แผนการจัดการเรียนรู้

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

รหัสวิชา 3121 - 2103 ท–ป–น 3-0-3

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

จัดทำโดย

ครู.....

วิทยาลัย.....

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

รายการตรวจสอบและอนุญาตให้ใช้

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

☐ ควรอนุญาตให้ใช้การสอนได้

☐ ควรปรับปรุงเกี่ยวกับ

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

หัวหน้าแผนกวิชา

...../...../.....

☐ เห็นควรอนุญาตให้ใช้การสอนได้

☐ ควรปรับปรุงดังเสนอ

☐ อื่น ๆ

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ

...../...../.....

☐ อนุญาตให้ใช้การสอนได้

☐ อื่น ๆ

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้อำนวยการ

...../...../.....

คำนำ

แผนการจัดการเรียนรู้ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (ท-ป-น) 3-0-3 รหัสวิชา 3121–2103 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ผู้จัดทำได้ใช้กระบวนการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้ การแก้ปัญหา การจัดกระบวนการ รวมทั้งการประเมินตามสภาพจริง ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนเกิดประสบการณ์ในการเรียนรู้ ที่สามารถนำความรู้และทักษะไปใช้ในชีวิตประจำวันและการทำงาน นอกจากนี้ในแผนการจัดการเรียนรู้ฉบับนี้ ยังมีการสอดแทรกความรู้ควบคู่คุณธรรม โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ เช่น ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ความซื่อสัตย์สุจริต การมีส่วนร่วมในชั้นเรียน ความสามัคคีและความเป็นประชาธิปไตย ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า แผนการจัดการเรียนรู้ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อนักเรียนนักศึกษาอย่างสูงสุดในการเรียนรู้วิชาการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

ลงชื่อ.....

(.....)

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ค
สารบัญ	ง
ลักษณะรายวิชา	จ
วิเคราะห์หัวข้อเรื่อง	ฉ
รายละเอียดหัวข้อเรื่อง	ช
รายละเอียดหัวข้อย่อย	ซ
รายละเอียดจุดประสงค์ปฏิบัติ	ฎ
กำหนดการเรียนรู้	ฒ
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1	1
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2	16
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3	28
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4	37
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	51
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	68
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7	79
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8	92
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9	103
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10	111
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11	120
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 12	133

	ลักษณะรายวิชา
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการคำนวณออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
2. มีความสามารถในการคำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง แรงอัด แรงดัด โครงข้อหมุน และรอยต่อของโครงสร้างไม้และเหล็ก
3. มีกิจนิสัยที่ดี สนใจใฝ่รู้ ทำงานด้วยความรอบคอบ และมีความรับผิดชอบ

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการและกระบวนการคำนวณออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
2. คำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงของโครงสร้างไม้และเหล็ก

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้ อุปกรณ์สำหรับยึดรอยต่อไม้ คำนวณออกแบบองค์อาคารไม้รับแรงดึง แรงอัด และโครงข้อหมุนไม้ และศึกษาคุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณ คำนวณออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงดึง แรงอัด และโครงข้อหมุนเหล็ก คำนวณออกแบบรอยต่อโดยการเชื่อม หมุดย้ำและสลักเกลียว

	วิเคราะห์หัวข้อเรื่อง
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์หัวข้อเรื่อง แบบแผนภูมิลำดับ (Scalar Pattern) หรือ แบบแผนภูมิปะการัง (Coral Pattern)

	รายละเอียดหัวข้อเรื่อง
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

หัวข้อหลัก(Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**แหล่งข้อมูล**				
	A	B	C	D	E
1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้	✓			✓	✓
2. การออกแบบโครงสร้างคานไม้	✓			✓	✓
3. การออกแบบโครงสร้างเสาไม้	✓			✓	✓
4. การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้	✓			✓	✓
5. การออกแบบโครงถักหลังคาไม้	✓			✓	✓
6. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก	✓			✓	✓
7. การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ	✓			✓	✓
8. การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ	✓			✓	✓
9. การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง	✓			✓	✓
10. การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวและหมุดย้ำ	✓			✓	✓
11. การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม	✓			✓	✓
12. การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก	✓			✓	✓

หมายเหตุ A : คำอธิบายรายวิชา
B : ผู้เชี่ยวชาญ
C : ผู้ชำนาญงาน
D : ประสบการณ์ของครูผู้สอน
E : เอกสาร/ตำรา/คู่มือ

	รายละเอียดหัวข้อย่อย
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หัวข้อหลัก (Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**หัวข้อย่อย (Element)**
1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้	1.1 คุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด
	1.2 โครงสร้างของเนื้อไม้และลายไม้
	1.3 ชนิดของไม้ ที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร
	1.4 กลสมบัติของไม้ตามมาตรฐาน ของ วสท.
	1.5 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ กับสภาวะใช้งาน
	1.6 มาตรฐานไม้ในงานก่อสร้าง
	1.7 ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527
2. การออกแบบโครงสร้างคานไม้	2.1 ความต้านทานต่อแรงดัด
	2.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน
	2.3 ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน
	2.4 ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง
	2.5 ความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง
3. การออกแบบโครงสร้างเสาไม้	3.1 ความยาวประสิทธิผล
	3.2 เสาประเภทต่างๆ
	3.3 การคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท
4. การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้	4.1 แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ
	4.2 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ
	4.3 การคำนวณแรงต้านทาน ของ ตะปู
	4.4 การคำนวณแรงต้านทาน ของ สลักเกลียว
5. การออกแบบโครงถัก(Truss)หลังคาไม้	5.1 ประเภทของหลังคาไม้
	5.2 ส่วนประกอบของโครงข้อหมุนหรือโครงถักหลังคาไม้
	5.3 รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคาไม้
	5.4 ค่าการโก่งตัวของโครงถักไม้ ที่ยอมให้
	5.5 ทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก

	รายละเอียดหัวข้อย่อย
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หัวข้อหลัก (Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**หัวข้อย่อย (Element)**
6. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก	6.1 มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน วสท. และ มอก.
	6.2 กลสมบัติของโลหะ
	6.3 ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้
	6.4 ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527
7. การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ	7.1 ความต้านทานต่อแรงดัด
	7.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือน
	7.3 โมดูลัสหน้าตัด
	7.4 ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่ง และทางข้าง
	7.5 ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยง และการยู่
	7.6 การออกแบบแผ่นรองใต้คาน
8. การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ	8.1 ความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด
	8.2 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้
	8.3 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
	8.4 การออกแบบรอยต่อเสา
	8.5 การออกแบบแผ่นรองใต้เสา
9. การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง	9.1 การคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง
	9.2 การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ
	9.3 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้
10. การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ	10.1 ลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว
	10.2 ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน
	10.3 พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้
	10.4 หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้
	10.5 ระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด

	รายละเอียดหัวข้อย่อย
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หัวข้อหลัก (Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**หัวข้อย่อย (Element)**
11. การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม	11.1 การจำแนกลักษณะการเชื่อม
	11.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม
	11.3 หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม
	11.4 ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ
	11.5 หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม
12. การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก	12.1 ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุน(Truss)เหล็ก
	12.2 ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก
	12.3 การกำหนดขนาดของแปเหล็ก
	12.4 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก

	รายละเอียดจุดประสงค์การปฏิบัติ
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หัวข้อหลัก (Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**จุดประสงค์การปฏิบัติ (Performance Objectives)**
1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับประเภทของไม้ โครงสร้างของเนื้อไม้ ชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารไม้ ขนาดมาตรฐานของไม้ที่ผ่านการไส และน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงที่กำหนด 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับประเภทของไม้ โครงสร้างของเนื้อไม้ ชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารไม้ ขนาดมาตรฐานของไม้ที่ผ่านการไส และน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงที่กำหนด 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับประเภทของไม้ โครงสร้างของเนื้อไม้ ชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารไม้ ขนาดมาตรฐานของไม้ที่ผ่านการไส และน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงที่กำหนด
2. การออกแบบโครงสร้างคานไม้	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง และความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง และความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง และความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง
3. การออกแบบโครงสร้างเสาไม้	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความยาวประสิทธิผล เสาประเภทต่างๆ และการคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับความยาวประสิทธิผล เสาประเภทต่างๆ และการคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล เสาประเภทต่างๆ และการคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท

	รายละเอียดจุดประสงค์การปฏิบัติ
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หัวข้อหลัก (Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**จุดประสงค์การปฏิบัติ (Performance Objectives)**
4. การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ การคำนวณแรงต้านทานของตะปู และ การคำนวณแรงต้านทานของสลักเกลียว 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับแรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ การคำนวณแรงต้านทานของตะปู และ การคำนวณแรงต้านทานของสลักเกลียว 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับแรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ การคำนวณแรงต้านทานของตะปู และ การคำนวณแรงต้านทานของสลักเกลียว
5.การออกแบบโครงถัก (Truss)หลังคาไม้	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ประเภทของหลังคาไม้ ส่วนประกอบของโครงสร้างหลังคา รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคา ค่าการโก่งตัวของโครงถักที่ยอมให้ และทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถักหลังคา 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับประเภทของหลังคาไม้ ส่วนประกอบของโครงสร้างหลังคา รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคา ค่าการโก่งตัวของโครงถักที่ยอมให้ และทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถักหลังคา 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับประเภทของหลังคาไม้ ส่วนประกอบของโครงสร้างหลังคา รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคา ค่าการโก่งตัวของโครงถักที่ยอมให้ และทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถักหลังคา
6. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ กลสมบัติของโลหะ ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ และข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับมาตรฐานเหล็กรูปพรรณ กลสมบัติของโลหะ ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ และข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับมาตรฐานเหล็กรูปพรรณ กลสมบัติของโลหะ ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ และข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก

	รายละเอียดจุดประสงค์การปฏิบัติ
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หัวข้อหลัก (Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**จุดประสงค์การปฏิบัติ (Performance Objectives)**
7. การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่ง และทางข้าง ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยง และการยู่ และการออกแบบแผ่นรองใต้คาน 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่ง และทางข้าง ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยง และการยู่ และการออกแบบแผ่นรองใต้คาน 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่ง และทางข้าง ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยง และการยู่ และการออกแบบแผ่นรองใต้คาน
8. การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก การออกแบบรอยต่อเสา และการออกแบบแผ่นรองใต้เสา 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก การออกแบบรอยต่อเสา และการออกแบบแผ่นรองใต้เสา 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก การออกแบบรอยต่อเสา และการออกแบบแผ่นรองใต้เสา
9. การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ และหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับการคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ และหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับการคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ และหน่วยแรงดึงที่ยอมให้

	รายละเอียดจุดประสงค์การปฏิบัติ
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หัวข้อหลัก (Main Element) / หน่วยการเรียนรู้ (Learning Unit)	**จุดประสงค์การปฏิบัติ (Performance Objectives)**
10. การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ และระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ และระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะและรูปแบบการยึด
11. การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการจำแนกลักษณะการเชื่อม สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับการจำแนกลักษณะการเชื่อม สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับการจำแนกลักษณะการเชื่อม สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม
12. การออกแบบโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก	1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุน(Truss) ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงสร้างหลังคา การกำหนดขนาดของแป และการคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคา 2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุน(Truss) ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงสร้างหลังคา การกำหนดขนาดของแป และการคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคา 3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุน (Truss) ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงสร้างหลังคา การกำหนดขนาดของแป และการคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคา

	กำหนดการเรียนรู้		
	รหัสวิชา 3121-2103 **ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก ท-ป-น 3-0-3**		
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม		
หน่วยที่	**ชื่อหน่วยการเรียนรู้**	**สัปดาห์ที่**	**ชั่วโมง**
1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้	1	3
2.	การออกแบบโครงสร้างคานไม้	2 - 3	6
3.	การออกแบบโครงสร้างเสาไม้	4	3
4.	การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้	5 - 6	6
5.	การออกแบบโครงถัก(Truss)หลังคาไม้	7 - 8	6
6.	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก	9	3
7.	การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ	10 - 11	6
8.	การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ	12 -13	6
9.	การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง	14	3
10.	การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ	15	3
11.	การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม	16	3
12.	การออกแบบโครงถัก(Truss)หลังคาเหล็ก	17 - 18	6
รวม		18	54

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1	**หน่วยที่ 1**
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้	สอนครั้งที่ 1/18
ชื่อเรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้		จำนวน 3 คาบ

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 คุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด
1.2 โครงสร้างของเนื้อไม้และลายไม้
1.3 ชนิดของไม้ ที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร
1.4 กลสมบัติของไม้ตามมาตรฐาน ของ วสท.
1.5 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ กับสภาวะใช้งาน
1.6 มาตรฐานไม้ในงานก่อสร้าง
1.7 ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527

2. สาระสำคัญ

ไม้เป็นผลิตภัณฑ์อันยิ่งใหญ่จากธรรมชาติ เป็นวัตถุดิบที่มีค่ายิ่ง จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในการก่อสร้าง เพราะมีน้ำหนักน้อย ตัดกลึงหรือเปลี่ยนรูปได้ง่าย มีความสวยงาม ตลอดจนสามารถปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นได้ ข้อเสียของไม้ ก็คือ มีความแข็งแรงต่ำ และมีคุณภาพในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน
(anisotropic) เช่น ความแข็งในทางปลาย(ขนานกับแนวเสี้ยน) จะต่างกับความแข็งที่รัศมี(radial) หรือด้านสัมผัส(tangential) เป็นต้น นอกจากนั้นในไม้ชนิดเดียวกัน ก็อาจจะมีความแตกต่างกันมากในด้านคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของไม้แต่ละท่อน ลักษณะการเลื่อยและอายุของไม้ เป็นต้น

การนำไม้ ไปใช้ในงานโครงสร้างอาคาร จึงจำเป็นต้องรู้ถึงประเภทของไม้ การเลือกใช้ประเภทของไม้ให้เหมาะกับประเภทของงาน เรียนรู้ถึงความสามารถในการรับกำลังได้ของไม้แต่ละชนิด และข้อกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ต่างๆตามที่กฎหมายบังคับไว้ เพื่อความปลอดภัยต่อการใช้งาน

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ คุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด โครงสร้างของเนื้อไม้และลายไม้ ชนิดของไม้ ที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร กลสมบัติของไม้ตามมาตรฐาน ของ วสท. ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ กับสภาวะใช้งาน มาตรฐานไม้ในงานก่อสร้าง และข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด โครงสร้างของเนื้อไม้และลายไม้ ชนิดของไม้ ที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร กลสมบัติของไม้ตามมาตรฐาน ของ วสท. ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ กับสภาวะใช้งาน มาตรฐานไม้ในงานก่อสร้าง และข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด โครงสร้างของเนื้อไม้และลายไม้ ชนิดของไม้ ที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร กลสมบัติของไม้ตามมาตรฐาน ของ วสท. ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ กับสภาวะใช้งาน มาตรฐานไม้ในงานก่อสร้าง และข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527

4. สาระการเรียนรู้

4.1 การจำแนกประเภทของไม้

ตามหนังสือของกรมป่าไม้ที่ กส.0702/6679 ลงวันที่ 3 พฤษภาคม 2517 แบ่งไม้ออกเป็น 3 ประเภท โดยถือเอาค่าความแข็งแรงในการดัดของไม้และความทนทานตามธรรมชาติของไม้นั้นๆ เป็นเกณฑ์ตามตารางข้างล่างนี้

ประเภทไม้	ความแข็งแรง (กก./ตร.ซม.)	ความทนทาน (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	> 1,000	> 10
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	600 – 1,000	2 - 10
ไม้เนื้ออ่อน	< 600	< 2

4.2 คุณสมบัติและประโยชน์ของไม้แต่ละชนิด

ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติและประโยชน์ของไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อแข็งปานกลาง และไม้เนื้ออ่อน ที่ควรทราบตามลำดับ ดังนี้

<u>ไม้เนื้อแข็ง</u> มีหลายชนิด เช่น ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้แดง ซึ่งมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่ควรทราบดังต่อไปนี้

ไม้เต็ง เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ตามป่าแดดทั่วไปยกเว้นภาคใต้ ลักษณะเนื้อไม้เป็นสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลแก่แกมแดง เสี้ยนสับสน เนื้อหยาบ แต่สม่ำเสมอแข็งเหนียวแข็งแรงและทนทานมาก เมื่อผึ่งแห้งแล้วเลื่อยไสตกแต่งได้ยาก น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,040 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำหมอนรางรถไฟ เครื่องมือกสิกรรม โครงสร้างอาคาร เช่น ตง คาน วงกบ ประตูหน้าต่าง โครงหลังคา เสา เป็นต้น

ไม้รัง เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ตามในป่าแดดทั่วไป ลักษณะเนื้อไม้มีสีน้ำตาลอมเหลือง เสี้ยนสับสน เนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอ แข็ง หนัก แข็งแรง และทนทานมาก เลื่อยไสตกแต่งค่อนข้างยาก เมื่อผึ่งแห้งจะมีลักษณะคล้ายไม้เต็ง จึงมักเรียกว่าไม้เต็งรัง น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำเสาและโครงสร้างอาคาร ทำหมอนรางรถไฟ ทำเครื่องมือกสิกรรม เป็นต้น

ไม้แดง เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นทั่วไปในป่าเบญจพรรณแล้งและชื้น ลักษณะของเนื้อไม้มีสีแดงเรื่อๆ หรือ สีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนแข็งแรงและทนทาน เลื่อยไสตกแต่งได้เรียบร้อย ขัดชักเงาได้ดี น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม้นี้นิยมในการก่อสร้างในส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น พื้น วงกบประตูหน้าต่าง ทำเกวียน ทำเรือ หมอนรางรถไฟ เครื่องเรือน เครื่องมือกสิกรรม ด้ามเครื่องมือ ไม้แดงนี้ปลวกหรือเพรียงจะไม่ค่อยรบกวน และเป็นไม้ที่ต้านทานไฟในตัวด้วย ไม้แดง เป็นไม้ที่มีความแข็งมาก ทำให้เวลาเกิดความชื้นหรือร้อน จะขยายตัวดันจนกำแพงแตกได้ กรณีเป็นพื้นหรือหากไปตีชิด ทำฝ้าเพดานชายคาด้านนอกบ้าน ก็จะดันจนเครื่องหลังคามีปัญหาได้

<u>ไม้เนื้อแข็งปานกลาง</u> มีหลายชนิดเช่นไม้สัก ไม้กระบากหรือไม้กะบาก ไม้นนทรี และอื่นๆ ซึ่งมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่ควรทราบดังต่อไปนี้

ไม้สัก เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ในป่าเบญจพรรณทางภาคเหนือและบางส่วนของภาคกลางและตะวันตก ลักษณะเนื้อไม้สีเหลืองทองนานเข้าจะกลายเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแก่ มีกลิ่นเหมือนหนังฟอกเก่าๆ และมีน้ำมันในตัว มักมีเส้นสีแก่แทรกเสี้ยนตรงเนื้อหยาบและไม่สม่ำเสมอ แข็งพอประมาณ ทนทานที่สุด ปลวกมอดไม่ทำอันตราย นำไปเลื่อยไสตกแต่งง่าย แกะสลักได้ดี ชักเงาได้ง่ายและดีมาก เป็นไม้ที่ผึ่งให้แห้งได้ง่ายและอยู่ตัวดี น้ำหนักโดยประมาณ 640 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม้สักเป็นไม้ที่นิยมมากในการทำเครื่องเรือน ทำบานประตูหน้าต่าง ทำเรือ แกะสลักต่างๆ ไม้สักเป็นไม้ที่เป็นสินค้าขาออกและเป็นที่นิยมของชาวต่างประเทศมาก ไม้สักที่ใหญ่ที่สุดในโลกปัจจุบันนี้ขึ้น อยู่ที่บ้านปางเกลือ ตำบลน้ำไคร้ อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ มีความสูง 51 เมตร วัดรอบต้นได้ 10.58 เมตร ใช้คนกางแขนโอบรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 8 คน กรมป่าไม้ได้ประมาณอายุต้นสักนี้ไว้ไม่น้อยกว่า 1,500 ปี

ไม้กระบากหรือไม้กะบาก เป็นต้นไม้สูงใหญ่ ขึ้นประปรายในป่าดิบชื้นและป่าเบญจพรรณชื้นทั่วประเทศ ทางพฤกษศาสตร์จะมีอยู่หลายชนิด แต่ในส่วนเนื้อไม้และการใช้มีลักษณะคล้ายคลึงมาก ใช้ร่วมกันได้ดี ลักษณะเนื้อไม้โดยรวมมีสีตั้งแต่นวลเหลืองถึงน้ำตาลอ่อนแกมแดงเรื่อๆ เสี้ยนตรงเนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอ แข็งเหนียว เลื่อยไสตก แต่งได้ไม่ยาก แต่มีข้อเสียคือเนื้อเป็นทรายทำให้กัดคมเครื่องมือ ผึ่งแห้งง่ายและไม่ค่อยเสื่อมเสีย น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 600 กิโลเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำแบบหล่อคอนกรีตได้ดีเพราะถูกน้ำแล้วไม่บิดงอหรือโค้ง ทำเครื่องเรือนราคาถูก ทำกล่องใส่ของเก้าอี้ เป็นต้น

<u>ไม้เนื้ออ่อน</u> มีหลายชนิด เช่น ไม้ยาง ไม้ก้านเหลือง ไม้มะยมป่า ไม้ต้นมะพร้าว ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ที่ควรทราบต่อไปนี้

ไม้ยาง เป็นต้นไม้สูงใหญ่สูงชะลูด ไม่มีกิ่งที่ลำต้น มักขึ้นเป็นหมู่ในป่าดิบชื้น และที่ต่ำชุ่มชื้นตามบริเวณใกล้เคียงแม่น้ำลำธารในป่าดิบและป่าอื่นๆ ทั่วไป ต้นบางชนิดสามารถเผาเอาน้ำมันยางได้ (แต่เป็นคนละชนิดกับต้นยางพารา)

ลักษณะเนื้อไม้สีแดงเรื่อหรือสีน้ำตาลหม่น เสี้ยนมักตรง เนื้อหยาบ แข็งปานกลางใช้ในร่ม ทนทานดี เลื่อยไสตก แต่งได้ดี น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 650 – 720 กิโลเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น ใช้เป็นไม้ฝา ไม้คร่าว ฝ้า เพดาน คร่าวฝา เป็นต้น

ไม้กระท้อน เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นตามป่าดิบชื้นทั่วประเทศ ลักษณะเนื้อไม้สีแดงเรื่อๆปนเทา เสี้ยนไม้ตรง เนื้อค่อนข้างหยาบ แข็งแรงปานกลาง ใช้ในร่มทนทานพอสมควร เลื่อยไสตกแต่งได้ง่าย ขัดและชักเงาได้ ผึ่งให้แห้งได้ง่าย แต่หดตัวมาก ใช้ทำพื้น เพดาน เครื่องเรือน เป็นต้น

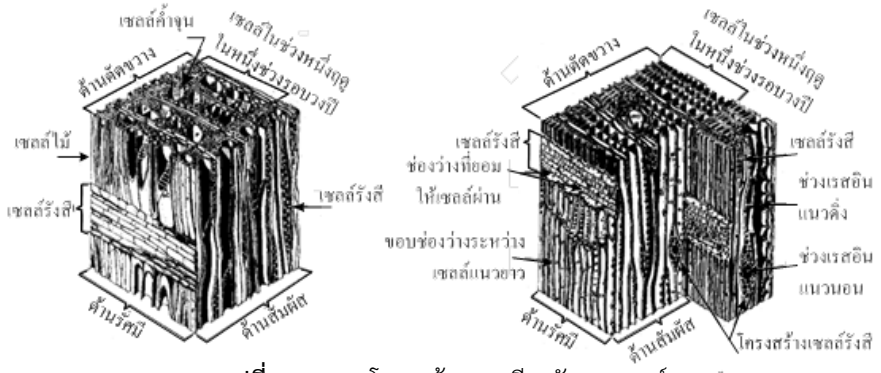
4.3 โครงสร้างของเนื้อไม้

โครงสร้างของต้นไม้ประกอบด้วยเซลล์(cell)หรือเส้นใย(fiber)ในลักษณะต่างๆเกาะยึดกันจนเป็นรูปลำต้นขึ้นมา ถ้าเราแบ่งเซลล์ออกตามลักษณะการเรียงตัว(ดังรูปที่ 10.1) จะสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ เซลล์ที่เรียงตัวยาวไปตามลำต้น เรียกว่า เซลล์ไม้(wood cell) ส่วนเซลล์ที่เรียงตัวไปตามแนวขวางของลำต้น เรียกว่า เซลล์รังสี(ray cell) นอกจากนี้เซลล์ต่างๆยังสามารถแบ่งหน้าที่ออกได้อีก 3 ชนิด คือ

เซลล์ลำเลียง(conducting tissue) เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงธาตุอาหารต่างๆ โดยทั่วไปจะเป็นเซลล์ขนาดใหญ่ที่มีผนังบาง

เซลล์ค้ำจุน(supporting tissue) เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ลำต้น โดยทั่วไปจะเป็นเซลล์ขนาดเล็ก แต่ผนังเซลล์หนา

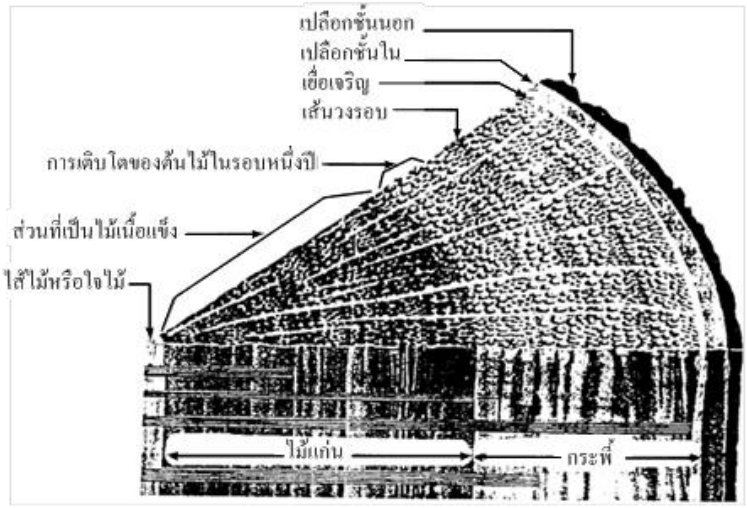
เซลล์สะสม(storage tissue) เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารไว้ในลำต้น โดยทั่วไปจะเป็นเซลล์ที่มีรูปร่างเหลี่ยมแบน แต่ผนังเซลล์บาง



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างการเรียงตัวของเซลล์

<u>**ส่วนประกอบของหน้าตัดไม้**</u>

หน้าตัดตามขวางของต้นไม้ ประกอบด้วย



ไส้ไม้ หรือ ใจไม้ (Pith) เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางลำต้นของต้นไม้ เป็นจุดที่เริ่มการเจริญเติบโตของต้นไม้ทำให้เกิดลำต้น กิ่งก้านและใบ เมื่อต้นไม้มีอายุมากแล้วไส้ไม้ก็จะกลายเป็นโพรง ในแง่กลสมบัติของไม้ถือว่ารับกำลังได้ต่ำและถือว่าเป็นไม้ที่มีตำหนิ จะไม่นำมาใช้ในงานก่อสร้าง

ไม้แก่น (Heartwood) เป็นส่วนที่อยู่ถัดออกมาจากไส้ไม้ แก่นไม้คือเซลล์ต่างๆของต้นไม้ที่ ไม่ทำงานแล้วและจะแข็งเป็นโครงสร้างให้กับลำต้น ส่วนของไม้แก่นนี้จะมีเนื้อสีเข้มเนื่องจากยังมีสารอาหารต่างๆตกค้างอยู่ ไม้แก่นเป็นไม้ที่นำมาใช้รับกำลังได้ดีในงานก่อสร้างต่างๆ

กระพี้ (Sapwood) เป็นส่วนที่อยู่ถัดออกมาจากไม้แก่น อยู่ระหว่างเปลือกชั้นในกับไม้แก่น เนื้อกระพี้จะมีสีจางกว่าไม้แก่น กระพี้เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงธาตุอาหารต่างๆไปสู่ใบและเป็นที่เก็บสะสมอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล เมื่อต้นไม้เจริญเติบโตเนื้อไม้ที่งอกขึ้นมาใหม่ก็ทำหน้าที่แทนกระพี้เดิม และกระพี้เดิมก็จะกลายเป็นไม้แก่น

เยื่อเจริญ (Cambium) เป็นเซลล์บางๆที่มีชีวิตอยู่ระหว่างกระพี้กับเปลือกชั้นใน การเจริญเติบโตของเนื้อไม้และเปลือกไม้เกิดจากการแบ่งเซลล์ของเยื่อเจริญ โดยเซลล์เยื่อเจริญที่แบ่งอยู่ด้านในก็กลายเป็นเนื้อไม้ ส่วนเซลล์ที่แบ่งตัวด้านนอกก็จะกลายเป็นเปลือกชั้นในที่ค่อยๆขยายตัวตามความเติบโตของลำต้นและไปดันเปลือกชั้นนอกให้แตกเป็นร่องลายต่างๆตามที่เราเห็นกันทั่วไป

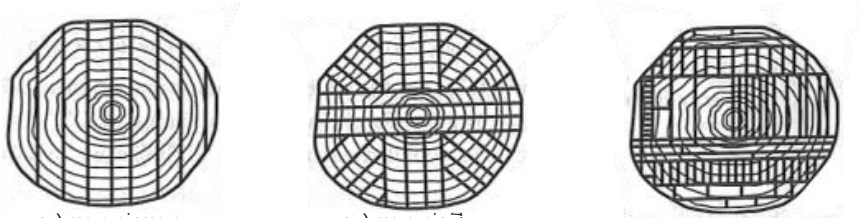
เปลือกชั้นใน (Inner bark) เป็นเซลล์ที่ยังมีชีวิตทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่ผ่านการสังเคราะห์แล้วจากใบไปเลี้ยงลำต้นส่วนต่างๆให้เจริญเติบโต

เปลือกชั้นนอก (Outer bark) เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของลำต้น เป็นเซลล์ที่ตายแล้วและแห้งแข็งทำหน้าที่ห่อหุ้มลำต้นไว้เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อลำต้น เช่น การเสียดสี การกัดแทะ อุณหภูมิ

เส้นวงรอบปี (Annual growth ring) เส้นวงรอบนี้เป็นเส้นที่บ่งบอกถึงแนวต่อของไม้ที่เจริญเติบโตขึ้นมาในแต่ละรอบปีหรือแต่ละฤดู ในท้องถิ่นที่มีความอุดมสมบูรณ์มากระยะห่างของเส้นวงนี้รอบนี้ก็จะห่างมาก สีของเส้นจะจาง แต่ถ้าท้องถิ่นใดแห้งแล้งไม่อุดมสมบูรณ์ เส้นวงรอบก็จะถี่บ่งบอกถึงการเติบโตที่ช้า สีของเส้นจะเข้ม โดยทั่วไปประมาณกันว่าเส้นวงรอบหนึ่งเส้นจะเท่ากับอายุของต้นไม้หนึ่งปี ยกเว้นต้นไม้บางชนิดเช่น ไม้สัก ในหนึ่งปีอาจมีถึงสองวง หรือต้นไม้ที่เกิดใบร่วงหมดทำให้การเจริญเติบโตไม่ครบวงรอบ

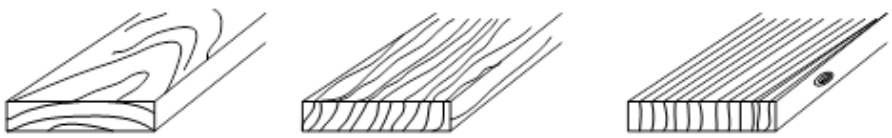
4.4 ลายไม้และตำหนิของไม้

<u>ลายไม้</u> การนำไม้มาใช้งานเริ่มจากการตัดโค่นต้นไม้และเราเรียกว่า ซุง เมื่อนำซุงมาแปรรูปโดยการผ่าหรือเลื่อย จะได้ไม้แปรรูปที่มีลาย(ในทางวิศวกรรมก่อสร้างเราเรียกว่า เสี้ยนไม้) ต่างๆกันตามลักษณะของการผ่าตามรูปข้างล่างนี้



ก.) แบบผ่าแบน ข.) แบบผ่าสี ค.) แบบผสมผสาน

รูปที่ 1.3 แสดงรูปแบบของการผ่าซุง



ก.) ข.) ค.)

ก.) Flat sawn หมายถึงลายไม้เอียงลาดไม่เกิน 45 องศา ข.) Rift sawn หมายถึงลายไม้เอียงลาดระหว่าง 45 – 80 องศา ค.) Vertical sawn หรือ Edge sawn หมายถึงลายไม้เอียงลาด 80 – 90 องศา

รูปที่ 1.4 แสดงลายไม้ในลักษณะต่างๆ

<u>ตำหนิของไม้</u> ไม้ที่ผ่านการแปรรูปมาแล้ว ก่อนที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้าง ต้องตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นไม้ ไม่ให้มีตำหนิมากเกินมาตรฐานที่กำหนดเพราะจะส่งผลต่อการรับกำลังของไม้เอง ตำหนิของไม้อาจเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ ดังนี้

สาเหตุที่หนึ่ง เกิดจากด้านชีววิทยา เช่น

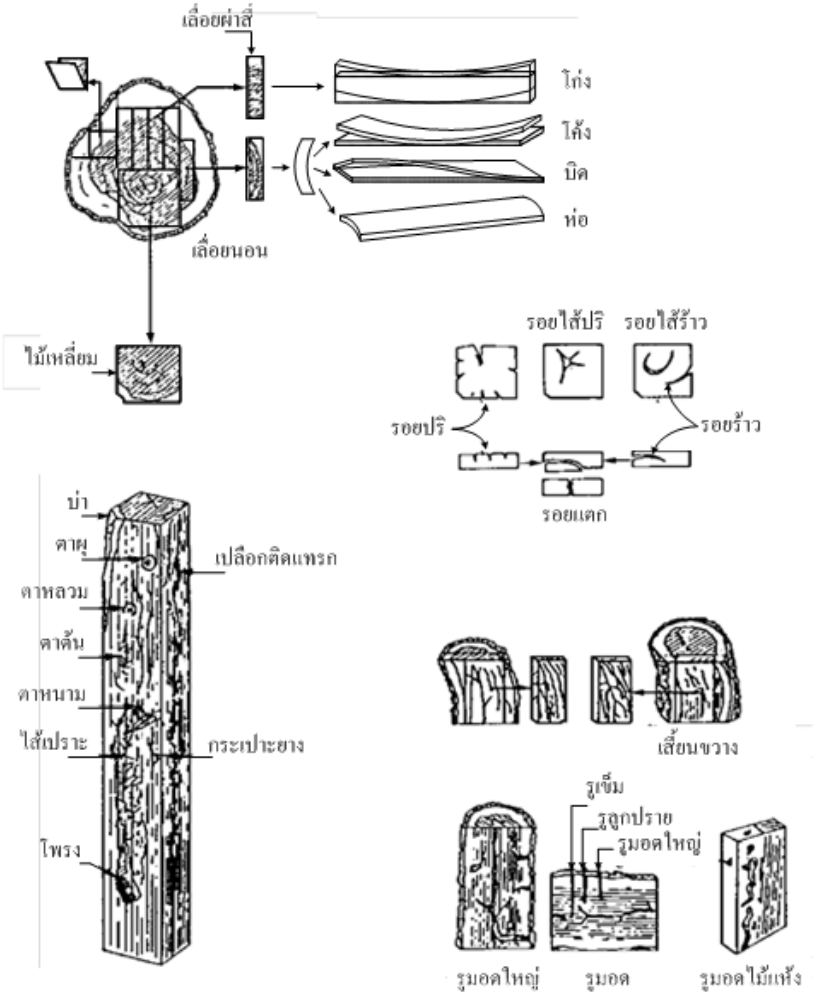
เชื้อรา เชื้อราเป็นพืชชั้นต่ำมีลักษณะเป็นรากฝอยลุกลามไปเรื่อยๆ เจาะกินเซลลูโลสในเนื้อไม้เป็นอาหาร ทำให้เนื้อไม้ผุ เชื้อราเจริญเติบโตได้ต้องอาศัยความชื้น อุณหภูมิและอากาศที่เหมาะสม เราจะเห็นได้ว่าไม้ที่อยู่ใกล้ๆ พื้นดินหรือกึ่งเปียกกึ่งแห้งจะช่วยให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดี

แบคทีเรีย เป็นพวกที่เกาะกินอาหารอยู่บนผิวไม้ ไม่เป็นตัวที่เป็นสาเหตุให้ไม้ผุโดยตรง แต่ถ้าผิวไม้ถูกกินจนผิวกร่อนลึกลงไปก็ทำให้ไม้เกิดความเสียหายได้

ปลวก ปลวกหรือแมลงเม่าที่เรารู้จักกันดี ปลวกมีอยู่สองชนิดคือปลวกที่ชอบอยู่ใต้ดินค่อยๆทำรังไต่ขึ้นมาตามผนังบ้าน กับปลวกที่มีปีกซึ่งมาทำรังใต้หลังคาบ้าน ปลวกเป็นแมลงที่กัดกินทำลายไม้ทั้งท่อนได้อย่างรวดเร็ว

มอด เป็นแมลงปีกแข็งตัวเล็กๆ ชอบกินเฉพาะแป้งที่มีในเนื้อไม้ แต่ไม่กินเนื้อไม้เหมือนกับปลวก ความรุนแรงของการทำลายไม้จึงน้อยกว่า เรามักจะพบเศษขุยคล้ายผงแป้งร่วงหล่นเป็นกองเล็กๆใกล้ๆกับชิ้นไม้นั้น ก็จะพบว่ามีรูเล็กๆเท่ารูเข็มเต็มไปหมดซึ่งก็คือรูที่มอดเจาะเข้าไปกินแป้งแล้วถ่ายออกมา

เพรียง เพรียงเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามแถบชายฝั่งทะเล อาศัยไม้ที่ปักอยู่ในทะเล เช่น สะพานเรือ ท่าเทียบเรือ เสาบ้านชายทะเล ฯลฯ เป็นที่อยู่อาศัยโดยกัดเจาะไม้ให้เป็นรูเพื่อฝังตัวอยู่ข้างใน ไม้ท่อนใดที่มีเพรียงเกาะอยู่มากก็อาจถูกเจาะจนหักพังไปได้



รูปที่ 1.5 แสดงตำหนิของไม้ลักษณะต่างๆ (วัสดุก่อสร้าง โดย พงษ์พัน วรสุนทโรสถ,2521)

สาเหตุที่สอง เกิดจากด้านฟิสิกส์ เช่น

ตาไม้(Knots) ตาไม้คือส่วนที่กิ่งไม้ยื่นออกมาจากลำต้น ตาไม้ทำให้ความต่อเนื่องของเสี้ยน ต้องสะดุดลง ขนาดของตาไม้มีผลเสียต่อการรับกำลัง ตาไม้ที่อยู่ในเสาและรับแรงอัดอาจมีผลเสียน้อย แต่ถ้าตาไม้อยู่ในคานจะเป็นผลต่อการต้านทานแรงดัด

รอยปริ(Checks) หมายถึงรอยแตกของไม้ตามแนวเสี้ยนหรือแนวรัศมีขวางกับเส้นวงปี รอยแตกนี้เกิดจากการหดตัวของไม้ที่ความชื้นไม่เท่ากัน จะพบรอยแตกนี้มากที่บริเวณปลายไม้ จะไม่ค่อยมีผลต่อการรับกำลังอัด แต่มีผลเสียต่อกำลังต้านทานแรงเฉือนและแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน

รอยร้าว(Shakes) หมายถึงรอยแตกของไม้ตามแนวยาวระหว่างเส้นวงปี รอยแตกนี้เกิดขึ้นในขณะที่วงปีกำลังจะงอกขึ้นมาใหม่แล้วเกิดมีลมแรงพัดให้ต้นไม้โยกไปมา ทำให้วงปีเก่ากับวงปีใหม่เกาะติดกันได้ไม่สนิท

4.5 น้ำยารักษาเนื้อไม้

น้ำยาหรือสารเคมีที่นำมาใช้ในการป้องกันรักษาเนื้อไม้มีอยู่หลายชนิด ต้องเลือกใช้ให้เหมาะกับลักษณะงานนั้นๆ เช่น

ครีโอโสต(Coal – tar creosote) เป็นน้ำมันซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ถ่านหิน มีสีดำหรือสีน้ำตาล มีคุณสมบัติในการรักษาเนื้อไม้เพราะเป็นสารที่มีพิษต่อเชื้อราและแมลงต่างๆ แทรกซึมเข้าเนื้อไม้ได้ง่าย หาได้ง่าย แต่มีกลิ่นเหม็น ไม่ละลายในน้ำ ทาสีทับไม่ได้ เหมาะสำหรับการทาเสาเข็ม โคนเสาใต้ถุนบ้าน หรือโครงหลังคาบนฝ้าเพดาน ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือยี่ห้อโซลิกนั่ม

ซิงค์คลอไรด์(Zinc chloride) เป็นผงสีขาว หาได้ง่าย ราคาถูก ไม่มีกลิ่น ทาสีทับได้ เนื้อไม้ที่รับสารนี้เข้าไปช่วยทำให้ทนไฟได้ดีขึ้น ละลายในน้ำได้ ไม่เหมาะกับงานในที่โล่งแจ้ง ต้องเป็นไม้ที่แห้ง มีคุณสมบัติในการป้องกันพวกเห็ดราและแมลงเจาะไม้ต่างๆ ยกเว้นปลวก เหมาะสำหรับงานไม้ที่อยู่ในที่ร่ม ไม่สัมผัสกับพื้นดิน

น้ำมันปิโตเลียม(Petroleum) เป็นน้ำมันปิโตเลียมดิบ หรืออาจใช้น้ำมันเครื่องเก่าๆที่ผ่านการใช้งานแล้วที่เราเรียกว่า น้ำมันขี้โล้ นำมาผสมกับน้ำมันครีโอโสตในสัดส่วนครึ่งต่อครึ่ง เพื่อทำให้ทาได้ง่ายขึ้น มีคุณสมบัติป้องกันแมลงเจาะไชและป้องกันการผุ ใช้ในการทาหมอนรองรางรถไฟ ทาไม้หรือเสาที่สัมผัสกับพื้นดิน ในสมัยเก่านิยมนำเอาน้ำมันขี้โล้มาทาแบบหล่อเพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกาะติดกับไม้แบบ แต่ปัจจุบันนี้เลิกใช้ไปแล้วเพราะทำให้คอนกรีตสกปรก และทำให้การฉาบปูนไม่เกาะติดเนื้อคอนกรีต

โซเดียมฟลูโอไรด์(Sodium fluoride) เป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ควรใช้ในที่ที่มีหินปูนเพราะจะทำให้เกิดปฏิกริยาจับตัวเป็นตะกอน ไม่เหมาะกับงานที่อยู่ในที่โล่งแจ้ง มีคุณสมบัติในการรักษาเนื้อไม้เช่นเดียวกับซิงค์คลอไรด์

สารหนู(Arsenic) เป็นสารที่เป็นพิษต่อแมลงและราต่างๆ การทาสารหนูบนเนื้อไม้ต้องระวังเพราะจะมีแก๊สที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้คนที่อยู่ในบริเวณนั้นๆ

นอกจากนี้ยังมีน้ำยาหรือสารเคมีอีกหลายชนิดขึ้นอยู่กับผู้ใช้ต้องเลือกให้เหมาะสม สำหรับผลิตภัณฑ์ที่รักษาเนื้อไม้ที่เป็นที่รู้จักกัน เช่น ซาโดลินของทีโอเอ และเชลล์ไดรท์ของบริษัทเชอร์วู้ด ใช้ป้องกันปลวก มอด เชื้อราและแมลงต่างๆ ทิมเบอร์ซิลด์ของทีโอเอ ใช้ป้องกันเชื้อราและกันน้ำซึมเข้าเนื้อไม้ ฯลฯ และผลิตภัณฑ์ที่ป้องกันเฉพาะผิวไม้ เช่น สีน้ำมันต่างๆ น้ำมันวานิช ยูนิเทน แชคแลค แล็กเกอร์ เป็นต้น

4.6 ไม้ที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร

ไม้ที่แปรรูปแล้วและนำมาใช้ในงานก่อสร้าง ดังรูปที่ 1.6 นั้น มีรายละเอียดดังนี้

ไม้กระดาน (Planks) เป็นลักษณะของแผ่นไม้แบนๆ ใช้สำหรับทำเป็นพื้นบ้าน หรือใช้เป็นฝาบ้าน , เชิงชาย , ปั้นลม สำหรับไม้พื้นมักเป็นขนาด 1” x 4” , 1” x 6” , 1” x 8” ฯลฯ สำหรับฝาหรือเชิงชาย อาจเป็นขนาด ½” x 6” , ¾” x 8” ฯลฯ ชนิดไม้ที่นิยมนำมาใช้ เช่น ไม้แดง , ไม้เต็ง , ไม้ตะเคียนทอง , ไม้ยางขาว เป็นต้น

ไม้คานหรือตง (Beams or Joists) เป็นไม้ที่ต้องทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักจากพื้น จึงต้องเป็นไม้ประเภทเนื้อแข็งเท่านั้น ขนาดโดยทั่วไปของตง เช่น 1½” x 5” , 2” x 6” @ 0.50 ส่วนขนาดของคานทั่วไป เช่น 2” x 6” , 2 - 2” x 6” , 2” x 8” , 2”x 10” ชนิดไม้ที่นิยมนำมาใช้ เช่น ไม้แดง , ไม้เต็ง , ไม้รัง , ไม้ประดู่ , ไม้มะค่าโมง เป็นต้น

ไม้เสา (Posts) เป็นไม้ที่ต้องทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักของอาคารทั้งหมด ชนิดของไม้ที่ใช้จึงต้องเป็นไม้เนื้อแข็งถึงแข็งมากเท่านั้น ขนาดของเสาไม้ต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่านั้น เช่น 4” x 4” , 6” x 6” , 8” x 8” หรือเสากลมซึ่งมักจะใช้กับบ้านทรงไทยเดิม ชนิดไม้ที่นิยมนำมาใช้ เช่น ไม้แดง , ไม้เต็ง , ไม้รัง , ไม้ประดู่ , ไม้มะค่าโมง เป็นต้น

ไม้เคร่า (Stud) แบ่งเป็นไม้เคร่าสำหรับยึดผนังหรือฝา และเป็นไม้เคร่าสำหรับยึดฝ้าเพดาน ซึ่งต้องแบกรับน้ำหนักไม่มากนัก ชนิดของไม้ที่ใช้จึงเป็นไม้เนื้ออ่อนได้ เช่น ไม้ยาง ขนาดของไม้เคร่าทั่วไป เช่น 1½” x 3” @ 0.40 , @ 0.60

ระแนง (Laths) เป็นไม้สี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็กๆขนาดหน้าตัดประมาณ 1” x 1” , 1½” x 1½” , 2”x2” วางห่างกันถี่ๆตามขนาดของกระเบื้องแต่ละชนิด ใช้รองรับกระเบื้องหลังคาขนาดเล็กในสมัยเก่า เช่น กระเบื้องหลังคาบ้านทรงไทย กระเบื้องหลังคาวัดหรือโบสถ์ และในปัจจุบันนี้ระแนงนำมาใช้รองรับกระเบื้องรุ่นใหม่เรียกว่า กระเบื้องโมเนีย และเป็นที่นิยมกันมากเพราะให้ความแข็งแรง สวยงาม แต่มีน้ำหนักมาก ระแนงในปัจจุบันจึงเปลี่ยนไปใช้เป็นเหล็กกล่องขนาด 25 x 25 x 1.6 mm. , 50 x 50 x 1.6 mm. ฯลฯ ระยะห่างประมาณ 32 – 34 ซม. เพื่อให้มีความแข็งแรงแบกรับน้ำหนักกระเบื้องได้ดี และไม่ยืดหดหรือคดโค้งบิดเบี้ยวเหมือนกับไม้ ทำให้ได้แนวกระเบื้องหลังคาที่มีแนวตรงแลดูสวยงาม

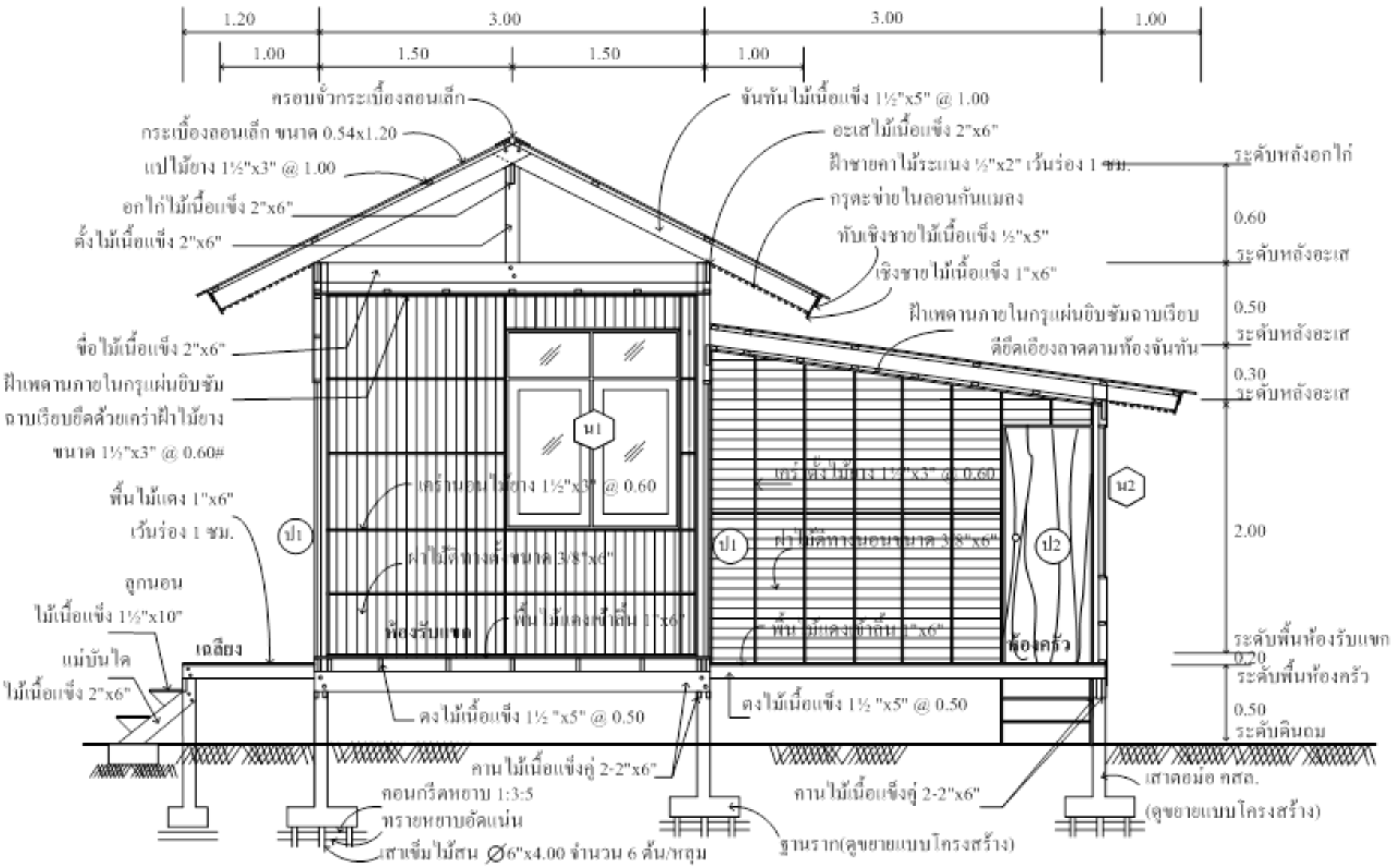
แป (Purlin) นิยมใช้ไม้ยางสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดหน้าตัดทั่วไป คือ 1½” x 3” , 2” x 4” ใช้รองรับกระเบื้องแผ่นใหญ่ขึ้น แต่บางและมีน้ำหนักไม่มาก เช่น กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องลูกฟูก ระยะห่างของแปโดยทั่วไปประมาณ 1.00 เมตร สำหรับกระเบื้องที่ยาว 1.20 เมตร หรือระยะห่าง 1.30 เมตร สำหรับกระเบื้องที่ยาว 1.50 เมตร หรือระยะห่างอาจเป็น 1.50 – 2.00 เมตร ก็ได้ ถ้าเป็นกระเบื้องที่เป็นแผ่นโละบางๆ(Metal sheet) ซึ่งมีน้ำหนักเบามาก ปัจจุบันนี้นิยมใช้เป็นแปเหล็กตัวซีบาง หรือเหล็กกล่อง ขนาดทั่วไป เช่น C – 75 x 40 x 15 x 2.3 มม. หรือ C – 100 x 50 x 20 x 3.2 มม. เป็นต้น

จันทัน (Rafter) จันทันอาจแบ่งการเรียกเป็นจันทันพราง และจันทันเอก จันทันเอกนั้นจะเป็นตัวที่อยู่ ณ ตำแหน่งหัวเสา ส่วนจันทันพรางจะเป็นแต่ละตัวที่อยู่ระหว่างช่วงเสาถึงเสา หน้าที่ของจันทันจะเป็นตัวแบกรับน้ำหนักจากระแนงหรือแป โดยทั่วไปจันทันจะเป็นไม้เนื้อแข็งมีขนาดหน้าตัดประมาณ 1½” x 5” , 2” x 6” หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซีหรือเหล็กกล่องขนาด C – 125 x 50 x 20 x 3.2 มม. , C – 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. วางห่างกันประมาณ 60 – 80 ซม. ถ้าใช้รองรับระแนง และวางห่างกันประมาณ 1.00 – 1.20 เมตร ถ้าใช้รองรับแป

ตะเข้สัน (Hip rafter) หรือ ตะเข้ราง (Valley rafter) ตะเข้สันหรือตะเข้รางเปรียบเสมือนเป็นจันทันเอกที่วางอยู่ที่มุมทั้งสี่มุมของหลังคาทรงปั้นหยา ตะเข้สันหรือตะเข้รางจะต้องมีขนาดหน้าตัดความสูงเท่ากับจันทันเพราะจันทันทุกตัวจะวิ่งมาเกาะกับตะเข้สันหรือตะเข้รางโดยระดับหลังของจันทันและตะเข้ต้องเท่ากันเพื่อให้แปหรือระแนงสามารถวางได้ในระดับเดียวกันโดยรอบทั้งสี่ด้านของหลังคา และเนื่องจากตะเข้สันหรือตะเข้รางต้องแบกรับน้ำหนักจากจันทันหลายตัว แต่ไม่สามารถขยายหน้าตัดให้ใหญ่ขึ้นได้เพราะต้องรักษาระดับหลังของตะเข้กับจันทันให้เท่ากัน จึงมักพบว่าตะเข้สันหรือตะเข้รางนั้นจะเป็นสองตัวคู่เพื่อการแบกรับน้ำหนักที่ดี เช่น 2 - 1½” x 5” , 2 - 2” x 6” หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซีหรือเหล็กกล่องขนาด 2C – 125 x 50 x 20 x 3.2 มม. , 2C – 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. เป็นต้น หรือ อาจใช้วิธีเสริมค้ำยันใต้ตะเข้สัน/ราง เพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความแข็งแรงและช่วยลดการแอ่นตัว

อกไก่ (Ridge) อกไก่ ก็เปรียบเสมือนคานที่อยู่บริเวณส่วนกลางของหลังคาทรงจั่วหรือทรงปั้นหยา ทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักจากจันทันทุกตัวทั้งสองด้าน ทำให้ต้องแบกรับน้ำหนักมากเป็นพิเศษ ขนาดของอกไก่โดยทั่วไปเป็นไม้เนื้อแข็ง เช่น 2 - 2” x 6” , 2” x 8” หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซีหรือเหล็กกล่อง เช่น C – 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. , 2C - 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. เป็นต้น

ดั้ง (King post) โดยปกติอกไก่จะวางอยู่บนเสาของอาคาร แต่ถ้าตำแหน่งของอกไก่วางไม่ตรงกับเสาของอาคาร ก็ต้องมีเสาเสริมขึ้นมารองรับเรียกว่า ดั้ง ทำหน้าที่รองรับอกไก่ทดแทนเสาจริงของอาคาร ขนาดของดั้งโดยทั่วไปเป็นไม้เนื้อแข็งสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่น 4” x 4” , 6” x 6” หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซีหรือเหล็กกล่องเช่น 2C – 100x50x20x 3.2 มม. , 2C - 125x50x20x 3.2 มม. วางประกบเข้าหากันเป็นรูปเสา



รูปที่ 1.6 แสดงไม้ที่นำไปใช้ในงานโครงสร้างอาคาร

ขื่อ (Tie Beam) หรือเรียกว่า สะพานรับดั้ง กรณีที่ อกไก่ไม่ได้วางอยู่ในตำแหน่งที่มีเสามารองรับ จึงต้องอาศัยดั้งเข้ามาแบกรับแทนและถ่ายน้ำหนักต่อไปยังคานที่เข้ามาแบกรับดั้งอีกทีหนึ่ง คานที่แบกรับดั้งนี้เราเรียกว่า ขื่อ ซึ่งขื่อนี้ก็จะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาอาคารต่อไป ขนาดของขื่อโดยทั่วไปเป็นไม้เนื้อแข็ง เช่น 2 -2” x 6” , 2 - 2” x 8” หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซีหรือเหล็กกล่อง เช่น 2C – 125 x 50 x 20 x 3.2 มม. , 2C - 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. เป็นต้น

อเส (Stud Beam) อเส ก็คือ คานชั้นบนสุดของอาคาร ทำหน้าที่เปรียบเสมือนคานรัดรอบตัวอาคารและเป็นคานแบกรับน้ำหนักจากจันทันแต่ละตัวด้วย ขนาดของอเส โดยทั่วไปเป็นไม้เนื้อแข็ง เช่น 2” x 6” , 2”x 8” หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซีหรือเหล็กกล่อง เช่น C –125x 50 x 20 x 3.2 มม. , C -150 x 50 x 20 x 3.2 มม. เป็นต้น

เชิงชาย , ทับเชิงชายหรือทับปั้นลมหรือปิดกันนก , ปั้นลม (Eaves)

ไม้เชิงชาย เป็นไม้ที่ใช้ปิดปลายชายคาของจันทันทุกตัวเพื่อให้แนวของชายคาแลดูตรง สวยงามและป้องกันการผุเปื่อยของไม้ที่ปลายจันทันอันเนื่องมาจากถูกแดดหรือฝน

ทับเชิงชายหรือทับปั้นลมหรือเรียกว่าปิดกันนก เป็นไม้ที่ตีทับลงไปบนไม้เชิงชายหรือปั้นลมอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะมีการเลื่อยไม้ให้มีส่วนโค้งไปมาให้สอดคล้องกับลอนของกระเบื้องหลังคาแต่ละชนิด เพื่อป้องกันไม่ให้นก หนูหรือแมลงใดๆเข้าไปทำรังใต้หลังคาได้

ปั้นลม เป็นไม้ที่ตีทับลงไปบนด้านข้างของจันทันตัวนอกสุดของหลังคาที่เป็นทรงจั่ว เพื่อป้องกันไม่ให้จันทันถูกทำลายจากฝนหรือแดด โดยทั่วไปขนาดของเชิงชายและปั้นลม คือ ¾” x 6” , ¾” x 8” และขนาดของทับเชิงชายหรือทับปั้นลมหรือปิดกันนก คือ 3/8” x 4” , ½” x 6” เป็นต้น

4.7 ขนาดของไม้ที่ไสแต่งแล้ว

ขนาดของไม้แต่ละขนาดนั้นเป็นขนาดที่ใช้เรียกขานกัน แต่ในสภาพจริงๆนั้น ไม้ต้องผ่านการไสแต่งผิวให้เรียบพอประมาณ ขนาดที่ได้จริงจึงเล็กกว่าขนาดที่ปรากฏตามตัวเลขเสมอ มาตรฐาน วสท.1002-16 กำหนดไว้ให้ ดังนี้

- ไม้ที่มีขนาดความกว้างหรือความหนาไม่เกิน 15 ซม. ยอมให้ไสเล็กลงได้ 0.95 ซม.
- ไม้ที่มีขนาดความกว้างหรือความหนาเกิน 15 ซม.ขึ้นไป ยอมให้ไสเล็กลงได้ 1.27 ซม.

การคำนวณออกแบบหาขนาดของไม้โครงสร้างที่ต้องการนั้น ต้องใช้ขนาดที่ไสแต่งเรียบร้อยแล้วเท่านั้น

4.8 ประเภทของไม้และกลสมบัติของไม้

ไม้ที่เรานำมาใช้มีหลายชนิดและหลายประเภท การรับกำลังก็แตกต่างกันออกไป ฉะนั้นการเลือกใช้ไม้ให้ถูกต้องตามลักษณะของงานก่อสร้างนั้น ก็จะก่อให้เกิดความปลอดภัยและเหมาะสมกับประเภทของงานนั้นๆ ในที่นี้ขอนำมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.1002-16) ที่ได้แบ่งชนิดไม้ไว้ 5 ประเภท คือ ไม้เนื้ออ่อนมาก ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อปานกลาง ไม้เนื้อแข็ง และ ไม้เนื้อแข็งมาก และกลสมบัติต่างๆของไม้ที่จำเป็นต่อการคำนวณออกแบบงานโครงสร้าง (เป็นค่าหน่วยแรงที่อยู่ในสภาวะรับน้ำหนักปกติและสภาวะใช้งานที่แห้งตลอดเวลา) ดังตารางที่ 10.1

<u>กลสมบัติของไม้</u> ที่ต้องนำมาพิจารณามีดังนี้

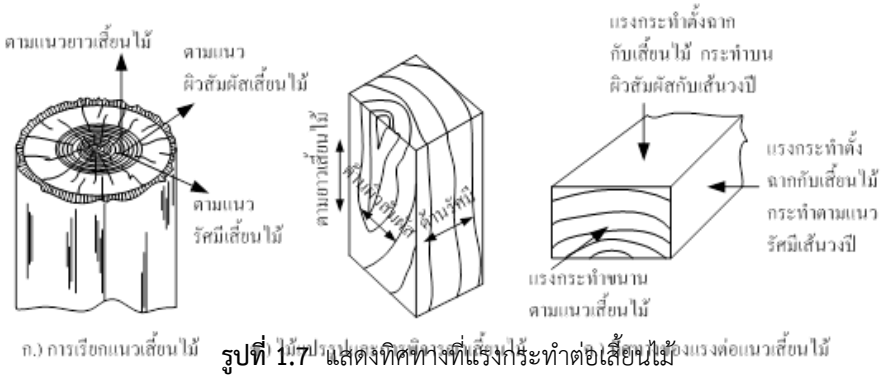
น้ำหนักไม้ (Weight) ไม้ที่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในงานวิศวกรรมก่อสร้างควรผ่านการผึ่งหรืออบแล้วให้เหลือความชื้นประมาณ 12 - 15%โดยน้ำหนัก เพื่อลดปัญหาการบิดตัว หดตัวและแตกปริในภายหลัง

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เป็นกลสมบัติที่มีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ โดยทั่วไป ไม้ที่มีน้ำหนักและความถ่วงจำเพาะสูงมักจะเป็นไม้ที่ให้กำลังสูงกว่าไม้ที่ความถ่วงจำเพาะต่ำ

หน่วยแรงดัด (Bending Stress) เป็นกลสมบัติที่ใช้กับการออกแบบโครงสร้างประเภทคาน เพื่อให้สามารถกำหนดหน้าตัดที่เหมาะสมที่จะนำจะมารองรับน้ำหนักบรรทุก

โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) เป็นการวัดหน่วยแรงดัดเมื่อถูกแรงดัดประลัยกระทำจนถึงขั้นแตกหัก ค่าประลัยที่ได้จะนำไปสู่การพิจารณากำหนดค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้

โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เป็นกลสมบัติที่ต้านทานต่อการโก่งตัวของคานในแนวดิ่ง โดยทั่วไปไม้ที่ความชื้นมากจะโก่งตัวมากกว่าไม้ที่ผึ่งแห้งดีแล้วเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน



รูปที่ 1.7 แสดงทิศทางที่แรงกระทำต่อเสี้ยนไม้

หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยน (Compressive Stress Parallel to Grain) เป็นกลสมบัติที่ใช้กับการออกแบบโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัด เช่น เสา การรับแรงของเสาเปรียบเสมือนมีเสากลวงเล็กๆของเซลล์ไม้หลายๆเซลล์ช่วยกันยันซึ่งกันและกัน ทำให้รับกำลังได้ดี

หน่วยแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compressive Stress Perpendicular to Grain) เป็นกลสมบัติที่ใช้กับการออกแบบโครงสร้างคานที่ต้องรับแรงอัดเป็นจุด เพื่อตรวจสอบการยุบตัวของเสี้ยนไม้ในขอบเขตยืดหยุ่นเท่านั้น เช่น ตงกระทำเป็นจุดบนคาน หรือคานกระทำต่อจุดรองรับ เป็นต้น

หน่วยแรงดึงขนานเสี้ยน (Tensile Stress Parallel to Grain) เป็นกลสมบัติที่ให้ค่าสูงสุดของไม้ในการออกแบบโครงสร้างไม้ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงดึงขนานเสี้ยนเหมือนกับหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ เช่น ชิ้นส่วนในโครงถักที่ต้องรับแรงดึง

หน่วยแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (Tensile Stress Perpendicular to Grain) เป็นกลสมบัติที่ไม่ค่อยได้ใช้ในงานออกแบบโครงสร้าง

หน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยน(Shearing Stress along Grain) เป็นกลสมบัติที่ใช้ต้านทานการแยกออกจากกันของครึ่งบนกับครึ่งล่างของคานไม้และมีค่ามากที่สุดที่กึ่งกลางความลึกที่ปลายคานหรือคานที่มีการบากปลายคาน

สำหรับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานของ วสท.1002-16 และ กฎกระทรวงใน พรบ.ควบคุมอาคารฉบับที่ 6-2527 กำหนดให้ใช้ดังนี้

ตารางที่ 1.2 แสดงค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

ประเภทของไม้	หน่วยแรงดัดหรือแรงดึงขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก. /ตร.ซม.)	หน่วยแรงอัด(กก. / ตร.ซม.)		หน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
			ขนานเสี้ยน	ตั้งฉากเสี้ยน	
ไม้เนื้ออ่อนมาก	60	78,900	45	12	6
ไม้เนื้ออ่อน	80	94,100	60	16	8
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	100	112,300	75	22	10
ไม้เนื้อแข็ง	120	136,300	90	30	12
ไม้เนื้อแข็งมาก	150	189,000	110	40	15

กฎกระทรวงฯ กำหนดให้ในกรณีที่มีผลการทดสอบของไม้ ให้ใช้ส่วนปลอดภัยโดยใช้กำลังไม่เกิน 1 ใน 8 ของหน่วยแรงดัดประลัย หรือไม่เกิน 1 ใน 6 ของหน่วยแรงที่ขีดปฏิภาค แล้วแต่ค่าใดจะน้อยกว่า

4.9 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้กับสภาวะใช้งาน

สภาวะการใช้งานที่แห้งตลอด ให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.2 กับไม้แปรรูปที่ใช้งานในสภาวะน้ำหนักบรรทุกปกติ และในสภาวะที่แห้งอยู่ตลอดเวลา เช่น โครงสร้างในที่ร่มทั่วไป

สภาวะใช้งานในที่เปียก ให้ลดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.2 สำหรับไม้แปรรูปที่ใช้งานในสภาวะที่มีความชื้นในเนื้อไม้เท่ากันหรือมากกว่าความชื้นอิ่มตัวของเสี้ยน เช่น ติดตั้งในน้ำ

โดย ลดค่าหน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ลงร้อยละ 10

ลดค่าหน่วยแรงอัดตั้งฉากกับแนวเสี้ยนที่ยอมให้ลงร้อยละ 33

ลดค่าโมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นลง 1/11

สภาวะใช้งานสำหรับไม้ที่อาบน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.2 กับไม้แปรรูปประเภทที่มีความทนทานที่ได้รับการอาบน้ำยาโดยวิธีใช้แรงดัน ตามกรรมวิธีการทำและวิธีป้องกันรักษาเนื้อไม้ที่ถูกต้อง และใช้ไม้นั้นในสภาวะที่แห้งเท่านั้น

สภาวะใช้งานสำหรับไม้ที่อาบน้ำยาเพื่อป้องกันไฟ ให้ลดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.2 ลงอีกร้อยละ 10 สำหรับไม้แปรรูปที่ได้รับการอาบน้ำยาเคมีโดยแรงดันเพื่อป้องกันไฟ

4.10 มาตรฐานไม้ก่อสร้าง

ไม้แปรรูปที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างเราเรียกว่า Timber ไม้ที่ใช้ในงานก่อสร้างต้องเป็นไม้ที่ดี ต้องปราศจากตัวมอด มีหน้าเรียบ เลื่อยได้เหลี่ยมฉาก เมื่อไสแล้วต้องไม่เล็กกว่าเกณฑ์ที่กำหนดของไม้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม หรือ มอก.424 –2530 หมายถึง ไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป

ไม้ก่อสร้างตามมาตรฐานของ วสท.1002-16 แบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ ไม้ก่อสร้างชั้น 1 ไม้ก่อสร้างชั้น 2 ไม้ก่อสร้างชั้น 3 และไม้ด้อยคุณภาพ

ในการเทียบชั้นมาตรฐานนั้น ให้ยึดมาตรฐานไม้ก่อสร้างชั้น 2 เป็นเกณฑ์

ไม้ก่อสร้างชั้น 1 มาตรฐานกำหนดให้มีตำหนิได้เพียงครึ่งหนึ่งของไม้ก่อสร้างชั้น 2 แต่ไม่ยอมให้มีตาหลุด ตาผุ และมุมของเสี้ยนขวางต้องไม่ชันกว่า 1 ใน 20 กับขอบไม้ทางยาว

ไม้ก่อสร้างชั้น 3 มาตรฐานกำหนดยอมให้มีตำหนิได้ถึงหนึ่งเท่าครึ่งของไม้ก่อสร้างชั้น 2 และมุมของเสี้ยนขวางยอมให้ชันได้ถึง 1 ใน 12 กับขอบไม้ทางยาว

ไม้ด้อยคุณภาพ เป็นไม้ที่มีคุณภาพต่ำกว่าไม้ก่อสร้างชั้น3 ไม่สมควรนำมาใช้ในงานโครงสร้าง แต่อาจนำมาใช้เป็นไม้แบบหรือค้ำยันงานเล็กน้อยได้

<u>มาตรฐานไม้ก่อสร้างชั้น</u>2 ยอมให้มีตำหนิได้ไม่เกิน ดังนี้

ตาไม้ ขนาดของตาไม้ให้ถือค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางที่กว้างที่สุดและแคบที่สุด และผลบวกของเส้นผ่าศูนย์กลางของตาทั้งหมดที่อยู่ในช่วง ¼ ของความยาวคาน จะต้องไม่เกินขนาดความกว้างของไม้ที่มีตานั้น และขนาดสูงสุดของตาจะยอมได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางข้างล่างนี้

รอยแตกรอยร้าว ความกว้างของรอยแตกรอยร้าว วัดที่ปลายไม้ตามแนวดิ่งยอมให้ได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางข้างล่างนี้

เสี้ยนขวาง มุมของเสี้ยนขวางจะต้องไม่ชันกว่า 1 ใน 15 กับแนวขอบไม้ทางยาว

กระพี้ ยอมให้มีได้สำหรับไม้ที่ใช้ในงานก่อสร้างชั่วคราว แต่ถ้าเป็นไม้ที่ใช้ในงานก่อสร้างที่ถาวรจะยอมให้มีกระพี้บนหน้าไม้ทั้ง 4 หน้าได้ไม่เกิน 15% หรือต้องผ่านการอาบน้ำยากันผุก่อนนำไปใช้

4.11 ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก (Loading)

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load , DL.) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีลักษณะคงที่ตายตัว ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างอาคารเป็นหลัก เช่น ฐานราก เสา คาน พื้น หลังคา ผนัง กระเบื้องปูพื้น เป็นต้น

ตารางที่ 1.5 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของวัสดุต่างๆ มีข้อมูลน้ำหนักต่อหน่วยโดยประมาณ ดังนี้

น้ำหนักบรรทุกคงที่	หน่วยน้ำหนัก
คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	2,300 - 2,400 กก. / ลบ.ม.
เหล็ก	7,770 – 7,900 กก. / ลบ.ม.
ไม้	600 – 900 กก. / ลบ.ม.
กระจก	2,900 – 3,000 กก. / ลบ.ม.
น้ำ	1,000 กก. / ลบ.ม.
ผนังอิฐบล็อกรวมฉาบ หนา 10 ซม.	120 – 150 กก. / ตร.ม.
ผนังอิฐมอญรวมฉาบ หนา 10 ซม.	180 – 200 กก. / ตร.ม.
ผนังอิฐบล็อกมวลเบารวมฉาบ หนา 10 ซม.	90 – 100 กก. / ตร.ม.
ผนังเบา เช่น ฝาไม้ ,ไม้อัด , ยิบซัม รวมโครงเคร่า	20 – 40 กก. / ตร.ม.
หลังคากระเบื้องลอนคู่ , ลอนเล็ก รวมแป	12 – 15 กก. / ตร.ม.
หลังคากระเบื้องโมเนีย , ดินเผาเคลือบ รวมระแนง	50 – 70 กก. / ตร.ม.
โครงสร้างหลังคา	20 – 50 กก. / ตร.ม.
ฝ้าเพดาน รวมโครงเคร่า	15 – 20 กก. / ตร.ม.
พื้นไม้รวมตง	30 – 50 กก. / ตร.ม.
พื้นแผ่นสำเร็จรวมคอนกรีตทับหน้า หนารวม 10 ซม.	240 – 260 กก. / ตร.ม.
ผิวพื้นกระเบื้องรวมปูนทราย หนา 5 ซม.	120 – 150 กก. / ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load , LL.) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่เป็นลักษณะมีการเคลื่อนย้าย หรือเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักได้ตลอดเวลาหรือบรรทุกอยู่ชั่วคราว เช่น น้ำหนักบรรทุกของผู้คนที่เข้าไปใช้ในอาคารนั้นๆ ตู้เก็บเอกสาร อุปกรณ์สำนักงาน รถยนต์ แรงลม เป็นต้น

ตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 (กฎกระทรวงฉบับที่ 6-2527) เป็นกฎหมายที่ใช้ควบคุมการออกแบบโดยกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำไว้ ดังนี้

ตารางที่ 1.6 น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ

ประเภทการใช้อาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ (กก. / ตร.ม.)
1. หลังคา	30
2. พื้นกันสาด หรือ พื้นหลังคาคอนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย , โรงเรียนอนุบาล , ห้องน้ำ-ส้วม	150
4. ห้องแถว , ตึกแถว , อาคารชุด , หอพัก , โรงแรม	200
5. สำนักงาน , ธนาคาร	250
6. อาคารพาณิชย์ , มหาวิทยาลัย , วิทยาลัย และโรงเรียน	300
7. ห้องโถง , บันได และช่องทางเดิน ของอาคารชุด , หอพัก , โรงแรม , โรงพยาล , สำนักงาน และ ธนาคาร	300
8. ตลาด , ห้างสรรพสินค้า , หอประชุม , โรงมหรสพ , ภัตตาคาร , ห้องประชุม , ห้องอ่านหนังสือในหอสมุด , ที่จอด/เก็บรถยนต์นั่ง	400
9. ห้องโถง , บันได และช่องทางเดิน ของอาคารพาณิชย์ , มหาวิทยาลัย , วิทยาลัย และ โรงเรียน	400
10. คลังสินค้า , โรงกีฬา , พิพิธภัณฑ์ , อัฒจันทร์ , โรงพิมพ์ โรงงานอุตสาหกรรม , ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
11. ห้องโถง , บันได , ช่องทางเดิน ของตลาด , ห้างสรรพสินค้า , หอประชุม , โรงมหรสพ , ภัตตาคาร และ หอสมุด	500

12. ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600
13. ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ	800
14. แรงลมที่กระทำต่ออาคาร (กรณีไม่มีเอกสารอ้างอิง)	
- ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 เมตร	160

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้
2. นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานไม้แต่ละชนิด โครงสร้างของเนื้อไม้และลายไม้ ชนิดของไม้ ที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร กลสมบัติของไม้ตามมาตรฐาน ของ วสท. ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ กับสภาวะใช้งาน มาตรฐานไม้ในงานก่อสร้าง ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527
4. นักเรียนทำแบบทดสอบที่ 1 ในหนังสือแบบเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. นักเรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 1 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. นักเรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 1 เรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้ ในหนังสือแบบเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 1 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1 เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 1 เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....

(.....)

ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างไม้

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา 3121-2103	**วิทยาลัย** .....
ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**.....	**ครู** .....

ที่	**รายการประเมิน**	***คะแนนแบบทดสอบ**		****คะแนนแบบประเมินผลการเรียนรู้**		***ข้อที่**	****ข้อที่**
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	คุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด						
2	โครงสร้างของเนื้อไม้และลายไม้						
3	ชนิดของไม้ ในงานโครงสร้างอาคาร						
4	กลสมบัติของไม้ตามมาตรฐาน						
5	หน่วยแรงที่ยอมให้กับสภาวะใช้งาน						
6	มาตรฐานไม้ในงานก่อสร้าง						
7	ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก						
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบโครงสร้างคานไม้	สอนครั้งที่ 2-3/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานไม้		จำนวน 6 คาบ

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ความต้านทานต่อแรงดัด
1.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน
1.3 ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน
1.4 ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง
1.5 ความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง

2. สาระสำคัญ

คาน(Beam) เป็นโครงสร้างของอาคารที่อยู่ในแนวราบ เป็นส่วนที่ต้องรับแรงดัด ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกต่างๆ นอกจากโครงสร้างคานแล้ว ยังมีโครงสร้างส่วนอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันและทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกัน เช่น ตง อกไก่ จันทัน อเส ขื่อ ตะเข้สัน ตะเข้ราง แม่บันได ฯลฯ ซึ่งวิธีการคำนวณออกแบบโครงสร้างก็จะใช้วิธีการเดียวกัน

การวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัด และแรงเฉือน ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคาน ในที่นี้จะสมมุติฐานให้เป็นโครงสร้างอย่างง่าย(Determinate Structure) กล่าวคือ **พิจารณาเป็นคานช่วงเดียว** เท่านั้น ถึงแม้ว่าโครงสร้างคานนั้นจะมีความต่อเนื่องหลายช่วงก็ตาม **เพราะในการก่อสร้างจริงอาจมีการตัดหรือต่อไม้ ที่ตำแหน่งเสาใดก็ได้** เพราะไม้เป็นวัสดุธรรมชาติไม่สามารถกำหนดความยาวของไม้ให้ยาวมากๆได้

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง และความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง
2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง และความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง
3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง และความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง

4. สาระการเรียนรู้

4.1 ความต้านทานต่อแรงดัด (Flexural Resistance)

<u>กรณีคานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า</u>

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น , $f_b = \frac{M}{S} = \frac{M.c}{I} = \frac{6M_{max}}{b.d^2}$ .....กก./ตร.ซม.

โดย หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น , $f_b < F_b$, ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ตามตารางที่ 1.2

เมื่อ M_{max}. = โมเมนต์ดัดสูงสุด .....กก.- ซม.

c = ระยะจากขอบของไม้ตามแนวดิ่งถึงแนวแกนสะเทิน ($\frac{d}{2}$).....ซม.

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียรอบแกนสะเทิน ($\frac{bd^3}{12}$).....ซม.^{4}

S = โมดูลัสรูปตัดคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($\frac{I}{c} = \frac{bd^3/12}{d/2} = \frac{bd^2}{6}$).....ซม.^{3}

b = ความหนา/ความกว้างของคาน.....ซม.

d = ความลึกของคาน.....ซม.

<u>กรณีคานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่มีความลึกเกิน 30 ซม.</u>

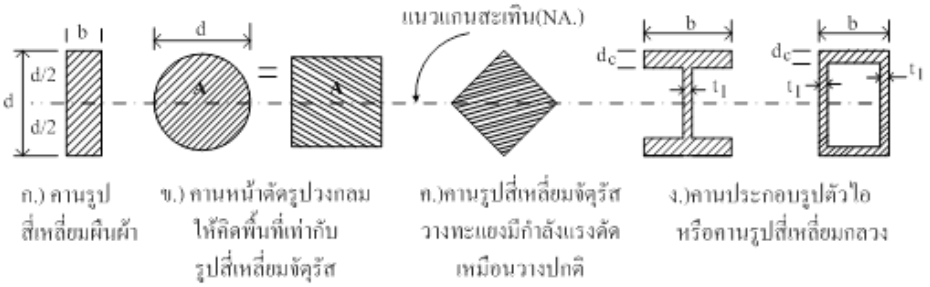
คานที่มีความลึกเกิน 30 ซม. ต้องคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความลึก และนำไปพิจารณาในสูตรคำนวณแรงดัด ดังนี้

F = $0.81\left(\frac{d^2+894}{d^2+550}\right)$, เมื่อ F = ค่าสัมประสิทธิ์ของความลึก

d = ความลึกคาน.....ซม.

∴ หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น , f_b = $\frac{6M}{F(b.d^2)}$ .....กก./ตร.ซม.

หรือ M = $\frac{F.f_b.I}{c}$ = $\frac{F.f_b.bd^2}{6}$ .....กก.- ซม.



รูปที่ 2.1 ลักษณะหน้าตัดคานไม้

<u>กรณีคานเป็นรูปหน้าตัดกลมเท่ากันตลอดความยาวคาน</u>

กำลังรับแรงดัด ให้คิดมีค่าเท่ากับกำลังรับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน คานที่มีหน้าตัดกลมเท่ากันตลอดความยาวคาน ไม่มีส่วนสอบใดๆ

กำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัด , F = 1.18

∴ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น , M = $\frac{F.f_b.I}{c}$ .....กก.- ซม.

<u>กรณีคานเป็นรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสวางตั้งในแนวเส้นทแยงมุม</u>

กำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสไม่ว่าจะวางตามปกติหรือวางในแนวสัน จะมีกำลังรับแรงดัดเท่ากัน คานที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสวางตั้งในแนวเส้นทแยงมุม

กำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ , F = 1.414

∴ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น , M = $\frac{F.f_b.I}{c}$ .....กก.- ซม.

<u>กรณีคานที่มีหน้าตัดเป็นรูปตัวไอหรือกล่องสี่เหลี่ยมกลวง</u>

คานที่มีหน้าตัดเป็นรูปตัวไอหรือกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

กำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัด , $F = 0.81\left[1+\left(\frac{d^2+894}{d^2+550}-1\right)C_S\right]$

โดย $C_s = p^2(6 - 8p + 3p^2)(1 - q) + q$

เมื่อ C_s = สัมประสิทธิ์ที่รองรับ

p = อัตราส่วนของความลึกของปีกรับแรงอัด(d_c)ต่อความลึกของคาน(d)

q = อัตราส่วนของความหนาของแผ่นตั้งหนึ่งขาหรือหลายขารวมกัน(t_1)ต่อความกว้างทั้งหมดของคาน(b)

∴ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น , $M = \frac{F.f_b.I}{c}$ .....กก.- ซม.

4.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวนอนหรือขนานเสี้ยนในคาน (Shearing Resistance)

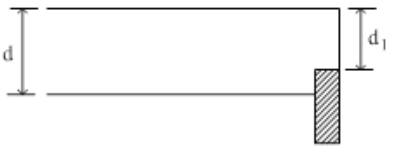
หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น , $f_h = \frac{V.Q}{I.b} = \frac{3V}{2bd} = \frac{1.5V_{max}}{bd}$

โดย หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น , $f_h < F_h$, ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตามตารางที่ 1.2

เมื่อ V_{max} = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุด.....กก.

Q = พื้นที่ของรูปตัดเหนือแกนสะเทินคูณด้วยระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ดังกล่าวถึงแนวแกนสะเทิน.....ซม.^{3}

ในกรณีต้องบากปลายคาน หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ต้องลดค่าลงเป็นสัดส่วนกับค่าความลึกของคานที่ต้องการบาก ดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงการหาระยะการบากคาน

หน่วยแรงเฉือนของคานบากที่เกิดขึ้น , $f_{h1} = \frac{V.Q}{I.b} = \frac{3V}{2bd_1} = \frac{1.5V}{bd_1}$

และหน่วยแรงเฉือนของคานบากที่ยอมให้ , $F_{h1} = F_h\left(\frac{d_1}{d}\right)$

เมื่อ F_h = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตามตารางที่ 1.2

โดย หน่วยแรงเฉือนของคานบากที่เกิดขึ้น , $f_{h1} < F_{h1}$, ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงเฉือนของคานบากที่ยอมให้

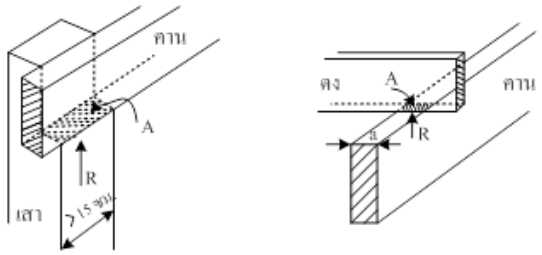
4.3 ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน (Bearing Resistance)

หน่วยแรงกดจะมีค่าสูงสุดที่บริเวณฐานรองรับ , $f_c = \frac{R}{A}$

เมื่อ R = แรงต้านทานสูงสุด.....กก.

A = พื้นที่บริเวณที่ถูกกด.....ตร.ซม.

โดย หน่วยแรงกดที่เกิดขึ้น , $f_c < F_c$, ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงกดที่ยอมให้ตามตารางที่ 1.2



รูปที่ 2.3 แสดงระยะแบกทาน

กรณีที่ระยะแบกทานที่ถูกกดมีความยาวน้อยกว่า 15 ซม. และตำแหน่งแบกทานอยู่ห่างจากปลายคานเกิน 7.50 ซม.

หน่วยแรงกดที่ยอมให้ (F_c) จะต้องคูณด้วย $\frac{a + 0.95}{a}$ .....ซม.

เมื่อ a = ระยะแบกทาน.....ซม.

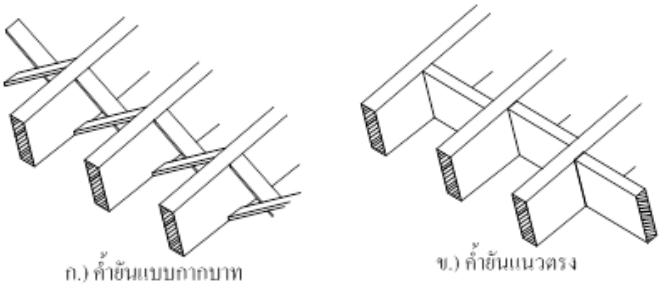
4.4 การโก่งของคานทางข้าง (Lateral Deflection)

เมื่อคานหรือตงมีความลึกมากๆ คานหรือตงก็จะเกิดการโก่งทางข้าง และทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักตามที่ออกแบบได้ ฉะนั้นจึงต้องแก้ไขโดยการใช้ค้ำยันด้านข้าง ดังนี้

1.) เมื่อความลึกของคาน/ตงไม่เกิน 2 เท่าของความหนาคาน/ตง ไม่ต้องเสริมค้ำยันด้านข้าง

2.) เมื่อความลึกของคาน/ตงไม่เกิน 3 เท่าของความหนาคาน/ตง ให้เสริมค้ำยันด้านข้างเฉพาะที่ปลายคาน

3.) เมื่อความลึกของคาน/ตงเกินกว่า 3 เท่าของความหนาคาน/ตง ให้เสริมค้ำยันด้านข้างทุกระยะ 2.50 ม.



รูปที่ 2.4 ลักษณะการค้ำยันทางข้าง

นอกจากการใช้ค้ำยันช่วยแก้ไขการโก่งด้านข้างแล้ว แต่ถ้าไม่ต้องการติดตั้งค้ำยันทางข้าง ก็อาจใช้วิธีลดค่าของหน่วยแรงดัด (F_b) ให้ต่ำลงเหลือเป็น $F_{b'}$ โดยพิจารณาอัตราส่วนความชะลูดของคาน(R_b) แล้วนำค่า $F_{b'}$ ไปคำนวณหาขนาดหน้าตัดคานใหม่ ดังสมการต่อไปนี้

- กรณีเป็นคานสั้น , เมื่อ $0 < R_b < 10$, ใช้ค่า $F_{b'} = F_b$
- กรณีเป็นคานยาวปานกลาง , เมื่อ $10 < R_b < K_b$, ใช้ค่า $F_{b'} = F_b \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{R_b}{K_b} \right)^4 \right]$
- กรณีเป็นคานยาว , เมื่อ $K_b < R_b < 50$, ใช้ค่า $F_{b'} = \frac{0.4E}{R_b^2}$

เมื่อ $F_{b'}$ = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ที่ลดค่าแล้วเมื่อไม่ต้องการติดตั้งค้ำยันทางข้าง.....กก./ตร.ซม.

F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้เมื่อมีการติดตั้งค้ำยันทางข้าง.....กก./ตร.ซม.

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของไม้ (ดูจากตารางที่ 1.2) .....กก./ตร.ซม.

R_b = อัตราส่วนความชะลูดของคาน = $\sqrt{\frac{d.L}{b^2}} < 50$

$K_b = \sqrt{\frac{0.6E}{F_b}}$, L_b = ความยาวประสิทธิผลของคาน มีค่าตามตารางที่ 2.1

b = ความหนาของคาน.....ซม. , d = ความลึกของคาน.....ซม.

4.5 การโก่งของคานในแนวดิ่ง (Deflection)

<u>เมื่อเป็นคานช่วงเดียวรับน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอ</u>

การโก่งของคานในแนวดิ่งที่เกิดขึ้น , $\Delta = \frac{5wL^4}{384EI}$ .....ซม.

<u>เมื่อเป็นคานช่วงเดียวรับน้ำหนักบรรทุกเป็นจุดที่กึ่งกลางคาน</u>

การโก่งของคานในแนวดิ่งที่เกิดขึ้น , $\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$ .....ซม.

เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกแบบอื่นๆ ให้ใช้วิธีการวิเคราะห์หรือดูสูตรการโก่งสำเร็จรูปที่ภาคผนวกท้ายเล่มเพิ่มเติม

โดย w = น้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ.....กก./ซม.

P = น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำเป็นจุด.....กก.

L = ความยาวรวมของคาน.....ซม.

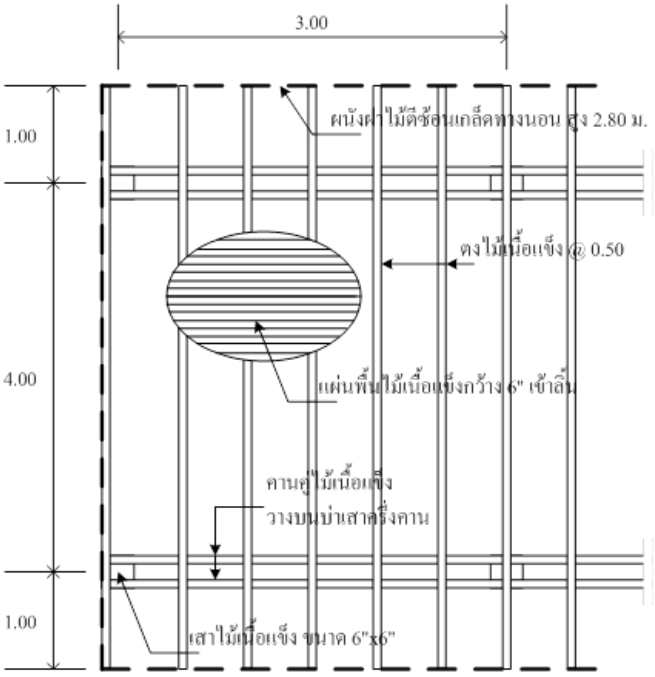
I = โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกนสะเทิน ($\frac{bd^3}{12}$).....ซม.^{4}

ระยะการโก่งของคานในแนวดิ่งที่ยอมให้ , $\Delta_a = \frac{L}{360}$, สำหรับโครงสร้างคาน/ตง

$\Delta_a = \frac{L}{240}$, สำหรับโครงสร้างหลังคาและพื้นไม้

$\Delta_a = \frac{L}{180}$, สำหรับโครงสร้างปลายยื่น

ตัวอย่างที่ 2.1 จากแบบแปลนโครงสร้างคาน/ตง/พื้น ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.9 แปลนโครงสร้างพื้น/ตง/คาน

จงคำนวณหาขนาดของ 1.) ความหนาของพื้นไม้เนื้อแข็งเข้าลิ้น
2.) ขนาดของตงไม้เนื้อแข็ง
3.) ขนาดของคานไม้เนื้อแข็ง

<u>กำหนดให้</u> ประมาณน้ำหนักพื้นไม้ 50 กก./ตร.ม. น้ำหนักบรรทุกจร 200 กก./ตร.ม.
ผนังฝาไม้ตีซ้อนเกล็ดทางนอนรวมเคร่าหนัก 30 กก./ตร.ม.

วิธีทำ

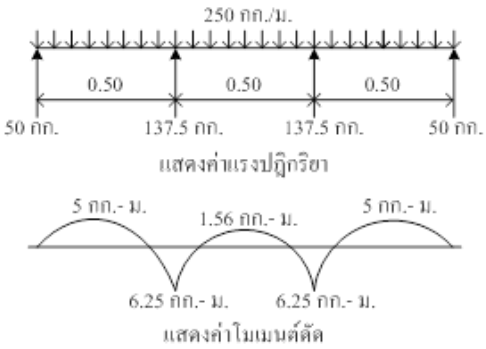
<u>1.) ความหนาของพื้นไม้เนื้อแข็งเข้าลิ้น</u>

พิจารณาความกว้างของพื้นทุก 1.00 ม. และสมมุติว่าแผ่นพื้นไม้มีความต่อเนื่อง 3 ช่วง

น้ำหนักตายตัวของพื้นไม้ = 50 กก./ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกจร = 200 กก./ตร.ม.

รวม = 250 กก./ตร.ม.



รูปที่ 2.10 แสดงค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น

พิจารณาเฉพาะค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด , $M_{max.}$ = 6.25 กก.- ม. = 625 กก.- ซม.

พิจารณาความกว้างของแผ่นพื้นที่ 1.00 ม. , b = 100 ซม.

ถ้าให้ $f_b = F_b$, จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ = 120 กก./ตร.ซม.

d = ความหนาของแผ่นไม้ที่ต้องการ

จากสูตร หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น , $f_b = \dfrac{6M}{b.d^2}$

$$120 = \frac{6x625}{100d^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{6x625}{100x120}} = 0.56 \text{ ซม.}$$

ให้เผื่อความหนาของแผ่นไม้สำหรับการไสแต่งอีก 10% = 0.56x1.10 = 0.62 ซม.$\Rightarrow$ 2.5 ซม.(1”)

จากตารางที่ 1.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้เนื้อแข็ง , E = 136,300 กก./ตร.ซม.

$$I_x = \frac{db^3}{12} = \frac{2.5x100^3}{12} = 208{,}333 \text{ ซม.}^4$$

ตรวจสอบการโก่งตัวในแนวดิ่งที่เกิดขึ้นของพื้นสามช่วงขึ้นไป

$$\Delta = \frac{wL^4}{145EI} = \frac{\left(250/100\right)x50^4}{145x136,300x208,333} = 0.000004 \text{ ซม.}$$

การโก่งของพื้นในแนวดิ่งที่ยอมให้ , $\Delta_a = \dfrac{L}{360} = \dfrac{50}{360} = 0.14$ ซม. > Δ ใช้ได้

$\therefore$ เลือกใช้แผ่นไม้พื้นเข้าลิ้นขนาดความหนา 2.5 ซม.(1”) กว้าง 6 ” เข้าลิ้น

<u>2.) ขนาดของตงไม้เนื้อแข็ง</u> ตงไม้เนื้อแข็ง @ 0.50

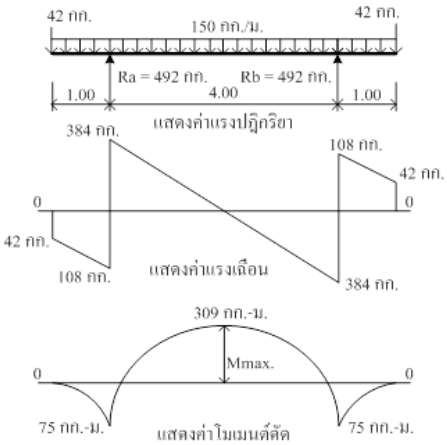
น้ำหนักบรรทุกจากพื้น = 250 กก./ตร.ม. = 250x0.50 = 125 กก./ม.

ประมาณน้ำหนักตง 20% ของน้ำหนักบรรทุก = 125x0.20 = 25 กก./ม.

รวมน้ำหนักทั้งหมด = 125 + 25 = **150 กก./ม.**

มีผนังไม้สูง 2.80 เมตรนั่งอยู่ที่ปลายตง , น้ำหนักผนังไม้รวมโครงเคร่า = 30 กก./ตร.ม.

∴ น้ำหนักผนังไม้ กดลงที่ปลายตง = 30x2.80x0.50 = **42 กก.**



รูปที่ 11.11 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นของตงไม้เนื้อแข็ง

ถ้าให้ $f_b = F_b$

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงดัดที่ยอมให้(F_b) ของไม้เนื้อแข็ง = 120 กก./ตร.ซม.

จากสูตร หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น , $f_b = \dfrac{6M_{max}}{b.d^2}$

$$120 = \frac{6(309x100)}{b.d^2}$$

$$bd^2 = \frac{6x30,900}{120} = 1,545 \text{ ซม.}^3$$

ให้เผื่อการไสแต่งเรียบอีก 10% = 1,545x1.10 ⇒ 1,700 ซม.^{3}

ถ้าสมมุติ เลือกความหนาของตง(b) = 2” = 5 ซม.

$$d^2 = \frac{1,700}{5} = 340 \text{ ตร.ซม.}$$

$$d = \sqrt{340} = 18.44 \text{ ซม.} \Rightarrow 20 \text{ ซม.(8”)}$$

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยนที่เกิดขึ้น , $f_h = \dfrac{1.5V_{max}}{bd} = \dfrac{1.5x384}{5x20} = 5.76$ กก./ตร.ซ.ม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยนที่ยอมให้ , F_h = 12 กก./ตร.ซ.ม. > f_h ใช้ได้

ตรวจสอบหน่วยแรงกดตั้งฉากเสี้ยนที่เกิดขึ้น , $f_c = \dfrac{R}{A}$, เมื่อตงหนา 5 ซม. นั่งอยู่บนคานคู่หนา 5 ซม.

$$= \frac{492/2}{5 \text{ x } 5} = 9.84 \text{ กก./ตร.ซ.ม.}$$

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงกดตั้งฉากเสี้ยนที่ยอมให้ , F_c = 30 กก./ตร.ซ.ม.

กรณีที่ระยะแบกทานที่ถูกกด มีความยาวน้อยกว่า 15 ซม. หน่วยแรงกดที่ยอมให้(F_c)ต้องคูณด้วย $\dfrac{a + 0.95}{a}$

∴ หน่วยแรงกดตั้งฉากเสี้ยนที่ยอมให้ , $F_c = 30\left[\frac{a + 0.95}{a}\right]$

$= 30\left[\frac{5 + 0.95}{5}\right] = 35.7$ กก./ตร.ซ.ม. > f_c ใช้ได้

ตรวจสอบการโก่งทางข้างของตง

กรณีที่ความลึกของตงเกินกว่า 3 เท่าของความหนาตง ให้เสริมค้ำยันด้านข้างทุกระยะ 2.50 ม.

∴ เลือกใช้ไม้ยางขนาด 2”x4” ค้ำยันด้านข้าง @ 2.50

ตรวจสอบการโก่งตัวในแนวดิ่งที่เกิดขึ้น

จากตารางที่ 1.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้เนื้อแข็ง , E = 136,300 กก./ตร.ซม.

$$I_x = \frac{bd^3}{12} = \frac{5 \times 20^3}{12} = 3{,}333 \text{ ซม.}^4$$

$$\Delta = \frac{wL^4}{384EI}\left[5 - 24\left(\frac{N}{L}\right)^2\right] - \frac{3PN^2L}{4EI} - \frac{PN^3}{2EI} - \frac{PNL^2}{6EI}$$

$$= \frac{\left(150/100\right) \times 400^4}{384 \times 136{,}300 \times 3{,}333}\left[5 - 24\left(\frac{100}{400}\right)^2\right] - \frac{3 \times 42 \times 100^2 \times 400}{4 \times 136{,}300 \times 3{,}333} - \frac{42 \times 100^3}{2 \times 136{,}300 \times 3{,}333} - \frac{42 \times 100 \times 400^2}{6 \times 136{,}300 \times 3{,}333}$$

$= 0.20$ ซม.

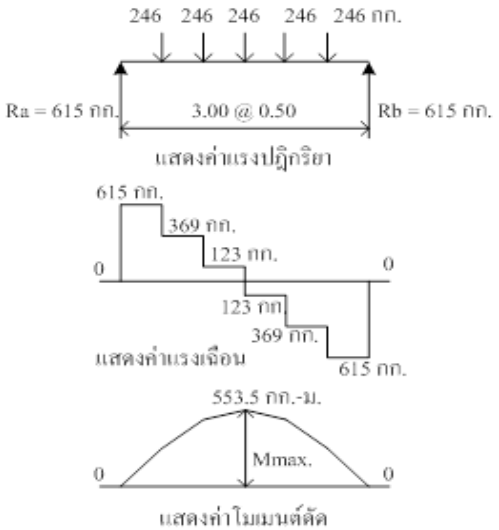
การโก่งของตงในแนวดิ่งที่ยอมให้ , $\Delta_a = \frac{L}{360} = \frac{400}{360} = 1.11$ ซม. > Δ ใช้ได้

∴ ตงไม้เนื้อแข็ง ขนาด 2”x8” @ 0.50 สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

<u>3.) ขนาดของคานไม้เนื้อแข็ง</u>

แรงปฏิกิริยาจากตงถ่ายลงคานทุกระยะ 0.50 เมตร = 492 กก.

ถ้าเลือกออกแบบเป็นคานคู่ , ∴ น้ำหนักกดลงคาน/ตัว/จุด $= \frac{492}{2} = 246$ กก.



รูปที่ 2.12 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นของคานไม้เนื้อแข็ง

ถ้าให้ $f_b = F_b$

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (F_b) ของไม้เนื้อแข็ง = 120 กก./ตร.ซม.

จากสูตร หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น , $f_b = \frac{6M_{max}}{b.d^2}$

$$120 = \frac{6\,(553.5 \times 100)}{b.d^2}$$

$$bd^2 = \frac{6 \times 55{,}350}{120} = 2{,}767.5 \text{ ซม.}^3$$

เผื่อการไสแต่งเรียบอีก 10% = 2,767.5 x 1.10 = 3,044.25 ซม.^{3}

ถ้าสมมุติเลือกความหนาของคาน(b) = 2” = 5 ซม.

$$d^2 = \frac{3{,}044.25}{5} = 608.85 \text{ ตร.ซม.}$$

$$d = \sqrt{608.85} = 24.67 \text{ ซม.} \Rightarrow 25 \text{ ซม.(10”)}$$

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยนที่เกิดขึ้น , $f_h = \frac{1.5V_{max}}{bd} = \frac{1.5x615}{5x25} = 7.38$ กก./ตร.ซ.ม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยนที่ยอมให้ , F_h = 12 กก./ตร.ซ.ม. > f_h ใช้ได้

ตรวจสอบหน่วยแรงกดตั้งฉากเสี้ยนที่เกิดขึ้น ,

$f_c = \frac{R}{A}$, เมื่อบ่าคานนั่งอยู่บนเสาครึ่งเดียว = $\frac{5}{2}$ = 2.5 ซม. , เมื่อ เสาขนาด 6”

$$= \frac{615}{2.5x15} = 16.4 \text{ กก./ตร.ซ.ม.}$$

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงกดตั้งฉากเสี้ยนที่ยอมให้ , F_c = 30 กก./ตร.ซ.ม. > f_c ใช้ได้

ตรวจสอบการโก่งตัวในแนวดิ่งที่เกิดขึ้น ,

จากตารางที่ 1.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้เนื้อแข็ง , E = 136,300 กก./ตร.ซม.

$$I_x = \frac{bd^3}{12} = \frac{5x25^3}{12} = 6{,}511 \text{ ซม.}^4$$

$$\Delta = \frac{0.076PL^3}{EI} = \frac{0.076PL^3}{EI} = 0.57 \text{ ซม.}$$

การโก่งของคานในแนวดิ่งที่ยอมให้ , $\Delta_a = \frac{L}{360} = \frac{300}{360} = 0.83$ ซม. > Δ ใช้ได้

∴ คานคู่ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 2 – 2”x10” สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

ตัวอย่างที่ 2.2 ถ้าต้องการลดระดับพื้นห้องให้ต่ำลง จะต้องบากตงได้เท่าไรจึงจะปลอดภัย

กำหนดให้ 1.) ตงเป็นไม้เนื้อแข็งขนาด 2”x6” @ 0.60 และมีช่วงความยาว 3.00 เมตร

2.) น้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรรวม 200 กก./ตร.ม.

รูปที่ 2.13 แสดงการหาระยะการบากคานที่ปลอดภัย

วิธีทำ

น้ำหนักบรรทุกบนตงต่อตัว = 200x0.60 = 120 กก./ม.

หน่วยแรงเฉือนของคานบากที่เกิดขึ้น , $f_{h1} = \frac{1.5V}{bd_1}$

และหน่วยแรงเฉือนของคานบากที่ยอมให้ , $F_{h1} = F_h \frac{d_1}{d}$

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ , F_h = 12 กก./ตร.ซม.

ถ้าให้ $f_{h1} = F_{h1}$, $\therefore F_h \frac{d_1}{d} = \frac{1.5V}{bd_1}$

$V = \frac{F_h bd_1^2}{1.5d}$, เมื่อ $V = \frac{120x3.00}{2} = 180$ กก.

b = 2” = 5 ซม. , d = 6” = 15 ซม.

แทนค่า $180 = \frac{(12x5)d_1^2}{1.5x15}$

$d_1^2 = \frac{180x1.5x15}{12x5} = 67.5$ ตร.ซม.

$d_1 = \sqrt{67.5} = 8.22$ ซม.

$\therefore$ จะบากตงได้อย่างปลอดภัย ต้องไม่เกิน = $d - d_1$ = 15 – 8.22 = 6.78 ซม.

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานไม้
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง และความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 2 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 2 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 2 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานไม้ ในหนังสือแบบเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 2 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 2
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 2
2. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 2 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานไม้

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 2 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานไม้

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(.....) (.....)

ตัวแทนนักเรียน ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 2 การออกแบบโครงสร้างคานไม้

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 2 การออกแบบโครงสร้างคานไม้

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบทดสอบ		**คะแนนแบบประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	ความต้านทานต่อแรงดัด						
2	ความต้านทานต่อแรงเฉือนแนวขนานเสี้ยน						
3	ความต้านทานต่อแรงกดตั้งฉากเสี้ยน						
4	ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง						
5	ความต้านทานต่อการโก่งในแนวดิ่ง						
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบโครงสร้างเสาไม้	สอนครั้งที่ 4/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาไม้		จำนวน 3 คาบ

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ความยาวประสิทธิผล

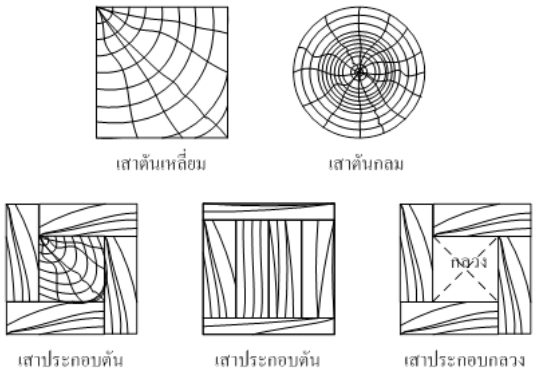
1.2 เสาประเภทต่างๆ

1.3 การคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท

2. สาระสำคัญ

เสาไม้ (Timber Columns) เป็นโครงสร้างหลักของอาคาร ทำหน้าที่แบกรับแรงอัด ซึ่งถ่ายน้ำหนักมาจากโครงสร้างคาน นอกจากโครงสร้างเสาแล้ว ยังมีโครงสร้างอื่นที่ทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกัน เช่น ตั้ง ค้ำยัน ชิ้นส่วนที่รับแรงอัดต่างๆของโครงถัก เป็นต้น

เสาเป็นโครงสร้างที่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับหน้าตัดเสาเอง และเมื่อต้องรับแรงอัด กำลังของโครงสร้างเสาจึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนชะลูด เนื่องจากจะมีผลต่อการโก่งเดาะของเสา(Buckling) การเสริมค้ำยันทางข้างของเสาก็จะช่วยให้เสาลดความชะลูดลง ทำให้เสารับกำลังอัดได้มากขึ้น หรือเพิ่มหน้าตัดเสาให้ใหญ่ขึ้นเป็นผลให้ช่วยลดอัตราส่วนชะลูดต่ำลง หรือใช้วิธีเสริมเสาประกอบเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.1 แสดงหน้าตัดของเสาต้นและเสาประกอบรูปแบบต่างๆ

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล เสาประเภทต่างๆ การคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล เสาประเภทต่างๆ การคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล เสาประเภทต่างๆ การคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท

4. สาระการเรียนรู้

4.1 ความยาวประสิทธิผล (Effective Length)

ชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงอัดมีผลโดยตรงกับอัตราส่วนชะลูด (L/r) นอกจากนี้ความยาวประ สิทธิผลของเสายังมีความสัมพันธ์กับชนิดของการยึดปลายเสาด้วย เพราะมีผลต่อการดัดกลับเมื่อเสาเกิดการโก่งเดาะ จึงใช้ค่า K เป็นค่าสัมประสิทธิ์คูณกับความยาวเสาสุทธิของเสา เป็นความยาวประสิทธิผล (KL) **โดยปกติทั่วไป เสาไม้มักยึดเหนี่ยวด้วยสลักเกลียว** ทั้งด้านบนและด้านล่าง **ค่า K จึงเลือกใช้เท่ากับ 1** ยกเว้นมีการออกแบบจุดยึดให้เป็นอย่างอื่น ก็ให้พิจารณาเลือกใช้ค่า K ตามตารางที่ 3.1 ซึ่งค่า K พิจารณาได้จากลักษณะการยึดปลายเสา ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ K

ลักษณะการโก่งเดาะของเสา ตามชนิดของการยึดปลายเสา แสดงให้เห็นด้วยแนวเส้นประ	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)	(ฉ)
ค่า K ตามทฤษฎี	0.50	0.70	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K ที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบ	0.65	0.80	1.20	1.0	2.10	2.0
ชนิดของการยึดปลายเสา	ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีการหมุนที่จุดยึด ไม่มีการเคลื่อนที่ แต่สามารถหมุนรอบจุดยึดได้ มีการเคลื่อนที่ที่ปลายเสา แต่ไม่มีการหมุนที่จุดยึด มีการเคลื่อนที่ที่ปลายเสา และมีการหมุนที่จุดยึดได้					

เสาไม้หรือท่อนไม้รับแรงอัดรูปแบบต่างๆ แบ่งออกได้ 3 ประเภทหลักๆ คือ

1. เสาต้นธรรมดา (Column or Post)
2. เสาประกอบ (Build-up Column)
3. เสาประกับพุก (Spaced Column)

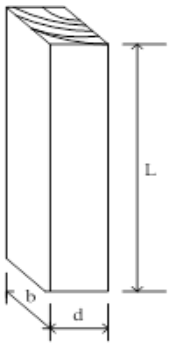
การคำนวณเสารับแรงอัดขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความชะลูด (L/d) เพราะมีผลโดยตรงต่อการโก่งทางด้านข้าง การออกแบบเสารับแรงอัด จะต้องประมาณค่าหน่วยแรงอัด (P/A) ขึ้นมาก่อน โดยให้ประมาณค่าให้น้อยกว่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดเสาโดยประมาณ จากนั้นจึงตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด เพื่อนำไปเลือกใช้สูตรหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ต่อไป

4.2 การคำนวณออกแบบเสาไม้ประเภทต่างๆ

<u>1. เสาต้นธรรมดา (Solid Column or Post)</u>

1.1) กรณีเสาต้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า

กำหนดให้สภาพปลายเสาของเสาต้น มีสภาพปลายยึดแบบหมุดหมุนทั้งสองปลาย สูตรการคำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสา ที่นิยมใช้กัน 3 สูตร ดังนี้



ก) สูตรที่ไม่ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E)

กรณีเสาสั้น $\left(L/d\right) < 12$, $F_a = F_c$

กรณีเสายาว $\left(L/d\right) > 12$, $F_a = F_c\left[1.33 - \left(L/35d\right)\right]$

ข) สูตรของ Fourth Power Parabolic Formula

กรณีเสาสั้น , $\left(L/d\right) < 12$, $F_a = F_c$

กรณีเสายาวปานกลาง , $12 < \left(L/d\right) < K$, $F_a = F_c\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{L/d}{K}\right)^4\right]$

กรณีเสายาว , $K < \left(L/d\right) < 50$, $F_a = \frac{\pi^2 E}{36\left(L/d\right)^2} = \frac{0.3E}{\left(L/d\right)^2}$

ค) สูตรที่ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E)

สำหรับทุกช่วงเสา , $\left(L/d\right) < 50$, $F_a = \frac{0.30E}{\left(L/d\right)^2}$

1.2) กรณีเสาตันกลม

ถ้าต้องการออกแบบเป็นเสาตันกลม ก็ให้ทำการคำนวณออกแบบเป็นเสาตันสี่เหลี่ยมจัตุรัสเสียก่อน เมื่อได้พื้นที่หน้าตัดเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสมาเท่าใด ก็ให้เทียบเคียงเป็นพื้นที่หน้าตัดเสากลม ให้มีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัส

หรือคำนวณได้จากสูตรหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสา ดังนี้

กรณีเสาสั้น , $\left(L/D\right) < 10$, $F_a = F_c$

กรณีเสายาวปานกลาง , $10 < \left(L/D\right) < Kr$, $F_a = F_c\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{L/D}{K_r}\right)^4\right]$

กรณีเสายาว , $Kr < \left(L/D\right) < 44$, $F_a = \frac{0.23E}{\left(L/D\right)^2}$

เมื่อ F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสา $\left(P/A\right)$ ที่คำนวณได้ต้องมีค่าน้อยกว่า F_c เสมอ

ถ้ามีค่ามากกว่า ให้ใช้ค่า $F_a = F_c$

F_c = หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ ตามตารางที่ 1.2

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ ตามตารางที่ 1.2

P = แรงอัดขนานเสี้ยน.....กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของเสาหรือท่อนรับแรงอัด.....ตร.ซม.

L = ความยาวของเสาหรือท่อนรับแรงอัดที่ไม่มีสิ่งยันทางข้าง.....ซม.

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดเสากลม.....ซม.

d = หน้าแคบของเสาหรือท่อนรับแรงอัด.....ซม.

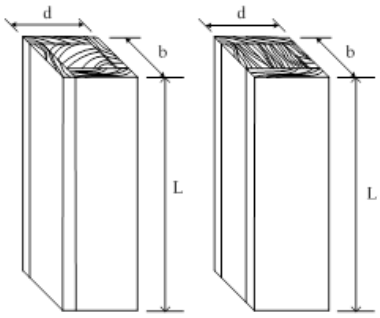
b = หน้ากว้างของเสาหรือท่อนรับแรงอัด.....ซม.

$\left(L/d\right)$ = อัตราส่วนความชะลูดของเสาตันทุกกรณี ต้องไม่มากเกินกว่า 50

r = รัศมีไจเรชั่นด้านที่มีค่าน้อยของเสา.....ซม.

$K = \frac{\pi}{2}\left(\sqrt{\frac{E}{6F_c}}\right) = \left[0.67\left(\sqrt{E/F_c}\right)\right]$

$Kr = 0.87K = 0.87\left[0.67\left(\sqrt{E/F_c}\right)\right] = 0.6\left(\sqrt{E/F_c}\right)$



<u>2. เสาประกอบ(Build-up Column)</u>

2.1) กรณีเสาประกอบตัน

เสาประกอบตันนี้ อาจเกิดจากเสาตันปกติที่เล็กไม่สามารถรับน้ำหนักได้เพียงพอ จึงต้องเสริมไม้แผ่นประกอบโดยรอบ หรือไม่สามารถหาเสาตันมาทำเสาได้ แต่มีไม้แผ่นนำมาประกอบยึดติดกันจนได้เป็นเสาตัน ไม้แผ่นที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 2 – 5 แผ่น แต่ละแผ่นควรหนาไม่น้อยกว่า 2” ใช้ตะปูยาวตอกยึดให้ทะลุไม้แผ่นอย่างน้อย 3 แผ่น ตะปูแต่ละตัวตอกห่างกันไม่เกิน 6 เท่าของความหนาไม้แผ่นนั้น

การคำนวณการรับน้ำหนักของเสาประกอบตัน ให้คำนวณโดยวิธีของเสาตันธรรมดาก่อน จากนั้นจึงใช้แฟกเตอร์ F เป็นตัวคูณลดกำลังลงมา ดังสูตรข้างล่างนี้

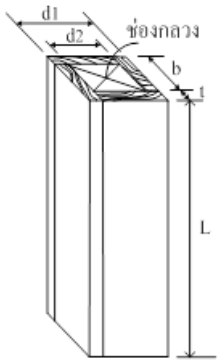
$$P' = F.P$$

เมื่อ P' = กำลังรับแรงอัดปลอดภัยของเสาประกอบตัน.....กก.
P = กำลังรับแรงอัดปลอดภัยของเสาตันธรรมดา.....กก.
F = ตัวคูณลดกำลังแฟกเตอร์ F ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวคูณลดกำลังแฟกเตอร์ F

$\left(L/d\right)$	6	10	14	18	22	26
F	0.82	0.77	0.71	0.65	0.74	0.82

2.2 กรณีเสาประกอบกลวง



ถ้าน้ำหนักกดลงเสามีไม่มากนัก และไม่สามารถหาเสาตันได้ ก็อาจออกแบบให้ใช้ไม้แผ่น 4 แผ่นนำมาประกอบกันเป็นเสา โดยปล่อยให้ตรงกลางเสาเป็นช่องว่างไว้

ค่า d = $\sqrt{d_1^2+d_2^2}$, และค่า b ไม่ควรเกิน 10 เท่าของความหนาไม้แผ่น

- สูตรการคำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสา ดังนี้

กรณีเสาสั้น , $\left(L/d\right) < 8$, $F_a = q.F_c$

กรณีเสายาวปานกลาง , $8 < \left(L/d\right) < K_b$, $F_a = q.F_c\left[1-\frac{1}{3}\left(\frac{L/d}{K_b}\right)^4\right]$

กรณีเสายาว , $K_b < \left(L/d\right) < 50$, $F_a = \frac{0.30UE}{\left(L/d\right)^2}$

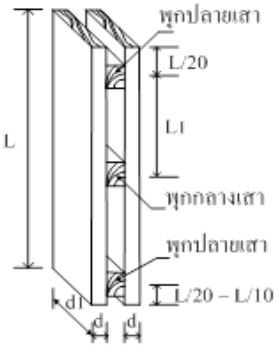
เมื่อ U = 0.8 , q = 1 สำหรับไม้แผ่นที่หนา 1"
U = 0.6 , q = 1 สำหรับไม้แผ่นที่หนา 2"

$K_b = 0.67\left(\sqrt{UE/qF_c}\right)$

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ ตามตารางที่ 1.2

<u>3. เสาประกับพุก(Spaced Column)</u>

3.1 เสาประกับพุ



เสาประกับพุกประกอบด้วยเสาไม้แปรรูปจำนวน 2 แผ่นหรือมากกว่าตั้งขนานตามแกนยาวเสาไม้แต่ละต้นวางแยกห่างกันโดยใช้พุกไม้ คั่นที่ปลายทั้งสองปลาย และพุกกลางเสาคั่นที่จุดกึ่งกลางความยาวของเสา ความหนาของพุกต้องไม่น้อยกว่าความหนาของเสาแต่ละต้น จะต้องยึดพุกกับเสาด้วยแหวนหรือสลักเกลียวหรือตะปู เพื่อให้สามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้และรับน้ำหนักบรรทุกได้ร่วมกัน

- สูตรการคำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสา ดังนี้

กรณีระยะยึดพุกปลายเสาไม่เกิน $L/20$, $F_a = \frac{0.75E}{\left(L/d\right)^2}$

กรณีระยะยึดพุกปลายเสาอยู่ระหว่าง $L/20 - L/10$, $F_a = \frac{0.90E}{\left(L/d\right)^2}$

- สูตรของ Fourth Power Parabolic Formula

กรณีเสาสั้น , $\left(L/d\right) < 12$, $F_a = F_c$

กรณีเสายาวปานกลาง , $12 < \left(L/d\right) < K_S$, $F_a = F_c\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{L/d}{K_S}\right)^4\right]$

กรณีเสายาว , $K_s < \left(L/d\right) < 80$, $F_a = \frac{0.3C_xE}{\left(L/d\right)^2}$

ทั้งสองสูตรข้างต้น ค่า F_a ทางด้านกว้างของเสาต้องมีค่าไม่เกิน $\frac{0.30E}{\left(L/d_1\right)^2}$

โดยค่า L/d ของเสาไม้แผ่นแต่ละต้นต้องมีค่าไม่เกิน 80

และค่า L_1/d ต้องมีค่าไม่เกิน 40

เมื่อ F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสา $\left(P/A\right)$

F_c = หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของเสา ตามตารางที่ 1.2

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ ตามตารางที่ 1.2

P = แรงอัดขนานเสี้ยนที่เสาประกับพุกรับได้โดยปลอดภัย.....กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของเสาไม้แผ่นทุกแผ่นรวมกัน.....ตร.ซม.

L = ความยาวของเสา.....ซม.

d = หน้าแคบของเสาไม้แผ่น.....ซม.

d_1 = หน้ากว้างของเสาไม้แผ่น.....ซม.

$K_s = 0.67\left(\sqrt{C_x.E/F_c}\right)$

C_x = 2.50 สำหรับการยึดพุกปลายเสาไม่เกิน $L/20$

C_x = 3.00 สำหรับการยึดพุกปลายเสาระหว่าง $L/20$ - $L/10$

ตัวอย่างที่ 3.1 จงคำนวณหาขนาดของเสาประเภทไม้เนื้อแข็งมากมีแรงอัดที่กระทำต่อเสา, P = 15,000 กก.

จงคำนวณหา 1.) ขนาดเสาไม้ตันสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2.) ขนาดเสาไม้ตันกลม

รูปที่ 3.2 เสาไม้ช่วงเดียวปลายเสาเป็นแบบยึดหมุนทั้งสองปลาย

วิธีทำ

1.) ขนาดเสาไม้ตันสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของไม้เนื้อแข็งมาก , F_c = 110 กก./ตร.ซม. ประมาณค่าหน่วยแรงอัด(F_a) ให้ต่ำกว่าค่า F_c ประมาณ 20% , ∴ F_a = 110 x 0.8 = 88 กก./ตร.ซม.

จากสูตร $F_a = P/A$

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดเสาที่ต้องการ , A = P/F_a = $15,000/88$ = 171 ตร.ซม.

ให้เผื่อการไสแต่งเรียบอีก 10% = 171 x 1.10 = 188 ตร.ซม.

ขนาดของเสาไม้ตันสี่เหลี่ยมจัตุรัส = $\sqrt{188}$ = 13.71 ซม. $\Rightarrow$ 15 ซม. = 6” x 6”

จากตารางที่ 1.2 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้เนื้อแข็งมาก , E = 189,000 กก./ตร.ซม.

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด , L/d = $300/15$ = 20

$$K = 0.67\left(\sqrt{E/F_c}\right) = 0.67\left(\sqrt{189,000/110}\right) = 28$$

เลือกใช้สูตรของ Fourth Power Parabolic Formula

กรณีเสายาวปานกลาง , 12 < $\left(L/d\right)$ < K , $F_a = F_c\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{L/d}{K}\right)^4\right]$

$$= 110 \times \left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{20}{28}\right)^4\right] = 101 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

$\therefore$ เสาต้นนี้รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ , $P_a = F_a(A)$

= 101 (15 x 15) = 22,725 กก.

หักส่วนไสแต่งเรียบ 10% = 0.9 x 22,725 = 20,453 กก. > P ใช้ได้

$\therefore$ เสาไม้เนื้อแข็งมากขนาด 6” x 6” สูง 3.00 ม. รับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

2.) ขนาดเสาไม้ตันกลม

จากพื้นที่หน้าตัดเสาตันสี่เหลี่ยมจัตุรัส = 15x15 = 225 ตร.ซม.

ให้เทียบเคียงพื้นที่หน้าตัดของเสากลม ไม่ให้น้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ลองเลือกใช้เสาตันกลม $\varnothing$ 7” = 17.5 ซม.

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดเสาตันกลม = $\frac{\pi D^2}{4}$ = $\frac{3.14x17.5^2}{4}$ = 240 ตร.ซม. > 225 ตร.ซม. ใช้ได้

หรือเลือกคำนวณจากสูตรหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสาตันกลม

สมมุติลองเลือกใช้เสาตันกลม $\varnothing$ 7” = 17.5 ซม.

จากตารางที่ 1.2 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้เนื้อแข็งมาก , E = 189,000 กก./ตร.ซม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของไม้เนื้อแข็งมาก , F_c = 110 กก./ตร.ซม.

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด , $\frac{L}{D}$ = $300/17.5$ = 17

$$K_r = 0.6\left(\sqrt{E/F_c}\right) = 0.6\left(\sqrt{189,000/110}\right) = 25$$

สูตรการคำนวณหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสากลม

กรณีเสายาวปานกลาง , 10 < $\left(\frac{L}{D}\right)$ < K_r , $F_a = F_c\left[1-\frac{1}{3}\left(\frac{L/D}{K_r}\right)^4\right]$

$$= 110 \times \left[1-\frac{1}{3}\left(\frac{17}{25}\right)^4\right] = 102 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดเสาที่ต้องการ , A = P/F_a = $15,000/102$ = 147 ตร.ซม.

ให้เผื่อการไสแต่งเรียบอีก 10% = 147 x 1.10 = 162 ตร.ซม.

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดเสาตันกลม $\varnothing$ 7” = $\frac{\pi D^2}{4}$ = $\frac{3.14x17.5^2}{4}$

= 240 ตร.ซม. > 162 ตร.ซม. ใช้ได้

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาไม้
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง ความยาวประสิทธิผล เสาประเภทต่างๆ การคำนวณรับกำลังของเสาแต่ละประเภท
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 3 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 3 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 3 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาไม้ ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 3 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 3
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 3
2. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 3 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาไม้

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 3 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาไม้

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....
(.....)
ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....
(.....)
ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างเสาไม้

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างเสาไม้

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบ ทดสอบ		**คะแนนแบบ ประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	ความยาวประสิทธิผล						
2	เสาประเภทต่างๆ						
3	การคำนวณรับกำลังของ เสาตันธรรมดา (Column or Post)						
4	การคำนวณรับกำลังของ เสาประกอบ (Build-up Column)						
5	การคำนวณรับกำลังของ เสาประกับพุก(Spaced Column)						
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้	สอนครั้งที่ 5-6/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้		จำนวน 6 คาบ

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ
1.2 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ
1.3 การคำนวณแรงต้านทาน ของ ตะปู
1.4 การคำนวณแรงต้านทาน ของ สลักเกลียว

2. สาระสำคัญ

การนำไม้มาประกอบเป็นโครงสร้างนั้น จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ยึดไม้(Mechanical Fasteners & Connectors) เป็นตัวยึดรอยต่อที่เกิดขึ้น อุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้จะสามารถต้านทานแรงที่มากระทำได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ขนาดน้ำหนักที่กระทำ ความถ่วงจำเพาะของไม้ ชนิดของไม้ หน้าตัดวิกฤติที่อุปกรณ์ยึด สภาวะของไม้ ระยะห่างของอุปกรณ์ยึด ทิศทางที่น้ำหนักกระทำ เป็นต้น

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

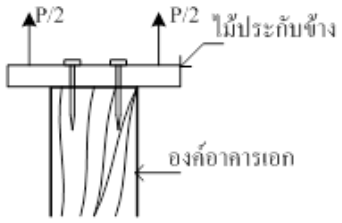
1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ การคำนวณแรงต้านทานของตะปู และ การคำนวณแรงต้านทานของสลักเกลียว
2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ การคำนวณแรงต้านทานของตะปู และ การคำนวณแรงต้านทานของสลักเกลียว
3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ การคำนวณแรงต้านทานของตะปู และ การคำนวณแรงต้านทานของสลักเกลียว

4. สาระการเรียนรู้

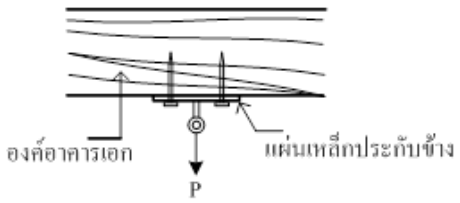
4.1 แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดไม้

แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดไม้ แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

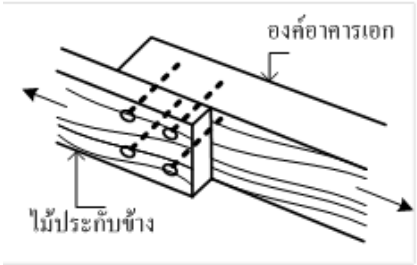
1.) แรงต้านทานต่อการถอน (Withdrawal Resistance)
2.) แรงต้านทานทางข้าง (Lateral Resistance)



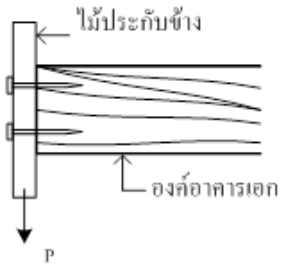
ก. แรงต้านทานต่อการถอนในแนวขนานเสี้ยน



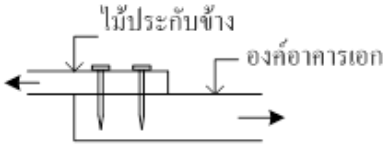
ข. แรงต้านทานต่อการถอนในแนวตั้งฉากเสี้ยน



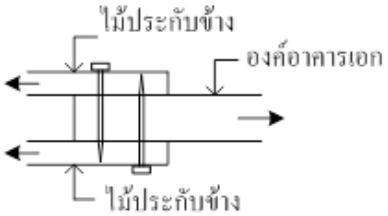
ค. แรงต้านทานทางข้างตามแนวขนานเสี้ยน



ง. แรงต้านทานทางข้างตามแนวตั้งฉากเสี้ยน



จ. แรงต้านทานทางข้างรับแรงเฉือนระนาบเดียว

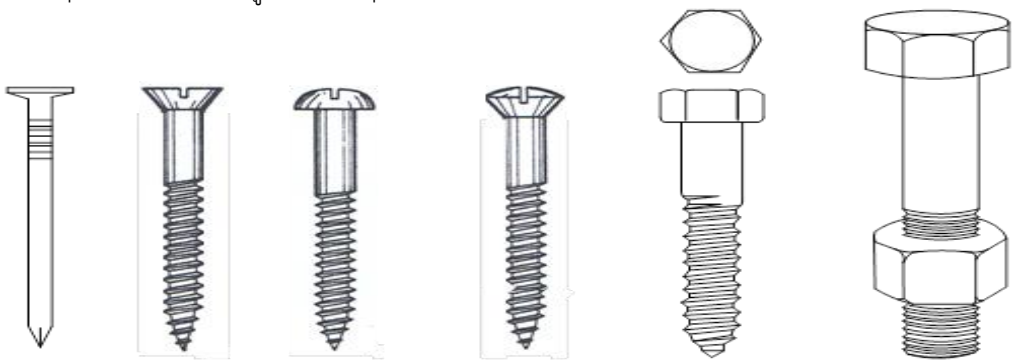


ฉ. แรงต้านทานทางข้างรับแรงเฉือนระนาบคู่

รูปที่ 4.1 แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดไม้

4.2 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ยึดรอยต่อไม้

อุปกรณ์ที่ใช้ต้านทานแรงทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ ตะปู ตะปูควง ตะปูเกลียว ส่วนสลักเกลียว(Bolts) จะใช้ต้านทานเฉพาะแรงทางข้างเท่านั้น นอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์ช่วยรับแรงเฉือนทางข้างอีกหลายชนิด ได้แก่ แหวนเหล็กรูปร่างต่างๆ แผ่นเหล็กหนามรูปแบบต่างๆ



ตะปู ตะปูควงหัวแบน ตะปูควงหัวกลม ตะปูควงหัวรูปไข่ ตะปูเกลียวหัวเหลี่ยม สลักเกลียว

รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ต้านทานแรง

4.3 การคำนวณหาแรงต้านทานยึดถอนเมื่อตอกในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้

$P = 95\ DG^{2.5}$ สำหรับตะปู

$P = 200\ DG^{2}$ สำหรับตะปูควง

$P = 160\ D^{0.75}\ G^{1.5}$ สำหรับตะปูเกลียว

4.4 การคำนวณหาแรงต้านทานยึดถอนเมื่อตอกในแนวขนานกับเสี้ยนไม้และปลายเสี้ยนไม้

$P = 0.75(160\ D^{0.75}\ G^{1.5})$ สำหรับตะปูเกลียว

เมื่อ P = แรงถอนที่ปลอดภัย.....กก./ซม. ของระยะฝัง

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนตะปูทั้งสามชนิด.....ซม.

G = ค่าความถ่วงจำเพาะของไม้แต่ละประเภทที่ผ่านการอบแห้งในตู้อบ

L = ความยาวตะปูทั้งสามชนิด.....ซม.

<u>ข้อกำหนดสำหรับแรงยึดถอน</u>

1. สูตรการคำนวณข้างต้นใช้กับจุดต่อไม้ในสภาวะปกติแห้ง หมายถึง อยู่ในที่ร่มและไม่เปียกชื้น
2. ระยะเกลียวของตะปูควงและตะปูเกลียวต้องยาวไม่น้อยกว่า (2/3)L
3. ระยะฝังของตะปูควงและตะปูเกลียวให้คิดเฉพาะส่วนที่เป็นเกลียวที่ฝังอยู่ในองค์อาคารเอกเท่านั้น
4. ระยะฝังของตะปูเกลียว
   ส่วนเกลียวต้องฝังลึกไม่น้อยกว่า 7D สำหรับไม้กลุ่ม 1 , 8D สำหรับไม้กลุ่ม 2 , 10D สำหรับไม้กลุ่ม 3
5. ถ้าไม้มีสภาพเปียกชื้นตลอดเวลา ในแนวตั้งฉากเสี้ยน
   - ให้ลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.25P สำหรับตะปู

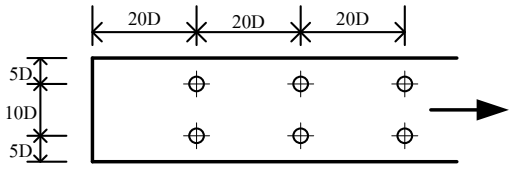
   ถ้าไม้มีสภาพเปียกชื้นตลอดเวลา ในแนวตั้งฉากเสี้ยนและแนวขนานปลายเสี้ยน
   - ให้ลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.67P สำหรับตะปูควง , ตะปูเกลียว

   ถ้าไม้ยึดตรึงในกลางแจ้งตลอดเวลา ในแนวตั้งฉากเสี้ยนและแนวขนานปลายเสี้ยน
   - ให้ลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.75P สำหรับตะปูควง , ตะปูเกลียว
6. ถ้าเป็นการตอกตะปูในแนวขนานปลายเสี้ยน
   - ต้องลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.75P สำหรับตะปูเกลียว
   - ส่วนตะปู และตะปูควง โดยปกติไม่ใช้ออกแบบการยึดถอนในแนวขนานปลายเสี้ยนไม้
7. ตะปูควงและตะปูเกลียว อาจใช้การเจาะรูนำได้และใช้ไขควงหรือประแจขัน ห้ามใช้การตอกด้วยค้อน
   - ตะปูควง รูเจาะนำต้องมีขนาดประมาณ 0.9D สำหรับไม้กลุ่ม 1
     0.7D สำหรับไม้กลุ่ม 2 , 3 และ 4
   - ตะปูเกลียว รูเจาะนำส่วนแกนให้มีขนาดเท่ากับแกนตะปูและมีความลึกเท่ากับก้านแกน
     ส่วนรูเจาะส่วนเกลียว ต้องมีขนาด 0.65D - 0.85D สำหรับไม้กลุ่ม 1
     0.60D - 0.75D สำหรับไม้กลุ่ม 2
     0.40D - 0.70D สำหรับไม้กลุ่ม 3 และ 4
     โดยความยาวรูเจาะส่วนเกลียว ให้มีความยาวเท่ากับความยาวของเกลียว

4.5 การจัดระยะห่างของตะปู ตะปูควง และตะปูเกลียว

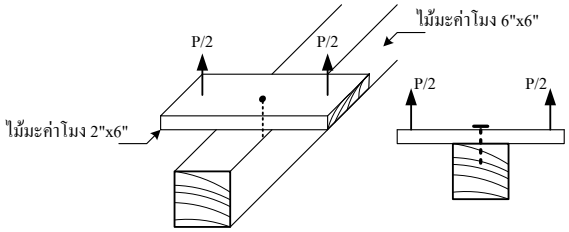
เพื่อให้การยึดจุดต่อไม้ด้วยอุปกรณ์ยึดทั้งสามชนิดดังกล่าว เกิดการยึดเหนี่ยวที่ดี ระยะห่างพอเหมาะ และไม่ทำให้ขอบไม้หรือรูเจาะถึงรูเจาะปริแตกก่อนปกติ จึงกำหนดระยะห่างของการเจาะยึด ดังนี้

ระยะจากขอบไม้	5D
ระยะระหว่างแถวของจุดยึด	10D
ระยะห่างจากปลายไม้	20D
ระยะระหว่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของจุดยึดในแถวเดียวกัน	20D



รูปที่ 4.5 แสดงระยะห่างการยึดของตะปู ตะปูควง และตะปูเกลียว

ตัวอย่างที่ 4.1 จากจุดต่อโครงสร้างไม้ ซึ่งเป็นไม้มะค่าโมง ดังรูปข้างล่างนี้ มีแรงถอน(P) 2,800 กก.
จงคำนวณหาจำนวนและขนาดของ
1. ตะปูอ้วน 2. ตะปูควง 3. ตะปูเกลียว



รูปที่ 4.6 การตอกอุปกรณ์ยึดในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้

วิธีทำ

<u>1. คำนวณหาจำนวนและขนาดของ ตะปูอ้วน</u>

จากตารางที่ 4.2 ไม้มะค่าโมง มีค่า ถ.พ. = 0.80 เป็นไม้กลุ่ม 2

ไม้แผ่นที่ได้รับแรงถอน หนา 2 นิ้ว สมมุติไสแต่งเรียบแล้วเหลือ 4.5 ซม.

จากตารางที่ 4.1 ก) เลือกใช้ตะปูอ้วน ∅ 0.283” ยาว 6” = ∅ 0.719 ซม. ยาว 15.24 ซม.

ระยะยึดฝังต้องไม่น้อยกว่า $\frac{2L}{3} = \frac{2x15.24}{3}$ = 10.16 ซม.

ตรวจสอบระยะยึดฝัง = 15.24 – 4.5 = 10.74 ซม. > 10.16 ซม.

แรงต้านทานการยึดถอน , P = 95 $DG^{2.5}$

= 95x0.719x$0.80^{2.5}$

= 39.1 กก./ซม.ของระยะฝัง

= 39.1x10.74 = 419.93 กก./ตัว

จำนวนตะปูอ้วนที่ต้องการ = 2,500/419.93 = 5.95 ⇒ 6 ตัว

∴ ต้องใช้ตะปูอ้วนขนาด 6 - ∅ 0.283” ยาว 6” จึงจะสามารถต้านทานการยึดถอนได้

<u>2. คำนวณหาจำนวนและขนาดของ ตะปูควง</u>

จากตารางที่ 4.3 เลือกใช้ตะปูควง ∅ 0.216” ยาว 6” = ∅ 0.56 ซม. ยาว 15.24 ซม.

ระยะยึดฝังที่เป็นเกลียวต้องไม่น้อยกว่า $\frac{2L}{3} = \frac{2x15.24}{3}$ = 10.16 ซม.

ตรวจสอบระยะยึดฝัง = 15.24 – 4.5 = 10.74 ซม. > 10.16 ซม.

∴ เฉพาะระยะเกลียวที่ฝัง = 10.16 ซม.

แรงต้านทานการยึดถอน , P = 200 DG^2

= 200x0.56x0.80^2

= 71.68 กก./ซม.ของระยะฝังที่เป็นเกลียว

= 71.68x10.16 = 728.27 กก./ตัว

จำนวนตะปูควงที่ต้องการ = 2,500/728.27 = 3.43 ⇒ 4 ตัว

∴ ต้องใช้ตะปูควงขนาด 4 - ∅ 0.216” ยาว 6” จึงจะสามารถต้านทานการยึดถอนได้

<u>3. คำนวณหาจำนวนและขนาดของ ตะปูเกลียว</u>

จากตารางที่ 4.4 เลือกใช้ตะปูเกลียว ∅ 3/8” ยาว 6” = ∅ 0.95 ซม. ยาว 15.24 ซม.

ระยะยึดฝังที่เป็นเกลียวต้องไม่น้อยกว่า $\frac{2L}{3} = \frac{2x15.24}{3}$ = 10.16 ซม.

ตรวจสอบระยะยึดฝัง = 15.24 – 4.5 = 10.74 ซม. > 10.16 ซม.

∴ เฉพาะระยะเกลียวที่ฝัง = 10.16 ซม. และมากกว่า 8D สำหรับไม้กลุ่ม 2 **ใช้ได้**

แรงต้านทานการยึดถอน , P = 160 $D^{0.75}$ $G^{1.5}$

= 160 x 0.950.75x $0.80^{1.5}$

= 110.13 กก./ซม.ของระยะฝังที่เป็นเกลียว

= 110.13 x 10.16 = 1,118.92 กก./ตัว

จำนวนตะปูเกลียวที่ต้องการ = 2,500 /1,118.92 = 2.23 $\Rightarrow$ 3 ตัว

$\therefore$ ต้องใช้ตะปูเกลียวขนาด 3 - $\varnothing$ 3/8" ยาว 6" จึงจะสามารถต้านทานการยึดถอนได้

4.6 การคำนวณหากำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานกับเสี้ยน(เมื่อตอกตั้งฉากเสี้ยน)

$P = K_1 D^{1.5}$ สำหรับตะปู

$P = K_2 D^2$ สำหรับตะปูควง

$P = K_3 D^2$ สำหรับตะปูเกลียว

4.7 การคำนวณหากำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวตั้งฉากกับเสี้ยน(เมื่อตอกขนานปลายเสี้ยน)

$P = 0.67 (K_1 D^{1.5})$ สำหรับตะปู

$P = 0.67 (K_2 D^2)$ สำหรับตะปูควง

$P = K_a (K_3 D^2)$ สำหรับตะปูเกลียว

เมื่อ P = กำลังต้านทานแรงเฉือนทางข้างที่ปลอดภัย.....กก./ตัว

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนตะปูทั้งสามชนิด.....ซม.

L = ความยาวตะปูทั้งสามชนิด.....ซม.

K_1 = 296 , 255 , 229 , 121 สำหรับไม้กลุ่ม 1 , 2 , 3 , 4 ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.2)

K_2 = 337 , 278 , 228 , 177 สำหรับไม้กลุ่ม 1 , 2 , 3 , 4 ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.2)

K_3 = 186 , 161 , 144 , 127 สำหรับไม้กลุ่ม 1 , 2 , 3 , 4 ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.2)

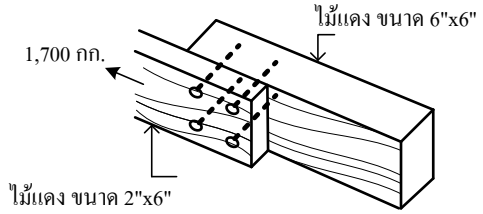
K_a = ตัวคูณลดค่า ขึ้นอยู่กับขนาดของตะปูเกลียว (ดูตารางที่ 4.5)

<u>ข้อกำหนดสำหรับแรงเฉือนด้านข้าง</u>

1. สูตรการคำนวณข้างต้นใช้กับจุดต่อไม้ในสภาวะปกติแห้ง หมายถึง อยู่ในที่ร่มและไม่เปียกชื้น
2. ระยะฝังของตะปู ต้องไม่น้อยกว่า 10D สำหรับไม้กลุ่ม 1 , 11D สำหรับไม้กลุ่ม 2
   13D สำหรับไม้กลุ่ม 3 , 14D สำหรับไม้กลุ่ม 4
   และไม่ว่ากรณีใดระยะฝังต้องไม่น้อยกว่า 1/3 ของค่าระยะที่กำหนด
3. ตะปูที่ตอกฝังตัวลึกตลอดองค์อาคาร 3 ชิ้น ซึ่งต้องต้านทานแรงเฉือนสองระนาบ ให้เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนได้อีก 33% และถ้าความหนาของไม้ประกับข้างแต่ละข้างหนาไม่น้อยกว่า 1/3 ของความหนาองค์อาคารตัวกลาง ให้เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนได้อีก 67% และให้เพิ่มกำลังเป็นสัดส่วนเมื่อความหนาของไม้ประกับข้างแต่ละข้างหนาอยู่ในค่าระหว่างที่กำหนด
4. ระยะเกลียวของตะปูควงและตะปูเกลียวต้องยาวไม่น้อยกว่า (2/3) L
5. ระยะฝังของตะปูควงและตะปูเกลียวให้คิดเฉพาะส่วนที่เป็นเกลียวที่ฝังอยู่ในองค์อาคารเอกเท่านั้น
   - ระยะฝังของ ตะปูควง ในองค์อาคารเอกให้ฝังลึกประมาณ 7D ,
     กรณีระยะฝังน้อยกว่าที่กำหนด ให้ลดค่ากำลังรับแรงลงเป็นสัดส่วน และระยะฝังไม่ควรน้อยกว่า 4D
6. ตะปูควงและตะปูเกลียว อาจใช้การเจาะรูนำได้และใช้ไขควงหรือประแจขัน ห้ามใช้การตอกด้วยค้อน
   - ตะปูควง สำหรับไม้กลุ่ม 1 รูเจาะนำให้มีขนาดเท่ากับแกนตะปู
     และตรงส่วนเกลียวให้มีขนาดเท่ากับรากเกลียวส่วนปลาย
     สำหรับไม้กลุ่ม 2 , 3 และ 4 รูเจาะนำส่วนแกนให้มีขนาดประมาณ 7/8D
     และตรงส่วนเกลียวให้มีขนาดเท่ากับ 7/8D ของรากเกลียวส่วนปลาย
   - ตะปูเกลียว รูเจาะนำส่วนแกนให้มีขนาดเท่ากับแกนตะปูและมีความลึกเท่ากับก้านแกน
     ส่วนรูเจาะส่วนเกลียว ต้องมีขนาด 0.65D - 0.85D สำหรับไม้กลุ่ม 1
     0.60D - 0.75D สำหรับไม้กลุ่ม 2
     0.40D - 0.70D สำหรับไม้กลุ่ม 3 และ 4
     โดยความยาวรูเจาะส่วนเกลียว ให้มีความยาวเท่ากับความยาวของเกลียว

7. ถ้าไม้มีสภาพเปียกชื้นตลอดเวลา , ให้ลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.67P
   ถ้าไม้ยึดตรึงกลางแจ้งตลอดเวลา , ให้ลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.75P
8. กรณีใช้แผ่นเหล็กประกับข้างที่หนาไม่เกิน 1.25 ซม. ให้เพิ่มค่า P ได้อีก 25%
   แต่ถ้าแผ่นเหล็กประกับข้างหนาเกิน 1.25 ซม. ต้องลดกำลังลงเป็นอัตราส่วนของระยะลึกของการฝังตัวของเกลียวที่ลดลง

ตัวอย่างที่ 4.3 จากจุดต่อโครงสร้างไม้ซึ่งเป็นไม้แดง ดังรูปข้างล่างนี้ มีแรงถอน (P) = 1,700 กก.
จงคำนวณหาจำนวนและขนาดของ
1. ตะปูธรรมดา
2. ตะปูควง
3. ตะปูเกลียว



รูปที่ 4.8 การยึดจุดต่อไม้รับกำลังต้านทานแรงเฉือนระนาบเดียวในแนวขนานเสี้ยนไม้

วิธีทำ

<u>1. คำนวณหาจำนวนและขนาดของ ตะปูธรรมดา</u>

จากตารางที่ 4.2 ไม้แดง จัดอยู่ในไม้กลุ่ม 1 มีค่า ถ.พ. = 0.9

จากตารางที่ 4.1 ก) เลือกใช้ตะปูธรรมดา $\varnothing$ 0.225” ยาว 5” = $\varnothing$ 0.572 ซม. ยาว 12.70 ซม.

ระยะฝังของตะปู ต้องไม่น้อยกว่า 10D สำหรับไม้กลุ่ม 1 = 10x0.572 = 5.72 ซม.

แผ่นไม้ประกับข้าง หนา 2 นิ้ว สมมุติไสแต่งเรียบแล้วเหลือ 4.5 ซม.

ระยะยึดฝังของตะปู = 12.70 – 4.5 = 8.20 ซม. > 5.72 ซม. **ใช้ได้**

สำหรับไม้กลุ่ม 1 ตะปูมีค่า K_1 = 296

กำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยน , $P = K_1 D^{1.5}$

$= 296 \times 0.572^{1.5}$

= 128.05 กก./ตัว

จำนวนตะปูธรรมดาที่ต้องการ $= \frac{1,700}{128.05} = 13.27 \Rightarrow 14$ ตัว

∴ ต้องใช้ตะปูธรรมดาขนาด 14 - $\varnothing$ 0.225” ยาว 5” จึงจะสามารถต้านทานแรงเฉือนทางข้างได้

<u>2. คำนวณหาจำนวนและขนาดของ ตะปูควง</u>

จากตารางที่ 4.3 เลือกใช้ตะปูควง $\varnothing$ 0.242” ยาว 5” = $\varnothing$ 0.63 ซม. ยาว 12.70 ซม.

ระยะฝังของตะปูควงในองค์อาคารเอกให้ฝังลึกประมาณ 7D = 7 x 0.63 = 4.41 ซม.

แผ่นไม้ประกับข้าง หนา 2 นิ้ว สมมุติไสแต่งเรียบแล้วเหลือ 4.5 ซม.

ระยะยึดฝังของตะปูควง = 12.70 – 4.5 = 8.20 ซม. > 4.41 ซม. **ใช้ได้**

สำหรับไม้กลุ่ม 1 ตะปูควงมีค่า K_2 = 337

กำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยน , $P = K_2 D^2$

$= 337 \times 0.63^2$

= 133.76 กก./ตัว

จำนวนตะปูควงที่ต้องการ $= \frac{1,700}{133.76} = 12.71 \Rightarrow 13$ ตัว

∴ ต้องใช้ตะปูควงขนาด 13 - $\varnothing$ 0.242” ยาว 5” จึงจะสามารถต้านทานแรงเฉือนทางข้างได้

<u>3. คำนวณหาจำนวนและขนาดของ ตะปูเกลียว</u>

จากตารางที่ 4.4 เลือกใช้ตะปูเกลียว ∅ 3/8” ยาว 6” = ∅ 0.95 ซม. ยาว 15.20 ซม.

ระยะเกลียวโดยประมาณ $\frac{2L}{3} = \frac{2 \times 15.20}{3} = 10.13$ ซม.

แผ่นไม้ประกับข้าง หนา 2 นิ้ว สมมุติไสแต่งเรียบแล้วเหลือ 4.5 ซม.

พิจารณาส่วนก้านของตะปูเกลียวให้อยู่ในแนวรับแรงเฉือน

ตรวจสอบระยะยึดฝัง = 15.20 – 4.5 = 10.70 ซม. > 10.13 ซม. **ใช้ได้**

สำหรับไม้กลุ่ม 1 ตะปูเกลียวมีค่า K_3 = 186

กำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยน , $P = K_3 D^2$

$= 186 \times 0.95^2$

= 167.87 กก./ตัว

จำนวนตะปูเกลียวที่ต้องการ $= \frac{1,700}{167.87} = 10.13 \Rightarrow 11$ ตัว

∴ ต้องใช้ตะปูเกลียวขนาด 11 - ∅ 3/8” ยาว 6” จึงจะสามารถต้านทานแรงเฉือนทางข้างได้

4.8 ชิ้นไม้รับแรงดึง (Tension Members)

การออกแบบคำนวณชิ้นไม้รับแรงดึง มีหลักเกณฑ์ ดังนี้

1.) ชิ้นไม้รับแรงดึงในโครงสร้างไม้ เช่น ชิ้นส่วนที่ประกอบขึ้นเป็นโครงถัก ท้าวแขนที่ดึงชิ้นส่วนที่เป็นส่วนยื่นต่างๆ เป็นต้น การคำนวณหาหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น (f_b) ต้องมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (F_b) เสมอ ค่า F_b ดูจากตารางที่ 1.2

2.) ในการเลือกใช้ไม้ ควรหลีกเลี่ยงไม้ที่มีตำหนิ เช่น ตาไม้ รูมอด รอยปริแตก เป็นต้น ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้จำเป็นต้องใช้ ก็ให้ลดค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ให้น้อยลงตามสัดส่วนของรอยตำหนิที่ปรากฏ

3.) ที่หน้าตัดวิกฤต (Critical Section) ซึ่งให้ค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดนั้น ต้องมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Net Area) มากกว่าพื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่รับแรงกดทุกตัวรวมกัน

4.) การรับแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน

- พื้นที่หน้าตัดสุทธิสำหรับไม้เนื้ออ่อนต้องมีพื้นที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของพื้นที่ทั้งหมดของสลักเกลียวรับแรงแบกทานทุกตัวรวมกัน
- ส่วนไม้เนื้อแข็ง ต้องมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิไม่น้อยกว่าพื้นที่ทั้งหมดของสลักเกลียวรับแรงแบกทานทุกตัวรวมกัน
- กรณีใช้ไม้ที่มีความชื้นอิ่มตัวในเสี้ยน แต่ได้รับการผึ่งแห้งเมื่อติดตั้งแล้ว พื้นที่หน้าตัดสุทธิสำหรับไม้เนื้ออ่อนต้องมีพื้นที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 33 และไม้เนื้อแข็งต้องมีพื้นที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 42 ของพื้นที่ทั้งหมดของสลักเกลียวรับแรงแบกทานทุกตัวรวมกัน

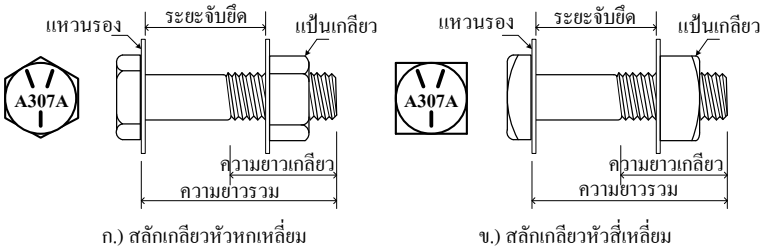
5.) ในกรณีชิ้นไม้รับแรงอัด การคำนวณออกแบบจะต้องลดค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ลง อันเนื่องมาจากอัตราส่วนความชะลูด แต่ในชิ้นไม้รับแรงดึง จะพิจารณาถึงหน้าตัดสุทธิเป็นสำคัญ ดังนี้

พื้นที่หน้าตัดสุทธิ , $A_{net.}$ = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด – พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่หน้าตัดวิกฤต

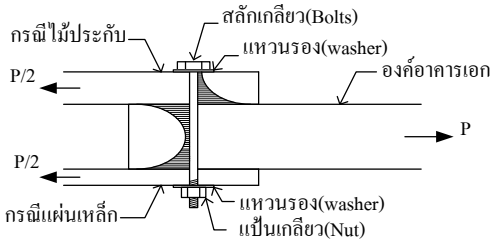
หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น , $f_b = \frac{P_t}{A_{net.}}$, เมื่อ P_t = แรงดึงที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง.....กก.

$A_{net.}$ = พื้นที่หน้าตัดสุทธิ.....ตร.ซม.

4.9 สลักเกลียว (Bolts)

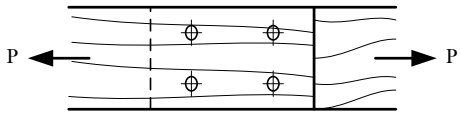


รูปที่ 4.11 ลักษณะของสลักเกลียว

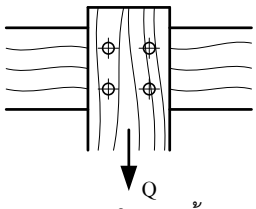


รูปที่ 4.12 แสดงหน่วยแรงกดที่เกิดขึ้นกับองค์อาคาร

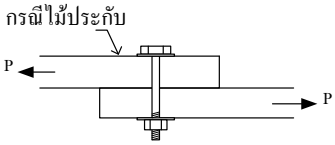
สลักเกลียวเป็นอุปกรณ์ยึดไม้เพื่อต้านทานแรงทางข้าง เพราะมีความต้านทานได้สูง มีความสะดวกต่อการประกอบและรื้อถอน ความต้านทานทางข้างของสลักเกลียวจะขึ้นอยู่กับหน่วยแรงกด (Bearing Pressure)ระหว่างไม้กับสลักเกลียว และจะเกิดหน่วยแรงกดขึ้นไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาของไม้ แต่ถ้าใช้เป็นแผ่นเหล็กประกับ หน่วยแรงกดนี้จะเกิดขึ้นสม่ำเสมอตลอดความหนาของแผ่นเหล็ก พิจารณาจากรูปที่ 4.12 หน่วยแรงกดที่เกิดขึ้นจะแสดงด้วยเส้นแรงเงา



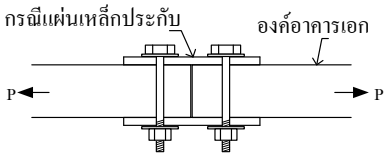
ก. เมื่อแรงกระทำในแนวขนานเสี้ยนของไม้



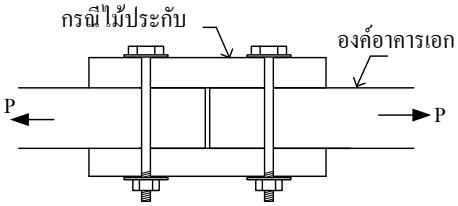
ข. เมื่อแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้



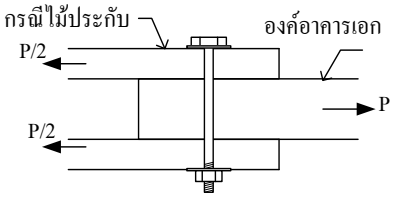
ค. สลักเกลียวรับแรงเฉือนระนาบเดียว



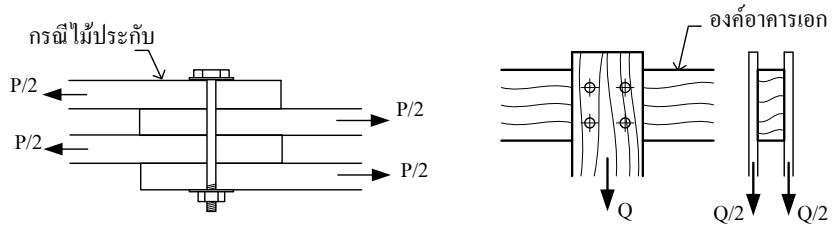
ง. สลักเกลียวรับแรงเฉือนสองระนาบเมื่อใช้แผ่นเหล็กประกับ



จ. สลักเกลียวรับแรงเฉือนสองระนาบ



ฉ. สลักเกลียวรับแรงเฉือนสองระนาบ



ช. สลักเกลียวรับแรงเฉือนสามระนาบ ซ. สลักเกลียวรับแรงเฉือนสองระนาบตั้งฉากเสี้ยน

รูปที่ 4.13 แสดงทิศทางของแรงและระนาบแรงเฉือน

4.10 การคำนวณหากำลังต้านทานทางข้าง

กำลังต้านทานทางข้าง มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของจุดต่อ ประเภทของไม้ จำนวนของระนาบรับแรงเฉือน ขนาดของสลักเกลียว และระยะความยาวของแกนสลักเกลียวที่อยู่ในองค์อาคารเอก

กำลังต้านทานทางข้างของสลักเกลียว เมื่อพิจารณาตามทิศทางที่แรงกระทำได้ 2 ทิศทาง คือ

1. เมื่อแรงกระทำในแนวขนานเสี้ยนของไม้ (P)
2. เมื่อแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้ (Q)

ตามมาตรฐาน วสท.1002-16 ได้กำหนดค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนสองระนาบของสลักเกลียวที่ยอมให้ (ตามตารางที่ 4.7) โดยมีข้อกำหนดการใช้ดังนี้

<u>ข้อกำหนดการเลือกใช้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนสองระนาบของสลักเกลียวที่ยอมให้</u>

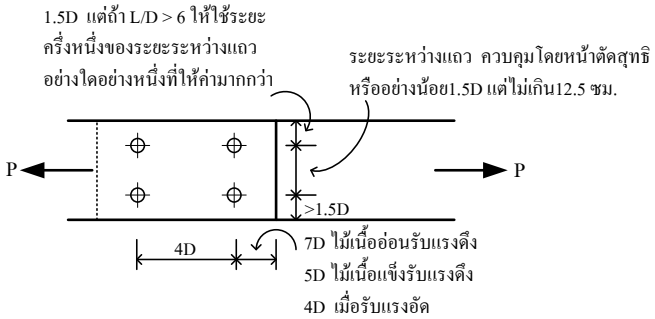
1. กำลังรับน้ำหนักที่กำหนดใช้กับจุดต่อไม้ในสภาวะปกติแห้ง หมายถึง อยู่ในที่ร่มและไม่เปียกชื้น
2. ค่ากำลังที่ยอมให้ในตารางที่ 4.7 เป็นสลักเกลียวรับแรงเฉือนสองระนาบ ประกอบด้วยไม้ประกับข้าง 2 ชิ้น และองค์อาคารเอก 1 ชิ้น โดยมีข้อกำหนด ดังนี้
   - ความหนาของไม้ประกับข้างแต่ละชิ้น มีความหนาเป็นครึ่งหนึ่งของความหนาไม้องค์อาคารเอก
   - กรณีความหนาของไม้ประกับข้าง มีความหนากว่าครึ่งหนึ่งของความหนาไม้องค์อาคารเอก ความยาวก้านของสลักเกลียวใช้เท่ากับความหนาขององค์อาคารเอก ส่วนค่ากำลังที่ยอมให้ P และ Q ใช้ตามที่กำหนดไว้เดิม
   - กรณีความหนาของไม้ประกับข้าง มีความหนาเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของความหนาไม้องค์อาคารเอก ความยาวก้านของสลักเกลียวให้ใช้เท่ากับสองเท่าของความหนาไม้ประกับข้างชิ้นที่บางที่สุด ส่วนค่ากำลังที่ยอมให้ P และ Q ใช้ตามที่กำหนดไว้เดิม
3. กรณีสลักเกลียวรับแรงเฉือนระนาบเดียว ประกอบด้วยไม้ประกับข้าง 1 ชิ้น และองค์อาคารเอก 1 ชิ้น ความยาวก้านของสลักเกลียวใช้เท่ากับ 2 เท่าของความหนาไม้ชิ้นที่บางกว่า ส่วนค่ากำลังที่ยอมให้ลดลง 0.5 เท่า ใช้เป็น $\frac{P}{2}$ และ $\frac{Q}{2}$ แต่ถ้าใช้แผ่นเหล็กประกับ ความยาวก้านของสลักเกลียวใช้เท่ากับ 2 เท่าของความหนาไม้ชิ้นที่รับกำลัง ส่วนค่ากำลังที่ยอมให้ใช้เป็น $\frac{P}{2}$ และ $\frac{Q}{2}$
4. กรณีสลักเกลียวรับแรงเฉือนตั้งแต่ 3 ระนาบ และไม้แต่ละชิ้นหนาเท่ากัน ค่ากำลังที่ยอมให้คูณด้วย 0.5 เท่าของจำนวนระนาบแรงเฉือน เช่น ไม้ 4 ชิ้น มี 3 ระนาบแรงเฉือน = $\frac{3P}{2}$ และ $\frac{3Q}{2}$
5. ถ้าไม้มีสภาพเปียกชื้นตลอดเวลา , ให้ลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.67 P
   ถ้าไม้ยึดตรึงกลางแจ้งตลอดเวลา , ให้ลดค่า P ลงเหลือเพียง 0.75 P
6. กรณีใช้แผ่นเหล็กประกับข้าง เมื่อรับน้ำหนักกระทำในแนวขนานเสี้ยน ให้เพิ่มค่า P ได้อีก 25%
   แต่ถ้าแผ่นเหล็กประกับข้าง รับน้ำหนักกระทำในแนวตั้งฉากเสี้ยน ให้ใช้ค่ารับน้ำหนักคงเดิม
7. ค่า L/D ของสลักเกลียวเป็นอัตราส่วนของความยาว (L) ของแกนสลักเกลียวเฉพาะความยาวของส่วนที่อยู่ในองค์อาคารเอก กับ เส้นผ่านศูนย์กลางสลักเกลียว (D)
8. หน้าตัดวิกฤติ เป็นหน้าตัดขององค์อาคารที่ตั้งฉากกับทิศของน้ำหนักกระทำ ซึ่งเป็นหน้าตัดที่เกิดหน่วยแรงสูงสุดในองค์อาคารนั้น โดยใช้พื้นที่หน้าตัดจริงหลังจากได้หักพื้นที่รูเจาะของสลักเกลียวออกแล้ว

9. พื้นที่หน้าตัดจริงที่รับแรงดึงในแนวขนานเสี้ยนสำหรับไม้เนื้ออ่อน หน้าตัดวิกฤติต้องมีพื้นที่อย่างน้อยร้อยละ 80 ของพื้นที่ทั้งหมดที่รับแรงแบกทานของสลักเกลียวทุกตัวที่จุดต่อ สำหรับไม้เนื้อแข็งอบแห้ง ต้องมีพื้นที่หน้าตัดวิกฤติร้อยละ 100 ของพื้นที่ทั้งหมดที่รับแรงแบกทานของสลักเกลียวทุกตัวที่จุดต่อ
10. รูเจาะเพื่อใส่สลักเกลียว ต้องใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวตั้งแต่ 0.8 มม. ถึง 1.6 มม.
11. กรณีน้ำหนักทำมุมกับแนวเสี้ยน ตั้งแต่ 1 – 89 องศา ให้แทนค่าสูตรการรับน้ำหนักของสลักเกลียว ด้วยสูตรของฮันกินสัน (Hankinson)

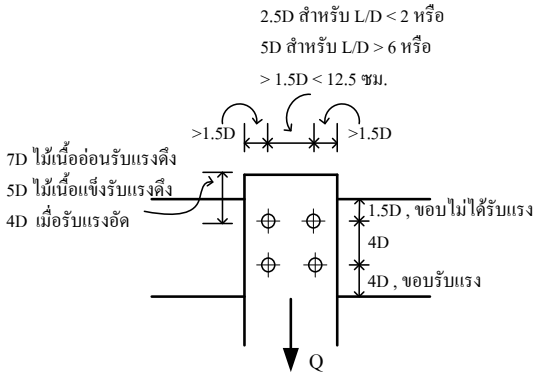
$$N = \frac{P.Q}{P\sin^2\theta + Q\cos^2\theta}$$

เมื่อ N = กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวแต่ละตัวในแนวทำมุม θ กับแนวเสี้ยน
P = กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวแต่ละตัวรับแรงอัดขนานกับแนวเสี้ยน
Q = กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวแต่ละตัวรับแรงอัดตั้งฉากกับแนวเสี้ยน
θ = มุมระหว่างแนวแรงกระทำกับแนวเสี้ยน

4.11 การจัดตำแหน่งสลักเกลียว (Placement of Bolts)



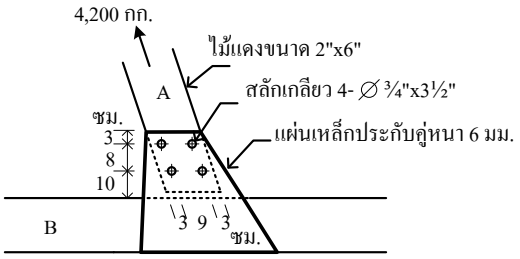
รูปที่ 4.14 การจัดตำแหน่งสลักเกลียวเมื่อรับแรงในแนวขนานเสี้ยน



รูปที่ 4.15 การจัดตำแหน่งสลักเกลียวเมื่อรับแรงในแนวตั้งฉากเสี้ยน

ตัวอย่างที่ 4.6 ชิ้นไม้ A เป็นไม้แดง รับแรงดึงในแนวแกน 4,200 กก. ยึดด้วยสลักเกลียว $\varnothing\ \frac{3}{4}''$ สองแถว ติดตั้งในสภาวะปกติและไม้ไม่มีการไสแต่ง แต่ไม้มีตำหนิจึงให้ลดค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ลง 10%

จงคำนวณหา 1.) ขนาดของชิ้นไม้รับแรงดึงนี้ได้อย่างปลอดภัย
2.) จำนวนสลักเกลียวที่ต้านทานแรงดึงได้อย่างปลอดภัย
3.) ความสามารถต้านทานแรงดึงของแผ่นเหล็กประกับ



รูปที่ 4.16 คำนวณหาขนาดชิ้นไม้และจำนวนสลักเกลียว

วิธีทำ

<u>1.) ขนาดของชิ้นไม้รับแรงดึง</u>

จากตารางที่ 1.2 ไม้แดงเป็นไม้เนื้อแข็ง หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ , F_b = 120 กก./ตร.ซม.

แต่ไม้มีตำหนิจึงลดค่า F_b ลง 10% , F_b = 0.9 x 120 = 108 กก./ตร.ซม.

พื้นที่หน้าตัดรับแรงดึงที่ต้องการ , $A = \frac{P_t}{F_b} = \frac{4,200}{108} = 38.89$ ตร.ซม.

เมื่อกำหนดให้ยึดด้วยสลักเกลียว ∅ $\frac{3}{4}''$ = ∅ 1.91 ซม. ยึดสองแถว

ขนาดรูเจาะสลักเกลียว = 1.91 + 0.15 = 2.06 ซม.

พื้นที่รูเจาะสลักเกลียว = 2 x 2.06 x 5 , เมื่อเลือกใช้ไม้หนา 2” = 5 ซม.

= 20.6 ตร.ซม.

พื้นที่หน้าตัดรวมที่ต้องการทั้งหมด = 38.89 + 20.6 = 59.49 ตร.ซม.

ความกว้างของไม้ = 59.49/5 = 11.89 ซม. ⇒ 15 ซม.(6”)

∴ ไม้แดงขนาด 2”x6” สามารถรับแรงดึงได้อย่างปลอดภัย

<u>2.) จำนวนสลักเกลียวที่ต้านทานแรงดึงได้อย่างปลอดภัย</u>

ตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดสุทธิ , $A_{net.}$ = (5 x 15) – 20.6 = 54.4 ตร.ซม.

เมื่อเลือกใช้สลักเกลียว ∅ $\frac{3}{4}''$ = ∅ 1.91 ซม.

จากตารางที่ 4.7 จะได้ค่ากำลังต้านทานที่ยอมให้ของสลักเกลียวรับแรงเฉือนระนาบคู่

ในแนวขนานเสี้ยน = 854 กก.

กรณีใช้แผ่นเหล็กประกับข้าง เมื่อรับน้ำหนักกระทำในแนวขนานเสี้ยน ให้เพิ่มค่า P ได้อีก 25%

∴ ค่ากำลังต้านทานที่ยอมให้ของสลักเกลียว = 1.25 x 854 = 1,068 กก./ตัว

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องการ = $\frac{4,200}{1,068}$ = 3.93 ตัว ⇒ 4 ตัว

ตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดรับแรงกดของสลักเกลียวทุกตัว = 4 x 1.91 x 5 = 38.2 ตร.ซม. < 54.4 ตร.ซม. **ใช้ได้**

∴ จำนวนสลักเกลียวขนาด 4 - ∅ $\frac{3}{4}''$ x 3½” สามารถรับแรงดึงได้อย่างปลอดภัย

จัดระยะการยึด ระยะขอบอย่างน้อย = 1.5 D = 1.5 x 1.91 = 2.87 ซม. ⇒ 3 ซม.

ระยะห่างจากปลายอย่างน้อย = 5 D = 5 x 1.91 = 9.55 ซม. ⇒ 10 ซม.

ระยะห่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางสลักเกลียวอย่างน้อย = 4 D = 4 x 1.91 = 7.64 ซม. ⇒ 8 ซม.

ระยะห่างระหว่างแถวอย่างน้อย 1.5 D แต่ไม่เกิน 12.5 ซม. ⇒ 9 ซม.

∴ จัดระยะตำแหน่งสลักเกลียวให้ลงตัวได้ดังรูปข้างต้น

<u>3.) ความสามารถต้านทานแรงดึงของแผ่นเหล็กประกับ</u>

กำลังต้านทานแรงดึงของแผ่นเหล็กประกับ = $A_{net}(F_t)$, เมื่อกำหนดให้ F_t = 1,200 กก./ตร.ซม.

= { [(0.6 x 15) - (2 x 1.91 x 0.6)] x 1,200 } x 2

= 16,099 กก. > 4,200 กก. **ใช้ได้**

∴ แผ่นเหล็กประกับหนา 6 มม. ต้านทานแรงดึงได้อย่างปลอดภัย

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ การคำนวณแรงต้านทานของตะปู และ การคำนวณแรงต้านทานของสลักเกลียว
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 4 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 4 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 4 เรื่อง การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้ ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 4 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4
2. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4 เรื่อง การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 4 เรื่อง การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....
(.....)
ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....
(.....)
ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ยึดรอยต่อไม้

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบ ทดสอบ		**คะแนนแบบ ประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	แรงต้านทานของอุปกรณ์ยึดรอยต่อ						
2	อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการยึดรอยต่อ						
3	การคำนวณแรงต้านทาน ของ ตะปู						
4	การคำนวณแรงต้านทาน ของ สลักเกลียว						
5							
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบโครงถัก(Truss)หลังคาไม้	สอนครั้งที่ 7-8/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบโครงถัก(Truss)หลังคาไม้		จำนวน 6 คาบ

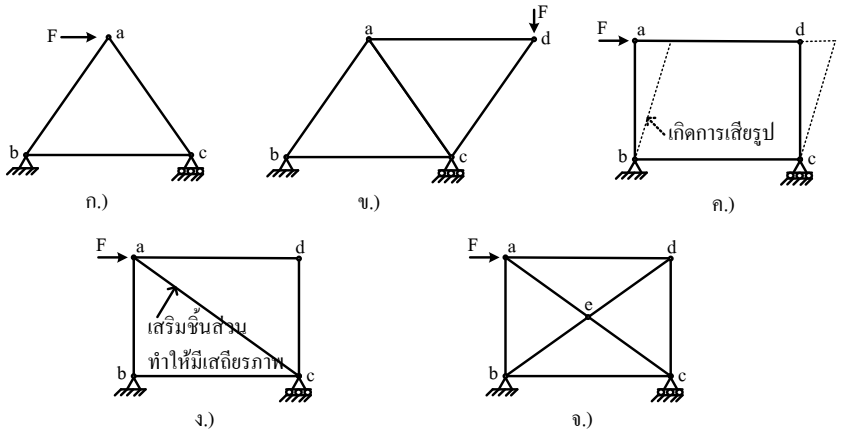
1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ประเภทของหลังคาไม้
1.2 ส่วนประกอบของโครงข้อหมุนหรือโครงถักหลังคาไม้
1.3 รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคาไม้
1.4 ค่าการโก่งตัวของโครงถักไม้ ที่ยอมให้
1.5 ทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก

2. สาระสำคัญ

โครงถักหรืออาจเรียกว่าโครงข้อหมุน (Truss) เป็นโครงสร้างที่นำเอาชิ้นส่วนที่เป็นท่อนหรือชิ้นมาประกอบยึดเข้ากันเป็นรูปสามเหลี่ยม ต่อกันไปเรื่อยๆเป็นรูปร่างต่างๆเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักต่างๆตามที่ต้องการได้ ทำให้ได้โครงถักหลังคาที่มีน้ำหนักเบา ได้ช่วงกว้างโดยไม่ต้องมีเสามาแบกรับมากมาย หรือสร้างได้สูงโดยไม่ต้องมีค้ำยันภายนอก เนื่องจากโครงถักเป็นโครงค้ำยันกันในตัวอยู่แล้ว

จากหลักการทางเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยมถือเป็นรูปที่เสถียรภาพที่มั่นคงเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ และไม่เปลี่ยนแปลงหรือเสียรูปได้โดยง่าย ดังรูปที่ 8.1 ก.), ข.) ส่วนรูปที่ 8.1 ค.) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำก็จะเสียรูปได้โดยง่าย ส่วนรูปที่ 8.1 ง.), จ.) เมื่อนำชิ้นส่วนมาต่อเพิ่มทำให้เกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมต่อเนื่องกันและเสถียรภาพขึ้น



รูปที่ 5.1 ลักษณะของโครงถักที่มีเสถียรภาพ

เมื่อประกอบชิ้นส่วนโครงถักเสร็จแล้ว ให้ตรวจสอบดูว่าโครงถักมีเสถียรภาพที่ดีหรือไม่ ให้ตรวจสอบจากสูตร ดังนี้

$n = 2j-3$ โดย n = จำนวนของชิ้นส่วน (members)
j = จำนวนของจุดต่อ (joints)

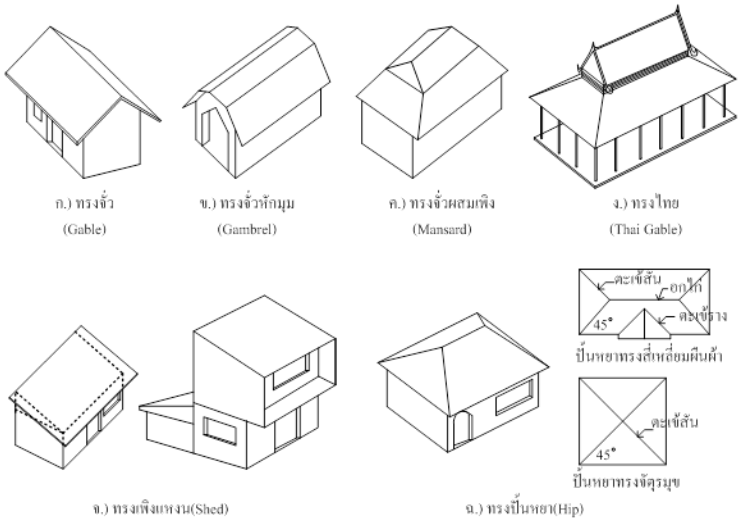
ถ้า $n = 2j-3$ แสดงว่า โครงถักมีเสถียรภาพที่ดี
$n < 2j-3$ แสดงว่า โครงถักไม่มีเสถียรภาพ
$n > 2j-3$ แสดงว่า โครงถักมีเสถียรภาพและมีชิ้นส่วนเกินความจำเป็น

เช่น โครงถักรูปที่ 8.1 ข.) , $n = 5$ เท่ากับ $(2x4)-3 = 5$ แสดงว่า โครงถักมีเสถียรภาพที่ดี
โครงถักรูปที่ 8.1 ค.) , $n = 4$ น้อยกว่า $(2x4)-3 = 5$ แสดงว่า โครงถักไม่มีเสถียรภาพ

โครงถักรูปที่ 8.1 จ.) , n = 8 มากกว่า (2x5)-3 = 7 แสดงว่า มีชิ้นส่วนเกินความจำเป็น

ถ้า n = 2j-3 แสดงว่า เป็นโครงถักอย่างง่าย (Determinate truss) สามารถใช้สมการสมดุลคำนวณหาแรงปฏิกิริยาได้โดยลำพัง

n > 2j-3 แสดงว่า เป็นโครงถักอย่างยาก (Indeterminate truss) ไม่สามารถใช้สมการสมดุลคำนวณหาแรงปฏิกิริยาได้โดยลำพัง



รูปที่ 5.1 ประเภทของหลังคา

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ประเภทของหลังคาไม้ ส่วนประกอบของโครงข้อหมุนหลังคา รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคาไม้ ค่าการโก่งตัวของโครงถักไม้ที่ยอมให้ และทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก

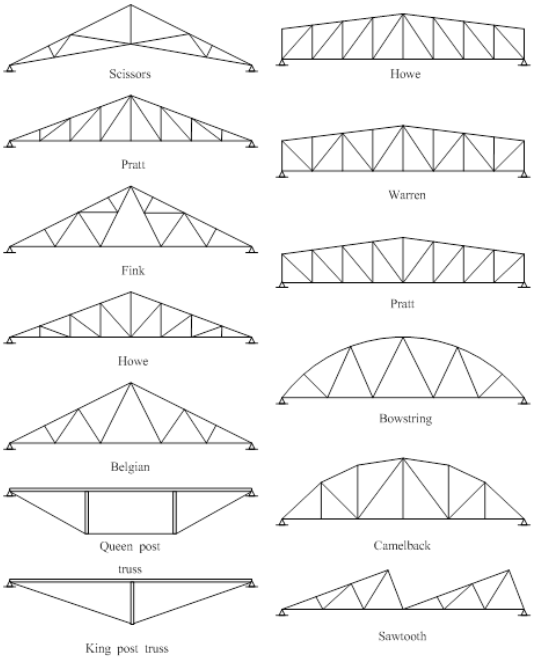
2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ ประเภทของหลังคาไม้ ส่วนประกอบของโครงข้อหมุนหลังคา รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคา ค่าการโก่งตัวของโครงถักไม้ที่ยอมให้ และทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ ประเภทของหลังคาไม้ ส่วนประกอบของโครงข้อหมุนหลังคา รูปแบบต่างๆของโครงถัก (Truss)หลังคา ค่าการโก่งตัวของโครงถักไม้ที่ยอมให้ และทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก

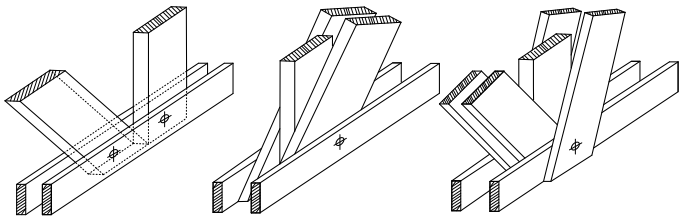
4. สาระการเรียนรู้

4.1 โครงถักหลังคาไม้ (Timber Truss)

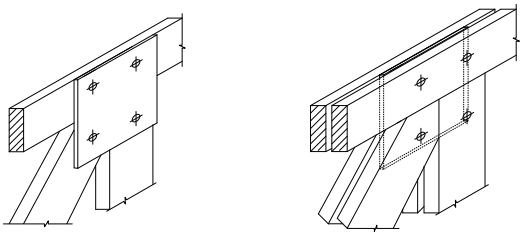
โครงสร้างหลังคาที่ใช้กันในอาคารพักอาศัยหรือสำนักงานทั่วไปที่มีช่วงระยะห่างของเสาโดยประมาณ 4.00 – 6.00 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดของวัสดุไม้ที่เป็นวัสดุธรรมชาติไม่สามารถกำหนดความยาวมากๆได้ตามที่ต้องการ แต่ในอาคารบางประเภท เช่น โรงงาน โกดัง หรือห้องโถงของสำนัก ห้องโถงในภัตตาคาร ฯลฯ มีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่โล่งๆโดยไม่ต้องการให้มีเสามากีดขวาง ทำให้ต้องใช้ระบบโครงสร้างที่เป็นโครงถักเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้



รูปที่ 5.3 โครงถักหลังคาไม้รูปแบบต่างๆ



รูปที่ 5.4 แสดงการเข้าจุดต่อไม้รูปแบบต่างๆของไม้หลายชิ้น



รูปที่ 5.5 แสดงการใช้แผ่นเหล็กประกับรอยต่อด้านนอกหรือสอดไว้ด้านใน

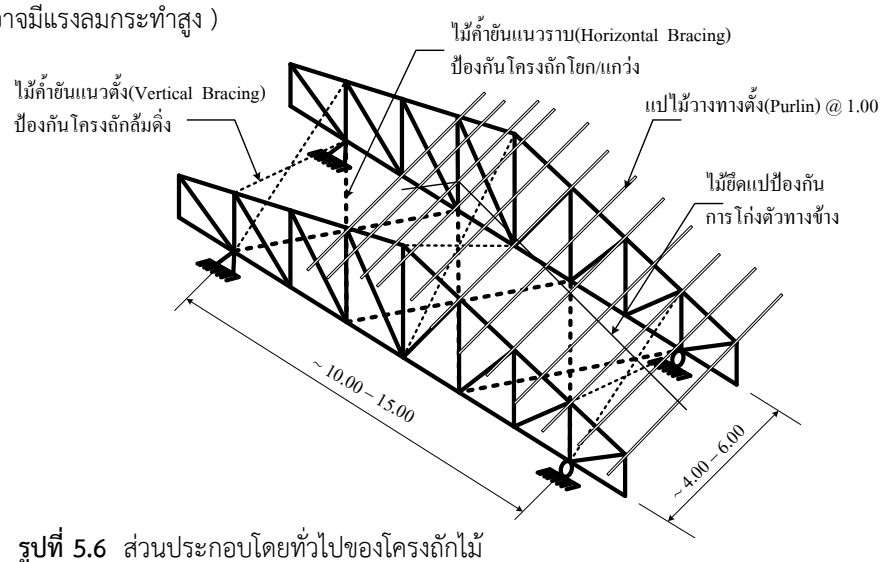
The American Institute of Timber Construction ได้แนะนำการกำหนดความสูงที่เหมาะสมของโครงถักต่อความยาวช่วงของโครงถัก การกำหนดอัตราส่วนความสูงต่อความยาวช่วง ที่มีค่าน้อยไปอาจทำให้เกิดความเค้นในชิ้นไม้ที่สูงมากและมีผลต่อการโก่งตัวมากด้วย แต่ถ้ากำหนดอัตราส่วนความสูงต่อความยาวช่วง ที่มีค่าสูงไปก็มีผลทำให้สิ้นเปลือง

ตารางที่ 5.1 อัตราส่วนความสูง/ความยาวช่วงของโครงถัก ที่เหมาะสม

ประเภทของโครงถัก	อัตราส่วน
ประเภทโครงเรียบหรือเอียงลาดเล็กน้อย(Flat or Parallel chord)	L/8 – L/10
ประเภทโครงสามเหลี่ยมหรือมีความลาดชันมาก(Triangular or pitched)	L/6 หรือมากกว่า
ประเภทโครงหลังคาโค้ง(Bowstring)	L/6 – L/8

หมายเหตุ : ความสูง หมายถึง ระยะที่วัดที่กึ่งกลางของช่วงโครงถักที่ตำแหน่งสูงสุด
L หมายถึง ช่วงความยาวโครงถัก

โดยทั่วไปโครงถักไม้มักมีระยะห่างจากโครงถักถึงโครงถักประมาณ 4.00 – 6.00 เมตร และมีช่วงความยาวของโครงถักประมาณ 10.00 – 15.00 เมตร ถ้ามีค่ามากกว่านี้ก็น่าจะเปลี่ยนเป็นโครงถักเหล็ก ซึ่งจะให้ความมั่นคงแข็งแรงมากกว่า โครงถักหลังคาไม้มักก่อสร้างในที่ความสูงไม่เกินประมาณ 10.00 – 15.00 เมตร และมีความลาดชันของโครงถักไม่มาก เพราะฉะนั้นในการคำนวณแรงกระทำในโครงถัก จึงมักจะไม่นำแรงลมมาพิจารณา (ยกเว้น อาคารที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงที่อาจมีแรงลมกระทำสูง)



รูปที่ 5.6 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของโครงถักไม้

4.2 การป้องกันการโก่งตัวแนวดิ่งของโครงถัก

โครงถักไม้เมื่อประกอบเสร็จสิ้นและยกขึ้นติดตั้งแล้วนั้น โครงถักก็จะมีการโก่งตัวในแนวดิ่งเกิดขึ้น เพราะฉะนั้นการประกอบโครงถักจึงต้องประกอบให้บริเวณส่วนกลางโครงถักยกโค้งสูงกว่าเดิม เผื่อระยะให้พอดีเมื่อยกขึ้นติดตั้งแล้วโครงถักก็จะตกลงมาเสมอกับระดับที่กำหนด ซึ่งระยะโก่งตัวนี้คำนวณหาได้โดยใช้ทฤษฎีวิเคราะห์โครงสร้างหรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคำนวณ หรืออาจใช้สูตรสำเร็จรูปของ The American Institute of Timber Construction แนะนำไว้ดังนี้

$$\Delta = \frac{L^2}{4,290H}\left[\frac{L}{26.6}+1\right]$$ .....สำหรับโครงถักประเภทโครงเรียบหรือโครงสามเหลี่ยม

$$\Delta = \frac{L^2}{19,000H}\left[\frac{L}{6}+1\right]$$ .....สำหรับโครงถักประเภทหลังคาโค้ง

เมื่อ Δ = ระยะการโก่งตัวที่เกิดขึ้นของโครงถัก.....เมตร

L = ช่วงความยาวของโครงถัก.....เมตร

H = ความสูงที่ช่วงกึ่งกลางของโครงถัก .....เมตร

เช่น โครงถักรูปสามเหลี่ยม ความสูงที่กึ่งกลางโครงถัก 2 เมตร ช่วงยาว 12 เมตร คำนวณหาระยะโก่งตัวที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนี้

$$\Delta = \frac{L^2}{4,290H}\left[\frac{L}{26.6}+1\right] = \frac{12^2}{4,290x2}\left[\frac{12}{26.6}+1\right]$$

$$= 0.0244 \text{ เมตร} \Rightarrow 2.44 \text{ ซม.}$$

4.3 ทบทวนการวิเคราะห์หาแรงในโครงข้อหมุนหรือโครงถัก

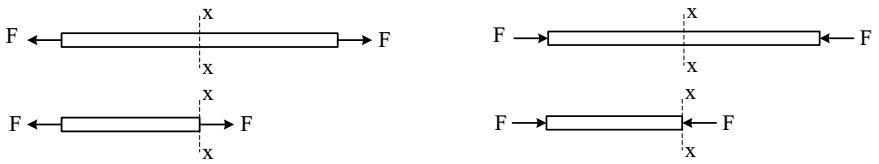
เพื่อการให้การคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนโครงถักสามารถหาได้โดยง่าย จึงต้องตั้งสมมุติฐานในเชิงทฤษฎีไว้ดังนี้

1. ชิ้นส่วน (member) แต่ละชิ้นส่วน ต้องเป็นท่อนตรงเสมอ
2. ความยาวของชิ้นส่วน ต้องไม่เปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังการให้น้ำหนัก
3. แนวแรงในชิ้นส่วนต้องลากผ่านแนวศูนย์ถ่วงของหน้าตัดแต่ละรูป และพบกันที่จุดต่อ
4. จุดต่อ (joint) แต่ละจุดที่ชิ้นส่วนมายึดรวมกัน ให้ถือว่าเป็นจุดต่อหมุนได้และไม่มีความฝืด
5. แรงกระทำภายนอก ให้ถือว่ากระทำต่อจุดต่อเท่านั้น จึงไม่มีการคิดคำนวณเกี่ยวกับโมเมนต์ดัดของชิ้นส่วนต่างๆ
6. ตรวจสอบความสมดุลของโครงถัก ทั้งแรงกระทำจากภายนอกและแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับต้องอยู่ในสภาวะสมดุล
7. พิจารณาความสมดุลของแรงที่กระทำต่อจุดต่อ ทั้งแรงอัดและแรงดึงเมื่อมาพบกันที่จุดต่อ ต้องทำให้จุดต่ออยู่ในสภาวะสมดุล

<u>เครื่องหมายแสดงทิศทางของแรง</u>

<u>แรงดึง</u> เมื่อมีแรงดึงจากภายนอกมากระทำ ชิ้นส่วนภายในก็จะเกิดแรงดึงต้านทานขึ้น ให้มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) หรือ แสดงด้วยหัวลูกศรที่พุ่งออกจากจุดต่อ

<u>แรงอัด</u> เมื่อมีแรงอัดจากภายนอกมากระทำ ชิ้นส่วนภายในก็จะเกิดแรงอัดต้านทานขึ้น ให้มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) หรือ แสดงด้วยหัวลูกศรที่พุ่งเข้าหาจุดต่อ



ก.) แรงดึงต้านทานภายในเครื่องหมายเป็นบวก ข.) แรงอัดต้านทานภายในเครื่องหมายเป็นลบ

รูปแสดง ข้อตกลงเครื่องหมาย

วิธีการวิเคราะห์หาแรงในชิ้นส่วนโครงถัก

วิธีการวิเคราะห์หาแรงในชิ้นส่วนโครงถัก มีอยู่หลายวิธี เช่น

1. วิธีการตัดรอบจุดต่อที่ต้องการ (joint method)
2. วิธีการตัดรูปผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการ (Section method)
3. วิธีการเขียนรูปตามทิศทางของแรง (Graphical method)
4. วิธีการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Program Analysis)

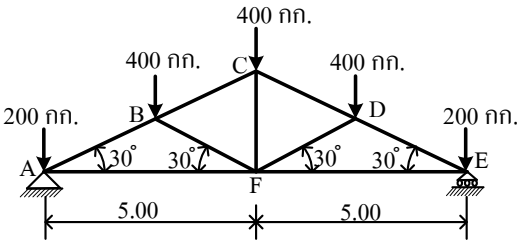
ในที่นี้จะทบทวนเฉพาะวิธีการที่หนึ่งและวิธีการที่สองเท่านั้น

วิธีการตัดรอบจุดต่อที่ต้องการ (Joint Method)

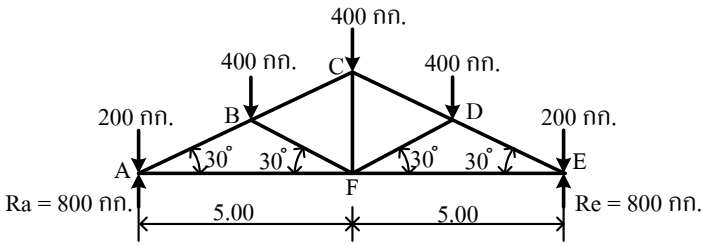
แนวทางการคำนวณ

1. คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ โดยใช้สมการสมดุล $\Sigma M = 0$
2. พิจารณาตัดจุดต่อ โดยเลือกพิจารณาจุดต่อที่มีแรงต้านทานภายในที่มีตัวไม่รู้ค่าไม่เกิน 2 ตัวก่อน การคำนวณหาแรงที่ยังไม่รู้ค่า ให้ใช้สมการสมดุล $\Sigma V = 0$, $\Sigma H = 0$
3. สมมุติค่าแรงต้านทานภายในของชิ้นส่วนที่ต้องการหา (โดยแรงดึงมีค่าเป็นบวกและแรงอัดมีค่าเป็นลบ) ถ้าเราสมมุติทิศทางของแรงผิดพลาด ก็จะได้ค่าแรงผลลัพธ์เป็นทิศทางตรงข้ามกับที่เราสมมุติไว้ตอนต้น (ติดค่าลบ) ก็ให้ทำการสมมุติทิศทางของแรงในชิ้นส่วนนั้นใหม่ และทำการคำนวณโดยสมการสมดุลใหม่อีกครั้ง ก็จะได้ผลลัพธ์ทิศทางของแรงตรงตามที่กำหนดไว้
4. เมื่อคำนวณจนได้ค่าแรงต้านทานภายในของแต่ละชิ้นส่วนในจุดต่อนั้นแล้ว ก็ให้เขียนขนาดและทิศทางของแรงกำกับไว้
5. จุดเริ่มต้นควรเริ่มจากจุดต่อด้านซ้ายมือก่อน จากนั้นจึงพิจารณาจุดต่อที่ต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆจนสิ้นสุดจุดต่อสุดท้าย หรือจะพิจารณาจุดต่อจนถึงบริเวณกลางโครงถัก เสร็จแล้วจึงไปเริ่มจากจุดต่อทางขวามือกลับเข้ามาจนถึงกลางโครงถัก เพื่อจะได้ตรวจสอบจุดต่อบริเวณกลางโครงถักว่ามีค่าตรงกันหรือไม่

ตัวอย่างที่ 5.1 จงคำนวณหาแรงต้านทานภายในชิ้นส่วนโครงถัก เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำดังรูปข้างล่างนี้ ด้วยวิธี joint Method



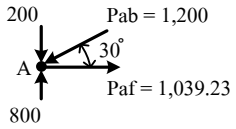
วิธีทำ เนื่องจากโครงถักมีลักษณะสมดุลกันทั้งสองข้าง จึงคำนวณหาแรงเพียงข้างเดียวก็พอ



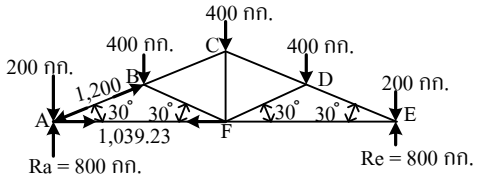
ก)แสดงค่าแรงปฏิกริยา

คำนวณหาแรงปฏิกิริยา , $\Sigma v = 0$

$$R_a = R_e = \frac{200+400+400+400+200}{2} = 800 \text{ กก.}\uparrow$$



ขยาย Joint A



Joint A $\Sigma V = 0$

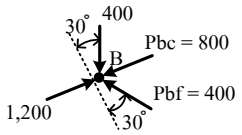
$P_{ab}\sin 30^\circ - 200 + 800 = 0$

$P_{ab} = \dfrac{200-800}{\sin 30^\circ} = 1{,}200$ กก.(แรงอัด)

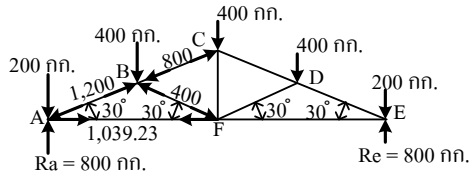
$\Sigma H = 0$

$P_{af} - P_{ab}\cos 30^\circ = 0$

$P_{af} = 1{,}200\cos 30^\circ = 1{,}039.23$ กก.(แรงดึง)



ขยาย Joint B



Joint B $\Sigma V = 0$

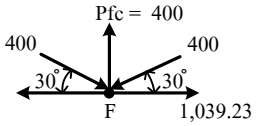
$P_{bf}\cos 30^\circ - 400\cos 30^\circ = 0$

$P_{bf} = \dfrac{400\cos 30^\circ}{\cos 30^\circ} = 400$ กก.(แรงอัด)

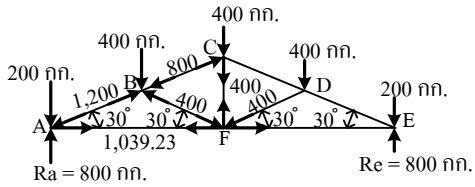
$\Sigma H = 0$

$P_{bc} + P_{bf}\sin 30^\circ + 400\sin 30^\circ - 1{,}200 = 0$

$P_{bc} = -400\sin 30^\circ - 400\sin 30^\circ + 1{,}200 = 800$ กก.(แรงอัด)



ขยาย Joint F



Joint F เนื่องจากโครงถักสมดุลกันสองข้าง , $\therefore P_{fd} = P_{fb} = 400$ กก.

$P_{fa} = P_{fe} = 1{,}039.23$ กก.

$\Sigma V = 0$

$P_{fc} - 400\sin 30^\circ - 400\sin 30^\circ = 0$

$P_{fc} = 200 + 200 = 400$ กก.(แรงดึง)

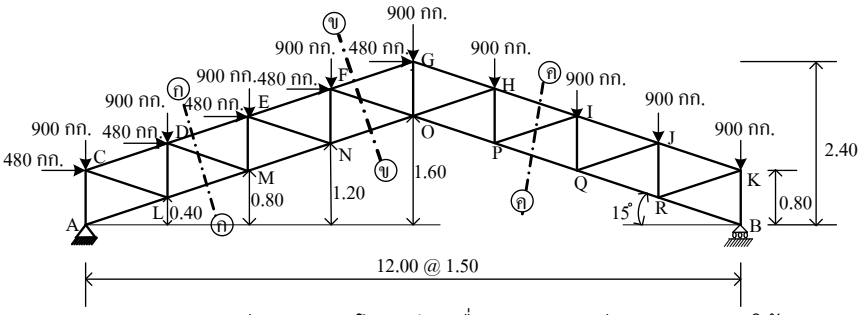
<u>วิธีการตัดรูปผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการ (Section Method)</u>

แนวทางการคำนวณ

1. คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ โดยใช้สมการสมดุล $\Sigma M = 0$
2. พิจารณาตัดผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการทราบ โดยมีชิ้นส่วนที่ยังไม่ทราบค่าแรงต้านทานภายในได้ไม่เกิน 3 ชิ้นส่วน การคำนวณหาแรงที่ยังไม่รู้ค่าให้ใช้สมการสมดุล $\Sigma V = 0$, $\Sigma H = 0$ และ $\Sigma M = 0$
3. เมื่อตัดผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการแล้ว ให้ทำการแยกรูปโครงถัก (Free body) ออกมา และพิจารณาเฉพาะรูปด้านที่เราต้องทราบค่าแรงของชิ้นส่วนนั้นๆ

4. เมื่อต้องการหาแรงต้านทานภายในของชิ้นส่วนใด ก็ทำการหาผลรวมของโมเมนต์ (Take Moment) , $\Sigma M = 0$ ที่จุดที่มีชิ้นส่วนของโครงถักมารวมกันเสมอเช่น ที่จุดรองรับ (Support) หรือที่จุดรวมของอีกสองชิ้นส่วนที่ยังไม่ได้หา ก็จะทำให้ทราบค่าแรงต้านทานภายในของชิ้นส่วนที่กำลังหาได้
5. สมมุติทิศทางแรงต้านทานภายในของชิ้นส่วนที่ต้องการหา (โดยแรงดึงมีค่าเป็นบวกและแรงอัดมีค่าเป็นลบ) ถ้าเราสมมุติทิศทางของแรงผิดพลาด ก็จะได้ค่าแรงผลลัพธ์เป็นทิศทางตรงข้ามกับที่เราสมมุติไว้ตอนต้น (ติดค่าลบ) ก็ให้ทำการสมมุติทิศทางของแรงในชิ้นส่วนนั้นใหม่ และทำการคำนวณโดยสมการสมดุลใหม่อีกครั้ง ก็จะได้ผลลัพธ์ทิศทางของแรงตรงตามที่กำหนดไว้
6. การพิจารณาเลือกตัดรูป ขึ้นอยู่กับความต้องการว่าอยากจะรู้แรงต้านทานภายในของชิ้นส่วนใด ก็เลือกตัดให้ผ่านชิ้นส่วนนั้นๆได้ทันที โดยไม่ต้องเริ่มตั้งแต่จุดแรกของโครงถัก เหมือนกับวิธีการตัดรอบจุด

ตัวอย่างที่ 5.2 จงคำนวณหาแรงต้านทานภายในชิ้นส่วนโครงถักตามแนวตัด ก-ก , ข-ข และ ค-ค เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำดังรูปข้างล่างนี้ ด้วยวิธี Section Method



วิธีทำ คำนวณหาระยะยกเอียงลาดของโครงถัก เมื่อกำหนดมุมเอียงลาด 15° มาให้

ความสูงที่ระยะกึ่งกลางใต้จั่วโครงถัก = 6 tan 15° = 1.60 เมตร

คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ

$\Sigma M_A = 0$, $R_b(12) - (900x9x6) - (480x5x1.6) = 0$

$$R_b = \frac{48,600 + 3,840}{12} = 4,370 \text{ กก.}$$

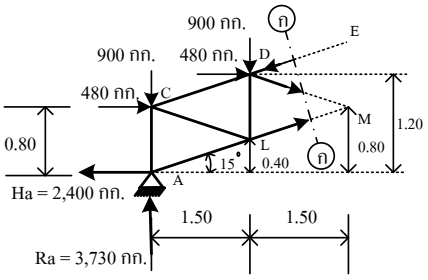
$\Sigma V = 0$, $R_a + R_b - (900x9) = 0$

$R_a = 8,100 - 4,370 = 3,730$ กก.

$\Sigma H = 0$, $H_a - (480x5) = 0$

$H_a = 2,400$ กก

<u>พิจารณาตามแนวตัด ก – ก</u>



$\Sigma M_M = 0$,

$[DE(\cos 15^\circ)(0.4) + DE(\sin 15^\circ)(1.5)] + (900x1.5) + (900x3) - (2,400x0.8) - (3,730x3) - (480x0.4) = 0$

$DE[(\cos 15^\circ)(0.4) + (\sin 15^\circ)(1.5)] + 1,350 + 2,700 - 1,920 - 11,190 - 192 = 0$

$$DE = \frac{-1,350 - 2,700 + 1,920 + 11,190 + 192}{(0.4\cos 15^\circ + 1.5\sin 15^\circ)} = 11,862 \text{ กก.(แรงอัด)}$$

$\Sigma M_D = 0$,

$[LM(\cos 15^\circ)(0.8) + LM(\sin 15^\circ)(0)] + (900x1.5) + (480x0.4) - (2,400x1.2) - (3,730x1.5) = 0$

$LM(\cos 15^\circ)(0.8) + 1,350 + 192 - 2,880 - 5,595 = 0$

LM = $\dfrac{-1,350-192+2,880+5,595}{0.8\cos 15^{\circ}}$ = 8,972 กก.(แรงดึง)

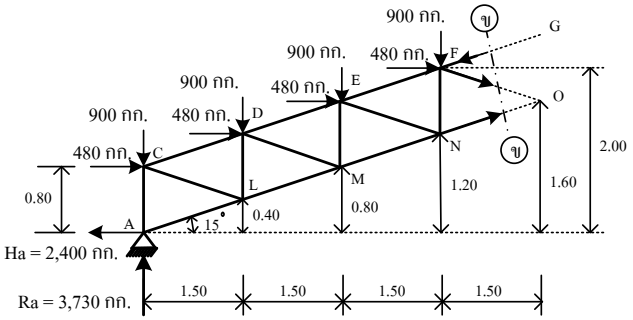
ΣV = 0 ,

DM(sin15°) + DE(sin15°) - LM(sin15°) + 900 + 900 – 3,730 = 0

DM(sin15°) + 11,862(sin15°) – 8,972(sin15°) + 900 + 900 – 3,730 = 0

DM = $\dfrac{-3,070+2,322-900-900+3,730}{\sin 15^{\circ}}$ = 4,606 กก.(แรงดึง)

<u>พิจารณาตามแนวตัด ข – ข</u>



ΣM_O = 0 ,

[FG(cos15°)(0.4) + FG(sin15°)(1.5)] + (900x1.5) + (900x3) + (900x4.5) + (900x6)

- (480x0.4) + (480x0.4) + (480x0.8) – (2,400x1.6) – (3,730x6) = 0

FG[(cos15°)(0.4) + (sin15°)(1.5)] +1,350 +2,700 +4,050 + 5,400 - 192 + 192 +384 - 3,840 – 22,380 = 0

FG = $\dfrac{-1,350-2,700-4,050-5,400+192-192-384+3,840+22,380}{(0.4\cos 15^{\circ}+1.5\sin 15^{\circ})}$ = 15,815 กก.(แรงอัด)

ΣM_F = 0 ,

[NO(cos15°)(0.8) + NO(sin15°)(0)] + (900x1.5) + (900x3) + (900x4.5) + (480x0.4)

+ (480x0.8) + (480x1.2) - (2,400x2) – (3,730x4.5) = 0

NO(cos15°)(0.8) + 1,350 + 2,700 + 4,050 + 192 + 384 + 576 – 4,800 – 16,785 = 0

NO = $\dfrac{-1,350-2,700-4,050-192-384-576+4,800+16,785}{0.8\cos 15^{\circ}}$ = 15,960 กก.(แรงดึง)

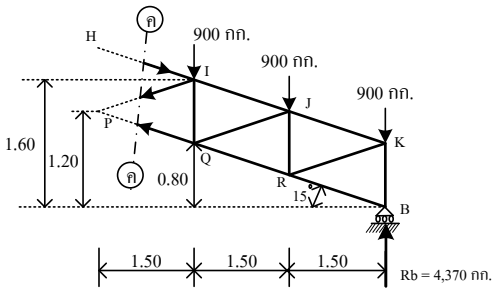
ΣV = 0 ,

FO(sin15°) + FG(sin15°) - NO(sin15°) + (900x4) – 3,730 = 0

FO(sin15°) + 15,815(sin15°) – 15,960(sin15°) + (900x4) – 3,730 = 0

FO = $\dfrac{-4,093+4,131-3,600+3,730}{\sin 15^{\circ}}$ = 649 กก.(แรงดึง)

<u>พิจารณาตามแนวตัด ค – ค</u>



$\Sigma M_P = 0$,

[HI(cos15°)(0.4) + HI(sin15°)(1.5)] + (900x3x3) - (4,370x4.5) = 0

HI[(cos15°)(0.4) + (sin15°)(1.5)] + 8,100 – 19,665 = 0

$$HI = \frac{-8,100 + 19,665}{(0.4\cos 15^\circ + 1.5\sin 15^\circ)} = 14,827 \text{ กก.(แรงอัด)}$$

$\Sigma M_I = 0$,

[PQ(cos15°)(0.8) + PQ(sin15°)(0)] + (900x1.5) + (900x3) - (4,370x3) = 0

PQ(cos15°)(0.8) + 1,350 + 2,700 – 13,110 = 0

$$PQ = \frac{-1,350 - 2,700 + 13,110}{0.8\cos 15^\circ} = 11,725 \text{ กก.(แรงดึง)}$$

$\Sigma V = 0$,

IP(sin15°) + HI(sin15°) - PQ(sin15°) + (900x3) – 4,370 = 0

IP(sin15°) + 14,827(sin15°) – 11,725(sin15°) + (900x3) – 4,370 = 0

$$IP = \frac{-3,838 + 3,035 - 2,700 + 4,370}{\sin 15^\circ} = 3,350 \text{ กก.(แรงดึง)}$$

ตัวอย่างที่ 5.3 จากแบบแปลนโครงสร้างหลังคาไม้ ตามรูปข้างล่างนี้ กำหนดให้ไม้ทั้งหมดเป็นไม้เต็ง , ไม่ต้องไสเรียบ , ยึดรอยต่อด้วยสลักเกลียว ∅ 19 มม. และแผ่นเหล็กประกับหนา 6 มม.

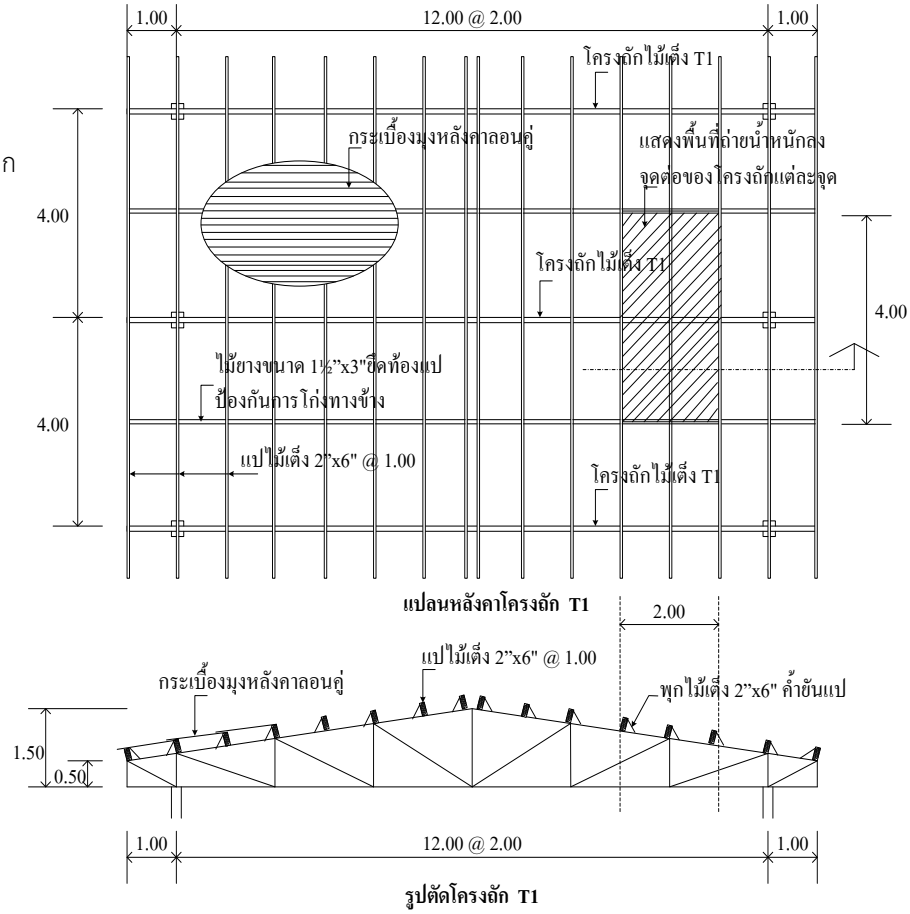
จงคำนวณหาขนาดของ

1.) ขนาดชิ้นส่วนไม้ในโครงถัก

2.) ขนาดของแปไม้วางทางตั้ง

3.) สลักเกลียวยึดจุดต่อ

4.) ความต้านทานของแผ่นเหล็กประกับรอยต่อ



รูปที่ 5.7 แบบแปลนโครงสร้างหลังคาไม้เต็ง

วิธีทำ

สมมุติให้น้ำหนักวัสดุหลังคา = น้ำหนักวัสดุมุงหลังคาและโครงไม้+น้ำหนักจร+อื่นๆ เช่น ฝ้า ,โคมไฟ

= 50 + 30 + 20

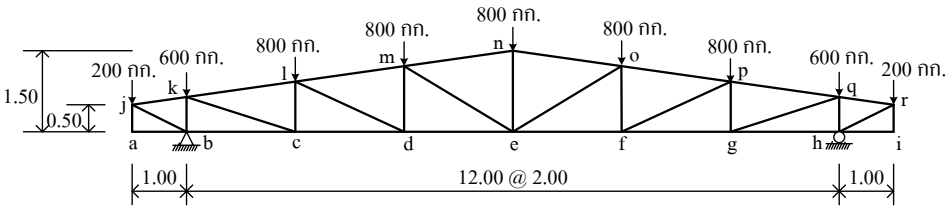
= 100 กก./ตร.ม.

น้ำหนักวัสดุหลังคาที่ถ่ายลงจุดต่อไม้ = 100x4x2 = 800 กก.

= 100x4x1.5 = 600 กก.

= 100x4x0.5 = 200 กก.

ส่วนแรงลมจะไม่นำมาคิด เนื่องจากหลังคามีความเอียงลาดน้อย



รูปที่ 5.8 แสดงแรงกระทำต่อจุดต่อของโครงถักไม้เต็ง (Truss T1)

ตารางที่ 5.3 แสดงแรงต้านทานภายในชิ้นส่วนต่างๆของ Truss T1

Top Chords , (กก.)	Lower Chords , (กก.)	Web/Verticals , (กก.)	Diagonals , (กก.)
jk = qr = 333 (แรงดึง)	ab = hi = 0	aj = ir = 0	bj = hr = 368 (แรงอัด)
kl = pq = 4,353 (แรงอัด)	bc = gh = 330 (แรงอัด)	**bk = hq = 2,770(แรงอัด)**	**ck = gq = 4,872 (แรงดึง)**
lm= po = 5,435 (แรงอัด)	cd = gf = 4,309 (แรงดึง)	cl = gp = 1,471 (แรงอัด)	dl = fp = 1,181 (แรงดึง)
mn = on = 4,969 (แรงอัด)	**de = ef = 5,380 (แรงดึง)**	dm = fo = 476 (แรงอัด)	em = eo = 539 (แรงอัด)
		en = 589 (แรงดึง)	

1.) คำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนโครงถักไม้เต็ง (Truss T1)

การคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนโครงถัก เพื่อความง่ายและสะดวกในการปฏิบัติงาน จึงเลือกพิจารณาเฉพาะชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุดในแต่ละส่วน และเมื่อคำนวณได้ขนาดของชิ้นส่วนแล้ว ก็ให้ใช้ขนาดชิ้นส่วนนั้นเท่ากันตลอด ดังนี้

<u>Top Chords</u> **และ** <u>Lower Chords</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 5,435 กก.(แรงอัด)

ความยาวของ Top Chords แต่ละท่อน = $\sqrt{2^2+0.33^2}$ = 2.03 เมตร = 203 ซม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของไม้เนื้อแข็ง , F_c = 90 กก./ตร.ซม.

จากตารางที่ 1.2 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้เนื้อแข็ง , E = 136,300 กก./ตร.ซม.

ถ้าลองเลือกใช้ไม้เต็งหนา 3” = 7.5 ซม.

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด = L/d = $203/7.5$ = 27

ตรวจสอบค่า $K = \frac{\pi}{2}\left(\sqrt{\frac{E}{6F_c}}\right) = 0.67\left(\sqrt{E/F_c}\right)$

$= 0.67\left(\sqrt{136{,}300/90}\right) = 26$

เลือกใช้สูตรของ Fourth Power Parabolic Formula

กรณีเสายาว , $K < \left(L/d\right) < 50$, $F_a = \frac{\pi^2 E}{36\left(L/d\right)^2} = \frac{0.3E}{\left(L/d\right)^2} = \frac{0.3x136{,}300}{(27)^2}$

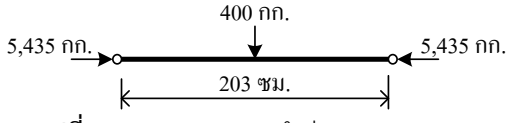
= 56.09 กก./ตร.ซม.

พื้นที่หน้าตัด_Top Chords/_Lower Chords ที่ต้องการ, $A = \frac{P}{F_a} = \frac{5{,}435}{56.09}$ = 96.9 ตร.ซม.

จากการกำหนดความหนาไว้ 3” = 7.5 ซม.

∴ ความกว้างที่ต้องการ = $\frac{96.9}{7.5}$ = 12.92 ซม. ⇒ 15 ซม.(6”)

เนื่องจากช่วงของ Top Chords จะมีน้ำหนักของแปไม้ = 100x4x1 = 400 กก. กดลงที่ระหว่างกลางช่วง จึงต้องตรวจสอบความต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดร่วมด้วย



รูปที่ 5.9 แสดงแรงกระทำต่อ Top Chords

โมเมนต์ดัด , M = $\frac{PL}{4}$ = $\frac{(400)x203}{4}$ = 20,300 กก.-ซม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของไม้เนื้อแข็ง , F_b = 120 กก./ตร.ซม.

ตรวจสอบ $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} < 1$

$$= \frac{(5{,}435)/7.5x15}{96.9} + \frac{20{,}300 / (7.5x15^2/6)}{120} = 1.09 \sim 1$$ **ใช้ได้**

∴ สามารถเลือกใช้ไม้เต็งขนาด 3”x6” เป็นโครงสร้างของ Top Chords/_Lower Chords ได้อย่างปลอดภัย

<u>Web/Verticals</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 2,770 กก.(แรงอัด)

ความยาวของ web ท่อนที่รับแรงอัดมากที่สุด = 0.643 เมตร = 64.3 ซม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของไม้เนื้อแข็ง , F_c = 90 กก./ตร.ซม.

ถ้าลองเลือกใช้ไม้เต็งหนา 3” = 7.5 ซม.

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด = L/d = $64.3/7.5$ = 8.57

เลือกใช้สูตรของ Fourth Power Parabolic Formula

กรณีเสาสั้น , $(L/d) < 12$, $F_a = F_c$ = 90 กก./ตร.ซม.

พื้นที่หน้าตัด Web Chords ที่ต้องการ, A = $\frac{P}{F_a}$ = $\frac{2{,}770}{90}$ = 30.78 ตร.ซม.

จากการกำหนดความหนาไว้ 3” = 7.5 ซม.

∴ ความกว้างที่ต้องการ = $\frac{30.78}{7.5}$ = 4.1 ซม. ⇒ 7.5 ซม.(3”)

∴ สามารถเลือกใช้เต็งขนาด 3”x3” เป็นโครงสร้างของ Web Chords ได้อย่างปลอดภัย

<u>Diagonals</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 4,872 กก.(แรงดึง)

ความยาวของ Diagonals ท่อนที่รับแรงดึงมากที่สุด = 2.10 เมตร = 210 ซม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงดึงขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของไม้เนื้อแข็ง , F_t = 120 กก./ตร.ซม.

พื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ต้องการ , A_{net} = $\frac{4{,}872}{120}$ = 40.6 ตร.ซม.

ถ้ากำหนดเลือกใช้ไม้เต็งหนา 3” = 7.5 ซม. , พื้นที่รูเจาะยึดแถวเดียว = (1.9 + 0.15)x7.5 = 15.38 ตร.ซม.

พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่ต้องการ, A = 40.6 + 15.38 = 55.98 ตร.ซม.

∴ ความกว้างที่ต้องการ = $\frac{55.98}{7.5}$ = 7.46 ซม. ⇒ 7.5 ซม.(3”)

∴ สามารถเลือกใช้เต็งขนาด 3”x3” เป็นโครงสร้างของ Diagonals Chords ได้อย่างปลอดภัย

2.) ขนาดของแปไม้เต็งวางทางตั้ง

กำหนดให้น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่ = 15 กก./ตร.ม.

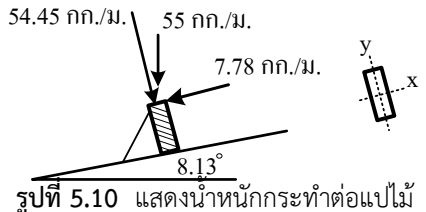
น้ำหนักจร = 30 กก./ตร.ม.

อื่นๆ เช่น ฝ้า ,โคมไฟ = 10 กก./ตร.ม.

รวม = 55 กก./ตร.ม.

ถ้ากำหนดให้จัดวางระยะห่างของแป @ 1.00

น้ำหนักแนวดิ่งที่ถ่ายลงแปต่อ 1 ตัว = 55x1.00 = 55 กก./ม.



รูปที่ 5.10 แสดงน้ำหนักกระทำต่อแปไม้

ความเอียงลาดของโครงถัก = $\tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$ = $\tan^{-1}\left(\frac{1}{7}\right)$ = 8.13°

น้ำหนักที่กระทำตั้งฉากกับแป , w_x = $55\cos 8.13^{\circ}$ = 54.45 กก./ม.

น้ำหนักที่กระทำต่อแป ในแนวขนานกับหลังคา , w_y = 55 sin 8.13° = 7.78 กก./ม.

แปไม้เต็งวางอยู่บนโครงถักถึงโครงถักระยะห่าง 4.00 ม. กำหนดให้คิดเป็นคานช่วงเดียวยาว 4.00 ม.

โมเมนต์ดัดในแนวตั้งฉากกับแป , M_x = $\frac{54.45x4^2}{8}$ = 108.9 กก.-ม.

โมเมนต์ดัดในแนวขนานกับหลังคา , M_y = $\frac{7.78x4^2}{8}$ = 15.56 กก.-ม.

ถ้าเลือกใช้แปไม้เต็งวางทางตั้งขนาด $2"x6"$, b = 5 ซม. d = 15 ซม.

f_{bx} = $\frac{6M_x}{bd^2}$ = $\frac{6x108.9x100}{5x15^2}$ = 58.08 กก./ตร.ซม.

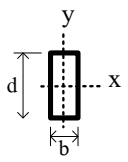
f_{by} = $\frac{6M_y}{db^2}$ = $\frac{6x15.56x100}{15x5^2}$ = 24.9 กก./ตร.ซม.

จากตารางที่ 1.2 หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของไม้เต็ง , F_b = 120 กก./ตร.ซม.

$\frac{f_{bx}}{F_b}+\frac{f_{by}}{F_b}$ = $\frac{58.08}{120}+\frac{24.9}{120}$ = 0.69 < 1 **ใช้ได้**

ตรวจสอบการโก่งแนวดิ่งที่ยอมให้ , $\Delta_{allowable}$ = $\frac{L}{240}$ = $\frac{400}{240}$ = 1.67 ซม.

จากตารางที่ 1.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้เนื้อแข็ง , E = 136,300 กก./ตร.ซม.



I_x = $\frac{bd^3}{12}$ = $\frac{5x15^3}{12}$ = 1,406.25 ซม.^{4}

I_y = $\frac{db^3}{12}$ = $\frac{15x5^3}{12}$ = 156.25 ซม.^{4}

การโก่งแนวแกน x ที่เกิดขึ้น , Δ_x = $\frac{5w_xL^4}{384EI_x}$ = $\frac{5x\left(54.45/100\right)x400^4}{384x136,300x1,406.25}$ = 0.95 ซม.

การโก่งแนวแกน y ที่เกิดขึ้น , Δ_y = $\frac{5w_yL^4}{384EI_y}$ = $\frac{5x\left(7.78/100\right)x400^4}{384x136,300x156.25}$ = 1.22 ซม.

∴ การโก่งในแนวดิ่งรวม , Δ = $\sqrt{\Delta_x^2+\Delta_y^2}$ = $\sqrt{0.95^2+1.22^2}$ = 1.55 < 1.67 ซม. **ใช้ได้**

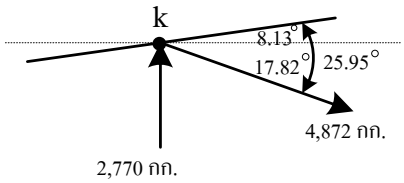
จึงไม่จำเป็นต้องใช้ไม้ยึดท้องแปเพื่อป้องกันการโก่งทางข้าง หรือจะใช้ตามที่ปรากฏในแบบแปลนก็ได้

∴ ขนาดแปไม้เต็งวางทางตั้งขนาด 2”x6” @ 1.00 สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

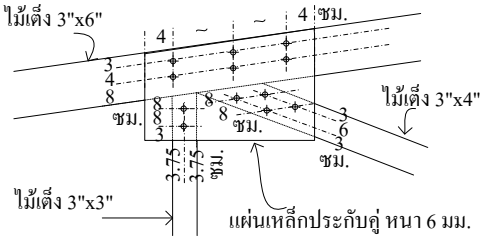
3.) สลักเกลียวยึดรอยต่อ

การคำนวณหาสลักเกลียวยึดรอยต่อ เพื่อความง่ายสะดวกในการปฏิบัติงานและป้องกันการสับสนในการเจาะยึดสลักเกลียวในแต่ละจุดต่อ จึงเลือกพิจารณาเฉพาะจุดต่อที่มีค่าแรงกระทำมากที่สุดเพียงจุดเดียว และเมื่อคำนวณได้จำนวนสลักเกลียวที่ต้องใช้แล้ว ก็ให้ใช้เหมือนกันทุกจุดต่อ(ถ้าอาคารใดต้องการประหยัดค่าใช้จ่าย ก็อาจคำนวณโดยละเอียดในทุกๆรอยต่อได้)

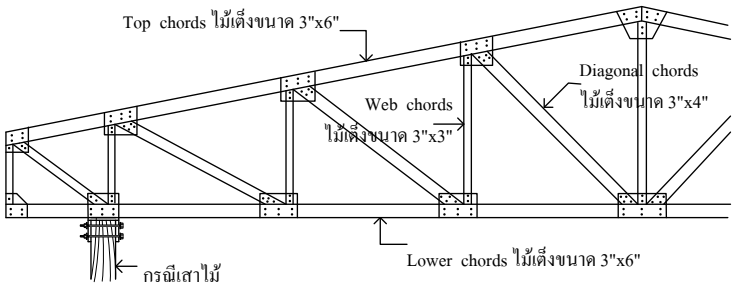
ที่ จุดต่อ k มีแรงกระทำมากที่สุด คือ ชิ้นส่วนแนวดิ่ง(web) , bk = 2,770 กก. , และชิ้นส่วนแนวทแยง (Diagonals) , ck = 4,872 กก. เนื่องจากชิ้นส่วนทั้งสอง เป็นชิ้นส่วนที่เข้าประกบรอยต่อ



ก.) แสดงชิ้นส่วนที่เกิดแรงกระทำมากที่สุด



ข.) แบบขยายจุดยึดสลักเกลียว



ค.) แสดงการประกอบจุดต่อโครงถักแต่ละจุด

รูปที่ 5.11 แบบขยายการประกอบโครงถัก Truss T1

<u>ชิ้นส่วนแนวดิ่ง . bk</u> รับแรงอัด 2,770 กก.

จุดต่อมีระนาบแรงเฉือน 2 ระนาบ , ความยาวของสลักเกลียวเท่ากับความหนาของไม้ = 3”

จากตารางที่ 1.1 ไม้เต็ง จัดเป็นไม้ประเภทเนื้อแข็ง , ใช้สลักเกลียว ∅ 19 มม.

จากตารางที่ 4.7 จะได้ค่ากำลังต้านทานที่ยอมให้ของสลักเกลียวรับแรงเฉือนระนาบคู่

ในแนวขนานเสี้ยน = 1,190 กก./ตัว

กรณีใช้แผ่นเหล็กประกับข้าง เมื่อรับน้ำหนักกระทำในแนวขนานเสี้ยน ให้เพิ่มค่า P ได้อีก 25%

∴ ค่ากำลังต้านทานที่ยอมให้ของสลักเกลียว = 1.25x1,190 = 1,488 กก./ตัว

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องการ = $\frac{2,770}{1,488}$ = 1.86 ตัว ⇒ 2 ตัว

∴ เลือกใช้สลักเกลียวขนาด 2 - ∅ 19 มม. ยาว 4 นิ้ว ในชิ้นส่วน Web chords

จัดระยะการยึด ระยะขอบอย่างน้อย = 1.5D = 1.5x1.9 = 2.85 ซม.⇒ 3.75 ซม.

ระยะห่างจากปลายอย่างน้อย = 4D = 4x1.9 = 7.6 ซม.⇒ 8 ซม.

ระยะห่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางสลักเกลียวอย่างน้อย = 4D = 4x1.9 = 7.6 ซม. ⇒ 8 ซม.

∴ จัดระยะตำแหน่งสลักเกลียวให้ลงตัวได้ดังรูปข้างต้น

<u>ชิ้นส่วนทแยง , ck</u> รับแรงดึง 4,872 กก.

จุดต่อมีระนาบแรงเฉือน 2 ระนาบ , ความยาวของสลักเกลียวเท่ากับความหนาของไม้ = 3”

จากตารางที่ 1.1 ไม้เต็ง จัดเป็นไม้ประเภทเนื้อแข็ง , ใช้สลักเกลียว $\varnothing$ 19 มม.

จากตารางที่ 4.7 กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ที่สลักเกลียวรับแรงเฉือนตั้งฉากกับแนวเสี้ยน ,

Q = 500 กก./ตัว

กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ที่สลักเกลียวรับแรงเฉือนขนานกับแนวเสี้ยน ,

P = 1,190 กก./ตัว

แต่ใช้แผ่นเหล็กประกับจุดต่อ ทำให้กำลังต้านทานที่ยอมให้ในแนวขนานเสี้ยนเพิ่มขึ้นได้อีก 25%

$\therefore$ กำลังต้านทานที่ยอมให้ในแนวขนานเสี้ยน, P = 1.25x1,190 = 1,488 กก./ตัว

เมื่อมีแรงกระทำในแนวทำมุมกับเสี้ยนไม้ จึงเลือกใช้สูตรของฮันกินสัน

คำนวณหากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวแต่ละตัวในแนวทำมุม θ กับแนวเสี้ยน(N)

$$N = \frac{PQ}{P\sin^2\theta + Q\cos^2\theta}$$

$$= \frac{1{,}488x500}{(1{,}488\sin^2 25.95^\circ)+(500\cos^2 25.95^\circ)} = 1{,}079.53 \text{ กก./ตัว}$$

- ชิ้นส่วน ck เป็นแรงดึงแนวขนานเสี้ยน จึงหารด้วยกำลังต้านทานของสลักเกลียวในแนวขนานเสี้ยน (P)

$\therefore$ จำนวนสลักเกลียวในชิ้นส่วนทแยง = $\frac{4{,}872}{1{,}488}$ = 3.27 ตัว $\Rightarrow$ 4 ตัว , จัดเรียง 2 แถว

เดิมใช้ไม้ขนาด 3”x3” เมื่อต้องจัดเรียงสลักเกลียว 2 แถว จึงต้องขยายหน้ากว้างของไม้เป็น 3”x4”

$\therefore$ เลือกใช้สลักเกลียวขนาด 4 - $\varnothing$ 19 มม. ยาว 4 นิ้ว ในชิ้นส่วน Diagonal chords

- ชิ้นส่วน Top chords รับแรงดึงทำมุมแนวเสี้ยนจึงหารด้วยกำลังต้านทานของสลักเกลียว ในแนวทำมุมเสี้ยน (N)

$\therefore$ จำนวนสลักเกลียวในไม้ Top chords = $\frac{4{,}872}{1{,}079.53}$ = 4.51 ตัว $\Rightarrow$ 6 ตัว , จัดเรียง 2 แถว

เดิมใช้ไม้ขนาด 3”x6” เมื่อต้องจัดเรียงสลักเกลียว 2 แถว หน้ากว้างของไม้เพียงพอแล้ว

$\therefore$ เลือกใช้สลักเกลียวขนาด 6 - $\varnothing$ 19 มม. ยาว 4 นิ้ว ในชิ้นส่วน Top chords

จัดระยะการยึด ระยะขอบไม่รับแรงอย่างน้อย = 1.5D = 1.5x1.9 = 2.85 ซม.$\Rightarrow$ 3 ซม.

ระยะขอบรับแรงอย่างน้อย = 4D = 4x1.9 = 7.8 ซม.$\Rightarrow$ 8 ซม.

ระยะห่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางสลักเกลียวอย่างน้อย = 4D = 4x1.9 = 7.6 ซม.$\Rightarrow$ 8 ซม.

ระยะห่างระหว่างแถวอย่างน้อย 1.5D แต่ไม่เกิน 12.5 ซม. $\Rightarrow$ 4 ซม.

$\therefore$ จัดระยะตำแหน่งสลักเกลียวให้ลงตัวได้ดังรูปข้างต้น

<u>4.) ความต้านทานของแผ่นเหล็กประกับ</u>

ชิ้นส่วนแรงดึง 4,872 กก. , ไม้ขนาด 3”x4” = 7.5x10 ซม. ,

สลักเกลียว 4 - $\varnothing$ 19 มม. จัดเรียง 2 แถว , รูเจาะ 2.05 ซม.

กำลังต้านทานแรงดึงของแผ่นเหล็กประกับคู่ = $A_{net}(F_t)$, เมื่อกำหนดให้ F_t = 1,200 กก./ตร.ซม.

$$= \langle[(0.6x10)-(2x2.05x0.6)]x1{,}200\rangle\, x2$$

= 8,496 กก. > 4,872 กก. **ใช้ได้**

ชิ้นส่วนแรงอัด 2,770 กก. ,ไม้ขนาด 3”x3” = 7.5x7.5 ซม. ,

สลักเกลียว 2 - $\varnothing$ 19 มม. จัดเรียงแถวเดียว , รูเจาะ 2.05 ซม.

กำลังต้านทานแรงอัดของแผ่นเหล็กประกับคู่ = $A_{net}(F_t)$, เมื่อกำหนดให้ F_t = 1,200 กก./ตร.ซม.

= $\langle[(0.6x7.5)-(2.05x0.6)]x1,200\rangle x2$

= 7,848 กก. > 2,770 กก. **ใช้ได้**

∴ แผ่นเหล็กประกับคู่หนา 6 มม. ต้านทานแรงกระทำที่จุดต่อได้อย่างปลอดภัย

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาไม้
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง ประเภทของหลังคาไม้ ส่วนประกอบของโครงข้อหมุนหลังคา รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss)หลังคา ค่าการโก่งตัวของโครงถักไม้ที่ยอมให้ และทบทวนทฤษฎีการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 5 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 5 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 5 เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาไม้ ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 5 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5
2. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5 เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาไม้

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 5 เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาไม้

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....

(.....)

ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 5 การออกแบบโครงถักหลังคาไม้

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 5 การออกแบบโครงถักหลังคาไม้

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบทดสอบ		**คะแนนแบบประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	ประเภทของหลังคาไม้						
2	ส่วนประกอบของโครงข้อหมุนหรือโครงถักหลังคาไม้						
3	รูปแบบต่างๆของโครงถัก(Truss) หลังคาไม้						
4	ค่าการโก่งตัวของโครงถักหลังคาไม้ที่ยอมให้						
5	ทบทวนการวิเคราะห์หาแรงในโครงถัก						
6	การคำนวณโครงถักหลังคาไม้						
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก	สอนครั้งที่ 9/18
ชื่อเรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก		จำนวน 3 คาบ

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน วสท. และ มอก.

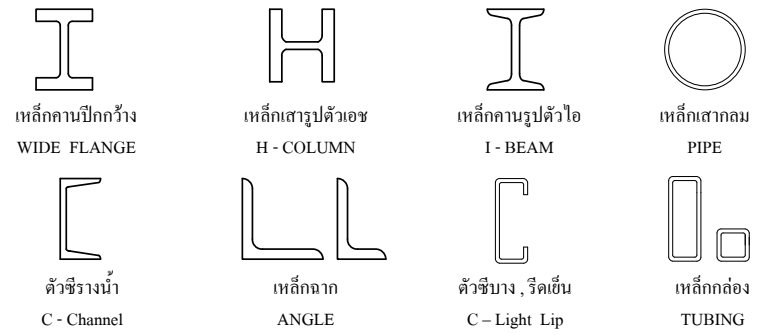
1.2 กลสมบัติของโลหะ

1.3 ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

1.4 ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527

2. สาระสำคัญ

งานโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ (Steel Structural) เป็นงานที่ทำให้งานก่อสร้างเสร็จเร็วกว่างานคอนกรีต แต่มีข้อจำกัดบางอย่าง เช่น ความสวยงาม ความทนไฟ การเป็นสนิม ซึ่งต้องแก้ไขและป้องกันเพิ่มเติมได้ ฉะนั้นจึงพบงานโครงสร้างเหล็กรูปพรรณมากในอาคารประเภทโรงงาน คลังสินค้า ห้างสรรพสินค้า อาคารที่ต้องรองรับน้ำหนักมากเป็นพิเศษ หรืออาคารคอนกรีตที่มีช่วงความยาวมากๆก็อาจใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณเสริมในงานคอนกรีต เพื่อช่วยลดความใหญ่โตของงานคอนกรีตลงได้



รูปที่ 6.1 แสดงหน้าตัดเหล็กรูปพรรณแบบต่างๆ

รูปหน้าตัดต่างๆของเหล็กรูปพรรณ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนด ซึ่งมีอยู่หลายหน้าตัด เช่น รูปตัดตัวเอช (H) , รูปตัดปีกกว้าง (WIDE FLANGE , WF) , รูปตัดตัวไอ (I) , รูปตัดตัวซีรางน้ำ (CHANNEL , C) , รูปตัดฉากขาเท่ากัน (Equal leg Angle) , รูปตัดฉากขาไม่เท่ากัน (Unequal leg Angle) นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างเหล็กรีดเย็นบางส่วนที่เป็นโครงสร้างรอง เช่น ส่วนประกอบของโครงหลังคา , ส่วนประกอบของผนัง คือ แป ระแนง คร่าวผนัง หน้าตัดเหล่านี้จัดเป็นเหล็กประเภท Light Gage เช่น เหล็กกล่องรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Tube , □) , เหล็กกล่องรูปสี่เหลียมผืนผ้า (Rectangular Tub , ▯) , เหล็กตัวซีรีดเย็นหรือซีบาง (Light Lip Channel , [ )

หน่วยที่ใช้เรียกหน้าตัดเหล็กรูปพรรณ เป็น มิลลิเมตร (มม.)

การเขียนและการอ่านสัญญาลักษณ์เหล็กรูปพรรณ เช่น

WF - 250 x 250 x 9 x 14 มม. (คานปีกกว้าง บอกขนาดทั้งหมด)

หรือ WF - 250 x 72.4 กก. / เมตร (คานปีกกว้าง บอกเป็นน้ำหนัก)

I – 300 x 48.3 กก. / เมตร (คานรูปตัวไอ บอกเป็นน้ำหนัก)

C - 250 x 90 x 9 x 13 มม. (ตัวซีรางน้ำ)

C - 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. (ตัวซีบาง)

L - 50 x 50 x 5 มม. (ฉากขาเท่ากัน)

L - 90 x 75 x 6 มม. (ฉากขาไม่เท่ากัน)

□- 50 x 50 x 2.3 มม. (เหล็กกล่อง)

เหล็กรูปพรรณเป็นโครงสร้างเหล็กรีดร้อน มีอยู่หลายมาตรฐาน จึงต้องอ่านแบบหรือข้อกำหนดให้ชัดเจนเสียก่อนเพราะบางมาตรฐานไม่ค่อยมีจำหน่ายในประเทศ ทำให้ต้องสั่งนำเข้ามาและราคาอาจสูงมากกว่าที่เสนอราคาไว้ มาตรฐานเหล็กรูปพรรณต่างๆ มีดังนี้ เช่น

TIS = THAI INDUSTRIAL STANDARD

JIS = JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

AISC = AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

ASTM = AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL เป็นต้น

ความยาวมาตรฐานของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดต่างๆ ที่ผลิตขายในท้องตลาด คือ 6 เมตร ถ้าต้องการความยาวมากกว่านี้ต้องสั่งเป็นพิเศษจากโรงงานผลิต

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน วสท. และ มอก. กลสมบัติของโลหะ ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน วสท. และ มอก. กลสมบัติของโลหะ ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน วสท. และ มอก. กลสมบัติของโลหะ ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ

4. สาระการเรียนรู้

4.1 มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ (มาตรฐาน วสท. 1015-40)

มาตรฐานเหล็กรูปพรรณซึ่ง วสท. ยอมรับให้ใช้ได้ คือ มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (มอก.) หรือ มาตรฐานสากลอื่นๆ ดังนี้

- เหล็กโครงสร้าง ASTM - A36
- ท่อ เหล็กกล้า เหล็กดำชุบร้อน ท่อเหล็กอาบสังกะสีแบบเชื่อมและแบบไม่มีตะเข็บ ASTM - A53Gr.B
- เหล็กโครงสร้างกำลังโลหะผสมต่ำ ASTM - A242
- ท่อโครงสร้างเหล็กผสมคาร์บอน ขึ้นรูปเย็นแบบเชื่อมและแบบไม่มีตะเข็บ หน้าตัดรูปกลมและรูปอื่นๆ ASTM - A500
- ท่อโครงสร้างเหล็กผสมคาร์บอน ขึ้นรูปร้อนแบบเชื่อมและแบบไม่มีตะเข็บ ASTM - A501 ฯลฯ

4.2 มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (มาตรฐาน มอก.)

เหล็กกล้าคาร์บอน เป็นเหล็กที่นิยมใช้ในงานโครงสร้าง เหล็กมาตรฐานสากล ASTM A36 มีกำลังจุดคราก (F_y)โดยประมาณ 2,549 กก./ตร.ซม. และกำลังต้านทานแรงดึง โดยประมาณ 4,079 – 5,608 กก./ตร.ซม.

เหล็กมาตรฐานของไทย TIS 1227-2539 , SS400 มีกำลังจุดคราก (F_y)โดยประมาณ 2,498 กก./ตร.ซม. , SS490 มีกำลังจุดคราก (F_y)โดยประมาณ 2,906 กก./ตร.ซม. ซึ่งเหล็กมาตรฐาน SS400 สามารถเทียบเท่าได้กับเหล็ก ASTM A36 เป็นต้น

มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนในประเทศไทย คือ มอก.1227-2539 มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 6.1 ชั้นคุณภาพและส่วนประกอบทางเคมีเมื่อวิเคราะห์จากเบ้า (มอก.1227-2539)

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	คาร์บอน , สูงสุด	ซิลิคอน , สูงสุด	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส, สูงสุด	กำมะถัน, สูงสุด
SM 400	0.20	0.35	0.60 - 1.40	0.035	0.035
SM 490	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 520	0.20	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 570	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SS 400	-	-	-	0.050	0.050
SS 490	-	-	-	0.050	0.050
SS 540	0.30	-	1.60 สูงสุด	0.040	0.040

ตารางที่ 6.2 แสดงกลสมบัติต่างๆของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (มอก.1227-2539)

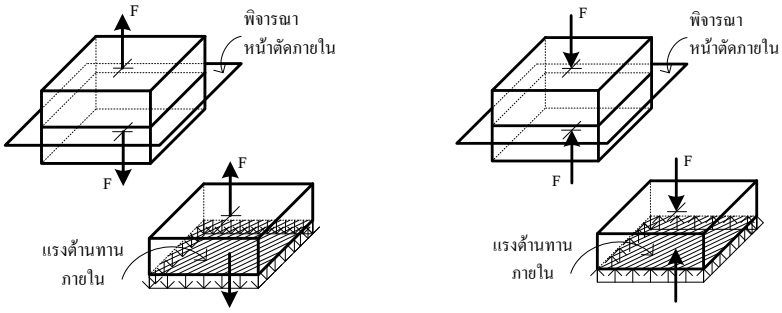
ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงดึงที่จุดครากต่ำสุด (กก./ตร.ซม.)		ความต้านทานแรงดึง(กก./ตร.ซม.)	ความยืดต่ำสุด (ร้อยละ)			ความต้านการกระแทกต่ำสุด (จูล)
	ความหนา < 16 มม.	ความหนา > 16 มม.		ความหนา < 5 มม.	ความหนา 5 - 16 มม.	ความหนา > 16 มม.	
SM 400	2,498	2,396	4,079 – 5,200	23	18	22	27
SM 490	3,314	3,212	4,996 – 6,220	22	17	21	27
SM 520	3,722	3,620	5,302 – 6,526	19	15	19	27
SM 570	4,690	4,588	5,812 – 7,341	19	19	26	47
SS 400	2,498	2,396	4,079 – 5,200	21	17	21	-
SS 490	2,906	2,804	4,996 – 6,220	19	15	19	-
SS 540	4,078	3,976	5,506 ต่ำสุด	16	13	17	-

4.3 กลสมบัติของโลหะ

เครื่องจักรกลหรือโครงสร้างต่างๆ เช่น รถยนต์ สะพาน อาคาร ล้วนสร้างหรือประกอบด้วยวัสดุหลายๆ ชนิดเข้าด้วยกัน โครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆก็จะทำหน้าที่รับแรงและต้านทานแรงที่มากระทำ เพื่อให้การออกแบบและเลือกใช้วัสดุต่างๆได้ถูกต้องแข็งแรง จึงจำเป็นต้องเรียนรู้ถึงกลสมบัติของวัสดุนั้นๆด้วย ดังต่อไปนี้

ความเค้น (Stress , σ) คือ แรงที่พยายามต้านทานภายในวัสดุ เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำ เพื่อต้านทานไม่ให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง ถ้าแรงที่กระทำจากภายนอกเป็นแรงดึง ความเค้นก็จะเป็นความเค้นดึง และถ้าแรงที่กระทำเป็นแรงอัด ความเค้นก็จะเป็นความเค้นอัด

ความเค้นหาได้จากอัตราส่วนของแรงที่กระทำต่อพื้นที่ภาคตัดของวัสดุนั้น , $\sigma = F / A$



ก.) ความเค้นดึง ข.) ความเค้นอัด

รูปที่ 6.2 แสดงพฤติกรรมการเกิดความเค้น

ความเครียด (Strain , ε) เกิดขึ้นเมื่อวัสดุถูกแรงภายนอกกระทำจนเกินที่จะต้านทานอยู่ได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง เช่น ยืดออก (elongation) หรือ หดเข้า (contraction) การที่วัสดุเปลี่ยนแปลงยืดออกหรือหดเข้า เรียกว่า ความเครียด หาได้จากอัตราส่วนความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนไป (δ) หารด้วยความยาววัสดุเดิม (L)

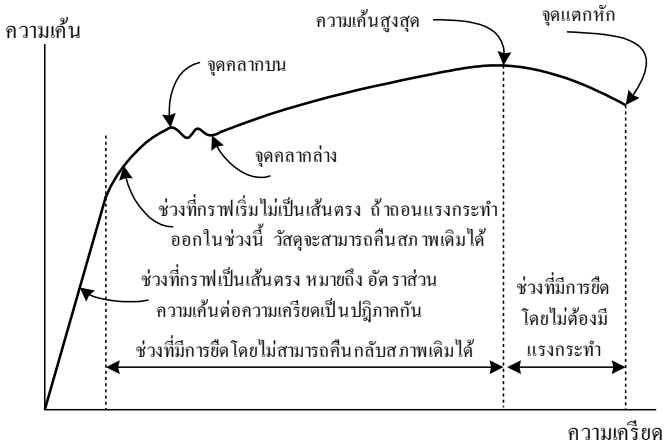
$$\varepsilon = \delta / L$$

ก.) การยืดของวัสดุ ข.) การหดของวัสดุ

รูปที่ 6.3 แสดงพฤติกรรมการเกิดความเครียด

<u>ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด</u>

ในการทดสอบการดึงเหล็ก เพื่อศึกษาถึงลักษณะของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นโดยนำค่าทั้งสองมาเขียนกราฟดังภาพข้างล่างนี้ เรียกว่า แผนภาพความเค้นความเครียด (Stress – Strain Diagram) ซึ่งเส้นกราฟที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงจะได้อธิบายให้เข้าใจเป็นช่วงๆไป



รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - ความเครียด

พิกัดความเป็นสัดส่วน (Proportional Limit) หมายถึงช่วงที่ความเค้นกับความเครียดเป็นปฏิภาคกันโดยตรงเป็นไปตามกฎของฮุค (Hook's law) ที่กล่าวไว้ว่า " ในช่วงอีลาสติก หน่วยแรงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับหน่วยการยืดตัว " สังเกตได้ว่า เส้นกราฟช่วงนี้จะเป็นเส้นตรง

พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) เป็นช่วงที่แสดงให้เห็นว่ากราฟเริ่มไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากการยืดของเหล็กจะเริ่มไม่เป็นสัดส่วนกับแรงที่กระทำ ในช่วงนี้ถ้าถอนแรงกระทำออกก่อนที่จะเลยขีดพิกัดยืดหยุ่น เหล็กก็จะยังสามารถคืนกลับสภาพเดิมได้

จุดคราก (Yield Point , Fy) ถ้าออกแรงดึงต่อไปจนเลยพิกัดความยืดหยุ่น วัสดุก็จะเกิดการแปรรูปอย่างถาวร (Permanent set)ไม่สามารถคืนกลับสภาพเดิมได้อีก ช่วงนี้ออกแรงดึงเพียงเล็กน้อยหรือไม่ออกแรงกระทำเลยวัสดุก็ยังคงยืดตัวไปเองด้วยอัตราการยืดที่เร็วกว่าแรงดึง ความเค้นที่ทำให้เกิดการแปรรูปอย่างถาวร ณ จุดนี้จึงเรียกว่า ความเค้นคราก (Yield Stress) ในวัสดุที่มีความเหนียว เช่น เหล็กกล้า จะมีการเกิดจุดครากได้ 2 ครั้ง เรียกว่า จุดครากบน (Upper Yield point) และ จุดครากล่าง (Lower Yield point)

ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) และ ความแข็งแรงแตกหัก(Breaking Strength) เมื่อเลยจุดครากมาแล้ววัสดุจะไม่คืนตัวและจะยืดตัวออกไปเรื่อยๆโดยมีแรงดึงเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งถึงจุดสูงสุดเรียกว่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ซึ่งเป็นจุดที่เริ่มแสดงให้เห็นว่าความเค้นลดลงอย่างรวดเร็ว พร้อมๆกับวัสดุที่คอดตัวลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน จนกระทั่งขาดหรือแตกหักไปซึ่งเราเรียกว่าจุดแตกหัก (Breaking point) และเรียกความแข็งแรงที่จุดนี้ว่าความแข็งแรงแตกหัก (Breaking Strength)

4.4 ทฤษฎีที่ใช้คำนวณออกแบบโครงสร้างเหล็ก

ทฤษฎีการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design , ASD.) เป็นการออกแบบโดยใช้หน่วยแรงหรือความเค้นที่เกิดขึ้นและใช้หน่วยแรงยืดหดตัวหรือความเครียด ในช่วงที่ความเค้นกับความเครียดเป็นปฏิภาคกัน (Proportional Limit) ซึ่งก็คือช่วงที่เอาค่าความเค้นกับความเครียดไปเขียนกราฟแล้วเป็นเส้นตรง การออกแบบโครงสร้างจะถือว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้น (working stress) จะเกินจากหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress) ไม่ได้

หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress) คือ ค่าความต้านทานสูงสุดของวัสดุนั้นๆ หารด้วยส่วนเผื่อความปลอดภัย สำหรับในประเทศไทยมีมาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ วสท. 1015-40 และพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 และกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้อง เป็นกฎหมายที่ใช้ควบคุมการออกแบบโดยกำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ต่างๆไว้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

ทฤษฎีการออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor design , LRFD.) ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ วสท. 1020-46 เป็นวิธีการออกแบบด้วยการจำแนกตัวคูณ สำหรับน้ำหนักบรรทุกระบุแต่ละประเภท และใช้กลุ่มสภาวะวิกฤติของกลุ่มน้ำหนักบรรทุก ซึ่งการคำนวณด้วยวิธีนี้มี

ความละเอียดถูกต้องมากขึ้นในการกำหนดความต้านทานของโครงสร้าง จะทำให้ได้โครงสร้างที่ประหยัดกว่าวิธีหน่วยแรงใช้งาน รายละเอียดการคำนวณนักศึกษาจะได้เรียนรู้ในขั้นสูงต่อไป สำหรับในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน เท่านั้น

4.5 หน่วยแรงที่ยอมให้(Allowable stress)

ตามมาตรฐาน วสท.1015-40 กำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ไว้ดังนี้

- ค่ากำลังคราก (F_y) ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบที่เชื่อถือได้มาแสดง

- ถ้าเป็นโครงสร้างเหล็กที่หนาไม่เกิน 40 มม. ให้ใช้ค่ากำลังคราก (F_y) ได้ไม่เกิน 2,500 กก./ตร.ซม.
  กรณีกฎกระทรวงฉบับที่ 6 กำหนดให้ใช้ค่า F_y ได้ไม่เกิน 2,400 กก./ตร.ซม.
- ถ้าโครงสร้างเหล็กหนาเกิน 40 มม. ให้ใช้ค่ากำลังคราก (F_y) ได้ไม่เกิน 2,200 กก./ตร.ซม.

- หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (F_t) , หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (F_a) และหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (F_b)

  กำหนดให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 60 ของค่ากำลังคราก (F_y)

$$F_t , F_a , F_b = 0.6 F_y$$

- หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (F_v)

  กำหนดให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 40 ของค่ากำลังคราก (F_y)

$$F_v = 0.4 F_y$$

4.6 น้ำหนักบรรทุก (Loading)

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load , DL.) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีลักษณะคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างอาคารเป็นหลัก เช่น ฐานราก เสา คาน พื้น หลังคา ผนัง กระเบื้องปูพื้น เป็นต้น

ตารางที่ 6.4 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของวัสดุต่างๆ มีข้อมูลน้ำหนักต่อหน่วยโดยประมาณ ดังนี้

น้ำหนักบรรทุกคงที่	หน่วยน้ำหนัก
คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	2,300 - 2,400 กก. / ลบ.ม.
เหล็ก	7,770 – 7,900 กก. / ลบ.ม.
ไม้	600 – 900 กก. / ลบ.ม.
กระจก	2,900 – 3,000 กก. / ลบ.ม.
น้ำ	1,000 กก. / ลบ.ม.
ผนังอิฐบล็อกรวมฉาบ หนา 10 ซม.	120 – 150 กก. / ตร.ม.
ผนังอิฐมอญรวมฉาบ หนา 10 ซม.	180 – 200 กก. / ตร.ม.
ผนังอิฐบล็อกมวลเบารวมฉาบ หนา 10 ซม.	90 – 100 กก. / ตร.ม.
ผนังเบา เช่น ฝาไม้ ,ไม้อัด , ยิบซัม รวมโครงเคร่า	20 – 40 กก. / ตร.ม.
หลังคากระเบื้องลอนคู่ , ลอนเล็ก รวมแป	12 – 15 กก. / ตร.ม.
หลังคากระเบื้องโมเนีย , ดินเผาเคลือบ รวมระแนง	50 – 70 กก. / ตร.ม.
โครงสร้างหลังคา	20 – 50 กก. / ตร.ม.
ฝ้าเพดาน รวมโครงเคร่า	15 – 20 กก. / ตร.ม.
พื้นไม้รวมตง	30 – 50 กก. / ตร.ม.
พื้นแผ่นสำเร็จรวมคอนกรีตทับหน้า หนารวม 10 ซม.	240 – 260 กก. / ตร.ม.
ผิวพื้นกระเบื้องรวมปูนทราย หนา 5 ซม.	120 – 150 กก. / ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load , LL.) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่เป็นลักษณะมีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักได้ตลอดเวลาหรือบรรทุกอยู่ชั่วคราว เช่น น้ำหนักบรรทุกของผู้คนที่เข้าไปใช้ในอาคารนั้นๆ ตู้เก็บเอกสาร อุปกรณ์สำนักงาน รถยนต์ แรงลม เป็นต้น

ตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 (กฎกระทรวงฉบับที่ 6/2527) เป็นกฎหมายที่ใช้ควบคุมการออกแบบโดยกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำไว้ ดังนี้

ตารางที่ 6.5 น้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ

ประเภทการใช้อาคาร	น้ำหนักบรรทุกจร ขั้นต่ำ (กก. / ตร.ม.)
1. หลังคา	30
2. พื้นกันสาด หรือ พื้นหลังคาคอนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย , โรงเรียนอนุบาล , ห้องน้ำ-ส้วม	150
4. ห้องแถว , ตึกแถว , อาคารชุด , หอพัก , โรงแรม	200
5. สำนักงาน , ธนาคาร	250
6. อาคารพาณิชย์ , มหาวิทยาลัย , วิทยาลัย และโรงเรียน	300
7. ห้องโถง , บันได และช่องทางเดิน ของอาคารชุด , หอพัก , โรงแรม , โรงพยาล , สำนักงาน และ ธนาคาร	300
8. ตลาด , ห้างสรรพสินค้า , หอประชุม , โรงมหรสพ , ภัตตาคาร , ห้องประชุม , ห้องอ่านหนังสือในหอสมุด , ที่จอด/เก็บรถยนต์นั่ง	400
9. ห้องโถง , บันได และช่องทางเดิน ของอาคารพาณิชย์ , มหาวิทยาลัย , วิทยาลัย และ โรงเรียน	400
10. คลังสินค้า , โรงกีฬา , พิพิธภัณฑ์ , อัฒจันทร์ , โรงพิมพ์ โรงงานอุตสาหกรรม , ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
11. ห้องโถง , บันได , ช่องทางเดิน ของตลาด , ห้างสรรพสินค้า , หอประชุม , โรงมหรสพ , ภัตตาคาร และ หอสมุด	500
12. ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600
13. ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ	800
14. แรงลมที่กระทำต่ออาคาร (กรณีไม่มีเอกสารอ้างอิง)	
- ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120
- ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 เมตร	160

4.7 ค่าคงที่ของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

ตามมาตรฐาน วสท.1015-40 กำหนดค่าคงที่ทางกลศาสตร์ของวัตถุโครงสร้างเหล็ก ไว้ดังนี้

ตารางที่ 6.6 แสดงค่าคงที่ทางกลศาสตร์ของวัตถุโครงสร้างเหล็ก

โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสแรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนปัวซอง	สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวตามเส้น
2,100,000	800,000	0.3	0.000012

4.8 น้ำหนักกระแทก (Impact Load)

น้ำหนักกระแทก หมายถึง โครงสร้างใดที่รับน้ำหนักบรรทุกจรที่อาจทำให้เกิดแรงกระแทก จะต้องเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจรให้เพียงพอที่จะรับแรงกระแทกนั้นๆ และในกรณีที่ไม่ได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้เพิ่มแรงกระแทกไม่น้อยกว่าสำหรับโครงสร้างดังข้างล่างนี้

- โครงสร้างรองรับลิฟต์ 100%
- คานหลักและรอยต่อที่รองรับปั้นจั่นวิ่ง
  - ชนิดห้องควบคุมอยู่ข้างบน 25%
  - ชนิดห้องควบคุมห้อยลงมา 10%
- โครงสร้างรับเครื่องจักรเบา ขับเคลื่อนโดยเพลาหรือมอเตอร์ 20%
- โครงสร้างรับเครื่องจักรมีลูกสูบหรือเครื่องกำเนิดกำลัง 50%
- อาคารแขวนรับพื้นหรือเฉลียง 33%
- ค่าน้ำหนักบรรทุกจรบนคานหลักที่รองรับปั้นจั่น ให้ใช้เท่ากับน้ำหนักสูงสุดของล้อปั้นจั่น

สำหรับแรงอื่นๆ เช่น แผ่นดินไหว พายุหนัก หรือสภาพผิดปกติอื่นๆ จะต้องออกแบบให้รับแรงต่างๆที่อาจเกิดขึ้นนั้นด้วย ตามกฎกระทรวงต่างๆในแต่ละท้องถิ่นที่ใช้บังคับ

4.9 การป้องกันไฟไหม้ (Fire Protection)

โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ มีคุณสมบัติที่ดีในด้านการก่อสร้างที่รวดเร็ว แต่มีความต้านทานต่อไฟไหม้ได้ต่ำ จากผลการทดสอบเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 600 ^{0}C ในเวลาประมาณ 10 -15 นาที ความแข็งแรงของเหล็ก (Tensile Strength) จะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง เป็นผลให้โครงสร้างอาคารเหล็กพังทลายได้อย่างรวดเร็ว

กฎกระทรวงควบคุมอาคารฉบับที่ 60/2549 กำหนดให้โครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณที่เข้าข่ายต้องมีการป้องกันไฟ ดังนี้

1. อาคารที่ใช้เป็นคลังสินค้า โรงมหรสพ โรงแรม อาคารชุด หรือสถานพยาบาล
2. อาคารที่ใช้เพื่อกิจกรรมพาณิชกรรม การอุตสาหกรรม การศึกษา การสาธารณสุขหรือสำนักงานหรือที่ทำการ ที่มีความสูงตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไปและมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นใดชั้นหนึ่งในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร
3. อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หรืออาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นหอประชุม

อาคารดังกล่าวข้างต้นที่ก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ให้ป้องกันไฟไหม้ด้วยคอนกรีตห่อหุ้มเหล็กรูปพรรณ ดังนี้

ตารางที่ 6.7 แสดงความหนาต่ำสุดที่ยอมให้ของคอนกรีตห่อหุ้มเหล็กรูปพรรณ

โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ	ความหนาต่ำสุด ของคอนกรีตหุ้มเหล็ก(ซม.)
- คานเหล็ก	5
- เสาเหล็กขนาด 150x150 มม.	5
- เสาเหล็กขนาด 200x200 มม.	4
- เสาเหล็กขนาด 300x300 มม.ขึ้นไป	2.5

ในกรณีที่ไม่ได้ใช้การป้องกันไฟด้วยคอนกรีตห่อหุ้มเหล็กรูปพรรณตามตารางข้างต้น ต้องป้องกันด้วยวิธีอื่นโดยให้มีความสามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง และมีเอกสารรับรองยืนยันจากสถาบันที่เชื่อถือได้ สำหรับการทดสอบอัตราการทนไฟ ให้ใช้ตามมาตรฐานของ ISO 834 หรือ ASTM-E 119

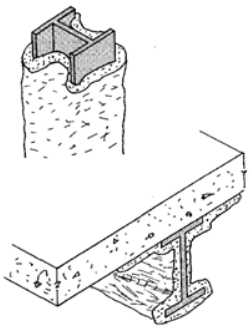
การป้องกันไฟด้วยวิธีอื่นมีอยู่หลายวิธี เช่น

1. การทาเคลือบด้วยวัสดุสีประเภท Intumescent coating วัสดุสีประเภทนี้เมื่อทาเคลือบลงไปบนผิวเหล็กก็จะแห้งมีผิวขรุขระ ถ้าโครงสร้างเหล็กได้รับความร้อนจนถึงจุดที่กำหนด วัสดุสีที่เคลือบก็จะเกิดปฏิกิริยาพองตัวห่อหุ้มเหล็กเป็นเกราะป้องกันความร้อนเข้าสู่โครงสร้างเหล็ก

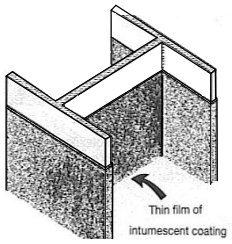
2. การพ่นหรือทาด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมเป็นฉนวนต้านทานไฟได้ดี ประเภท Mineral fiber หรือ Cementitious material เช่น gypsum , asbestos , fiber glass , vermiculite เป็นต้น

3. การใช้แผ่นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานไฟห่อหุ้ม เป็นการเลือกใช้วัสดุแผ่นสำเร็จรูปที่มีผลิตขายทั่วไปในท้องตลาด เช่น แผ่นยิบซัมทนไฟ หรือแผ่นวัสดุอื่นที่ทนไฟ มากรุยึดตีปิดโดยรอบโครงสร้างเหล็ก

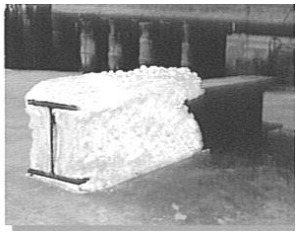
ก) การพ่นโฟมทนไฟหุ้มเหล็ก



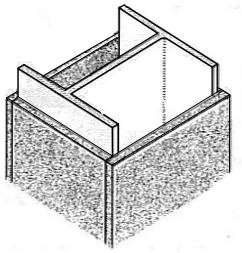
ข) แสดงภายหลังจากการพ่นโฟมทนไฟ



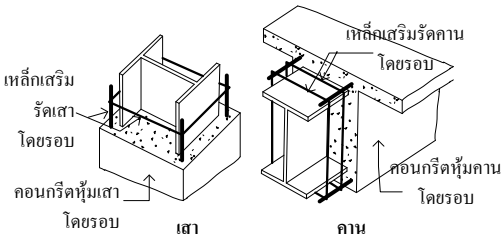
ค) การทาเคลือบด้วย Intumescent coating



ง) แสดงการพองตัวของ Intumescent coating



จ) การใช้แผ่นวัสดุต้านทานไฟห่อหุ้ม



ฉ) การห่อหุ้มเสา/คานเหล็กด้วยคอนกรีต

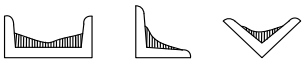
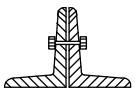
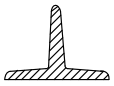
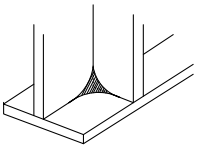
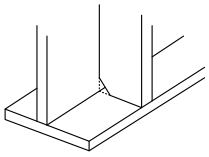
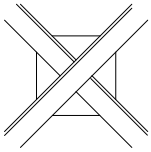
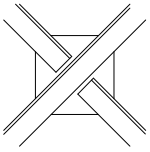
รูปที่ 6.7 การป้องกันไฟด้วยวิธีต่างๆ

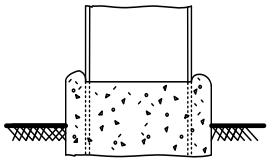
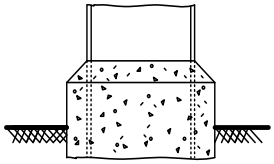
4.10 การป้องกันการเป็นสนิมและการกัดกร่อน

การเป็นสนิมของเหล็กนั้นเกิดจากความชื้นหรือน้ำและออกซิเจน มาสัมผัสกับผิวของโลหะซึ่งเคลือบด้วยออกไซค์อยู่ทั่วไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีเป็นสนิมและกัดกร่อนไปเรื่อยๆ การป้องกันคือ อย่าให้ความชื้นและอากาศสามารถสัมผัสกับผิวของโลหะได้ ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนแรกป้องกันตั้งแต่ขบวนการผลิต เช่น การเคลือบหรือชุบผิวด้วยสังกะสี ทองแดง ดีบุก ยาง พลาสติก

ส่วนที่สองป้องกันเมื่อนำมาใช้ เช่น การทาสีป้องกันสนิม อย่าติดตั้งในที่อับที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ ซ่อมบำรุงขัดทาสีป้องกันสนิมใหม่ตามระยะเวลาที่กำหนด ยกโครงสร้างเสาเหล็กให้ลอยสูงขึ้นจากระดับพื้นเพื่อป้องกันความชื้นกัดกร่อน หรือ การประกอบชิ้นส่วนที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการเก็บกักความชื้นและเกิดสนิมตามมาภายหลัง

ก่อนการแก้ไข	วิธีการแก้ไข	หลังการแก้ไข
	หลีกเลี่ยง การขังของน้ำ , ฝุ่น หรือ ความชื้น	
	หลีกเลี่ยงช่องเล็กๆ ซึ่งเป็นที่ขังของน้ำ โดยเลือกใช้ ชิ้นส่วนโครงสร้างเดียว	
	บากมุมเพื่อให้น้ำไหลผ่านได้ และไม่เป็นมุมอับ ไม่เป็นที่สะสมของฝุ่น/ความชื้น	
	เว้นช่องห่างเล็กน้อย เพื่อให้น้ำไหลผ่านได้ และไม่เป็นมุมอับ ไม่เป็นที่สะสมของฝุ่น/ความชื้น	

	ปรับแต่งผิวคอนกรีต ให้มีความเอียงลาด ป้องกันการขังของน้ำ , ฝุ่น หรือความชื้น	

รูปที่ 6.8 การประกอบติดตั้งโครงสร้างเหล็กที่อาจก่อให้เกิดการเป็นสนิมและกัดกร่อน

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน วสท. และ มอก. กลสมบัติของโลหะ ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 6 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 6 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 6 เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 6 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 6
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 6
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 6 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6 เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 6 เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....

(.....)

ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานโครงสร้างเหล็ก

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบทดสอบ		**คะแนนแบบประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน วสท. และ มอก.						
2	กลสมบัติของโลหะ						
3	ทฤษฎีการคำนวณด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้						
4	ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6/2527						
5	การป้องกันสนิมในงานโครงสร้างเหล็ก						
6	การป้องกันไฟสำหรับงานโครงสร้างเหล็ก						
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

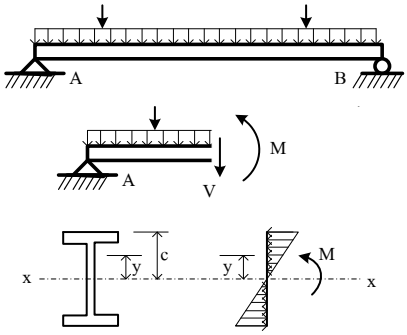
	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ	สอนครั้งที่ 10-11/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ		จำนวน 6 คาบ

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ความต้านทานต่อแรงดัด
1.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือน
1.3 โมดูลัสหน้าตัด
1.4 ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่งและทางข้าง
1.5 ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยงและการยู่
1.6 การออกแบบแผ่นรองใต้คานเหล็ก

2. สาระสำคัญ

คานเป็นโครงสร้างหลักของอาคาร ทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง คานจึงทำหน้าที่ต้านทานโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และแรงบิด โดยหลังคานจะเกิดแรงอัดและท้องคานจะเกิดแรงดึง นอกจากโครงสร้างคานแล้ว ยังมีโครงสร้างอื่นที่ทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกัน เช่น ตง ขื่อ อเส อกไก่ จันทัน ตะเข้สัน ตะเข้ราง แป ระแนง เป็นต้น



รูปที่ 7.1 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดัดที่เกิดขึ้นในคาน

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น $f_b = \dfrac{M.c}{I_x}$, โดย $f_b \leq F_b$ เสมอ

เมื่อ M = ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น (กก.- ซม.)
c = ระยะจากขอบคานแนวดิ่งถึงแนวแกนสะเทิน (ซม.)
I = โมเมนต์อินเนอร์เชียรอบแกนสะเทิน (ซม.^{4})
F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)
F_y = กำลังจุดคลากของเหล็ก (กก./ตร.ซม.)

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน โมดูลัสหน้าตัด ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่งและทางข้าง ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยงและการยู่ และการออกแบบแผ่นรองใต้คานเหล็ก

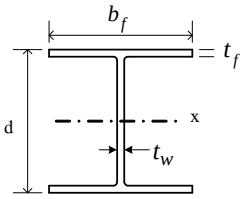
2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน โมดูลัสหน้าตัด ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่งและทางข้าง ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยงและการยู่ และการออกแบบแผ่นรองใต้คานเหล็ก

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน โมดูลัสหน้าตัด ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่งและทางข้าง ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยงและการยู่ และ การออกแบบแผ่นรองใต้คานเหล็ก

4. สาระการเรียนรู้

4.1 ความต้านทานต่อแรงดัด (Flexure Resistance)

มาตรฐานของ วสท. 1015-40 และมาตรฐาน AISC. กำหนดค่าหน่วยแรงต่างๆไว้ ดังนี้



รูปที่ 7.2 แสดงค่าต่างๆของหน้าตัดคาน

- **ตรวจสอบความเพียงพอของค้ำยันที่ปีกคานรับแรงอัด**

เมื่อ $L_b < \dfrac{636 b_f}{\sqrt{Fy}}$ และ $L_b < \dfrac{140,000}{\left(d/A_f\right)Fy}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าคานมีค้ำยันเพียงพอ

เมื่อ $L_b > \dfrac{636 b_f}{\sqrt{Fy}}$ และ $L_b > \dfrac{140,000}{\left(d/A_f\right)Fy}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าคานมีค้ำยันไม่เพียงพอ

โดย L_b = ช่วงความยาวไร้การรองรับของปีกคานรับแรงอัดระหว่างค้ำยัน , ซม.

b_f = ความกว้างของปีกคานรับแรงอัด , ซม. , t_f = ความหนาของปีกคานรับแรงอัด , ซม.

A_f = พื้นที่ของปีกคานรับแรงอัด , ตร.ซม. , d = ความลึกคานทั้งหมด , ซม.

F_y = หน่วยกำลังจุดคลากของเหล็ก , กก./ตร.ซม.

- ถ้าเป็นโครงสร้างเหล็กที่หนาไม่เกิน 40 มม. ให้ใช้ค่ากำลังคลาก(F_y)ได้ไม่เกิน 2,500 กก./ตร.ซม.
  กรณีกฎกระทรวงฉบับที่ 6 กำหนดให้ใช้ค่า F_y ได้ไม่เกิน 2,400 กก./ตร.ซม.
- ถ้าโครงสร้างเหล็กหนาเกิน 40 มม. ให้ใช้ค่ากำลังคลาก(F_y)ได้ไม่เกิน 2,200 กก./ตร.ซม.

- **ตรวจสอบประเภทของหน้าตัดคานที่เกิดแรงอัด**

สำหรับคานเหล็กรูปพรรณหน้าตัดรูป WF , รูปตัว I และเหล็กรูปตัวซีรางน้ำ

เมื่อ $\dfrac{b_f}{2t_f} \le \dfrac{544}{\sqrt{Fy}}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าหน้าตัดคานอัดแน่น(Compact)

เมื่อ $\dfrac{b_f}{2t_f} > \dfrac{795}{\sqrt{Fy}}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าหน้าตัดคานไม่อัดแน่น(Non-Compact)

เมื่อ $\dfrac{544}{\sqrt{Fy}} < \dfrac{b_f}{2t_f} < \dfrac{795}{\sqrt{Fy}}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าหน้าตัดคานอัดแน่นบางส่วน(Partially Compact)

สำหรับคานเหล็กรูปกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้า ที่มีความหนาสม่ำเสมอ

เมื่อ $\dfrac{b_f}{2t_f} \le \dfrac{1,590}{\sqrt{Fy}}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าหน้าตัดคานอัดแน่น(Compact)

เมื่อ $\dfrac{b_f}{2t_f} \le \dfrac{1,980}{\sqrt{Fy}}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าหน้าตัดคานไม่อัดแน่น(Non-Compact)

สำหรับคานเหล็กรูปกลมกลวง

เมื่อ $\frac{D}{t} \leq \frac{231,000}{\sqrt{Fy}}$ $\Rightarrow$ แสดงว่าหน้าตัดคานอัดแน่น(Compact)

หน้าตัดอัดแน่น หมายถึง ปีกของหน้าตัดจะต้องติดกับเอวอย่างต่อเนื่องและอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของชิ้นส่วนของหน้าตัดที่รับแรงอัด จะต้องไม่เกินค่าขีดสูงสุดของอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา

หน้าตัดไม่อัดแน่น หมายถึง หน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดของหน้าตัดอัดแน่น

- กรณีคานมีค้ำยันเพียงพอและหน้าตัดคานอัดแน่น

  $\Rightarrow$ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ $F_b = 0.66F_y$

- กรณีคานมีค้ำยันเพียงพอและหน้าตัดคานไม่อัดแน่น

  $\Rightarrow$ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ $F_b = 0.60F_y$

- กรณีคานมีค้ำยันเพียงพอและหน้าตัดคานอัดแน่นบางส่วน

  $\Rightarrow$ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ $F_b = F_y\left[0.79-0.00024\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)\sqrt{F_y}\right]$

- กรณีคานมีค้ำยันไม่เพียงพอ ให้ตรวจสอบความต้านทานการโก่งทางด้านข้าง ในหัวข้อถัดไป

4.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือน(Shearing Resistance)

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $f_v = \frac{V.Q}{I.t}$, $\frac{V}{d.t_w}$

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $F_v = 0.4\,F_y$, โดย $f_v \leq F_v$ เสมอ

เมื่อ V = ค่าแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น (กก.)

Q = พื้นที่ของหน้าตัดเหนือแกนสะเทินคูณด้วยระยะจากศูนย์ถ่วงของพื้นที่ดังกล่าวถึงแกนสะเทิน (ซม.^{3})

d = ความลึกของเหล็กแผ่นตั้ง (ซม.)

t_w = ความหนาของเหล็กแผ่นตั้ง (ซม.)

4.3 โมดูลัสหน้าตัด (Section Modulus)

$$S_x = \frac{M_{max}}{F_b} \quad \text{หรือ} \quad F_b = \frac{M_{max}}{S_x}$$

เมื่อ S_x = โมดูลัสหน้าตัด (ซม.^{3}) , M_{max} = ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น (กก.- ซม.)

4.4 การโก่งตัวของคานแนวดิ่ง (Deflection of Beam)

ระยะการโก่งที่เกิดขึ้น $\Delta = \frac{5wL^4}{384EI}$ $\Rightarrow$ สำหรับคานช่วงเดียวที่รับน้ำหนักแผ่กระจายสม่ำเสมอ

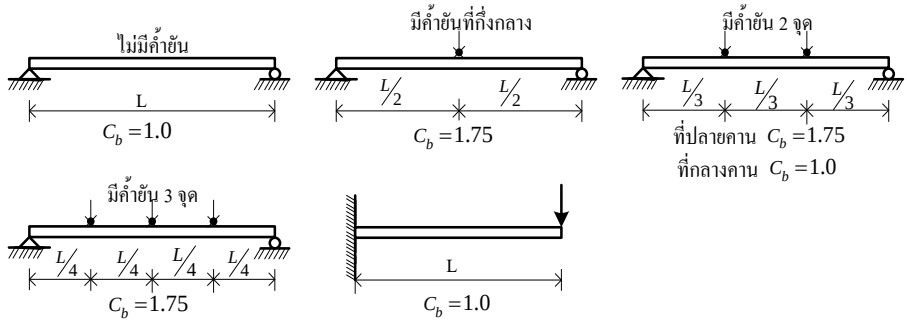
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$ $\Rightarrow$ สำหรับคานช่วงเดียวที่รับน้ำหนักกดเป็นจุดที่กึ่งกลางคาน

และการโก่งตัวของคานเมื่อรับน้ำหนักในกรณีอื่นๆ ให้ดูเพิ่มเติมได้จากตารางท้ายเล่มในภาคผนวก

ระยะการโก่งที่ยอมให้ (Δ_a) ต้องไม่เกิน ดังตารางข้างล่างนี้

สำหรับคานทั่วไป	สำหรับคานยื่น	สำหรับโครงหลังคา
$L/360$	$L/250$	$L/240$

4.5 การโก่งตัวของคานทางด้านข้าง(Buckling Resistance of Beam)



รูปที่ 7.3 แสดงตัวอย่างของค่า C_b

คานเหล็กรูปพรรณที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของเนื้อที่รับแรงอัดที่ผิวริมนอกสุด ซึ่งก็คือปีกบนของคานที่รับแรงอัด อาจทำให้คานโก่งตัวทางด้านข้างได้ ถ้าหากมีค้ำยันด้านข้างไม่เพียงพอ โดยค่า Cb เป็นแฟกเตอร์ตัวคูณปรับค่าผลจากโมเมนต์ที่มีต่อการโก่งตัวทางข้างตามลักษณะรูปที่ 7.3

หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ ให้ใช้สูตรข้างล่างนี้ (แต่ไม่ว่ากรณีใด ค่า F_b ต้องไม่เกิน $0.6F_y$)

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y\left(L_b/r_t\right)^2}{10{,}760x10^4 C_b}\right]F_y \quad \Rightarrow \text{ เมื่อ } \sqrt{\frac{717x10^4 C_b}{F_y}} \le \frac{L_b}{r_t} \le \sqrt{\frac{3{,}585x10^4 C_b}{F_y}}$$

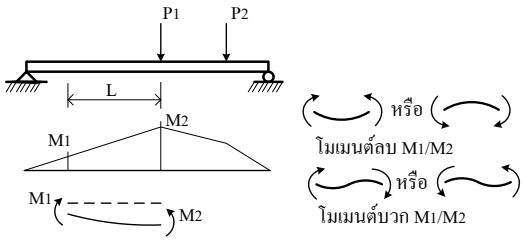
หรือ $$F_b = \frac{1{,}195x10^4 C_b}{\left(L_b/r_t\right)^2} \quad \Rightarrow \text{ เมื่อ } \frac{L_b}{r_t} \ge \sqrt{\frac{3{,}585x10^4 C_b}{F_y}}$$

และ $$F_b = \frac{843{,}600 C_b}{L_b.d/A_f} \quad \Rightarrow \text{ สำหรับค่าใดๆของ } \frac{L_b}{r_t}$$

เมื่อ F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ , $F_b \le 0.6F_y$ (กก. / ตร.ซม.)

L_b = ระยะระหว่างหน้าตัดที่มีการยึดค้ำยันการบิดหรือการโก่งตัวทางข้างของปีกรับแรงอัด (ซม.)

$r_t = \sqrt{\dfrac{I_y/2}{A}}$ = รัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดรอบแกนในระนาบของแผ่นเอวคานของพื้นที่ที่ประกอบด้วยปีกคานรับแรงอัดบวก 1/3 ของความลึกของคานรับแรงอัด (ซม.)



รูปที่ 7.4 แสดงการพิจารณาเครื่องหมายของค่า C_b

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \quad \text{แต่ต้องมีค่าไม่เกิน } \le 2.3$$

โดยค่า M_1 และ M_2 เป็นโมเมนต์ดัดรอบแกนหลักที่ปลายของช่วงคานที่ไม่มีค้ำยันที่มีค่าต่ำกว่าและสูงกว่าตามลำดับ โดย $\left(\frac{M_1}{M_2}\right)$ มีค่าเป็นบวกเมื่อเกิดการดัดโค้งกลับกัน และมีค่าเป็นลบเมื่อเกิดการดัดโค้งเดี่ยว

C_b = 1 ในกรณีที่โมเมนต์ที่จุดกึ่งกลางของช่วงคานมีค่ามากกว่าโมเมนต์ที่ปลายและกรณีคานยื่น

d = ความลึกของคาน (ซม.)

A = $\frac{1}{3}$ ของเนื้อที่แผ่นตั้งรับแรงอัดบวกเนื้อที่ปีกคานรับแรงอัด (ตร.ซม.)

A_f = เนื้อที่หน้าตัดของปีกคานรับแรงอัด (ตร.ซม.)

4.6 การโก่งแนวทแยงของเหล็กแผ่นตั้ง (Diagonal Buckling of Web)

การโก่งแนวทแยงของเหล็กแผ่นตั้ง ตรวจสอบได้จาก อัตราส่วนความลึกของคานต่อความหนาของแผ่นตั้งคาน ต้องมีค่าไม่เกิน $\frac{3,455}{\sqrt{Fy}}$

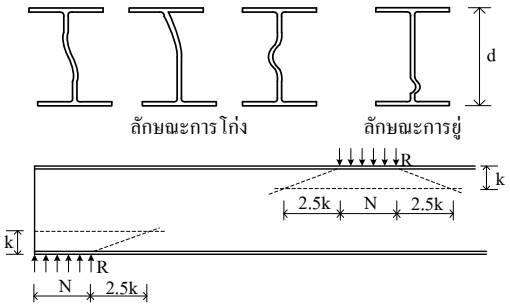
$$\frac{d}{t_w} \le \frac{3,455}{\sqrt{Fy}}$$

เมื่อ d = ความลึกของคานจากขอบปีกคานล่างถึงขอบปีกคานบน (ซม.)

t_w = ความหนาของเหล็กแผ่นตั้งของคาน (ซม.)

F_y = หน่วยกำลังจุดคลากของเหล็ก , (กก./ตร.ซม.)

4.7 การยู่และการโก่งตัวของเหล็กแผ่นตั้ง (Crippling & Buckling of Web)



รูปที่ 7.5 แสดงลักษณะการยู่หรือโก่งตัวที่เกิดขึ้นในคาน

คานเหล็กรูปพรรณเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกมากๆ ส่วนของเหล็กแผ่นตั้ง ก็จะรับแรงอัดและเกิดการยู่หรือเกิดการโก่ง ตรงบริเวณที่มีน้ำหนักกระทำเป็นจุด การตรวจสอบการยู่และการโก่งให้ใช้สมการดังข้างล่างนี้

บริเวณแท่นรองรับ :

- เมื่อแรงกระทำเป็นจุด ที่ปลายหรือใกล้ปลายของคาน

  การโก่งของเหล็กแผ่นตั้ง = $\frac{R}{t_w(N+2.5k)} \le 0.66F_y$ (กก./ตร.ซม.)

- เมื่อแรงกระทำเป็นจุด ที่ระยะต่ำกว่า $d/2$ จากปลายของคาน

  การยู่ของเหล็กแผ่นตั้ง R = $282t_w^2\left[1+3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{F_{yw}t_f}{t_w}}$ (กก.)

บริเวณกลางคาน :

- เมื่อแรงกระทำเป็นจุด อาจเป็นแรงดึงหรือแรงอัดกระทำที่ระยะมากกว่า d วัดจากปลายของคาน

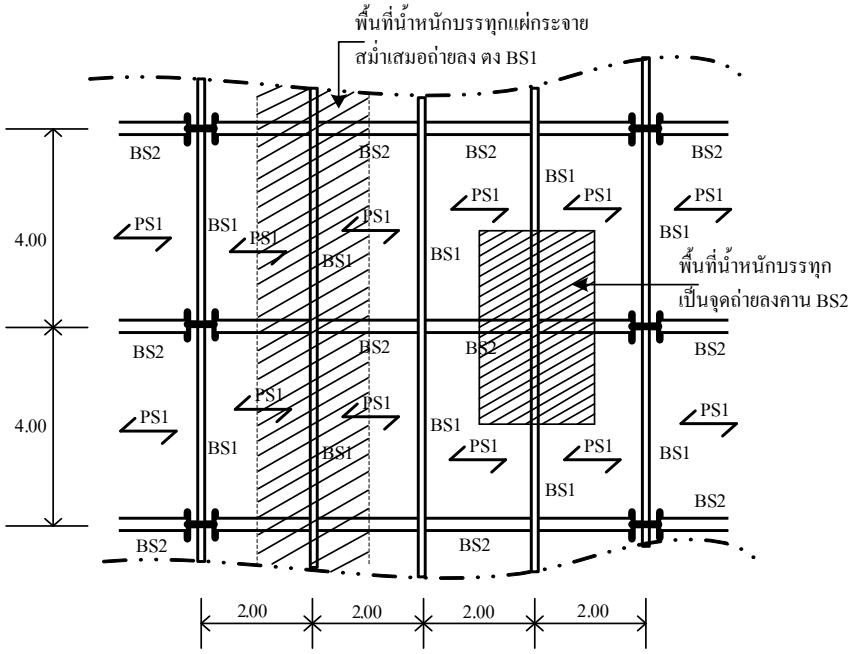
  การโก่งของเหล็กแผ่นตั้ง = $\frac{R}{t_w(N+5k)} \le 0.66F_y$ (กก./ตร.ซม.)

- เมื่อแรงกระทำเป็นจุด ที่ระยะมากกว่า $d/2$ จากปลายของคาน

  การยู่ของเหล็กแผ่นตั้ง R = $564.t_w^2\left[1+3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{F_{yw}.t_f}{t_w}}$ (กก.)

โดย R = แรงกระทำเป็นจุดหรือแรงปฏิกิริยา (กก.) , N = ความยาว/ลึกของบริเวณสัมผัสรับแรงแบกทาน (ซม.)
k = ระยะระหว่างผิวนอกของปีกถึงปลายส่วนโค้งของเอว (ซม.)
t_w = ความหนาของเหล็กแผ่นตั้ง (ซม.) , t_f = ความหนาของปีกคาน (ซม.)
d = ความลึกทั้งหมดของคาน (ซม.) , F_{yw} = หน่วยแรงคลากระบุของเหล็กแผ่นตั้ง (กก./ตร.ซม.)

ตัวอย่างที่ 7.3 จงคำนวณโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จากแบบแปลนโครงสร้าง พื้น / ตง / คาน ที่กำหนดให้ข้างล่างนี้
กำหนดให้ 1) ต้องตรวจสอบความเพียงพอของค้ำยันของตง
2) ต้องตรวจสอบหน้าตัดอัดแน่นและการค้ำยันของคาน
3) ต้องตรวจสอบการโก่งแนวทแยงของเหล็กแผ่นตั้งของคาน
4) ต้องตรวจสอบการโก่งตัวทางด้านข้างของคาน
5) ต้องตรวจสอบการการยู่และการโก่งของเหล็กแผ่นตั้งของคาน
6) เลือกใช้เหล็กมาตรฐาน TIS-SS400 , F_y = 2,400 กก./ตร.ซม. , E = 2.1×10^6 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 7.9 แบบแปลนโครงสร้างพื้น / ตง / คาน

วิธีทำ ออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ(ตง BS_1)

สมมุติให้น้ำหนักบรรทุกของพื้นประกอบด้วย

- น้ำหนักบรรทุกจร = 500 กก./ตร.ม.
- น้ำหนักพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหนา 12 ซม. = 0.12x2,400 = 288 กก./ตร.ม.
- น้ำหนักผิวพื้นตกแต่งหนา 5 ซม. = 0.05x2,400 = 120 กก./ตร.ม.

รวมน้ำหนักพื้น = 908 กก./ตร.ม.

∴ น้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอที่ตงต้องแบกรับ = 908 x 2 = 1,816 กก./ม.

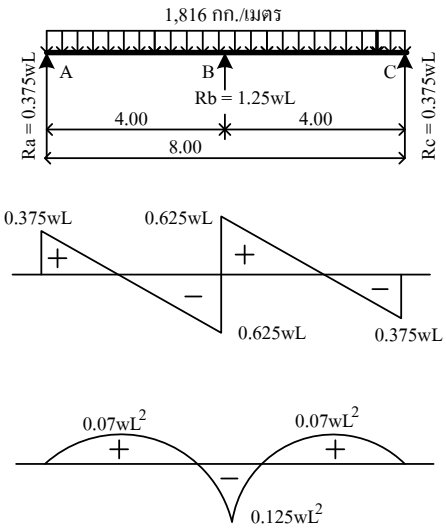
M^{+}_{max} = 0.07wL^2 = 0.07x1,816x4^2 = 2,044 กก.-เมตร

M^{-}_{max} = 0.125wL^2 = 0.125x1,816x4^2 = 3,632 กก.-เมตร

∴ เลือกใช้ M_{max} = 3,632 กก.-เมตร

V_{max} = 0.625wL = 0.625x1,816x4 = 4,540 กก.

$$S_x = \frac{M_{max}}{F_b} = \frac{M_{max}}{0.6Fy} = \frac{3,632x100}{0.6x2,400} = 252.22 \text{ ซม.}^3$$



รูปที่ 7.10 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของตง

สมมุติเลือกใช้ ตงเหล็กรูปพรรณ WF 250x125x6x9 มม.

มีค่า S_x = 324 ซม.^{3} , I_x = 4,050 ซม.^{4} , I_y = 294 ซม.^{4} , t = 6 มม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น , $f_v = \frac{V}{d.t_w} = \frac{0.625x1,816x4}{25x0.6}$ = 303 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ , F_v = 0.4 F_y = 0.4x2,400 = 960 กก./ตร.ซม. > f_v **ใช้ได้**

ตรวจสอบความเพียงพอของค้ำยันที่ปีกตงรับแรงอัด

ถ้ากำหนดให้ตงมีค้ำยัน(L_b) @ 2 เมตร = 200 ซม.

จาก $L_b \le \frac{636.b_f}{\sqrt{F_y}}$

∴ความกว้างของปีกตงที่ต้องการ , $b_f = \frac{L_b\sqrt{F_y}}{636} = \frac{200\sqrt{2,400}}{636}$ = 15.41 ซม.

∴ ตงที่เลือกใช้ WF 250x125x6x9 มม. มีค้ำยันไม่เพียงพอ ให้แก้ไขโดยเสริมค้ำยันให้มีระยะถี่ขึ้น หรือให้ตรวจสอบการโก่งทางข้าง ต่อไป

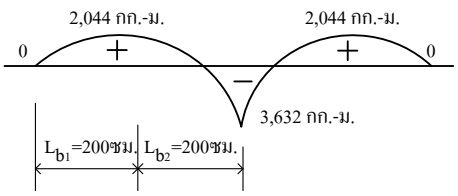
ตรวจสอบการโก่งของตงทางด้านข้าง

พื้นที่ปีกคานรับแรงอัด

$A = A_f + \frac{1}{3}A_w$

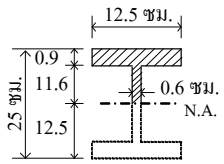
$= (12.5x0.9) + (\frac{11.6x0.6}{3})$

= 11.25 + 2.32 = 13.57 ตร.ซม.



รูปที่ 7.11 การพิจารณาค่า C_b

$$r_t = \sqrt{\frac{I_y/2}{A}} = \sqrt{\frac{294/2}{13.57}} = 3.29 \text{ ซม.}$$



รูปที่ 7.12 แสดงพื้นที่ปีกคานรับแรงอัด

⟹ พิจารณาช่วง L_{b1} , ค่า C_b = 1 เมื่อค่าโมเมนต์ที่ปลาย = 0 และค่าโมเมนต์ที่กึ่งกลางตง = 2,044 กก.-ม.

$$\sqrt{\frac{717x10^4 C_b}{Fy}} \le \frac{L_b}{r_t} \le \sqrt{\frac{3,585x10^4 C_b}{Fy}}$$

$$\sqrt{\frac{717x10^4 x1}{2,400}} \le \frac{200}{3.29} \le \sqrt{\frac{3,585x10^4 x1}{2,400}}$$

จะได้ว่า 54.66 $\le$ 60.79 $\le$ 122.22

$\therefore$ เลือกใช้สูตร $F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{Fy\left(L_b/r_t\right)^2}{10,760x10^4 C_b}\right]Fy = \left[\frac{2}{3} - \frac{2,400(60.79)^2}{10,760x10^4 x1}\right]2,400$ = 1,410 กก./ตร.ซม.

และสำหรับค่าใดๆของ $\frac{L_b}{r_t}$, $F_b = \frac{843,600C_b}{L_b.d/A_f} = \frac{843,600x1}{200x25/11.25}$ = 1,898 กก./ตร.ซม.

เลือกใช้ค่า F_b ที่มีค่ามาก แต่หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ต้องไม่เกิน $0.6F_y$ = 0.6x2,400 = 1,440 กก./ตร.ซม.

$\therefore$ เลือกใช้ค่า F_b = 1,410 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริง , $f_b = \frac{M_{max.}}{S_x} = \frac{2,044x100}{324}$ = 631 กก./ตร.ซม. < F_b **ใช้ได้**

$\Rightarrow$ พิจารณาช่วง L_{b2} , พิจารณาค่า C_b เมื่อมีค่าโมเมนต์ทั้งสองปลายต่ำกว่าและสูงกว่า

$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2$ แต่ต้องมีค่าไม่เกิน $\le$ 2.3

$= 1.75 + 1.05\left(\frac{2,044}{3,632}\right) + 0.3\left(\frac{2,044}{3,632}\right)^2$ = 2.55 > 2.3

$\therefore$ เลือกใช้ค่า C_b = 2.3 , $\sqrt{\frac{717x10^4 C_b}{Fy}} \le \frac{L_b}{r_t} \le \sqrt{\frac{3,585x10^4 C_b}{Fy}}$

$$\sqrt{\frac{717x10^4 x2.3}{2,400}} \le \frac{200}{3.29} \le \sqrt{\frac{3,585x10^4 x2.3}{2,400}}$$

จะได้ว่า 82.89 > 60.79 < 185.36

สำหรับค่าใดๆของ $\frac{L_b}{r_t}$, $F_b = \frac{843,600C_b}{L_b.d/A_f} = \frac{843,600x2.3}{200x25/11.25}$ = 4,366 กก./ตร.ซม.

เลือกใช้ค่า F_b ที่มีค่ามาก แต่หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ต้องไม่เกิน $0.6F_y$ = 0.6x2,400 = 1,440 กก./ตร.ซม.

$\therefore$ เลือกใช้ค่า F_b = 1,440 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริง , $f_b = \frac{M_{max.}}{S_x} = \frac{3,632x100}{324}$ = 1,121 กก./ตร.ซม. < F_b **ใช้ได้**

$\therefore$ ตงที่เลือกใช้ WF 250x125x6x9 มม. สามารถต้านทานการโก่งทางด้านข้าง ได้อย่างปลอดภัย

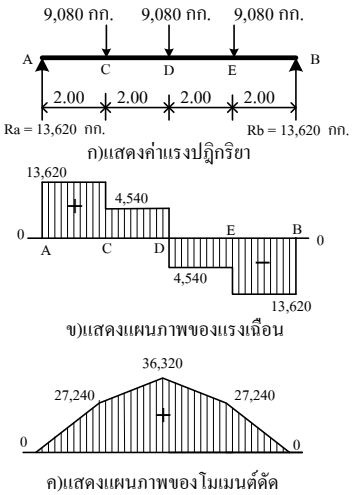
ตรวจสอบการโก่งตัวแนวดิ่งที่เกิดขึ้น , $\Delta = \frac{0.0052wL^4}{EI} = \frac{0.0052\left(1,816/100\right)x(4x100)^4}{2,100,000x4,050}$ = 0.30 ซม.

การโก่งที่ยอมให้ต้องไม่เกิน , $\Delta_a = \frac{L}{360} = \frac{400}{360}$ = 1.11 ซม. > Δ **ใช้ได้**

$\therefore$ ตงเหล็กรูปพรรณ WF 250x125x6x9 มม. สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

ออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ(คาน BS_2)

น้ำหนักที่กดลงบนคาน BS_2 คือ แรงเฉือนรวมของตง BS1 = 1.25wL = 1.25x1,816x4 = 9,080 กก.



$$M_{max} = \frac{PL}{2} = \frac{9{,}080x8}{2} = 36{,}320 \text{ กก. – เมตร}$$

$$V_{max} = \frac{3P}{2} = \frac{3x9{,}080}{2} = 13{,}620 \text{ กก.}$$

$$S_x = \frac{M_{max}}{0.6Fy} = \frac{36{,}320x100}{0.6x2{,}400} = 2{,}522.22 \text{ ซม.}^3$$

รูปที่ 7.13 แสดงค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคาน

สมมุติเลือกใช้ คานเหล็กรูปพรรณ WF 400x400x13x21 มม.

มีค่า S_x = 3,330 ซม.^{3} , I_x = 66,600 ซม.^{4} , I_y = 22,400 ซม.^{4} , t = 13 มม.

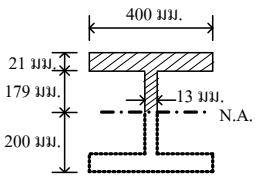
ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น , $f_v = \frac{V}{d.t_w} = \frac{1{,}3620}{40x1.3} = 262$ กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ , F_v = 0.4 F_y = 0.4x2,400 = 960 กก./ตร.ซม. > f_v **ใช้ได้**

ตรวจสอบการโก่งตัวแนวดิ่งที่เกิดขึ้น , $\Delta = \frac{0.0495PL^3}{EI} = \frac{0.0495x9{,}080x800^3}{2.1x10^6 x66{,}600} = 1.65$ ซม.

การโก่งที่ยอมให้ต้องไม่เกิน , $\Delta_a = \frac{L}{360} = \frac{800}{360} = 2.22$ ซม. > Δ **ใช้ได้**

ตรวจสอบความเพียงพอของค้ำยันและหน้าตัดอัดแน่นของคาน



พื้นที่ปีกคานรับแรงอัด $A = A_f + \frac{1}{3}A_w$

$= (40x2.1) + (\frac{17.9x1.3}{3})$

= 84 + 7.76

= 91.76 ตร.ซม.

รูปที่ 7.14 แสดงพื้นที่ปีกคานรับแรงอัด

เมื่อคานมีค้ำยัน(L_b) ที่จุดรองรับ = 8.00 ม.(800 ซม.)

$$\frac{636b_f}{\sqrt{Fy}} = \frac{636(40)}{\sqrt{2{,}400}} = 519 < L_b \quad , \quad \frac{140{,}000}{(d/A_f)Fy} = \frac{140{,}000}{(40/84)2{,}400} = 122 < L_b$$

แสดงว่าคานมีค้ำยันไม่เพียงพอ

$$\frac{544}{\sqrt{Fy}} = \frac{544}{\sqrt{2{,}400}} = 11 \quad , \quad \frac{b_f}{2t_f} = \frac{40}{2(1.3)} = 15.4 \quad , \quad \frac{795}{\sqrt{Fy}} = \frac{795}{\sqrt{2{,}400}} = 16.2$$

เมื่อ $\frac{544}{\sqrt{Fy}} < \frac{b_f}{2t_f} < \frac{795}{\sqrt{Fy}} \Rightarrow$ แสดงว่าหน้าตัดคานอัดแน่นบางส่วน

∴ ให้ตรวจสอบความต้านทานการโก่งทางด้านข้าง ในหัวข้อถัดต่อไป

ตรวจสอบการโก่งทแยงของเหล็กแผ่นตั้งของคาน

$$\frac{d}{t_w} = \frac{40}{1.3} = 31 \quad , \quad \frac{3{,}455}{\sqrt{Fy}} = \frac{3{,}455}{\sqrt{2{,}400}} = 71$$

เมื่อ $\frac{d}{t_w} \le \frac{3{,}455}{\sqrt{Fy}}$ แสดงว่า คานสามารถต้านทานการโก่งทแยงของเหล็กแผ่นตั้งได้

ตรวจสอบการโก่งตัวทางด้านข้างของคาน

$$r_t = \sqrt{\frac{I_y/2}{A}} = \sqrt{\frac{22{,}400/2}{91.76}} = 11.05 \text{ ซม.}$$

C_b = 1 , เมื่อโมเมนต์ที่จุดกึ่งกลางของช่วงคานมีค่ามากกว่าโมเมนต์ที่ปลาย

$$\sqrt{\frac{717x10^4 C_b}{Fy}} \le \frac{L_b}{r_t} \le \sqrt{\frac{3{,}585x10^4 C_b}{Fy}}$$

$$\sqrt{\frac{717x10^4 x1}{2{,}400}} \le \frac{800}{11.05} \le \sqrt{\frac{3{,}585x10^4 x1}{2{,}400}}$$

จะได้ว่า $54.66 \le 72.41 \le 122.22$

∴ เลือกใช้สูตร $F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{Fy\left(L_b/r_t\right)^2}{10{,}756x10^4 C_b}\right]Fy = \left[\frac{2}{3} - \frac{2{,}400(72.41)^2}{10{,}756x10^4 x1}\right]2{,}400 = 1{,}319$ กก./ตร.ซม.

และสำหรับค่าใดๆของ $\frac{L_b}{r_t}$, $F_b = \frac{843{,}600C_b}{L_b.d/A_f} = \frac{843{,}600x1}{800x40/84} = 2{,}215$ กก./ตร.ซม.

เลือกใช้ค่า F_b ที่มีค่ามาก แต่หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ไม่เกิน $0.6F_y$ = 0.6x2,400 = 1,440 กก./ตร.ซม.

∴ เลือกใช้ค่า F_b = 1,319 กก./ตร.ซม.

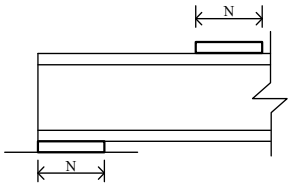
ตรวจสอบค่าโมดูลัสหน้าตัดที่ต้องการ

$$S_x = \frac{M_{max}}{F_b} = \frac{36{,}320x100}{1{,}319} = 2{,}754 \text{ ซม.}^3 < 3{,}330 \text{ ซม.}^3$$ **ใช้ได้**

ตรวจสอบค่าการยู่ของเหล็กแผ่นตั้ง

บริเวณแท่นรองรับ : กำหนดให้ระยะแบกทาน , N = 12.5 ซม.

- เมื่อแรงกระทำเป็นจุด ที่ระยะต่ำกว่า $d/2$ จากปลายของคาน



รูปที่ 7.15 แสดงระยะแบกทาน

การยู่ของเหล็กแผ่นตั้ง $R = 282t_w^2\left[1+3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{F_{yw}t_f}{t_w}}$

$$= 282(1.3^2)\left[1+3\left(\frac{12.5}{40}\right)\left(\frac{1.3}{2.1}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2{,}400(2.1)}{1.3}} = 43{,}219 \text{ กก.}$$

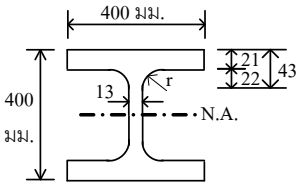
∴ R_a , R_b = 13,620 กก. ≤ 43,219 กก. **ใช้ได้**

ตรวจสอบค่าการโก่งตัวของเหล็กแผ่นตั้ง

บริเวณกลางคาน :

- เมื่อแรงกระทำเป็นจุด อาจเป็นแรงดึงหรือแรงอัดกระทำที่ระยะมากกว่า d วัดจากปลายของคาน

การโก่งของเหล็กแผ่นตั้ง $= \dfrac{R}{t_w(N+5k)} \leq 0.66F_y$ กก./ตร.ซม.



รูปที่ 7.16 แสดงระยะค่า k

$= \dfrac{13,620}{1.3[12.5+(5x4.3)]}$

$=$ 308 กก./ตร.ซม. $\leq 0.66F_y$

$\leq$ 0.66x2,400 = 1,584 กก./ตร.ซม. **ใช้ได้**

$\therefore$ คานเหล็กรูปพรรณ WF 400x400x13x21 มม. สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุก , ต้านทานการโก่งทางด้านข้าง , ต้านทานการยู่ และการโก่งของเหล็กแผ่นตั้งได้อย่างปลอดภัย

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 7 ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน โมดูลัสหน้าตัด ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่งและทางข้าง ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยงและการยู่ และการออกแบบแผ่นรองใต้คานเหล็ก
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 7 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 7 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 7 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 7 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 7
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 7
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 7 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 7 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....

(.....)

ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 7 การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 7 การออกแบบโครงสร้างคานเหล็กรูปพรรณ

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบทดสอบ		**คะแนนแบบประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	ความต้านทานต่อแรงดัด						
2	ความต้านทานต่อแรงเฉือน						
3	โมดูลัสหน้าตัด						
4	ความต้านทานต่อการโก่งแนวดิ่งและทางข้าง						
5	ความต้านทานต่อการโก่งแนวทแยงและการยู่						
6	การออกแบบแผ่นรองใต้คานเหล็ก						
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ	สอนครั้งที่ 12-13/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ		จำนวน 6 คาบ

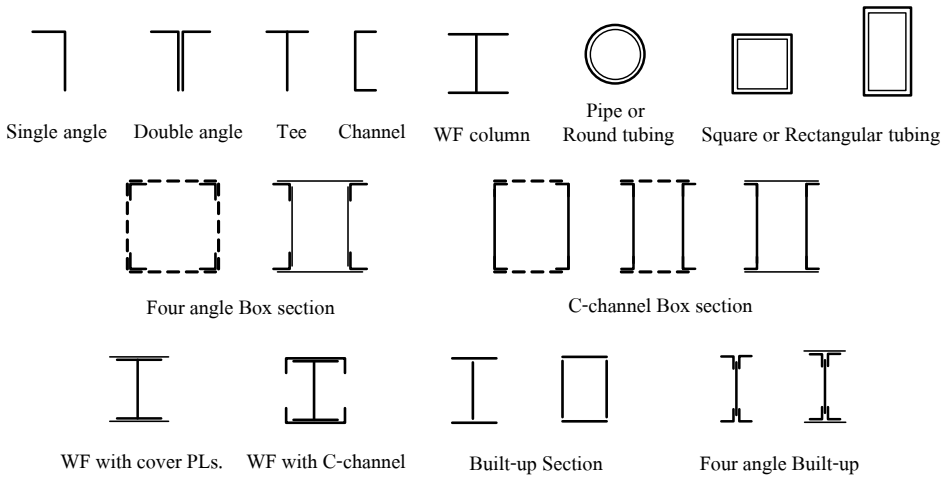
1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด
1.2 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้
1.3 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
1.4 การออกแบบรอยต่อเสา
1.5 การออกแบบแผ่นรองใต้เสา

2. สาระสำคัญ

เสา(Column or Struts) เป็นโครงสร้างหลักของอาคาร ทำหน้าที่แบกรับแรงอัด ซึ่งถ่ายน้ำหนักมาจากโครงสร้างคาน นอกจากโครงสร้างเสาแล้ว ยังมีโครงสร้างอื่นที่ทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกัน เช่น ดั้ง ค้ำยัน ชิ้นส่วนที่รับแรงอัดต่างๆของโครงถัก เป็นต้น

กำลังของโครงสร้างรับแรงอัดจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนชะลูด เนื่องจากจะมีผลต่อการโก่งเดาะของเสา(Buckling) ในการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัด **ควรพิจารณาเลือกหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่มีรัศมีไจเรชั่นมาก แต่มีพื้นที่หน้าตัดน้อย** และในการคิดคำนวณหน้าตัดชิ้นส่วนรับแรงอัดนั้นจะไม่คิดหักพื้นที่เจาะสลักเกลียว โดยสมมติให้สลักเกลียวเต็มรูที่เจาะทั้งหมด



รูปที่ 8.1 แสดงหน้าตัดเสา , ท่อนรับแรงอัด , เสาประกอบ รูปแบบต่างๆ

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก การออกแบบรอยต่อเสา และการออกแบบแผ่นรองใต้เสา

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก การออกแบบรอยต่อเสา และการออกแบบแผ่นรองใต้เสา

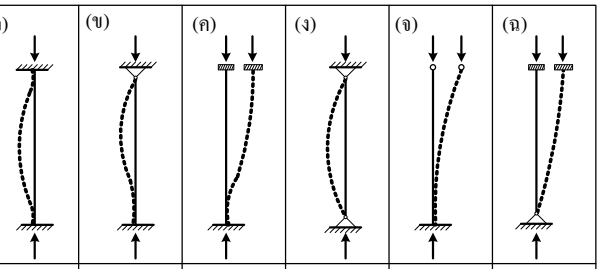
3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ ความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก การออกแบบรอยต่อเสา และการออกแบบแผ่นรองใต้เสา

4. สาระการเรียนรู้

4.1 ความยาวประสิทธิผล(Effective Length)

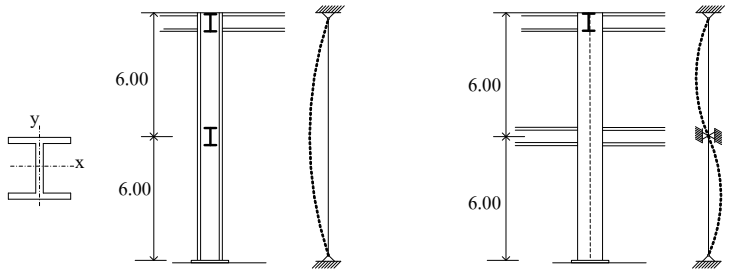
ชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงอัดมีผลโดยตรงกับอัตราส่วนชะลูด(L/r) นอกจากนี้ความยาวประสิทธิผลของเสายังมีความสัมพันธ์กับชนิดของการยึดปลายเสาด้วย เพราะมีผลต่อการดัดกลับเมื่อเสาเกิดการโก่งเดาะ ค่า K เป็นค่าสัมประสิทธิ์คูณกับความยาวเสาสุทธิของเสา เป็นความยาวประสิทธิผล(KL) ซึ่งค่า K พิจารณาได้จากลักษณะการยึดปลายเสา ดังนี้

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ K

	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)	(ฉ)
ลักษณะการโก่งเดาะของเสา ตามชนิดของการยึดปลายเสา แสดงให้เห็นด้วยแนวเส้นประ						
ค่า K ตามทฤษฎี	0.50	0.70	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K ที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบ	0.65	0.80	1.20	1.0	2.10	2.0
ชนิดของการยึดปลายเสา	ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีการหมุนที่จุดยึด ไม่มีการเคลื่อนที่ แต่สามารถหมุนรอบจุดยึดได้ มีการเคลื่อนที่ที่ปลายเสา แต่ไม่มีการหมุนที่จุดยึด มีการเคลื่อนที่ที่ปลายเสา และมีการหมุนที่จุดยึดได้					

4.2 อัตราส่วนความชะลูดสูงสุด

- ค่าอัตราส่วนความชะลูด($\frac{KL}{r}$) < 200 สำหรับองค์อาคารหลักรับแรงอัด
- ถ้าค่าอัตราส่วนความชะลูด($\frac{KL}{r}$) < C_c แสดงว่าเป็นเสาสั้น เสาจะวิบัติด้วยแรงคลาก
- ถ้าค่าอัตราส่วนความชะลูด($\frac{KL}{r}$) > C_c แสดงว่าเป็นเสายาว เสาจะวิบัติด้วยการโก่งเดาะ



ก.) พิจารณาแนวแกน x , KL = 12 ข.) พิจารณาแนวแกน y , KL = 6

รูปที่ 8.2 การพิจารณาช่วงความยาวเสาเมื่อมีคานค้ำยันระหว่างกลางเสา

4.3 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (มาตรฐาน วสท.1015-40)

- เมื่ออัตราส่วนชะลูดประสิทธิผลของเสาส่วนที่ไม่มีการค้ำยัน เมื่อ $\frac{KL}{r} < C_C$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^2\right]F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right) - \frac{1}{8}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^3} \qquad \text{.....(1)}$$

- เมื่ออัตราส่วนชะลูดประสิทธิผลของเสาส่วนที่ไม่มีการค้ำยัน เมื่อ $\frac{KL}{r} > C_C$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \qquad \text{.....(2)}$$

- กรณีเป็นโครงสร้างรองหรือค้ำยัน (Bracing) เมื่อ $\frac{L}{r} > 120$, โดยค่า K = 1

มาตรฐานของ AISC กำหนดให้ ดังนี้

$$F_{as} = \frac{F_a}{1.6 - \left(\frac{L}{200r}\right)} \qquad \text{.....(3)}$$

เมื่อ $C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$

เมื่อ F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (กก./ตร.ซม.)

F_y = หน่วยแรงคลากของเหล็ก (กก./ตร.ซม.)

L = ช่วงความยาวเสาที่ไม่มีสิ่งใดยึด (ซม.)

r = รัศมีไจเรชั่นด้านที่มีค่าน้อย (ซม.)

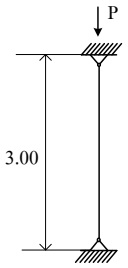
K = ค่าสัมประสิทธิ์ออกแบบความยาวประสิทธิผล

4.4 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (Modulus of Elasticity , E)

เป็นค่าคงที่ของอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียด ซึ่งโมดูลัสของความยืดหยุ่นนี้ หมายถึง ความเอียงลาดของกราฟเส้นตรงในช่วงที่เป็นพิกัดสัดส่วน (รูปที่ 6.4) ซึ่งมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.1015-40) กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก ไว้ดังนี้

E = 2,100,000 (กก. / ตร.ซม.)

ตัวอย่างที่ 8.1 จงคำนวณหาขนาดของแรงอัดที่เสานี้จะรับได้ โดยเสาเหล็กรูปพรรณ WF 300x300x10x15 มม. ดังรูปข้างล่างนี้ กำหนดให้ หน่วยแรงคลากของเหล็ก , F_y = 2,400 กก./ตร.ซม. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก , E = 2,100,000 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 8.3 เสาช่วงเดียวปลายเสาเป็นแบบยึดหมุนทั้งสองปลาย

วิธีทำ จากขนาดหน้าตัดเหล็กที่กำหนดให้ WF 300x300x10x15 มม.

A = 119.8 ตร.ซม. , $r_{mim.} = r_y$ = 7.51 ซม.

ลักษณะจุดยึดปลายเสาเป็นแบบยึดหมุนทั้งสองปลาย , ∴ ค่า K = 1 , L = 300 ซม.

ค่าอัตราส่วนความชะลูด , $\frac{KL}{r} = \frac{1x300}{7.51} = 39.95$

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 (2,100,000)}{2,400}} = 131.36$$

$$\therefore \frac{KL}{r} < C_C$$

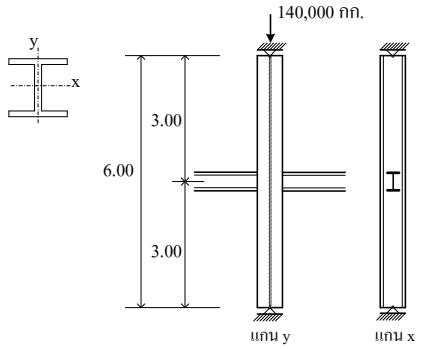
เลือกใช้สูตร $$F_a = \frac{\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^2\right]F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^3}$$

$$= \frac{\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{39.95}{131.95}\right)^2\right]2,400}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{39.95}{131.95}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{39.95}{131.95}\right)^3} = 1,288 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

จากสูตร $F_a = \frac{P}{A}$, $P = F_a xA$ = 1,288x119.8 = 154,302 กก.

$\therefore$ เสาต้นนี้สามารถรับแรงอัดได้ = 154,302 กก.

ตัวอย่างที่ 8.2 เสาเหล็กรูปพรรณต้นหนึ่ง รับน้ำหนักบรรทุกดังรูปข้างล่างนี้ จงคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวได้อย่างปลอดภัย กำหนดให้ หน่วยแรงคลากของเหล็ก , F_y = 2,400 กก./ตร.ซม. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก , E = 2,100,000 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 8.4 เสาช่วงเดียวมีคานยึดกลางเสาด้านเดียว

วิธีทำ สมมุติเลือกใช้ขนาดหน้าตัดเสาเหล็ก WF 300x300x10x15 มม.

A = 119.8 ตร.ซม. , r_x = 13.1 ซม. , r_y = 7.51 ซม.

- พิจารณาที่ความสูง 6.00 แนวแกน x ซึ่งไม่มีคานยึดระหว่างกลางเสา

  ลักษณะจุดยึดปลายเสาเป็นแบบยึดหมุนทั้งสองปลาย , $\therefore$ ค่า K = 1 , L = 600 ซม.

  ค่าอัตราส่วนความชะลูด , $\frac{KL}{r_x} = \frac{1x600}{13.1} = 45.8$

- พิจารณาที่ความสูง 3.00 แนวแกน y มีคานยึดระหว่างกลางเสาเป็นแบบยึดแน่น

  ลักษณะจุดยึดปลายเสาเป็นแบบยึดหมุนและยึดแน่น , $\therefore$ ค่า K = 0.8 , L = 300 ซม.

  ค่าอัตราส่วนความชะลูด , $\frac{KL}{r_y} = \frac{0.8x300}{7.51} = 31.96$

$\therefore$ เลือกใช้ค่า $\frac{KL}{r}$ = 45.8 เนื่องจากมีความปลอดภัยสูงกว่า

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 (2,100,000)}{2,400}} = 131.36$$

$$\therefore \frac{KL}{r} < C_C \qquad \text{และ} \qquad \frac{KL/r}{C_C} = \frac{45.8}{131.36} = 0.35$$

เลือกใช้สูตร
$$F_a = \frac{\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^2\right]F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^3}$$

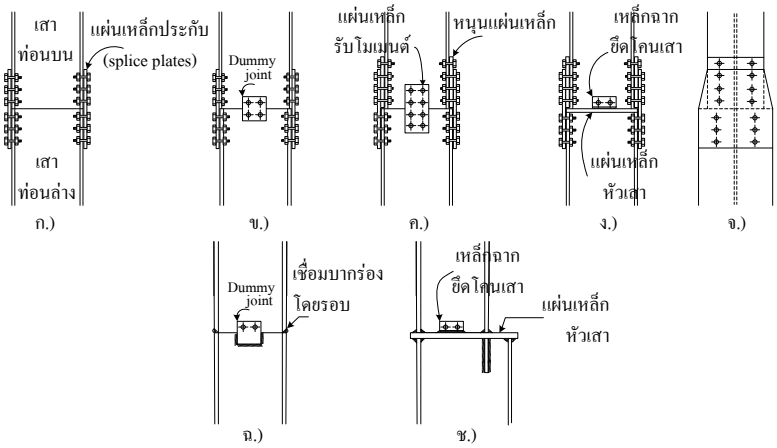
$$= \frac{\left[1-\frac{1}{2}(0.35)^2\right]2,400}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}(0.35)-\frac{1}{8}(0.35)^3}$$

$$= 1,255 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

จากสูตร $F_a = \frac{P}{A}$, $\therefore P_a = F_a x A = 1,255x119.8 = 150,349$ กก.

$\therefore$ เสาต้นนี้สามารถรับแรงอัดได้ปลอดภัย = 150,349 กก. > 140,000 กก. **ใช้ได้**

4.5 การออกแบบรอยต่อเสา(Column splices)

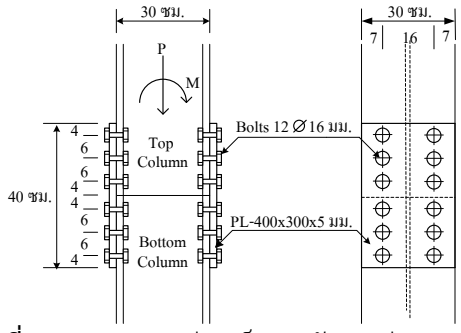


ก) เสาชั้นบนมีขนาดเท่ากับเสาชั้นล่าง ข) เสาชั้นบนมีขนาดเท่ากับเสาชั้นล่างแต่มีปีกที่บางกว่า ค) เสาชั้นบนมีขนาดเล็กกว่าเสาชั้นล่างและเสริมแผ่นเหล็กให้มีขนาดเท่าเสาชั้นล่าง ง) เสาชั้นบนมีขนาดเล็กกว่าเสาชั้นล่างและเสริมแผ่นเหล็กให้มีขนาดเท่าเสาชั้นล่างพร้อมทั้งเสริมแผ่นเหล็กรองใต้เสาเพื่อการส่งถ่ายน้ำหนักที่ดี จ) แสดงการสอบของแผ่นเหล็กประกับด้านข้างเสา ฉ) การต่อเสาด้วยการเชื่อมชนแบบบากร่องทะลุตลอด ช) การเสริมบ่าแผ่นเหล็กรองรับเมื่อเสาต้นบนมีขนาดที่เล็กกว่าเสาต้นล่างด้วยการเชื่อม

รูปที่ 8.6 แสดงตัวอย่างการต่อปลายเสาด้วยสลักเกลียวและการเชื่อม

การต่อเสาถ้าไม่จำเป็นก็ไม่ควรต่อเสา ควรใช้ต้นเดียวยาวตลอด แต่บางครั้งก็เกิดจากความยาวเสาที่ไม่เพียงพอตามที่ต้องการ หรือเมื่อเสามีการเปลี่ยนขนาดระหว่างชั้นต่อชั้น ทำให้ต้องมีการต่อเสาเกิดขึ้น การออกแบบคำนวณรอยต่อเสาต้องพิจารณาถึงแรงกระทำในแนวแกน แรงเฉือนแนวราบ และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในเสา

ตัวอย่างที่ 8.4 จงออกแบบรอยต่อของเสา WF300x300x10x15 มม. มีแรงกระทำในแนวแกน 45,000 กก. และโมเมนต์ดัด 125,000 กก.-ซม.ในแนวแกน x-x กำหนดให้ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเหล็กรูปพรรณ , F_a = 1,200 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของสลักเกลียว, F_v = 1,470 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของสลักเกลียว , F_p = 5,040 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 8.7 ออกแบบแผ่นเหล็กประกับรอยต่อเสา

วิธีทำ ที่รอยต่อของเสา แรงแบกทานจากเสาจะถ่ายไปสู่แผ่นเหล็กประกับที่ปีกเสา 50%

แรงที่แผ่นเหล็กประกับต้องรับ = 0.5x45,000 = 22,500 กก.

แผ่นเหล็กประกับมีสองด้าน = $\frac{22,500}{2}$ = 11,250 กก./แผ่น

แรงเนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแผ่นเหล็ก = $\frac{M}{d}$ = $\frac{125,000}{30}$ = 4,167 กก.

∴ แผ่นเหล็กด้านที่รับแรงอัดรวม , P = 11,250 + 4,167 = 15,417 กก.

พื้นที่แผ่นเหล็กที่ต้องการ , A = $\frac{P}{F_a}$ = $\frac{15,417}{1,200}$ = 12.85 ตร.ซม.

ถ้าให้แผ่นเหล็กกว้างเท่ากับปีกของเสา = 30 ซม.

ความหนาแผ่นเหล็กที่ต้องการ , t = $\frac{12.85}{30}$ = 0.43 ซม. ⇒ 0.5 ซม. ⇒ 5 มม.

ถ้าเลือกใช้สลักเกลียว ∅ 16 มม.

กำลังต้านทานแรงเฉือนระนาบเดี่ยวของสลักเกลียว = $\frac{\pi d^2}{4}(F_v)$ = $\frac{3.14x(1.6)^2}{4}(1,470)$ = 2,954 กก./ตัว

กำลังต้านทานแรงแบกทานของสลักเกลียว = $t.d(F_p)$ = 0.5x1.6x5,040 = 4,032 กก./ตัว

∴ กำลังต้านทานที่ปลอดภัยของรอยต่อแบบนี้ = 2,954 กก./ตัว

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องใช้สำหรับการต่อแบบนี้ = $\frac{15,417}{2,954}$ = 5.22 ⇒ 6 ตัว(บน/ล่าง) ⇒ 12 ตัว/ด้าน

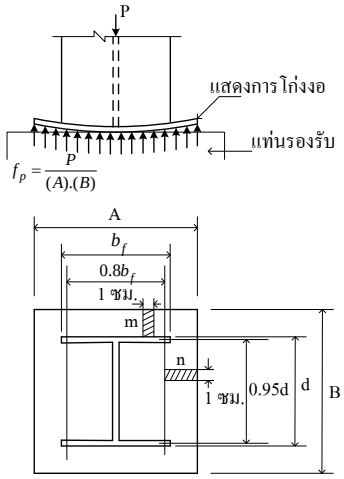
จัดระยะห่างของรูเจาะไม่น้อยกว่า 3d = 3x1.6 = 4.8 ซม. ⇒ 6 ซม.

ระยะปลายขอบไม่น้อยกว่า 2d = 2x1.6 = 3.2 ซม. ⇒ 4 ซม.

4.6 การออกแบบแผ่นเหล็กรองใต้เสา (Column base plate)

แผ่นเหล็กรองใต้เสา ออกแบบมาเพื่อให้แรงกดจากเสากระจายน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอลงสู่แท่นรองรับ และช่วยให้มีการยึดเหนี่ยวที่ฐานเสาได้อย่างมั่นคง

จากรูปที่ 8.8 เมื่อมีแรงกดจากเสาลงสู่แผ่นเหล็ก แผ่นเหล็กจะเกิดโมเมนต์ดัดขึ้นที่ปลายขอบของแผ่น คล้ายกับคานยื่นหรือพื้นยื่นเกิดการโค้งงอ ถ้าให้ระยะยื่นของแผ่นเหล็กเป็น m และ n โดยมาตรฐาน AISC กำหนดให้วัดจากระยะที่เริ่มโก่งของแต่ละด้านเท่ากับ 0.95d และ 0.8b_f และพิจารณาว่าด้านใดมีส่วนยื่นมากที่สุดเป็นด้านที่นำมาคำนวณออกแบบหาความหนาของแผ่นเหล็ก และพิจารณาที่ความกว้างเพียง 1 ซม.



รูปที่ 8.8 แสดงค่าต่างๆของแผ่นเหล็กรองใต้เสา

ถ้ากำหนดให้ m , n = ระยะที่แผ่นเหล็กโค้งงอเกิดโมเมนต์ดัด (ซม.)

A = ด้านกว้างของแผ่นเหล็ก (ซม.) , B = ด้านลึกของแผ่นเหล็ก (ซม.)

t = ความหนาของแผ่นเหล็ก (ซม.)

f_p = หน่วยแรงที่กระทำ ซึ่งก็คือ หน่วยแรงต้านทานของวัสดุที่เป็นแท่นรองรับ (กก./ตร.ซม.)

ตามมาตรฐาน วสท.1015-40 กำหนดให้ว่า หากไม่มีข้อกำหนดใดๆ ให้ใช้หน่วยแรงแบกทาน (F_p) ดังนี้

- บนหินทรายและหินปูน , F_p = 28.1 (กก./ตร.ซม.)
- บนอิฐในซีเมนต์มอร์ตาร์ , F_p = 17.5 (กก./ตร.ซม.)
- บนพื้นที่เต็มของฐานรองรับคอนกรีต , F_p = 0.35 fc' (กก./ตร.ซม.)
- บนพื้นที่ไม่เต็มของฐานรองรับคอนกรีต , $F_p = 0.35\, fc' \sqrt{A_2/A_1} \leq 0.70\, fc'$ (กก./ตร.ซม.)

เมื่อ fc' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)

A_1 = พื้นที่ของแผ่นเหล็ก (ตร.ซม.) , A_2 = พื้นที่ของเสาหรือแท่นรองรับคอนกรีต (ตร.ซม.)

- **กำหนดให้พิจารณาความหนาของแผ่นเหล็กรองรับเสาที่ความกว้าง(b) เพียง 1 ซม.**

หน่วยแรงที่กระทำต่อแผ่นเหล็กรองรับ , $f_p = \dfrac{P}{AxB}$, เมื่อ P = แรงที่กระทำต่อแผ่นเหล็ก (กก.)

AxB = พื้นที่ของแผ่นเหล็ก (ตร.ซม.)

โมเมนต์ดัดที่แผ่นเหล็กปลายยื่น , $M = f_p.n.\dfrac{n}{2} = \dfrac{f_p.n^2}{2}$

โมดูลัสหน้าตัดของแผ่นเหล็ก , $S = \dfrac{I}{c} = \dfrac{bt^3/12}{t/2} = \dfrac{(1)t^3/12}{t/2} = \dfrac{t^2}{6}$

และ $S = \dfrac{M}{F_b}$

แทนค่า $\dfrac{t^2}{6} = \dfrac{f_p.n^2}{2} \Big/ F_b$, $t^2 = 3.f_p.n^2 / F_b$

$\therefore$ ความหนาของแผ่นเหล็ก , $t = \sqrt{\dfrac{3.f_p.n^2}{F_b}}$

กรณีของแผ่นเหล็กรองใต้เสา AISC กำหนดให้ใช้หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ , $F_b = 0.75\, F_y$

การคำนวณหาขนาดของสลักเกลียวฝังยึดในฐานคอนกรีต

- ถ้ามีโมเมนต์กระทำ ให้คำนวณหาโมเมนต์และสลักเกลียวที่ต้านทานโมเมนต์
- ถ้าไม่มีโมเมนต์ ให้ประมาณแรงเฉือนแนวราบ 20% - 30%ของแรงปฏิกิริยา เพื่อหาขนาดและจำนวนสลักเกลียว

ตัวอย่างที่ 8.5 จากตัวอย่างที่ 8.3 จงออกแบบแผ่นเหล็กรองใต้เสา C1 ขนาด WF 250x250x9x14 มม. ซึ่งรับแรงกดทั้งสิ้น 91,296 กก. กำหนดให้แท่นรองรับเป็นเสาตอม่อคอนกรีตขนาด 60x60 ซม. กำลังอัดประลัยของคอนกรีต , fc' = 240 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงคลากของแผ่นเหล็ก , F_y = 2,400 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงเฉือนของสลักเกลียว , F_v = 2,100 กก./ตร.ซม.

วิธีทำ สมมุติเลือกใช้แผ่นเหล็กขนาด 40x40 ซม. = A_1 = 1,600 ตร.ซม.

เสาตอม่อคอนกรีตขนาด 60x60 ซม. = A_2 = 3,600 ตร.ซม.

กรณีแผ่นเหล็กวางไม่เต็มฐานรองรับคอนกรีต , F_p = 0.35 fc' $\sqrt{A_2/A_1}$ $\leq$ 0.70 fc'

= 0.35x240 $\sqrt{3,600/1,600}$

= 126 กก./ตร.ซม. $\leq$ 0.70 fc' **ใช้ได้**

$\therefore$ พื้นที่แผ่นเหล็กรองใต้เสาที่ต้องการ , A = $\frac{P}{F_p}$ = $\frac{91,296}{126}$ = 725 ตร.ซม. < A_1 **ใช้ได้**

$\therefore$ ค่าหน่วยแรงต้านทานใต้แผ่นเหล็กที่เกิดขึ้นจริง , f_p = $\frac{P}{A}$ = $\frac{91,296}{1,600}$ = 57 กก./ตร.ซม. < F_p **ใช้ได้**

คำนวณหาระยะปลายยื่นของแผ่นเหล็ก , n = $\frac{A-0.8b_f}{2}$ = $\frac{40-(0.8x25)}{2}$ = 10 ซม.

m = $\frac{B-0.95d}{2}$ = $\frac{40-(0.95x25)}{2}$ = 8.125 ซม.

$\therefore$ เลือกระยะปลายยื่นมากที่สุดคือ ด้าน n = 10 ซม.

ความหนาของแผ่นเหล็กที่ต้องการ , t = $\sqrt{\frac{3.f_p.n^2}{F_b}}$, โดย F_b = 0.75 F_y

= $\sqrt{\frac{3x57x10^2}{0.75x2,400}}$ = 3.08 ซม. $\Rightarrow$ 32 มม.

คำนวณหาจำนวนและขนาดของสลักเกลียวฝังยึดในฐานคอนกรีต

เมื่อไม่มีโมเมนต์ จึงประมาณแรงเฉือนแนวราบ 30% ของแรงปฏิกิริยา = 0.30x91,296 = 27,389 กก.

ถ้าเลือกใช้สลักเกลียว ∅ 15 มม. จำนวน 8 ตัว , A_{net} = $8x\frac{\pi(1.5)^2}{4}$ = 14.13 ตร.ซม.

กำลังต้านทานแรงเฉือนระนาบเดี่ยวของสลักเกลียว = $A_{net}F_v$ = 14.13x2,100

= 29,673 กก. > 27,389 กก. **ใช้ได้**

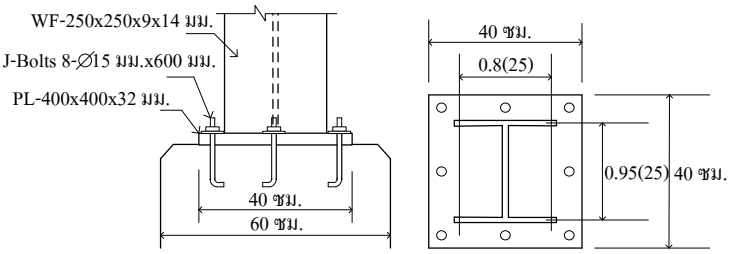
หาระยะฝังของสลักเกลียว , L = $\frac{d.t_b}{4.u_a}$ = $\frac{1.5x1,200}{4x11}$ = 40.91 ซม. $\Rightarrow$ 60 ซม.

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กกลมสลักเกลียว

t_b = กำหนดให้หน่วยแรงดึงของสลักเกลียว 1,200 กก./ตร.ซม.

u_a = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ไม่เกิน 11 กก./ตร.ซม.

$\therefore$ เลือกใช้แผ่นเหล็กรองใต้เสาขนาด 400x400 มม. หนา 32 มม. และสลักเกลียว ดังรูปที่ 8.9



รูปที่ 8.9 สลักเกลียวและขนาดของแผ่นเหล็กรองใต้เสา

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 8 ความยาวประสิทธิผล และอัตราส่วนชะลูด หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก การออกแบบรอยต่อเสา และการออกแบบแผ่นรองใต้เสา
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 8 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 8 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 8 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 8 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 8
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 8
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 8 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 8 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....
(.....)
ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....
(.....)
ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 8 การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 8 การออกแบบโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบทดสอบ		**คะแนนแบบประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	ความยาวประสิทธิผลและอัตราส่วนชะลูด						
2	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้						
3	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก						
4	การออกแบบรอยต่อเสา						
5	การออกแบบแผ่นรองใต้เสา						
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง	สอนครั้งที่ 14/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง		จำนวน 3 คาบ

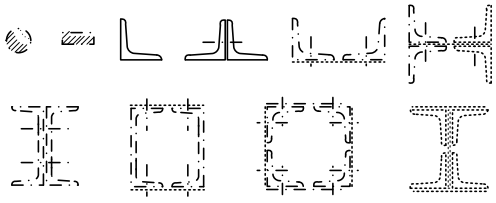
1. หัวข้อเรื่อง

1.1 การคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง

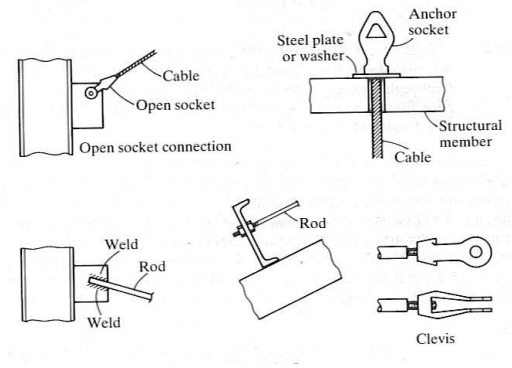
1.2 การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ

1.3 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

2. สาระสำคัญ

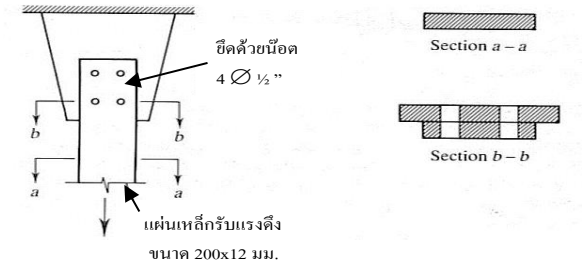


รูปที่ 9.1 แสดงหน้าตัดชิ้นส่วนโครงสร้างรูปแบบต่างๆที่ใช้ออกแบบรับแรงดึง



รูปที่ 9.2 แสดงชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงหลังคา

การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงดึงนั้น มักจะไม่ต้องคำนึงถึงการโก่ง การแอ่น การตกท้องช้าง การออกแบบหน้าตัดชิ้นส่วนรับแรงดึง จึงพิจารณาเฉพาะเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ(Net Area) เท่านั้น



รูปที่ 9.3 แสดงการพิจารณาเนื้อที่หน้าตัดสุทธิของชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงดึง

จากรูปที่ 9.3 เมื่อพิจารณาที่หน้าตัด a-a เป็นเนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่ใช้รับแรงดึง แต่เมื่อพิจารณาที่หน้าตัด b-b มีการเจาะรูยึดชิ้นส่วนโครงสร้างนี้ เพราะฉะนั้นเนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่จะนำมาพิจารณา จะต้องทำการหักลบพื้นที่ของรูสลักเกลียวทั้งหมดออกเสียก่อน จึงจะเหลือเนื้อที่หน้าตัดสุทธิจริงที่สามารถนำไปคำนวณออกแบบโครงสร้างรับแรงดึงต่อไป

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ การคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ และ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ การคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ และ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ การคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ และ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

4. สาระการเรียนรู้

4.1 การคำนวณชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงดึง

$$P_t = F_t(A_{net})$$

$$A_{net} = \frac{P_t}{F_t}$$

เมื่อ P_t = แรงดึงที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วน (กก.)

F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)

A_{net} = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิของชิ้นส่วนรับแรงดึง (ตร.ซม.)

<u>ขั้นตอนการคำนวณ</u>

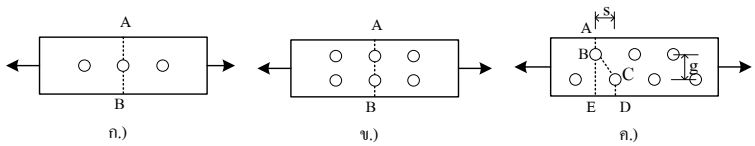
1. คำนวณหา A_{net} จากสูตร แล้วเลือกหน้าตัดเหล็กโครงสร้าง ให้มีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า A_{net}
2. ตรวจสอบค่าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น(f_t) จะต้องมีค่าไม่เกินหน่วยแรงดึงที่ยอมให้(F_t) ถ้ามีค่าเกินต้องเลือกหน้าตัดโครงสร้างใหม่ให้มีพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่าเดิม
3. กรณีที่เลือกชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นเหล็กฉาก ขาเหล็กฉากด้านที่ไม่มีการยึด ให้คิดพื้นที่เพียงครึ่งเดียว

4.2 การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ (Net section)

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ หมายถึง เนื้อที่หน้าตัดที่หักพื้นที่รูเจาะสลักเกลียวออกแล้ว โดยรูเจาะจะกว้างกว่าตัวสลักเกลียวอีกประมาณ 1.50 มม.

กรณีที่มีสลักเกลียวมากกว่าหนึ่งแถว จะต้องพยายามจัดให้ได้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากที่สุด เพื่อให้สามารถต้านทานแรงดึงได้สูงสุดด้วย

ข้อควรระวัง คือ การขาดหรือชำรุดของแผ่นโลหะตามแนวรูเจาะเมื่อมีแรงกระทำ การขาดหรือชำรุดจะเกิดขึ้นได้ง่าย ถ้าระยะห่างของรูเจาะอยู่ใกล้กันมากเกินไป



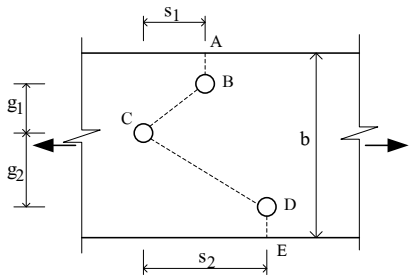
รูปที่ 9.4 แสดงการจัดรูเจาะให้ได้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากที่สุด

จากรูปที่ 9.4 ก.)และ ข.) แสดงแนววิกฤตที่แผ่นโลหะจะขาดตามแนว A-B ส่วนรูป ค.) จะขาดตามแนว ABCD หรือ ABE ขึ้นอยู่กับว่าความกว้างสุทธิตามแนวที่ขาดนั้น แนวใดจะให้ค่าน้อยที่สุด

ในกรณีที่โครงสร้างรับแรงดึงเยื้องศูนย์ (Zig-zag) ตามรูป ค.) ความกว้างสุทธิ หมายถึง ความกว้างในแนวตั้งฉากกับแรงที่กระทำลบด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะทั้งหมดในแนวเยื้องนั้น แล้วบวกด้วย $\frac{s^2}{4g}$

ความกว้างสุทธิในแต่ละแนว จะพิจารณาเลือกเอาค่าน้อยที่สุด แต่จะต้องมีค่าไม่เกิน 85% ของความกว้างทั้งหมดในแนวตั้งฉากกับแรงที่กระทำ

การพิจารณาแนวความกว้างสุทธิ เมื่อระยะเยื้อง (Staggered pitch , s) และระยะห่าง (Gauge distance, g) ไม่เท่ากัน เพื่อนำไปคำนวณหาเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ พิจารณารูปที่ 9.5 ดังนี้



รูปที่ 9.5 ระยะ s และ g ไม่เท่ากัน

$$A_{net} = t\left[b-(nd)+\left(\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$

$$A_{net} = t\left[b-(3d)+\left(\frac{s_1^2}{4g_1}+\frac{s_2^2}{4g_2}\right)\right]$$

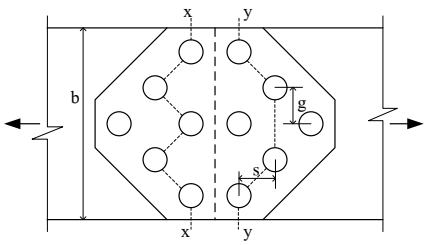
เมื่อ t = ความหนาของแผ่นเหล็ก (ซม.)

n = จำนวนของรูเจาะในแนวที่พิจารณา

d = ขนาดของรูเจาะ (ซม.)

s_1 , s_2 = ระยะเยื้องของรูเจาะ (ซม.)

g_1 , g_2 = ระยะห่างของรูเจาะ (ซม.)



รูปที่ 9.6 แสดงการพิจารณาจำนวนแนวเยื้อง

พิจารณารูปที่ 9.6 แนวตัด x-x

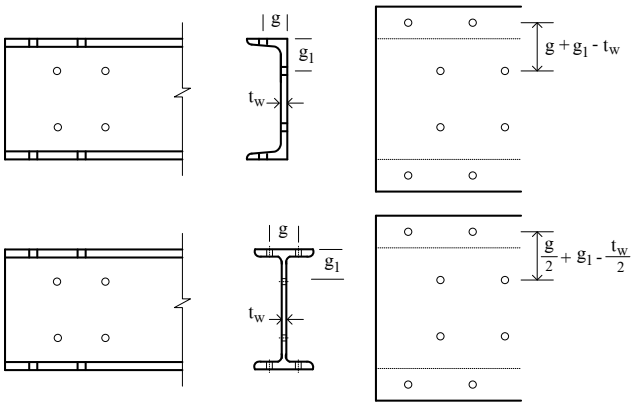
$$A_{net} = t\left[b-(nd)+\left(\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$

$$A_{net} = t\left[b-(5d)+\left(4x\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$

พิจารณารูปที่ 9.6 แนวตัด y-y

$$A_{net} = t\left[b-(nd)+\left(\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$

$$A_{net} = t\left[b-(4d)+\left(2x\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$



รูปที่ 9.7 การพิจารณาระยะห่างของรูเจาะ(g) เมื่อหน้าตัดเป็นรูปตัวซี หรือรูปตัวไอ

4.3 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (มาตรฐาน วสท.1015-40)

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ , F_t = 0.6 F_y , กรณีเนื้อที่หน้าตัดรวม

F_t = 0.5 F_u , กรณีเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล

เมื่อ F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)

F_y = หน่วยแรงคลากของชิ้นส่วนรับแรงดึง (กก./ตร.ซม.)

F_u = หน่วยแรงดึงประลัย (กก./ตร.ซม.)

ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6/2527 กำหนดให้ใช้หน่วยแรงของเหล็กรูปพรรณ ที่ไม่มีผลทดสอบ ดังนี้

1. เหล็กที่หนาไม่เกิน 40 มม. ให้ใช้กำลังคลาก (F_y) ได้ไม่เกิน 2,400 กก./ตร.ซม.
2. เหล็กที่หนาเกิน 40 มม. ให้ใช้กำลังคลาก(F_y) ได้ไม่เกิน 2,200 กก./ตร.ซม.
3. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้(F_t) ให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.6 F_y เช่น 0.6x2,400 = 1,440 กก./ตร.ซม.

มาตรฐาน วสท. กำหนดให้ ปลายขององค์อาคารรับแรงดึง จะต้องมีการตรวจสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนกลุ่ม(Block Shear) ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 10 ต่อไป

4.4 อัตราส่วนความชะลูด (Slender Ratio)

ชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงดึงเมื่อมีช่วงความกว้างมากๆ ก็อาจจะเกิดการโก่งทางข้างหรือการแกว่ง เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนหรือแรงลมปะทะ ฉะนั้นอัตราส่วนความชะลูดจึงมีผลต่อความแข็งแรง มาตรฐาน วสท.1015-40 กำหนดไว้ดังนี้

$$\frac{KL}{r} \le 300$$

โดยขีดจำกัดนี้ ไม่ได้ใช้สำหรับท่อนเหล็กรับแรงดึง เช่น sag rod ฯลฯ เป็นต้น

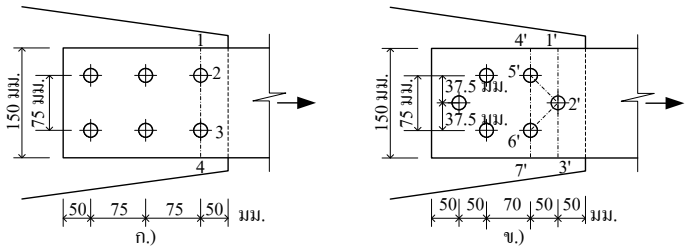
โดย K = 1 เมื่อเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงดึง

L = ช่วงความยาวของชิ้นส่วนรับแรงดึง (ซม.) , A = เนื้อที่หน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง (ตร.ซม.)

$r_{mim.}$ = รัศมีไจเรชั่นที่มีค่าน้อย , $\sqrt{\frac{I_{mim.}}{A}}$ (ซม.)

$I_{mim.}$ = โมเมนต์อินเนอร์เชียที่มีค่าน้อย (ซม.^{4})

ตัวอย่างที่ 9.1 จงคำนวณหาเนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่น้อยที่สุดและแรงดึงสูงสุดของแผ่นเหล็ก เมื่อแผ่นเหล็กนี้หนา 12 มม. ดังรูปข้างล่างนี้ และสลักเกลียวที่ใช้ยึดขนาด ∅ 22 มม. กำหนดให้ใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้, F_t = 1,440 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 9.8 แผ่นเหล็กรับแรงดึง

วิธีทำ สลักเกลียว ∅ 22 มม. , ∴ ขนาดรูเจาะ = 22+1.5 = 23.5 มม. ⇒ 2.35 ซม.

ความหนาแผ่นเหล็ก = 12 มม. ⇒ 1.2 ซม.

<u>กรณีรูปที่ 9.8 ก.)</u> พิจารณาความกว้างสุทธิตามแนววิกฤต 1234

$$A_{net} = t\left[b-(nd)\right]$$

$$= 1.2\left[15-(2x2.35)\right] = 12.36 \text{ ตร.ซม.}$$

∴ แรงดึงสูงสุดของแผ่นเหล็ก , $P_t = F_t(A_{net})$

$$= 1,440x12.36 = 17,798 \text{ กก.}$$

<u>กรณีรูปที่ 9.8 ข.</u>) พิจารณาความกว้างสุทธิตามแนววิกฤต 1’2’3’

$$A_{net} = t\left[b-(nd)\right]$$

$$= 1.2\left[15-(1x2.35)\right] = 15.18 \text{ ตร.ซม.}$$

พิจารณาความกว้างสุทธิตามแนววิกฤต 1’2’6’7’

$$A_{net} = t\left[b-(nd)+\left(\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$

$$= 1.2\left[15-(2x2.35)+\left(1x\frac{5^2}{4x3.75}\right)\right] = 14.36 \text{ ตร.ซม.}$$

พิจารณาความกว้างสุทธิตามแนววิกฤต 4’5’2’6’7’

$$A_{net} = t\left[b-(nd)+\left(\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$

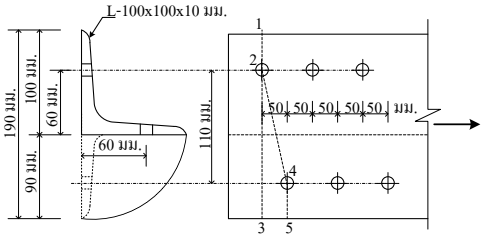
$$= 1.2\left[15-(3x2.35)+\left(2x\frac{5^2}{4x3.75}\right)\right] = 13.54 \text{ ตร.ซม.}$$

<u>ตรวจสอบ</u> 85%ของความกว้างในแนวตั้งฉากกับแรงกระทำ = 0.85x15x1.2 = 15.3 ตร.ซม.

∴ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่น้อยที่สุดที่วิกฤต คือ 13.54 ตร.ซม.

และ แรงดึงสูงสุดของแผ่นเหล็กนี้ , $P_t = F_t(A_{net}) = 1,440x13.54 = 19,498$ กก.

ตัวอย่างที่ 9.2 เหล็กฉากขาเท่ากัน L100x100x10 มม. ดังรูปข้างล่างนี้ ยึดด้วยสลักเกลียวขนาด ∅ 25 มม.ทั้งสองขา จงคำนวณหาแรงดึงที่เหล็กฉากนี้จะสามารถรับได้ กำหนดให้ใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ , F_t = 1,440 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 9.9 เหล็กฉากรับแรงดึง

วิธีทำ สลักเกลียว ∅ 25 มม. , ∴ ขนาดรูเจาะ = 25+1.5 = 26.5 มม. ⇒ 2.65 ซม.

ความหนาเหล็กฉาก 10 มม. ⇒ 1 ซม.

พิจารณาความกว้างสุทธิตามแนววิกฤต 123

$$A_{net} = t\left[b-(nd)\right]$$

$$= 1\left[19-(1x2.65)\right] = 16.35 \text{ ตร.ซม.}$$

พิจารณาความกว้างสุทธิตามแนววิกฤต 1245

$$A_{net} = t\left[b-(nd)+\left(\frac{s^2}{4g}\right)\right]$$

$$= 1\left[19-(2x2.65)+\left(1x\frac{5^2}{4x11}\right)\right] = 14.26 \text{ ตร.ซม.}$$

<u>ตรวจสอบ</u> 85%ของความกว้างในแนวตั้งฉากกับแรงกระทำ = 0.85x19x1 = 16.15 ตร.ซม.

∴ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่น้อยที่สุดที่วิกฤต คือ 14.26 ตร.ซม.

แรงดึงที่เหล็กฉากนี้จะรับได้ , $P_t = F_t(A_{net})$

$= 1,440x14.26$ = 20,534 กก.

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 9 การคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ และ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 9 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 9 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 9 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 9 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 9
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 9
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง

2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 9 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 9 เรื่อง การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(.....) (.....)

ตัวแทนนักเรียน ครูผู้สอน

การประเมินผล

บทที่ 9 การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล

บทที่ 9 การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบ ทดสอบ		**คะแนนแบบ ประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	การคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง						
2	การพิจารณาหน้าตัดสุทธิ						
3	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้						
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10	หน่วยที่ 10
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ	สอนครั้งที่ 15/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ		จำนวน 3 คาบ

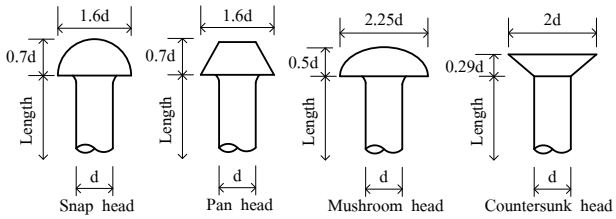
1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว
1.2 ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน
1.3 พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้
1.4 หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้
1.5 ระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด

2. สาระสำคัญ

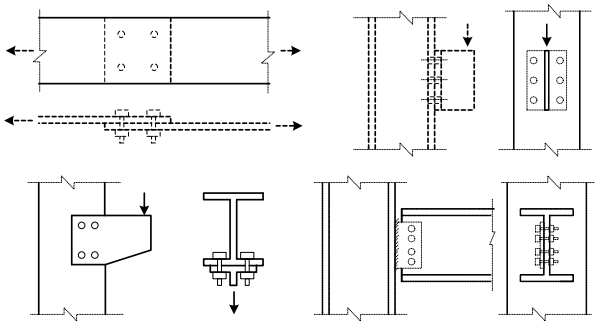
การออกแบบจุดยึดหรือข้อต่อหรือรอยต่อของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก อาจใช้หมุดย้ำ(Rivets) หรือสลักเกลียว(Bolts) เป็นอุปกรณ์ยึด ซึ่งรอยต่อจะมีความแข็งแรงมั่นคงเพียงไรนั้น จะขึ้นอยู่กับ

- ความต้านทานกำลังของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ
- ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กอุปกรณ์ที่ใช้ยึด
- ลักษณะของการประกอบจุดยึด และ
- ลักษณะของแรงที่กระทำต่อจุดต่อ



ก) ลักษณะของสลักเกลียว ข) ลักษณะของหมุดย้ำแบบต่างๆ

รูปที่ 10.1 แสดงลักษณะของสลักเกลียวและหมุดย้ำ



รูปที่ 10.2 แสดงจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำรูปแบบต่างๆ

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ และระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ เกี่ยวกับ ลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ และระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ เกี่ยวกับ ลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ และระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะและรูปแบบการยึด

4. สาระการเรียนรู้

4.1 หมุดย้ำ(Rivets)

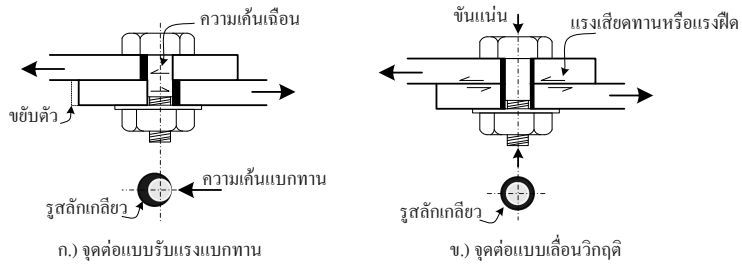
ลักษณะของจุดต่อโครงสร้างที่เหมาะสำหรับการเลือกใช้อุปกรณ์ยึดด้วยหมุดย้ำ มักจะเป็นโครงสร้างที่มีการสั่นสะเทือนสม่ำเสมอ เช่น โครงถักสะพานเหล็ก เพราะว่าการใช้หมุดย้ำเป็นตัวยึดจะไม่มีโอกาสที่จุดต่อจะคลายตัวออกมาได้ มาตรฐานของหมุดย้ำที่ วสท.กำหนด คือ หมุดย้ำเหล็กโครงสร้าง ASTM-A502

4.2 สลักเกลียว(Bolts)

สลักเกลียว ไม่ควรนำไปใช้ยึดจุดต่อที่รับแรงสั่นสะเทือนอย่างซ้ำซากตลอดเวลา เพราะอาจจะเกิดการคลายตัวของสลักเกลียวได้ การใช้สลักเกลียวยึดจุดต่อสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ดังนี้

1.) แบบรับแรงแบกทาน(Bearing type) มีลักษณะรับแรงกดเหมือนหมุดย้ำ ซึ่งรอยต่อมีโอกาสขยับเลื่อนตัวได้

2.) แบบเลื่อนวิกฤติ(Slip Critical type) ลักษณะแบบนี้มาตรฐานASTM กำหนดให้ทำการขันสลักเกลียวให้เกิดแรงดึงในสลักเกลียวไม่น้อยกว่า 70% ของกำลังดึงประลัย จนรอยต่อไม่มีโอกาสเลื่อนขยับ แต่จะมีแรงเสียดทานระหว่างแผ่นเหล็กกับสลักเกลียว คือ แรงเฉือนเกิดขึ้นแบบมีแรงฝืด(Friction type)

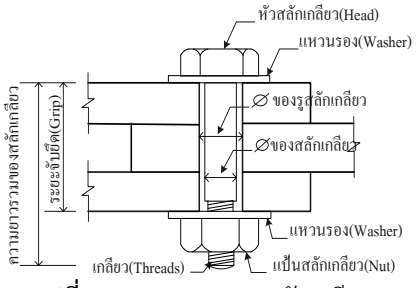


รูปที่ 10.4 ลักษณะรูปแบบการยึดของสลักเกลียว

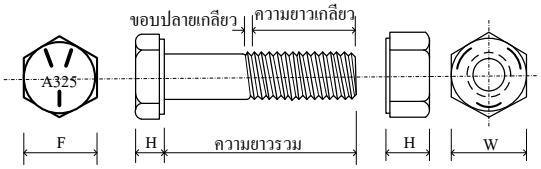
<u>มาตรฐานของสลักเกลียว</u> ตามมาตรฐาน วสท.1015-40 กำหนดให้ใช้ดังนี้

- สลักเกลียวและสลักเกลียวผสมคาร์บอน กำลังรับหน่วยแรงดึง 4,200 กก./ตร.ซม. ASTM-A307
- สลักเกลียวกำลังสูงสำหรับข้อต่อเหล็กโครงสร้าง ASTM-A325
- สลักเกลียวและสลักเหล็ก Quenched และ Tempered ASTM-A449
- สลักเกลียวเหล็กชุบแข็งด้วยความร้อน กำลังรับหน่วยแรงดึงต่ำสุด 10,400 กก./ตร.ซม. ASTM-A490
- แหวนรองสลักเกลียว(Washer) ต้องเป็นแหวนรองเหล็กทำให้แข็ง ASTM-F436
- แป้นสลักเกลียว(Nut) ต้องเป็นแป้นสลักเกลียวเหล็กผสมคาร์บอนและโลหะ ASTM-A563
- สลักเกลียว ASTM-A449 ให้ใช้ได้เฉพาะในรอยต่อที่ต้องใช้สลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 38 มม. และห้ามใช้ในรอยต่อเลื่อนวิกฤติ

4.3 ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน



รูปที่ 10.5 แสดงรูเจาะสลักเกลียว



รูปที่ 10.6 แสดงส่วนประกอบของสลักเกลียว

1. ขนาดใหญ่สุดของรูเจาะสำหรับสลักเกลียว จะใหญ่กว่าสลักเกลียวอีก 1.50 มม.(ดูตารางที่ 10.1 ข.) ยกเว้น รูเจาะขนาดใหญ่กว่านี้ที่ต้องการเป็นส่วนเผื่อ
2. จะต้องเตรียมรูเจาะมาตรฐานไว้ในองค์อาคารบริเวณจุดต่อ เว้นแต่รูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐาน , รูเจาะแบบร่องสั้นและรูเจาะแบบร่องยาว ซึ่งกำหนดโดยผู้ออกแบบ finger shimsขนาดไม่เกิน 6 มม. อาจใช้กับการออกแบบรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติที่ใช้รูเจาะมาตรฐานโดยไม่ต้องลดค่าหน่วยแรงเฉือนที่กำหนดให้
3. รูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐาน ให้ใช้ได้ในรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ แต่ไม่ให้ใช้ในรอยต่อกับการต่อแบบรับแรงแบกทานและจะต้องใส่แหวนรองชนิดแข็งเหนือรูเจาะที่เหล็กแผ่นนอก
4. รูเจาะแบบร่องสั้น ให้ใช้ได้ในรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ และรอยต่อแบบรับแรงแบกทานในรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ ทิศทางของร่องไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กับทิศของแรง แต่ในรอยต่อแบบรับแรงแบกทานแนวยาวของร่องต้องตั้งฉากกับทิศทางของแรง และจะต้องมีการใส่แหวนรองเหนือรูเจาะแบบร่องสั้นที่เหล็กแผ่นนอก สำหรับในกรณีที่ใช้กับสลักเกลียวกำลังสูง แหวนรองที่ใช้จะต้องเป็นแหวนรอง ชนิดแข็ง
5. รูเจาะแบบร่องยาว ให้ใช้เฉพาะส่วนของรอยต่อทั้งแบบเลื่อนวิกฤติและรอยต่อแบบรับแรงแบกทานที่แต่ละ faying surface เท่านั้น ในรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ ทิศทางของรูเจาะแบบร่องยาวไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กับทิศทางของแรง แต่ในรอยต่อแบบรับแรงแบกทานควรตั้งฉากกับทิศทางของแรง เมื่อมีการใช้รูเจาะแบบร่องยาวในเหล็กแผ่นนอก ต้องใช้แหวนรองหรือใช้แท่งเหล็กที่มีรูเจาะมาตรฐานและมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะปิดร่องได้หมด ในรอยต่อที่ใช้สลักเกลียวกำลังสูง แหวนรองหรือแท่งเหล็กดังกล่าว ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 8 มม.และจะต้องทำจากวัสดุชั้นคุณภาพสำหรับการก่อสร้าง แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นชนิดแข็ง ถ้าจำเป็นต้องใช้แหวนรองชนิดแข็งเนื่องจากการใช้สลักเกลียวกำลังสูงก็ควรใส่แหวนรองชนิดแข็งไว้ที่ผิวนอกสุดของแหวนรองหรือแผ่นเหล็ก
6. การใช้สลักเกลียวตามมาตรฐาน A490 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกินกว่า 25 มม. กับรูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐานในเหล็กแผ่นนอก ต้องใช้แหวนรองเดี่ยวชนิดแข็งตามมาตรฐาน ASTM-F436 แทนการใช้แหวนรองมาตรฐาน ยกเว้นเมื่อใช้กับความหนาต่ำสุด 8 มม.

4.4 พื้นที่รับแรงแบกทานประสิทธิผล

พื้นที่รับแรงแบกทานประสิทธิผลของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ คำนวณจากผลคูณระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวส่วนที่รับแรงแบกทาน ยกเว้น สลักเกลียวหรือหมุดย้ำชนิดฝังหัว ให้หักครึ่งหนึ่งของส่วนที่ฝังหัวออก

4.5 หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ที่รูร้อยสลักเกลียว

บนพื้นที่รับแรงแบกทานของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ ในรอยต่อรับแรงเฉือนซึ่งมีระยะปลายวัดตามแนวแรงไม่น้อยกว่า 1.5 d และมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของสลักเกลียวไม่น้อยกว่า 3d

ค่าหน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้(F_p) สำหรับรูเจาะมาตรฐานหรือรูเจาะแบบร่องสั้น ที่มีจำนวนสลักเกลียวในแนวแรง 2 ตัว หรือมากกว่า ใช้สูตรดังนี้

$F_p = 1.2\ F_u$, เมื่อ F_u = หน่วยแรงดึงประลัยของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ (กก./ตร.ซม.)

4.6 หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้(F_t) และหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้(F_v) ของสลักเกลียวส่วนที่มีเกลียวและหมุดย้ำให้เป็นไปตามตารางที่ 10.2 และตารางที่ 10.3

4.7 ระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ

1. ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง(g)ของรูเจาะมาตรฐาน รูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐาน และรูเจาะแบบร่อง ต้องไม่ต่ำกว่า $2\frac{2}{3}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ

2. ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะ(s) ตามแนวแรงไม่ควรต่ำกว่า 3d , เมื่อค่า F_p เป็นไปตามมาตรฐานฯ

3. ถ้าค่า F_p ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน วสท. ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะ ต้องไม่ต่ำกว่า

ก) กรณีรูเจาะมาตรฐาน

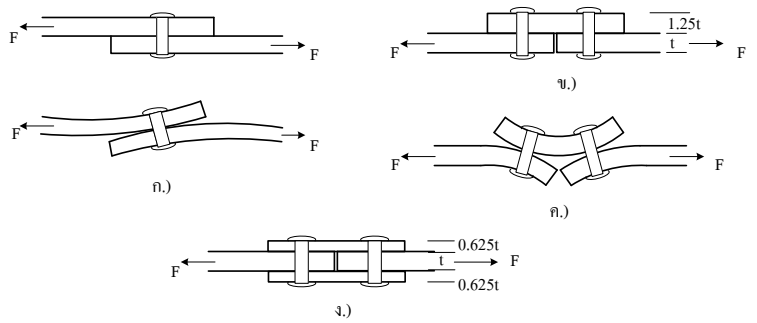
$$s \geq \frac{2P}{F_u.t} + \frac{d}{2}$$

ข) กรณีรูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐานและรูเจาะแบบร่อง ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะ ได้จากค่าสำหรับรูเจาะมาตรฐานจาก ข้อ ก) บวกกับส่วนเพิ่ม C_1 จากตารางที่ 10.4 แต่ระยะห่างระหว่างขอบของรูเจาะต้องไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียว

4.8 ระยะขอบต่ำสุด

ระยะจากศูนย์กลางของรูเจาะมาตรฐานถึงขอบ(e)ของชิ้นส่วนที่ต่อตามรูปที่ 10.7 ต้องไม่น้อยกว่า 2d หรือไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 10.5

4.9 รูปแบบของการต่อ



รูปที่ 10.8 ลักษณะจุดต่อแบบต่อทาบและแบบต่อชน

1.) การต่อทาบ(Lap joint) เป็นลักษณะการต่อโดยใช้แผ่นเหล็กสองแผ่นที่รับแรงหลักมาวางต่อทาบกันดังรูป 10.8 ก.) การต่อลักษณะนี้จะก่อให้เกิดการดัดโค้งขึ้นดังรูป เนื่องมาจากเกิดการเยื้องศูนย์ เป็นผลให้กำลังของจุดต่อลดลงได้ เหมาะสำหรับจุดต่อที่ต้องรับกำลังไม่มากนัก

2.) การต่อชน(Butt joint) เป็นลักษณะการต่อโดยใช้แผ่นเหล็กสองแผ่นที่รับแรงหลักมาต่อชนกัน โดยมีแผ่นเหล็กประกับ(gusset plate)เป็นตัวยึดรอยต่อ กรณีใช้แผ่นเหล็กประกับเดี่ยว ดังรูป 10.8 ข.),ค.) ก็จะเกิดการดัดโค้งที่จุดต่อคล้ายกับการต่อแบบต่อทาบ ทำให้จุดต่อลดกำลังลงได้เช่นกัน แต่ถ้าใช้แผ่นเหล็กประกับคู่ ดังรูปที่ 10.8 ง.) ก็จะทำให้ไม่เกิดการเยื้องศูนย์ ไม่เกิดการดัดโค้งบริเวณจุดต่อ และทำให้จุดต่อรับแรงได้เต็มประสิทธิภาพ

4.10 กำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ

1. กรณีแรงเฉือนระนาบเดียว(Single Shear)

ความต้านทานต่อแรงเฉือน = $\frac{\pi d^2}{4}(F_v)$ ต่อสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ 1 ตัว

2. กรณีแรงเฉือนสองระนาบ(Double Shear)

ความต้านทานต่อแรงเฉือน = $\frac{2\pi d^2}{4}(F_v)$ ต่อสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ 1 ตัว

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ (ซม.)

F_v = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.) ดูตารางที่ 10.2

4.11 กำลังต้านทานต่อแรงแบกทานของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ

ความต้านทานต่อแรงแบกทาน = $t.d(F_p)$ ต่อสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ 1 ตัว

เมื่อ t = ความหนาของแผ่นโลหะ (ซม.)

ถ้าใช้สลักเกลียวหรือหมุดย้ำแบบฝังหัว ความหนาของแผ่นโลหะให้ลบออกเสียครึ่งหนึ่งของระยะหัวที่ฝัง

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ (ซม.)

F_p = หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.) ดูตารางที่ 10.2

4.12 กำลังต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นโลหะ

ความต้านทานต่อแรงดึง = $A_{net}(F_t)$

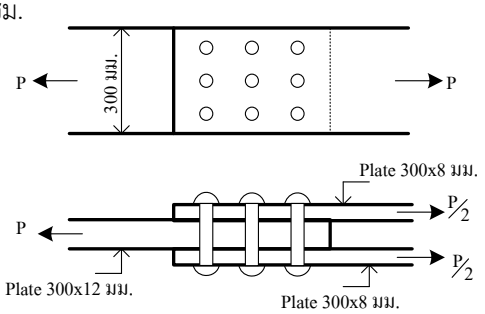
เมื่อ A_{net} = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิของแผ่นโลหะ (ตร.ซม.)

F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนโครงสร้าง (กก./ตร.ซม.)

4.13 กำลังต่ำสุดของข้อต่อหรือรอยต่อ

รอยต่อที่รับหน่วยแรงตามที่คำนวณได้ (ยกเว้น ตัวยึดถักทแยง เหล็กยึดกันการแอ่นตัว และเคร่าขวาง) จะต้องออกแบบให้รับแรงต่ำสุดไม่น้อยกว่า 2,700 กก.

ตัวอย่างที่ 10.2 ถ้ากำหนดให้กำลังต้านทานแรงเฉือนและแรงแบกทานเท่ากัน หมุดย้ำชนิด A 502Gr.1 จำนวน 9 ตัว ที่ยึดรอยต่อ ดังรูปข้างล่างนี้ ควรใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าใด และรอยต่อนี้จะสามารถต้านทานแรงดึงได้มากที่สุดเท่าใด ถ้ากำหนดให้ หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของหมุดย้ำ , F_v = 1,225 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของหมุดย้ำ , F_p = 4,078 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของแผ่นโลหะ , F_t = 1,440 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 10.12 รอยต่อรับแรงดึง

วิธีทำ คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดย้ำ

เมื่อ กำลังต้านทานแรงเฉือนสองระนาบของหมุดย้ำ = กำลังต้านทานแรงแบกทาน

$$\frac{2\pi d^2}{4}(F_v) = t.d(F_p)$$

$$\frac{2x3.14x(d)^2}{4}(1,225) = 1.2xdx(4,078)$$

$$d = \frac{1.2x4,078x4}{2x3.14x1,225} = 2.54 \Rightarrow 2.8 \text{ ซม.(28 มม.)}$$

กำลังต้านทานแรงเฉือนของหมุดย้ำทุกตัว = $n\frac{2\pi d^2}{4}(F_v)$

$$= \frac{9x2x3.14x(2.8)^2}{4}(1,225) = 135,705 \text{ กก.}$$

กำลังต้านทานแรงแบกทานของหมุดย้ำทุกตัว = $n.t.d(F_p)$

= 9x1.2x2.8x4,894 = 147,995 กก.

ขนาดของหมุดย้ำ = 2.8 ซม. , ขนาดของรูเจาะ = 2.8 + 0.15 = 2.95 ซม.

กำลังต้านทานแรงดึงของแผ่นโลหะ = $A_{net}(F_t)$

= $[30-(3x2.95)]x1.2x(1,440)$ = 36,547 กก.

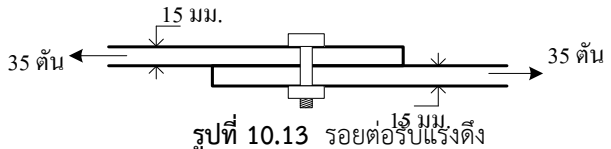
∴ กำลังต้านทานแรงดึงที่ปลอดภัยของรอยต่อนี้ = 36,547 กก.

ตัวอย่างที่ 10.3 รอยต่อโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง 35 ตัน ดังรูปข้างล่างนี้ ถ้าเลือกใช้สลักเกลียวชนิด A490 ∅ 19 มม. ยึดโดยให้เกลียวอยู่ในระนาบแรงเฉือน จะต้องใช้จำนวนกี่ตัว ถ้า

ก.) ยึดรอยต่อแบบรอยเลื่อนวิกฤติ

ข.) ยึดรอยต่อแบบรับแรงแบกทาน

เมื่อกำหนดให้ ยึดแบบรูเจาะมาตรฐาน หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ , F_v = 1,470 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้แบบรับแรงแบกทาน , F_v = 1,960 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของสลักเกลียว , F_p = 5,040 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 10.13 รอยต่อรับแรงดึง

วิธีทำ

พิจารณารูปที่ 10.13 แรงเฉือนที่สลักเกลียวมีระนาบเดียว

ก.) เมื่อยึดรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ สำหรับรูเจาะมาตรฐาน

กำลังต้านทานแรงเฉือนของสลักเกลียวต่อ 1 ตัว = $\frac{\pi d^2}{4}(F_v)$

= $\frac{3.14x(1.9)^2}{4}(1,470)$ = 4,166 กก./ตัว

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องใช้สำหรับการต่อแบบนี้ = $\frac{35x1000}{4,166}$ = 8.4 $\Rightarrow$ 9 ตัว

ข.) เมื่อยึดรอยต่อแบบรับแรงแบกทาน สำหรับรูเจาะมาตรฐาน

กำลังต้านทานแรงเฉือนของสลักเกลียวต่อ 1 ตัว = $\frac{\pi d^2}{4}(F_v)$ = $\frac{3.14x(1.9)^2}{4}(1,960)$ = 5,554 กก./ตัว

กำลังต้านทานแรงแบกทานของสลักเกลียวต่อ 1 ตัว = $t.d(F_p)$ = 1.5x1.9x5,040 = 14,364 กก./ตัว

∴ กำลังต้านทานที่ปลอดภัยของสลักเกลียวนี้ = 5,554 กก./ตัว

จำนวนสลักเกลียวที่ต้องใช้สำหรับการต่อแบบนี้ = $\frac{35x1000}{5,554}$ = 6.3 $\Rightarrow$ 7 ตัว

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 10 ลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ และระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 10 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 10 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 10 เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 10 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 10
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 10
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 10 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10 เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 10 เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....

(.....)

ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 10 การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 10 การออกแบบจุดยึดด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบ ทดสอบ		**คะแนนแบบ ประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	ลักษณะการใช้งานของหมุดย้ำและสลักเกลียว						
2	ขนาดของรูเจาะและการใช้งาน						
3	พื้นที่รับแรงแบกทานและหน่วยแรงที่ยอมให้						
4	หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้						
5	ระยะห่างต่ำสุดระหว่างรูเจาะ และรูปแบบการยึด						
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11	หน่วยที่ 11
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม	สอนครั้งที่ 16/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม		จำนวน 3 คาบ

1. หัวข้อเรื่อง

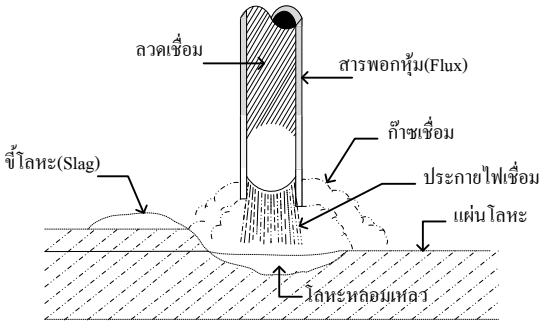
1.1 การจำแนกลักษณะการเชื่อม
1.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม
1.3 หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม
1.4 ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ
1.5 หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม

2. สาระสำคัญ

จุดต่อของโครงสร้างเหล็กเมื่อมีชิ้นส่วนโครงสร้างหลายๆชิ้นมารวมกัน ก็ต้องออกแบบให้ทุกชิ้นส่วนสามารถเกาะยึดติดกัน การเชื่อมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้โลหะยึดติดกันได้โดยการให้ความร้อนกับโลหะ และละลายลวดเชื่อมให้เชื่อมประสานเป็นเนื้อเดียวกัน

ประเภทการเชื่อม แบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ
1) การเชื่อมแก๊ส(Gas Welding) การเชื่อมแบบนี้มักใช้กับโครงสร้างเบาหรือโลหะที่มีความหนาน้อย (Light gage steel)
2) การเชื่อมไฟฟ้า(Are Welding) เป็นการเชื่อมที่ให้ความร้อนสูง ด้วยลวดเชื่อม , โลหะเชื่อม หรือ ที่เรียกว่า ธูปเชื่อม (welding electrode) จึงเหมาะสำหรับการเชื่อมจุดต่อของโครงสร้างที่รับกำลังสูง

สำหรับมาตรฐานของลวดเชื่อม ให้ใช้ตามมาตรฐาน มอก.49 - 2556



รูปที่ 11.1 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อม

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ การจำแนกลักษณะการเชื่อม สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ และหน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ เกี่ยวกับ การจำแนกลักษณะการเชื่อม สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ และหน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ เกี่ยวกับ การจำแนกลักษณะการเชื่อม สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ และหน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม

4. สาระการเรียนรู้

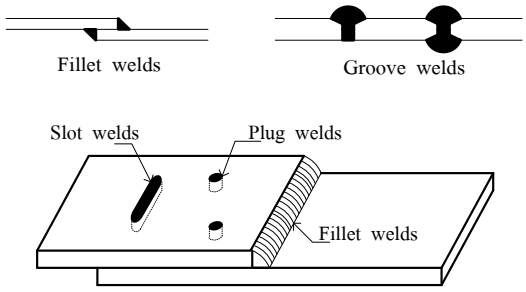
4.1 การจำแนกลักษณะการเชื่อม

ลักษณะการเชื่อมจำแนกออกได้ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. ชนิดของการเชื่อม 2. ตำแหน่งของการเชื่อม 3. ชนิดของจุดต่อ

<u>ชนิดของการเชื่อม</u>

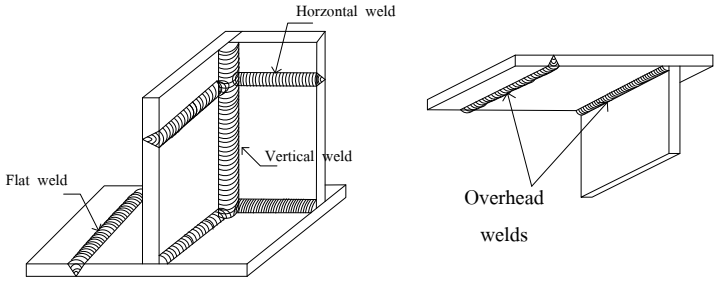
แบ่งออกได้อีก 4 รูปแบบ คือ แบบต่อทาบ (fillet weld) , แบบเชื่อมบากร่อง (groove weld) , แบบเชื่อมอุดร่อง (slot weld) และ แบบเชื่อมอุดรู (plug weld)



รูปที่ 11.2 ชนิดของการเชื่อม

<u>ตำแหน่งของการเชื่อม</u>

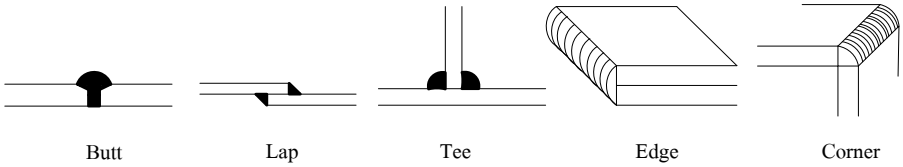
แบ่งออกได้อีก 4 รูปแบบ คือ เชื่อมแนวราบ (flat weld) , เชื่อมแนวดิ่ง (vertical weld) , เชื่อมแนวนอน (horizontal weld) และ เชื่อมเหนือศีรษะ (overhead weld)



รูปที่ 11.3 ตำแหน่งของการเชื่อม

<u>ชนิดของจุดต่อ</u>

แบ่งชนิดของจุดต่อออกได้ 5 รูปแบบ คือ ต่อชน (butt joint) , ต่อทาบ (lap joint) , ต่อตัวที (tee joint) , ต่อปลายขอบ (edge) และ ต่อเข้ามุม (corner joint)



รูปที่ 11.4 ชนิดของจุดต่อ

4.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม

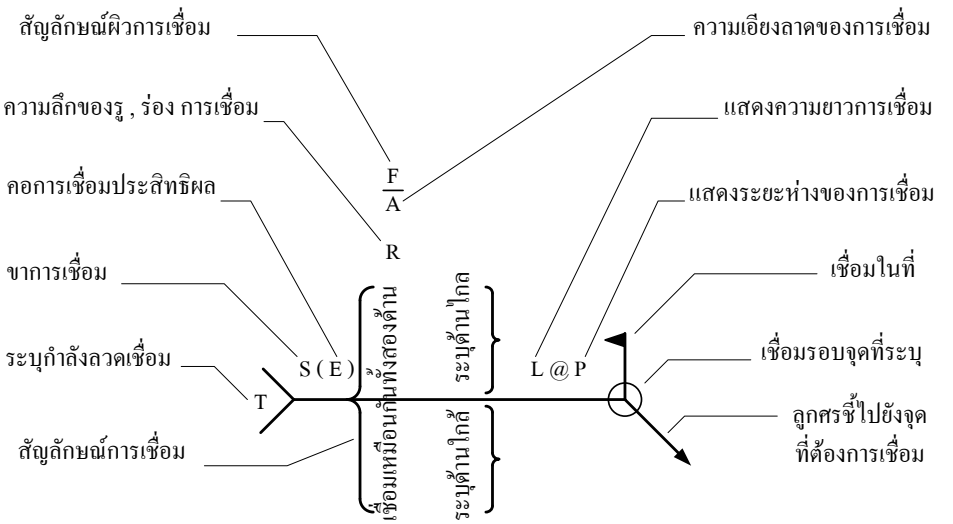
มาตรฐานสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม ให้ใช้ตามมาตรฐานของ American Welding Society, AWS

ตารางที่ 11.1 แสดงสัญลักษณ์ชนิดของการเชื่อม , ตำแหน่งของการเชื่อม ,ชนิดของจุดต่อ

สัญลักษณ์การเชื่อม									
Back	Fillet	Plug or Slot	Groove or Butt						
			Square	V	Bevel	U	J	Flare V	Flare bevel

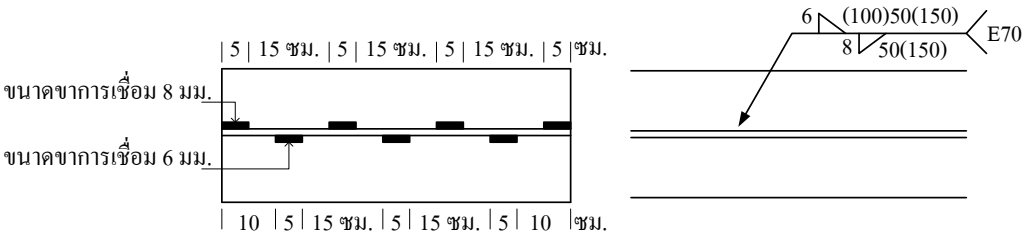
สัญลักษณ์การเชื่อมเพิ่มเติม						
Backing	Spacer	Weld all around	Field weld	Contour		นอกเหนือจากสัญลักษณ์ที่ระบุไว้ให้ดูในมาตรฐาน AWS A2.4-86
				Flush	Convex	

การระบุการเชื่อม

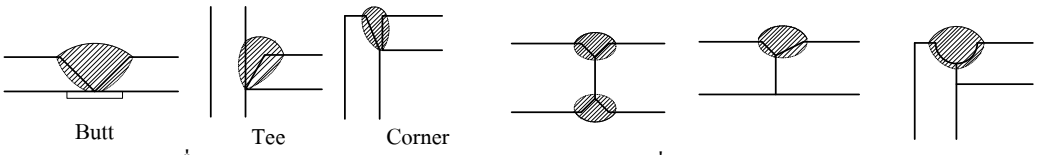


6 150	แสดงถึงการเชื่อมแบบทาบด้านใกล้ ขาการเชื่อม 6 มม. และเชื่อมยาว 150 มม.
5 50 - 150	แสดงถึงการเชื่อมแบบทาบด้านไกล ขาการเชื่อม 5 มม. โดยเชื่อมยาวทุก 150 มม. และเว้นระยะทุก 50 มม.
6 150	แสดงถึงการเชื่อมแบบทาบทั้งด้านใกล้และด้านไกล ขาการเชื่อม 6 มม. และเชื่อมยาว 150 มม.
9 50 - 150	แสดงถึงการเชื่อมแบบทาบสลับกันทั้งด้านใกล้และด้านไกล ขาการเชื่อม 9 มม. โดยเชื่อมยาว 150 มม.และเว้นระยะทุก 50 มม.
	แสดงถึงการเชื่อมรอบจุดที่ระบุ
E70	แสดงถึงมาตรฐานของลวดเชื่อมที่กำหนดให้ใช้

รูปที่ 11.5 แสดงการอ่านสัญลักษณ์ของงานเชื่อม

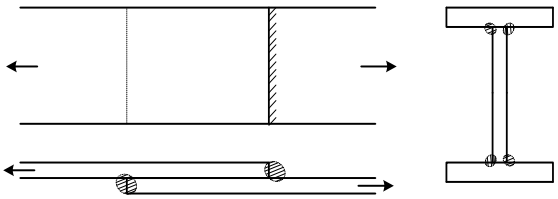


รูปที่ 11.6 ลักษณะการอ่านสัญลักษณ์งานเชื่อมแบบเชื่อมทาบสลับ

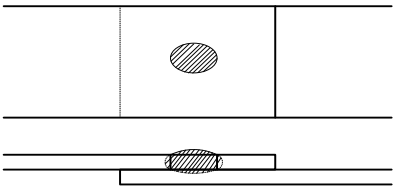


ก.) การเชื่อมแบบบากร่องทะลุตลอด ข.) การเชื่อมแบบบากร่องลึกทะลุไม่ตลอด

รูปที่ 11.7 ลักษณะการเชื่อมแบบบากร่อง (groove weld)



รูปที่ 11.8 ลักษณะการเชื่อมแบบทาบ (fillet weld)



รูปที่ 11.9 ลักษณะการเชื่อมแบบอุดรู หรืออุดร่อง (plug or slot weld)

4.3 ข้อกำหนดการเชื่อม (มาตรฐาน วสท.1015-40)

<u>การเชื่อมแบบบากร่อง</u>

1. พื้นที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม หาได้จากความยาวประสิทธิผลของรอยเชื่อมคูณกับความหนาคอ ประสิทธิผล
2. ความยาวประสิทธิผลของรอยเชื่อม คือ ความกว้างของชิ้นส่วนที่นำมาเชื่อมต่อกัน
3. ความหนาคอประสิทธิผลของรอยเชื่อมบากร่องทะลุตลอด คือ ความหนาของชิ้นส่วนที่นำมาเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่บางกว่า
4. ความหนาคอประสิทธิผลของรอยเชื่อมบากร่องแบบลึกไม่ทะลุตลอด ดูจากตารางที่ 11.2
5. ความหนาคอประสิทธิผลของรอยเชื่อมบากร่องบาน เมื่อเรียบเสมอกับผิวของท่อนเหล็กหรือโค้ง 90 องศา ในหน้าตัดขึ้นรูปให้เป็นไปตามตารางที่ 11.3
6. ขนาดความหนาคอประสิทธิผลต่ำสุดของรอยเชื่อมบากร่องแบบลึกไม่ทะลุตลอด ซึ่งแสดงในตารางที่ 11.4 เป็นความหนาคอต่ำสุดที่กำหนดขึ้นมาจากความหนาของชิ้นส่วนที่หนากว่าของชิ้นส่วนที่นำมาเชื่อมต่อกัน แต่ขนาดของรอยเชื่อมต้องไม่เกินความหนาของชิ้นส่วนที่บางที่สุดของชิ้นส่วนที่นำมาเชื่อมต่อกัน

<u>การเชื่อมแบบทาบ</u>

1. พื้นที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม คำนวณได้จากความยาวประสิทธิผลคูณกับความหนาคอประสิทธิผล
2. ความยาวประสิทธิผลของรอยเชื่อม (ยกเว้นรอยเชื่อมแบบทาบในรูหรือในร่อง) ให้ใช้ความยาวทั้งหมดของรอยเชื่อมรวมทั้งรอยเชื่อมอ้อมปลาย
3. ความหนาคอประสิทธิผลของรอยเชื่อม จะเป็นระยะสั้นที่สุดวัดจากฐานของจุดต่อไปยังผิวของระนาบซึ่งลากโยงจากปลายของรอยเชื่อม(ยกเว้นรอยเชื่อมแบบทาบที่ใช้วิธีเชื่อมแบบจุ่ม) ให้ใช้ความหนาประสิทธิผลเท่ากับความหนาของขาของรอยเชื่อมสำหรับรอยเชื่อมที่มีขนาด 9 มม.และเล็กกว่า และเท่ากับความหนาคอทางทฤษฎีบวกกับอีก 2.5 มม. สำหรับรอยเชื่อมที่มีขนาดมากกว่า 9 มม.

4. สำหรับรอยเชื่อมแบบทาบในรูและในร่อง ความยาวประสิทธิผลจะเป็นความยาวของรอยเชื่อมตามแนวกลางของระนาบที่ผ่านส่วนคอ ในกรณีที่เป็นรอยเชื่อมทับซ้อนกัน พื้นที่ประสิทธิผลจะต้องไม่เกินพื้นที่หน้าตัดสุทธิของรูหรือร่องในระนาบของ faying surface
5. ขนาดเล็กสุดของรอยเชื่อม แสดงไว้ในตารางที่ 11.5 ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาที่หนากว่าของชิ้นส่วนที่นำมาเชื่อมต่อกัน แต่ขนาดของรอยเชื่อมต้องไม่มากกว่าความหนาของชิ้นส่วนที่บางกว่า
6. ขนาดใหญ่สุดของรอยเชื่อม ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังนี้
   ก.) ถ้าวัสดุมีความหนาน้อยกว่า 6 มม. ขนาดใหญ่สุดของรอยเชื่อมต้องไม่เกินความหนาของวัสดุ
   ข.) ถ้าวัสดุหนาตั้งแต่ 6 มม.ขึ้นไป ขนาดใหญ่สุดของรอยเชื่อม ไม่ควรเกินความหนาวัสดุลบด้วย 1.5 มม.
7. ความยาวประสิทธิผลน้อยสุดของรอยเชื่อม จะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของขนาดระบุ หรือให้ใช้ขนาดของรอยเชื่อมไม่เกิน ¼ เท่าของความยาวประสิทธิผลในการออกแบบ
8. ในกรณีใช้รอยเชื่อมแบบทาบตามยาวเพียงอย่างเดียวในการเชื่อมต่อที่ปลายขององค์อาคารเหล็กแบนรับแรงดึง ความยาวของรอยเชื่อมแต่ละด้านจะต้องไม่น้อยกว่าระยะตั้งฉากระหว่างรอยเชื่อม ซึ่งระยะห่างตามขวางของรอยเชื่อมตามยาวที่ใช้ในการเชื่อมต่อที่ปลายขององค์อาคารรับแรงดึงนี้ ต้องไม่มากกว่า 200 มม.
9. การเชื่อมทาบแบบเว้นระยะ สามารถใช้ในการส่งถ่ายหน่วยแรงที่คำนวณได้ผ่านจุดต่อ หรือ faying surface ในกรณีที่กำลังรอยเชื่อมที่ต้องการน้อยกว่ากำลังของรอยเชื่อมทาบแบบต่อเนื่องขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะยอมให้รับได้และเชื่อมต่อส่วนประกอบขององค์อาคารประกอบ ความยาวประสิทธิผลของแต่ละช่วงของรอยเชื่อมทาบแบบเว้นระยะนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของขนาดของรอยเชื่อมและต้องไม่น้อยกว่า 37.5 มม.
10. ในรอยต่อทาบ ระยะทาบต่ำสุดต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของความหนาของชิ้นส่วนที่หนาน้อยกว่าที่มาเชื่อมต่อกัน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 25 มม. เหล็กแผ่นหรือเหล็กท่อนที่นำมาเชื่อมต่อทาบเพื่อรับหน่วยแรงตามแนวแกนจะต้องเชื่อมแบบทาบที่ปลายทั้งสองของส่วนที่มาต่อทาบกัน
11. รอยเชื่อมแบบทาบในรูหรือร่อง สามารถส่งถ่ายแรงเฉือนในรอยต่อทาบได้ หรือป้องกันการโก่งเดาะ หรือการแยกของส่วนที่ทาบกัน หรือเชื่อมส่วนประกอบขององค์อาคารประกอบ รอยเชื่อมดังกล่าวอาจทับซ้อนกันได้ แต่ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 4. รอยเชื่อมแบบทาบในรูหรือร่องห้ามมิให้นำมาคิดเป็นรอยเชื่อมแบบอุดรูหรือแบบอุดร่อง
12. รอยเชื่อมแบบทาบด้านข้างที่สิ้นสุดที่ปลายของบางส่วนหรือของทั้งองค์อาคาร หรือรอยเชื่อมแบบทาบที่ปลายที่สิ้นสุดที่ด้านข้าง แล้วแต่กรณีจะต้องเชื่อมอ้อมกลับอย่างต่อเนื่องรอบมุมเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดระบุของรอยเชื่อม ข้อกำหนดนี้ให้ใช้กับรอยเชื่อมแบบทาบด้านข้างและด้านบนที่เชื่อมต่อ หูช้าง แป้นรองคานและการเชื่อมต่อลักษณะเดียวกันในระนาบที่คำนวณแรงดัด สำหรับการเชื่อมต่อเหล็กฉากเป็นโครงและรอยต่อเหล็กแผ่นปลายแบบง่ายที่จะต้องอาศัยความดัดงอง่ายของขาที่ยื่นออกไปเพื่อให้ข้อต่อมีความยืดหยุ่น การเชื่อมอ้อมกลับที่ปลายจะต้องไม่เกิน 4 เท่าของความยาวของขนาดระบุของรอยเชื่อม รอยเชื่อมแบบทาบระนาบเดียวกันที่อยู่ด้านตรงข้ามกันจะต้องเว้นช่วงที่มุมที่รอยเชื่อมทั้งสองชนกัน การเชื่อมอ้อมปลายนี้จะต้องระบุในการออกแบบและแบบรูปรายละเอียด

<u>การเชื่อมแบบอุดรูและแบบอุดร่อง</u>

1. การคำนวณหาเนื้อที่หน้าตัดสุทธิขวางรอยเชื่อมแบบอุดรูหรืออุดร่อง จะไม่คิดรวมเนื้อที่ของวัสดุเชื่อม
2. พื้นที่รับแรงเฉือนประสิทธิผลของรอยเชื่อมแบบอุดรูหรือแบบอุดร่อง หาได้จาก พื้นที่หน้าตัดขวางระบุของรูหรือร่องในระนาบของ faying surface
3. รอยเชื่อมแบบอุดรูหรืออุดร่อง สามารถให้ถ่ายแรงเฉือนในการเชื่อมต่อแบบทาบ หรือให้ใช้เพื่อป้องกันการโก่งเดาะของส่วนที่ทาบกัน หรือเชื่อมส่วนประกอบขององค์อาคารประกอบ
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของรูสำหรับการเชื่อมแบบอุดรู จะต้องไม่เล็กกว่าความหนาของชิ้นส่วนที่เจาะรู บวกกับ 8 มม. ปัดเศษขึ้นให้เป็นจำนวนเต็มของ 1.5 มม. แต่ต้องไม่ใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุด บวกกับ 3 มม. หรือ 2.25 เท่าของความหนาของรอยเชื่อม
5. ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางของรอยเชื่อมแบบอุดรูต้องไม่ต่ำกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางรู
6. ระยะระหว่างแนวของรอยเชื่อมแบบอุดร่อง ในทิศทางตั้งฉากกับความยาวของรอยเชื่อม ต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของ

ความกว้างของร่อง ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางในทิศทางตามยาวของแนวเชื่อมใดๆจะต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความยาวของร่อง

7. ความยาวของร่องของการเชื่อมแบบอุดร่องจะต้องไม่เกิน 10 เท่าของความหนาของรอยเชื่อม ความกว้างของร่องจะต้องไม่น้อยกว่าความหนาของชิ้นส่วนที่มีร่องบวกกับ 8 มม. ปัดเศษขึ้นให้เป็นจำนวนเต็มของ 1.5 มม. แต่ต้องไม่มากกว่า 2.25 เท่าของความหนาของรอยเชื่อม ที่ปลายของร่องจะต้องเป็นรูปครึ่งวงกลมหรือมีมุมมนที่มีรัศมีไม่น้อยกว่าความหนาของชิ้นส่วนที่มีร่อง ยกเว้นปลายซึ่งต่อไปถึงขอบของชิ้นส่วน
8. ความหนาของรอยเชื่อมแบบอุดรูหรืออุดร่อง ในวัสดุที่หนาไม่เกิน 16 มม. จะต้องเท่ากับความหนาของวัสดุ ในวัสดุที่หนามากกว่า 16 มม.ความหนาของรอยเชื่อมจะต้องไม่น้อยกว่า 0.5 เท่าของความหนาของวัสดุ แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 16 มม.

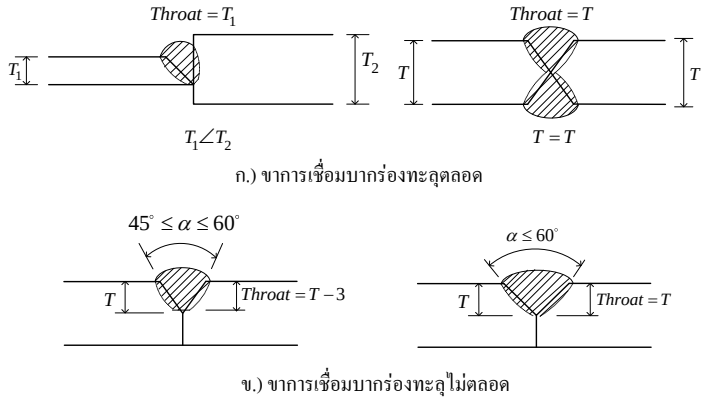
4.4 หน่วยแรงที่ยอมให้ (มาตรฐานของ วสท.1015-40) กำหนดไว้ ดังนี้

ตารางที่ 11.6 หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับรอยเชื่อม [a]

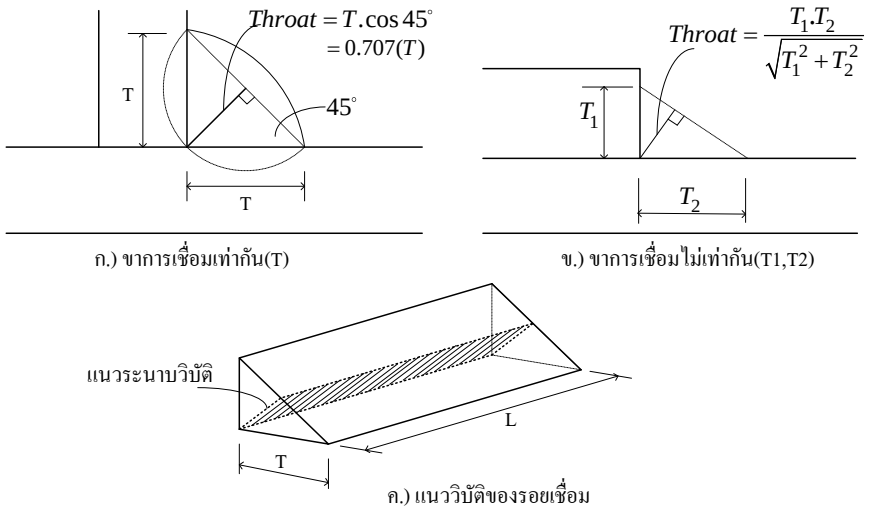
ประเภทของการเชื่อม และหน่วยแรง [a]	หน่วยแรงที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)	ระดับกำลังของรอยเชื่อมที่ต้องการ [a]
รอยเชื่อมแบบทะลุตลอด		
แรงดึงตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	เท่ากับโลหะที่นำมาเชื่อมต่อ	ใช้โลหะเชื่อมที่คู่กัน
แรงอัดตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	เท่ากับโลหะที่นำมาเชื่อมต่อ	ใช้โลหะเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่ากำลังโลหะเชื่อมที่คู่กันได้
แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแนวรอยเชื่อม	เท่ากับโลหะที่นำมาเชื่อมต่อ	
แรงเฉือนบนพื้นที่ประสิทธิผล	0.3xกำลังรับแรงดึงระบุของโลหะเชื่อม	
รอยเชื่อมบากร่องแบบลึกไม่ทะลุตลอด [a]		
แรงอัดตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	เท่ากับโลหะที่นำมาเชื่อมต่อ	ใช้โลหะเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่ากำลังโลหะเชื่อมที่คู่กันได้
แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแกนของแนวเชื่อม	เท่ากับโลหะที่นำมาเชื่อมต่อ	
แรงเฉือนขนานกับแกนของแนวเชื่อม	0.3xกำลังรับแรงดึงระบุของโลหะเชื่อม	
แรงดึงตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	0.3xกำลังรับแรงดึงระบุของโลหะเชื่อม โดยค่าหน่วยแรงดึงบนโลหะที่มาเชื่อมต่อ ต้องไม่เกิน 0.6xกำลังดึงของวัสดุที่มาเชื่อมต่อ	
รอยเชื่อมแบบทาบ		
แรงเฉือนบนพื้นที่ประสิทธิผล	0.3xกำลังรับแรงดึงระบุของโลหะเชื่อม	ใช้โลหะเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่ากำลังโลหะเชื่อมที่คู่กันได้
แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแนวแกน [a]	เท่ากับโลหะที่นำมาเชื่อมต่อ	
รอยเชื่อมแบบอุดรูและอุดร่อง		
แรงเฉือนขนานกับ faying surface (บนพื้นที่ประสิทธิผล)	0.3xกำลังรับแรงดึงระบุของโลหะเชื่อม	ใช้โลหะเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่ากำลังโลหะเชื่อมที่คู่กันได้

หมายเหตุ [a] ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในมาตรฐาน วสท.1015-40 หน้า 74

4.5 ขนาดของคอการเชื่อมประสิทธิผล



รูปที่ 11.10 การคำนวณหาขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล(Throat)แบบบากร่อง



รูปที่ 11.11 การคำนวณหาขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล (Throat) แบบเชื่อมทาบ

4.6 กำลังของการเชื่อมทาบ

เมื่อพิจารณารูปที่ 11.11 T = ขนาดของขาการเชื่อม (ซม.)

L = ความยาวของรอยเชื่อม (ซม.)

F_V = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อมบนระนาบ throat (กก./ตร.ซม.)

∴ กำลังของการเชื่อมทาบ = $0.707(T)(L)(F_V)$, กรณีขาการเชื่อมเท่ากัน

= $\frac{T_1T_2}{\sqrt{T_1^2+T_2^2}}(L)(F_V)$, กรณีขาการเชื่อมไม่เท่ากัน

หน่วยแรงเฉือนของลวดเชื่อมนั้นขึ้นอยู่กับมาตรฐานของลวดเชื่อม โดยใช้อักษรย่อ E (Electrodes) นำหน้าและตามหลังด้วยเลขบอกกำลังรับแรงดึงประลัยได้ของลวดเชื่อม เช่น E60 , E70 , E80 , E90 , E100 และ E110 kips/ตร.นิ้ว อธิบายได้ดังนี้

E60 หมายถึง ลวดเชื่อมที่มีความสามารถต้านทานแรงดึงประลัยได้ 60 kips/ตร.นิ้ว หรือ ประมาณ 4,200 กก./ตร.ซม. จึงเหมาะสำหรับใช้เชื่อมกับเหล็กโครงสร้าง เช่น ASTM-A36 , A500 , A529 เป็นต้น

E70 หมายถึง ลวดเชื่อมที่มีความสามารถต้านทานแรงดึงประลัยได้ 70 kips/ตร.นิ้ว หรือ ประมาณ 4,900 กก./ตร.ซม. จึงเหมาะสำหรับใช้เชื่อมกับเหล็กโครงสร้าง เช่น ASTM-A242 , A588 เป็นต้น

4.7 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม(Allowable shearing stress in a fillet weld, Fv)

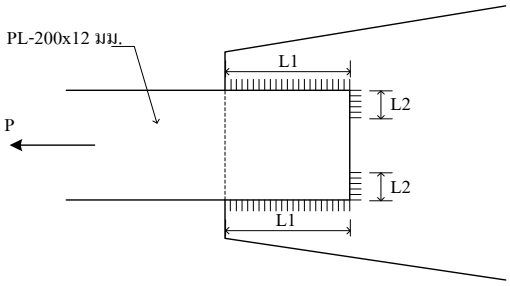
ตามตารางที่ 11.6 หน่วยแรงที่ยอมให้ , F_v = 0.3 x กำลังรับแรงดึงระบุของโลหะเชื่อม

ถ้าเป็นลวดเชื่อม E60 , หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ , F_v = 0.3x4,200 = 1,260 กก./ตร.ซม.

E70 , หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ , F_v = 0.3x4,900 = 1,470 กก./ตร.ซม.

E80 , หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ , F_v = 0.3x5,600 = 1,680 กก./ตร.ซม. เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 11.2 จงคำนวณออกแบบหาขนาดและความยาวของรอยเชื่อมที่แผ่นเหล็กนี้สามารถรับแรงดึงได้ปลอดภัย ดังรูปข้างล่างนี้ กำหนดให้ หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม E60 , F_v = 1,260 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กรูปพรรณ , F_t = 1,440 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 11.13 รอยต่อรับแรงดึงเชื่อมอ้อมปลาย

วิธีทำ

แรงดึงที่แผ่นเหล็กสามารถรับได้ , P = t.d.F_t = 1.2x20x1,440 = 34,560 กก.

จากข้อกำหนด ถ้าวัสดุมีความหนาตั้งแต่ 6 มม.ขึ้นไป ขนาดใหญ่สุดของรอยเชื่อม ไม่ควรเกินความหนาวัสดุลบด้วย 1.5 มม.

∴ ขนาดขาการเชื่อมที่ต้องการ , T = 1.2 - 0.15 = 1.05 ⟹ 1 ซม.

กำลังรับแรงดึงของการเชื่อมทาบ = (0.707T)(F_v) = 0.707x1x1,260 = 891 กก./ซม.

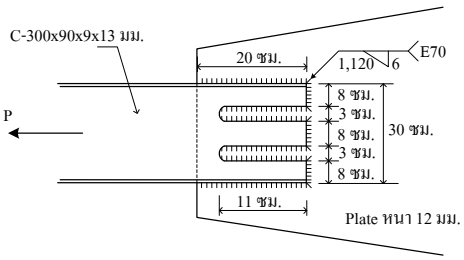
ความยาวรอยเชื่อมที่ต้องการ , $L = \frac{34,560}{891} = 38.79 \Rightarrow 40$ ซม.

แบ่งความยาวรอยเชื่อมสองด้านเท่ากัน , $L_1 = \frac{40}{2} = 20$ ซม.

จากข้อกำหนด รอยเชื่อมแบบทาบด้านข้างที่สิ้นสุดที่ปลายของบางส่วนหรือของทั้งองค์อาคาร จะต้องเชื่อมอ้อมกลับอย่างต่อเนื่องรอบมุมเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดระบุของรอยเชื่อม

∴ ต้องเชื่อมอ้อมปลาย , L_2 = 2x1 = 2 ซม.

ตัวอย่างที่ 11.4 เหล็กตัวซีรางน้ำ C300x90x9x13 มม. ยึดรอยต่อดังรูปข้างล่างนี้ โดยระยะจับยึดจำกัดเพียง 20 ซม. จงคำนวณหาแรงดึงที่รอยต่อนี้สามารถรับได้ ขนาดและความยาวรอยเชื่อมที่ต้องการ กำหนดให้ หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม E70 , F_v = 1,470 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กรูปพรรณ , F_t = 1,440 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 11.15 ความยาวรอยเชื่อมทาบแบบบากร่อง

วิธีทำ

เหล็กตัวซีรางน้ำ C300x90x9x13 มม. , A = 48.57 ตร.ซม. , t_w = 0.9 ซม.

แรงดึงที่เหล็กตัวซีสามารถรับได้ , P = $A.F_t$ = 48.57x1,440 = 69,941 กก.

ขนาดขาการเชื่อมที่ต้องการ , T = 0.9 - 0.15 = 0.75 $\Rightarrow$ 0.6 ซม.

$\therefore$ ความยาวประสิทธิผลของรอยเชื่อมที่ต้องการ = $\frac{P}{(0.707T)(F_v)}$ = $\frac{69,941}{0.707x0.6x1,470}$ = 112 ซม.

แต่ความยาวของจุดต่อที่ให้เชื่อมได้ = 20 + 30 + 20 = 70 ซม.

$\therefore$ ความยาวรอยเชื่อมที่ยังขาดหายไป = 112 - 70 = 42 ซม.

ถ้าบากร่องเหล็กตัวซีเพิ่มอีกสองร่อง ก็จะได้ความยาวรอยเชื่อมเพิ่มมาอีก 4 แถว

$\therefore$ ความยาวรอยเชื่อมที่ได้เพิ่มมา/แถว = $\frac{42}{4}$ = 10.5 $\Rightarrow$ 11 ซม.

ความกว้างต่ำสุดของร่องไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของความหนาชิ้นส่วนโครงสร้างที่บากร่อง

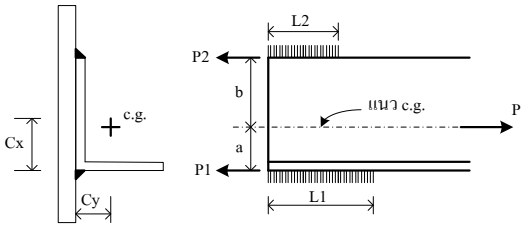
$\therefore$ ความกว้างต่ำสุดของร่อง = 3x0.9 = 2.7 $\Rightarrow$ 3 ซม.

ระยะห่างระหว่างร่องต่ำสุดไม่ควรน้อยกว่า 2 เท่าของความหนาชิ้นส่วนโครงสร้างที่บากร่อง

$\therefore$ ระยะห่างระหว่างร่องต่ำสุด = 2x0.9 = 1.8 $\Rightarrow$ 8 ซม.

4.8 การออกแบบรอยเชื่อมรับแรงเยื้องศูนย์

กรณีแนวแรงที่กระทำไม่ได้อยู่ในแนวศูนย์ถ่วงการเชื่อม การออกแบบรอยเชื่อมจะต้องจัดให้จุดศูนย์ถ่วงของการเชื่อมอยู่ในแนวเดียวกันกับจุดศูนย์ถ่วงของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ



รูปที่ 11.18 แสดงแนวศูนย์ถ่วงของเหล็กฉาก

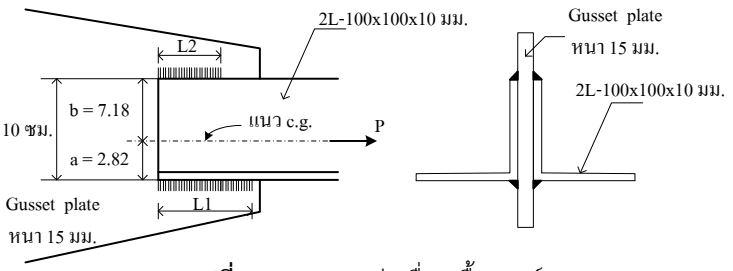
กรณีของเหล็กฉากจะเห็นได้ว่าแนวศูนย์ถ่วง (c.g.) ของเหล็กฉากไม่ได้อยู่ในแนวศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อม ฉะนั้นความยาวของการเชื่อมจึงยาวไม่เท่ากันทั้งสองข้าง ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาความยาวของรอยเชื่อม ดังนี้

$P_1 = \frac{P(b)}{a+b}$, ความยาวรอยเชื่อม $L_1 = \frac{P_1}{P_w}$

$P_2 = \frac{P(a)}{a+b}$, ความยาวรอยเชื่อม $L_2 = \frac{P_2}{P_w}$

เมื่อ P_w = กำลังของการเชื่อมต่อหนึ่งหน่วยความยาว.....(กก./ซม.)

ตัวอย่างที่ 11.7 รอยต่อเหล็กฉากคู่ ดังรูปข้างล่างนี้ จงคำนวณหาแรงดึงที่เหล็กฉากคู่สามารถรับได้ ขนาดและความยาวรอยเชื่อมที่ต้องการ กำหนดให้ หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม E70 , F_v = 1,470 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กรูปพรรณ , F_t = 1,440 กก./ตร.ซม.



รูปที่ 11.19 รอยต่อเชื่อมเยื้องศูนย์

วิธีทำ

เหล็กฉาก L100x100x10 มม. A = 19 ตร.ซม. C_x ,C_y = a = 2.82 ซม. b = 7.18 ซม. t = 1 ซม.

แรงดึงที่เหล็กฉากคู่สามารถรับได้ , 2P = 2(A)(F_t) = 2x19x1,440 = 54,720 กก.

∴ แรงดึงที่เหล็กฉากแต่ละตัวรับได้ , $P = \frac{54,720}{2} = 27,360$ กก.

ขนาดขาการเชื่อมที่ต้องการ , T = 1 - 0.15 = 0.85 ⟹ 0.8 ซม.

กำลังการเชื่อม ต่อ 1 ซม. , P_w = 0.707x0.8x1x1,470 = 831 กก./ซม.

ความยาวรอยเชื่อมที่ต้องการ $L_1 = \frac{P(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{27,360x7.18/2.82+7.18}{831} = 23.64$ ซม.

ความยาวรอยเชื่อมที่ต้องการ $L_2 = \frac{P(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{27,360x2.82/2.82+7.18}{831} = 9.29$ ซม.

∴ ความยาวรอยเชื่อมรวม (L_1+ L_2) = 23.64 + 9.29 = 32.93 ซม.

ถ้าต้องการเชื่อมที่ปลายของเหล็กฉากตลอดความยาว เท่ากับ 10 ซม.

∴ ความยาวรอยเชื่อมรวมคงเหลือ = 32.93 - 10 = 22.93 ซม.

คำนวณหาความยาวรอยเชื่อม L_1 , L_2 ใหม่ ดังนี้

Taking moment ที่จุดมุมฉากของ L_2 เพื่อหาความยาวรอยเชื่อม L_1

$$L_1(831)(10) + (831x10x\frac{10}{2}) = 27,370x7.18$$

$$L_1 = \frac{(27,370x7.18)-(831x10x10/2)}{(831x10)} = 18.65 \text{ ซม.}$$

$$L_2 = 22.93 - 18.65 = 4.28 \text{ ซม.}$$

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 11 การจำแนกลักษณะการเชื่อม สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบและหน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 11 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 11 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 11 เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม ในหนังสือแบบเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 11 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 11
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 11
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 11 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11 เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 11 เรื่อง การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....
(.....)
ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....
(.....)
ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 11 การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 11 การออกแบบจุดยึดด้วยการเชื่อม

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103				**วิทยาลัย**			
ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**.....				**ครู**			
ที่	**รายการประเมิน**	***คะแนนแบบ** ทดสอบ		****คะแนนแบบ** ประเมินผลการเรียนรู้		***ข้อที่**	****ข้อที่**
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	การจำแนกลักษณะการเชื่อม						
2	สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม และข้อกำหนดการเชื่อม						
3	หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อม						
4	ขนาดคอการเชื่อมประสิทธิผล และกำลังของการเชื่อมทาบ						
5	หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดเชื่อม						
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 12	หน่วยที่ 12
	ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	เวลาเรียนรวม 54 ชม.
	ชื่อหน่วย การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss)	สอนครั้งที่ 17-18/18
ชื่อเรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss)		จำนวน 6 คาบ

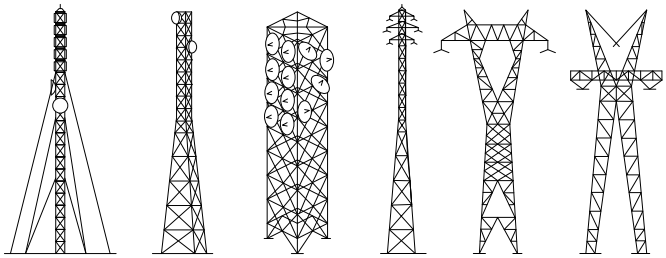
1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุนเหล็ก(Steel Truss)
1.2 ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก
1.3 การกำหนดขนาดของแปเหล็ก
1.4 การคำนวณขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก

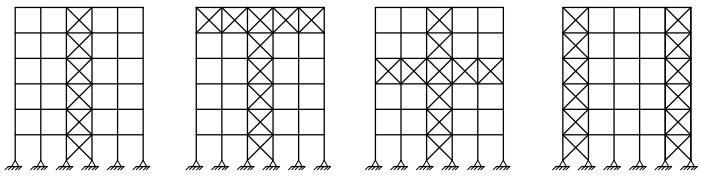
2. สาระสำคัญ

โครงถักหรืออาจเรียกว่าโครงข้อหมุน (Truss) เป็นโครงสร้างที่นำเอาชิ้นส่วนที่เป็นท่อนหรือชิ้นมาประกอบยึดเข้ากันเป็นรูปสามเหลี่ยม ต่อกันไปเรื่อยๆเป็นรูปร่างต่างๆเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักต่างๆตามที่ต้องการได้ ทำให้ได้โครงถักที่มีน้ำหนักเบา ได้ช่วงกว้างโดยไม่ต้องมีเสามาแบกรับมากมาย หรือสร้างได้สูงโดยไม่ต้องมีค้ำยันภายนอก เนื่องจากโครงถักเป็นโครงค้ำยันกันในตัวอยู่แล้ว

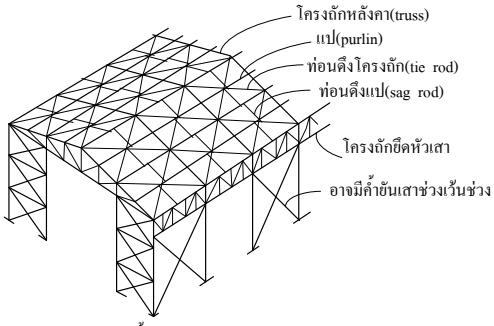
จากคุณลักษณะที่ดีหลายอย่างของโครงถัก เช่น โครงถักที่มีน้ำหนักเบา ก่อสร้างได้ช่วงกว้างโดยไม่ต้องมีเสามาแบกรับในระหว่างช่วงกลาง หรือสร้างได้สูงโดยไม่ต้องมีค้ำยันภายนอกให้กีดขวาง ทำให้มีการนำไปใช้ในงานก่อสร้างอาคารหลายรูปแบบ ดังนี้



รูปแสดง โครงถักในงานอุตสาหกรรมต่างๆ

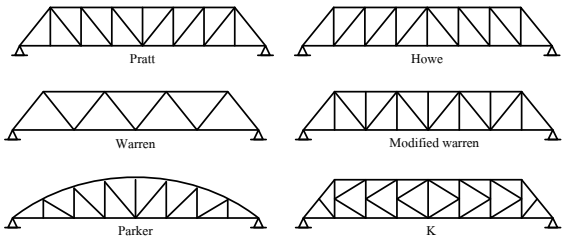


ก.) การเสริมโครงถักในงานอาคารสูงที่เป็นโครงสร้างเหล็ก

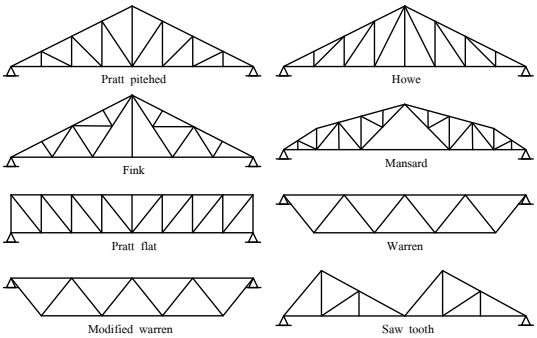


รูปแสดง การเสริมโครงถักในงานโครงสร้างอาคาร

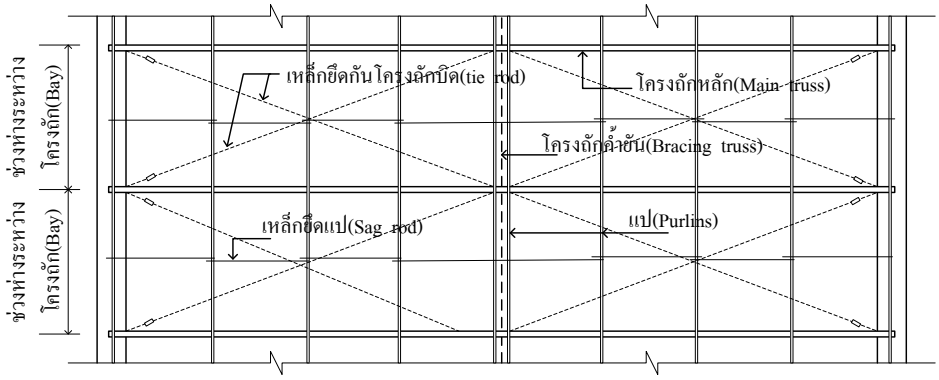
ข.) การเสริมโครงถักค้ำยันในงานอาคารช่วงกว้าง เช่น โรงงาน, คลังสินค้า



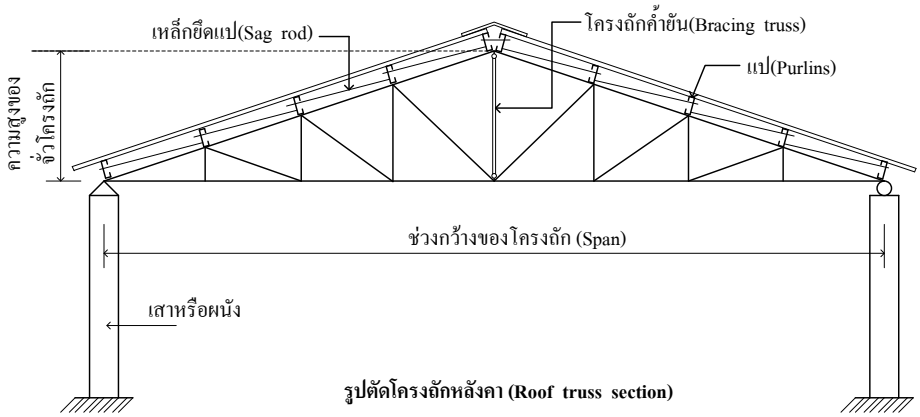
รูปแสดง โครงถักรูปแบบต่างๆในงานสะพานข้ามแม่น้ำ/ข้ามทางรถไฟ



รูปแสดง โครงถักรูปแบบต่างๆในงานโครงหลังคาของอาคารโรงงาน/โรงยิมเนเซียม/ห้างสรรพสินค้า



แปลนโครงหลังคาเหล็ก (Roof truss plan)



รูปตัดโครงถักหลังคา (Roof truss section)

รูปที่ 12.1 ส่วนประกอบต่างๆของโครงถักหลังคา

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุนเหล็ก(Steel Truss) ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก การกำหนดขนาดของแปเหล็ก และการคำนวณขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก

2. ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการเกี่ยวกับ เกี่ยวกับ ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุนเหล็ก(Steel Truss) ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก การกำหนดขนาดของแปเหล็ก และการคำนวณขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก

3. ผู้เรียนมีเจตคติเกี่ยวกับ เกี่ยวกับ ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุนเหล็ก(Steel Truss) ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก การกำหนดขนาดของแปเหล็ก และการคำนวณขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก

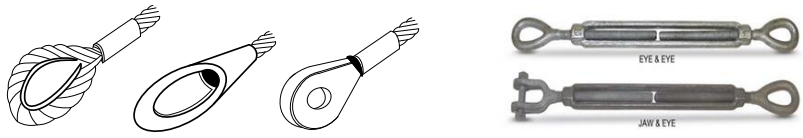
4. สาระการเรียนรู้

4.1 ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงสร้างหลังคา

ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงสร้างหลังคา ที่ทำหน้าที่ยึดโยงโครงหลังคาในแนวระนาบ เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้างหลังคาเกิดการบิดเบี้ยวจากแรงลมหรือแรงกระทำด้านข้าง เรียกว่า Tie rod หรือ Bracing

ถ้าเป็น Tie rod มักใช้วัสดุเป็นลวดสลิง ยึดเป็นรูปกากบาทจากหัวเสาข้างหนึ่งไขว้ไปอีกหัวเสาข้างหนึ่ง และมีเกลียวเร่ง (Turn Buckle) เป็นอุปกรณ์ขันให้ tie rod อยู่ในสภาพที่ตึงตลอดเวลา

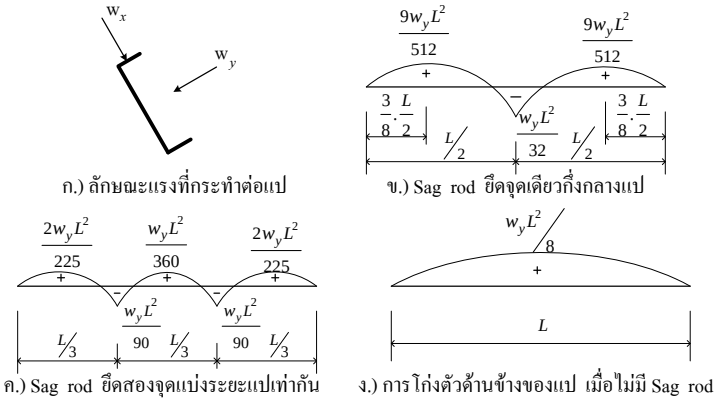
แต่ถ้าเป็น Bracing มักเป็นโครงถักรอง(Sub Truss) ทำหน้าที่ยึดหรือยันระหว่างโครงถักหลัก(Main Truss) เพื่อให้โครงถักหลักตั้งมั่นในแนวดิ่ง ไม่ล้มหรือไม่แกว่ง ตั้งอยู่ในแนวตรงตามที่กำหนด โดยทั่วไปโครงถักรองมักติดตั้งห่างกันโดยประมาณ 8.00 – 12.00 เมตร



ก.) ลักษณะรูปแบบลวดสลิง ข.) เกลียวเร่ง

รูปที่ 12.2 ลวดสลิงยึดโยงโครงหลังคา(Tie rod) และเกลียวเร่ง(Turn Buckle)

ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงสร้างหลังคา อีกชิ้นหนึ่ง คือ ท่อนเหล็กที่ทำหน้าที่ยึดแป(Sag rod) เพื่อไม่ให้แป โก่งทางด้านข้าง หรือไม่ให้แป ล้มทางด้านข้าง มาตรฐาน AISC กำหนดให้ Sag rod ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า ∅ 5/8” หรือ ∅ 15 มม. และไม่จำเป็นต้องตรวจสอบการโก่งตัวของ Sag rod



รูปที่ 12.3 แสดงการโก่งด้านข้างของแป

4.2 การกำหนดขนาดของแป(Purlins)

แป(Purlins) จัดเป็นโครงสร้างประเภทคาน ใช้รองรับวัสดุมุงหลังคา เช่นกระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องลูกฟูก ระยะห่างของแปโดยทั่วไปประมาณ @ 1.00 เมตร แต่ถ้าเป็นวัสดุมุงที่เป็นแผ่นโลหะบางๆ(Metal sheet) ซึ่งมีน้ำหนักเบามาก ระยะห่างของแปก็สามารถห่างได้มากขึ้นอีกประมาณ @1.20 – 3.00 เมตร(ดูตารางที่ 12.2)

ปัจจุบันนี้ในงานโครงหลังคาเหล็กนิยมใช้เป็นแปเหล็กตัวซีบางหรือเหล็กกล่อง ขนาดโดยทั่วไปสามารถประมาณการเบื้องต้นได้ดังนี้ เช่น

C – 75 x 40 x 15 x 2.3 mm. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 3 เมตร

C – 100 x 50 x 20 x 3.2 mm. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 4 เมตร

C – 125 x 50 x 20 x 3.2 mm. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 5 เมตร

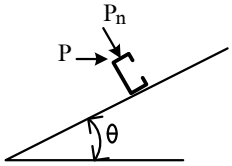
C – 150 x 50 x 20 x 3.2 mm. สำหรับช่วงห่างของจันทันหรือโครงถัก ไม่เกิน 6 เมตร เป็นต้น

หลังจากนั้น จึงทำการคำนวณตรวจสอบหาขนาดที่แท้จริงของแปที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยต่อไป

4.3 การคำนวณแรงลมที่กระทำต่อหลังคา

สูตรสำเร็จของ Duchemin's Formula

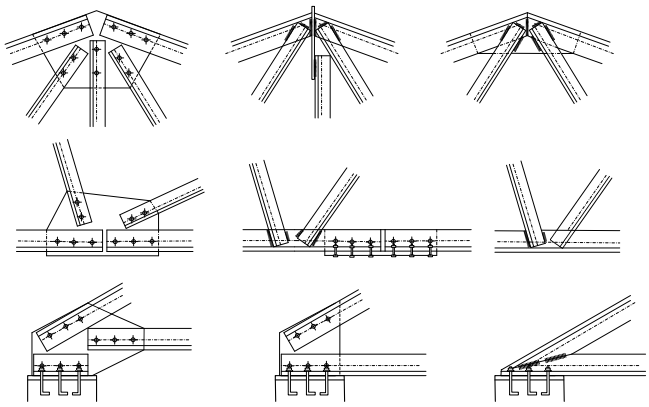
$$P_n = \frac{P\,(2\sin\theta)}{(1+\sin^2\theta)}$$



เมื่อ P_n = แรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแนวหลังคา.....กก./ตร.ม.

P = แรงลมตามแนวระนาบตามที่กฎกระทรวงฯกำหนดไว้

θ = มุมเอียงลาดของหลังคาเป็นองศา



รูปที่ 12.4 รูปแบบต่างๆของการยึดรอยต่อโครงถักหลังคาด้วยสลักเกลียวหรือการเชื่อม

จากมาตรฐาน วสท.1018-46 (มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคาร,พิมพ์ครั้งที่ 2) ได้กำหนดวิธีการคำนวณแรงลมร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ โดยการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน จะต้องออกแบบให้ค่าหน่วยแรงสูงสุดในองค์อาคารที่พิจารณา อันเป็นผลมาจากการรวมแรงลมสถิตเทียบเท่า(W) เข้ากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ (D) และน้ำหนักบรรทุกจร (L) ในรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ต้องมีค่าไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้

รูปแบบที่ 1 D + W

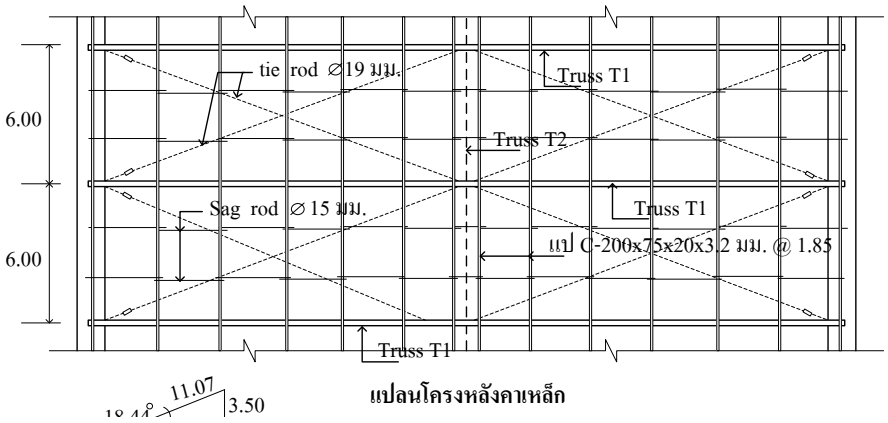
รูปแบบที่ 2 D + W + L

(กรณีรูปแบบที่ 2 ให้ปรับค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ให้เพิ่มขึ้นได้อีก ร้อยละ 33)

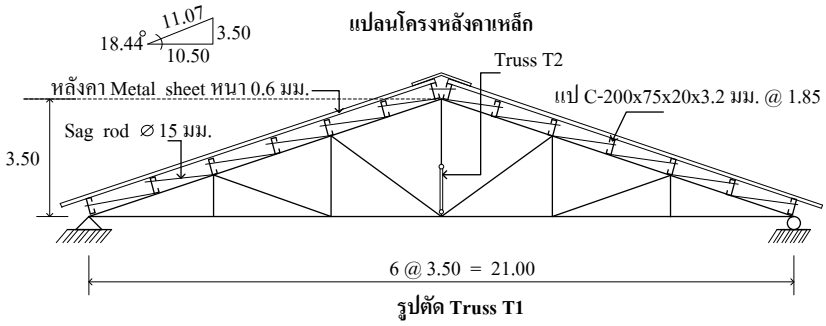
สำหรับนักศึกษาที่สนใจอย่างละเอียด ให้ศึกษาเพิ่มเติมจาก มาตรฐาน วสท.1018-46 ดังกล่าวข้างต้น สำหรับตัวอย่างการคำนวณต่างๆในบทนี้ จะแสดงด้วยวิธีการคำนวณแบบธรรมดาก่อน เพื่อให้เข้าใจพื้นฐานแล้วจึงนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ตัวอย่างที่ 12.1 จากแบบแปลนโครงสร้างหลังคา ตามรูปข้างล่างนี้ จงคำนวณหาขนาดของแป และท่อนเหล็กรับแรงดึงยึดแป(Sag rod) กำหนดให้ใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของ Sag rod , F_t = 900 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงคลากของเหล็กรูปพรรณ , F_y = 2,400 กก./ตร.ซม.



แปลนโครงหลังคาเหล็ก



รูปที่ 12.5 แบบแปลนโครงสร้างหลังคา

วิธีทำ

ความยาวเอียงลาดของหลังคา = $\sqrt{a^2+b^2}$ = $\sqrt{3.5^2+10.5^2}$ = 11.07 ม.

มุมเอียงลาดของหลังคา , θ = $\tan^{-1}\frac{a}{b}$ = $\tan^{-1}\frac{3.5}{10.5}$ = 18.44 องศา

สมมุติให้น้ำหนักวัสดุหลังคา = น้ำหนักวัสดุมุงหลังคา+น้ำหนักจร+อื่นๆ เช่น ฝ้า ,โคมไฟ

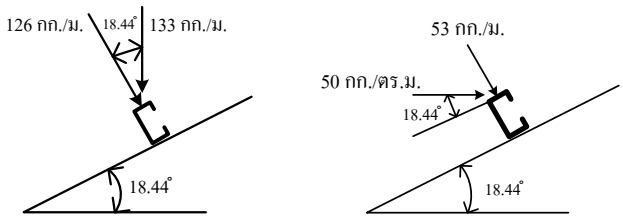
= 10 + 30 + 20 = 60 กก./ตร.ม.

ถ้ากำหนดให้จัดวางระยะห่างของแป @ 1.85

น้ำหนักแนวดิ่งที่ถ่ายลงแปต่อ 1 ตัว = 60x1.85 = 111 กก./ม.

ให้เผื่อน้ำหนักแป อีกประมาณ 20% = 111x1.20 = 133 กก./ม.

น้ำหนักที่ตั้งฉากกับแป 1 ตัว = 133 cos18.44° = 126 กก./ม.

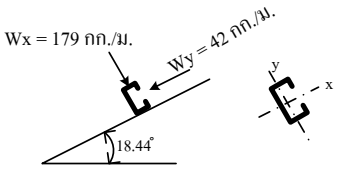


ถ้ากำหนดให้แรงลมแนวราบที่ความสูงไม่เกิน 10 ม. = 50 กก./ตร.ม.

แรงลมที่กระทำตั้งฉากกับแป 1 ตัว = $\frac{P(2\sin\theta)}{(1+\sin^2\theta)}$ = $\frac{50(2\sin 18.44^o)}{(1+\sin^2 18.44^o)}$ x 1.85 = 53 กก./ม.

∴ รวมน้ำหนักที่กระทำตั้งฉากกับแป , w_x = 126 + 53 = 179 กก./ม.

น้ำหนักที่กระทำต่อแป ในแนวขนานกับหลังคา , w_y = 133 sin18.44° = 42 กก./ม.



โมเมนต์ดัดในแนวตั้งฉากกับแป , M_x = $\frac{w_x L^2}{8}$ = $\frac{179 \times 6^2}{8}$ = 806 กก.-ม.

โมเมนต์ดัดในแนวขนานกับหลังคา , M_y = $\frac{w_y L^2}{90}$, เมื่อ Sag-rod มีจุดยึดสองจุด

= $\frac{42 \times 6^2}{90}$ = 17 กก.-ม.

ลองเลือกใช้ แป C-200x75x20x4 มม., S_x = 87.1 ซม.^{3} , S_y = 18.9 ซม.^{3} , I_x = 871 ซม.^{4} , I_y = 100 ซม.^{4}

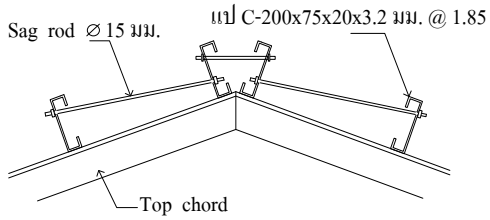
f_{bx} = $\frac{M}{S_x}$ = $\frac{806 \times 100}{87.1}$ = 925 กก./ตร.ซม.

f_{by} = $\frac{M}{S_y}$ = $\frac{17 \times 100}{18.9}$ = 90 กก./ตร.ซม.

$$\frac{f_{bx}}{0.6F_y} + \frac{f_{by}}{0.75F_y} = \frac{925}{0.6 \times 2{,}400} + \frac{90}{0.75 \times 2{,}400} = 0.69 < 1$$ **ใช้ได้**

ตรวจสอบการโก่งแนวแกน x ที่ยอมให้ , $\Delta_{allowable} = \frac{L}{240} = \frac{600}{240} = 2.50$ ซม.

การโก่งแนวแกน x ที่เกิดขึ้นจริง , $\Delta_{actual} = \frac{5w_x L^4}{384EI_x} = \frac{5 \times \left(179/100\right) \times 600^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 871} = 1.65$ ซม. < 2.50 ซม. **ใช้ได้**



รูปที่ 12.6 แสดงการยึดเหนี่ยวด้านข้าง และขนาดของ Sag rod

คำนวณหาขนาดท่อนรับแรงดึง (Sag rod) ที่ยึดแปจำนวน 2 แถว

แรงดึงใน Sag rod ต่อ 1 แถว $= \frac{42 \times 6}{2} \times 11.07$

$= 1{,}395$ กก.

พื้นที่หน้าตัดของ Sag rod ที่ต้องการ :

$$A_{net} = P_t/F_t = \frac{1{,}395}{900} = 1.55 \text{ ตร.ซม.}$$

แต่แรงดึงรวมของ sag rod ตัวบนสุด มีค่าเท่ากับ :

$$= \frac{11.07}{10.50} \times 1{,}395 = 1{,}471 \text{ กก.}$$

$$A_{net} = P_t/F_t = \frac{1{,}471}{900} = 1.63 \text{ ตร.ซม.}$$

∴ เลือกใช้ Sag rod ขนาด ∅ 15 มม. , $A_g = \frac{\pi 1.5^2}{4} = 1.77$ ตร.ซม. > 1.63 ตร.ซม. **ใช้ได้**

ตัวอย่างที่ 12.2 จากแบบแปลนโครงสร้างหลังคา ตามตัวอย่างที่ 12.1

จงคำนวณหา 1.) ขนาดของชิ้นส่วนโครงถักหลัก (Truss T1) ที่เป็นเหล็กฉากขาเท่ากัน

2.) ออกแบบรอยต่อยึดด้วยสลักเกลียว ที่จุดต่อ A , E , J และ B

3.) ออกแบบรอยต่อยึดด้วยรอยเชื่อม ที่จุดต่อ A , E , J และ B

4.) ขนาดของชิ้นส่วนโครงถักรอง (Truss T2) ที่เป็นเหล็กฉากขาเท่ากัน

กำหนดให้ หน่วยแรงคลากของเหล็กรูปพรรณ , F_y = 2,400 กก./ตร.ซม. F_t = 1,440 กก./ตร.ซม. E = 2.1×10^6 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้แบบรับแรงแบกทานของสลักเกลียว A325 , F_v = 2,100 กก./ตร.ซม. หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของสลักเกลียว , F_p = 5,040 กก./ตร.ซม.

วิธีทำ

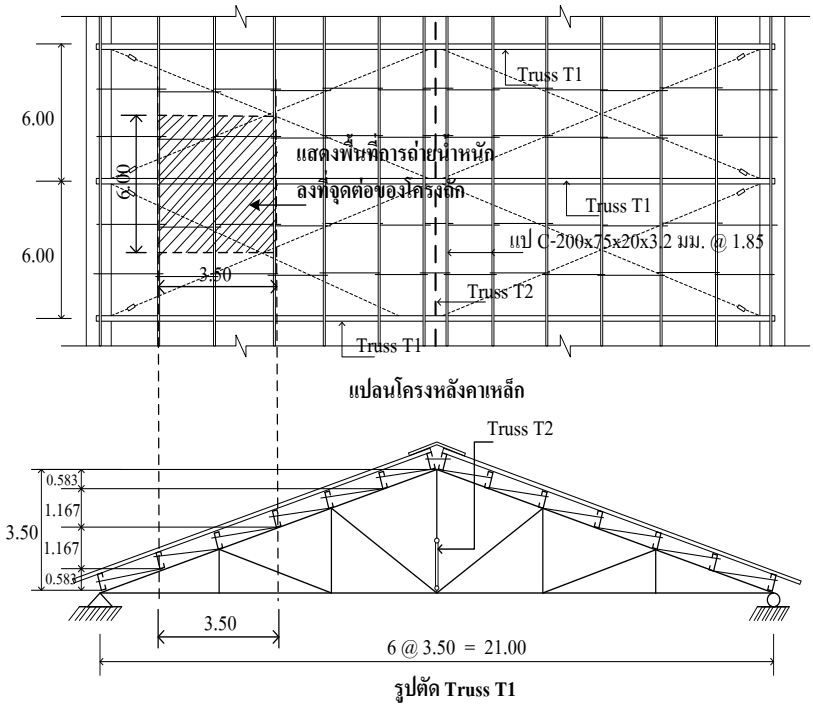
โครงถักหลังคา(Truss T1) มีระยะห่างกัน 6.00 เมตร

จุดต่อของชิ้นส่วนแต่ละจุดห่างกัน 3.50 เมตร ความสูงของโครงถัก 3.50 เมตร

การคำนวณหาน้ำหนักกระทำต่อโครงถัก ต้องกระทำให้ลงที่จุดต่อแต่ละจุดเท่านั้น

∴ น้ำหนักวัสดุหลังคาในแนวดิ่ง = 60x6x3.5 = 1,260 กก.

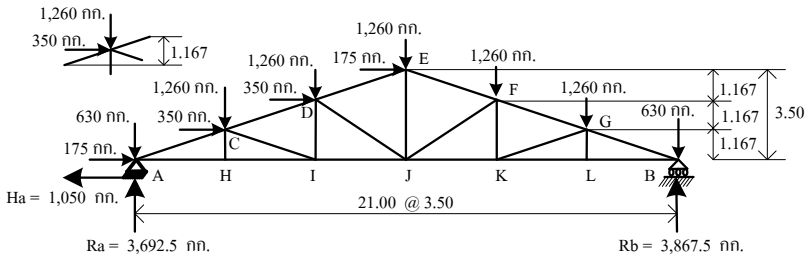
แรงลมแนวราบ = 50x6x1.167 = 350 กก.



รูปที่ 12.7 แสดงพื้นที่การถ่ายน้ำหนักลงที่จุดต่อของโครงถักหลัก(Truss T1)

การกำหนดทิศทางของแรงลม อาจจะพัดจากด้านซ้ายหรือด้านขวาของหลังคาก็ได้ แต่การคำนวณจะกำหนดให้ลมพัดเข้าหลังคาเพียงข้างเดียวเท่านั้น

คำนวณหาแรงต้านทานภายในชิ้นส่วนโครงถักหลัก ได้ผลสรุปดังนี้



รูปที่ 12.8 แสดงแรงกระทำต่อจุดต่อของโครงถักหลัก(Truss T1)

ตารางที่ 12.5 แสดงแรงต้านทานภายในชิ้นส่วนต่างๆของ Truss T1

Top Chords , (กก.)	Lower Chords , (กก.)	Web/Verticals , (กก.)	Diagonals , (กก.)
AC = 11,072 (แรงอัด)	**AH = 11,378 (แรงดึง)**	CH = 0	CI = 2,413 (แรงอัด)
CD = 9,027 (แรงอัด)	HI = 11,378 (แรงดึง)	DI = 854 (แรงดึง)	**DJ = 2,801 (แรงอัด)**
DE = 6,940 (แรงอัด)	IJ = 9,089 (แรงดึง)	**EJ = 3,117 (แรงดึง)**	FJ = 2,590 (แรงอัด)
EF = 7,125 (แรงอัด)	JK = 8,914 (แรงดึง)	FK = 795 (แรงดึง)	GK = 2,228 (แรงอัด)
FG = 9,396 (แรงอัด)	KL = 11,028 (แรงดึง)	GL = 0	
GB = 11,625 (แรงอัด)	LB = 11,028 (แรงดึง)		

<u>1.) คำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนโครงถักหลัก(Truss T1)ที่เป็นเหล็กฉากขาเท่ากัน</u>

การคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนโครงถัก เพื่อความง่ายและสะดวกในการปฏิบัติงาน จึงเลือกพิจารณาเฉพาะชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุดในแต่ละส่วน และเมื่อคำนวณได้ขนาดของชิ้นส่วนแล้ว ก็ให้ใช้ขนาดชิ้นส่วนนั้นเท่ากันตลอด ดังนี้

<u>Top Chords</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 11,625 กก.(แรงอัด)

ความยาวของ Top Chords แต่ละท่อน = $\sqrt{1.167^2+3.5^2}$ = 3.69 เมตร = 369 ซม.

สมมุติเลือกใช้เหล็กฉาก 2-L100x100x7 มม. A = 13.62x2 = 27.24 ตร.ซม. r = 3.08 ซม.

ตรวจสอบอัตราส่วนชะลูด $\frac{KL}{r} = \frac{1x369}{3.08} = 120 < C_C = 131$

จากตารางที่ 8.3 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ F_a = 727 กก./ตร.ซม.

แรงต้านทานที่รับได้ = F_a(A) = 727x27.24 = 19,804 กก. > 11,625 กก. **ใช้ได้**

∴ เหล็กฉาก 2-L100x100x7 มม. ที่เลือกใช้สามารถรับแรงอัดที่กระทำได้อย่างปลอดภัย

<u>Lower Chords</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 11,378 กก.(แรงดึง)

ความยาวของ Lower Chords แต่ละท่อน = 3.50 เมตร = 350 ซม.

ประมาณเนื้อที่หน้าตัดเหล็กที่ต้องการ $A_{net} = \frac{P_t}{F_t} = \frac{11,378}{1,440} = 7.90$ ตร.ซม.

ให้เผื่อหน้าตัดเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20% (กรณีเจาะยึดด้วยสลักเกลียว) = 1.20 x 7.90 = 9.48 ตร.ซม.

สมมุติเลือกใช้เหล็กฉาก 2 - L75x75x6 มม. A = 8.72x2 = 17.44 ตร.ซม. r = 2.30 ซม.

เหล็กฉากยึดด้วยขาข้างเดียว ส่วนอีกขาหนึ่งไม่ได้ยึดให้คิดพื้นที่หน้าตัดเพียงครึ่งเดียว

∴ เนื้อที่หน้าตัดที่เหล็กฉากสุทธิ , A_{net} = (8.72 x 0.75) x 2 = 13.08 ตร.ซม. > 9.48 ตร.ซม. **ใช้ได้**

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด = $\frac{L}{r_{min.}} \le 300 = \frac{350}{2.30} = 152 < 300$ **ใช้ได้**

แรงต้านทานที่รับได้ = F_t (A) = 1,440 x 13.08 = 18,835 กก. > 11,378 กก. **ใช้ได้**

∴ เหล็กฉาก 2 - L75 x 75 x 6 มม. ที่เลือกใช้สามารถรับแรงดึงที่กระทำได้อย่างปลอดภัย

ในทางปฏิบัติทั่วไป มักเลือกใช้ขนาดของ Top Chords และ Lower Chords เป็นขนาดเดียวกัน

∴ จึงเปลี่ยนเป็นเหล็กฉาก 2 - L100 x 100 x 7 มม. ให้เท่ากันกับ Top chords

<u>Web/Verticals Chords</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 3,117 กก.(แรงดึง)

ความยาวของ Web Chords ท่อนที่เกิดแรงดึงนี้ = 3.50 เมตร = 350 ซม.

ประมาณเนื้อที่หน้าตัดเหล็กที่ต้องการ $A_{net} = \frac{P_t}{F_t} = \frac{3,117}{1,440} = 2.16$ ตร.ซม.

ให้เผื่อหน้าตัดเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20% (กรณีเจาะยึดด้วยสลักเกลียว) = 1.20 x 2.16 = 2.59 ตร.ซม.

สมมุติเลือกใช้เหล็กฉาก 2 - L50 x 50 x 4 มม. A = 3.89 x 2 = 7.78 ตร.ซม. r = 1.53 ซม.

เหล็กฉากยึดด้วยขาข้างเดียว ส่วนอีกขาหนึ่งไม่ได้ยึดให้คิดพื้นที่หน้าตัดเพียงครึ่งเดียว

∴ เนื้อที่หน้าตัดที่เหล็กฉากสุทธิ , A_{net} = (3.89 x 0.75) x 2 = 5.84 ตร.ซม. > 2.59 ตร.ซม. **ใช้ได้**

ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลูด = $\frac{L}{r_{min.}} \le 300 = \frac{350}{1.53} = 229 < 300$ **ใช้ได้**

แรงต้านทานที่รับได้ = F_t (A) = 1,440x5.84 = 8,410 กก. > 3,117 กก. **ใช้ได้**

∴ เหล็กฉาก 2 - L50 x 50 x 4 มม. ที่เลือกใช้สามารถรับแรงดึงที่กระทำได้อย่างปลอดภัย

<u>Diagonals Chords</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 2,801 กก.(แรงอัด)

ความยาวของ Diagonals Chords ท่อนที่เกิดแรงอัดนี้ = $\sqrt{2.33^2 + 3.5^2}$ = 4.21 เมตร = 421 ซม.

สมมุติเลือกใช้เหล็กฉาก 2 - L75 x 75 x 6 มม. A = 8.72x2 = 17.44 ตร.ซม. r = 2.30 ซม.

ตรวจสอบอัตราส่วนชะลูด $\frac{L}{r} = \frac{421}{2.30} = 183 > C_C = 131$

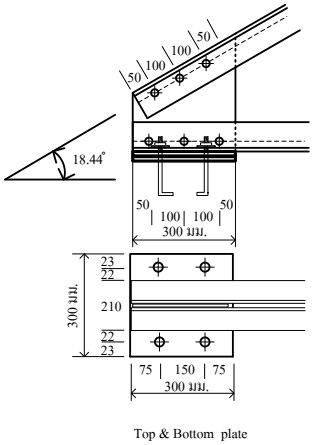
จากตารางที่ 8.4 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ F_a = 323 กก./ตร.ซม.

แรงต้านทานที่รับได้ = F_a (A) = 323 x 17.44 = 5,633 กก. > 2,801 กก. **ใช้ได้**

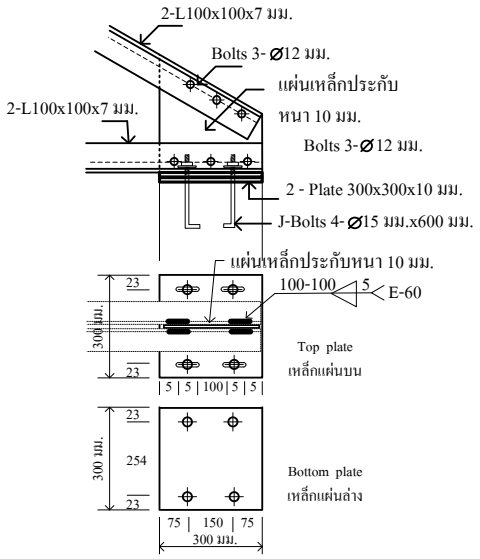
∴ เหล็กฉาก 2 - L75 x 75 x 6 มม. ที่เลือกใช้สามารถรับแรงอัดที่กระทำได้อย่างปลอดภัย

2.) ออกแบบรอยต่อยึดด้วยสลักเกลียว ที่จุดต่อ A , E , J และ B

การออกแบบอุปกรณ์ยึด ในโครงถักหลังคาที่มีแรงลมกระทำ ให้พิจารณาชิ้นส่วนด้านซ้ายหรือด้านขวาที่มีค่าแรงกระทำมากที่สุดมาพิจารณา เนื่องจากแรงลมอาจจะเปลี่ยนทิศทางตรงข้ามกับที่สมมุติฐานไว้ เมื่อได้ขนาดและจำนวนของอุปกรณ์ยึด ก็ให้กำหนดใช้เหมือนกันทั้งสองข้าง



Joint A. Hinge Support



Joint B. Roller Support

เลือกใช้สลักเกลียวขนาด ∅12 มม. ยึดตามแนวศูนย์ถ่วงของเหล็กฉากในทุกจุดต่อ
และเลือกใช้แผ่นเหล็กประกับยึดรอยต่อ หนา 10 มม.
กำหนดให้ยึดรอยต่อแบบรับแรงแบกทาน

กำลังต้านทานแรงเฉือนระนาบคู่ของสลักเกลียวต่อ 1 ตัว = $\frac{2\pi d^2}{4}(F_v)$ = $\frac{2x3.14x(1.2)^2}{4}(2,100)$ = 4,748 กก.

กำลังต้านทานแรงแบกทานของสลักเกลียวต่อ 1 ตัว = $t.d\,(F_p)$ = 1.0x1.2x5,040 = 6,048 กก.

∴ กำลังต้านทานของสลักเกลียวที่ปลอดภัย = 4,748 กก./ตัว

พิจารณาที่จุด A และ B

ชิ้นส่วน GB , AC เหล็กฉากคู่ 2 - L100x100x7 มม. , แรงอัดที่เกิดขึ้นมากที่สุด = 11,625 กก.

จำนวนของสลักเกลียวที่ต้องการ = $\frac{11,625}{4,748}$ = 2.45 $\Rightarrow$ 3 ตัว

จัดเรียงระยะห่างระหว่างสลักเกลียว ต้องไม่น้อยกว่า 3d = 3x1.2 = 3.6 ซม. และระยะขอบปลายต้องไม่น้อยกว่าค่าในตารางที่ 10.5

ชิ้นส่วน AH , LB เหล็กฉากคู่ 2 - L100x100x7 มม. , แรงดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุด = 11,378 กก.

จำนวนของสลักเกลียวที่ต้องการ = $\frac{11,378}{4,748}$ = 2.39 $\Rightarrow$ 3 ตัว

จัดเรียงระยะห่างระหว่างสลักเกลียว ต้องไม่น้อยกว่า 3d = 3x1.2 = 3.6 ซม. และระยะขอบปลายต้องไม่น้อยกว่าค่าในตารางที่ 10.5

แผ่นเหล็กจุดรองรับที่จุด A และ B

น้ำหนักกดลงแผ่นเหล็กมากที่สุด = 3,867.5 กก.
กำหนดให้กำลังอัดประลัยของแท่นคอนกรีต , fc' = 170 กก./ตร.ซม.

พื้นที่ของแผ่นเหล็กที่ต้องการ , $A = \frac{R}{F_p}$, โดย F_p = 0.35 fc' เมื่อวางบนพื้นที่เต็มฐานรองรับคอนกรีต

$$= \frac{R}{0.35fc'} = \frac{3,867.5}{0.35x170} = 65 \text{ ตร.ซม.}$$

เลือกใช้ขนาดแผ่นเหล็ก 30x30 ซม. = 900 ตร.ซม. > 65 ตร.ซม. **ใช้ได้**

∴ ค่าหน่วยแรงต้านทานใต้แผ่นเหล็กที่เกิดขึ้นจริง , $f_p = \frac{R}{A} = \frac{3,867.5}{900} = 4.29$ กก./ตร.ซม.

ระยะแขนโมเมนต์ของแผ่นเหล็ก , $n = \frac{B}{2} - k = \frac{30 - (0.7+1+0.7+1+1)}{2} = 12.8$ ซม.

ความหนาของแผ่นเหล็กที่ต้องการ , $t = \sqrt{\frac{3.f_p.n^2}{F_b}}$, โดย Fb = 0.75 Fy

$$= \sqrt{\frac{3x4.29x12.8^2}{0.75x2,400}} = 1.08 \text{ ซม.} \Rightarrow 10.8 \text{ มม.} \Rightarrow 12 \text{ มม.}$$

∴ เลือกใช้แผ่นเหล็กจุดรองรับ ขนาด 300x300 มม. หนา 12 มม. หรือ 2 – PL 300x300x10 มม.

<u>คำนวณหาขนาดของสลักเกลียวฝังยึดในฐานคอนกรีต</u>

- ถ้ามีโมเมนต์กระทำ ให้คำนวณหาโมเมนต์และสลักเกลียวที่ต้านทานโมเมนต์
- ถ้าไม่มีโมเมนต์ ให้ประมาณแรงเฉือนแนวราบ 20% - 30%ของแรงปฏิกิริยา เพื่อหาขนาดและจำนวนสลักเกลียว
- กรณีนี้ มีแรงกระทำแนวราบ(H_a) = 1,050 กก. เผื่ออีก 20% = 1,050x1.2 = 1,260 กก.

ถ้าเลือกใช้สลักเกลียว ∅ 15 มม. จำนวน 4 ตัว , $A_{net} = 4 \times \frac{\pi(1.5)^2}{4} = 7.07$ ตร.ซม.

กำลังต้านทานแรงเฉือนระนาบเดี่ยวของสลักเกลียว = $A_{net}F_v$ = 7.07x2,100 = 14,847 กก. > 1,260 กก. **ใช้ได้**

หาระยะฝังของสลักเกลียว , $L = \frac{d.t_b}{4.u_a}$,

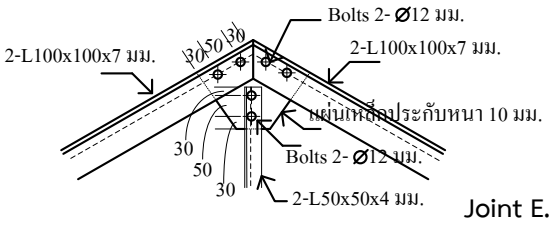
เมื่อ d = เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กกลมสลักเกลียว

t_b = กำหนดให้หน่วยแรงดึงของสลักเกลียว 1,200 กก./ตร.ซม.

u_a = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ไม่เกิน 11 กก./ตร.ซม.

$$\therefore L = \frac{1.5x1,200}{4x11} = 40.91 \text{ ซม.} \Rightarrow 60 \text{ ซม.}$$

<u>พิจารณาที่จุด E</u>



Joint E.

<u>ชิ้นส่วน EF , ED</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L100x100x7 มม. , แรงอัดที่เกิดขึ้นมากที่สุด = 6,940 กก.

จำนวนของสลักเกลียวที่ต้องการ = $\frac{6,940}{4,748} = 1.46 \Rightarrow 2$ ตัว

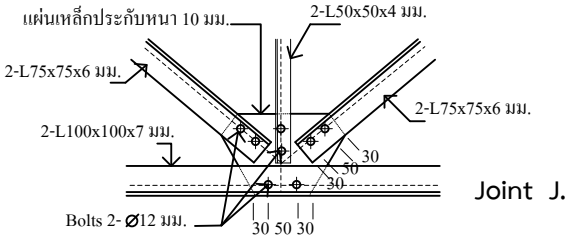
จัดเรียงระยะห่างระหว่างสลักเกลียว ต้องไม่น้อยกว่า 3d = 3x1.2 = 3.6 ซม. และระยะขอบปลายต้องไม่น้อยกว่าค่าในตารางที่ 10.5

<u>ชิ้นส่วน EJ</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L50x50x4 มม. , แรงดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุด = 3,117 กก.

จำนวนของสลักเกลียวที่ต้องการ $= \frac{3,117}{4,748} = 0.66 \Rightarrow 2$ ตัว

จัดเรียงระยะห่างระหว่างสลักเกลียว ต้องไม่น้อยกว่า 3d = 3x1.2 = 3.6 ซม. และระยะขอบปลายต้องไม่น้อยกว่าค่าในตารางที่ 10.5

<u>พิจารณาที่จุด J</u>



<u>ชิ้นส่วน JI , JK</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L100 x 100 x 7 มม. , แรงดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุด = 9,089 – 8,914 = 175 กก.

จำนวนของสลักเกลียวที่ต้องการ $= \frac{175}{4,748} = 0.04 \Rightarrow 2$ ตัว

จัดเรียงระยะห่างระหว่างสลักเกลียว ต้องไม่น้อยกว่า 3d = 3 x 1.2 = 3.6 ซม. และระยะขอบปลายต้องไม่น้อยกว่าค่าในตารางที่ 10.5

<u>ชิ้นส่วน JD , JF</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L75 x 75 x 6 มม. , แรงอัดที่เกิดขึ้นมากที่สุด = 2,801 กก.

จำนวนของสลักเกลียวที่ต้องการ $= \frac{2,801}{4,748} = 0.59 \Rightarrow 2$ ตัว

จัดเรียงระยะห่างระหว่างสลักเกลียว ต้องไม่น้อยกว่า 3d = 3x1.2 = 3.6 ซม. และระยะขอบปลายต้องไม่น้อยกว่าค่าในตารางที่ 10.5

<u>3.) ออกแบบรอยต่อยึดด้วยรอยเชื่อม ที่จุดต่อ A , E , J และ B</u>

เลือกใช้แผ่นเหล็กประกับยึดรอยต่อ หนา 10 มม.

เลือกใช้ลวดเชื่อม E60 , หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ , F_v = 1,260 กก./ตร.ซม.

เหล็กฉาก L100 x 100 x 7 มม. เลือกใช้ความหนาขาการเชื่อมทาบ = 7 - 1.5 = 5.5 มม. $\Rightarrow$ 5 มม.

เหล็กฉาก L75 x 75 x 6 มม. เลือกใช้ความหนาขาการเชื่อมทาบ = 6 - 1.5 = 4.5 มม. $\Rightarrow$ 4 มม.

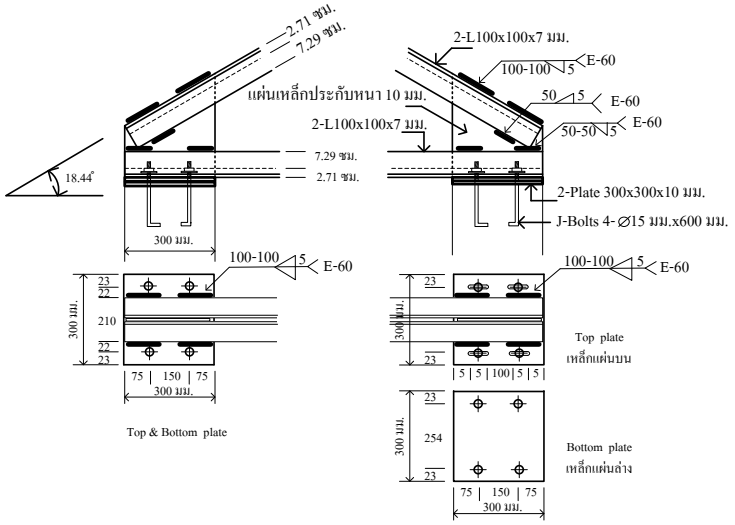
เหล็กฉาก L50 x 50 x 4 มม. เลือกใช้ความหนาขาการเชื่อมทาบ = 4 - 1.5 = 2.5 มม. $\Rightarrow$ 3 มม.

$\therefore$ กำลังของการเชื่อมทาบหนา 5 มม. , P_w = (0.707 x 0.5) (1,260) = 445 กก./ซม.

กำลังของการเชื่อมทาบหนา 4 มม. , P_w = (0.707 x 0.4) (1,260) = 356 กก./ซม.

กำลังของการเชื่อมทาบหนา 3 มม. , P_w = (0.707 x 0.3) (1,260) = 267 กก./ซม.

<u>พิจารณาที่จุด A และ B</u>



Joint A. Hinge Support Joint B. Roller Support

<u>ชิ้นส่วน GB , AC</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L100 x 100 x 7 มม. , ความหนาขาการเชื่อม 5 มม.

แรงอัดที่เกิดขึ้นมากที่สุดต่อเหล็กฉากแต่ละข้าง = $\frac{11,625}{2}$ = 5,812.5 กก.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_1 = \frac{P(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{5,812.5 \times 7.29/2.71 + 7.29}{445}$ = 9.52 ซม. $\Rightarrow$ 10 ซม.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_2 = \frac{P(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{5,812.5 \times 2.71/2.71 + 7.29}{445}$ = 3.54 ซม. $\Rightarrow$ 5 ซม.

<u>ชิ้นส่วน AH , LB</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L100 x 100 x 7 มม. , ความหนาขาการเชื่อม 5 มม.

แรงดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุดต่อเหล็กฉากแต่ละข้าง = $\frac{11,378}{2}$ = 5,689 กก.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_1 = \frac{P.(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{5,689 \times 7.29/2.71 + 7.29}{445}$ = 9.32 ซม. $\Rightarrow$ 10 ซม.

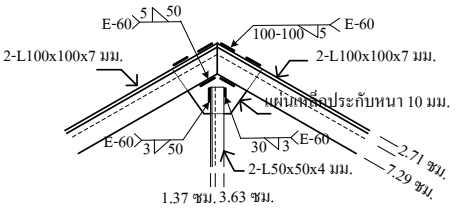
ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_2 = \frac{P.(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{5,689 \times 2.71/2.71 + 7.29}{445}$ = 3.47 ซม. $\Rightarrow$ 5 ซม.

มีแรงกระทำแนวราบ = 1,050 กก. เผื่ออีก 20% = 1,050x1.2 = 1,260 กก.
ความหนาขาการเชื่อม 5 มม.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ , $L = \frac{1,260}{445}$ = 2.83 $\Rightarrow$ 10 ซม.

แบ่งความยาวรอยเชื่อมสองด้านเท่ากัน , $L_1 = \frac{10}{2}$ = 5 ซม.

<u>พิจารณาที่จุด E</u>



Joint E.

<u>ชิ้นส่วน EF , ED</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L100x100x7 มม. , ความหนาขาการเชื่อม 5 มม.

แรงอัดที่เกิดขึ้นมากที่สุดต่อเหล็กฉากแต่ละข้าง = $\frac{6,940}{2}$ = 3,470 กก.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_1 = \frac{P(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{3,470 \times 7.29/2.71+7.29}{445}$ = 5.69 ซม. $\Rightarrow$ 10 ซม.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_2 = \frac{P(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{3,470 \times 2.71/2.71+7.29}{445}$ = 2.11 ซม. $\Rightarrow$ 5 ซม.

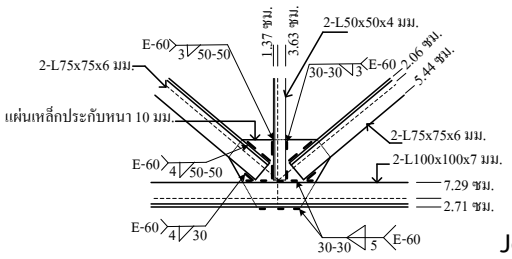
<u>ชิ้นส่วน EJ</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L50x50x4 มม. , ความหนาขาการเชื่อม 3 มม.

แรงดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุดต่อเหล็กฉากแต่ละข้าง = $\frac{3,117}{2}$ = 1,559 กก.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_1 = \frac{P(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{1,559 \times 3.63/1.37+3.63}{267}$ = 4.24 ซม. $\Rightarrow$ 5 ซม.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_2 = \frac{P(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{1,559 \times 1.37/1.37+3.63}{267}$ = 1.59 ซม. $\Rightarrow$ 3 ซม.

พิจารณาที่จุด J



Joint J.

<u>ชิ้นส่วน JI , JK</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L100x100x7 มม. , ความหนาขาการเชื่อม 5 มม.

แรงดึงที่เกิดขึ้นมากที่สุดต่อเหล็กฉากแต่ละข้าง = $\frac{9{,}089 - 8{,}914}{2}$ = 88 กก.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_1 = \frac{P(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{88x7.29/2.71+7.29}{445}$ = 0.15 ซม. $\Rightarrow$ 3 ซม.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_2 = \frac{P(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{88x2.71/2.71+7.29}{445}$ = 0.05 ซม. $\Rightarrow$ 3 ซม.

<u>ชิ้นส่วน JD , JF</u> เหล็กฉากคู่ 2 - L75x75x6 มม. , ความหนาขาการเชื่อม 4 มม.

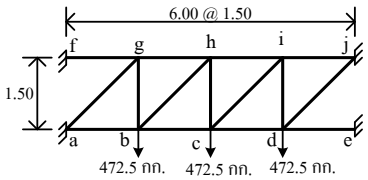
แรงอัดที่เกิดขึ้นมากที่สุดต่อเหล็กฉากแต่ละข้าง = $\frac{2{,}801}{2}$ = 1,401 กก.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_1 = \frac{P(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{1{,}401x5.44/2.06+5.44}{356}$ = 2.86 ซม. $\Rightarrow$ 5 ซม.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_2 = \frac{P(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{1{,}401x2.06/2.06+5.44}{356}$ = 1.08 ซม. $\Rightarrow$ 3 ซม.

<u>4.) คำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนโครงถักรอง(Truss T2)ที่เป็นเหล็กฉากขาเท่ากัน</u>

Truss T2 เป็นโครงถักรองที่ทำหน้าที่ค้ำยันยึดโยงให้โครงถักหลักตั้งมั่นในแนวดิ่งและอยู่ในแนวตรงตามที่กำหนด และ สมมุติให้มีน้ำหนักจากฝ้าเพดานรวมทั้งงานระบบไฟฟ้าต่างๆที่เกาะยึดกับ Truss T2 มีน้ำหนักโดยประมาณ 30 กก./ตร.ม. เพราะฉะนั้นน้ำหนักรวมต่อจุด = 30x10.50x1.50 = 472.50 กก.



รูปที่ 12.9 แสดงแรงกระทำต่อจุดต่อของโครงถักรอง(Truss T2)

ตารางที่ 12.6 แสดงแรงต้านทานภายในชิ้นส่วนต่างๆของ Truss T2

Top Chords (กก.)	Lower Chords (กก.)	Web/Verticals (กก.)	Diagonals (กก.)
fg = 585 (แรงดึง)	ab = 169 (แรงดึง)	bg = 709 (แรงดึง)	**ag = 1,025 (แรงอัด)**
gh = 140 (แรงอัด)	bc = 391 (แรงดึง)	ch = 207 (แรงดึง)	bh = 314 (แรงอัด)
hi = 362 (แรงอัด)	cd = 111 (แรงดึง)	di = 296 (แรงอัด)	ci = 397 (แรงดึง)
ij = 82 (แรงอัด)	de = 672 (แรงอัด)		dj = 1,108 (แรงดึง)

ให้พิจารณาเลือกชิ้นส่วนที่รับแรงมากที่สุด คือ ag = 1,025 กก.(แรงอัด) ทำการคำนวณหาขนาดเหล็กฉากและใช้ขนาดเท่ากันทั้งหมดทุกชิ้นส่วน และกำหนดให้จุดต่อยึดด้วยการเชื่อม

<u>คำนวณหาขนาดเหล็กฉากเดี่ยว</u> ชิ้นส่วนที่มีค่ามากที่สุด = 1,025 กก.(แรงอัด)

ความยาวของ ag = $\sqrt{1.5^2+1.5^2}$ = 2.12 เมตร = 212 ซม.

สมมุติเลือกใช้เหล็กฉากเดี่ยว 1 - L50 x 50 x 5 มม. A = 4.80 ตร.ซม. , r = 1.52 ซม.

ตรวจสอบอัตราส่วนชะลูด $\frac{L}{r} = \frac{212}{1.52} = 140 > C_C = 131$

จากตารางที่ 8.4 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ F_a = 551 กก./ตร.ซม.

แรงต้านทานที่รับได้ = F_a (A) = 551x4.80x0.75

= 1,984 กก. > 1,025 กก. **ใช้ได้**

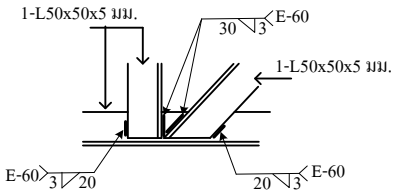
∴ เหล็กฉากเดี่ยว 1 - L50 x 50 x 5 มม. ที่เลือกใช้สามารถรับแรงอัดที่กระทำได้อย่างปลอดภัย

<u>รอยเชื่อมจุดต่อ</u> เหล็กฉากเดี่ยว 1 - L50 x 50 x 5 มม. , ความหนาขาการเชื่อม 3 มม.

แรงอัดที่เกิดขึ้นมากที่สุดต่อเหล็กฉาก = 1,025 กก.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_1 = \frac{P.(b)/(a+b)}{P_w} = \frac{1{,}025 \times 3.59/1.41 + 3.59}{267} = 2.76$ ซม. ⟹ 3 ซม.

ความยาวรอยเชื่อมทาบที่ต้องการ $L_2 = \frac{P.(a)/(a+b)}{P_w} = \frac{1{,}025 \times 1.41/1.41 + 3.59}{267} = 1.08$ ซม. ⟹ 2 ซม.



รูปที่ 12.10 ขนาดเหล็กฉากและรอยเชื่อมใช้เท่ากันทุกจุดต่อสำหรับ Truss T2

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับสาระสำคัญและจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss)
2. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ขั้นสอน

3. ครูอธิบายเนื้อหาและให้ความรู้ ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 12 ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุนเหล็ก(Steel Truss) ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก การกำหนดขนาดของแปเหล็ก และการคำนวณขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก
4. ผู้เรียนทำแบบทดสอบที่ 12 ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
5. ผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบทดสอบที่ 12 หน้าชั้นเรียน พร้อมกับครูให้คำชี้แนะ

ขั้นสรุปและการประยุกต์

6. ผู้เรียนทำแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 12 เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss) ในหนังสือแบบเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
7. ครูและผู้เรียนร่วมกันเฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 12 พร้อมกับสรุปบทเรียนร่วมกัน

6. สื่อการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียนรายวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (3121-2103)

6.2 เว็บไซต์และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

6.3 การอ้างอิงตามบรรณานุกรมของหนังสือเรียนวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

7. การวัดผลประเมินผล

วิธีวัดผล

1. สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 12
3. สังเกตและประเมินพฤติกรรมด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือวัดผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 12
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ โดยอาจารย์และนักศึกษาร่วมกันประเมิน

เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติงานรายบุคคล เกณฑ์ผ่าน ต้องไม่มีช่องปรับปรุง
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 12 เกณฑ์ผ่าน ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
3. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ คะแนนขึ้นอยู่กับการประเมินตามสภาพจริง

8. กิจกรรมเสนอแนะ/งานที่มอบหมาย

8.1 กิจกรรมเสนอแนะ

8.1.1 ให้นักศึกษาสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งในวิทยาลัยฯ และภายนอก ว่ามีสิ่งใดบ้างที่สัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียนที่เรียนมา

8.2 งานที่มอบหมาย

8.2.1 แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12 เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss)

8.2.2 แบบประเมินผลการเรียนรู้บทที่ 12 เรื่อง การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss)

9. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

.....

2. ผลการเรียนของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....
(.....)
ตัวแทนนักเรียน

ลงชื่อ.....
(.....)
ครูผู้สอน

การประเมินผล
บทที่ 12 การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss)

คำชี้แจง : คะแนนรวมต่อบท 100 คะแนนเต็ม

1. แบบทดสอบ จำนวน 15 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน รวม 60 คะแนน
2. แบบประเมินผลการเรียนรู้ จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 2 คะแนน รวม 20 คะแนน
3. ประเมินจิตพิสัยตามสภาพจริง 20 คะแนน

แบบประเมินผล
บทที่ 12 การออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก(Steel Truss)

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา3121-2103 **วิทยาลัย** .....

ชื่อ-สกุล..... **ระดับ**..... **ครู** .....

ที่	รายการประเมิน	*คะแนนแบบทดสอบ		**คะแนนแบบประเมินผลการเรียนรู้		*ข้อที่	**ข้อที่
		คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้	คะแนนเต็ม	คะแนนทำได้		
1	ประเภทต่างๆของโครงถักหรือโครงข้อหมุนเหล็ก(Steel Truss)						
2	ชิ้นส่วนรับแรงดึงในโครงข้อหมุนหลังคา						
3	การกำหนดขนาดของแปเหล็ก						
4	การคำนวณขนาดชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนหลังคาเหล็ก						
5							
6							
7							
8							
9							
10							
รวมคะแนนด้านทักษะ		60		20			
11	ความขยันหมั่นเพียร ความวิริยะอุตสาหะ			10			
12	ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์สุจริต			10			
รวมคะแนนด้านจิตพิสัย				20			
รวมคะแนนทั้งหมด				100		**รวม**	