระหว่างความถี่สะสมของค่าการหดตัวในแนวรัศมีของไม้จามจรีกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ผ่านการทดสอบ K-S

ภาคผนวก จ

โปรแกรม CESTTEST
(Civil Engineering Statistical Test)

วิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลทางวิศวกรรม
ของไม้พฤษและไม้จามจุรี



ภาคผนวก จ

โปรแกรม CESTTEST (Civil Engineering Statistical Test)

ตัวอย่างโปรแกรม ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในงานวิศวกรรม โดย ผศ.ดร.วินัย อวยพรประเสริฐ
ผู้เขียนโปรแกรม [12]

Statistical Test for Goodness-of-Fit

Give the name for the Input data file

```
fileinp := "D:\DATA2P\CPTG5.txt"
siglevel := 0.05

nstr := strlen (fileinp)
fileout1 := substr(fileinp, 0, nstr - 3)
fileout2 := ".out"
fileout := concat(fileout1 , fileout2)

Ndata:= READ(fileinp)
```

```
i := 0.. Ndata
infi := READ(fileinp)
i := 0.. Ndata- 1
dati := infi+1
data:= sort(dat)
nstr = 19
fileout = "D:\DATA2P\CPTG5.out"
```

Note

The user has to create a data file in form of ASCII-Code either by Notepad, Microsoft Excel or any other softwares.

Some interesting results are written in the output file with the same file name but with extens ".out"

The user can change the name of both the input file or the output file as appropriate.

Ndata	Number of Data (Sample)
NdataReq	Data Requirement
meand	Mean of Data
sigd	Standard Deviation of Data
cov	Coeffiecnt of Variation (sigd/meand)
sqerr	Chi-Square Error
maxdif	Maximum of Different (K-S Test)
Fre	Frequency of each Interval
Freint	Frequency of each Interval of Type Distribution
vint	Boundary Value of each Interval

```
maxd:= max(data)
```

```
maxd= 728.5
```

```
mind:= min(data)
```

```
mind = 404.6
```

```
meand:= mean(data)
```

```
meand = 565.55692
```

```
sigd := Stdev(data)
```

```
sigd = 67.80341
```

$$\text{cov} := \frac{\text{Stdev}(\text{data})}{\text{mean}(\text{data})}$$

```
cov = 0.11989
```

Sample Requirement

tValue :=

	0
0	0
1	63.36
2	9.93

i := Ndata - 1 j := 0

t := $\begin{cases} tValue_{i,j} & \text{if } Ndata - 1 \leq 120 \\ 2.576 & \text{if } (Ndata - 1) > 120 \end{cases}$

$$NDataReq := \left[(cov) \cdot \frac{t}{0.05} \right]^2$$



NDataReq = 38



Nint := 1. + 3.3 · log(Ndata) Nint = 7.97601

Nint := floor(Nint) Nint = 7

Int := $\frac{(maxd - mind)}{Nint}$ Int = 46.27143

i := 0.. Nint

Vint_{p_i} := mind + i · Int

Frep := hist(Vintp, data)

fremin := min(Frep)

fremin = 2

factor := Adjfre(Ndata, fremin, data)

Nint := factor₀

i := 0.. Nint - 1

Fre_i := factor_{i+1}

j := 0.. Nint

Vint_j := factor_{Nint+ j+1}

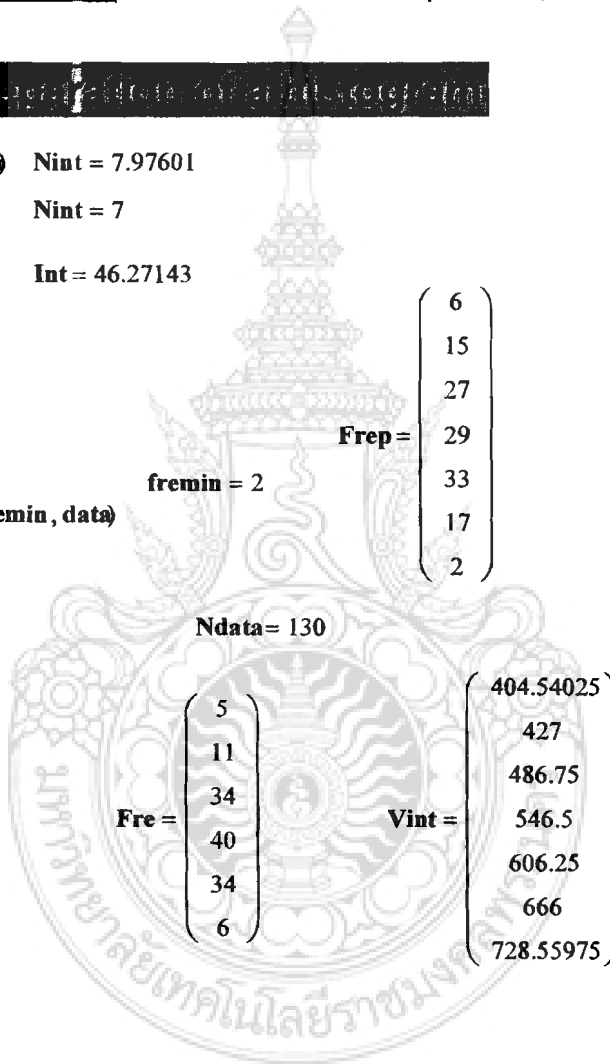
Int := factor_{2·Nint+2}

Frep = $\begin{pmatrix} 6 \\ 15 \\ 27 \\ 29 \\ 33 \\ 17 \\ 2 \end{pmatrix}$

Ndata = 130

Fre = $\begin{pmatrix} 5 \\ 11 \\ 34 \\ 40 \\ 34 \\ 6 \end{pmatrix}$

Vint = $\begin{pmatrix} 404.54025 \\ 427 \\ 486.75 \\ 546.5 \\ 606.25 \\ 666 \\ 728.55975 \end{pmatrix}$



Parameters of Common Distributions in Civil Engineering

Input Data

```

Nvar:= 11          Number of random variables
Variable 1      type1 ≡ "normal"          i := 1..Nvar
Variable 2      type2 ≡ "uniform"        mi := meand
Variable 3      type3 ≡ "exponential"    si := sigd
Variable 4      type4 ≡ "Rayleigh"
Variable 5      type5 ≡ "GumbelLargest"
Variable 6      type6 ≡ "GumbelSmallest"
Variable 7      type7 ≡ "lognormal"
Variable 8      type8 ≡ "gamma"
Variable 9      type9 ≡ "FrechetLargest"
Variable 10     type10 ≡ "Weibull"
Variable 11     type11 ≡ "beta"

xof ≡ 1099
xua ≡ 10-99
xuf ≡ 10-99
xlnuf ≡ -ln(xuf)
xloww ≡ 0          blow:= mind          bup:= maxd
i := 1..Nvar
r1 := Param(type1, m1, s1, blow, bup)
r1 = ( 565.55692 67.80341 -882.18771 2.0133× 103 )
r2 = ( 448.11798 682.99587 404.6 728.5 )
r3 = ( 0.01475 497.75351 497.75351 1.59539× 104 )
r4 = ( 103.4951 435.84504 435.84504 2.64568× 103 )
r5 = ( 535.04179 0.01892 248.02367 1.25862× 104 )
r6 = ( 596.07206 0.01892 -1.14551× 104 883.09017 )
r7 = ( 6.33068 0.11946 0 81.13677 )
r8 = ( 0.12302 69.57442 0 8.12881× 1099 )
r9 = ( 534.38741 11.50034 333.29721 1× 1099 )
r10 = ( 594.38411 10.03731 0 1.02088× 103 )
r11 = ( 2.33763 2.36596 404.6 728.5 )

k := 0..(4·Nvar- 1)
jk := floor( $\frac{k}{4}$ ) + 1
ik := mod(k, 4)
rallk := [r(jk)]0, ik

```

Chi-Square Test Distribution

```

j := 1..Nvar
i := 1..Nint
Nintad := Nint
confdlevel := 1 - siglevel

Fi,j := Ndata CumDen(typej, rj, Vinti, blow, bup)

freinti,j := Fi,j - Fi-1,j
criticv := qchisq(confdlevel, Nintad - 3)
criticv = 7.81473

err2i,j :=  $\frac{((freint_{i,j} - Fre_{i-1}))^2}{freint_{i,j}}$ 
sqerr0 := criticv

sum0,j := 0
i := 1..Nint
sumi,j := sumi-1,j + err2i,j
sqerrj := sumNint,j
    
```

Kolmogorov-Smirnov Test Distribution

```

CriticalV :=


|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.1  | 0.2  |
| 1    | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.9  |
| 0.93 | 0.9  | 0.84 | 0.78 | 0.68 |



j := 1..Nvar
i := 0..Ndata - 1
cumfrefi :=  $\frac{i + 1}{Ndata}$ 
criticd := CriticalVKS(Ndata, siglevel, CriticalV)
criticd = 0.11928

cumfrei,j := CumDen(typej, rj, datai, blow, bup)
maxdif0 := criticd

cumdifi,j := |cumfrefi - cumfrei,j|
maxdifj := max(difj)

difj := submatrix(cumdif, Ndata - 1, 0, j, j)

basic0 := meand
basic1 := sigd
basic2 := maxd
basic3 := mind
basic4 := Nint

maxdif =


|    |         |
|----|---------|
|    | 0       |
| 0  | 0.11928 |
| 1  | 0.07183 |
| 2  | 0.17243 |
| 3  | 0.58478 |
| 4  | 0.24944 |
| 5  | 0.13955 |
| 6  | 0.07984 |
| 7  | 0.09412 |
| 8  | 0.08655 |
| 9  | 0.16437 |
| 10 | 0.06508 |
| 11 | 0.06068 |



normal
uniform
exponential
Rayleigh
Gumbel - Largest
Gumbel - Smallest
lognormal
gamma
Frechet - Largest
Weibull
beta
    
```

WRITEPRN(fileout) := Ndata
APPENDPRN(fileout) := data
APPENDPRN(fileout) := sqerr
APPENDPRN(fileout) := maxdif
APPENDPRN(fileout) := basic
APPENDPRN(fileout) := Fre
APPENDPRN(fileout) := rall

$\Omega t \equiv (0.01 \ 0.05 \ 0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.9 \ 1.0)$

$Weit \equiv (127.53 \ 24.95 \ 12.153 \ 5.797 \ 3.714 \ 2.696 \ 2.101 \ 1.717 \ 1.451 \ 1.253 \ 1.113 \ 1.0)$

$Frect \equiv (128.946 \ 26.412 \ 13.636 \ 7.263 \ 5.184 \ 4.173 \ 3.586 \ 3.21 \ 2.953 \ 2.769 \ 2.633 \ 2.53)$

$\Omega \equiv \Omega t^T$

$Wei \equiv Weit^T$

$Frec \equiv Frect^T$

Weipar(a, b, c, pent) ≡

$$\begin{array}{l}
 vt \leftarrow \left(\frac{b}{a-c} \right) \\
 x \leftarrow (1 + vt^2) \\
 m0 \leftarrow (\text{linterp}(\Omega, Wei, vt)) \\
 m1 \leftarrow \left[\text{root} \left[x \cdot \left(\Gamma \left(1 + \frac{1.}{m0} \right) \right)^2 - \Gamma \left(1 + \frac{2.}{m0} \right), m0 \right] \right] \\
 \text{while } (|m0 - m1| > \text{pent}) \\
 \quad \left[\begin{array}{l}
 m0 \leftarrow m1 \\
 m1 \leftarrow \text{root} \left[x \cdot \left(\Gamma \left(1 + \frac{1.}{m0} \right) \right)^2 - \Gamma \left(1 + \frac{2.}{m0} \right), m0 \right]
 \end{array} \right] \\
 v \leftarrow \left[c + \frac{(a-c)}{\Gamma \left(1 + \frac{1.}{m1} \right)} \right] \\
 \text{par} \leftarrow (v \ m1) \\
 \text{return (par)}
 \end{array}$$

$\text{Frepar}(a, b, \text{pent}) \equiv$

$$vt \leftarrow \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$x \leftarrow (1 + vt^2)$$

$$m0 \leftarrow (\text{linterp}(\Omega, \text{Frec}, vt))$$

$$m1 \leftarrow \left[\text{root} \left[x \cdot \left(\Gamma \left(1 - \frac{1.}{m0} \right) \right)^2 - \Gamma \left(1 - \frac{2.}{m0} \right), m0 \right] \right]$$

$$\text{while } (|m0 - m1| > \text{pent})$$

$$\quad m0 \leftarrow m1$$

$$\quad m1 \leftarrow \left[\text{root} \left[x \cdot \left(\Gamma \left(1 - \frac{1.}{m0} \right) \right)^2 - \Gamma \left(1 - \frac{2.}{m0} \right), m0 \right] \right]$$

$$v \leftarrow \left(\frac{a}{\Gamma \left(1 - \frac{1.}{m1} \right)} \right)$$

$$\text{par} \leftarrow (v \ m1)$$

$$\text{return } (\text{par})$$

$\text{betapar}(a, b, c, d, \text{pent}) \equiv$

$$k \leftarrow \left(\frac{b}{a - c} \right)^2$$

$$q0 \leftarrow 0$$

$$q1 \leftarrow 1$$

$$\text{while } (|q0 - q1| > \text{pent})$$

$$\quad q0 \leftarrow q1$$

$$\quad r \leftarrow \left[q0 \cdot \frac{(d - c)}{(a - c)} - q0 \right]$$

$$\quad q1 \leftarrow \text{root} \left[q0^2 + (r + 1) \cdot q0 - \frac{r}{k}, q0 \right]$$

$$w \leftarrow (q1 \ r \ c \ d)$$

$$\text{return } (w)$$

```

Param(type, ex, sig, blow, bup) ≡
  if type = 'normal'
    par1 ← ex
    par2 ← sig
    xlow ←  $(-\sqrt{2 \cdot \text{xlnuf} \cdot \text{sig}^2 + \text{ex}})$ 
    xupp ←  $(\sqrt{2 \cdot \text{xlnuf} \cdot \text{sig}^2 + \text{ex}})$ 
    r ← ( par1 par2 xlow xupp )
    return (r)

  if type = "uniform"
    par1 ←  $[0.5 \cdot (2 \cdot \text{ex} - \text{sig} \cdot \sqrt{12})]$ 
    par2 ←  $(\text{sig} \cdot \sqrt{12} + \text{par1})$ 
    xlow ← (blow - xua)
    xupp ← (bup + xua)
    r ← ( par1 par2 xlow xupp )
    return (r)

  if type = "exponential"
    par1 ←  $\left(\frac{1}{\text{sig}}\right)$ 
    par2 ← (ex - sig)
    xlow ← (par2 - xua)
    xupp ←  $\left[\left(\frac{\text{xlnuf}}{\text{par1}}\right) + \text{par2}\right]$ 
    r ← ( par1 par2 xlow xupp )
    return (r)

  if type = "Rayleigh"
    pi ← (4 · atan(1.))
    par1 ←  $\left[\frac{\text{sig}}{\sqrt{(2 - 0.5 \cdot \text{pi})}}\right]$ 
    par2 ←  $(-\text{par1} \cdot \sqrt{0.5 \cdot \text{pi}} + \text{ex})$ 
    xlow ← (par2 + xua)
    xupp ←  $(\sqrt{2 \cdot \text{xlnuf} \cdot \text{par1}^2 + \text{par2}})$ 
    r ← ( par1 par2 xlow xupp )
    return (r)

  if type = "Gumbellargest"
    pi ← (4 · atan(1.))
    par2 ←  $\left(\frac{\text{pi}}{\sqrt{6} \cdot \text{sig}}\right)$ 
    par1 ←  $\left(\text{ex} - \frac{0.5772156}{\text{par2}}\right)$ 
    xlow ←  $\left(\text{par1} - \frac{\ln(\text{xlnuf})}{\text{par2}}\right)$ 
    xupp ←  $\left(\text{par1} + \frac{\text{xlnuf}}{\text{par2}}\right)$ 
    r ← ( par1 par2 xlow xupp )
    return (r)

  if type = "GumbelSmallest"
    pi ← 4 · atan(1.)
    par2 ←  $\left(\frac{\text{pi}}{\sqrt{6} \cdot \text{sig}}\right)$ 

```

```

CriticalVKS(n, alpha, CriticalIV) ≡
  for i ∈ 0..4
    vx ← CriticalIV0,i
    if alpha = 0.20
      | criv ←  $\left(\frac{1.07}{\sqrt{n}}\right)$  if n > 40
      | otherwise
      |   criv ← CriticalIVn,4
      |   re turn criv
    if alpha = 0.10
      | criv ←  $\left(\frac{1.22}{\sqrt{n}}\right)$  if n > 40
      | otherwise
      |   criv ← CriticalIVn,3
      |   re turn criv
    if alpha = 0.05
      | criv ←  $\left(\frac{1.36}{\sqrt{n}}\right)$  if n > 40
      | otherwise
      |   criv ← CriticalIVn,2
      |   re turn criv
    if alpha = 0.02
      | criv ←  $\left(\frac{1.52}{\sqrt{n}}\right)$  if n > 40
      | otherwise
      |   criv ← CriticalIVn,1
      |   re turn criv
    if alpha = 0.01
      | criv ←  $\left(\frac{1.63}{\sqrt{n}}\right)$  if n > 40
      | otherwise
      |   criv ← CriticalIVn,0
      |   re turn criv
    otherwise
      | if n > 40
      |   vvt ←  $\left(\frac{1.63}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.52}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.36}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.22}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.07}{\sqrt{n}}\right)$ 
      |   vy ← vvtT
      |   for i ∈ 0..4           otherwise
      |     vyi ← CriticalIVn,i
      |   criv ← linterp(vx, vy, alpha)
      |   re turn criv

```

```

Adjfre(Ndata, fremin, data) ≡
mind ← min(data)
maxd ← max(data)
if (fremin < 5)
  minrx ← [0.5 · (data4 + data5)]
  maxrx ← [0.5 · (dataNdata-6 + dataNdata-7)]
  Nint ← (floor(3.3 · log(Ndata)))
  Inta ← ( (maxrx - minrx) / (Nint - 2) )
otherwise
  Nint ← floor(1. + 3.3 · log(Ndata))
  Inta ← ( (maxd - mind) / Nint )
  minrx ← (mind + 0.999 · Inta)
  maxrx ← (maxd - 0.999 · Inta)
precis ← (floor(log(Inta)))
Delx ← (10precis-1)
minrx ← (ceil( (minrx / Delx) · Delx )
maxrx ← (floor( (maxrx / Delx) · Delx )
Int ← ( (maxrx - minrx) / (Nint - 2) )
Vint0 ← (mind - 0.001 · Int)
VintNint ← (maxd + 0.001 · Int)
for i ∈ 1..(Nint - 1)
  Vinti ← [ minrx + (i - 1) · Int ]
Fre ← (hist(Vint, data))
if [ [(Vint1 - Vint0) < Int] · (Fre0 > Fre1) ]
  Fre0 ← (Fre0 + Fre1)
  for i ∈ 1..(Nint - 2)
    Vinti ← Vinti+1
    Frei ← Frei+1
  VintNint-1 ← VintNint
  Nint ← (Nint - 1)
if [ [(VintNint - VintNint-1) < Int] · (FreNint-2 < FreNint-1) ]
  FreNint-2 ← (FreNint-2 + FreNint-1)
  VintNint-1 ← VintNint
  Nint ← (Nint - 1)
fac0 ← Nint
for i ∈ 1..Nint
  faci ← Frei-1
for i ∈ 0..Nint
  facNint+i+1 ← Vinti
fac2·Nint+2 ← Int
return (fac)

```

$i := 0..Nint - 1$

$freint_{i+1,0} := Fre_i$

	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	5	2.66513	8.99043	36.5742	3.0095	0.05776
2	11	13.26764	23.98117	54.72178	32.12036	10.68861
3	34	34.68035	23.98117	22.66989	44.08494	47.36699
4	40	43.74103	23.98117	9.39158	31.30497	42.12024
5	34	26.64313	23.98117	3.8907	14.12596	19.29478
6	6	7.94878	25.0849	1.6581	4.38531	7.17081

$i := 0..Nint$

$j := 0..Nvar$

$freplot_{j,i} := freint_{i,j}$

$i := 1..Nint$

$plot0_i := freplot_{0,i}$

$plot1_i := freplot_{1,i}$

$Nint = 6$

$plotf_0 := 0$ $plotf_{3,Nint+1} := 0$ $plotf_{3,Nint+2} := 0$

$plotf_1 := 0$ $plotf_{3,Nint+1} := maxd$ $plotf_{3,Nint+2} := maxd$

$plotx_0 := Vint_0$

$k := 1..3 \cdot Nint$

$plotf_k := 0$

$i_k := \text{floor}\left(\frac{k-1}{3}\right) + 1$

$l_k := \text{floor}\left(\frac{k}{3}\right)$

$m_k := \text{mod}(k, 3)$

$n_k := \text{mod}(k, 3)$

$plotf_k := \text{if}\left(m_k, \frac{freplot_{0,l_k}}{Ndata}, 0\right)$

$plotx_k := \text{if}\left[i_k, Vint_{(l_k)}, Vint_{(l_k)}\right]$

$plotf_{3,Nint} = 0.04615$

$i := 0..Ndata-1$

$$\text{plotfn}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_1, r_1, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_1, r_1, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfn}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfn}_i$$

$$\text{plotfun}_i := \frac{\text{Int}}{\text{maxd} - \text{mind}}$$

$$\text{plotfex}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_3, r_3, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_3, r_3, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfex}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfex}_i$$

$$\text{plotfRl}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_4, r_4, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_4, r_4, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfRl}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfRl}_i$$

$$\text{plotfGbl}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_5, r_5, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_5, r_5, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfGbl}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfGbl}_i$$

$$\text{plotfGbS}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_6, r_6, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_6, r_6, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfGbS}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfGbS}_i$$

$$\text{plotfn}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_7, r_7, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_7, r_7, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfn}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfn}_i$$

$$\text{plotfgm}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_8, r_8, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_8, r_8, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfgm}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfgm}_i$$

$$\text{plotfFq}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_9, r_9, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_9, r_9, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

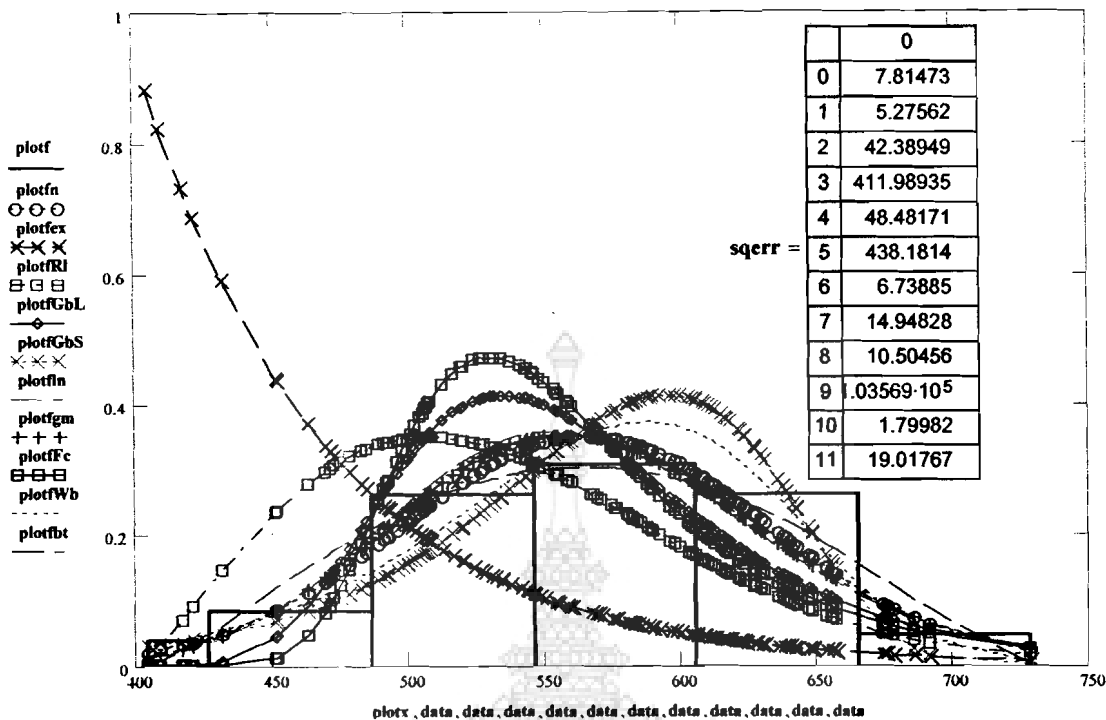
$$\text{plotfFq}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfFq}_i$$

$$\text{plotfWh}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_{10}, r_{10}, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_{10}, r_{10}, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfWh}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfWh}_i$$

$$\text{plotfbt}_i := \frac{\text{CumDen}(\text{type}_{11}, r_{11}, \text{data}_i + 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup}) - \text{CumDen}(\text{type}_{11}, r_{11}, \text{data}_i - 0.1 \cdot \text{Int}, \text{blow}, \text{bup})}{0.2 \cdot \text{Int}}$$

$$\text{plotfbt}_i := \text{Int} \cdot \text{plotfbt}_i$$

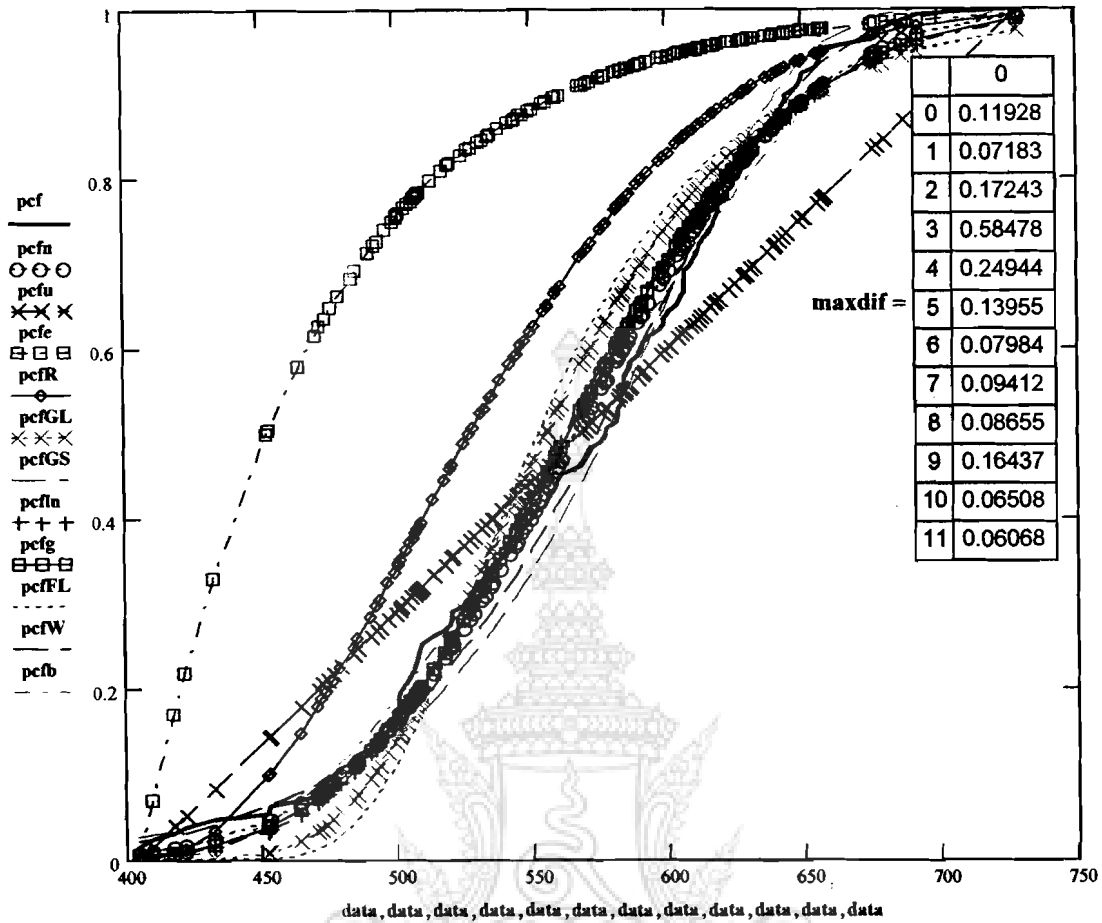


k := 0..Ndata- 1
 cumfre_{k,0} := cumfrex_k

	0	1	2	3	4
0	7.69231·10 ⁻³	8.80122·10 ⁻³	0	0	0
1	0.01538	8.83643·10 ⁻³	3.08737·10 ⁻⁴	1.47377·10 ⁻³	4.66799·10 ⁻⁷
2	0.02308	0.01064	0.01482	0.06835	1.07493·10 ⁻³
3	0.03077	0.01439	0.03921	0.17081	7.50074·10 ⁻³
4	0.03846	0.01675	0.05187	0.21946	0.01309
5	0.04615	0.02426	0.08398	0.33046	0.03395
6	0.05385	0.04641	0.14511	0.50002	0.09798
7	0.06154	0.04742	0.14727	0.50515	0.10076
8	0.06923	0.06595	0.18154	0.57988	0.14904
9	0.07692	0.07893	0.2013	0.61772	0.17999
10	0.08462	0.08292	0.20685	0.62774	0.18905
11	0.09231	0.08705	0.21241	0.63749	0.19825
12	0.1	0.09279	0.21982	0.6501	0.21073
13	0.10769	0.09984	0.22847	0.66425	0.22556
14	0.11538	0.11197	0.24236	0.68581	0.24998
15	0.12308	0.11769	0.24853	0.69494	0.26103

k := 0.. Ndata- 1

pcf_k := cumfre_{k,0} pcfn_k := cumfre_{k,1} pcfu_k := cumfre_{k,2} pcfv_k := cumfre_{k,3}
 pcfR_k := cumfre_{k,4} pcfGL_k := cumfre_{k,5} pcfGS_k := cumfre_{k,6} pcfIn_k := cumfre_{k,7}
 pcfG_k := cumfre_{k,8} pcfFL_k := cumfre_{k,9} pcfW_k := cumfre_{k,10} pcfb_k := cumfre_{k,11}



	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	5	2.66513	8.99043	36.5742	3.0095	0.05776
2	11	13.26764	23.98117	54.72178	32.12036	10.68861
3	34	34.68035	23.98117	22.66989	44.08494	47.36699
4	40	43.74103	23.98117	9.39158	31.30497	42.12024
5	34	26.64313	23.98117	3.8907	14.12596	19.29478
6	6	7.94878	25.0849	1.6581	4.38531	7.17081

Statistical Results

Basic Results

Ndata = 130
meand = 565.55692
sigd = 67.80341
cov = 0.11989
NDataReq = 38

Legend

Ndata	Number of Data (Sample)
NdataReq	Data Requirement
meand	Mean of Data
sigd	Standard Deviation of Data
cov	Coeffiecnt of Variation (sigd/meand)
sqerr	Chi-Square Error
maxdif	Maximum of Different (K-S Test)
Fre	Frequency of each Interval
Freint	Frequency of each Interval of Type Distribution
vint	Boundary Value of each Interval

Fre =	Vint =	sqerr =	maxdif =																																																																		
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>5</td></tr> <tr><td>11</td></tr> <tr><td>34</td></tr> <tr><td>40</td></tr> <tr><td>34</td></tr> <tr><td>6</td></tr> </table>	5	11	34	40	34	6	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>404.54025</td></tr> <tr><td>427</td></tr> <tr><td>486.75</td></tr> <tr><td>546.5</td></tr> <tr><td>606.25</td></tr> <tr><td>666</td></tr> <tr><td>728.55975</td></tr> </table>	404.54025	427	486.75	546.5	606.25	666	728.55975	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>0</td><td>7.81473</td></tr> <tr><td>1</td><td>5.27562</td></tr> <tr><td>2</td><td>42.38949</td></tr> <tr><td>3</td><td>411.98935</td></tr> <tr><td>4</td><td>48.48171</td></tr> <tr><td>5</td><td>438.1814</td></tr> <tr><td>6</td><td>6.73885</td></tr> <tr><td>7</td><td>14.94828</td></tr> <tr><td>8</td><td>10.50456</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.03569-10⁵</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.79982</td></tr> <tr><td>11</td><td>19.01767</td></tr> </table>		0	0	7.81473	1	5.27562	2	42.38949	3	411.98935	4	48.48171	5	438.1814	6	6.73885	7	14.94828	8	10.50456	9	1.03569-10 ⁵	10	1.79982	11	19.01767	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0.11928</td></tr> <tr><td>1</td><td>0.07183</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.17243</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.58478</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.24944</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.13955</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.07984</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.09412</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.08655</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.16437</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.06508</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.06068</td></tr> </table>		0	0	0.11928	1	0.07183	2	0.17243	3	0.58478	4	0.24944	5	0.13955	6	0.07984	7	0.09412	8	0.08655	9	0.16437	10	0.06508	11	0.06068	
5																																																																					
11																																																																					
34																																																																					
40																																																																					
34																																																																					
6																																																																					
404.54025																																																																					
427																																																																					
486.75																																																																					
546.5																																																																					
606.25																																																																					
666																																																																					
728.55975																																																																					
	0																																																																				
0	7.81473																																																																				
1	5.27562																																																																				
2	42.38949																																																																				
3	411.98935																																																																				
4	48.48171																																																																				
5	438.1814																																																																				
6	6.73885																																																																				
7	14.94828																																																																				
8	10.50456																																																																				
9	1.03569-10 ⁵																																																																				
10	1.79982																																																																				
11	19.01767																																																																				
	0																																																																				
0	0.11928																																																																				
1	0.07183																																																																				
2	0.17243																																																																				
3	0.58478																																																																				
4	0.24944																																																																				
5	0.13955																																																																				
6	0.07984																																																																				
7	0.09412																																																																				
8	0.08655																																																																				
9	0.16437																																																																				
10	0.06508																																																																				
11	0.06068																																																																				

Type of Distribution

Chi-Square TEST

(K-S) TEST

if (sqerr_j < sqerr₀, type_j, 0) =

if (maxdif_j < maxdif₀, type_j, 0)

	0
0	0
1	"normal"
2	0
3	0
4	0
5	0
6	"GumbelSmallest"
7	0
8	0
9	0
10	"Weibull"
11	0

	0
0	0
1	"normal"
2	0
3	0
4	0
5	0
6	"GumbelSmallest"
7	"lognormal"
8	"gamma"
9	0
10	"Weibull"
11	"beta"

Freint

if [(sqerr_j < sqerr₀) ∧ (maxdif_j < maxdif₀), type_j, 0] =

	0
0	0
1	"normal"
2	0
3	0
4	0
5	0
6	"GumbelSmallest"
7	0
8	0
9	0
10	"Weibull"
11	0

freint =

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	5	2.66513	8.99043	36.5742	3.0095
2	11	13.26764	23.98117	54.72178	32.12036
3	34	34.68035	23.98117	22.66989	44.08494
4	40	43.74103	23.98117	9.39158	31.30497
5	34	26.64313	23.98117	3.8907	14.12596
6	6	7.94878	25.0849	1.6581	4.38531
7					

List of Abbreviations for Chi-Square Test Results

1 n	Normal Distribution
2 un	Uniform Distribution
3 ex	Shifted Exponential Distribution
4 Rl	Shifted Rayleigh Distribution
5 GbL	Gumbel (Type I-Largest Values) Distribution
6 Gbs	Gumbel (Type I-Smallest Values) Distribution
7 ln	Lognormal Distribution
8 gm	Gamma Distribution
9 Fc	Frechet (Type II-Largest) Distribution
10 Wb	Weibull (Type III-Smallest) Distribution
11 bt	Beta Distribution

List of Abbreviations for K-S Test Results

1 n	Normal Distribution
2 u	Uniform Distribution
3 e	Shifted Exponential Distribution
4 R	Shifted Rayleigh Distribution
5 GL	Gumbel (Type I-Largest Values) Distribution
6 GS	Gumbel (Type I-Smallest Values) Distribution
7 ln	Lognormal Distribution
8 g	Gamma Distribution
9 FL	Frechet (Type II-Largest) Distribution
10 W	Weibull (Type III-Smallest) Distribution
11 b	Beta Distribution



