

แผนการสอนรายวิชา
ชื่อวิชา ออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
รหัสวิชา 30106 -2105

หลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
สาขาวิชา ช่างก่อสร้าง

โดย
รศ. มนัส อนุศิริ

จัดทำโดย



บริษัท ซีเอดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

คำนำ

เอกสารแผนการสอนรายวิชานี้ เป็นเอกสารเตรียมและวางแผนการสอนรายวิชา **ออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก รหัสวิชา 30106-2105** สำหรับสอนนักศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างก่อสร้าง ซึ่งมีเนื้อหาสาระเกี่ยวกับการออกแบบองค์ประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างไม้ และโครงสร้างเหล็ก ชิ้นส่วนรับแรงดึง แรงอัด ออกแบบคาน โครงข้อหมุนไม้และเหล็ก การออกแบบจุดต่อและรอยเชื่อม

ผู้เขียนได้รวบรวมจัดทำเกี่ยวกับหลักสูตรรายวิชา ประกอบด้วย ลักษณะวิชา การแบ่งหน่วยบทเรียน และหัวข้อ จุดประสงค์การสอนและการประเมินผลรายวิชา พร้อมทั้งได้จัดทำกำหนดการสอน ใบเตรียมการสอน รายสัปดาห์ ตลอดทั้ง 18 สัปดาห์ ซึ่งประกอบด้วย จุดประสงค์การสอน เนื้อหาสาระที่สอน วิธีการสอน เอกสาร และสื่อประกอบการสอนเป็นต้น ทั้งนี้ผู้เขียนคาดหวังว่าเอกสารฉบับนี้จะเป็นเอกสารคู่มือครูประกอบการสอนที่ได้มีการเตรียม และวางแผนไว้อย่างรอบคอบ ซึ่งจะส่งผลให้การเรียนการสอนรายวิชานี้ มีประสิทธิภาพและมีคุณภาพยิ่งขึ้นต่อไป

รองศาสตราจารย์มนัส อนุศิริ

สารบัญ	
เรื่อง	หน้า
คำนำ	1
ความมุ่งหมายของหลักสูตร	3
ลักษณะรายวิชา	4
การแบ่งหน่วยเรียน / บทเรียน / หัวข้อ	5
จุดประสงค์การสอน	9
การประเมินผลรายวิชา	16
ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนน	17
กำหนดการสอน	18

ความมุ่งหมายของหลักสูตร (หลักสูตร พ.ศ. 2563)

ชื่อหลักสูตร

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชา ช่างก่อสร้าง

ความมุ่งหมาย

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านภาษาและการสื่อสาร ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา และทักษะทางสังคมและการดำรงชีวิตในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความเข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้หลักการบริหารและการจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการของงานอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวกับการพัฒนาวิชาชีพช่างก่อสร้างให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความเข้าใจในหลักการและกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐานด้านความแข็งแรงของวัสดุ พฤติกรรมของโครงสร้างที่เกี่ยวข้องสถิตศาสตร์และคานวณหาแรงในโครงสร้าง
4. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และเทคโนโลยีด้านงานก่อสร้าง ในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวิเคราะห์ แก้ปัญหา สร้างสรรค์และนาเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางาน พร้อมทั้งการตรวจสอบและควบคุมการก่อสร้าง
6. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานช่างก่อสร้าง ในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นได้
7. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์สุจริต มีระเบียบวินัย เป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม ต่อด้านความรุนแรงและสารเสพติด

คุณสมบัติของผู้มีสิทธิ์สมัครเข้าศึกษา

การจัดการศึกษาในระบบปกติสำหรับผู้เข้าเรียนที่สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) หรือเทียบเท่าในประเภทวิชาและสาขาวิชาตามที่หลักสูตรกำหนด ใช้ระยะเวลา 2 ปีการศึกษา ส่วนผู้เข้าเรียนที่สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรือเทียบเท่า และผู้เข้าเรียนที่สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) หรือเทียบเท่าต่างประเภทวิชาและสาขาวิชาที่กำหนด ใช้ระยะเวลา ไม่น้อยกว่า 2 ปีการศึกษา และเป็นไปตามเงื่อนไขที่หลักสูตรกำหนด

ลักษณะรายวิชา

1. รหัสและชื่อวิชา 301062105 ออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (Timber and Steel Design)
2. สภาพรายวิชา วิชาซีพีเลือก ในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
3. ระดับรายวิชา ปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1
4. พื้นฐาน กลศาสตร์วิศวกรรม ความแข็งแรงของวัสดุ ทฤษฎีโครงสร้าง
5. เวลาศึกษา 54 คาบเรียนตลอด 18 สัปดาห์ ทฤษฎี 3 คาบ ปฏิบัติ 0 คาบ รวม 3 คาบต่อสัปดาห์ และนักศึกษาต้องใช้เวลาด้านคว้านอกเวลา 3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
6. หน่วยกิต 3 หน่วยกิต
7. จุดมุ่งหมายรายวิชา
 1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการคำนวณออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
 2. มีความสามารถในการคำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง แรงอัด แรงดัด โครงข้อหมุนและรอยต่อของโครงสร้างไม้และเหล็ก
 3. มีกิจนิสัยที่ดี สนใจใฝ่รู้ ทำงานด้วยความรอบคอบ และมีความรับผิดชอบ
8. สมรรถนะรายวิชา
 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการและกระบวนการคำนวณออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก
 2. คำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงของโครงสร้างไม้และเหล็ก
9. คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้ อุปกรณ์สำหรับยึดรอยต่อไม้ คำนวณออกแบบองค์อาคารไม้รับแรงดึง แรงอัด แรงดัดและโครงข้อหมุนไม้และคุณสมบัติเหล็ก รูปพรรณคำนวณออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงดึง แรงอัด แรงดัดและโครงข้อหมุนเหล็ก คำนวณออกแบบรอยต่อโดยการเชื่อมหมุดย้ำและสลักเกลียว

การแบ่งหน่วยเรียน / บทเรียน / หัวข้อ

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
1	ความรู้ทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก 1.1 ความรู้พื้นฐานในการออกแบบ 1.2 น้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง 1.3 ลักษณะของน้ำหนักที่กระทำบนโครงสร้าง 1.4 หน่วยแรงที่ยอมให้ในการก่อสร้าง แบบฝึกหัดท้ายบท	3	0
2	ความรู้เบื้องต้นของไม้ 2.1 รูปตัดลำต้นไม้ 2.2 ประเภทของไม้ 2.3 ตำหนิของไม้ 2.4 กลสมบัติของไม้ 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของไม้ 2.6 การแบ่งประเภทและขนาดของไม้สำหรับโครงสร้าง 2.7 มาตรฐานไม้ก่อสร้าง 2.8 เกณฑ์จำกัดข้อบกพร่องในเนื้อไม้ 2.9 การเก็บและส่งตัวอย่างไม้เพื่อทดสอบคุณภาพ แบบฝึกหัดท้ายบท	3	0
3	คาน ตง สำหรับอาคารไม้ 3.1 ความต้านทานต่อแรงดัด 3.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือน 3.3 ความต้านทานต่อแรงกด 3.4 การโก่งของคานในแนวดิ่ง 3.5 คานประกอบ 3.6 สัมประสิทธิ์ของความลึก 3.7 สัมประสิทธิ์ของรูปตัด 3.8 คานเอียง แบบฝึกหัดท้ายบท	6	0

การแบ่งหน่วยเรียน / บทเรียน / หัวข้อ

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
4	การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึงและแรงอัด 4.1 องค์อาคารรับแรงดึง 4.2 องค์อาคารรับแรงอัด 4.3 เสาประกอบตัน 4.4 เสาประกอบไม้แผ่น 4.5 เสากลม 4.6 องค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดพร้อมกัน แบบฝึกหัดท้ายบท	3	0
5	โครงหลังคาไม้ 5.1 ประเภทของโครงหลังคาไม้ 5.2 โครงหลังคาแบบต่างๆ 5.3 น้ำหนักที่กระทำกับโครงหลังคา 5.4 การออกแบบแปไม้ 5.5 การออกแบบโครงหลังคาไม้ แบบฝึกหัดท้ายบท	6	0
6	รอยต่อโครงสร้างไม้ 6.1 อุปกรณ์ยึดไม้ 6.2 แรงถอนของตะปูและตะปูอ้วน 6.3 แรงถอนของตะปูควงและตะปูเกลียว 6.4 แรงต้านทานทางข้างของตะปู ตะปูควง และตะปูเกลียว 6.5 สลักเกลียว 6.6 แหวนยึดไม้แบบวงแหวนผ่า 6.7 สูตรของฮันกินสัน 6.8 สลักไม้มีเกลียวหรือลิ้มเหล็ก แบบฝึกหัดท้ายบท	3	0
7	ความรู้ทั่วไปของเหล็กรูปพรรณ 7.1 คุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณ 7.2 มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก 7.3 เหล็กรูปพรรณ 7.4 หน่วยแรงที่ยอมให้ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522	3	0

การแบ่งหน่วยเรียน / บทเรียน / หัวข้อ

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
8	แบบฝึกหัดท้ายบท องค์อาคารรับแรงดึง 8.1 รูปตัดองค์อาคารรับแรงดึง 8.2 การคำนวณองค์อาคารรับแรงดึง 8.3 มาตรฐานกำหนด 8.4 พื้นที่หน้าตัดสุทธิ แบบฝึกหัดท้ายบท	3	0
9	องค์อาคารรับแรงอัด 9.1 องค์อาคารรับแรงอัด 9.2 การคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด 9.3 หน่วยแรงที่ยอมให้ 9.4 ช่วงความยาวประสิทธิผล 9.5 วิธีคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด 9.6 เสাপระกอบกัน 9.7 ตัวประกอบความยาวประสิทธิผลในโครงข้อแข็ง 9.8 เสาที่มีการค้ำยัน แบบฝึกหัดท้ายบท	6	0
10	องค์อาคารรับแรงดัด 10.1 หน่วยแรงดัด 10.2 หน่วยแรงเฉือน 10.3 มาตรฐานกำหนด 10.4 วิธีคำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด 10.5 คานต่อเนื่อง 10.6 แผ่นเหล็กทรงใต้คาน 10.7 องค์อาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน แบบฝึกหัดท้ายบท	3	0

การแบ่งหน่วยเรียน / บทเรียน / หัวข้อ

11	โครงหลังคาเหล็ก 11.1 ประเภทของโครงหลังคา 11.2 ตัวอย่างโครงหลังคาแบบต่างๆ 11.3 น้ำหนักที่กระทำกับโครงหลังคา 11.4 การออกแบบแปเหล็ก 11.5 การออกแบบโครงหลังคาเหล็ก แบบฝึกหัดท้ายบท	3	0
12	การต่อโครงสร้างเหล็ก 12.1 การต่อโครงสร้างเหล็ก 12.2 การต่อโดยใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว 12.3 การต่อโครงสร้างโดยการเชื่อม 12.4 การออกแบบฐานรองจุดรองรับต่างๆ แบบฝึกหัดท้ายบท	6	0
	รวม	48	0
	สอบกลางภาคและปลายภาค	6	0
	รวมทั้งสิ้น	54	0

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
1	ความรู้ทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก 1.1 รู้พื้นฐานในการออกแบบ 1.1.1 บอกวิชาพื้นฐานการออกแบบได้ 1.1.2 บอกหลักการออกแบบได้ 1.2 เข้าใจน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง 1.2.1 อธิบายน้ำหนักที่กระทำเป็นจุดได้ 1.2.2 อธิบายน้ำหนักที่กระทำแบบสม่ำเสมอได้ 1.3 เข้าใจลักษณะของน้ำหนักที่กระทำบนโครงสร้าง 1.3.1 อธิบายน้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงที่ได้ 1.3.2 อธิบายน้ำหนักบรรทุกจรได้ 1.4 เข้าใจหน่วยแรงที่ยอมให้ในการก่อสร้าง 1.4.1 อธิบายหน่วยแรงดึงได้ 1.4.2 อธิบายหน่วยแรงดัดได้ 1.4.3 อธิบายหน่วยแรงอัดได้ 1.4.4 อธิบายหน่วยแรงเฉือนได้	3	0
2	ความรู้เบื้องต้นของไม้ 2.1 รูปร่างตัดลำต้นไม้ 2.1.1 บอกส่วนประกอบของรูปตัดลำต้นไม้ได้ 2.2 รู้ประเภทของไม้ 2.2.1 บอกประเภทของไม้ได้ 2.2.2 บอกประเภทไม้เนื้ออ่อนมากได้ 2.2.3 บอกประเภทไม้เนื้ออ่อนได้ 2.2.4 บอกประเภทไม้เนื้อปานกลางได้ 2.2.5 บอกประเภทไม้เนื้อแข็งได้ 2.2.6 บอกประเภทไม้เนื้อแข็งมากได้ 2.3 เข้าใจตำหนิของไม้ 2.3.1 อธิบายตำหนิของไม้ได้	3	0

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
2	2.4 เข้าใจกลสมบัติของไม้ 2.4.1 อธิบายกลสมบัติที่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณาออกแบบโครงสร้างไม้ได้ 2.5 เข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของไม้ 2.5.1 อธิบายปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของไม้ได้ 2.6 รู้การแบ่งประเภทและขนาดของไม้สำหรับโครงสร้าง 2.6.1 บอกขนาดไม้กระดานได้ 2.6.2 บอกขนาดไม้สำหรับคาน ตง ได้ 2.6.3 บอกขนาดไม้เสาได้ 2.7 เข้าใจมาตรฐานไม้ก่อสร้าง 2.7.1 อธิบายไม้ก่อสร้างชั้น 1 ได้ 2.7.2 อธิบายไม้ก่อสร้างชั้น 2 ได้ 2.7.3 อธิบายไม้ก่อสร้างชั้น 3 ได้ 2.8 รู้เกณฑ์จำกัดข้อบกพร่องในเนื้อไม้ 2.8.1 บอกเกณฑ์กำหนดคุณภาพของไม้ได้ 2.9 รู้การเก็บและส่งตัวอย่างไม้เพื่อทดสอบคุณภาพ 2.9.1 บอกวิธีการเก็บไม้เพื่อทดสอบแรงดัดได้ 2.9.2 บอกวิธีการเก็บไม้เพื่อทดสอบแรงอัดได้		
3	คาน ตง สำหรับอาคารไม้ 3.1 คำนวณความต้านทานต่อแรงดัด 3.1.1 คำนวณหาค่าความต้านทานต่อแรงดัดได้ 3.2 คำนวณความต้านทานต่อแรงเฉือน 3.2.1 คำนวณหาค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนได้ 3.3 คำนวณความต้านทานต่อแรงกด 3.3.1 คำนวณหาค่าความต้านทานต่อแรงกดได้ 3.4 คำนวณการโก่งของคานในแนวดิ่ง 3.4.1 คำนวณหาค่าการโก่งของคานในแนวดิ่งได้	6	0

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
4	3.5 คำนวณคานประกอบ	3	0
	3.5.1 คำนวณขนาดคานประกอบได้		
	3.6 คำนวณสัมประสิทธิ์ของความลึก		
	3.6.1 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของความลึกได้		
	3.7 คำนวณสัมประสิทธิ์ของรูปตัด		
	3.7.1 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของรูปตัดได้		
	3.8 คานเอียง		
	3.8.1 คำนวณคานเอียงได้		
	การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึงและแรงอัด		
	4.1 คำนวณองค์อาคารรับแรงดึง		
	4.1.1 คำนวณหาขนาดองค์อาคารรับแรงดึงได้		
	4.2 คำนวณองค์อาคารรับแรงอัด		
	4.2.1 คำนวณหาขนาดองค์อาคารรับแรงอัดได้		
	4.3 คำนวณเสาประกอบตัน		
	4.3.1 คำนวณหาขนาดเสาประกอบตันได้		
	4.4 คำนวณเสาประกอบไม้แผ่น		
	4.4.1 คำนวณหาขนาดเสาประกอบไม้แผ่นได้		
	4.5 คำนวณเสากลม		
	4.5.1 คำนวณหาขนาดเสากลมไม้ได้		
	4.6 คำนวณองค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดพร้อมกัน		
	4.6.1 คำนวณองค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดพร้อมกันได้		

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
5	โครงหลังคาไม้ 5.1 รู้ประเภทของโครงหลังคาไม้ 5.1.1 บอกประเภทของโครงหลังคาไม้ได้ 5.2 รู้จักโครงหลังคาแบบต่างๆ 5.2.1 บอกตัวอย่างโครงหลังคาแบบต่างๆได้ 5.3 รู้หน้าที่ที่กระทำกับโครงหลังคา 5.3.1 บอกหน้าที่ที่กระทำกับโครงหลังคาได้ 5.4 คำนวณแปไม้ 5.4.1 คำนวณขนาดแปไม้ได้ 5.5 คำนวณโครงหลังคาไม้ 5.5.1 คำนวณขนาดหน้าตัดโครงหลังคาไม้ได้	6	0
6	รอยต่อโครงสร้างไม้ 6.1 รู้จักอุปกรณ์ยึดไม้ 6.1.1 บอกอุปกรณ์ยึดไม้ได้ 6.2 คำนวณแรงถอนของตะปูและตะปูอ้วน 6.2.1 คำนวณค่าแรงถอนของตะปูและตะปูอ้วนได้ 6.3 คำนวณแรงถอนของตะปูควงและตะปูเกลียว 6.3.1 คำนวณค่าแรงถอนของตะปูควงและตะปูเกลียวได้ 6.4 คำนวณแรงต้านทานทางข้างของตะปู ตะปูควง และตะปู เกลียว 6.4.1 คำนวณค่าแรงต้านทานทางข้างของตะปู ตะปูควง และตะปูเกลียวได้ 6.5 คำนวณสลักเกลียว 6.5.1 คำนวณหาจำนวนสลักเกลียวได้ 6.6 คำนวณแหวนยึดไม้แบบวงแหวนผ่า 6.6.1 คำนวณหาจำนวนแหวนยึดไม้แบบวงแหวนผ่าได้ 6.7 ใช้สูตรของฮันกินสัน 6.7.1 หาค่าความต้านทานของอุปกรณ์ยึดไม้จากสูตรของ ฮันกินสันได้	3	0

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
7	ความรู้ทั่วไปของเหล็กgrupพรรณ 7.1 เข้าใจคุณสมบัติของเหล็กgrupพรรณ 7.1.1 อธิบายคุณสมบัติเหล็กgrupพรรณได้ 7.1.2 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดได้ 7.2 รู้มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก 7.2.1 บอกมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กได้ 7.3 รู้ชนิดเหล็กgrupพรรณ 7.3.1 บอกชนิดเหล็กgrupพรรณที่ใช้ในโครงสร้างได้ 7.4 รู้หน่วยแรงที่ยอมให้ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 7.4.1 บอกหน่วยแรงที่ยอมให้ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522	3	0
8	องค์อาคารรับแรงดึง 8.1 รู้จักชนิดรูปตัดองค์อาคารรับแรงดึง 8.1.1 บอกชนิดรูปตัดองค์อาคารรับแรงดึงได้ 8.2 คำนวณองค์อาคารรับแรงดึง 8.2.1 คำนวณหน้าตัดองค์อาคารรับแรงดึงได้ 8.3 รู้มาตรฐานกำหนด 8.3.1 บอกมาตรฐานกำหนดได้ 8.4 คำนวณพื้นที่หน้าตัดสุทธิ 8.4.1 คำนวณพื้นที่หน้าตัดสุทธิได้	3	0

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
9	องค์อาคารรับแรงอัด 9.1 รู้จักองค์อาคารรับแรงอัด 9.1.1 บอกองค์อาคารรับแรงอัดได้ 9.2 คำนวณองค์อาคารรับแรงอัด 9.2.1 คำนวณองค์อาคารรับแรงอัดได้ 9.3 รู้หน่วยแรงที่ยอมให้ 9.3.1 บอกหน่วยแรงที่ยอมให้ได้ 9.4 เข้าใจช่วงความยาวประสิทธิผล 9.4.1 อธิบายช่วงความยาวประสิทธิผลได้ 9.5 เข้าใจวิธีคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด 9.5.1 อธิบายวิธีคำนวณองค์อาคารรับแรงอัดได้ 9.6 คำนวณเสาประกอบกัน 9.6.1 คำนวณเสาประกอบกันได้ 9.7 คำนวณตัวประกอบความยาวประสิทธิผลในโครงข้อแข็ง 9.7.1 คำนวณตัวประกอบความยาวประสิทธิผลในโครงข้อแข็งได้ 9.8 คำนวณเสาที่มีการค้ำยัน 9.8.1 คำนวณเสาที่มีการค้ำยันได้	6	0
10	องค์อาคารรับแรงดัด 10.1 เข้าใจหน่วยแรงดัด 10.1.1 อธิบายหน่วยแรงดัดได้ 10.2 เข้าใจหน่วยแรงเฉือน 10.2.1 อธิบายหน่วยแรงเฉือนได้ 10.3 รู้มาตรฐานกำหนด 10.3.1 บอกมาตรฐานกำหนดได้ 10.4 เข้าใจวิธีคำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด 10.4.1 อธิบายวิธีคำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดได้	3	0

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	เวลา (คาบ)	
		ท	ป
11	10.5 คำนวณคานต่อเนื่อง 10.5.1 คำนวณคานต่อเนื่องได้ 10.6 คำนวณแผ่นเหล็กรองรับคาน 10.6.1 คำนวณแผ่นเหล็กรองรับคานได้ 10.7 คำนวณองค์อาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน 10.7.1 คำนวณองค์อาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน โครงหลังคาเหล็ก 11.1 รู้ประเภทของโครงหลังคา 11.1.1 บอกประเภทของโครงหลังคาได้ 11.2 รู้จักตัวอย่างโครงหลังคาแบบต่างๆ 11.2.1 บอกตัวอย่างโครงหลังคาแบบต่างๆ ได้ 11.3 เข้าใจน้ำหนักที่กระทำกับโครงหลังคา 11.3.1 อธิบายน้ำหนักที่กระทำกับโครงหลังคาได้ 11.4 คำนวณแปเหล็ก 11.4.1 คำนวณแปเหล็กได้ 11.5 คำนวณโครงหลังคาเหล็ก 11.5.1 คำนวณโครงหลังคาเหล็กได้	3	0
12	การต่อโครงสร้างเหล็ก 12.1 รู้การต่อโครงสร้างเหล็ก 12.1.1 บอกวิธีการต่อโครงสร้างเหล็ก 12.2 คำนวณการต่อโดยใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว 12.2.1 คำนวณการต่อโดยใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียวได้ 12.3 คำนวณการต่อโครงสร้างโดยการเชื่อม 12.3.1 คำนวณการต่อโครงสร้างโดยการเชื่อมได้ 12.4 คำนวณออกแบบฐานรองรับจตุรรองรับต่างๆ 12.4.1 คำนวณออกแบบฐานรองรับจตุรรองรับต่างๆ ได้	6	0

การประเมินผลรายวิชา

รายวิชานี้แบ่งออกเป็น 12 หน่วยเรียน แยกได้ 69 บทเรียน การวัดและประเมินผลรายวิชาได้ดำเนินการดังนี้

1. วิธีการ ดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อการประเมินผล แยกเป็น 3 ส่วน โดยแบ่งแยกคะแนน แต่ละส่วนจากคะแนนเต็ม ทั้งรายวิชา 100 คะแนน
 - 1.1 ผลงานที่มอบหมาย 50 คะแนน หรือร้อยละ 50
 - 1.2 พิจารณาจิตพิสัย (กิจนิสัย ความตั้งใจ และการร่วมกิจกรรม) 10 คะแนนหรือร้อยละ 10
 - 1.3 การทดสอบแต่ละหน่วยเรียน 40 คะแนน หรือร้อยละ 40
โดยจัดแบ่งน้ำหนักคะแนนในแต่ละหน่วยตามตารางหน้าถัดไป
2. เกณฑ์ผ่านรายวิชา ผู้ที่จะผ่านรายวิชานี้จะต้อง
 - 2.1 มีเวลาเข้าชั้นเรียนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของเวลาเรียน
 - 2.2 คะแนนรวมทั้งรายวิชาไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนรวม
3. เกณฑ์ค่าระดับคะแนน กำหนดค่าระดับคะแนนร้อยละตามเกณฑ์ดังนี้
 - 3.1 พิจารณาตามเกณฑ์ผ่านรายวิชาตามข้อ 2 ผู้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ข้อ 2 จะได้รับค่าระดับคะแนน จ หรือ F
 - 3.2 ผู้ที่สอบผ่านเกณฑ์ข้อ 2 จะได้รับค่าระดับคะแนนตามเกณฑ์ดังนี้

คะแนนร้อยละ	80 ขึ้นไป	ได้	ก	หรือ A
คะแนนร้อยละ	75-79	ได้	ข+	หรือ B+
คะแนนร้อยละ	70-74	ได้	ข	หรือ B
คะแนนร้อยละ	65-69	ได้	ค+	หรือ C+
คะแนนร้อยละ	60-64	ได้	ค	หรือ C
คะแนนร้อยละ	55-59	ได้	ง+	หรือ D+
คะแนนร้อยละ	50-54	ได้	ง	หรือ D
คะแนนต่ำกว่าร้อยละ	50	ได้	จ	หรือ F

ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนน

เลขที่หน่วย	คะแนนรายหน่วยและน้ำหนักคะแนน ชื่อหน่วย	คะแนนรายหน่วย	น้ำหนักคะแนน					
			พุทธิพิสัย				ทักษะพิสัย	จิตพิสัย
			ความรู้ความจำ	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	สูงกว่า		
1	ความรู้ทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	2	0.5	1.5	-	-	-	-
2	ความรู้เบื้องต้นของไม้	2	1	1	-	-	-	-
3	คาน ตง สำหรับอาคารไม้	4	-	-	4	-	-	-
4	การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดิ่งและแรงอัด	4	-	-	4	-	-	-
5	โครงหลังคาไม้	4	2	-	2	-	-	-
6	รอยต่อโครงสร้างไม้	4	0.5	-	3.5	-	-	-
7	ความรู้ทั่วไปของเหล็กรูปพรรณ	2	1	1	-	-	-	-
8	องค์อาคารรับแรงดิ่ง	2	1	-	1	-	-	-
9	องค์อาคารรับแรงอัด	4	1	1	2	-	-	-
10	องค์อาคารรับแรงดัด	4	0.5	1	2.5	-	-	-
11	โครงหลังคาเหล็ก	4	1	1	2	-	-	-
12	การต่อโครงสร้างเหล็ก	4	-	-	4	-	-	-
ก.	คะแนนภาควิชาการ	40	8.5	6.5	25			
ข.	คะแนนภาคผลงาน	50	หมายเหตุ คะแนนภาคผลงาน ได้ จากแบบฝึกหัดแต่ละหน่วยเรียน					
ค.	คะแนนภาคจิตพิสัย	10						
	รวมทั้งสิ้น	100						

กำหนดการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	คาบที่	รายการสอน	หมายเหตุ
1		1-3	1. ความรู้ทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก 1.1 ความรู้พื้นฐานในการออกแบบ 1.2 น้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง 1.3 ลักษณะของน้ำหนักที่กระทำบนโครงสร้าง 1.4 หน่วยแรงที่ยอมให้ในการก่อสร้าง แบบฝึกหัดท้ายบท	
2		2-6	2. ความรู้เบื้องต้นของไม้ 2.1 รูปตัดลำต้นไม้ 2.2 ประเภทของไม้ 2.3 คำนิยามของไม้ 2.4 กลสมบัติของไม้ 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของไม้ 2.6 การแบ่งประเภทและขนาดของไม้สำหรับโครงสร้าง 2.7 มาตรฐานไม้ก่อสร้าง 2.8 เกณฑ์จำกัดข้อบกพร่องในเนื้อไม้ 2.9 การเก็บและส่งตัวอย่างไม้เพื่อทดสอบคุณภาพ แบบฝึกหัดท้ายบท	
3		7-9	3. คาน ตง สำหรับอาคารไม้ 3.1 ความต้านทานต่อแรงดัด 3.2 ความต้านทานต่อแรงเฉือน 3.3 ความต้านทานต่อแรงกด 3.4 การโก่งของคานในแนวดิ่ง	
4		10-12	3.5 คานประกอบ 3.6 สัมประสิทธิ์ของความลึก 3.7 สัมประสิทธิ์ของรูปตัด 3.8 คานเอียง แบบฝึกหัดท้ายบท	

กำหนดการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	คาบที่	รายการสอน	หมายเหตุ
5		13-15	4. การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึงและแรงอัด 4.1 องค์อาคารรับแรงดึง 4.2 องค์อาคารรับแรงอัด 4.3 เสาประกอบตัน 4.4 เสาประกอบไม้แผ่น 4.5 เสากลม 4.6 องค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและแรงดัด พร้อมกัน แบบฝึกหัดท้ายบท	
6		16-18	5. โครงหลังคาไม้ 5.1 ประเภทของโครงหลังคาไม้ 5.2 โครงหลังคาแบบต่างๆ 5.3 น้ำหนักที่กระทำกับโครงหลังคา	
7		19-21	5.4 การออกแบบแปไม้ 5.5 การออกแบบโครงหลังคาไม้ แบบฝึกหัดท้ายบท	
8		22-24	6. รอยต่อโครงสร้างไม้ 6.1 อุปกรณ์ยึดไม้ 6.2 แรงถอนของตะปูและตะปูอ้วน 6.3 แรงถอนของตะปูควงและตะปูเกลียว 6.4 แรงต้านทานทางข้างของตะปู ตะปูควง และตะปูเกลียว 6.5 สลักเกลียว 6.6 แหวนยึดไม้แบบวงแหวนผ่า 6.7 สูตรของฮันกินสัน 6.8 สลักไม้มีเกลียวหรือลิ้มเหล็ก แบบฝึกหัดท้ายบท	
9		25-27	สอบกลางภาค	

กำหนดการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	คาบที่	รายการสอน	หมายเหตุ
10		28-30	7. ความรู้ทั่วไปของเหล็กgrupพรรณ 7.1 คุณสมบัติของเหล็กgrupพรรณ 7.2 มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก 7.3 เหล็กgrupพรรณ 7.4 หน่วยแรงที่ยอมให้ตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 แบบฝึกหัดท้ายบท	
11		31-33	8. องค์อาคารรับแรงดึง 8.1 รูปตัดองค์อาคารรับแรงดึง 8.2 การคำนวณองค์อาคารรับแรงดึง 8.3 มาตรฐานกำหนด 8.4 พื้นที่หน้าตัดสุทธิ แบบฝึกหัดท้ายบท	
12		34-36	9. องค์อาคารรับแรงอัด 9.1 องค์อาคารรับแรงอัด 9.2 การคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด 9.3 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ 9.4 ช่วงความยาวประสิทธิผล 9.5 วิธีคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด	
13		37-39	9.6 เสাপระกอบกัน 9.7 ตัวประกอบความยาวประสิทธิผลในโครง ข้อแข็ง 9.8 เสาที่มีการค้ำยัน แบบฝึกหัดท้ายบท	
14		40-42	10. องค์อาคารรับแรงดัด 10.1 หน่วยแรงดัด 10.2 หน่วยแรงเฉือน 10.3 มาตรฐานกำหนด 10.4 วิธีคำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด 10.5 คานต่อเนื่อง แบบฝึกหัดท้ายบท	

กำหนดการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	คาบที่	รายการสอน	หมายเหตุ
14		40-42	10.6 แผ่นเหล็กรองใต้คาน 10.7 องค์อาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน	
15		43-45	11. โครงหลังคาเหล็ก 11.1 ประเภทของโครงหลังคา 11.2 ตัวอย่างโครงหลังคาแบบต่าง ๆ 11.3 น้ำหนักที่กระทำกับโครงหลังคา 11.4 การออกแบบแปเหล็ก 11.5 การออกแบบโครงหลังคาเหล็ก แบบฝักหัดท้ายบท	
16		45-48	12. การต่อโครงสร้างเหล็ก 12.1 การต่อโครงสร้างเหล็ก 12.2 การต่อโดยใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว	
17		49-51	12.3 การต่อโครงสร้างโดยการเชื่อม 12.4 การออกแบบฐานรองจตุรรองรับต่าง ๆ แบบฝักหัดท้ายบท	
18		52-54	สอบปลายภาค	

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท
ออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก

รหัสวิชา 30106 -2105

โดย

รศ. มนัส อนุศิริ

จัดทำโดย

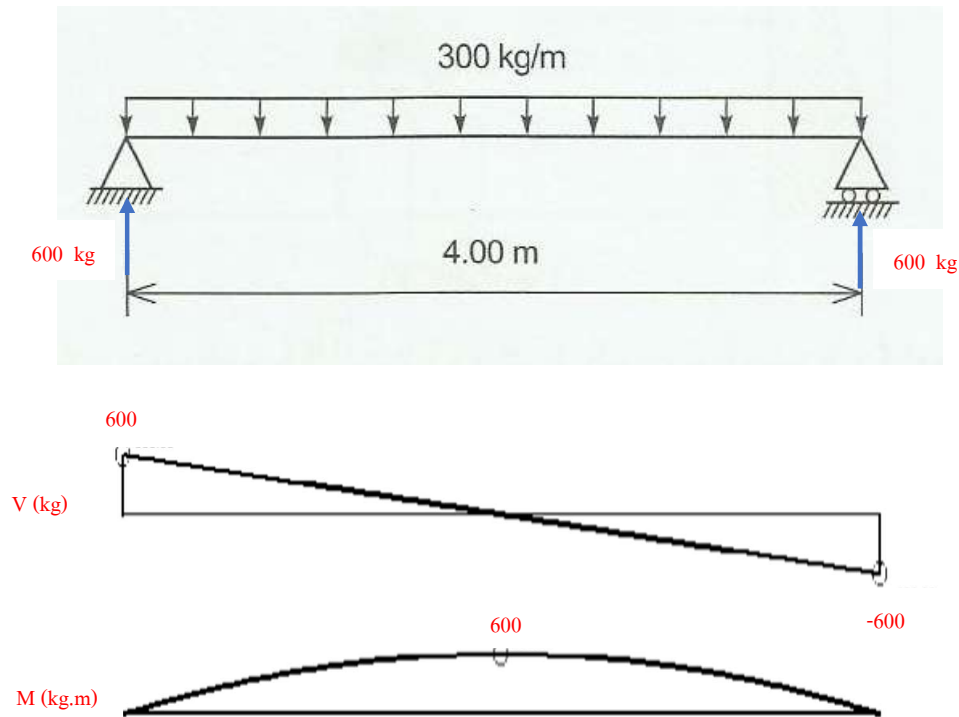


บริษัท ซีเอดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

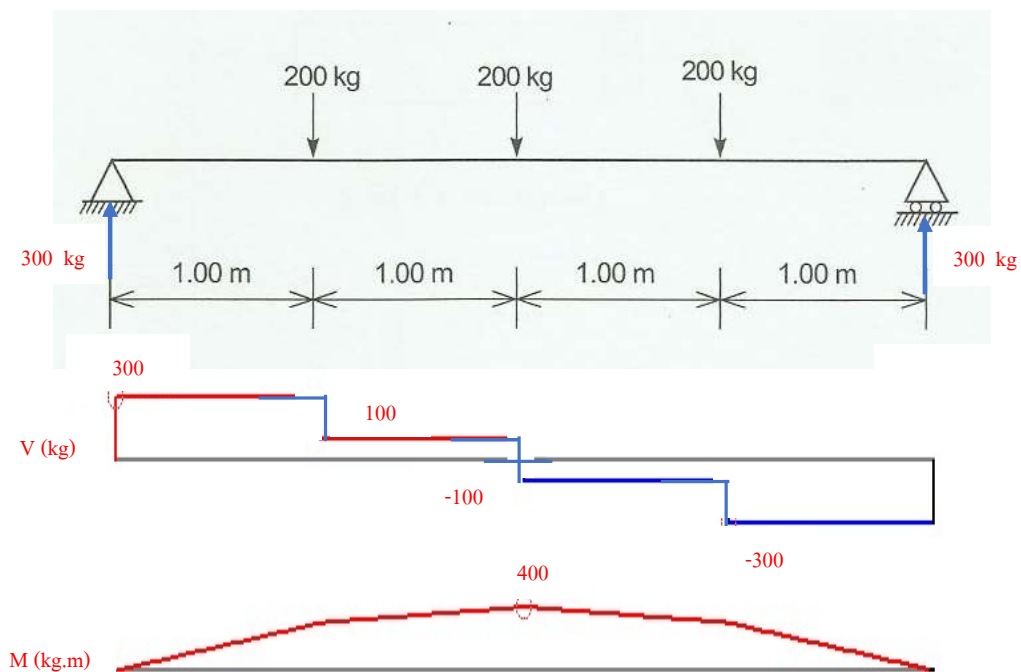
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

จงหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ พร้อมเขียนแผนภาพของแรงเฉือน (shear force diagram) และแผนภาพของโมเมนต์คด (bending moment diagram) ของโครงสร้างต่อไปนี้

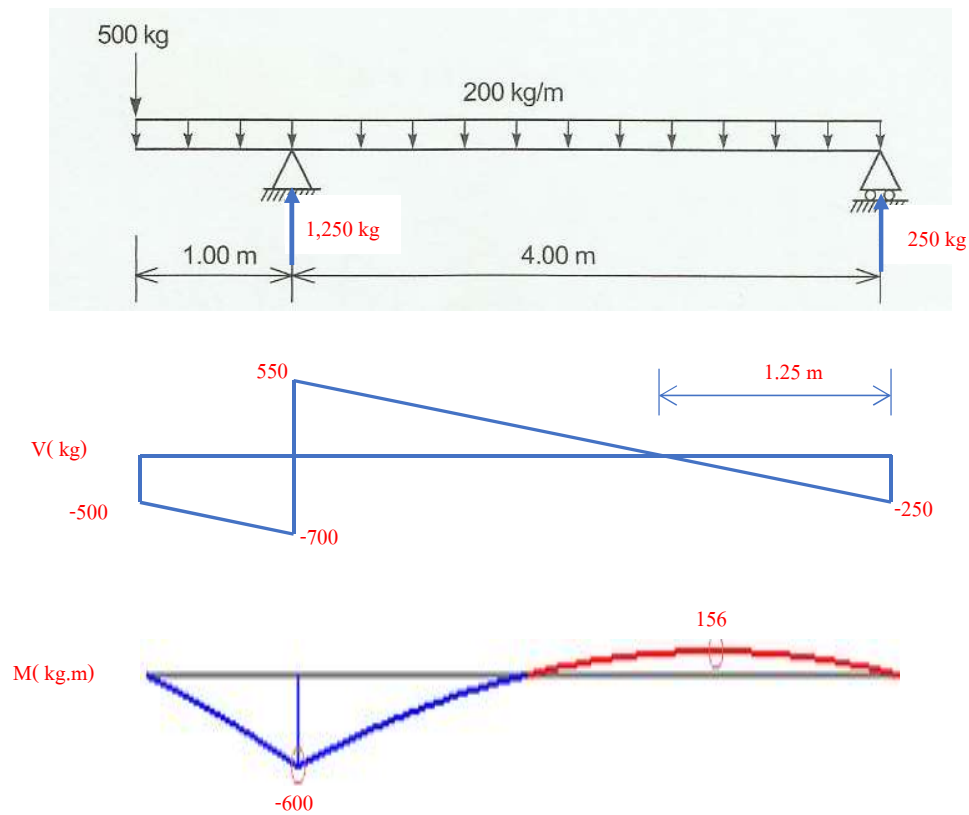
1. ตงไม้ยาว 4.00 m รับน้ำหนักจากพื้นไม้กระดานดังรูป



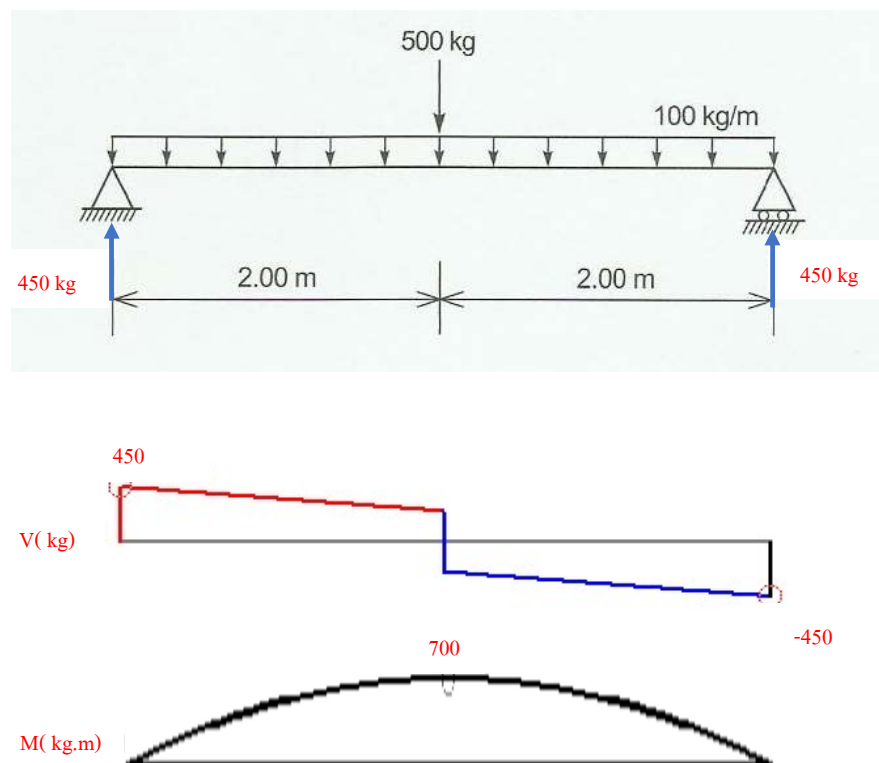
2. อะเสไม้ยาว 4.00 m รับน้ำหนักจากจันทัน ดังรูป



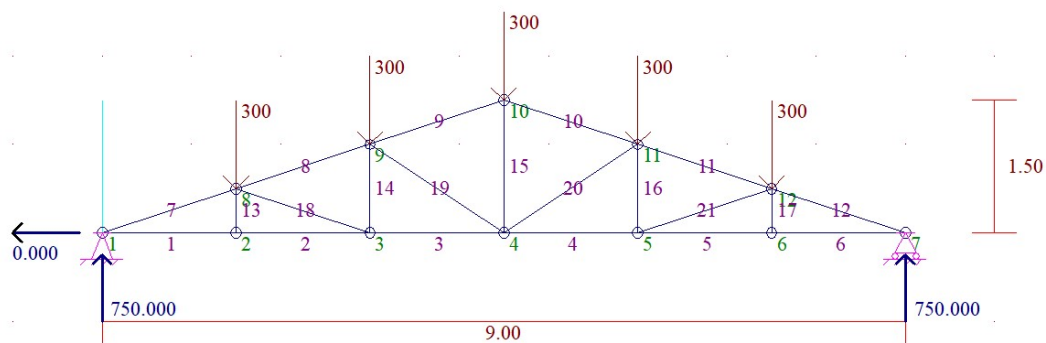
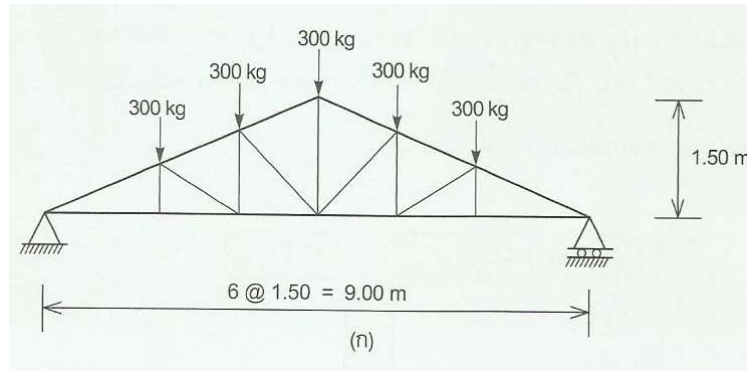
3. คานยื่นมีน้ำหนักจากเสาตึ๊กตาฝากที่ปลายคาน 500 kg รับน้ำหนักจากตงไม้ 200 kg /m ดังรูป



4. ขื่อรับน้ำหนักจากคั้ง 500 kg มีน้ำหนักจากฝ้าเพดาน 100 kg/m ดังรูป



5. จงคำนวณหาแรงในองค์อาคาร (member) ของโครงหลังคาลังรูป



ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

แรงภายในชิ้นส่วน + แรงดึง, - แรงอัด

ชิ้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)
1	1.5	2,250
2	1.5	2,250
3	1.5	1,800
4	1.5	1,800
5	1.5	2,250
6	1.5	2,250
7	1.6	-2,372
8	1.6	-1,897
9	1.6	-1,423
10	1.6	-1,423

Max.

Max.

Max.

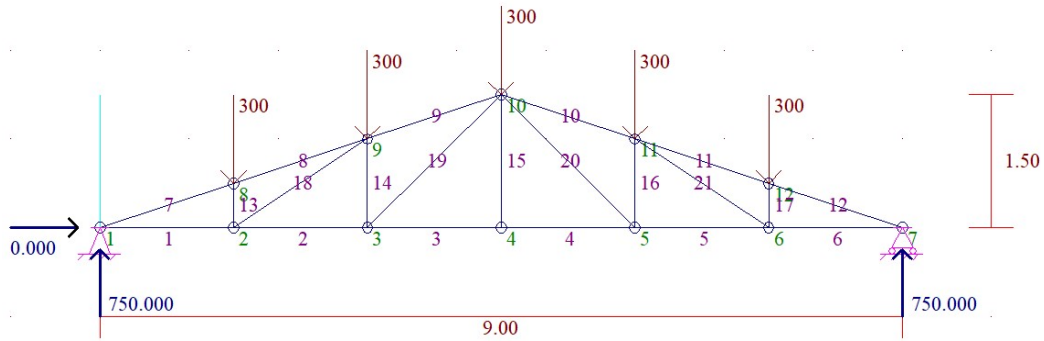
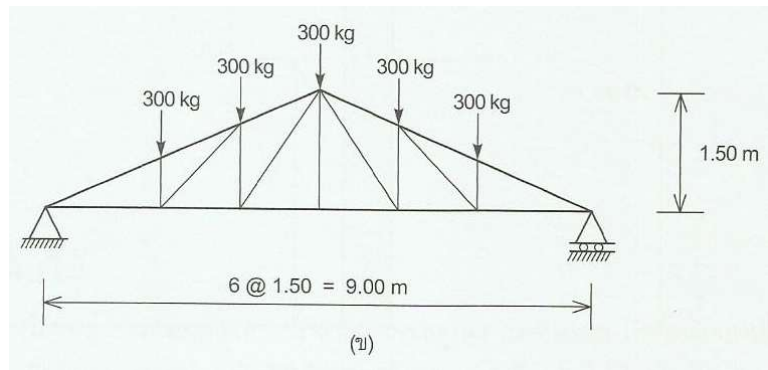
ชั้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)
11	1.6	-1,897
12	1.6	-2,372
13	0.5	0
14	1	150
15	1.5	600
16	1	150
17	0.5	0
18	1.6	-474
19	1.8	-541
20	1.8	-541
21	1.6	-474

Max.

แรงปฏิกิริยา

แกน X : + ขวา - ซ้าย, แกน Y : + ขึ้น - ลง

จุดต่อที่	R _x (kg)	R _y (kg)
1	0	750
7	0	750



ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

แรงภายในชิ้นส่วน

+ แรงดึง, - แรงอัด

ชิ้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)
1	1.5	2,250
2	1.5	1,800
3	1.5	1,350
4	1.5	1,350
5	1.5	1,800
6	1.5	2,250
7	1.6	-2,372
8	1.6	-2,372
9	1.6	-1,897
10	1.6	-1,897
11	1.6	-2,372
12	1.6	-2,372
13	0.5	-300
14	1	-450
15	1.5	0
16	1	-450

Max.

Max.

Max.

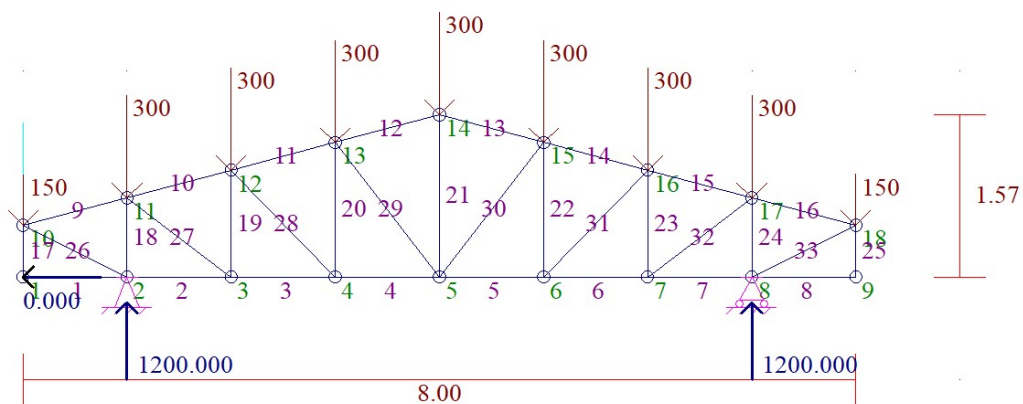
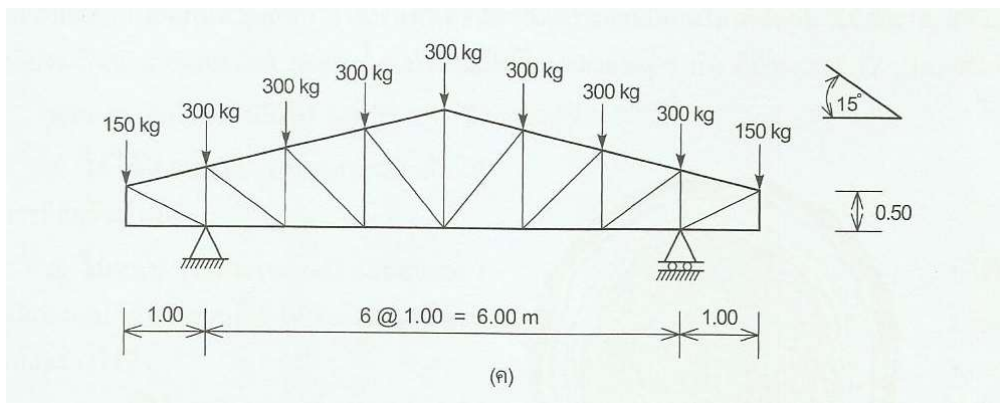
Max.

ชั้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)
17	0.5	-300
18	1.803	541
19	2.121	636
20	2.121	636
21	1.803	541

แรงปฏิกิริยา

แกน X : + ขวา - ซ้าย, แกน Y : + ขึ้น - ลง

จุดต่อที่	Rx (kg)	Ry (kg)
1	0	750
7	0	750



ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

แรงภายในชิ้นส่วน + แรงดึง, - แรงอัด

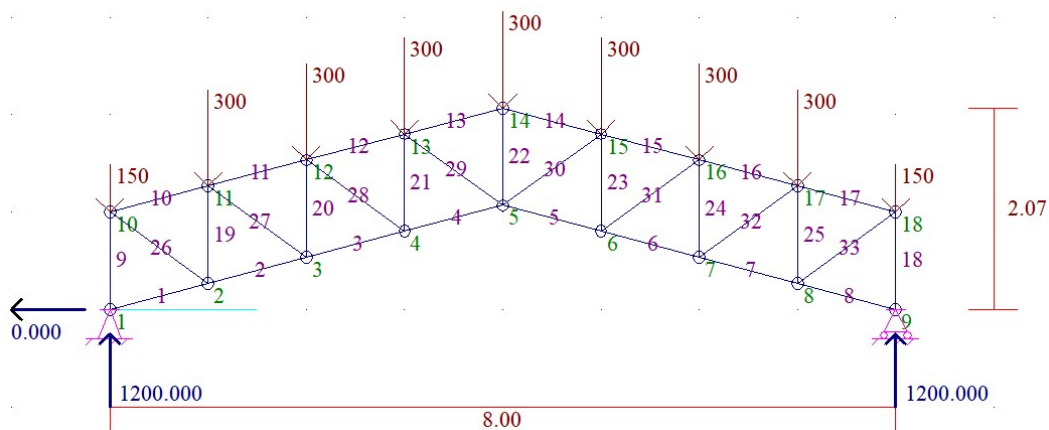
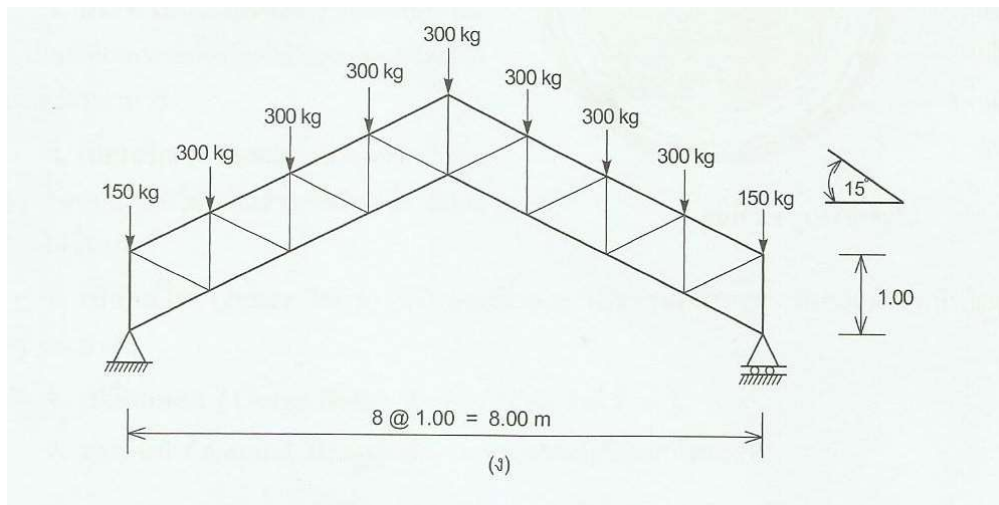
ชิ้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)
1	1	0
2	1	-195
3	1	579
4	1	806
5	1	806
6	1	579
7	1	-195
8	1	0
9	1	202
10	1	-600
11	1	-834
12	1	-791
13	1	-791

ชั้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)	
14	1	-834	
15	1	-600	
16	1	202	
17	1	0	
18	1	-1,102	Max.
19	1	-595	
20	1	-234	
21	2	109	
22	1	-234	
23	1	-595	
24	1	-1,102	Max.
25	1	0	
26	1	-218	
27	1	977	Max.
28	1	326	
29	2	-69	
30	2	-69	
31	1	326	
32	1	977	Max.
33	1	-218	

แรงปฏิกิริยา

แกน X : + ขวา - ซ้าย, แกน Y : + ขึ้น - ลง

จุดต่อที่	Rx (kg)	Ry (kg)
2	0	1,200
8	0	1,200



ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

แรงภายในชิ้นส่วน + แรงดึง, - แรงอัด

ชิ้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)
1	1	0
2	1	1087
3	1	1863
4	1	2329
5	1	2329
6	1	1863
7	1	1087
8	1	0
9	1	-1200

Max.

Max.

ชั้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)
10	1	-1087
11	1	-1863
12	1	-2329
13	1	-2484
14	1	-2484
15	1	-2329
16	1	-1863
17	1	-1087
18	1	-1200
19	1	-1050
20	1	-750
21	1	-450
22	1	984
23	1	-450
24	1	-750
25	1	-1050
26	1	1302
27	1	930
28	1	558
29	1	186
30	1	186
31	1	558
32	1	930
33	1	1302

Max.

Max.

.

แรงปฏิกิริยา

แกน X : + ขวา - ซ้าย, แกน Y : + ขึ้น - ลง

จุดต่อที่	Rx (kg)	Ry (kg)
1	0	1200
9	0	1200

6. ไม้เนื้อแข็งขนาด $2" \times 6" \times 5.00 \text{ m}$ มีน้ำหนักเท่าใด ถ้า ถ.พ. ของไม้เท่ากับ 0.88

เฉลย $1 \text{ inch} = 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m}$

ปริมาตรของไม้, $V = (2 \times 0.0254) \times (6 \times 0.0254) \times 5.00 = 0.0387 \text{ m}^3$

หน่วยน้ำหนักของน้ำ = $1,000 \text{ kg/m}^3$

หน่วยน้ำหนักของวัตถุ = ถ.พ. $\times$ หน่วยน้ำหนักของน้ำ

น้ำหนักของไม้, $W = 0.0387 \text{ (m}^3) \times 0.88 \times 1,000 \text{ (kg/m}^3) = 34.06 \text{ kg}$ **ตอบ**

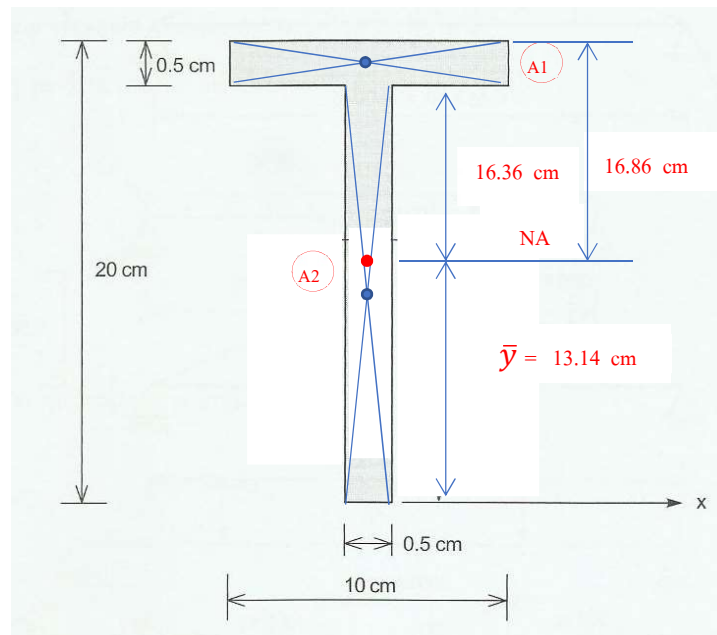
7. ถ้าทางหลวงกำหนดให้รถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 8,000 kg สามารถบรรทุกไม้เนื้อแข็งขนาด $2" \times 6" \times 5.00 \text{ m}$ ได้จำนวนกี่ท่อน (ไม่รวมน้ำหนักรถ) ถ้า ถ.พ. ของไม้เท่ากับ 0.88

เฉลย จากข้อที่ 6 น้ำหนักของไม้ความยาว 5.00 m = 34.06 kg

ทางหลวงกำหนดให้รถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 8,000 kg

$$\begin{aligned} \text{จำนวนไม้ เนื้อแข็งขนาด } 2" \times 6" \times 5.00 \text{ m ที่ใส่รถบรรทุกได้} &= \frac{8,000}{34.06} \\ &= 234 \text{ ท่อน} \quad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

8. จงหาค่า $\bar{y}$ และโมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน N.A.



เฉลย

$$A1 = 0.5 \times 10 = 5 \text{ cm}^2$$

$$A2 = 0.5 \times 19.5 = 9.75 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{\sum A_i \bar{y}_i}{\sum A_i} \\ &= \frac{((5 \times 19.75) + (9.75 \times 9.75))}{(5 + 9.75)} \\ &= 13.14 \text{ cm} \text{ จากแกน} \end{aligned}$$

ตอบ

$$\begin{aligned} \sum I_{NA} &= \sum (Ix + Ad^2) \\ &= \left(\left(\frac{1}{12} \times 10 \times (0.5)^3 \right) + (5 \times 16.61^2) \right) + \left(\frac{1}{12} \times 0.5 \times 19.5^3 \right) + (9.75 \times 3.14^2) \\ &= 1,379.56 + 405.08 \text{ cm}^4 \\ &= 1,784.64 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน N.A. = 1,784.64

cm⁴

ตอบ

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2

1. ส่วนใดของไม้ที่รับแรงได้ดีและใช้ในการก่อสร้าง

ตอบ ไม้แก่น (Heartwood) เป็นส่วนของไม้ที่ให้กำลังสูงและใช้ในการก่อสร้างได้ดี

2. จงยกตัวอย่างไม้เนื้อแข็งมา 5 ชนิด

ตอบ ไม้แดง ไม้เต็ง ไม้ประดู่ ไม้เกี่ยม ไม้หลุมพอ

3. จงยกตัวอย่างไม้เนื้อปานกลางมา 5 ชนิด

ตอบ ไม้ตะเคียนทอง ไม้ตะเคียนหนู ไม้ตะแบก ไม้มะค่า ไม้ยูง

4. จงยกตัวอย่างไม้เนื้ออ่อนมา 5 ชนิด

ตอบ ไม้กระดาด ไม้กะบาก ไม้พะยอม ไม้ยางแดง ไม้สัก

5. จงยกตัวอย่างไม้ที่ใช้ทำวงกบประตู หน้าต่าง มา 5 ชนิด

ตอบ ไม้ตะเคียนทอง ไม้ตะเคียนหนู ไม้ตะแบก ไม้มะค่า ไม้ยูง

6. ไม้เนื้อแข็งค่าความถ่วงจำเพาะมากหรือน้อย ให้เหตุผลประกอบ

ตอบ ไม้เนื้อแข็งค่าความถ่วงจำเพาะมาก เพราะมีน้ำหนักมากกว่าไม้เนื้ออ่อนเมื่อเทียบกับในปริมาตรที่เท่ากัน

7. การแบ่งมาตรฐานของไม้ตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยมีกี่ประเภท อะไรบ้างและให้ยกตัวอย่างมาอย่างละ 4 ชนิด

ตอบ มี 5 ประเภท ได้แก่

1. ไม้เนื้ออ่อนมาก ได้แก่ กะท้อน จำปาป่า จิกนม ยางขาว
2. ไม้เนื้ออ่อน ได้แก่ กะบาก พะยอม ยางแดง สัก
3. ไม้เนื้อปานกลาง ได้แก่ ตะเคียนทอง ตะเคียนหนู ตะแบก มะค่า
4. ไม้เนื้อแข็ง ได้แก่ กันเกรา แดง ประดู่ หลุมพอ
5. ไม้เนื้อแข็งมาก ได้แก่ กะปี่เขากวาย เขลียง ชาก บุนนาค

8. จงให้ความหมายของไม้ก่อสร้างชั้นที่ 1

ตอบ ไม้ก่อสร้างชั้น 1 ได้แก่ ไม้ที่ใช้สำหรับโครงสร้างของอาคารพิเศษ ตามพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร เช่น โรงมหรสพ อัฒจันทร์ หอประชุม อุโมงค์ อาคารที่สูงกว่า 15 เมตร เป็นต้น

9. จงให้ความหมายของไม้ก่อสร้างชั้นที่ 2

ตอบ ไม้ก่อสร้างชั้น 2 ได้แก่ ไม้ที่ใช้สำหรับโครงสร้างของอาคารสาธารณะ ตามพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร เช่น โรงเรียน โรงแรม ภัตตาคาร โรงพยาบาล เป็นต้น

10. จงให้ความหมายของไม้ก่อสร้างชั้นที่ 3

ตอบ ไม้ก่อสร้างชั้น 3 ได้แก่ ไม้ที่ใช้สำหรับโครงสร้างของบ้านพักอาศัย ตามพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร เช่น ตึก บ้าน เรือน โรง แพ เป็นต้น

11. หน่วยแรงคัดของไม้เท่ากับ 120 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับกี่เมกะปาสคาล

ตอบ $1 \text{ เมกะปาสคาล} = 10 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{หน่วยแรงคัดของไม้เท่ากับ } 120 \text{ kg/cm}^2 = \frac{120}{10} = 12 \text{ เมกะปาสคาล}$$

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3

1. ออกไถ่ไม้ยาว 4.00 m รับน้ำหนักจากวัสดุผนังและน้ำหนักบรรทุกจรรวม 200 kg/m จงออกแบบออกไถ่ไม้

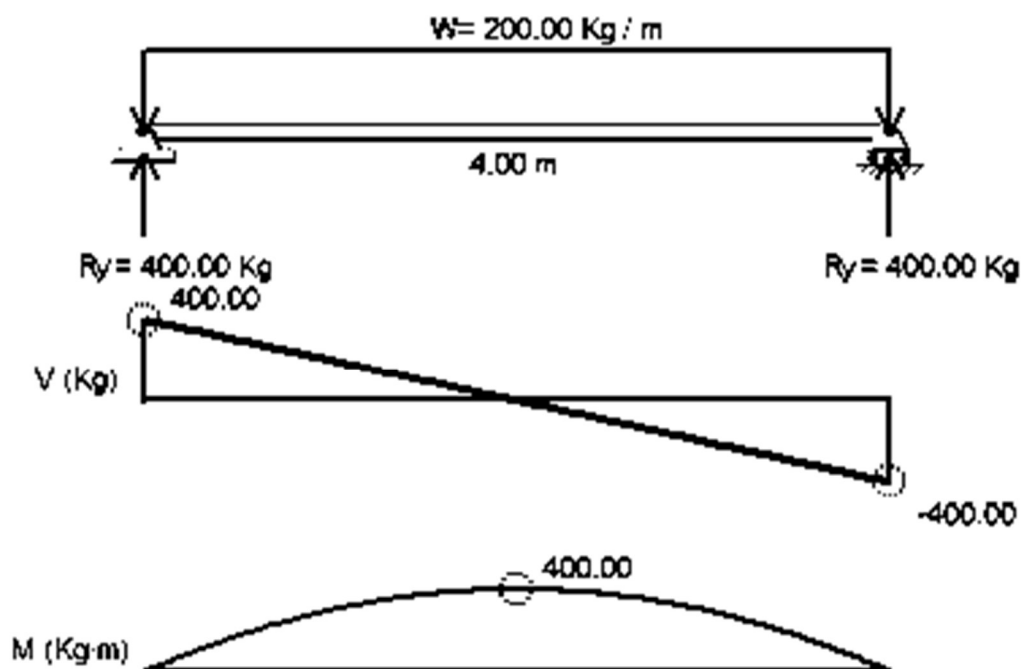
กำหนดให้ วางบนเสาไม้ขนาด 6" × 6"

$$F_b = 120 \text{ ksc} \quad F_c = 30 \text{ ksc}$$

$$F_h = 10 \text{ ksc} \quad \Delta_{all} = \frac{L}{360}$$

$$E = 136,300 \text{ ksc}$$

เฉลย



$$M = 400 \text{ kg.m}$$

จากสูตรหน่วยแรงดัด, $F_b = \frac{6M}{bd^2}$

ดังนั้น $bd^2 = \frac{6M}{F_b}$

$$d = \sqrt{\frac{6M}{b \cdot F_b}}$$

เลือกไม้ออกไถ่หนา, $(b) = 2 \text{ in} = 5.08 \text{ cm}$

$$d = \frac{6 \times 400 \times 100}{5.08 \times 120} = 19.81 \text{ cm} \text{ ใช้ } 8 \text{ in (20.32 cm)}$$

ใช้ไม้เอกไถ่ขนาด 2"×8"

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น, $f_h = \frac{3V}{2bd} < F_h$

$$= \frac{3 \times 400}{2 \times 5.08 \times 20.32}$$

$$= 5.1 \text{ kg/cm}^2 < 10 \text{ kg/cm}^2 \text{ ใช้ได้}$$

ตรวจสอบหน่วยแรงกดที่เกิดขึ้น, $f_c = \frac{P}{A}$ (ถ้าวางบนเสาหนา 6 in = 15.24 cm)

พื้นที่รับแรงกด $L = 15.24 \text{ cm} > 15 \text{ cm}$ ฉะนั้นไม่ต้องเพิ่มค่า F_c ใช้ $f_c = \frac{P}{A}$

$$f_c = \frac{400}{5.08 \times 15.24}$$

$$= 5.16 \text{ kg/cm}^2 < 30 \text{ kg/cm}^2$$

ตรวจสอบการโก่งที่เกิดขึ้น, $\Delta_{\max} = \frac{5WL^4}{384EI}$

$$I = \frac{1}{12} \times 5.08 \times (20.32)^3 = 3,551.84 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \times 200 \times (400)^4}{384 \times 100 \times 136,300 \times 3,551.84}$$

$$= 1.38 \text{ cm}$$

การโก่งที่ยอมให้, $\Delta_{\text{all}} = \frac{L}{360} = \frac{400}{360} = 1.11 \text{ cm}$

$$\Delta_{\max} > \Delta_{\text{all}} = 1.38 - 1.11 = 0.27 \text{ cm} \text{ ตามทฤษฎีใช้ไม่ได้}$$

แต่เนื่องจากเกินเพียงเล็กน้อยมากในทางปฏิบัติจึงอนุญาต

ดังนั้นใช้เอกไถ่ไม้ขนาด 2"×8" ได้

ตอบ

2. ตงไม้ขนาด $2" \times 6"$ ปูด้วยพื้นไม้หนา 1" ต้องการสร้างเป็นบ้านพักอาศัย รับน้ำหนักบรรทุกจรตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ความยาวตง 4.00 m จงหาระยะของตงไม้ที่เหมาะสม กำหนดให้ วางบนคานไม้หนา 2"

$$F_b = 120 \text{ ksc} \quad F_c = 30 \text{ ksc}$$

$$F_h = 10 \text{ ksc} \quad \Delta_{all} = \frac{L}{360}$$

$$E = 136,300 \text{ ksc}$$

เฉลย

$$\text{น้ำหนักจร (LL)} = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{น้ำหนักพื้นไม้รวมตง (DL)} = 50 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{รวม (LL + DL)} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{ให้ตงมีระยะห่าง} = a$$

$$\text{น้ำหนักตงตง} = 200 \times a = 200.a \text{ kg/m}$$

$$\text{ตรวจสอบการโก่งที่เกิดขึ้น, } \Delta_{max} = \frac{5WL^4}{384EI}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 5.08 \times (15.24)^3 = 1,498.43 \text{ cm}^4$$

$$\text{การโก่งที่ยอมให้, } \Delta_{all} = \frac{L}{360} = \frac{400}{360} = 1.11 \text{ cm}$$

$$\text{ให้ } \Delta_{max} = \Delta_{all} = 1.11 \text{ cm}$$

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad 1.11 = \frac{5 \times 200.a \times (400)^4}{384 \times 100 \times 136,300 \times 1,498.43}$$

$$1.11 = 3.26..a$$

$$a = 1.11/3.26 = 0.34 \text{ m}$$

$$\text{ระยะของตงไม้ที่เหมาะสม} = 0.34 \text{ m} \quad \text{ตอบ}$$

3. คานไม้ยาว 8.00 m รับน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกคงที่เท่ากับ 500 kg/m จงออกแบบ

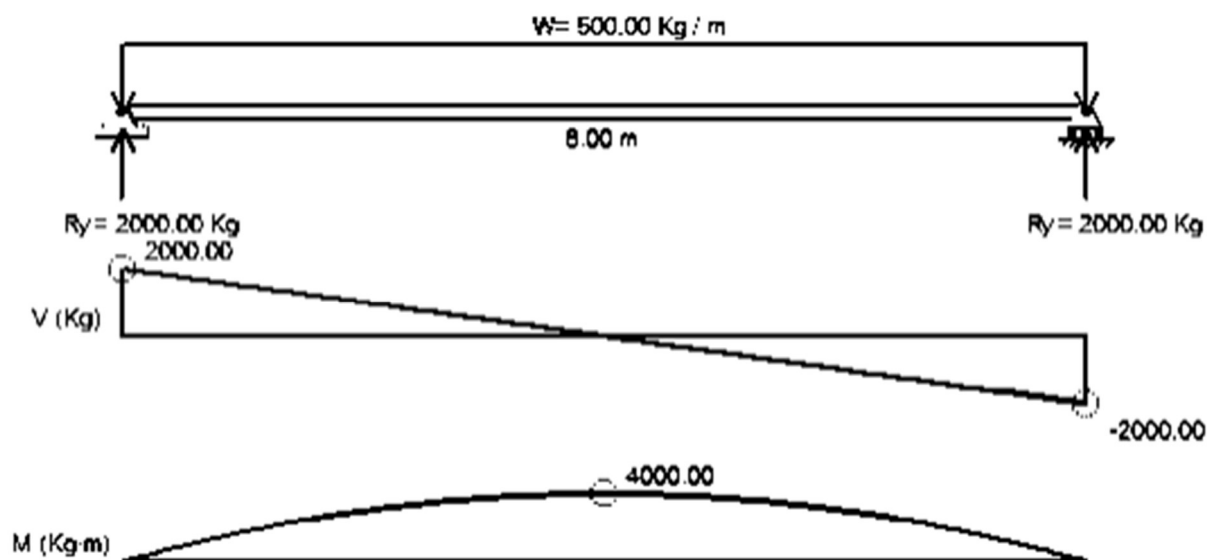
คาน

ก. คานประกอบไม้แบบกล่อง ใช้ตะปูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ยาว 15 cm รับแรงต้านทานด้านข้างได้ 150 kg / 1 ตัว

ข. คานประกอบไม้แบบตันใช้เหวนยึดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4" รับแรงต้านทานด้านข้างได้ 2,740 kg / 1 ตัว

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้} \quad F_b &= 120 \text{ ksc} & F_c &= 30 \text{ ksc} \\ F_h &= 10 \text{ ksc} & \Delta_{\text{all}} &= \frac{L}{360} \\ E &= 136,300 \text{ ksc} \end{aligned}$$

เฉลย ก. คานประกอบไม้แบบกล่อง



หาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด, $M_{\text{max}} = 4,000 \text{ kg.m}$

หาค่าแรงเฉือนที่มากที่สุด, $V_{\text{max}} = 2,000 \text{ kg}$

จาก M_{max} เลือกไม้กว้าง, $b = 10 \text{ in (25 cm)}$ หาคความลึกของคานโดยประมาณได้

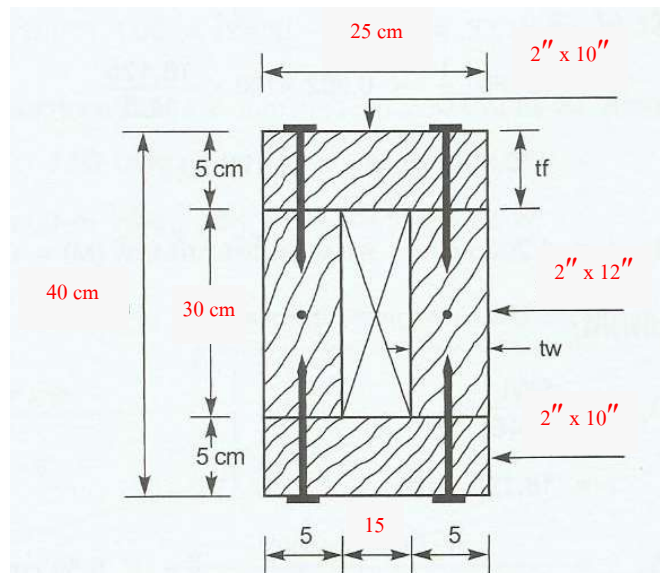
$$\text{จากสูตรหน่วยแรงดัด, } F_b = \frac{6M}{bd^2}$$

$$\text{ดังนั้น } bd^2 = \frac{6M}{F_b}$$

$$d = \sqrt{\frac{6M}{b \cdot F_b}}$$

$$d = \sqrt{\frac{6 \times 4,000 \times 100}{25 \times 120}} = 28.28 \text{ cm} \text{ ใช้ } 40 \text{ cm}$$

เลือกไม้ขนาด 2" x 10" และ 2" x 12" ประกอบกันดังรูป



เนื่องจากเป็นคานประกอบจึงต้องหาค่า สัมประสิทธิ์ของรูปตัด

$$I_x = \frac{1}{12} \left[(25 \times 40^3) - (15 \times 30^3) \right] = 99,583.33 \text{ cm}^4$$

หรือ $\Sigma I_{NA} = \Sigma (I_x + A \cdot d^2)$

$$= 2x \left[\left(\frac{1}{12} \times 25 \times 5^3 \right) + (5 \times 25 \times 17.5^2) \right] + 2x \left[\left(\frac{1}{12} \times 5 \times 30^3 \right) + (5 \times 30 \times 0) \right]$$

$$= 77,083.33 + 22,500$$

$$= 99,583.33 \text{ cm}^4$$

$$c = \frac{p^2(6 - 8p + 3p^2)(1 - q) + q}{p}$$

$$p = \frac{t_f}{d} = \frac{5}{40} = 0.125$$

$$q = \frac{t_w}{b} = \frac{2 \times 5}{25} = 0.40$$

ดังนั้น $c = \left[(0.125)^2 [6 - (8 \times 0.125) + (3 \times 0.125^2)] (1 - 0.40) \right] + 0.40$

$$c = 0.446$$

$$K_f = 0.81 \left[1 + \left(\frac{35^2 + 894}{35^2 + 550} - 1 \right) \times 0.446 \right]$$

$$= 0.880$$

จะได้หน่วยแรงคดที่ยอมให้คูณด้วยสัมประสิทธิ์ของรูปคด

$$K_f.F_b = \frac{MC}{I}$$

ค่าโมเมนต์คดที่ยอมให้,

$$\begin{aligned} M &= K_f.F_b \cdot \frac{I}{C} = 0.880 \times 120 \times \frac{99,583.33}{20} \\ &= 525,799.98 \text{ kg.cm} = 5,257 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

โมเมนต์คดที่เกิดขึ้น ($M_{\max}$) = 4,000 kg.m < ค่าโมเมนต์คดที่ยอมให้ (M) = 5,257 kg.m **ใช้ได้**

ตรวจสอบการโก่งที่เกิดขึ้น, $\Delta_{\max} = \frac{5WL^4}{384EI}$

$$I = 99,583.33 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \times 500 \times (800)^4}{384 \times 100 \times 136,300 \times 99,583.33} = 1.96 \text{ cm}$$

การโก่งที่ยอมให้, $\Delta_{\text{all}} = \frac{L}{360} = \frac{800}{360} = 2.22 \text{ cm}$

$$\Delta_{\max} < \Delta_{\text{all}} \quad \text{ใช้ได้}$$

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$F_h = \frac{3V}{2bd} = \frac{VQ}{Ib}$$

โดยที่ $V_{\max} = 2,000 \text{ kg}$

โดยที่ Q คือโมเมนต์พื้นที่จากผิวนอกสุดถึงแกน N.A. ทั้งหมด

$$Q = (25 \times 5 \times 17.5) + (2 \times 5 \times 15 \times 7.5) = 3,312.5 \text{ cm}^3$$

ขาที่รับแรงเฉือน, $b = 2 \times 5 = 10 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าจะได้, } f_h &= \frac{2,000 \times 3,312.5}{99,583.33 \times 10} \\ &= 6.65 \text{ kg/cm}^2 < 10 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

ใช้ได้

เพราะฉะนั้นรูปคดที่เลือกสามารถใช้ได้

ตอบ

เลือกขนาดของตะปูเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ยาว 15 cm รับแรงต้านทานทางข้างได้ 150 kg ต่อ 1 ตัว พิจารณาแรงเฉือนที่ขอบบนของแผ่นตั้ง เพื่อหาระยะของตะปู

$$\text{หน่วยแรงเฉือนของตะปู, } f_h = \frac{VQ}{Ib}$$

โดยที่ Q คือโมเมนต์พื้นที่ไม้แผ่นบนที่รับแรงเฉือนถึงแกน N.A. = $(25 \times 5 \times 17.5) = 2,187.5 \text{ cm}^3$

$$\text{แทนค่า} \quad f_h = \frac{2,000 \times 2,187.5}{99,583.33 \times 2 \times 5} = 4.39 \text{ kg/cm}^2$$

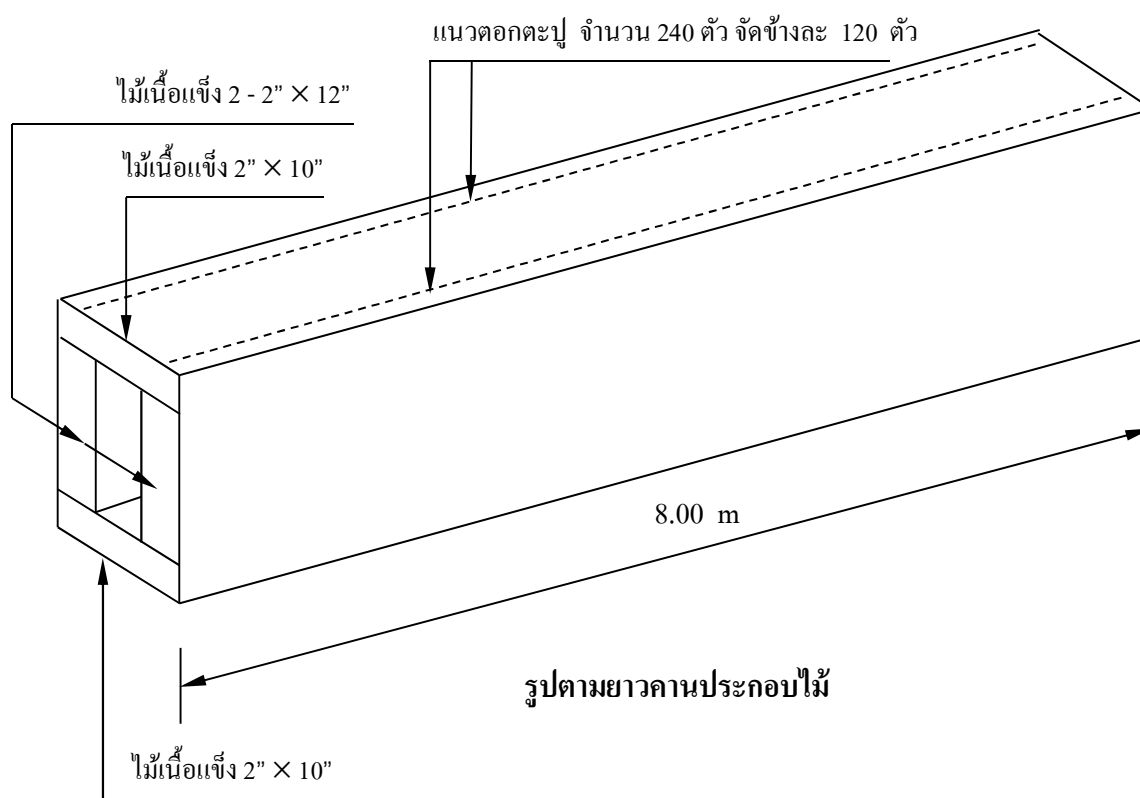
$$\text{แรงเฉือนต่อความยาว 1.00 m} = 4.39 \times 2 \times 5 \times 100 = 4,390 \text{ kg/m}$$

$$\text{เพราะฉะนั้นในความยาว 1.00 m ใช้ตะปู} = \frac{4,390}{150} = 29.26 \text{ ตัว}$$

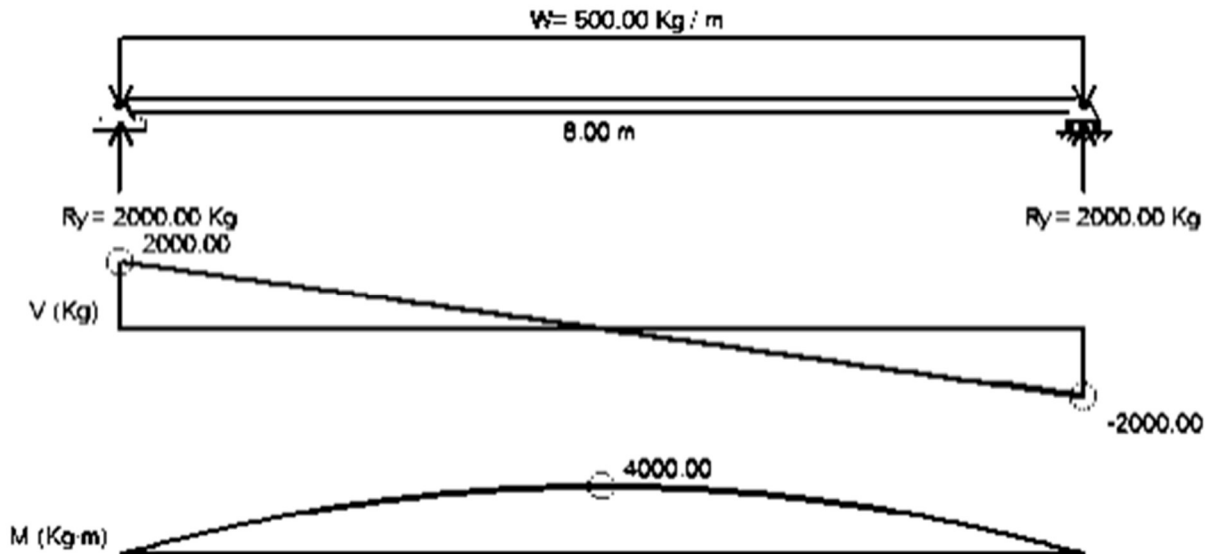
ดังนั้นใช้ตะปูเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ยาว 15 cm จำนวน 30 ตัวต่อความยาว 1.00 m โดยจัดข้างละ 15 ตัว ต่อความยาว 1.00 m

ตลอดความยาว 8.00 m ใช้ตะปู 240 ตัว โดยจัดข้างละ 120 ตัว

ตอบ



เฉลย ข. คานประกอบไม้แบบต้น



หาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด, $M_{\max} = 4,000 \text{ kg.m}$

หาค่าแรงเฉือนที่มากที่สุด, $V_{\max} = 2,000 \text{ kg}$

จาก $M_{\max}$ เลือกไม้กว้าง, $b = 8 \text{ in (20 cm)}$ หาคความลึกของคานโดยประมาณได้

จากสูตรหน่วยแรงดัด, $Fb = \frac{6M}{bd^2}$

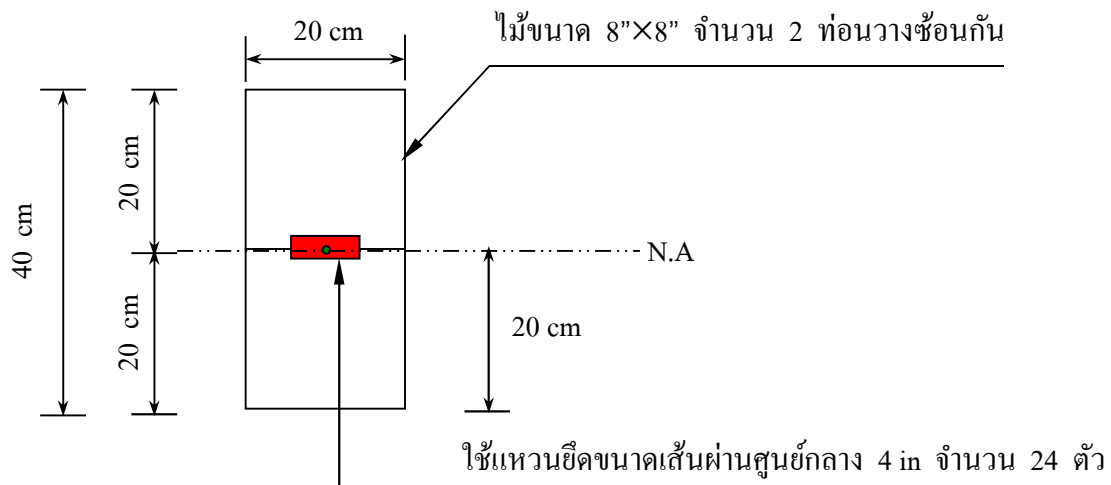
ดังนั้น $bd^2 = \frac{6M}{Fb}$

$$d = \sqrt{\frac{6M}{b \cdot Fb}}$$

$$d = \sqrt{\frac{6 \times 4,000 \times 100}{20 \times 120}}$$

$$= 31.62 \text{ cm (12.65 in)} \text{ ใช้ความลึก } 16 \text{ in (40 cm)}$$

ดังนั้นใช้ไม้ขนาด 8"×8" จำนวน 2 ท่อนวางซ้อนกันดังรูป



หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่แกนสะเทิน,

$$f_h = \frac{3 \times 2,000}{2 \times 20 \times 40} = 3.75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} f_h &= \frac{VQ}{Ib} \\ &= \frac{2,000 \times (20 \times 20 \times 10)}{106,666.66 \times 20} \\ &= 3.75 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้,

$$F_h = 10 \text{ kg/cm}^2 > 3.75 \text{ kg/cm}^2$$

ใช้ได้

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่รอยประกบเพื่อหาจำนวนของแหวนยึด

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \times 20 \times 40^3 \\ &= 106,666.66 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่รอยประกบ,

$$F_h = \frac{VQ}{Ib} = \frac{2,000 \times 20 \times 20 \times 1}{106,666.66 \times 20} = 3.75 \text{ kg/cm}^2$$

ค่าแรงเฉือนที่รอยประกบต่อความยาว 1 m = $3.75 \times 20 \times 100$

$$= 7,500 \text{ kg}$$

$$\text{จำนวนแหวนที่ต้องใช้} = \frac{7,500}{2,740} = 2.74 \text{ ตัว / 1 m}$$

ดังนั้นใช้แหวนยึดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 in จำนวน 3 ตัว ต่อความยาว 1 m

ถาวยาว 8.00 m ใช้แหวนยึดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 in จำนวน 24 ตัว

ตอบ

ตรวจสอบการโก่งที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \text{- การโก่งที่ยอมให้, } \Delta_{\text{all}} &= \frac{800}{360} \\ &= 2.22 \text{ cm} \\ \text{- การโก่งที่เกิดขึ้น, } \Delta_{\text{max}} &= \frac{5WL^4}{384EI} \\ &= \frac{5 \times 500 \times (800)^4}{384 \times 100 \times 136,300 \times 106,666.66} \\ &= 1.83 \text{ cm} < 2.22 \text{ cm} \end{aligned}$$

ใช้ได้

คานาลึกมากกว่า 30 cm เพราะฉะนั้นหน่วยแรงดัดที่ยอมให้จะลดลงตามค่าสัมประสิทธิ์ของความลึก (Kd)

$$\begin{aligned} Kd &= 0.81 \left(\frac{d^2 + 894}{d^2 + 550} \right) \\ &= 0.81 \left(\frac{40^2 + 894}{40^2 + 550} \right) \\ &= 0.940 \end{aligned}$$

หาค่าโมเมนต์สูงสุดที่คานสามารถรับได้ จากสมการ

$$Kd.Fb = \frac{MC}{I} = \frac{6M}{bd^2}$$

$$M_{\text{all}} = \frac{Kd.Fb.bd^2}{6}$$

$$M_{\text{all}} = \frac{0.940 \times 120 \times 20 \times (40)^2}{6}$$

$$M_{\text{all}} = 601,600 \text{ kg.cm}$$

$$= 6,016 \text{ kg.m}$$

โมเมนต์สูงสุดที่คานสามารถรับได้ = 6,016 kg.m > โมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้น 4,000 kg.m

ดังนั้นคานประกอบไม้ที่ออกแบบใช้ไม้ขนาด 8" × 8" จำนวน 2 ท่อน

ใช้ได้

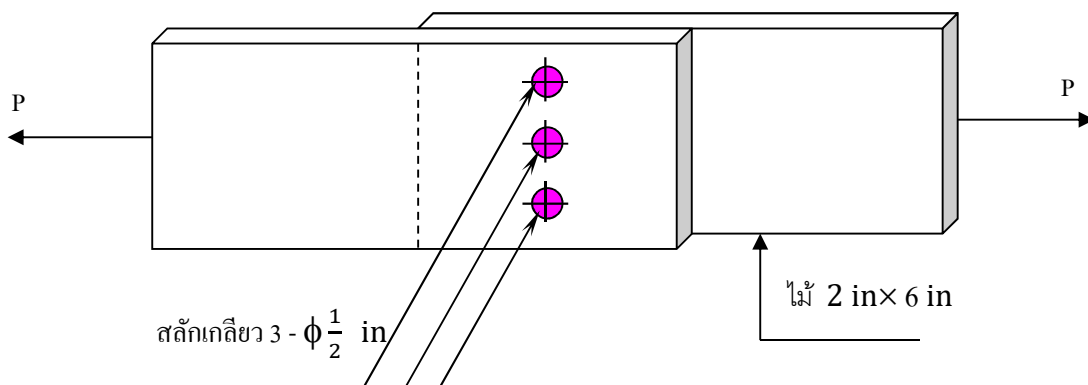
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4

1. จงหาแรงดึงสูงสุดที่จุดต่อโครงสร้างไม้ขนาด 2" × 6" ใช้สลักเกลียว (bolt) 1/2 in วางเรียงในแนวตั้ง จำนวน 3 ตัว ซึ่งรับแรงต้านทานทางข้างได้ 1,300 kg/ 1 ตัว

กำหนดให้

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของไม้, $F_t = 120 \text{ ksc}$ คิดไม้ 1 in เท่ากับ 2.5 cm

เฉลย



หน่วยแรงดึงที่ยอมให้, $F_t = 120 \text{ kg/cm}^2$

จากสูตรหน่วยแรงดึง, $F_t = \frac{P}{A}$

หาพื้นที่หน้าตัดสุทธิ, $A_{\text{net}} = \frac{P}{F_t}$

จาก $A_{\text{net}} = b.d$

$$d_{\text{net}} = (6 \times 2.5) - (3 \times \frac{1}{2} \times 2.5) = 11.25 \text{ cm}$$

$$A_{\text{net}} = b.d = (2 \times 2.5) \times 11.25 = 56.25 \text{ cm}^2$$

ไม้รับแรงดึงได้ $P = 120 \times 56.25 = 6,750 \text{ kg}$

การต่อใช้สลักเกลียว $\phi \frac{1}{2} \text{ in}$ รับแรงต้านข้างได้ 1,300 kg/ 1 ตัว

สลักเกลียว 3 ตัว รับแรงดึงได้ $= 3 \times 1,300 = 3,900 \text{ kg}$

ไม้รับแรงดึงได้ 6,750 kg มากกว่าสลักเกลียวที่รับแรงดึงได้ 3,900 kg

ฉะนั้นแรงดึงที่ปลอดภัยเท่ากับ 3,900 kg

ตอบ

2. เสายาว 4.00 m รับน้ำหนักในแนวแกน 5,500 kg คิดไม้ 1 in เท่ากับ 2.5 cm

กำหนดให้

หน่วยแรงอัดของไม้ขนานเส้น, $F_c // = 120 \text{ ksc}$

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้, $E = 136,300 \text{ ksc}$

จงออกแบบเสาไม้พร้อมเขียนรูปหน้าตัดประกอบของ

ก. เสาต้น

ข. เสาประกอบแบบต้น

ค. เสาประกอบแบบไม้แผ่น

ง. เสากลม

เฉลย ก. เสาต้น จาก $F_c = \frac{P}{A}$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดเสาโดยประมาณ, } A = \frac{5,500}{120} = 45.83 \text{ cm}^2$$

(ให้เพิ่มพื้นที่หน้าตัดไว้ประมาณ 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดที่หาได้ เพราะต้องตรวจสอบหน่วยแรงอัดที่แท้จริงจากความยาวหลอด)

$$\text{เพิ่มพื้นที่หน้าตัด 2 เท่า} = 45.83 \times 2 = 91.66 \text{ cm}^2$$

เลือกหน้าตัดเสาขนาด $5'' \times 5''$ ($12.5 \times 12.5 = 156.25 \text{ cm}^2$)

$$\text{ตรวจสอบ } \frac{L}{d} = \frac{400}{12.5} = 32 > 12 \text{ ไม่เกิน } 50 \text{ ใช้ได้}$$

$$\text{จาก } \frac{P}{A} = F_c \left(1.33 - \frac{L}{35d} \right)$$

หาหน่วยแรงอัดที่แท้จริงเนื่องจากความยาวหลอดของเสาได้คือ

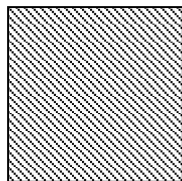
$$\frac{P}{A} = 120 \times \left(1.33 - \frac{32}{35} \right) = 49.89 \text{ kg/cm}^2$$

เสารับน้ำหนักได้, $P = 49.89 \times 12.5 \times 12.5 = 7,794 \text{ kg} > 5,500 \text{ kg}$ **ใช้ได้**

เพราะฉะนั้นใช้ไม้ขนาด $5'' \times 5''$ ทำเสาได้

ตอบ

เราสามารถเขียนรูปหน้าตัดเสาได้ ดังนี้



เสาไม้ขนาด $5'' \times 5''$

เฉลย ข. เสาประกอบแบบคันทัน

จาก $F_c = \frac{P}{A}$

พื้นที่หน้าตัดเสาโดยประมาณ, $A = \frac{5,500}{120} = 45.83 \text{ cm}^2$

(ให้เพิ่มพื้นที่หน้าตัดไว้ประมาณ 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดที่หาได้ เพราะต้องตรวจสอบหน่วยแรงอัดที่แท้จริงจากความยาวชะลูด)

เพิ่มพื้นที่หน้าตัด 2 เท่า $= 45.83 \times 2 = 91.66 \text{ cm}^2$

เลือกหน้าตัดเสาขนาด $5" \times 5"$ ($12.5 \times 12.5 = 156.25 \text{ cm}^2$)

ตรวจสอบ $\frac{L}{d} = \frac{400}{12.5} = 32 > 12$ ไม่เกิน 50 ใช้ได้

จาก $\frac{P}{A} = F_c \left(1.33 - \frac{L}{35d} \right)$

หาหน่วยแรงอัดที่แท้จริงเนื่องจากความยาวชะลูดของเสาได้คือ

$$\frac{P}{A} = 120 \times \left(1.33 - \frac{32}{35} \right) = 49.89 \text{ kg/cm}^2$$

เสารับน้ำหนักได้, $P = 49.89 \times 12.5 \times 12.5 = 7,794 \text{ kg}$

จากตารางแสดงค่าตัวคูณสำหรับเสาประกอบที่ $\frac{L}{d} > 26$

ตัวคูณประกอบ, $F = 0.82$

ดังนั้น $P' = FP = 0.82 \times 7,794$

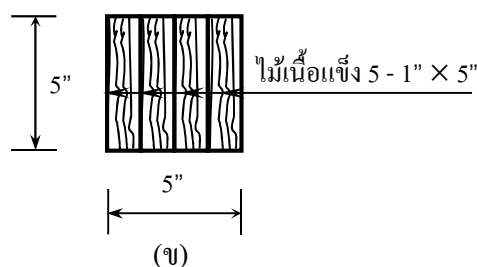
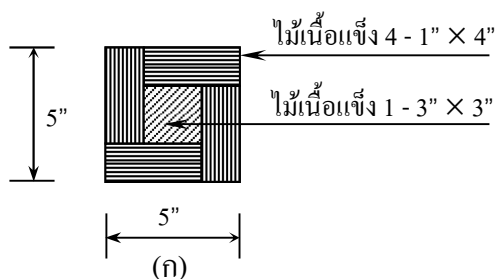
$$= 6,391 \text{ kg} > 5,500 \text{ kg}$$

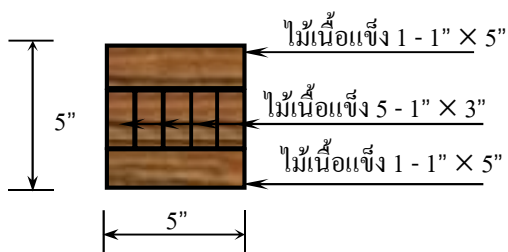
ใช้ได้

เพราะฉะนั้นใช้เสาไม้ขนาด $5" \times 5"$ ทำเป็นเสาประกอบได้

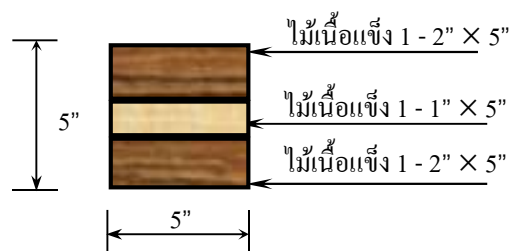
ตอบ

สามารถเขียนรูปหน้าตัดเสาเป็นตัวอย่างได้ 4 แบบ ดังนี้





(ก)



(ง)

เฉลย ค. เสาประกอบแบบไม้แผ่น

เลือกการยึดปลายแบบ (ก) $= \frac{L}{20}$

ดังนั้นระยะการยึดปลาย $= \frac{400}{20} = 20 \text{ cm}$

$$\frac{P}{A} = \frac{0.75E}{(L/d)^2}$$

เลือกไม้หนา (ด) $1\frac{1}{2}$ นิ้ว $= 2 \times 1.5 \times 2.5 \text{ cm} = 7.5 \text{ cm}$

$$= \frac{0.75 \times 136,300}{\left(\frac{400}{7.5}\right)^2}$$

$$= 35.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{5,500}{35.94} = 153.04 \text{ cm}^2$$

ความกว้างที่ต้องการ, $b = \frac{A}{d} = \frac{153.04}{2 \times 7.5}$

$$= 10.20 \text{ cm}$$

ความกว้างไม้ที่ใช้เท่ากับ 5" (12.50 cm)

ตรวจสอบ, ค่า $\frac{P}{A}$ โดยคิดจากเสาตันทางด้านลึก 5 in (12.5 cm)

$$\frac{P}{A} = \frac{0.30E}{(L/d)^2}$$

$$= \frac{0.30 \times 136,300}{\left(\frac{400}{12.5}\right)^2}$$

$$= 39.93 \text{ kg/cm}^2 > 35.94 \text{ kg/cm}^2$$

ใช้ได้

ตรวจสอบอัตราส่วน

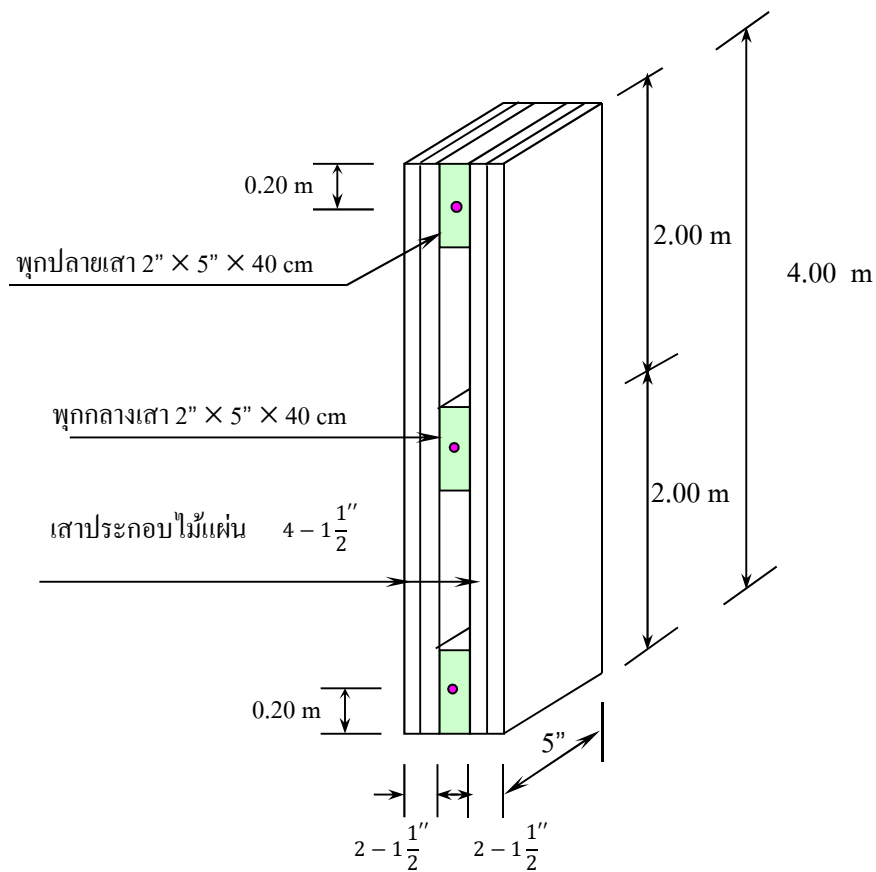
$$\frac{L}{d} \leq 80$$

$$\frac{400}{7.5} = 53.33 \leq 80$$

ใช้ได้

ตอบ

เพราะฉะนั้นใช้ไม้ขนาด $4 - 1\frac{1}{2} \times 5''$ ทำเป็นเสาประกอบไม้แผ่นได้
สามารถเขียนรูปเสาประกอบไม้แผ่นได้ดังรูปต่อไปนี้



เสาประกอบไม้แผ่น

เฉลย ง. เสากลม

จาก
$$\frac{P}{A} = \frac{3.619E}{(L/r)^2}$$

r คือรัศมีไจเรชั่น (radius of gyration) ที่น้อยที่สุดมีค่า
$$= \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi D^4}{64}}{\frac{\pi D^2}{4}}} = \frac{D}{4}$$

เลือกเสากลม D = 6" = 15 cm

r = $\frac{15}{4}$ = 3.75 cm

$$\frac{P}{A} = \frac{3.619 \times 136,300}{\left(\frac{400}{3.75}\right)^2}$$

= 43.35 kg/cm²

P = 43.35 x π x (15)² x $\frac{1}{4}$
= 7,660 kg > 5,500 kg

ใช้ได้

ใช้เสากลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6"

ตอบ

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5

1. เจ้าของโครงการต้องการโครงหลังคาไม้เพื่อสร้างอุ้งมรมมีช่วงยาวภายในเท่ากับ 15.00 m โดยยื่นชายคาออกไปข้างละ 1.50 m เพื่อป้องกันฝนสาด รวมความยาวทั้งหมดเท่ากับ 18.00 m ความลาดของหลังคา (slope) เท่ากับ 10 องศา โครงหลังคาไม้ห่างกัน 4.00 m ให้ออกแบบดังนี้

ก. แป้ไม้ @ 1.00 m (วางตั้ง)

ข. โครงหลังคาไม้ (กำหนดรูปโครงหลังคาตามใจชอบ) ที่ใช้ทำท่อนของจันทัน ท่อนของช่อท่อนยึดแบบเอียง ท่อนยึดแบบดิ่งกำหนดให้

วัสดุเป็นกระเบื้องลอนคู่

น้ำหนักบรรทุกจรตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของไม้, $F_b = 120 \text{ ksc}$

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของไม้, $F_t = 120 \text{ ksc}$

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของไม้แบบขนานเส้น, $F_c // = 120 \text{ ksc}$

สมมติใช้สลักเกลียวเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm (1/2 in) แฉวเดียว (เพื่อรูเจาะ 2 mm) คัดไม้ 1 in เท่ากับ 2.5 cm

เฉลย ก. แป้ไม้ @ 1.00 m (วางตั้ง)

น้ำหนักบรรทุกจรตาม พ.ร.บ. $= 50 \text{ kg/m}^2$ (กฎกระทรวง พ.ศ.2566)

น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่ $= 14 \text{ kg/m}^2$

น้ำหนักแป $= 5 \text{ kg/m}^2$

รวม $= 59 \text{ kg/m}^2$

น้ำหนักลงแปในแนวดิ่ง $= \text{น้ำหนักรวม} \times \text{ระยะห่างแป}$

$$= 59 \times 1.00 = 59 \text{ kg/m}$$

หลังคาลาดเป็นมุม θ $= 10$ องศา

$$W_x = 59 \times \sin 10^\circ = 10 \text{ kg/m}$$

$$W_y = 59 \times \cos 10^\circ = 58 \text{ kg/m}$$

แปวางบนจตุรกรรับคือจันทันที่มีระยะห่าง 4.00 m เพราะฉะนั้นคิดความยาวแป 4.00 m เท่ากับระยะห่างของจันทัน โดยถือว่าแปเป็นคานช่วงเดียว

แรง W_y ทำให้เกิดโมเมนต์รอบแกน x ดังนั้น

$$M_x = \frac{58x(4)^2}{8} = 116 \text{ kg.m}$$

แรง W_x ทำให้เกิดโมเมนต์รอบแกน y ดังนั้น

$$M_y = \frac{10x(4)^2}{8} = 20 \text{ kg.m}$$

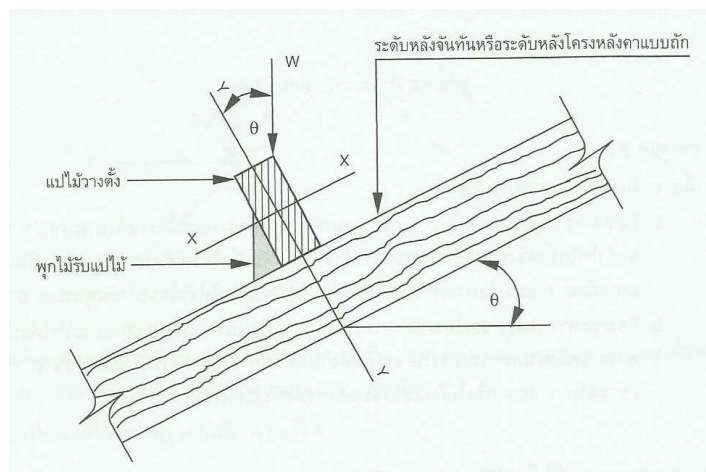
จาก

$$F_b = \frac{6M}{bd^2}$$

เลือกแปไม้หนา, $d = 2 \text{ in (5 cm)}$ จาก $M_{\max}$ สามารถหาความกว้าง (b) ของแปไม้ได้

$$b = \sqrt{\frac{6 \times 116 \times 100}{5 \times 120}} = 10.77 \text{ cm}$$

ใช้ความกว้างไม้เท่ากับ $5 \text{ in (12.5 cm)} > 10.77 \text{ cm}$



ตรวจสอบการรับแรงค้ด จากสูตร $\frac{fb_x}{Fb_x} + \frac{fb_y}{Fb_y} < 1.00$

$$Fb_x = \frac{6M_x}{bd^2} = \frac{6 \times 116 \times 100}{5 \times (12.5)^2} = 89.08 \text{ kg/cm}^2$$

$$Fb_y = \frac{6M_y}{db^2} = \frac{6 \times 20 \times 100}{12.5 \times (5)^2} = 38.40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{แทนค่าจะได้ } \frac{89.08}{120} + \frac{38.40}{120} = 1.06 > 1.00$$

ตามทฤษฎีใช้ไม่ได้

แต่เนื่องจากเกินมาเพียงเล็กน้อย 0.06 จึงอนุมัติ

เพราะฉะนั้นใช้ไม้ขนาด $2'' \times 5''$ ทำเป็นแป้นไม้ได้

ตอบ

เฉลย ข.

กำหนดให้

$$\text{น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่} = 14 \text{ kg/m}^2$$

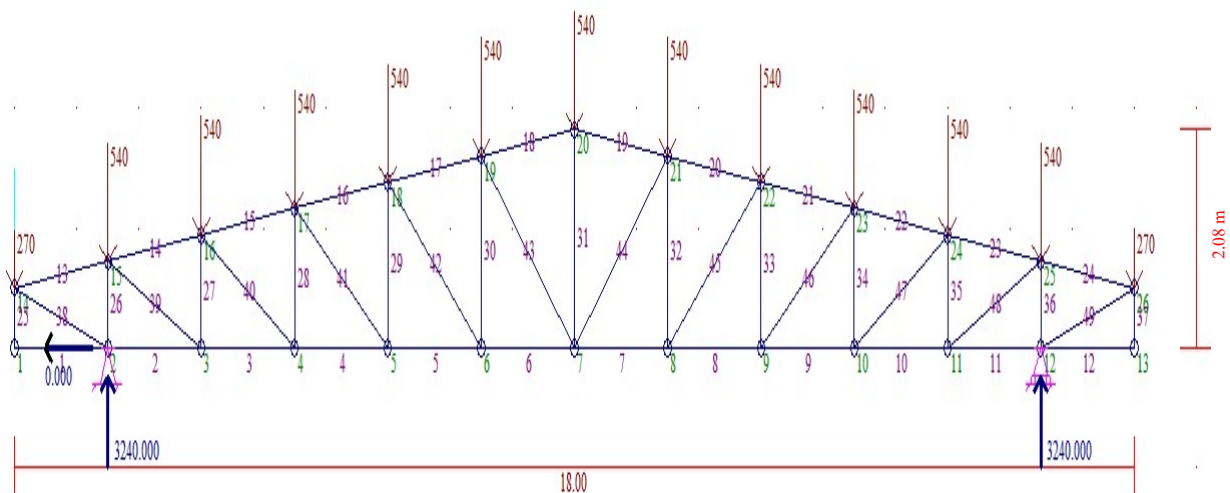
$$\text{น้ำหนักแป} = 5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 50 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของไม้, Ft} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของไม้ขนานเสี้ยน, Fc//} = 120 \text{ kg/m}^2$$

โจทย์กำหนด รูปโครงหลังคาใช้ตามใจชอบ จึงเลือกแบบ Warren



วิธีทำ θ 10 องศา < 18 องศา เพราะฉะนั้นเป็นหลังคาแบน จึงไม่ต้องคิดแรงลม

หาระยะยกได้ $= 9 \times \tan 10^\circ = 1.58 \text{ m}$ และเพิ่มระยะยกที่ปลายโครงหลังคา $= 0.23 \text{ m}$ รวม $= 1.82 \text{ m}$

$$\text{น้ำหนักโครงหลังคา, W} = 0.688L + 8.54 \text{ kg/m}^2$$

$$= (0.688 \times 18) + 8.54 \text{ kg/m}^2$$

$$= 20.92 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{ใช้} = 21 \text{ kg/m}^2$$

หรือใช้น้ำหนักโครงหลังคา (จากตารางที่ 1.1) อยู่ระหว่าง $10 - 30 \text{ kg/m}^2$

$$\text{รวมน้ำหนักกระทำแนวราบทั้งหมด} = 14 + 5 + 50 + 21 = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{น้ำหนักกระทำได้จุดต่อภายใน} = 4.00 \times 1.50 \times 90 = 540 \text{ kg}$$

$$\text{น้ำหนักกระทำได้จุดต่อภายนอก} = 4.00 \times 0.75 \times 90 = 270 \text{ kg}$$

$$\text{หาแรงที่ลงหัวเสาจะได้ } R_1 = R_2 = \frac{(540 \times 1) + (270 \times 2)}{2} = 3,240 \text{ kg}$$

จากการวิเคราะห์แรงในองค์อาคารโดยการคำนวณ สรุปได้ดังนี้

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

แรงภายในชิ้นส่วน + แรงดึง, - แรงอัด

ชิ้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)	
1	1.50	0	
2	1.50	-533	
3	1.50	3176	
4	1.50	4709	
5	1.50	5226	Lower Max.
6	1.50	5118	
7	1.50	5118	
8	1.50	5226	Lower Max.
9	1.50	4709	
10	1.50	3176	
11	1.50	-533	
12	1.50	0	
13	1.52	541	
14	1.52	-3224	
15	1.52	-4785	
16	1.52	-5304	Upper Max.
17	1.52	-5200	
18	1.52	-4743	
19	1.52	-4743	
20	1.52	-5200	
21	1.52	-5304	Upper Max.

ชั้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)	
22	1.52	-4785	
23	1.52	-3224	
24	1.52	541	
25	0.50	0	
26	0.76	-3062	Verticalr Max.
27	1.02	-1879	
28	1.29	-1042	
29	1.55	-444	
30	1.82	111	
31	2.08	1080	
32	1.82	111	
33	1.55	-444	
34	1.29	-1042	
35	1.02	-1879	
36	0.76	-3062	Verticalr Max.
37	0.50	0	
38	1.58	-562	
39	1.68	4158	Diagonal Max.
40	1.81	1854	
41	1.98	681	
42	2.16	-155	
43	2.36	-700	
44	2.36	-700	
45	2.16	-155	
46	1.98	681	
47	1.81	1854	
48	1.68	4158	Diagonal Max.
49	1.58	-562	

แรงปฏิกิริยา

แกน X : + ขวา - ซ้าย, แกน Y : + ขึ้น - ลง

จุดต่อที่	R _x (kg)	R _y (kg)
2	0	3,240
12	0	3,240

สรุป

ในท่อนของข้อ (lower chord)

แรงดึงสูงสุดในองค์อาคารที่ 6 และ 8 = 5,226 kg ความยาว = 150 cm

ในท่อนของจันทัน (upper chord)

แรงอัดสูงสุดในองค์อาคารที่ 16 และ 21 = 5,304 kg ความยาว = 152 cm

ในท่อนยึดแบบเอียง (diagonal web)

แรงอัดสูงสุดในองค์อาคารที่ 39 และ 48 = 4,158 kg ความยาว = 168 cm

ในท่อนยึดแบบตั้ง (vertical web)

แรงดึงสูงสุดในองค์อาคารที่ 26 และ 36 = 3,062 kg ความยาว = 76 cm

1. หาขนาดท่อนของจันทัน

แรงอัด = 5,304 kg

ความยาวขององค์อาคาร = 152 cm

เลือกไม้หนา 2 in (5 cm)

ตรวจสอบอัตราส่วนความยาวตะขูด

$$\begin{aligned}\frac{L}{d} &= \frac{152}{5} = 30.4 > 12 \text{ และไม่เกิน } 50 \\ \text{ดังนั้นใช้} \quad \frac{P}{A} &= F_c \left[1.33 - \frac{L}{35d} \right] = 120 \left(1.33 - \frac{30.4}{35} \right) \\ &= 55.37 \text{ kg/cm}^2 \\ A &= \frac{5,304}{55.37} = 95.79 \text{ cm}^2 \\ \text{ความกว้างไม้ที่ใช้} &= \frac{95.79}{5} = 19.15 \text{ cm ใช้ } 8 \text{ in (20 cm)} \\ \text{สามารถรับแรงได้, } P &= 55.37 \times 5 \times 20 \\ &= 5,537 \text{ kg} > 5,304 \text{ kg}\end{aligned}$$

ใช้ได้

ดังนั้นใช้ไม้ขนาด 2" × 8" ทำเป็นท่อนของจันทันได้

ตอบ

2. หาขนาดท่อนของข้อ

$$\text{แรงดึง} = 5,226 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวขององค์อาคาร} = 150 \text{ cm}$$

$$F_t = 120 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{\text{net}} = \frac{5,226}{120} = 43.5 \text{ cm}^2$$

เลือกความหนาไม้ 2 in (5 cm)

$$\text{ความกว้างสุทธิ} = \frac{43.55}{5} = 8.71 \text{ cm}$$

สมมติใช้สลักเกลียว (bolt) เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ($\frac{1}{2}$ in) แฉวเดียว (เพื่อรูเจาะ 2 mm)

$$\text{ความกว้างทั้งหมด} = 8.71 + 1.2 + 0.2 = 10.11 \text{ cm}$$

แต่เนื่องจากท่อนของข้อมีองค์อาคารท่อนยึดแบบดึงและท่อนยึดแบบเอียงที่รับแรงอัดมาประกอทับกันที่จุดต่อด้วย เพราะฉะนั้นตามข้อกำหนดของสลักเกลียวต้องมีระยะขอบถึงศูนย์กลางสลักเกลียวอย่างน้อย 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสลักเกลียว

$$\text{ระยะขอบที่ต้องการ (ข้างเดียว)} = 4 \times 1.2 = 4.8 \text{ cm}$$

$$\text{ความกว้าง 2 ข้าง} = 2 \times 4.8 = 9.6 \text{ cm ใช้ } 4 \text{ in (10 cm)}$$

ใช้ตัวมากคือ 10.11 cm (5 in = 12.5 cm) ควบคุม

ดังนั้นใช้ไม้ขนาด 2" × 5" ทำเป็นท่อนของข้อได้

ตอบ

3. หาขนาดท่อนยึดแบบดึงและท่อนยึดแบบเอียง

$$\text{แรงดึง} = 4,158 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวขององค์อาคาร} = 166 \text{ cm}$$

$$F_t = 120 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{\text{net}} = \frac{4,158}{120} = 34.65 \text{ cm}^2$$

เลือกความหนาไม้ 2 in (5 cm)

$$\text{ความกว้างสุทธิ} = \frac{34.65}{5} = 6.93 \text{ cm}$$

สมมติใช้สลักเกลียว (bolt) เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ($\frac{1}{2}$ in) แฉวเดียว (เพื่อรูเจาะ 2 mm)

$$\text{ความกว้างทั้งหมด} = 6.93 + 1.2 + 0.2 = 8.33 \text{ cm}$$

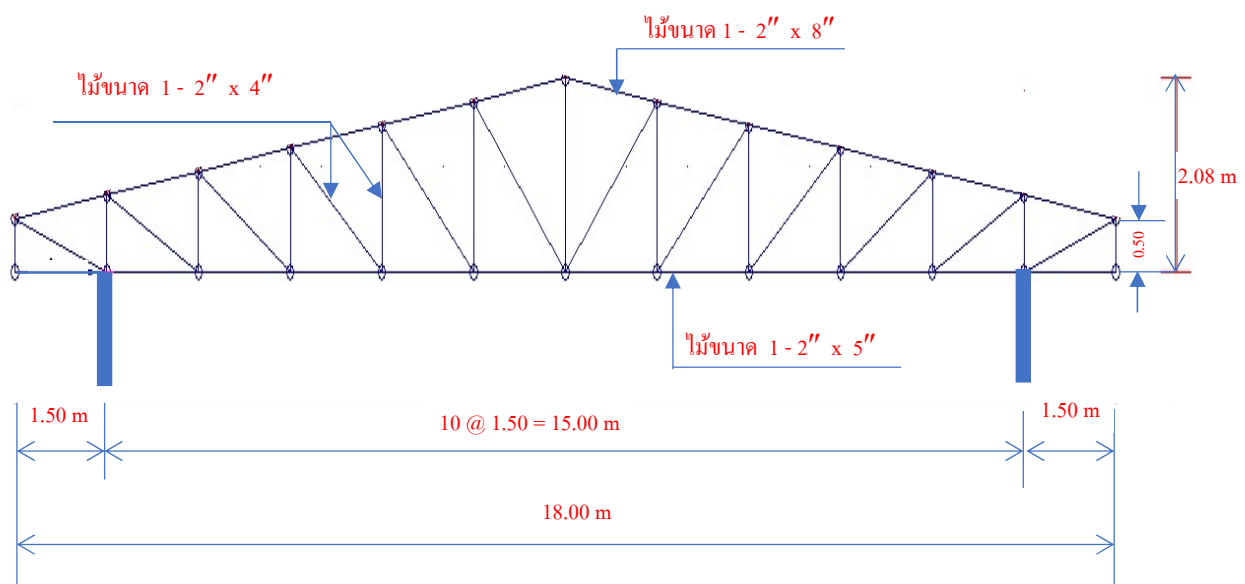
แต่เนื่องจากท่อนของข้อมืองค์อาคารท่อนยัดแบบคั้งและท่อนยัดแบบเอียงที่รับแรงอัดมาประกอบกันที่จุดต่อด้วย เพราะฉะนั้นตามข้อกำหนดของสลักเกลียวต้องมีระยะขอบถึงศูนย์กลางสลักเกลียวอย่างน้อย 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสลักเกลียว

$$\text{ระยะขอบที่ต้องการ (ข้างเดียว)} = 4 \times 1.2 = 4.8 \text{ cm}$$

$$\text{ความกว้าง 2 ข้าง} = 2 \times 4.8 = 9.6 \text{ cm ใช้ 4 in (10 cm)}$$

ใช้ตัวมากคือ 9.6 cm (4 in) คววม

ดังนั้นใช้ไม้ขนาด 2" x 4" ทำเป็นท่อนยัดแบบคั้งและท่อนยัดแบบเอียงได้ **ตอบ**



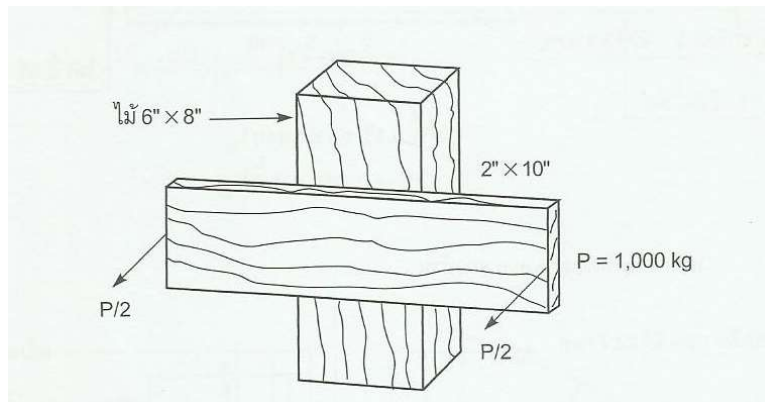
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6

1. จากรูปจุดต่อโครงสร้างไม้จิงคำนวณหาจำนวนของอุปกรณ์ยึดไม้ พร้อมเขียนรูปแสดง

ก. ตะปู กำหนดตะปู ϕ 0.488 cm (0.192 in) ยาว 10.16 cm (4 in)

ข. ตะปูเกลียวกำหนดตะปูเกลียว ϕ 0.79 cm (5/16 in) ยาว 10.16 cm (4 in)

กำหนดให้ความถ่วงจำเพาะของไม้เท่ากับ 0.8



เฉลย ข้อ 1 ก.

ตะปู ยาว 4 in (10.16 cm) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.488 cm

$$\begin{aligned} \text{แรงถอนของตะปู, } P &= 95G^{2.5}d \quad \text{kg/ 1 cm ของระยะฝัง} \\ &= 95 \times 0.8^{2.5} \times 0.488 \quad \text{kg/ 1 cm ของระยะฝัง} \\ &= 29.67 \quad \text{kg/ 1 cm ของระยะฝัง} \end{aligned}$$

ไม้ได้ตอกขนานเสี้ยน เพราะฉะนั้นไม่ต้องลดค่าแรงถอนลง 33%

$$\text{ความลึกของตะปูฝังในไม้} = 10.16 - 5.08 = 5.08 \text{ cm}$$

$$\text{แรงถอนที่ตะปูรับได้ 1 ตัว} = 29.67 \times 5.08 = 150.72 \text{ kg}$$

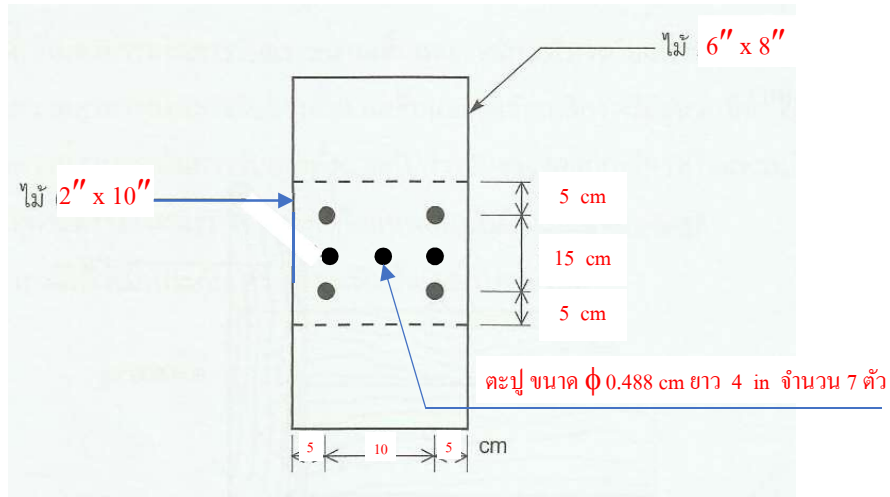
$$\text{จำนวนตะปูที่ต้องใช้} = \frac{1,000}{150.72} = 6.63 \text{ ตัว ใช้ 7 ตัว}$$

ดังนั้นใช้ตะปู 7 ตัว

ตอบ

$$\begin{aligned} \text{จักระยะตะปูจากขอบไม้} &= 5d = 5 \times 0.488 \\ &= 2.44 \text{ cm ใช้ 5 cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จักระยะระหว่างตะปู} &= 10d = 10 \times 0.488 \\ &= 4.88 \text{ cm ใช้ 10 cm} \end{aligned}$$



เฉลย ข้อ 1. ข. ตะปูเกลียวกำหนดตะปูเกลียว ϕ 0.79 cm (5/16 in) ยาว 10.16 cm (4 in)
ความถ่วงจำเพาะของไม้เท่ากับ 0.8

$$\begin{aligned} \text{แรงต้านทานการขีดถอน, } P &= 160G^{1.5} \cdot d^{0.75} \\ &= 160 \times 0.80^{1.5} \times (0.79)^{0.75} \\ &= 95.93 \text{ kg/1cm ของระยะฝัง} \end{aligned}$$

$$\text{จากตาราง ก. 8 ในภาคผนวก ก., ระยะเกลียว} = 2 \frac{1}{2} \text{ in} = 6.35 \text{ cm}$$

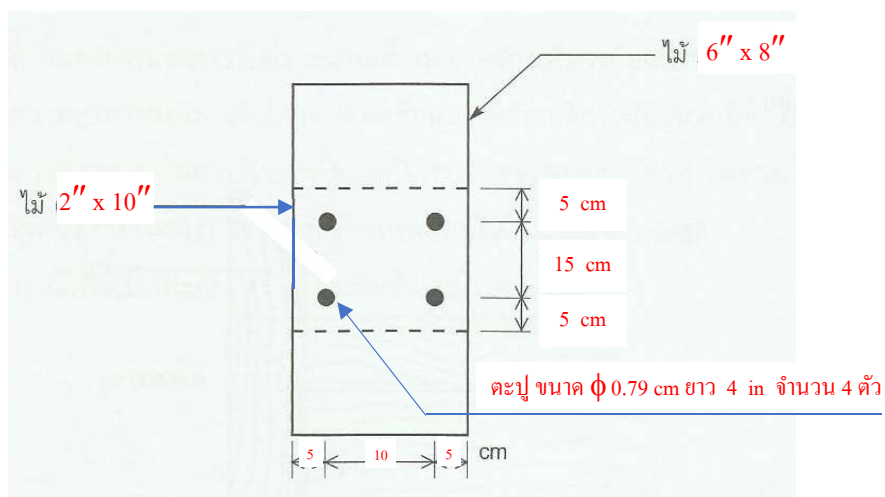
$$\text{แรงถอน} = 95.93 \times 6.35 = 609 \text{ kg/1 ตัว}$$

ไม่ได้ตอกขนานเส้น เพราะฉะนั้นไม่ต้องลดค่าแรงถอนลง 25%

$$\text{ใช้ตะปูเกลียว} = \frac{1,000}{609} = 1.64 \text{ ตัว ใช้ 2 ตัว}$$

แต่เนื่องจากไม้หน้าใหญ่มาก จึงใช้ยึดไม้ 4 ตัว

ตอบ



เฉลย ข้อ 2. จาการูปจุดต่อโครงสร้างไม้ จงคำนวณหาจำนวนของอุปกรณ์ยึดไม้

ก. ตะปู

ข. ตะปูเกลียว

ให้เลือกขนาดตะปูและตะปูเกลียวเอง

ก. ความต้านทานด้านข้างตะปูใช้สูตรดังนี้

ตะปู

$$P = K_1 d^{3/2}$$

จากตารางที่ ก. 2, ก. 5 และ ก. 9 ในภาคผนวก ก.

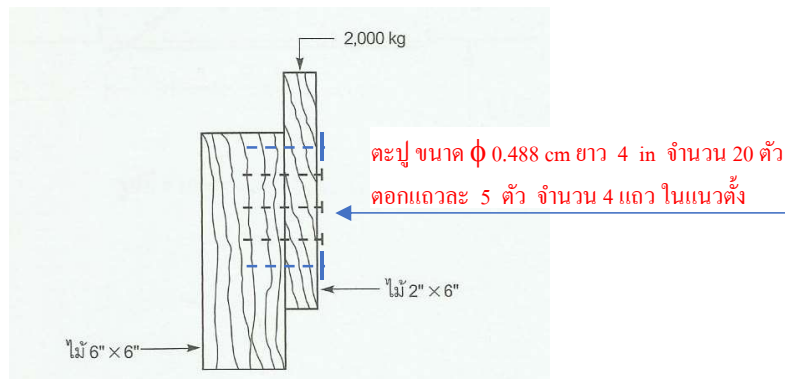
เลือกใช้ไม้กลุ่มที่ 1 $K_1 = 296$

เลือกตะปู 20d , $D = 0.488$ cm, ตาราง ก. 5 ได้แรงเฉือน = 100.9 kg / 1 ตัว

$$\text{หรือ } P = 296 \times (0.488)^{3/2} = 100.9 \text{ kg / 1 ตัว}$$

$$\text{ใช้จำนวนตะปู} = \frac{2,000}{100.9} = 20 \text{ ตัว}$$

ตอบ



ข. ความต้านทานด้านข้างตะปูเกลียวใช้สูตรดังนี้

ตะปูเกลียว

$$P = K_1 d^2$$

จากตารางที่ ก. 2, ก. 5 และ ก. 9 ในภาคผนวก ก.

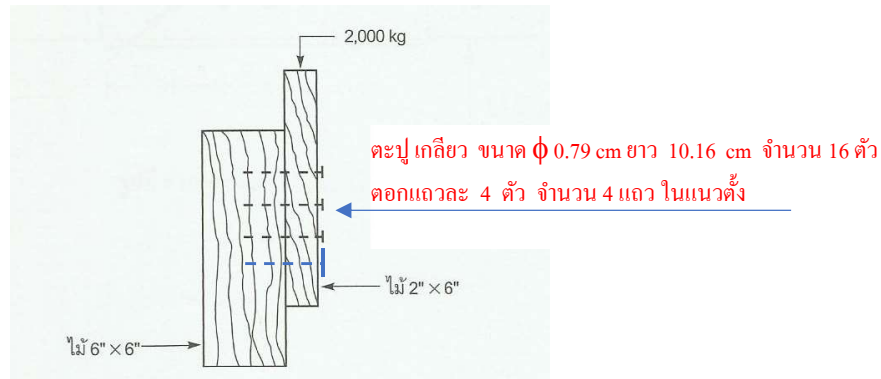
เลือกใช้ไม้กลุ่มที่ 1 $K_1 = 296$

ใช้ไม้หนา 4.12 cm (หนาขนาดต่ำสุด) ความยาวตะปู 10.16 cm ใช้ $D = 0.79$ cm

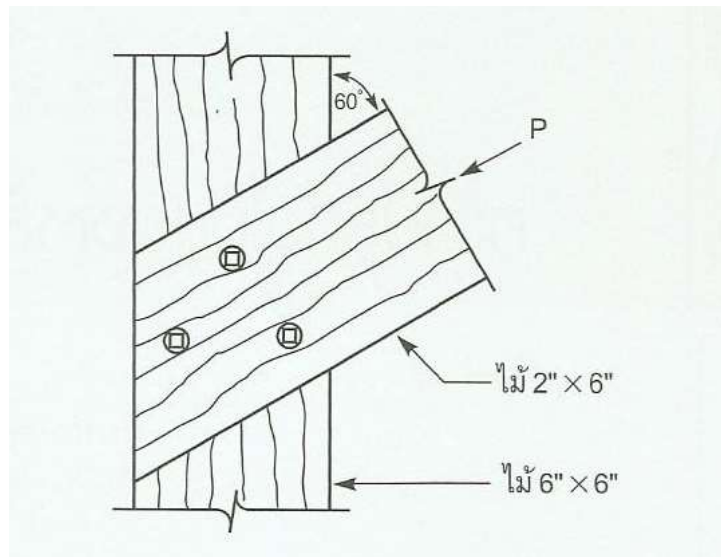
ได้แรงต้านข้าง = 131.7 kg / 1 ตัว

$$\text{ใช้จำนวนตะปู} = \frac{2,000}{131.7} = 16 \text{ ตัว}$$

ตอบ



เฉลย ข้อ 3. จากรูปจุดต่อโครงสร้างไม้ จึงคำนวณหาแรงต้านทานทางข้างของตะปูเกลียว ϕ 0.79 cm (5/16 in) ยาว 10.16 cm (4 in) ความถ่วงจำเพาะของไม้เท่ากับ 0.90



ตะปูเกลียว ϕ 0.79 cm (5/16 in) ยาว 10.16 cm (4 in) ความถ่วงจำเพาะของไม้เท่ากับ 0.90 เป็นไม้กลุ่มที่ 1 แรงยึดขวางขนานเสี้ยน 131.7 kg / 1 ตัว

ตะปูเกลียว 3 ตัว รับแรงยึดขวางขนานเสี้ยนได้ $= 3 \times 131.7 = 395.1$ kg

แรงยึดขวางตั้งฉากเสี้ยน 109 kg / 1 ตัว

ตะปูเกลียว 3 ตัว รับแรงยึดขวางตั้งฉากเสี้ยนได้ $= 3 \times 109 = 327$ kg

แนวแรง P ทำมุม 60 องศา กับไม้แนวตั้ง

จากสูตรของฮันกินสัน (Hankinson's Formula)

$$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta} = \frac{395.1 \times 327}{395.1 \sin^2 60 + 327 \cos^2 60}$$

$$= 342 \text{ kg}$$

ดังนั้นแรงต้านทานทางข้างของตะปูเกลียว $= 342$ kg **ตอบ**

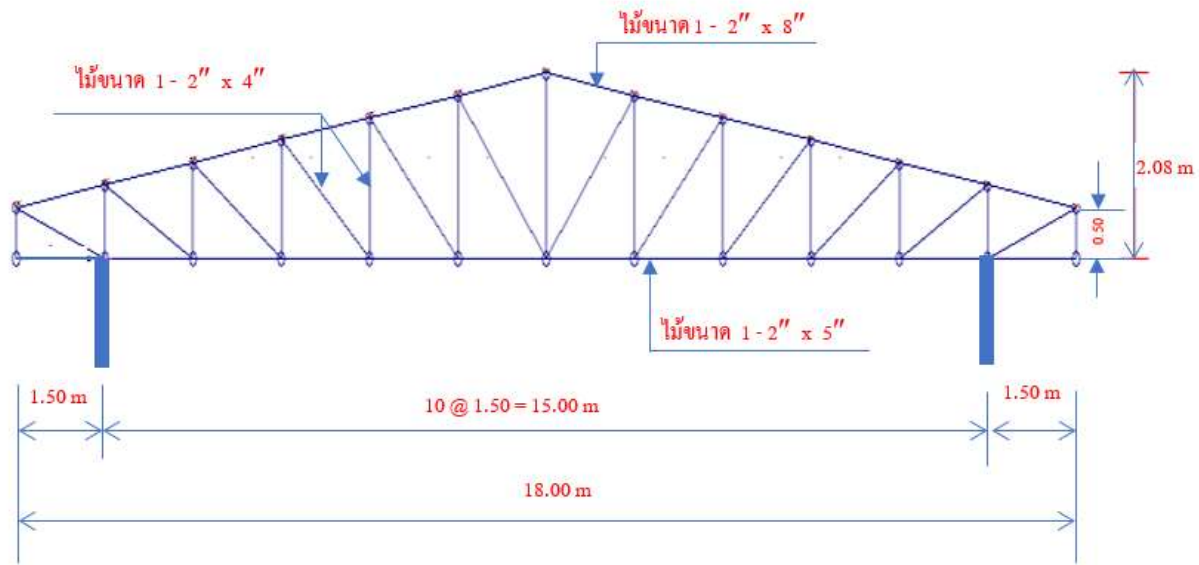
เฉลย ข้อ 4. จากโจทย์ข้อที่ 1 ในแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5 จงออกแบบจุดต่อโดยใช้สลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.58 cm (5/8 in) การต่อใช้เหล็กประกบหนา 6 mm ทั้ง 2 ด้าน

กำหนดให้ แรงต้านทานขนานเสี้ยน, $P = 576 \text{ kg/1 ตัว}$

แรงต้านทานตั้งฉากเสี้ยน, $Q = 241 \text{ kg/1 ตัว}$

หมายเหตุ ให้เขียนรูปขยายจุดต่อโดยละเอียดด้วย

เฉลย

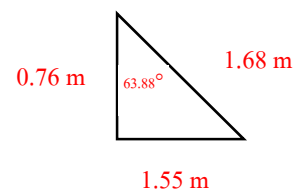
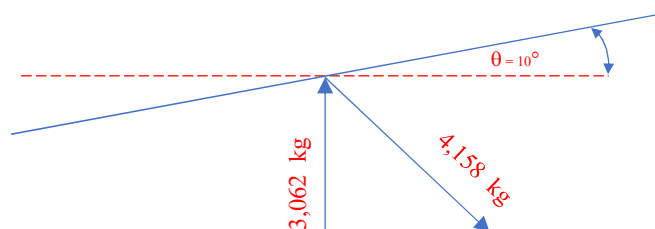


แรงองค์อาคารที่ 13 = 541 kg

แรงองค์อาคารที่ 14 = -3,224 kg

แรงองค์อาคารที่ 26 = -3,062 kg

แรงองค์อาคารที่ 39 = 4,158 kg

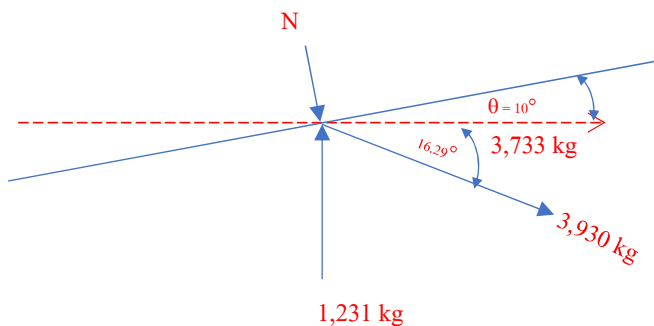


หาแรงรวม (R) เฉพาะของท่อนเอียงและท่อนตั้ง

$$\sum F_y = 3,062 - 4,158 \cos 63.88 = 1,231 \quad \text{kg}$$

$$\sum F_x = 4,158 \sin 63.88 = 3,733 \quad \text{kg}$$

$$R = \sqrt{(1,231)^2 + (3,733)^2} = 3,930 \quad \text{kg}$$



$$\theta = \tan^{-1} = \frac{1,231}{3,733} = 18.25 \text{ องศา กับ แกน } x$$

หรือแรงรวมทำมุมกับแนวไม้จันทัน = $18.25 - 10 = 8.25$ องศา

ใช้สลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.58 cm ($\frac{5}{8} \text{ in}$) เป็นอุปกรณ์ยึดไม้ ไม้หนา 2"

สลักเกลียวฝังอยู่ในไม้ 2" และใช้แผ่นเหล็กประกบกับหนา 6 mm ทั้ง 2 ข้าง

จากตารางที่ ก.11 ในภาคผนวก ก. ค่าแรงต้านทานด้านข้างที่ยอมให้ของสลักเกลียวระนาบรับแรงเฉือนคู่คือที่มีไม้หรือเหล็กประกบ 2 ข้าง

$$\text{ความยาวของสลักเกลียวที่อยู่ในองค์อาคาร} = 2 \text{ in} = 5.08 \text{ cm}$$

โครงสร้างเป็นไม้เนื้อแข็ง

$$\text{แรงต้านทานด้านข้างที่ยอมให้ในแนวนอนเส้น, } P = 576 \text{ kg}$$

$$\text{เนื่องจากมีเหล็กประกบ ดังนั้นค่า } P \text{ เพิ่มขึ้น } 25\% = 576 \times 1.25 = 720 \text{ kg}$$

$$\text{แรงต้านทานด้านข้างที่ยอมให้ในแนวตั้งฉากเส้น, } Q = 241 \text{ kg}$$

แรงต้านทานของสลักเกลียวในท้องของจันทันทำมุม 6.09 องศา กับแนวเส้นไม้

$$\begin{aligned} \text{จากสูตรของฮันกินสัน ; } N &= \frac{PQ}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta} \\ &= \frac{720 \times 241}{720 \sin^2 8.05 + 241 \cos^2 8.05} \\ &= \frac{173,520}{14.11 + 236.27} \\ &= 693 \text{ kg/1 ตัว} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนสลักเกลียวในท้องของจันทัน} &= \frac{\text{แรงรวม}}{N} \\
 &= \frac{3,930}{630} = 6.23 \text{ ตัว ใช้ 7 ตัว} \\
 \text{จำนวนสลักเกลียวในท่อนยึดแบบเอียง} &= \frac{\text{แรงแนวเอียง}}{P} \\
 &= \frac{4,158}{720} = 5.78 \text{ ตัว ใช้ 6 ตัว} \\
 \text{จำนวนสลักเกลียวในท่อนยึดแบบตั้ง} &= \frac{\text{แรงแนวตั้ง}}{P} \\
 &= \frac{1,231}{720} = 1.71 \text{ ตัว ใช้ 2 ตัว}
 \end{aligned}$$

จัดตำแหน่งระยะของสลักเกลียวได้ตามรูป

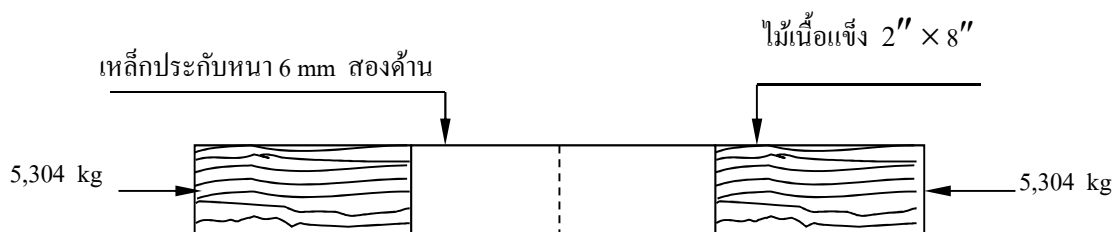
$$\begin{aligned}
 \text{ระยะขอบ} &= 1.5 \times 1.58 = 2.37 \text{ cm} \text{ ใช้แถวเดียวอยู่กึ่งกลางไม่ได้} \\
 \text{ระยะปลาย} &= 5 \times 1.58 = 7.9 \text{ cm} \text{ ใช้ 8 cm} \\
 \text{ระยะห่าง} &= 4 \times 1.58 = 6.32 \text{ cm} \text{ ใช้ 7 cm}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{ระยะขอบ} \\ \text{ระยะปลาย} \\ \text{ระยะห่าง} \end{aligned}} \right\} \text{ตอบ}$$

จำนวนสลักเกลียวในท่อนของข้อให้ใช้เหมือนกับท่อนของจันทันได้เพราะถือว่าพิจารณาแรงที่มากที่สุดทำมุมกับแนวเสี้ยนไม้แล้ว โดยที่มุมต่างกันเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติใช้ได้

ในบางครั้งมีความจำเป็นต้องต่อไม้ เนื่องจากว่าไม้ยาวกว่า 6.00 m ขึ้นไปหาได้ยากเพราะฉะนั้นให้พิจารณาแรงที่เกิดขึ้นในท่อนของจันทันและท่อนของข้อ โดยพิจารณาแรงที่มากที่สุดมาออกแบบการต่อไม้

จะเห็นว่าแรงที่มากที่สุดเกิดขึ้นในท่อนของจันทัน $16, 21 = 5,304 \text{ kg}$ (อัด)

เพื่อความสะดวกให้เขียนรูปในแนวราบดังนี้



แรงต้านทานด้านข้างที่ยอมให้ขนานเสี้ยน

$$\begin{aligned}
 P &= 576 \times 1.25 \\
 &= 720 \text{ kg/ 1 ตัว} \\
 \text{จำนวนสลักเกลียว} &= \frac{5,304}{720} = 7.37 \text{ ตัว ใช้ 8 ตัว}
 \end{aligned}$$

จัดตำแหน่งระยะของสลักเกลียวได้

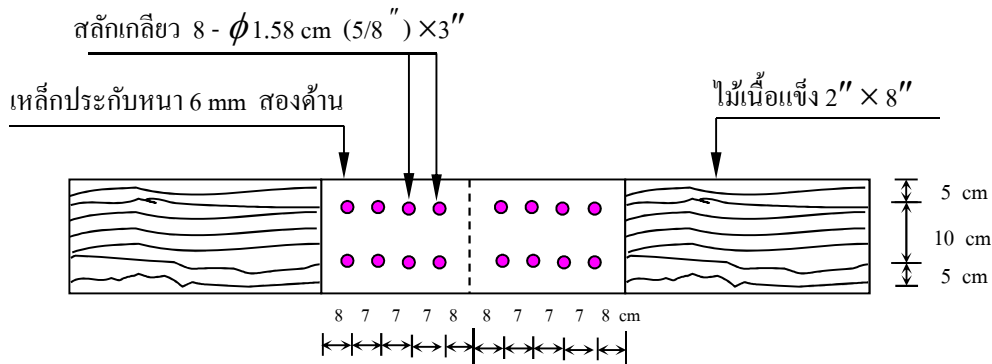
ระยะขอบ = $1.5 \times 1.58 = 2.37$ cm ใช้ 5 cm

ระยะปลาย = $5 \times 1.58 = 7.9$ cm ใช้ 8 cm

ระยะห่าง = $4 \times 1.58 = 6.32$ cm ใช้ 7 cm

ตอบ

สามารถเขียนรูปขยายจุดต่อได้ ดังรูป



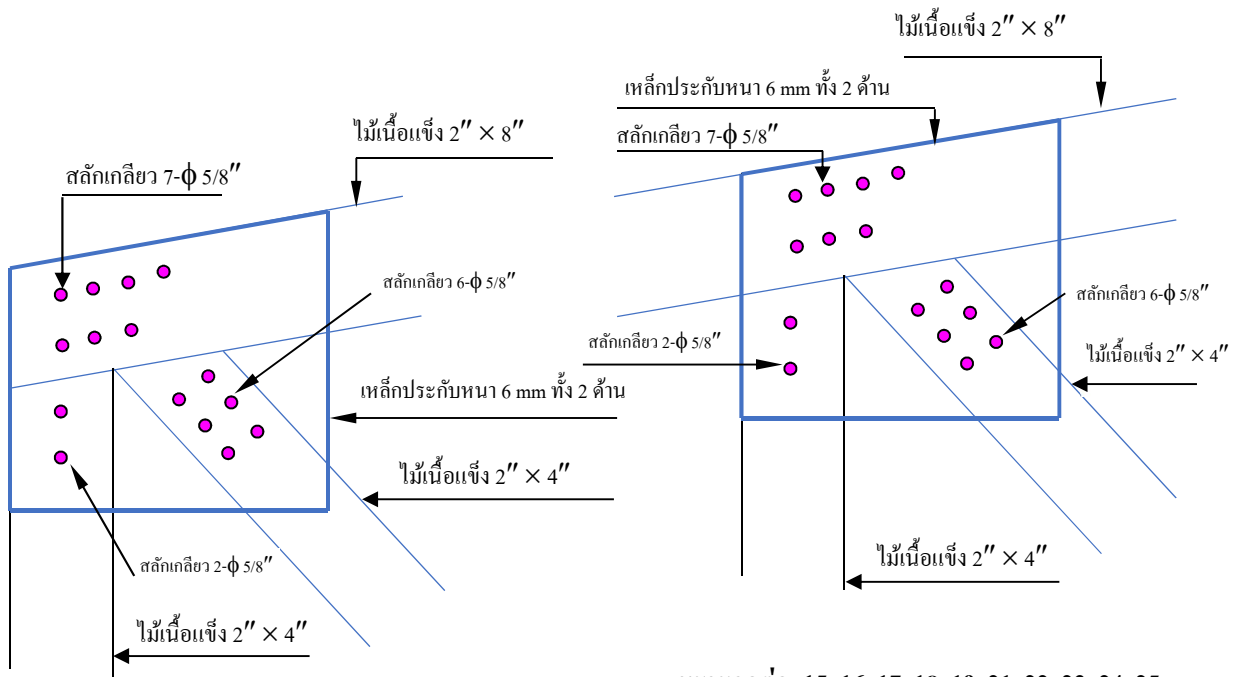
ขยายจุดต่อกรณีต่อไม้ จันทันและข้อ

หมายเหตุ จัดตำแหน่งระยะของสลักเกลียว

ระยะขอบ = 5 cm

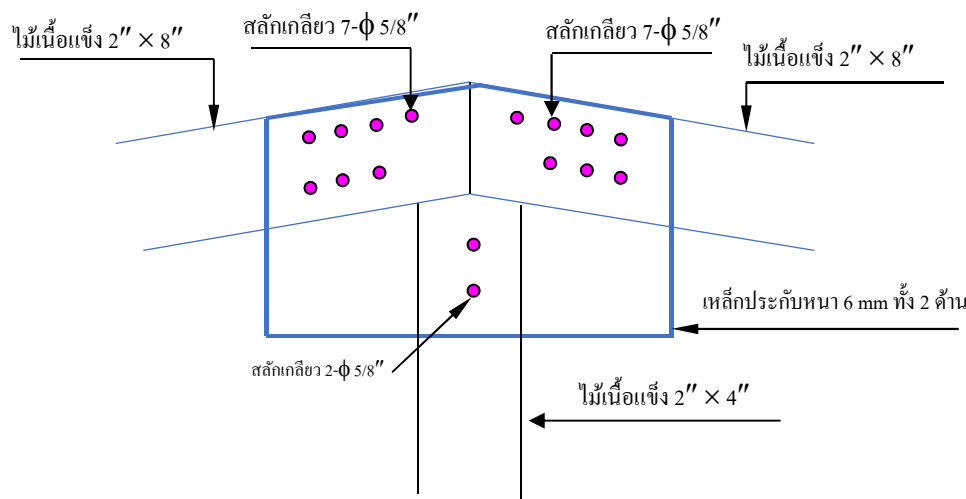
ระยะปลาย = 8 cm

ระยะห่าง = 7 cm

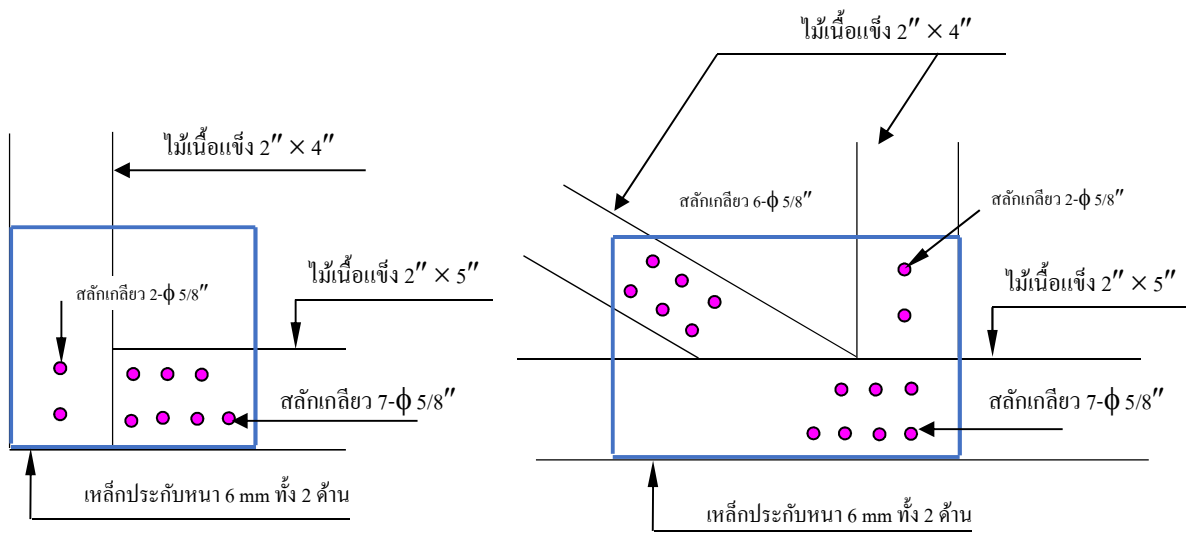


ขยายจุดต่อ 14, 26

ขยายจุดต่อ 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25



ขยายจุดต่อ 20



ขยายจุดต่อ 1, 13

ขยายจุดต่อ 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7

1. จงบอกชื่อย่อและชื่อเต็มมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กของญี่ปุ่น

เฉลย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมญี่ปุ่น มีชื่อย่อว่า JIS (Japanese Industrial Standard)

2. จงให้ความหมายของเหล็กต่อไปนี้

เฉลย

I- 300×48.3 หมายถึงเหล็กหน้าตัดรูปตัวไอ ซึ่งมีความลึก 300 mm มีน้ำหนัก 48.3 kg/m

L- $60 \times 60 \times 5$ หมายถึงเหล็กฉากที่มีขาเท่ากัน ด้านยาวเท่ากับด้านสั้นเท่ากับ 60 mm มีความหนาเท่ากับ 5 mm

C - $100 \times 50 \times 20 \times 3.2$ หมายถึงเหล็กรูปตัว C ที่มีความลึกเท่ากับ 100 mm กว้างเท่ากับ 50 mm ปีกห้อยลงมา 20 mm และมีความหนาเท่ากับ 3.2 mm

□ - $100 \times 100 \times 3.2$ หมายถึงเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส 100 x 100 mm มีความหนาเท่ากับ 3.2 mm

□ - $100 \times 50 \times 3.2$ หมายถึงเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า 100 x 50 mm มีความหนาเท่ากับ 3.2 mm

∅ - 60.5×4 หมายถึงเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60.5 mm มีความหนาเท่ากับ 4 mm

3. ความยาวเหล็กโครงสร้างโดยทั่วไปมีความยาวต่ำสุดเท่าใดและสูงสุดเท่าใด

เฉลย มีความยาวระหว่าง 6-12 เมตร

4. ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กในประเทศไทย แบบที่ขออนุญาตในเขตเทศบาล สุขาภิบาล องค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด และกรุงเทพมหานคร หน่วยแรงต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบคำนวณ โครงสร้างเหล็กตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร มีค่าเท่าใด

เฉลย

ก. หน่วยแรงดึง ใช้ $F_t \leq 0.60F_y$

ข. หน่วยแรงดัด ใช้ $F_t \leq 0.60F_y$

ค. หน่วยแรงอัด ใช้ $F_t \leq 0.60F_y$

ง. หน่วยแรงเฉือน ใช้ $F_t \leq 0.40F_y$

5. อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดเป็นเส้นตรงคิดในช่วงโมเมนต์จุด P.L. หมายถึงอะไร

เฉลย หมายถึงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(E) ของเหล็ก มีค่าเท่ากับ $2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

6. Yield Point หมายถึงอะไร

เฉลย หมายถึงค่ากำลังคราก (F_y) ของเหล็ก

7. เหล็กประเภทใดใช้ทำโครงสร้าง

เฉลย เหล็กโครงสร้างที่ใช้กันทั่วไปเป็นประเภท

1. เหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel)

2. เหล็กกล้าประสมกำลังสูง

3. เหล็กกล้าประสมบางชุบแข็ง กำลังสูง

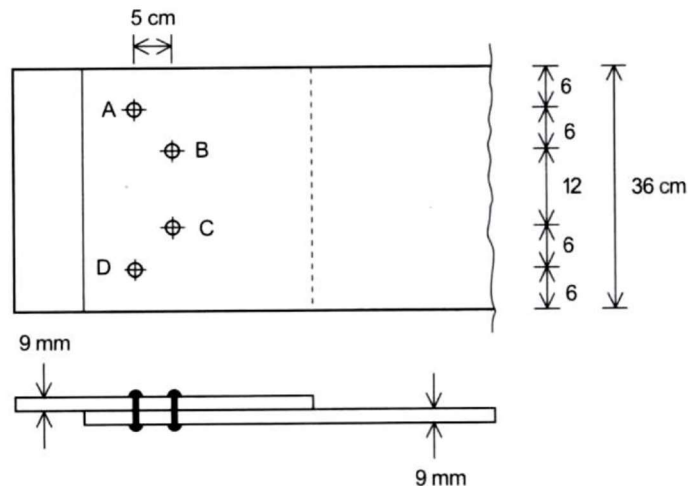
ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตแบบ รีดร้อน และ รีดเย็น

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

1. จงหาพื้นที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึงดังรูป

ใช้หมุดย้ำ ϕ 22 mm

แผ่นเหล็กหนา 9 mm



เฉลย

หาพื้นที่หน้าตัดสุทธิ โดยพิจารณาหลายๆ แนว แล้วเลือกแนวที่น้อยที่สุดมาใช้แต่ต้องไม่เกิน 0.85bt
แนว AD การเจาะรูไม่เป็นแบบ Zig Zag ฉะนั้นไม่ต้องคำนึงถึงผลของ Zig Zag

$$A_{\text{net}} = 0.9 \times [36 - 2(2.2 + 0.3)]$$

$$= 27.9 \text{ cm}^2$$

แนว ABC, $A_{\text{net}} = 0.9 \times \left(36 - 3(2.2 + 0.3) + \frac{5^2}{5 \times 6} \right)$

$$= 24.9 \text{ cm}^2$$

แนว ABCD, $A_{\text{net}} = 0.9 \times \left(36 - 4(2.2 + 0.3) + \frac{5^2}{5 \times 6} + \frac{5^2}{5 \times 18} + \frac{5^2}{5 \times 24} \right)$

$$= 22.21 \text{ cm}^2$$

พื้นที่หน้าตัดสุทธิต้องไม่เกิน 85 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

$$0.85bt = 0.85 \times 36 \times 0.9 = 27.54 \text{ cm}^2$$

พื้นที่หน้าตัดสุทธิน้อยที่สุดเกิดในแนว AD $= 27.9 \text{ cm}^2 > 0.85bt$

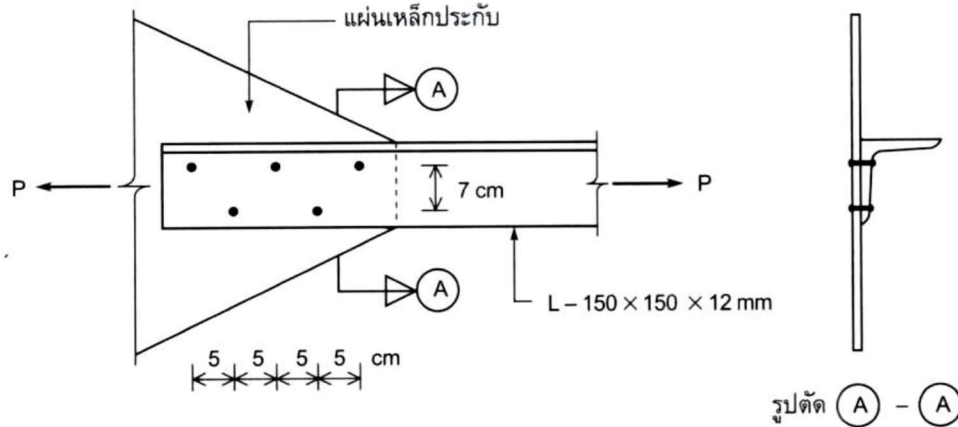
เพราะฉะนั้นใช้พื้นที่หน้าตัดสุทธิ $= 27.54 \text{ cm}^2 < 27.9 \text{ cm}^2$

ตอบ

2. ให้คำนวณหาแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กฉาก L - 150 × 150 × 12 mm เมื่อกำหนดให้

ใช้สลักเกลียว ϕ 22 mm

คุณสมบัติเหล็ก $F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$



เฉลย

หาพื้นที่หน้าตัดสุทธิ โดยพิจารณาหลาย ๆ แนว แล้วเลือกแนวที่น้อยที่สุดมาใช้แต่ต้องไม่เกิน 0.85bt

$$A_{\text{net}} = A_{\text{Inet}} + \frac{1}{2} A_2$$

เหล็กฉาก L - 150 x 150 x 12 mm $A = 34.77 \text{ cm}^2$

$$A_1 = 34.77/2 = 17.38 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 34.77/2 = 17.38 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Inet}} = 1.2 \times \left(15 - 2(2.2 + 0.3) + \frac{5^2}{5 \times 7} \right) = 11.14 \text{ cm}^2$$

$$\text{ตรวจสอบ } 0.85 A_1 = 0.85 \times 17.38 = 14.77 \text{ cm}^2 \text{ ใช้ } A_{\text{Inet}} = 11.14 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{net}} = A_{\text{Inet}} + \frac{1}{2} A_2 = 11.14 + \frac{1}{2} (17.38) = 19.83 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้, } F_t &= 0.60 F_y = 0.60 \times 2,400 \\ &= 1,440 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$P = 1,440 \times 19.83 = 28,555 \text{ kg}$$

ดังนั้นแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กฉาก L - 150 × 150 × 12 mm = 28,555 kg **ตอบ**

3. จงหาขนาดของเหล็กฉากเดี่ยวขาเท่ากันที่ใช้ทำท่อนของข้อของโครงหลังคาเหล็กซึ่งรับแรงดึงสูงสุด

5,400 kg ความยาว 1.00 m

$$\text{กำหนดให้ } E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{L}{r} = 240$$

การต่อปลาย 1. โดยการเชื่อมขาเดียว

2. โดยการใช้หมุดย้ำ ϕ 16 mm แถวเดียว

เฉลย

$$\text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้, } F_t = 0.60 F_y = 0.60 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{หา } A \text{ โดยประมาณ} = 5,400 / 1,440 = 3.75 \text{ cm}^2$$

$$\text{เลือกเหล็กฉาก } L = 60 \times 60 \times 5 \text{ mm } A = 5.80 \text{ cm}^2, r_x = r_y = 1.84 \text{ cm}$$

การต่อปลาย 1. โดยการเชื่อมขาเดียว

$$A_{\text{net}} = A_1 + \frac{1}{2} A_2 = \frac{5.80}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{5.80}{2} \right) = 4.35 \text{ cm}^2$$

$$P = 1,440 \times 4.35 = 6,264 \text{ kg} > 5,400 \text{ kg} \text{ ใช้ได้}$$

$$\text{ตรวจสอบ } \frac{L}{r} < 240$$

$$\frac{100}{1.84} = 54.34 < 240 \text{ ใช้ได้}$$

ดังนั้นใช้เหล็กฉากขนาด $L - 60 \times 60 \times 5 \text{ mm}$ ทำเป็นท่อนของข้อ

ตอบ

การต่อปลาย 2. โดยการใช้หมุดย้ำ ϕ 16 mm แถวเดียว

เนื่องจากการต่อโดยใช้หมุดย้ำต้องหักพื้นที่รูเจาะ ฉะนั้นเพิ่มขนาดเหล็กฉากให้ใหญ่ขึ้น

$$\text{เลือกเหล็กฉาก } L = 65 \times 65 \times 6 \text{ mm } A = 7.52 \text{ cm}^2, r_x = r_y = 1.98 \text{ cm}$$

$$A_{\text{net}} = A_{1\text{net}} + \frac{1}{2} A_2 = \frac{7.52}{2} - 0.6x(1.6 + 0.3) + \frac{1}{2} \left(\frac{7.52}{2} \right) = 4.5 \text{ cm}^2$$

$$P = 1,440 \times 4.5 = 6,480 \text{ kg} > 5,400 \text{ kg} \text{ ใช้ได้}$$

$$\text{ตรวจสอบ } \frac{L}{r} < 240$$

$$\frac{100}{1.98} = 50.5 < 240 \text{ ใช้ได้}$$

ดังนั้นใช้เหล็กฉากขนาด $L - 65 \times 65 \times 6 \text{ mm}$ ทำเป็นท่อนของข้อ

ตอบ

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9

1. จากตัวอย่างที่ 9.2 ถ้าปลายบนและปลายล่างเป็นแบบยึดแน่น ให้หาแรงสูงสุดที่เสาสามารถรับได้

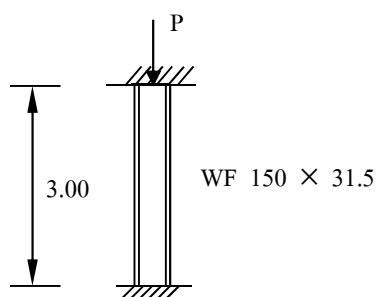
เฉลย เสา WF 150 × 31.5

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{WF} = \text{Wide Flange (เหล็กรูปปีกกว้าง) ขนาด 150} \times 31.5$$

$$(A = 40.14 \text{ cm}^2, r_{\min} = r_y = 3.75 \text{ cm})$$



จากลักษณะการรองรับ (ตารางที่ 9.1) ค่า $K = 0.65$

$$\text{ความยาวเสา} = 3.00 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$\text{หาค่า } \frac{KL}{r} = \frac{0.65 \times 300}{3.75} = 52$$

$$\text{หาค่า } C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{2,400}} = 131.42$$

$$\text{จากกรณีที่ } \frac{KL}{r} < C_c$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้, } F_a &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^2\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^3} \\ &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{0.65 \times 300 / 3.75}{131.42}\right)^2\right] 2,400}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{0.65 \times 300 / 3.75}{131.42}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{0.65 \times 300 / 3.75}{131.42}\right)^3} \\ &= \frac{2,212.13}{1.81} \\ &= 1,222.16 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แรงสูงสุดที่เสารับได้, } P &= F_a \times A \\
 &= 1222.16 \times 40.14 \text{ kg} \\
 &= 49,057 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

ตอบ

2. เสายาว 4.50 m ปลายบนหมุนได้แต่เคลื่อนที่ไม่ได้ ปลายล่างยึดแน่น รับน้ำหนักในแนวแกน 60 ตัน เมื่อกำหนดให้

$$F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

จงออกแบบขนาดเหล็กที่ใช้ทำเสา

ก. เสาเหล็กรูปพรรณ WF

ข. เสาประกอบใช้เหล็ก Channel

เฉลย

ก. จากตารางที่ 9.1 ค่า K ที่ออกแบบ = 0.80

สมมติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (F_a) ประมาณ 40 % ของ $F_y = 960 \text{ kg/cm}^2$

แรงอัดในแนวแกน ; $P = 60 \text{ T} = 60,000 \text{ kg}$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ ; } A = \frac{P}{F_a} = \frac{60,000}{960} = 62.50 \text{ cm}^2$$

จากตารางเหล็กในตารางที่ ข.2 (ภาคผนวก ข.) เลือกขนาดหน้าตัด

WF 200 × 65.7 ($A = 83.69 \text{ cm}^2$, $r_{\min} = r_y = 5.13 \text{ cm}$)

$$\text{หาค่า } \frac{KL}{r} = \frac{0.80 \times 450}{5.13} = 70.18$$

$$\text{หาค่า } C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{2,400}} = 131.42$$

$$\text{จากกรณีที่ } \frac{KL}{r} < C_c \text{ ดังนั้น}$$

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้;

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

$$= \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{0.80 \times 450 / 5.13}{131.42} \right)^2 \right] 2,400}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{0.80 \times 450 / 5.13}{131.42} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{0.80 \times 450 / 5.13}{131.42} \right)^3}$$

$$= \frac{1,759.22}{1.85}$$

$$= 950.93 \text{ kg/cm}^2$$

แรงอัดสูงสุดที่เสารับได้, $P = F_a \times A = 950.53 \times 83.69$

$$= 79,584 \text{ kg} > 60,000 \text{ kg}$$

รับแรงได้สูงคิดเป็น $= \frac{(79,584 - 60,000)}{60,000} \times 100 = 32.64 \% < 45 \%$

ดังนั้นใช้ WF ขนาด 200×65.7 ทำเป็นเสาได้ ซึ่งประหยัดและปลอดภัย **ตอบ**

เฉลย

ข. จากตารางที่ 9.1 ค่า K ที่ออกแบบ = 0.80

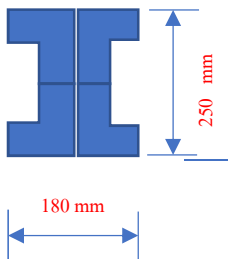
สมมติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (F_a) ประมาณ 40 % ของ $F_y = 960 \text{ kg/cm}^2$

แรงอัดในแนวแกน ; $P = 60 \text{ T} = 60,000 \text{ kg}$

พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ ; $A = \frac{P}{F_a} = \frac{60,000}{960} = 62.50 \text{ cm}^2$

จากตารางเหล็กในตารางที่ ข.2 (ภาคผนวก ข.) เลือกขนาดหน้าตัด

2 - [$250 \times 90 \times 9 \times 13$ ($A = 44.07 \text{ cm}^2$, $I_x = 4,180 \text{ cm}^4$, $I_y = 294 \text{ cm}^4$)



หา I_y ใหม่ $= (294 \times 2) + 2 \times (44.07 \times (3)^2) = 1,381.26 \text{ cm}^4$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1,381.26}{2 \times 44.07}} = 3.96 \text{ cm}$$

หาค่า $\frac{KL}{r} = \frac{0.80 \times 450}{3.96} = 90.91$

หาค่า $C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{2,400}} = 131.42$

จากกรณีนี้ที่ $\frac{KL}{r} < C_c$ ดังนั้น

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้;

$$\begin{aligned}
 F_a &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^2\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}\left(\frac{KL/r}{C_c}\right) - \frac{1}{8}\left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^3} \\
 &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{0.80 \times 450 / 3.96}{131.42}\right)^2\right] 2,400}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}\left(\frac{0.80 \times 450 / 3.96}{131.42}\right) - \frac{1}{8}\left(\frac{0.80 \times 450 / 3.96}{131.42}\right)^3} \\
 &= \frac{1,825.78}{1.88} \\
 &= 971 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แรงอัดสูงสุดที่เสารับได้, } P &= F_a \times A = 971 \times 44.07 \times 2 \\
 &= 85,583 \text{ kg} > 60,000 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

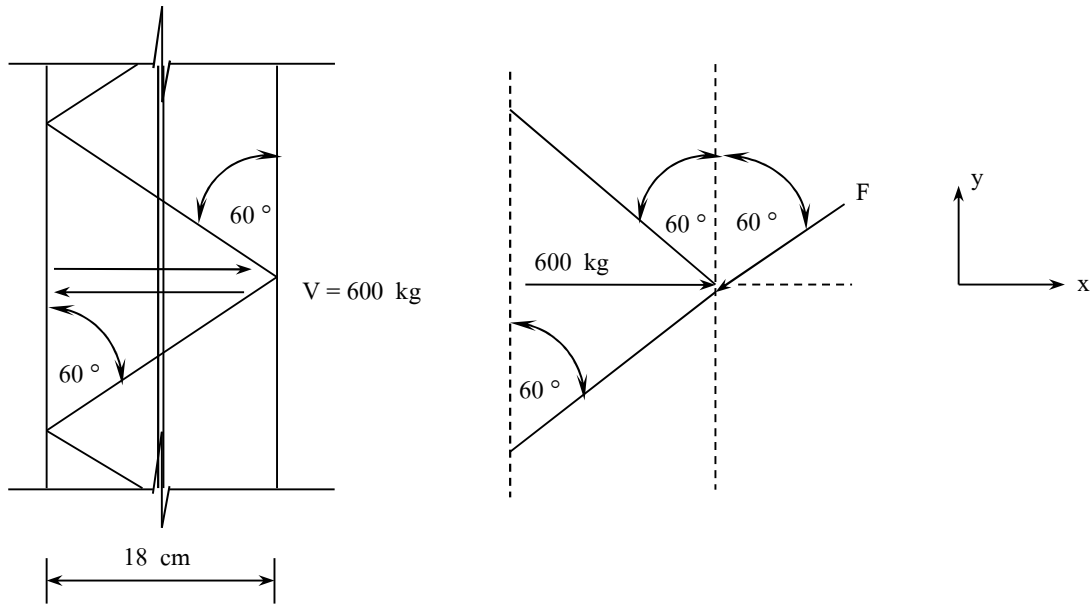
$$\text{รับแรงได้สูงคิดเป็น} = \frac{(85,583 - 60,000)}{60,000} \times 100 = 42.64 \% < 45 \%$$

ดังนั้นใช้เหล็กทรงน้ำ (Channel) [- 250 × 90 × 9 × 13 จำนวน 2 ตัวประกอประกกันดังรูป
 ทำเป็นเสาได้ ซึ่งประหยัดและปลอดภัย

ตอบ

หาขนาดของเหล็กยึดคาน (Lacing) ความกว้างเสาน้อยกว่า 35 cm ใช้เหล็กยึดคานเดี่ยวแรง
 เชื้อในเหล็กยึดคานแต่ละแนว,

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{0.02 P}{2} \\
 &= 0.01 \times 60,000 = 600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



หาแรงอัดในแนวแกนของเหล็กยึดตบแต่ง

$$\sum F_x = 0$$

$$\text{แรงอัดในเหล็กยึดตบแต่ง} = \frac{600}{\sin 60^\circ} = 692 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวเหล็กยึดตบแต่ง, } L = \frac{18}{\sin 60^\circ} = 20.78 \text{ cm}$$

$$\text{ตรวจสอบ } \frac{L}{r} \leq 140$$

$$r = \frac{20.78}{140} = 0.15 \text{ cm}$$

ใช้เหล็กกลมทำเป็นเหล็กยึดตบแต่งสำหรับเหล็กกลม $\phi = D$

$$\text{ถ้า } r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi D^4 / 64}{\pi D^2 / 4}} = \frac{D}{4}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } D = 4r = 4 \times 0.15 = 0.60 \text{ cm}$$

$$\text{ใช้เหล็กกลม } \phi = 12 \text{ mm } (r = \frac{1.2}{4} = 0.30 > 0.15 \text{ cm})$$

แรงอัดสูงสุดที่เหล็กตบแต่งรับได้

$$\text{ตรวจสอบ } \frac{L}{r} = \frac{20.7}{0.30} = 69 < 120$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{2,400}} = 131.42$$

$$\text{จะได้ } \frac{L}{r} < C_c \text{ และ } < 120$$

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

$$\begin{aligned}
 F_a &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{L/r}{Cc}\right)^2\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{L/r}{Cc}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{L/r}{Cc}\right)^3} \\
 &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{69}{131.42}\right)^2\right] 2,400}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{69}{131.42}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{69}{131.42}\right)^3} \\
 &= 621 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แรงอัดสูงสุดที่เหล็กยึดทนรับได้} &= 621 \times \pi \times \frac{(1.2)^2}{4} \\
 &= 701 \text{ kg} > 600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้เหล็กกลม ϕ 12 mm ทำเป็นเหล็กยึดทนรับได้

ตอบ

หาขนาดของแผ่นยึดแบบขวาง สมมติต่อโดยการเชื่อม

$$\begin{aligned}
 \text{ความหนา, } t &= \frac{1}{50} \cdot b \\
 &= \frac{1}{50} \times 16 \text{ (ใช้ความกว้าง 16 cm เพื่อรอยเชื่อมข้างละ 1 cm)} \\
 &= 0.32 \text{ cm ใช้ 4 mm}
 \end{aligned}$$

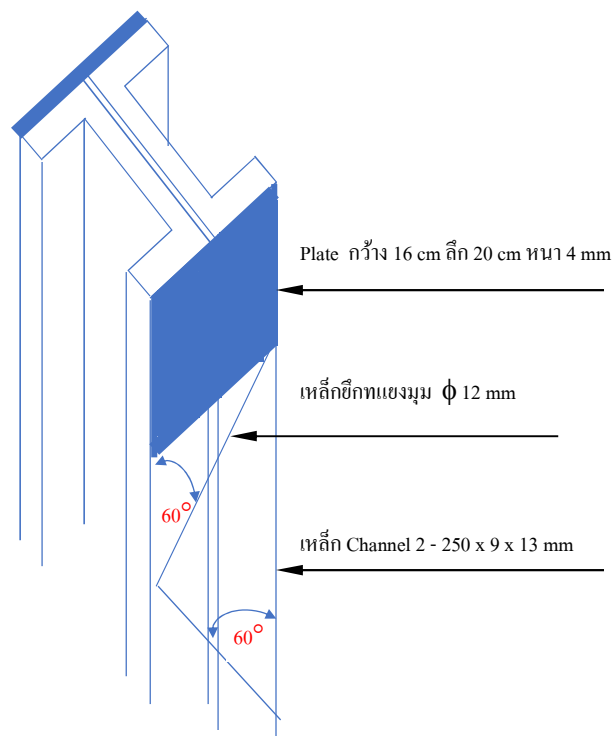
ความลึก, $L \geq b$

ในที่นี้ใช้ความลึก, $L = 20 \text{ cm} > 18 \text{ cm}$

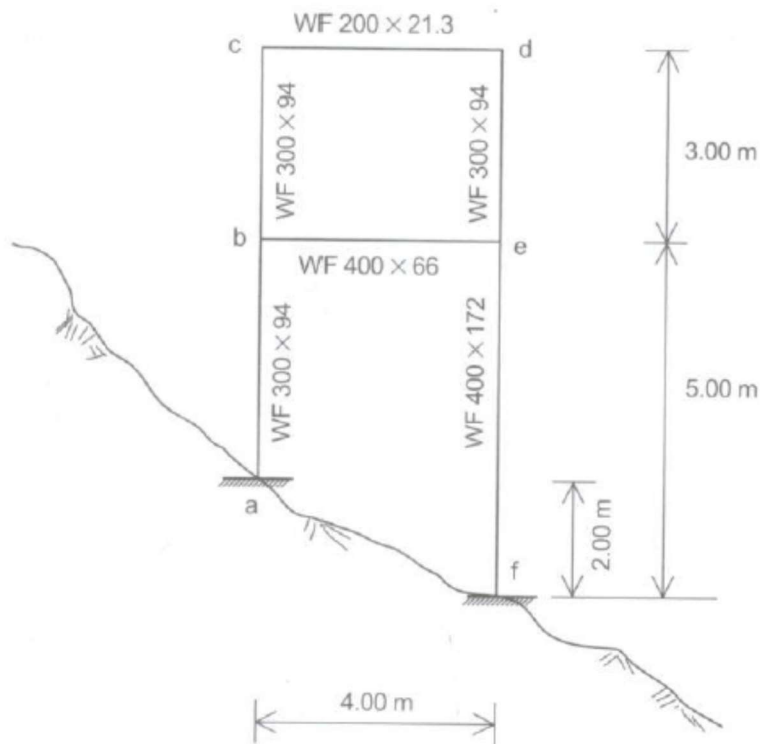
ใช้แผ่นยึดแบบขวางขนาด $180 \times 200 \times 4 \text{ mm}$

ตอบ

ดังนั้นจะได้ขนาดของเสาประกอบดังนี้



3. จงหาค่าช่วงความยาวประสิทธิผล (K) ของแต่ละเสาในโครงข้อแข็งดังรูป สมมติว่าโครงสร้างไม่มีการเซ



เฉลย

$$\text{WF 400 x 66} \quad I_x = 2,370 \text{ cm}^4$$

$$\text{WF 200 x 21.3} \quad I_x = 1,840 \text{ cm}^4$$

$$\text{WF 400 x 172} \quad I_x = 66,600 \text{ cm}^4$$

$$\text{WF 300 x 94} \quad I_x = 20,400 \text{ cm}^4$$

ค่าสถิติเฟนของกานหาได้ดังนี้

$$\text{กาน be} = \frac{I_b}{L_b} = \frac{2,370}{400} = 5.92 \text{ cm}^3$$

$$\text{กาน cd} = \frac{I_b}{L_b} = \frac{1,840}{400} = 4.6 \text{ cm}^3$$

ค่าสถิติเฟนของเสาหาได้ดังนี้

$$\text{เสา ab} = \frac{I_c}{L_c} = \frac{20,400}{300} = 68 \text{ cm}^3$$

$$\text{เสา bc} = \frac{I_c}{L_c} = \frac{20,400}{300} = 68 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{เสา de} &= \frac{I_c}{L_c} = \frac{20,40}{300} = 68 \quad \text{cm}^3 \\ \text{เสา ef} &= \frac{I_c}{L_c} = \frac{66,600}{500} = 133.2 \quad \text{cm}^3 \end{aligned}$$

ค่าของ G_A และ G_B ตลอดจนค่า K หาได้จาก Alignment Chart โดยลากเส้นระหว่างจุดบน
สเกล G_A และ G_B

เสา	G_A	G_B	K
ab	$G_a = 1$ (ยึดแน่น)	$G_b = \frac{ab+bc}{be}$ $= \frac{68+68}{5.92}$ $= 22.97$	0.85
bc	$G_b = 0.85$	$G_c = \frac{bc}{cd}$ $= \frac{68}{4.6}$ $= 14.78$	0.85
ef	$G_f = 1$ ยึดแน่น	$G_e = \frac{ef+de}{be}$ $= \frac{133.2+68}{5.92}$ $= 33.98$	0.88
ef	$G_e = 0.88$	$G_d = \frac{de}{cd}$ $= \frac{68}{4.6}$ $= 14.78$	0.85

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10

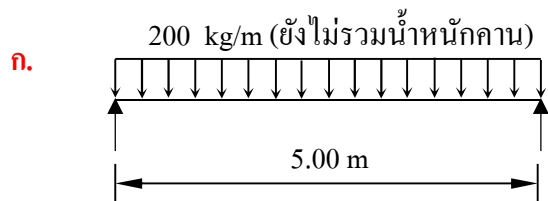
1. จงออกแบบคานเหล็ก WF ซึ่งรับน้ำหนักดังรูป

$$\text{กำหนด } F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

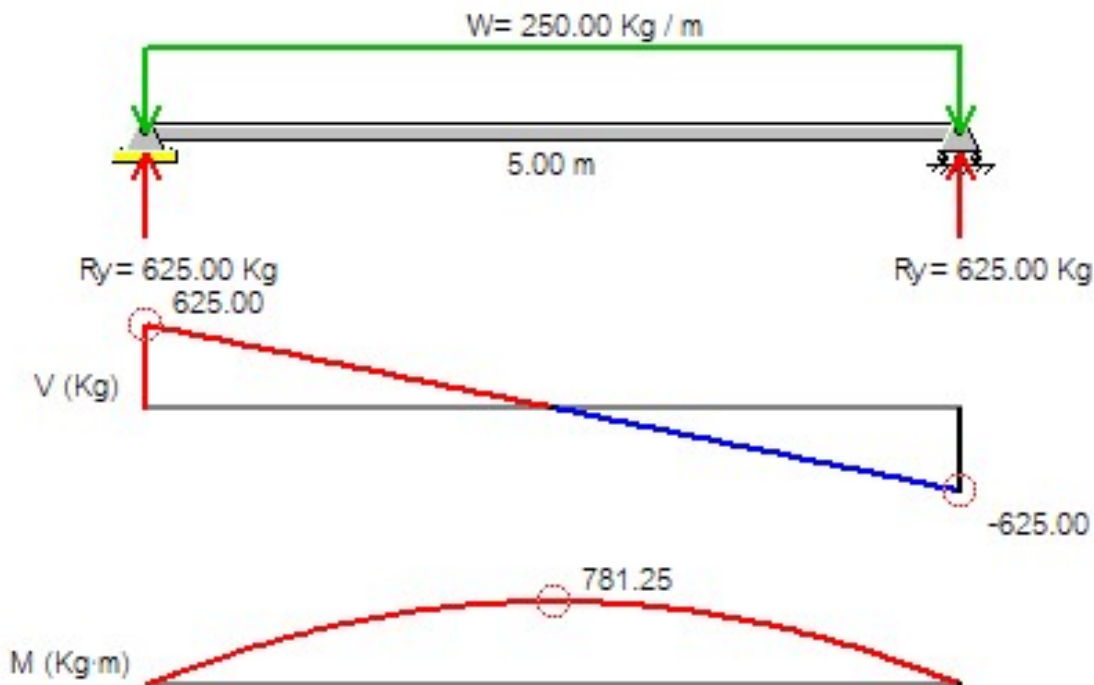
$$\text{การโก่งที่ยอมให้, } \Delta_{\text{all}} = \frac{L}{360}$$

เฉลย



$$\text{ประมาณน้ำหนักคาน} = 50 \text{ kg/m}$$

$$\text{น้ำหนักรวม, } W = 200 + 50 = 250 \text{ kg/m}$$



$$\text{จาก B.M.D. ได้ } M_{\text{max}} = 781 \text{ kg.m}$$

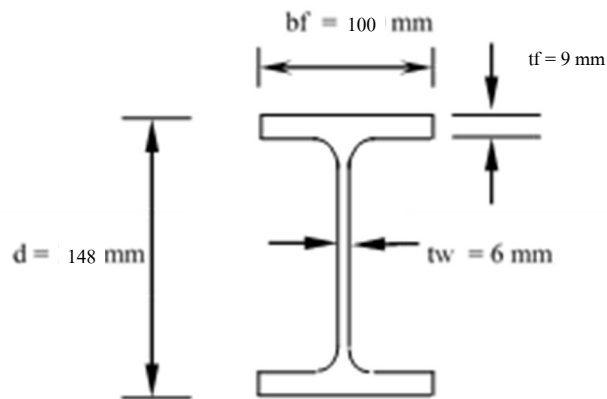
$$\text{สมมติ } F_b \text{ (ประมาณ 30\% ของ } F_y) = (30/100) \times 2,400 = 720 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_x = \frac{M}{F_b} = \frac{781 \times 1}{720}$$

$$= 108.47 \text{ cm}^3$$

จากภาคผนวก ข. ตารางที่ ข. 2 เลือกเหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง (Wide Flange Shapes)

ได้ WF 150 × 100 (148 × 100) (หนัก 21.1 kg/m ค่า $S_x = 138 \text{ cm}^3$ และ $I_x = 1,020 \text{ cm}^4$)



ตรวจสอบการค้ำยัน เนื่องจากไม่มีการค้ำยันจึงใช้ (L_b) = 5.00 m = 500 cm

$$\frac{636bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{636 \times 10}{\sqrt{2,400}} = 129$$

$$\frac{1,400,000}{(d / Af) F_y} = \frac{1,400,000}{\left(\frac{14.8}{10 \times 0.9}\right) 2,400} = 354 \text{ cm}$$

ระยะการค้ำยัน (L_b) > $\frac{636bf}{\sqrt{F_y}}$ และ > $\frac{1,400,000}{(d / Af) F_y}$ เพราะฉะนั้นถือว่าการค้ำยันไม่เพียงพอ

เมื่อการค้ำยันไม่พอ ตรวจสอบค่า

$$\frac{L}{r_T} = \frac{L}{0.26bf} = \frac{500}{0.26 \times 10} = 192$$

$$\sqrt{\frac{3,585 \times 10^4 C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3,585 \times 10^4 \times 1}{2,400}} = 122$$

$$\text{จะได้ค่า } \frac{L}{r_T} > \sqrt{\frac{3,585 \times 10^4 C_b}{F_y}}$$

$$\text{ใช้ } F_b = \frac{1,195 \times 10^4 C_b}{\left(\frac{L}{r_T}\right)^2} = \frac{1,195 \times 10^4}{(192)^2}$$

$$= 324 \text{ kg/cm}^2 \leq 0.60 F_y \quad (0.6 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg/cm}^2) \text{ ใช้ได้}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ } F_b &= \frac{843,600 C_b}{L_d / A_f} = \frac{843,600 \times 1}{(500 \times 14.8) / (10 \times 0.9)} \\ &= 1,026 \text{ kg/cm}^2 \leq 0.60 F_y \quad (0.6 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg/cm}^2) \text{ ใช้ได้} \end{aligned}$$

ตรวจสอบการรับโมเมนต์ มาตรฐาน ASD และมาตรฐาน ว.ศ.ท. ให้ใช้ค่า F_b ที่มีค่าสูงจาก 2 สมการ

$$\begin{aligned} M &= F_b \cdot S_x = \frac{1,026 \times 138}{100} \\ &= 1,415 \text{ kg.m} > 781 \text{ kg.m} \quad \text{ใช้ได้} \end{aligned}$$

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น, } f_v &= \frac{V}{(d - 2 t_f) t_w} = \frac{625}{(14.8 - 2 \times 0.9) \times 0.6} \\ &= 45.55 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, } F_v &= 0.40 F_y = 0.40 \times 2,400 = 960 \text{ kg/cm}^2 \\ f_v &< F_v \quad \text{ใช้ได้} \end{aligned}$$

ตรวจสอบการโก่งของคาน

$$\text{การโก่งที่เกิดขึ้น, } \Delta_{\max} = \frac{5 W L^4}{384 E I} = \frac{5 \times 250 \times 500^4}{384 \times 100 \times 2.1 \times 10^6 \times 1,020} = 0.95 \text{ cm}$$

$$\text{การโก่งที่ยอมให้, } \Delta_{\text{all}} = \frac{L}{360} = \frac{500}{360} = 1.38 \text{ cm}$$

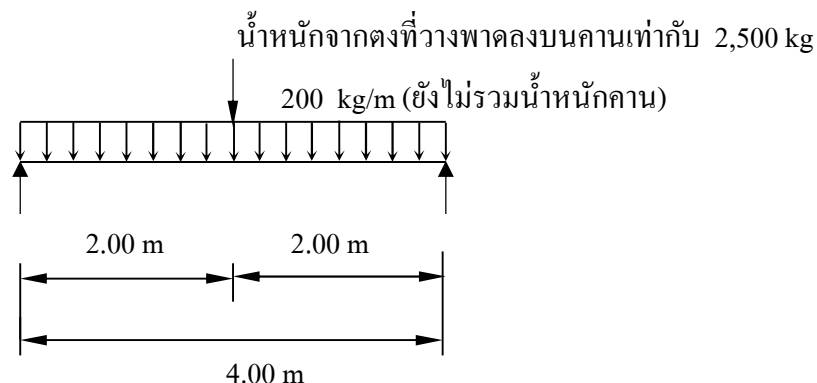
$$\Delta_{\max} < \Delta_{\text{all}} \quad \text{ใช้ได้}$$

เพราะฉะนั้นใช้คาน WF WF 150 × 21.1 ทำเป็นคาน BI ได้

ตอบ

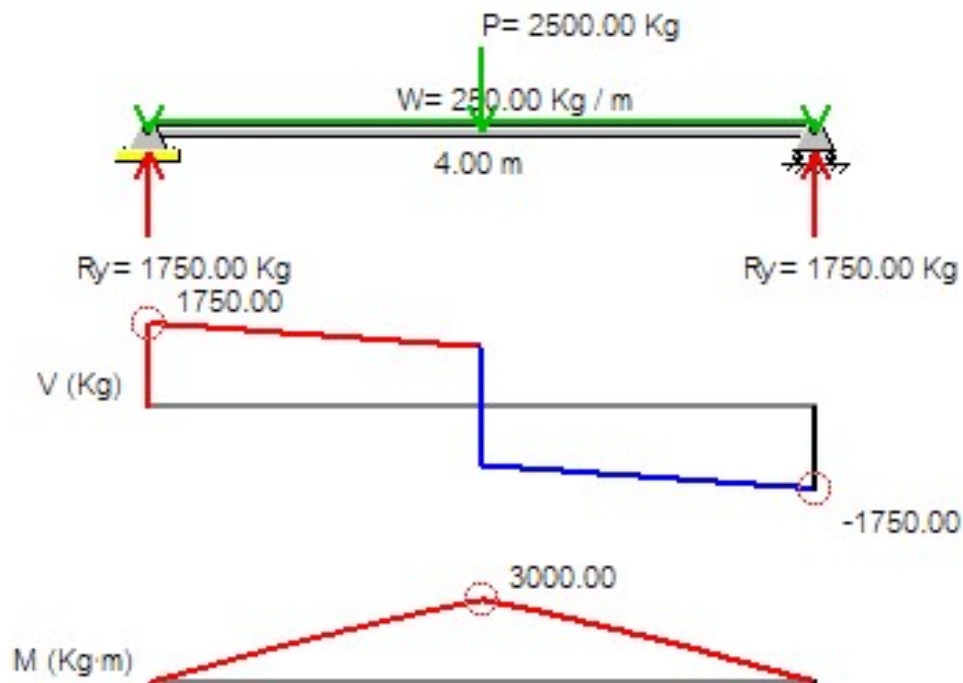
เฉลย

ข.



ประมาณน้ำหนักคาน = 50 kg/m

น้ำหนักรวม, $W = 200 + 50 = 250$ kg/m



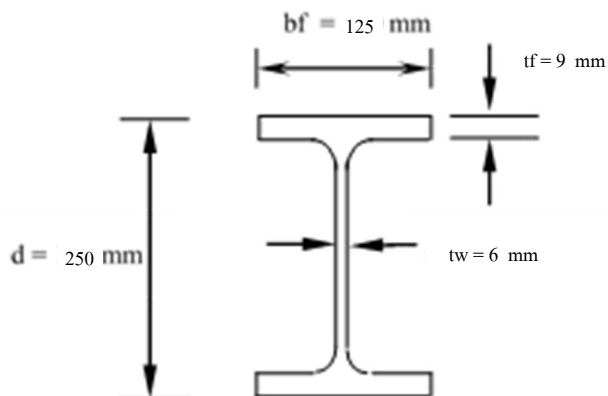
จาก B.M.D. ได้ $M_{\max} = 3,000$ kg.m

สมมติ F_b (ประมาณ 30% ของ F_y) = $(30/100) \times 2,400 = 720$ kg/cm²

$$S_x = \frac{M}{F_b} = \frac{3,000 \times 100}{720} = 416.66 \text{ cm}^3$$

จากภาคผนวก ข. ตารางที่ ข. 2 เลือกเหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง (Wide Flange Shapes)

ได้ WF 250 × 125 (หนัก 29.6 kg/m ค่า $S_x = 324$ cm³ และ $I_x = 4,050$ cm⁴)



ตรวจสอบการค้ำยัน เนื่องจากมีการค้ำยันจึงใช้ $(L_b) = 2.00 \text{ m} = 200 \text{ cm}$

$$\frac{636 \text{ bf}}{\sqrt{F_y}} = \frac{636 \times .5}{\sqrt{2,400}} = 162$$

$$\frac{1,400,000}{(d / A_f) F_y} = \frac{1,400,000}{\left(\frac{25}{12.5 \times 0.9}\right) 2,400} = 262 \text{ cm}$$

ระยะการค้ำยัน $(L_b) > \frac{636 \text{ bf}}{\sqrt{F_y}}$ แต่ $< \frac{1,400,000}{(d / A_f) F_y}$ เพราะฉะนั้นถือว่าการค้ำยันไม่เพียงพอ

เมื่อการค้ำยันไม่พอ ตรวจสอบค่า

$$\frac{L}{r_T} = \frac{L}{0.26 \text{ bf}} = \frac{200}{0.26 \times 12.5} = 61$$

$$\sqrt{\frac{3,585 \times 10^4 C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3,585 \times 10^4 \times 1}{2,400}} = 122$$

$$\text{จะได้ค่า } \frac{L}{r_T} < \sqrt{\frac{3,585 \times 10^4 C_b}{F_y}}$$

$$\text{ใช้ } F_b = \frac{1,195 \times 10^4 C_b}{\left(\frac{L}{r_T}\right)^2} = \frac{1,195 \times 10^4 \times 1}{(61)^2}$$

$$= 3,221 \text{ kg/cm}^2 \leq 0.60 F_y \text{ ใช้ } 0.6 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg/cm}^2$$

ตรวจสอบค่าโมเมนต์สูงสุดที่คานรับได้

$$M = F_b S_x = \frac{1,440 \times 324}{100}$$

$$= 4,665 \text{ kg.m} > 3,000 \text{ kg.m}$$

$$\text{สูตรการโก่งที่เกิดขึ้น, } \Delta_{\max} = \frac{5WL^4}{384EI} + \frac{PL^3}{48EI}$$

$$= \frac{5 \times 250 \times (400)^4}{384 \times 100 \times 2.1 \times (10)^6 \times 4,050} + \frac{2,500 \times (400)^3}{48 \times 2.1 \times (10)^6 \times 4,050}$$

$$= 0.10 + 0.39$$

$$= 0.49 \text{ cm}$$

$$\text{การโก่งที่ยอมให้, } \Delta_{\text{all}} = \frac{L}{360} = \frac{400}{360} = 1.11 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\max} < \Delta_{\text{all}}$$

ใช้ได้

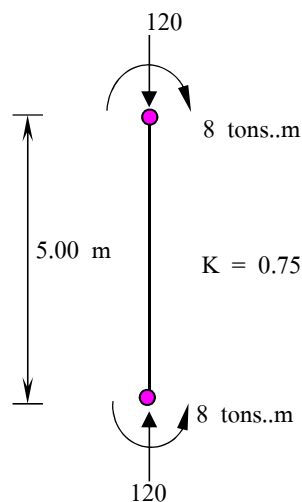
เพราะฉะนั้นใช้คาน WF 250 × 29.6 ทำเป็นคาน BI ได้

ตอบ

2. จงออกแบบหาขนาดเสารับน้ำหนักตามแนวนอน 120 tons รับโมเมนต์ 8 tons.m ความยาวเสา 5.00 m ให้ใช้เหล็ก WF

กำหนดให้ $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ $F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$
 ค่า K จากการวิเคราะห์เท่ากับ 0.75

เฉลย



เลือกโครงสร้างที่ไม่มีการเซ

สมมติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้, $F_a = 40\%$ ของ F_y ใช้ F_y เหล็ก = $2,400 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{ได้ } F_a = 960 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ, } A = \frac{120 \times 1,000}{960} = 125 \text{ cm}^2$$

จากตารางเหล็ก เลือกเหล็ก WF 350 × 137 โดยที่

$$A = 173.9 \text{ cm}^2 \text{ (เพื่อโมเมนต์ด้วย)}$$

$$r_x = 15.2 \text{ cm}, \quad r_y = 8.84 \text{ cm}$$

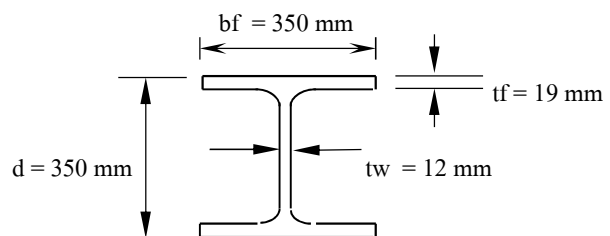
$$I_x = 40,300 \text{ cm}^4, \quad I_y = 13,600 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 2,300 \text{ cm}^3, \quad S_y = 776 \text{ cm}^3$$

$$\text{หาค่า } \frac{KL}{r} = \frac{0.75 \times 500}{8.84} = 42$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{2,400}} = 131.42$$

จากกรณีนี้ $\frac{KL}{r} < C_c$ ดังนั้นจากสูตรเสาจะได้



$$\begin{aligned}
 F_a &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{Cc}\right)^2\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{Cc}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{Cc}\right)^3} \\
 &= \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{0.75 \times 500 / 8.84}{131.42}\right)^2\right] 2,400}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{0.75 \times 500 / 8.84}{131.42}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{0.75 \times 500 / 8.84}{131.42}\right)^3} \\
 &= \frac{2,274.96}{1.78} \\
 &= 1,278 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{120 \times 1,000}{173.9} = 690.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{690.05}{1,278} = 0.54 > 0.15$$

ตรวจสอบค่า

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{e'x}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{e'y}}\right) F_{by}} \leq 1.0$$

และ

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.00$$

ตรวจสอบการค้ำยัน $L_b < \frac{636bf}{\sqrt{F_y}}$

$$\frac{636 \times 35}{\sqrt{2,400}} = 454 \text{ cm}$$

$$L_b = 500 > 454 \text{ ฉะนั้นการค้ำยันไม่พอ ใช้ } F_b = 0.60F_y$$

(หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่มี การตรวจสอบการค้ำยันด้านข้างและไม่มีการตรวจสอบหน้าตัดแนะนำให้ใช้ค่า $F_b = 0.60F_y$ ซึ่งป็นค่าที่น้อยซึ่งอยู่ระหว่าง $0.60F_y - 0.66F_y$)

$$F_b = 0.60 \times 2400 = 1,440 \text{ kg/c}$$

$$f_{bx} = \frac{M}{S_x} = \frac{8 \times 1,000 \times 100}{2,300} = 347.48 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{e'} = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r_b)^2} = \frac{12\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{23(42)^2} = 6,130 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 - \frac{f_a}{F_{e'}} = 1 - \frac{690.05}{6,130} = 0.88$$

เสาที่ไม่มีภาระเซ $C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) = 0.6 - 0.4(0) = 0.6$

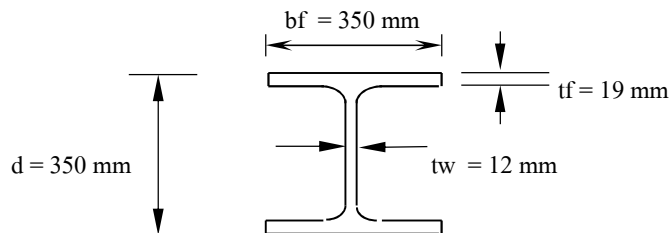
แทนค่าสมการ $\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{e'x}}\right) F_{bx}} \leq 1.0$

$$0.54 + \frac{0.60 \times 347.48}{0.88 \times 1,440} = 0.72 < 1.0 \quad \text{ใช้ได้}$$

และ $\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.00$

$$\frac{690.05}{0.60 \times 2,400} + \frac{347.48}{1,440} = 0.72 < 1.0 \quad \text{ใช้ได้}$$

เหล็ก WF 350 × 137 สามารถใช้ได้



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11

จากรูปแปลนและรูปตัดของโครงหลังคาซึ่งใช้กระเบื้องลอนคู่เป็นวัสดุคลุม ใ้แ้วางห่างกัน 1.00 m น้ำหนักบรรทุกจรตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 จงออกแบบ

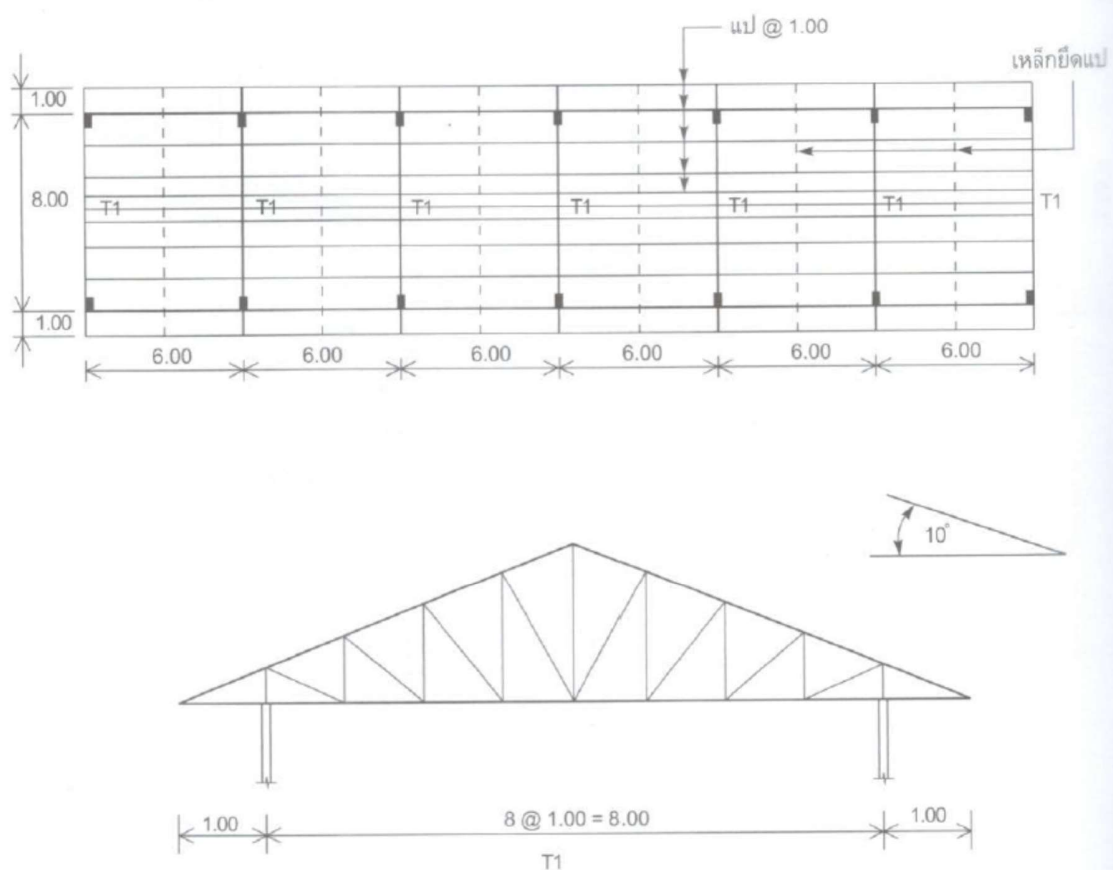
ก. แปะเหล็ก Light Lip Channel รูปตัว C

ข. เหล็กยึดแปะใช้เหล็กฉาก (angle equal leg)

ค. เหล็กฉาก (angle equal leg) ที่ใช้ทำโครงหลังคา T-1 พร้อมเขียนรูปประกอบด้วย

$$\text{กำหนดให้ } F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$



แปลนโครงหลังคา

เฉลย ก. และ ข.

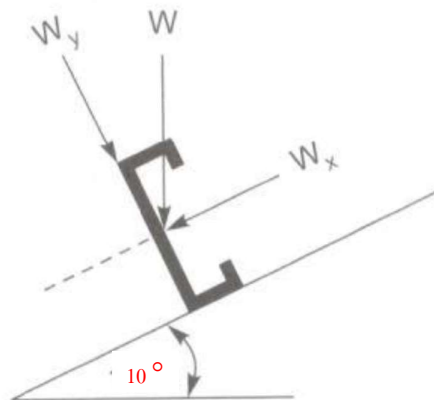
วัสดุผนังกระเบื้องลอนคู่หนัก	=	14	kg/m ²
น้ำหนักบรรทุกจร	=	50	kg/m ² (ใช้ตามแก้ไขใหม่ กฎกระทรวง พ.ศ.2566)
คุณสมบัติเหล็ก, Fy	=	2,400	kg/cm ²
E	=	2.1×10^6	kg/cm ²

วิธีทำ

$\theta = 10^\circ < 18^\circ$ เพราะฉะนั้นเป็นโครงหลังคาแบนจึงไม่ต้องคิดแรงลม

● ออกแบบแปเหล็ก Light Lip Channel

น้ำหนักบรรทุกจร	=	50	kg/m ²
น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่	=	14	kg/m ²
รวม	=	64	kg/m ²
น้ำหนักลงแป	=	น้ำหนักรวม $\times$ ระยะห่างของแป	
	=	64×1.00	= 64 kg/m
ประมาณน้ำหนักแป	=	6	kg/m
รวมน้ำหนักลงแปทั้งหมด	=	$64 + 6$	= 70 kg/m



การคิดความยาวแป ให้ดูจากจตุรกรับของแปในที่นี้วางบนโครงหลังคาที่มีระยะห่าง 6.00 m เพราะฉะนั้นความยาวแปเท่ากับ 6.00 m และออกแบบเป็นคานช่วงเดียว

$$\begin{aligned} W_x &= 70 \sin 10 &= 12 \text{ kg/m} \\ W_y &= 70 \cos 10 &= 69 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$M_x = \frac{69 \times 6^2}{8} = 310 \text{ kg.m}$$

$$M_y = \frac{12 \times 6^2}{8} = 54 \text{ kg.m}$$

จาก $M_{\max}$ หาค่าโมดูลัสหน้าตัดที่ต้องการได้

$$S_x = \frac{M_x}{F_b} = \frac{310 \times 100}{0.60 \times 2,400} = 21.53 \text{ cm}^3$$

(แนะนำให้เพิ่ม S_x ประมาณ 2 เท่า = 43.05 cm^3)

จากตารางที่ ข. 7 เลือกแปเหล็กรูปตัว C - $200 \times 75 \times 20 \times 3.2 \text{ mm}$ น้ำหนัก 9.27 kg/m

$$(S_x = 71.6 \text{ cm}^3, S_y = 15.8 \text{ cm}^3, I_x = 716 \text{ cm}^4, I_y = 84.1 \text{ cm}^4)$$

$$F_b = 0.60 F_y = 0.60 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg/cm}^2$$

$$fb = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y} \leq F_b$$

$$= \frac{310 \times 100}{71.6} + \frac{54 \times 100}{15.8}$$

$$= 774.73 \text{ kg/cm}^2 < 1,440 \text{ kg/cm}^2$$

ใช้ได้

ตรวจสอบการโก่ง; (คิดการโก่งเฉพาะทางแกน x ใช้น้ำหนักในแกน y โดยถือว่าแกน y โก่งตัวน้อยกว่า)

$$\text{- การโก่งที่เกิดขึ้น, } \Delta_{\max} = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{5 \times 69 \times (600)^4}{384 \times 100 \times 2.1 \times 10^6 \times 716} = 0.77 \text{ cm}$$

$$\text{- การโก่งที่ยอมให้, } \Delta_{\text{all}} = \frac{L}{360} = \frac{600}{360} = 1.66 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\max} \leq \Delta_{\text{all}}$$

ใช้ได้

ดังนั้นใช้แปเหล็ก C - $200 \times 75 \times 20 \times 3.2 \text{ mm}$ @ 1.00 m

ตอบ

กรณีใช้เหล็กยึดแป 1 แถว การคิดโมเมนต์ด้านแกน y คิดความยาวแปเพียงครึ่งหนึ่ง นั่นคือ

$$M_y = \frac{12 \times (3)^2}{8} = 13.5 \text{ kg.m}$$

$$\text{และ } S_y \text{ ที่ใช้ก็ลดลงครึ่งหนึ่ง} = \frac{15.8}{2} = 7.9 \text{ cm}^3$$

ตรวจสอบ

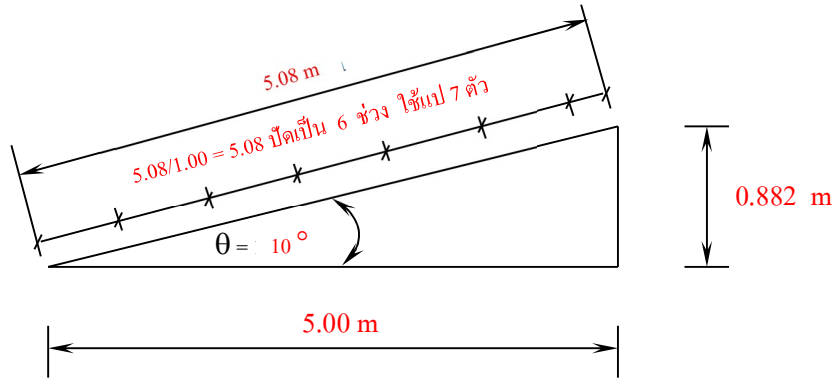
$$fb = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y} \leq F_b$$

$$= \frac{310 \times 100}{71.6} + \frac{13.5 \times 100}{7.9}$$

$$= 603.85 \text{ kg/cm}^2 < 1,440 \text{ kg/cm}^2$$

ใช้ได้

● ออกแบบเหล็กยึดแป (sag rod)



$$\text{ความยาวหลังคาแต่ละด้าน} = \sqrt{(0.882)^2 + (5)^2} = 5.08 \text{ m}$$

หลังคาใช้กระเบื้องลอนคู่ยาว 1.20 m วางแปเหล็กห่างกัน 1.00 m ที่เหลือ 20 cm เป็นระยะที่ซ้อนทับกัน

$$\text{ฉะนั้นหาจำนวนแปเหล็กได้} = \frac{5.08}{1.00} = 5.08 \text{ ช่วง บัดเป็น 6 ช่วง ใช้แปจำนวน 7 ตัว}$$

แปเหล็ก C - 200 x 75 x 20 x 3.2 mm น้ำหนัก 9.27 kg/m

แปเหล็กยาว 6.00 m ใช้เหล็กยึดแป 1 แถว วึ่งที่กึ่งกลางของแป ดังนั้นพื้นที่รับแรงของเหล็กยึด

$$\text{แป} = \frac{6}{2} = 3.00 \text{ m}$$

$$\text{น้ำหนักแป 7 ตัว} = 9.27 \times 3.00 \times 7 = 195 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักหลังคา} &= \text{น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่} + \text{น้ำหนักบรรทุกจร} \\ &= 14 + 50 \text{ kg/m}^2 = 64 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = 64 \times 3.00 \times 5.08 = 975 \text{ kg}$$

$$\text{น้ำหนักรวม} = 195 + 975 = 1,170 \text{ kg}$$

$$\text{น้ำหนักในทิศทางของเหล็กยึดแป} = 1,170 \sin 10 = 203 \text{ kg}$$

$$\text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้, Ft} = 0.60 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg}$$

$$\text{ฉะนั้นพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการของเหล็กยึดแป} = \frac{203}{1,440} = 0.14 \text{ cm}^2$$

ดังนั้นใช้เหล็กฉากยึดแป ขนาด L - 25 x 25 x 3 mm ($r_x = r_y = 0.75 \text{ cm}$, $A = 1.43 \text{ cm}^2 > 0.14 \text{ cm}^2$)

ซึ่งเป็นขนาดเล็กสุดในท้องตลาด

$$\text{ตรวจสอบอัตราส่วนความยาวจะลู่; } \frac{L}{r} \leq 300$$

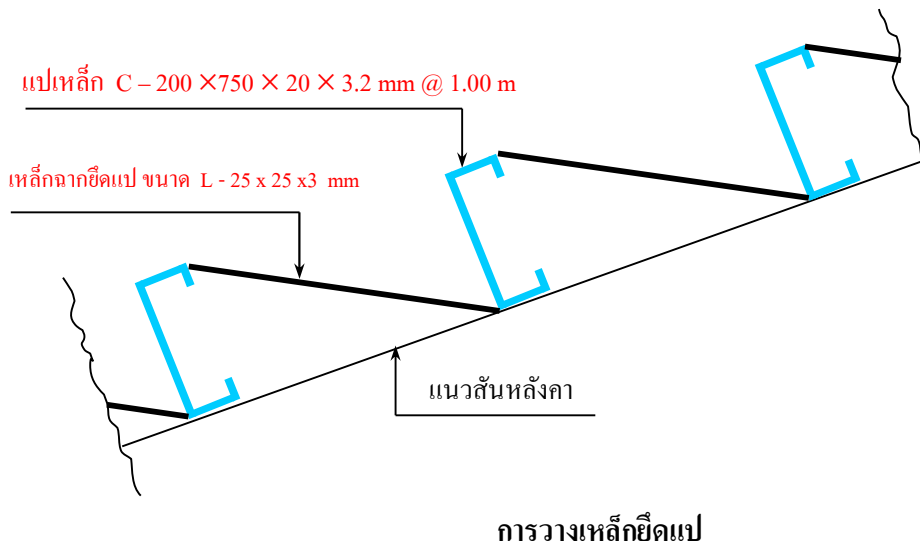
$$\text{ความยาวเหล็กยึดแป} = 1.00 \text{ m (คิดตามระยะห่างของแปและถือว่าความลาดเอียงน้อยมาก)}$$

ดังนั้น $\frac{L}{r} = \frac{100}{0.75} = 133 < 300$

ใช้ได้

ดังนั้นใช้เหล็กฉากยึดแป ขนาด L - 25 x 25 x 3 mm จำนวน 1 แถว @ 6.00 m
(จัดที่แนวกึ่งกลางความยาวแป)

ตอบ



เฉลย ค.

ออกแบบเหล็กใช้ทำโครงหลังคา T-1

ระยะห่างของ T-1	=	6.00	m
น้ำหนักบรรทุกจร (LL)	=	50	kg/m ²
น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่	=	14	kg/m ²
น้ำหนักแป	=	9.27	kg/m ²
รวม	=	73	kg/m ²

น้ำหนักโครงหลังคา T-1;

$$\begin{aligned}
 W_t &= 0.01W (1 + 0.33.L) \\
 &= 0.01 \times 73 (1 + 0.33 \times 10) \text{ kg/m}^2 \\
 &= 3.14 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

หรือ $W_t = (0.333.L + 5) = (0.333 \times 10) + 5 = 8.3 \text{ kg/m}^2$

หรือ ตามตารางที่ 1.1 ใช้ 10–30 kg/m²

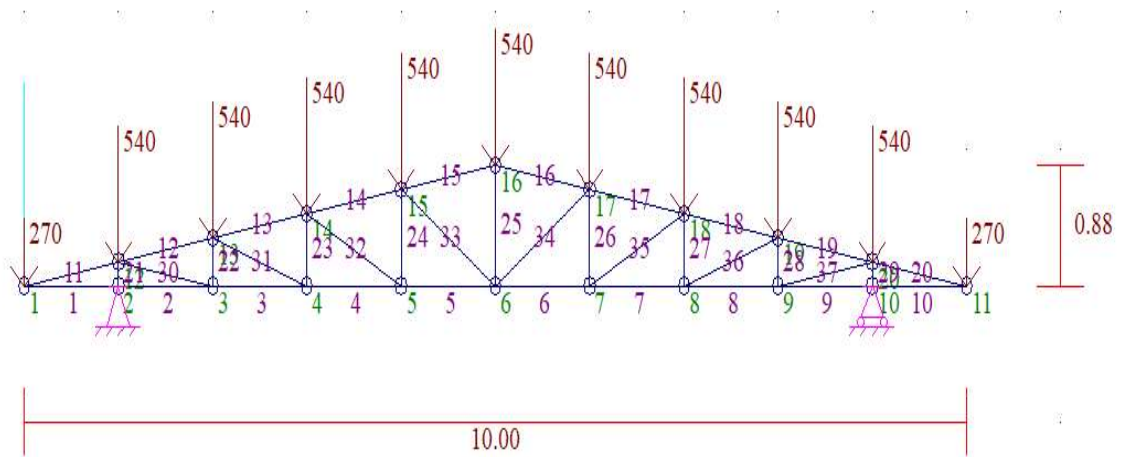
ใช้น้ำหนักโครงหลังคา T-1 = 15 kg/m²

น้ำหนักทั้งหมด = 73 + 15 = 88 kg ใช้ 90 kg

น้ำหนักลงจุดต่อภายใน = $90 \times 6 \times 1.00 = 540$ kg

น้ำหนักลงจุดต่อภายนอก = $90 \times 6 \times 0.50 = 270$ kg

จากการวิเคราะห์แรงในโครงหลังคาโดยการคำนวณได้ดังนี้



ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

แรงภายในชิ้นส่วน + แรงดึง, - แรงอัด

ชิ้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)	
1	1.00	-1531	
2	1.00	-1531	
3	1.00	4592	
4	1.00	5612	Max.
5	1.00	5357	
6	1.00	5357	
7	1.00	5612	Max.
8	1.00	4592	
9	1.00	-1531	
10	1.00	-1531	
11	1.02	1554	
12	1.02	-4663	
13	1.02	-5699	Max.

ชั้นส่วนที่	ความยาว (m)	แรง (kg)	
14	1.02	-5440	
15	1.02	-4663	
16	1.02	-4663	
17	1.02	-5440	
18	1.02	-5699	Max.
19	1.02	-4663	
20	1.02	1554	
21	0.18	-2700	Max.
22	0.35	-1080	
23	0.53	-360	
24	0.71	135	
25	0.88	1080	
26	0.71	135	
27	0.53	-360	
28	0.35	-1080	
29	0.18	-2700	Max.
30	1.02	6217	Max.
31	1.06	1082	
32	1.13	-289	
33	1.22	-937	
34	1.22	-937	
35	1.13	-289	
36	1.06	1082	
37	1.02	6217	Max.

แรงปฏิกิริยา

แกน X : + ขวา - ซ้าย, แกน Y : + ขึ้น - ลง

จุดต่อที่	Rx (kg)	Ry (kg)
2	0	2700
10	0	2700

- ท่อนของข้อ (lower chord)

$$4, 7 = 5,612 \text{ kg (แรงดึง) ความยาว } 1.00 \text{ m}$$

- ท่อนของจันทัน (upper chord)

$$13, 18 = - 5,699 \text{ kg (แรงอัด) ความยาว } 1.02 \text{ m}$$

- ท่อนยึดแบบดิ่ง (vertical web)

$$21, 29 = 2,700 \text{ kg (แรงดึง) ความยาว } 0.18 \text{ m}$$

- ท่อนยึดแบบเอียง (diagonal web)

$$30, 37 = 6,217 \text{ kg (แรงดึง) ความยาว } 1.02 \text{ m}$$

● ออกแบบเหล็กที่ใช้ทำท่อนของข้อ

ขนาดแรงสูงสุดเกิดในองศาอาคาร; = 5,612 kg (แรงดึง) ความยาว 1.00 m = 100 cm

$$\text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้, } F_t = 0.60F_y = 0.60 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ, } A_{\text{net}} = \frac{5,612}{1,440} = 3.89 \text{ cm}^2$$

- ถ้าเลือกหน้าตัดต่อปลายโดยการเชื่อมขาเดียว

จากตารางที่ ข. 5 ใช้เหล็กฉากขนาด L - 65 × 65 × 5 mm ($A = 6.36 \text{ cm}^2$, $r_{\text{min}} = 1.99 \text{ cm}$)

$$\begin{aligned} A_{\text{net}} &= A_1 + \frac{A_2}{2} = \frac{6.36}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{6.36}{2} \\ &= 4.77 \text{ cm}^2 > 3.89 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

ตรวจสอบอัตราส่วนความยาวชะลูด

$$\frac{L}{r} = \frac{100}{1.99} = 50.25 < 240 \quad \text{ใช้ได้}$$

ดังนั้นใช้เหล็กฉาก L - 65 × 65 × 5 mm ทำเป็นท่อนของข้อได้

ตอบ

- ถ้าเลือกหน้าตัดต่อปลายโดยใช้หมุดย้ำ ขนาด ϕ 12 mm แถวเดียว

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิ, } A_{\text{net}} &= A_{\text{Inet}} + \frac{A_2}{2} \\ &= \left(\frac{6.36}{2} - (1.2 + 0.3) \times 0.5 \right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{6.36}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 4.02 \text{ cm}^2 > 3.89 \text{ cm}^2$$

ใช้ได้

ในกรณีที่ใช้หมุดย้ำ ϕ 12 mm แถวเดียวก็สามารถใช้เหล็กฉาก L- 65 × 65 × 5 mm ทำเป็นท่อนของข้อได้

ตอบ

• ออกแบบเหล็กที่ใช้ทำท่อนของจันทัน(upper chord)

ขนาดแรงสูงสุดเกิดขึ้นในองศาการ, 13, 18 = - 5,699 kg (แรงอัด) ความยาว 1.02 m

สมมติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้, $F_a = 1,000 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ, } A = \frac{5,669}{1,000} = 5.67 \text{ cm}^2$$

เลือกเหล็กฉาก L - 65 × 65 × 5 mm ($A = 6.36 \text{ cm}^2$, $r_{\min} = 1.99 \text{ cm}$)

ตรวจสอบ,

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 102}{1.99} = 51.26$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{2400}} = 131.42$$

จากกรณีที่ว่า $\frac{KL}{r} < C_c$ ดังนั้น

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

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

$$= \frac{\left[\left[1 - \frac{1}{2} \times \left[\frac{51.26}{131.42} \right]^2 \right] \cdot 2,400 \right]}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left[\frac{51.26}{131.42} \right] - \frac{1}{8} \left[\frac{51.26}{131.42} \right]^3 \right]}$$

$$= \frac{2,217.43}{1.81}$$

$$= 1,225.10 \text{ kg/cm}^2$$

สามารถรับแรงอัดได้สูงสุดเท่ากับ = 1,225.19 × 6.36

$$= 7,792 \text{ kg} > 5,669 \text{ kg}$$

ใช้ได้

ดังนั้นใช้เหล็กฉาก L- 65 × 65 × 5 mm ทำเป็นท่อนของจันทันได้

ตอบ

ออกแบบเหล็กที่ใช้ทำท่อนยึดแบบดิ่งและท่อนยึดแบบเอียง (vertical and diagonal web)

ในการออกแบบจะเอาแรงที่มากที่สุดในองค์อาคารมาออกแบบทั้งท่อนยึดแบบดิ่งและท่อนยึดแบบเอียง
แรงมากที่สุดเกิดขึ้นในองค์อาคาร, $30,37 = 6,217 \text{ kg}$ (แรงดิ่ง) ความยาว 1.02 m

$$\text{พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ, } A_{\text{net}} = \frac{6,217}{1,440} = 4.32 \text{ cm}^2$$

- ถ้าเลือกหน้าตัดต่อปลายโดยการเชื่อมขาเดียว

จากตารางที่ ข.5 ใช้เหล็กฉากขนาด $L - 65 \times 65 \times 5 \text{ mm}$ ($A = 6.36 \text{ cm}^2$, $r_{\text{min}} = 1.99 \text{ cm}$)

$$\begin{aligned} A_{\text{net}} &= A_1 + \frac{A_2}{2} = \frac{6.36}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{6.36}{2} \\ &= 4.77 \text{ cm}^2 > 4.32 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

ตรวจสอบอัตราส่วนความยาวชะลูด

$$\frac{L}{r} = \frac{102}{1.99} = 51.25 < 240$$

ใช้ได้

ดังนั้นใช้เหล็กฉาก $L - 65 \times 65 \times 5 \text{ mm}$ ได้

ตอบ

- ถ้าเลือกหน้าตัดต่อปลายโดยใช้หมุดย้ำ ขนาด $\phi 12 \text{ mm}$ แถวเดียว

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิ, } A_{\text{net}} &= A_{\text{Inet}} + \frac{A_2}{2} \\ &= \left(\frac{6.36}{2} - (1.2 + 0.3) \times 0.5 \right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{6.36}{2} \right) \\ &= 4.02 \text{ cm}^2 < 4.32 \text{ cm}^2 \quad \text{ถือว่าเล็กน้อย ใช้ได้} \end{aligned}$$

ในกรณีที่ใช้หมุดย้ำ $\phi 12 \text{ mm}$ แถวเดียวก็สามารถใช้เหล็กฉาก $L - 65 \times 65 \times 5 \text{ mm}$ ทำเป็นท่อน
ยึดแบบดิ่งและท่อนยึดแบบเอียงได้

ตอบ

(T-2) เลือกใช้ความลึก 40 cm เป็นโครงสร้างช่วยดิ่งและค้ำยันให้โครงสร้าง (T-1) แข็งแรงขึ้น

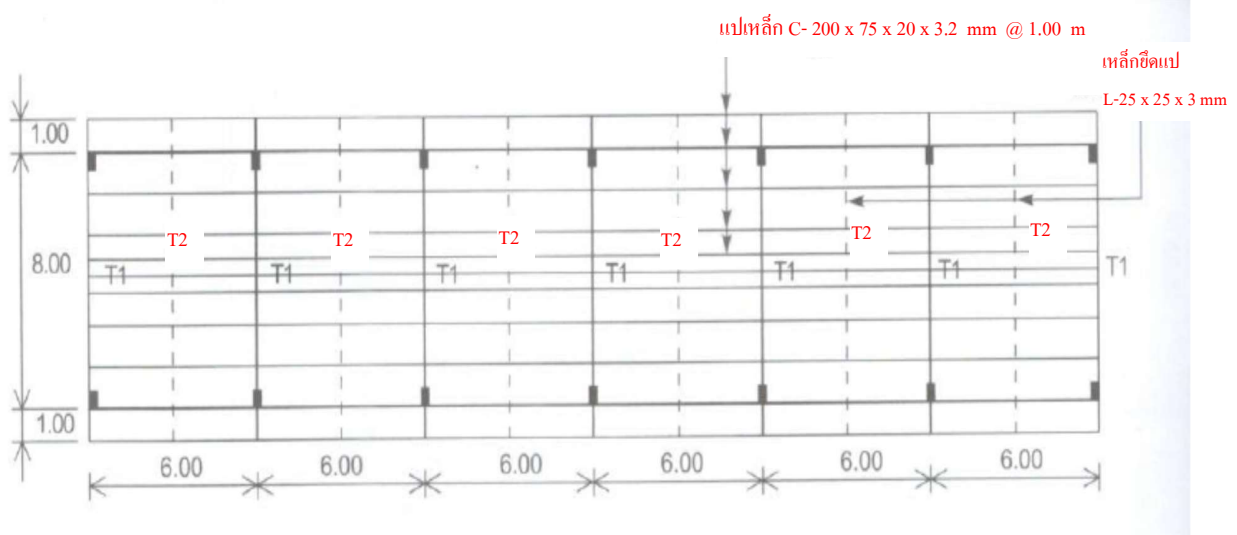
$$\text{ดังนั้นตรวจสอบรัศมีไจเรชั่นที่ต้องการ } r \geq \frac{L}{300}$$

เนื่องจากเป็นโครงถักลดความยาว 25% ดังนั้น $L = 600 \times 0.75$ ซึ่ง $r \geq \frac{450}{300} = 1.5 \text{ cm}$

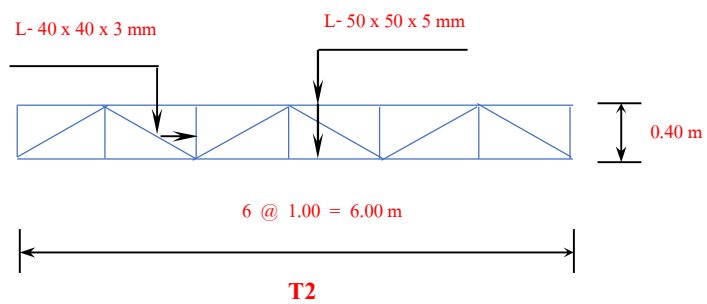
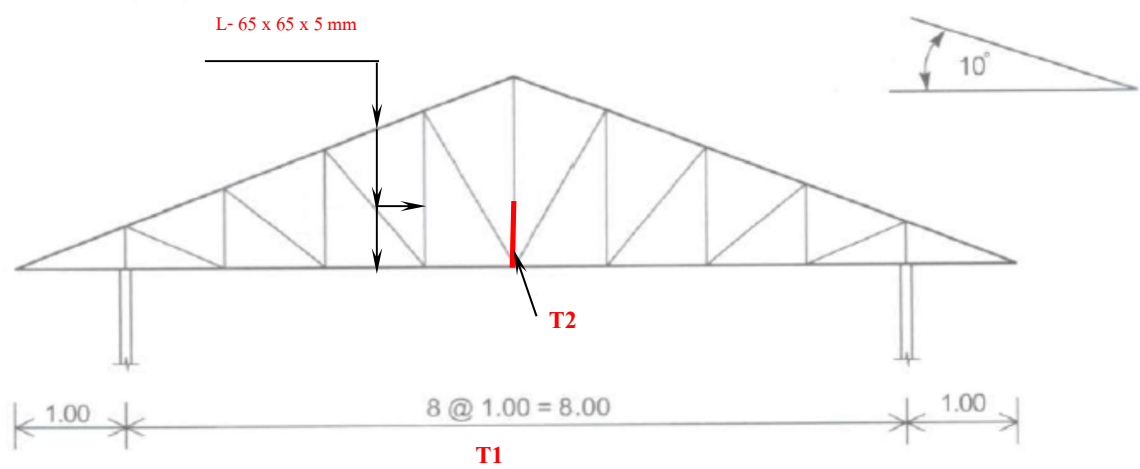
จากตารางเหล็กใช้ $L - 50 \times 50 \times 5 \text{ mm}$ (ถ้า $r = 1.52 \text{ cm} > 1.5 \text{ cm}$)

ส่วนท่อนยึดแบบดิ่งและเอียงใช้ $L - 40 \times 40 \times 3 \text{ mm}$

ตอบ

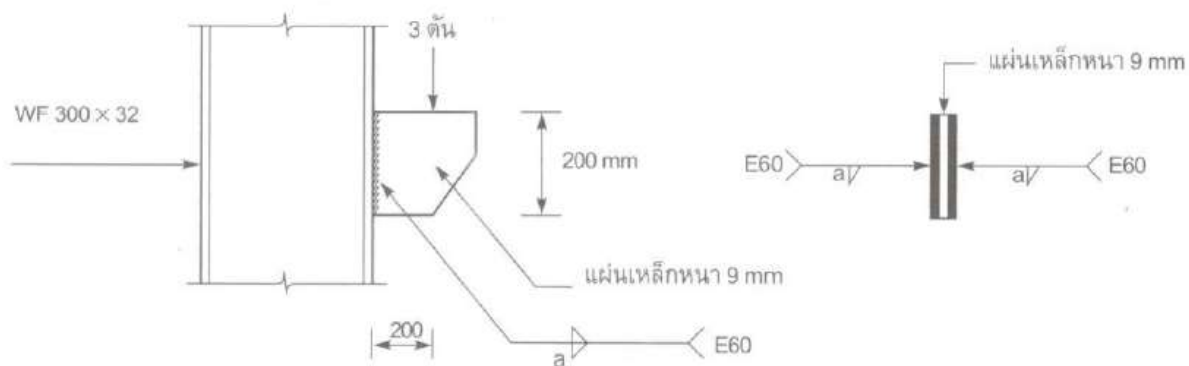


แปลนหลังคา



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12

1. จากรูปโครงหลังคาในแบบฝึกหัดบทที่ 11 จงออกแบบจุดต่อแบบ พร้อมเขียนรูปประกอบของจุดต่อโครงหลังคาให้ดูตามความเหมาะสม
 - ก. โดยใช้สลักเกลียว (เลือกตามความเหมาะสม)
 - ข. โดยการเชื่อม ลวดเชื่อม E 60
 - ค. ออกแบบฐานรองรับโครงสร้างหลังคา ถ้า $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$
2. จากตัวอย่างที่ 12.5 ให้ออกแบบโดยใช้สลักเกลียวแถวเดียว
3. ให้หาขนาดของรอยเชื่อมของโครงสร้างดังรูป ใช้ลวดเชื่อม E60 คุณสมบัติเหล็ก $F_y 2,400 \text{ kg/cm}^2$



เฉลย ข้อ 1. ก.

ในท่อนของจันทัน แรงอัดมากที่สุด = 5,699 kg

ในท่อนของข้อ แรงดึงมากที่สุด = 5,612 kg

ในท่อนเอียง แรงดึงมากที่สุด = 6,217 kg

ในท่อนดิ่ง แรงอัดมากที่สุด = 2,700 kg

ใช้เหล็กฉากขนาด L-65 x 65 x 5 mm

ในท่อนของจันทัน และท่อนของข้อ ใช้แรงอัดมากที่สุด = 5,699 kg

ความสามารถในการรับแรงของสลักเกลียวขนาด $\phi 12$ mm ชนิด A 325 มีดังนี้

$$1. \text{ แรงเฉือน (ระนาบเดียว)} = \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 1,190 = 2,392 \text{ kg/1 ตัว}$$

2. แรงแบกทาน

องค์อาคารรับแรงอัดและองค์อาคารรับแรงดึงมีความหนา 5 mm

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ (Fp)} &= 1.20 F_u = 1.20 \times 4,070 \\ &= 4,884 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{แรงแบกทานที่เกิดขึ้นของเหล็กฉาก} = 1.6 \times 0.50 \times 4,884 = 3,907 \text{ kg}$$

จะเห็นว่ารับแรงเฉือนได้น้อยกว่าแรงแบกทาน เพราะฉะนั้นแรงปลอดภัยคือ 2,392 kg/1 ตัว

หาจำนวนของสลักเกลียวในองค์อาคารต่าง ๆ ได้

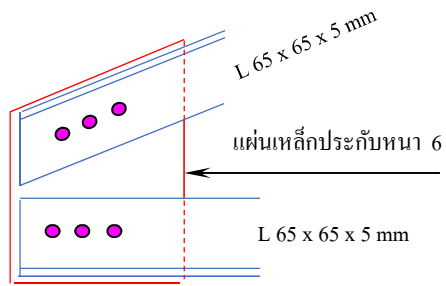
$$\text{ในท่อนของจันทัน และท่อนของข้อ ใช้สลักเกลียว} = \frac{5,699}{2,392} = 2.38 \text{ ตัว ใช้ 3 ตัว}$$

$$\text{ในท่อนเอียง ใช้สลักเกลียว} = \frac{6,217}{2,392} = 2.59 \text{ ตัว ใช้ 3 ตัว}$$

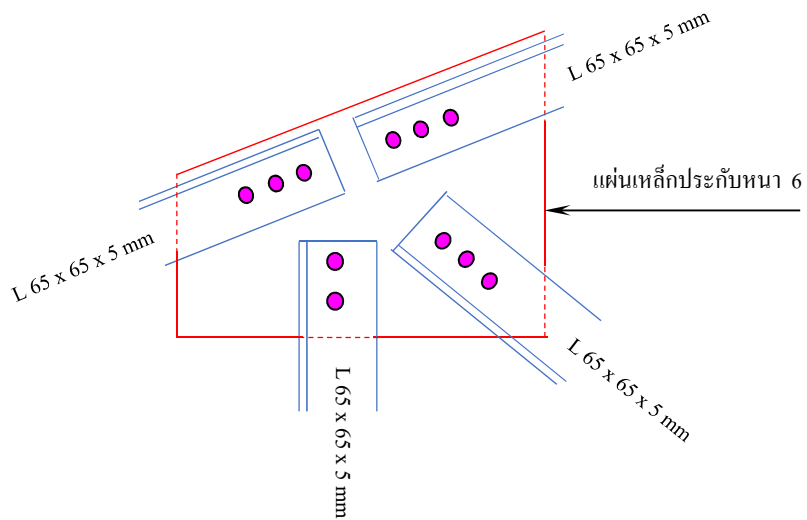
$$\text{ในท่อนดิ่ง ใช้สลักเกลียว} = \frac{2,700}{2,392} = 1.12 \text{ ตัว ใช้ 2 ตัว}$$

จัดตำแหน่งของสลักเกลียวได้ดังนี้

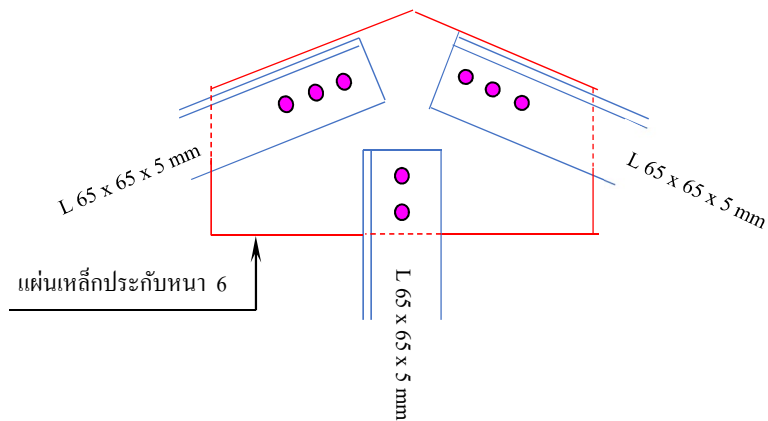
$$\left. \begin{aligned} \text{ระยะขอบ} &= 1.5 \times 1.6 = 2.40 \text{ cm ใช้ } 2.50 \text{ cm} \\ \text{ระยะระหว่างศูนย์กลาง} &= 2 \frac{2}{3} \times 1.6 = 4.26 \text{ cm ใช้ } 4.50 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \text{ตอบ}$$



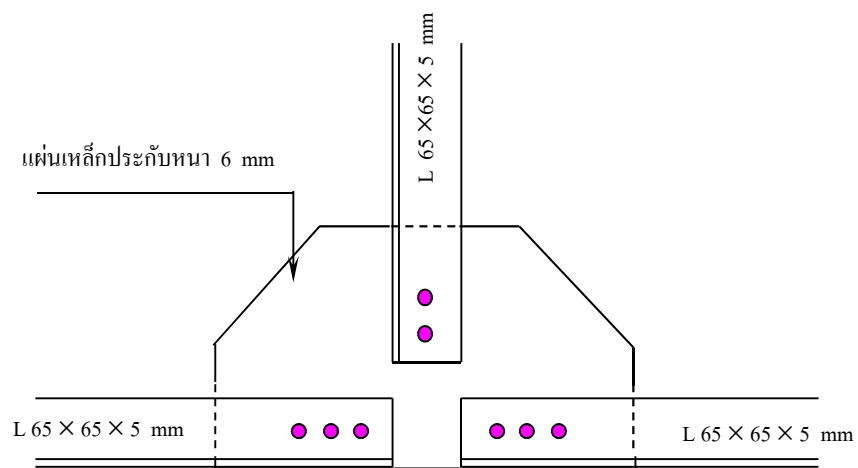
ขยายจุดต่อที่ 1, 11



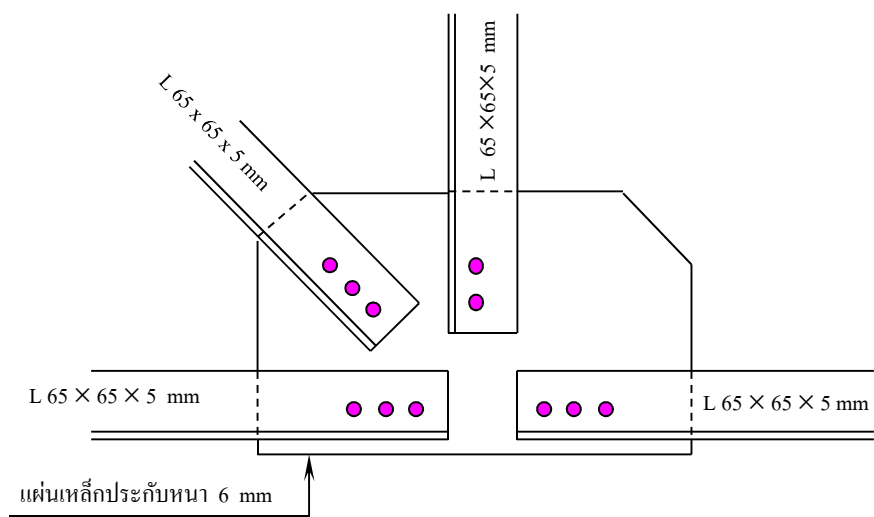
ขยายจุดต่อที่ 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20



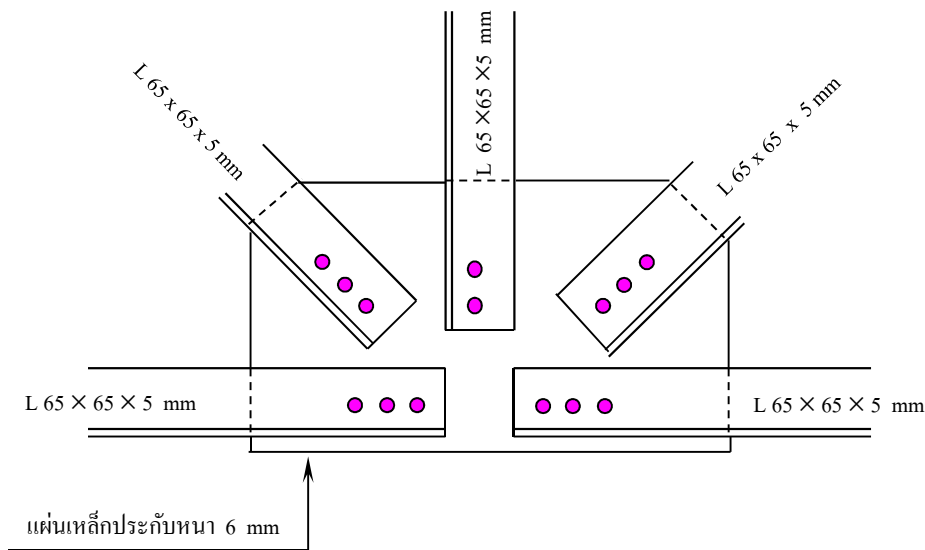
ขยายจุดต่อที่ 16



ขยายจุดต่อที่ 2, 10



ขยายจุดต่อที่ 3, 4, 5, 7, 8, 9



ขยายจุดต่อที่ 6

- หมายเหตุ**
1. จุดต่อในท่อนจันทัน ท่อนของข้อ และท่อนเอียง ใช้สลักเกลียว A325 จำนวน 3 - ϕ 16 mm
 2. จุดต่อในท่อนดิ่ง ใช้สลักเกลียว A325 จำนวน 2 - ϕ 16 mm
 3. ระยะขอบจากปีกเหล็กฉากถึงศูนย์กลางสลักเกลียว = 2.50 cm
 4. ระยะระหว่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของสลักเกลียว = 4.50 cm

เฉลย ข้อ 1. ข.

ความหนาเหล็กเท่ากับ 5 mm อยู่ระหว่าง 5 – 10 mm

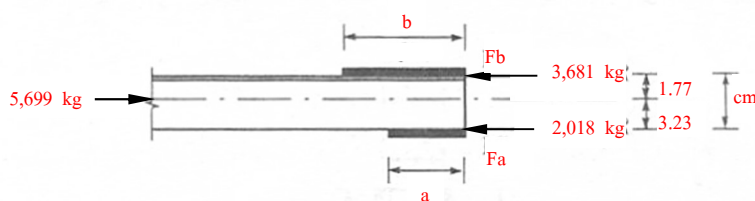
ขนาดรอยเชื่อม ตามมาตรฐาน ว.ศ.ท. (ตารางที่ 12.8 หน้า 255) ใช้รอยเชื่อมเท่ากับ 5 mm

ลวดเชื่อม E60 หน่วยแรงเฉือนบนพื้นที่ประสิทธิผล = 1,260 kg/cm²

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นกำลังของรอยเชื่อม, } P_w &= 0.707 \times 0.50 \times 1,260 \times 1 \\ &= 445 \text{ kg/ ความยาว 1 cm} \end{aligned}$$

-หาความยาวการเชื่อม ในท่อนของจันทัน แรงอัดมากที่สุด = 5,699 kg

เพื่อความสะดวกให้ปรับวางในแนวราบ



ใช้เหล็กฉากขนาด L-65 x 65 x 5 mm

โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

$$F_a = \frac{5,699 \times 1.77}{5} = 2,018 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวการเชื่อม, } a = \frac{2,018}{445} = 4.53 \text{ cm}$$

เนื่องจากไม่มีการเชื่อมอ้อมปลาย ดังนั้นความยาวที่คำนวณได้ต้องบวก 2 เท่าของขนาดการเชื่อม

$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 4.53 + 2(0.50) = 5.53 \text{ cm ใช้ } 5.60 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$

โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

$$F_b = 5,699 - 2,018 = 3,681 \text{ kg}$$

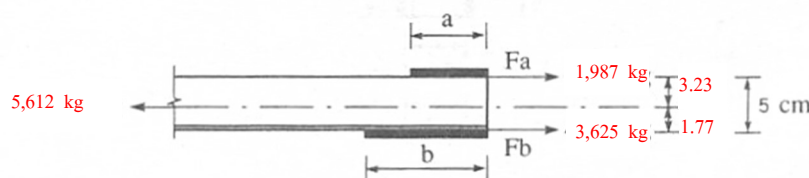
$$\text{ความยาวการเชื่อม, } b = \frac{3,681}{445} = 8.27 \text{ cm}$$

$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 8.27 + 2(0.50) = 9.27 \text{ cm ใช้ } 9.50 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$

หาความยาวการเชื่อม ในท่อนของข้อ 13 แรงอัดมากที่สุด = 5,699 kg

-หาความยาวการเชื่อม ในท่อนของข้อ แรงดึงมากที่สุด = 5,612 kg

ใช้เหล็กฉากขนาด L-65 x 65 x 5 mm



โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

$$F_a = \frac{5,612 \times 1.77}{5} = 1,987 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวการเชื่อม, } a = \frac{1,987}{445} = 4.46 \text{ cm}$$

เนื่องจากไม่มีการเชื่อมอ้อมปลาย ดังนั้นความยาวที่คำนวณได้ต้องบวก 2 เท่าของขนาดการเชื่อม

$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 4.46 + 2(0.50) = 5.46 \text{ cm ใช้ } 6 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$

โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

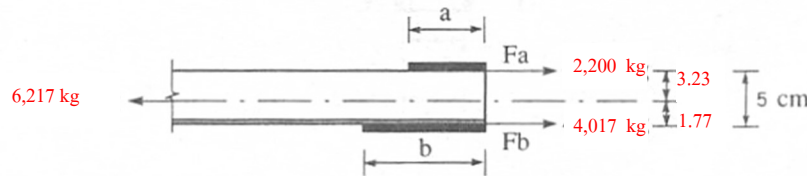
$$F_b = 5,612 - 1,987 = 3,625 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวการเชื่อม, } b = \frac{3,625}{445} = 8.15 \text{ cm}$$

$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 8.15 + 2(0.50) = 9.15 \text{ cm ใช้ } 10 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$

-หาความยาวการเชื่อม ในท่อนเอียง แรงดึงมากที่สุด = 6,217 kg

เพื่อความสะดวกให้ปรับวางในแนวราบ



ใช้เหล็กฉากขนาด L-65 x 65 x 5 mm

โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

$$F_a = \frac{6,217 \times 1.77}{5} = 2,200 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวการเชื่อม, } a = \frac{2,200}{445} = 4.94 \text{ cm}$$

เนื่องจากไม่มีการเชื่อมอ้อมปลาย ดังนั้นความยาวที่คำนวณได้ต้องบวก 2 เท่าของขนาดการเชื่อม

$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 4.94 + 2(0.50) = 5.94 \text{ cm ใช้ } 6 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$

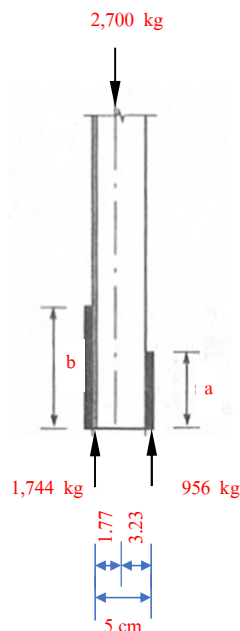
โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

$$F_b = 6,217 - 2,200 = 4,017 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวการเชื่อม, } b = \frac{4,017}{445} = 9.03 \text{ cm}$$

$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 9.03 + 2(0.50) = 10.03 \text{ cm ใช้ } 10 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$

-หาความยาวการเชื่อม ในท่อนตั้ง แรงอัดมากที่สุด = 2,700 kg



ใช้เหล็กฉากขนาด L-65 x 65 x 5 mm

โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

$$F_a = \frac{2,700 \times 1.77}{5} = 956 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวการเชื่อม, } a = \frac{956}{445} = 2.15 \text{ cm}$$

เนื่องจากการเชื่อมอ้อมปลาย ดังนั้นความยาวที่คำนวณได้ต้องบวก 2 เท่าของขนาดการเชื่อม

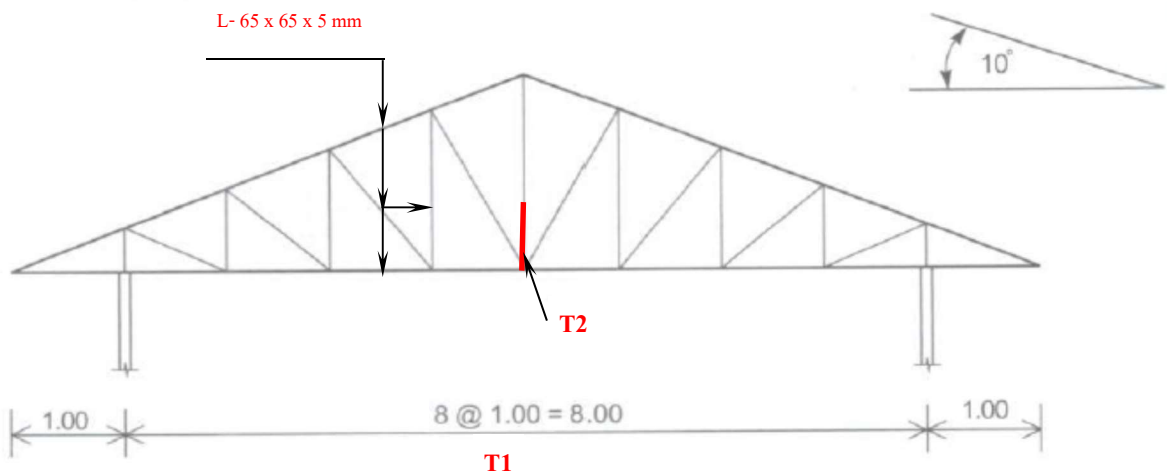
$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 2.15 + 2(0.50) = 3.15 \text{ cm ใช้ } 4 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$

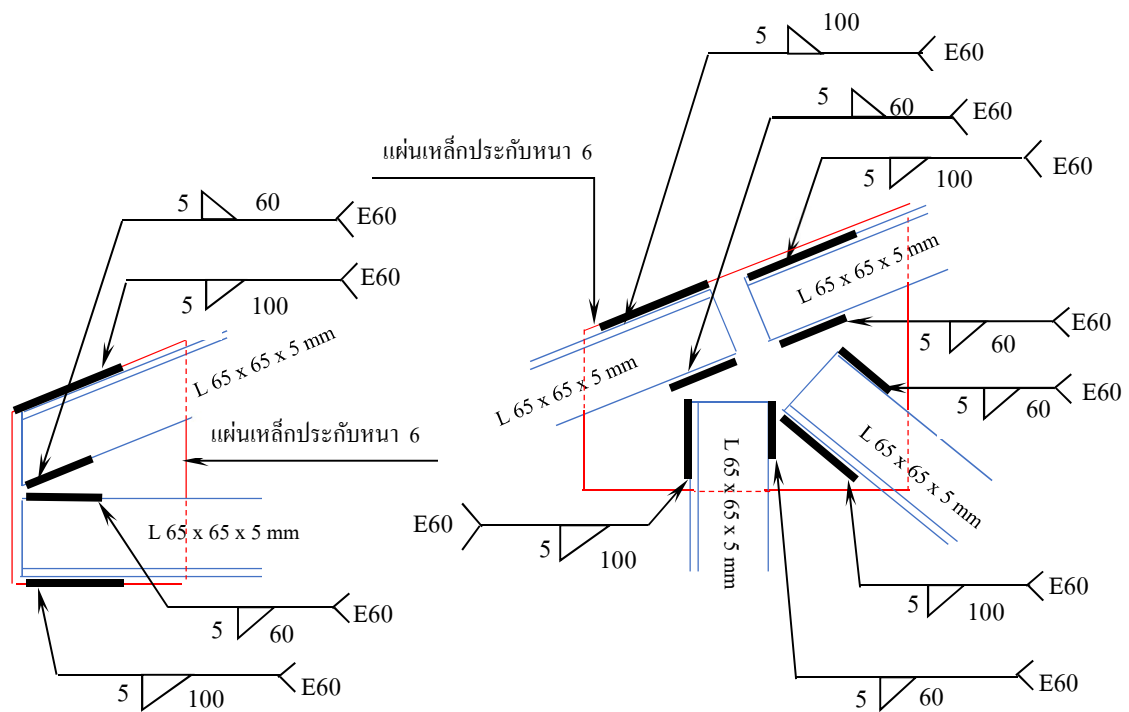
โดยหลักการสมดุล ดังนั้น

$$F_b = 2,700 - 956 = 1,744 \text{ kg}$$

$$\text{ความยาวการเชื่อม, } b = \frac{1,744}{445} = 3.92 \text{ cm}$$

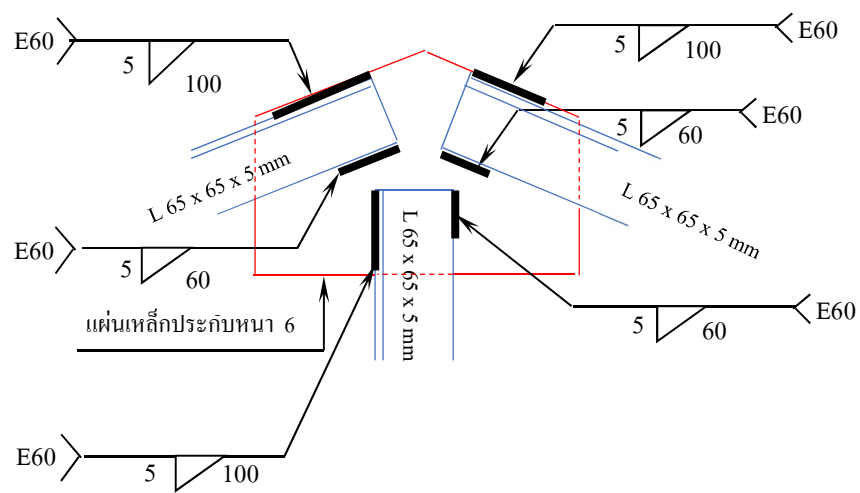
$$\text{ใช้ความยาวจริง} = 3.92 + 2(0.50) = 4.92 \text{ cm ใช้ } 5 \text{ cm} \quad \text{ตอบ}$$



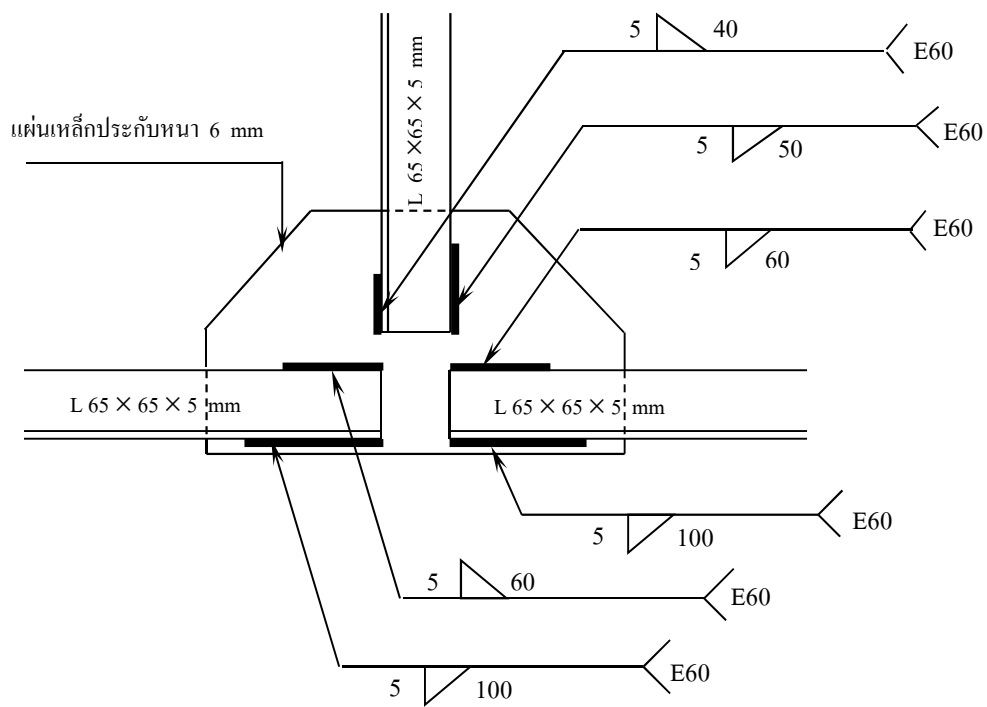


ขยายจุดต่อที่ 1, 11

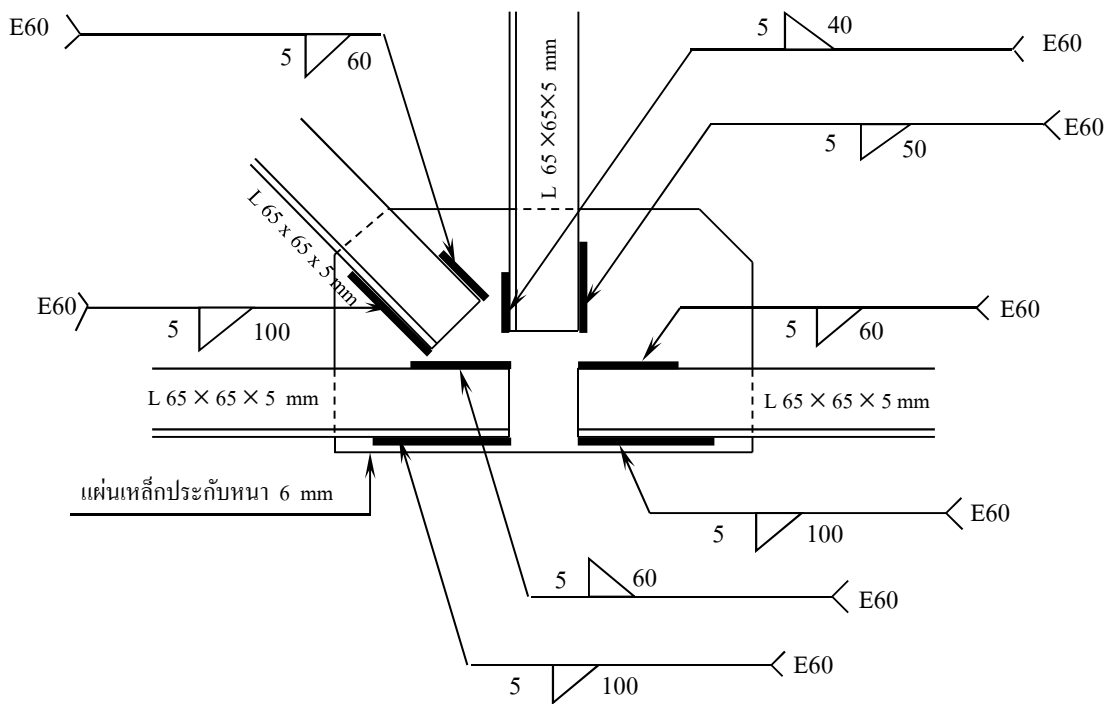
ขยายจุดต่อที่ 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20



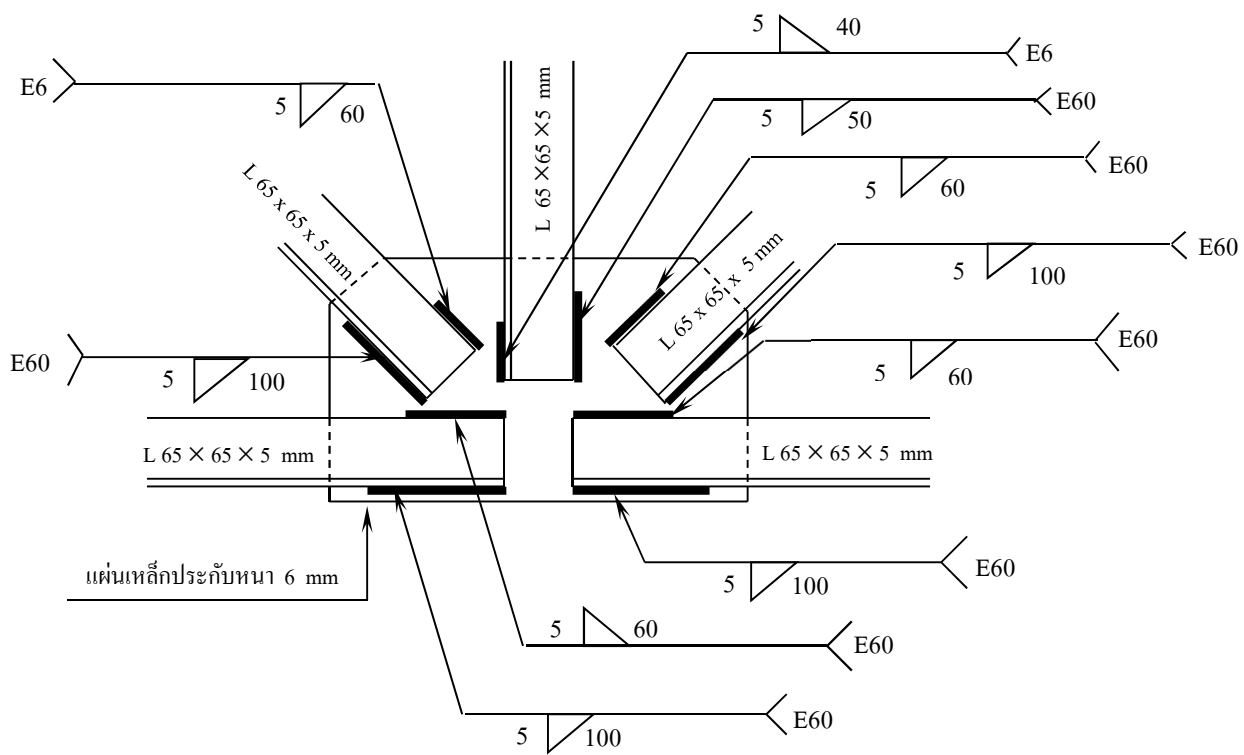
ขยายจุดต่อที่ 16



ขยายจุดต่อที่ 2, 10



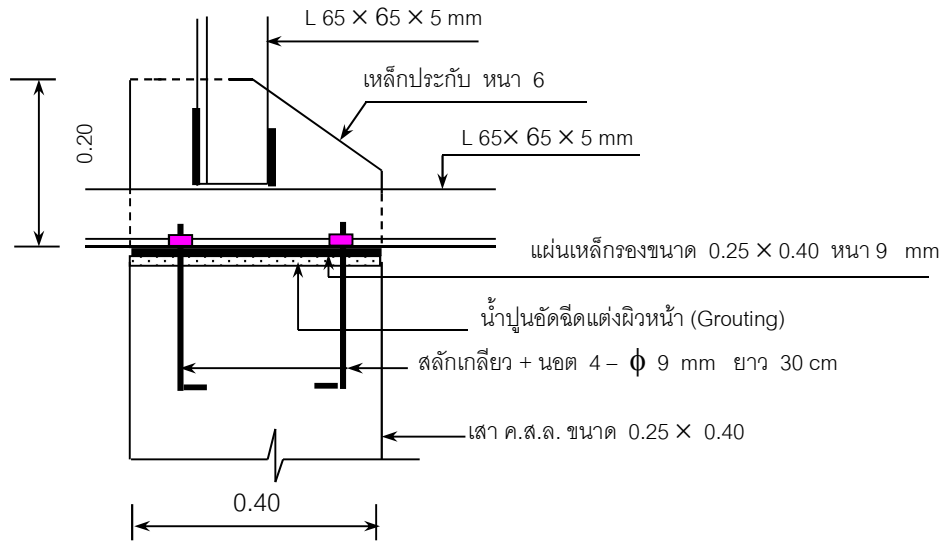
ขยายจุดต่อที่ 3, 4, 5, 7, 8, 9



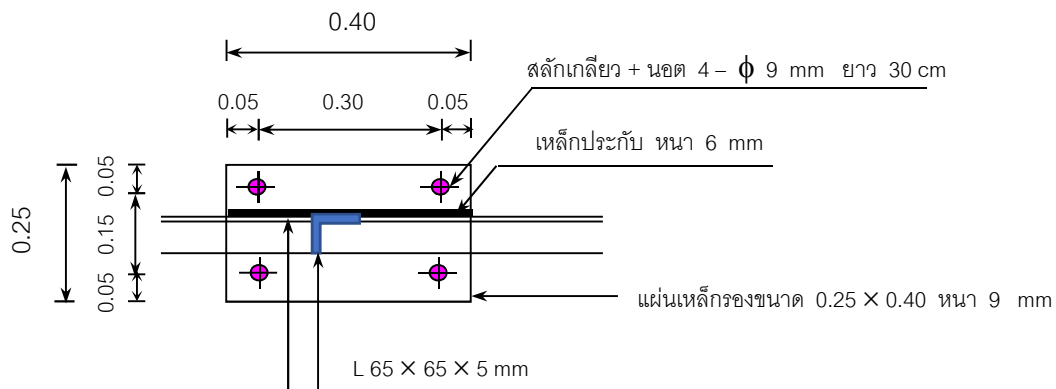
ขยายจุดที่ 6

เฉลยข้อ 1. ค.

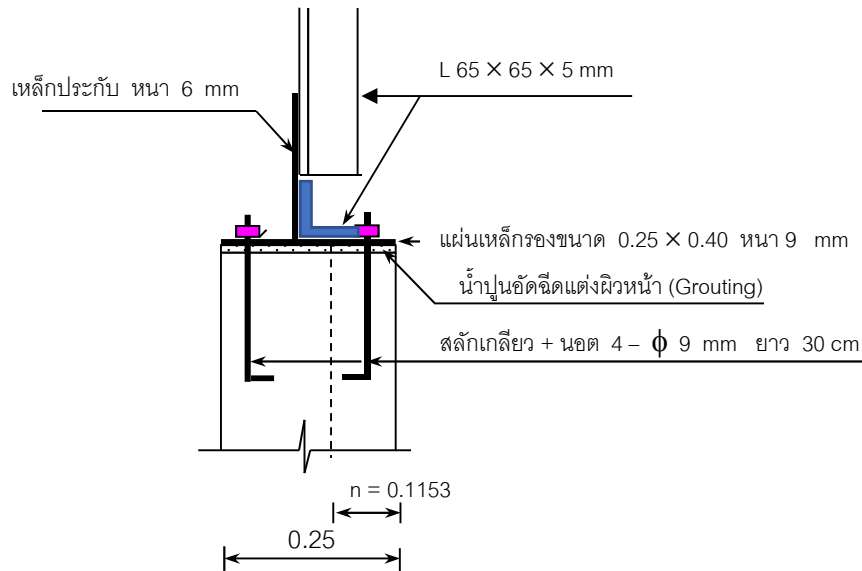
จากรูปโครงหลังคาในแบบฝึกหัดบทที่ 11 ออกแบบฐานรองรับโครงสร้างหลังคา ถ้า $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$



ด้านข้าง



แปลน



ด้านหน้า

เลือกขนาดเสา ค.ส.ล. 0.25×0.40 รับโครงหลังคา

พื้นที่เต็มของฐานรองรับคอนกรีต, $F_p = 0.35fc'$

$$F_p = 0.35 \times 210 = 73.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงที่เกิดขึ้น, } f_p &= \frac{2,700}{25 \times 40} \\ &= 2.7 \text{ kg/cm}^2 < 73.50 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{ใช้ได้} \end{aligned}$$

ให้ n = ส่วนยื่นของแผ่นเหล็ก

$$= \frac{1}{2} (\text{หน้ากว้างเสา} - \text{ความหนาเหล็กประกับ} - \text{ความหนาเหล็กฉาก} - \text{รัศมีส่วนโค้งเหล็กของฉาก})$$

$$= \frac{1}{2} (250 - 6 - 5 - 8.5)$$

$$n = 115.25 \text{ mm} = 11.53 \text{ cm}$$

$$M = fc.n. \frac{n}{2}.b = 2.7 \times 11.53 \times \frac{11.53}{2} \times 40 = 7,178 \text{ kg.cm}$$

$$\text{จาก } F_b = \frac{6M}{bt^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{6M}{b.F_b}}$$

$$\text{ความหนาแผ่นเหล็ก, } t = \sqrt{\frac{6 \times 7,178}{40 \times 0.75 \times 2,400}} = 0.77 \text{ cm ใช้ } 9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือหาโดยใช้สูตร, } t &= \sqrt{\frac{3 f_p n^2}{F_b}} \\ &= \sqrt{\frac{3 \times 2.7 \times (11.53)^2}{0.75 \times 2,400}} = 0.77 \text{ cm ใช้ } 9 \text{ mm} \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้แผ่นเหล็กกรองหนา 9 mm

ตอบ

หาจำนวนสลักเกลียว ให้คิดว่าแรงอัดเท่ากับแรงถอนของสลักเกลียว ดังนั้น

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{P}{A} \\ A &= \frac{P}{F_t} \quad (F_t = 0.60 F_y \text{ หรือ } 0.33 F_u) \\ &= \frac{2,700}{0.60 \times 2,400} \\ &= 1.87 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

ใช้สลักเกลียว ϕ 9 mm ($A = 0.64 \text{ cm}^2$) จะได้

$$N = \frac{1.87}{0.64} = 2.93 \text{ ตัว ใช้ } 4 \text{ ตัว}$$

$$\text{จัดระยะขอบได้} = 2 \times 0.90 = 1.80 \text{ cm ใช้ } 3 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาว, } L &= \frac{D \cdot F_t}{4 \cdot \mu} = \frac{0.90 \times 0.60 \times 2,400}{4 \times 11} \\ &= 24.55 \text{ cm ใช้ } L = 25 \text{ cm} \end{aligned}$$

หมายเหตุ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } \mu &= \text{หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ของเหล็กกลม} \\ &= \frac{3.23 \sqrt{f_c'}}{2 \cdot D} = \frac{3.23 \sqrt{210}}{2 \times 0.90} = 26.00 \text{ kg/cm}^2 \text{ ใช้ไม่เกิน } 11 \text{ kg/cm}^2 \\ f_c' &= \text{หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต} = 210 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือหาความยาวของสลักเกลียวจาก } L_h &= \frac{\left(\frac{T}{2}\right)}{\left(\frac{0.70 f_c' d}{1.7}\right)} \\ &= \frac{\left(\frac{2,700}{2}\right)}{\left(\frac{0.70 \times 210 \times 0.9}{1.7}\right)} \end{aligned}$$

$$= 17.34 \text{ cm}$$

ความยาวทั้งหมดเท่ากับความยาวที่หาได้บวกกับความยาวที่ฝังต่ำสุด = 12d

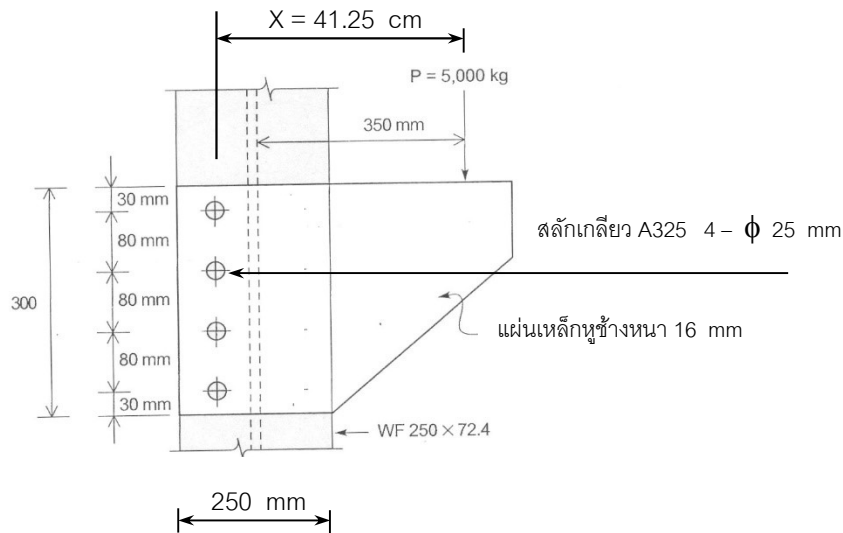
$$= 17.34 + (12 \times 0.9) = 28.14 \text{ cm} \quad \text{ใช้ความยาว } 30 \text{ cm}$$

ดังนั้นใช้ความยาวตัวมากควบคุมคือ 30 cm

ตอบ

เฉลยข้อ 2.

จากตัวอย่างที่ 12.5 ให้ออกแบบโดยใช้สลักเกลียวแถวเดียว



WF 250 x 72.4 ($t_1 = 9 \text{ mm}$, $t_2 = 14 \text{ mm}$)

การต่อแบบมีแรงฝืด (เลื่อนวิกฤติ) เกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน

ออกแบบโดยใช้สลักเกลียว 1 แถว

ใช้สลักเกลียว $\phi 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{สลักเกลียวรับแรงเฉือนให้, } R_s &= \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 \times 1,190 \\ &= 5,843 \text{ kg / ตัว} \end{aligned}$$

$$\text{ระยะห่างของสลักเกลียว} = 2 \frac{2}{3} \times 2.5 = 3.33 \text{ cm} \quad \text{ใช้ } 8 \text{ cm}$$

จากตารางที่ 12.5 หน้า 228 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (F_t) สลักเกลียวชนิด A325

$$\begin{aligned} \text{สลักเกลียวรับแรงดึงได้, } R_t &= \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 \times 3,080 \\ &= 15,123 \text{ kg / ตัว} \end{aligned}$$

$$\text{ระยะ } x = 35 + \frac{12.5}{2} = 41.25 \text{ cm}$$

$$\text{โมเมนต์, } M = 5,000 \times 41.25 = 206,250 \text{ kg.cm}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนสลักเกลียวเนื่องจากโมเมนต์, } N_t &= \sqrt{\frac{6 \times 175,000}{2 \times 8,732 \times 8}} \\ &= \sqrt{\frac{6 \times 206,250}{1 \times 15,123 \times 8}} \\ &= 3.14 \text{ ตัว} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนสลักเกลียวเนื่องจากแรงเฉือน, } N_s &= \frac{5,000}{5,843} \\ &= 0.86 \text{ ตัว} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนสลักเกลียวทั้งหมด, } N &= \sqrt{(N_t)^2 + (N_s)^2} \\ &= \sqrt{(3.14)^2 + (0.86)^2} \\ &= 3.25 \text{ ตัว} \end{aligned}$$

ใช้ 4 ตัว ตอบ

ตรวจสอบหน่วยแรงที่ยอมให้

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น, } f_t &= \frac{My}{\Sigma Ay^2} \\ \Sigma Ay^2 &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 \times (4^2 + 12^2) \\ &= 22,625 \text{ cm}^4 \\ My &= 5,000 \times 41.25 \times (4 + 8) \\ &= 2,475,000 \text{ kg. cm}^2 \\ f_t &= \frac{2,475,000}{22,625} \\ &= 109.39 \text{ kg/cm}^2 < 3,080 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น $f_t < F_t$ ใช้ได้

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น, } f_v &= \frac{P}{\Sigma A} = \frac{5,000}{4 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2} \\ &= 254.58 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, } F_v = 1,190 \left(1 - \frac{f_t \times A_b}{T_b} \right)$$

(Tb = แรงดึงที่ใช้ขันสลักเกลียวดูจากตารางที่ 12.7)

$$\begin{aligned} F_v &= 1,190 \times \left(1 - \frac{109.39 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2}{12,700}\right) \\ &= 1,139.67 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น $f_v < F_v$

ใช้ได้

ใช้สลักเกลียว ชนิด A325 ϕ 25 mm 1 แถว 4 ตัว

ออกแบบแผ่นเหล็กหูช้าง

$$M = 206,250 \text{ kg.cm}$$

$$F_b = 0.60 \times 2,400 = 1,440 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b = \frac{M}{S}$$

$$S_x = \frac{206,250}{1,440} = 143.23 \text{ cm}^3$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I_x = S_x \cdot C = 143.23 \times 12 = 1,718.76 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{1}{12} t \cdot d^3$$

$$t = 1,718.76 \times 12 \times \frac{1}{(24)^3} = 1.49 \text{ cm ใช้ } 15 \text{ mm}$$

ตรวจสอบการโก่งเดาะ (Buckling)

ตามมาตรฐาน AISC อัตราส่วน $\frac{d}{t} \leq 15$ หรือน้อยกว่า $\frac{250}{\sqrt{0.10 F_y}}$

แทนค่าจะได้ $\frac{240}{15} = 16 > 15$ ใช้ไม่ได้

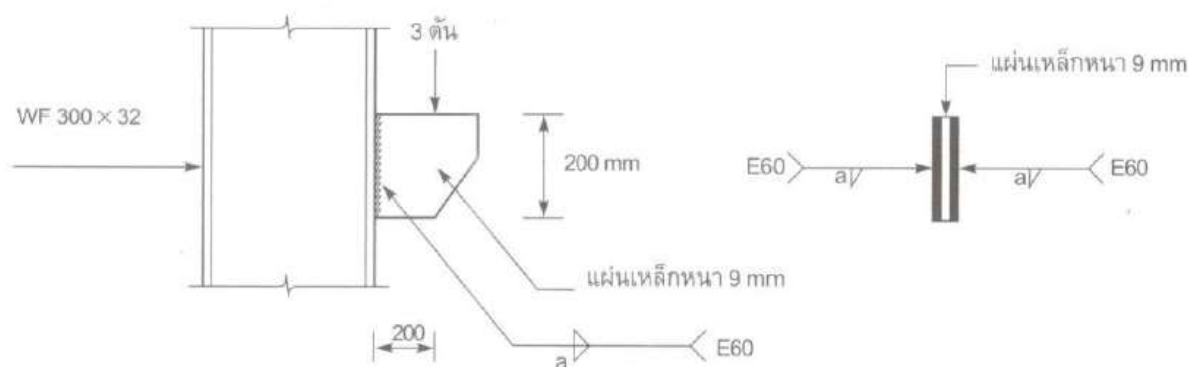
หาความหนาใหม่จากสมการ $t \geq \frac{24}{15}$
 $= 1.6 \text{ cm}$

ดังนั้นต้องใช้แผ่นเหล็กหูช้างหนา 16 mm

ตอบ

เฉลยข้อ 3.

ให้หาขนาดของรอยเชื่อมของโครงสร้างดังรูป ใช้ลวดเชื่อม E60 คุณสมบัติเหล็ก $F_y 2,400 \text{ kg/cm}^2$



$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์บิด, } M_t &= 3 \times 1,000 \times 20 \\ &= 60,000 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

กิตติขนาดรอยเชื่อม 1 cm

$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน X, } I_x &= 1 \times 2 \times \left(\frac{1}{12} \times (20)^3 \right) \\ &= 1,333.33 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงเฉือนทางแกน X, } \tau_{vx} &= \frac{M_t \cdot y}{I_x} \\ &= \frac{60,000 \times 10}{1,333.33} \\ &= 450 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยหลักการสมดุล ดังนั้น } \Sigma F_y &= 0 \\ V &= P = 3,000 \text{ kg} \\ \tau_v &= \frac{V}{A} = \frac{3,000}{2 \times 20} \\ &= 75 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงเฉือนรวม, } \tau_r &= \sqrt{(\tau_{vx} + \tau_v)^2} \text{ kg/cm}^2 \\ &= \sqrt{(450 + 75)^2} \\ &= 525 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

กำลังของการเชื่อมแบบพอกคิดต่อความยาว 1 cm

$$= 0.707 \times a \times 1 \times 1,260$$

$$= 890a \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{จะได้ } 890.a = 525$$

$$\text{ดังนั้นใช้ขนาดการเชื่อม, } a = \frac{525}{890} = 0.58 \text{ cm}$$

ใช้ใช้ลวดเชื่อม E60 โดยมีขนาดของการเชื่อมเท่ากับ 6 mm

ตอบ