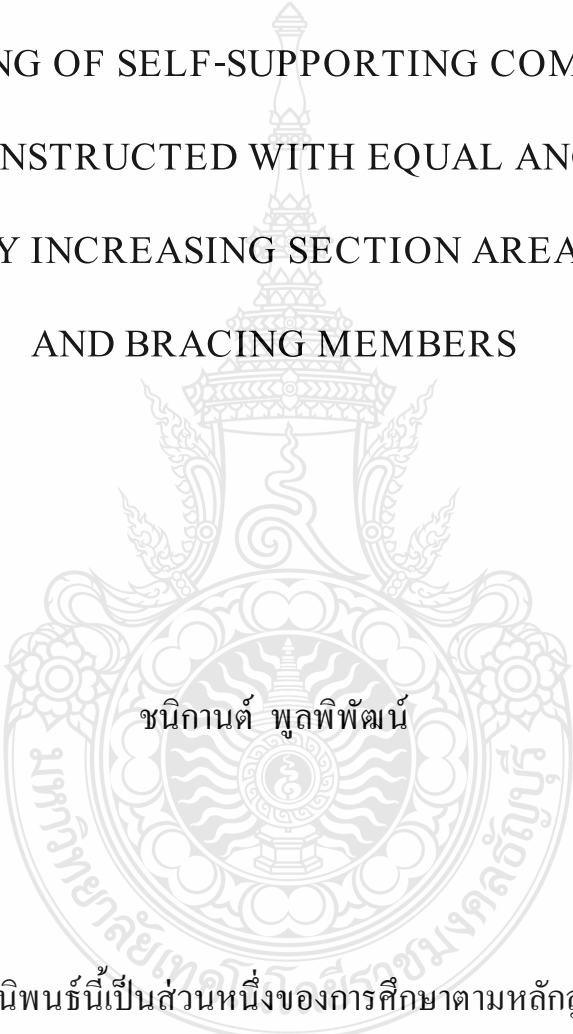


การเสริมความแข็งแรงของเสาโทรคมนาคม ชนิดเสาเหล็กฉากขาเท่า
โดยวิธี การเพิ่มหน้าตัดและการเสริมค้ำยัน

STRENGTHENING OF SELF-SUPPORTING COMMUNICATION
TOWERS CONSTRUCTED WITH EQUAL ANGLE STEEL
BY INCREASING SECTION AREA
AND BRACING MEMBERS



ชนิกันต์ พูลพิพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเสริมความแข็งแรงของเสาโทรมนาคม ชนิดเสาเหล็กฉากขาเท่า
โดยวิธี การเพิ่มหน้าตัดและการเสริมค้ำยัน

ชนิกานต์ พูลพิพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเสริมความแข็งแรงของเสาโทรคมนาคม ชนิดเสาเหล็กฉากขาทำ
โดยวิธีการเพิ่มหน้าตัดและการเสริมค้ำยัน

Strengthening of Self-supporting Communication Towers Constructed with
Equal Angle Steel by Increasing Section Area and Bracing Members

ชื่อ - นามสกุล

นางสาวชนิกานต์ พูลพิพัฒน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.

ปีการศึกษา

2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิติสานต์ กร้ามาตร, ปร.ด.)

ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐพงศ์ มกระธัช, ปร.ด.)

กรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย ผึ้งไผ่งาม, ปร.ด.)

กรรมการ

.....
(อาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.)

กรรมการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 27 เดือน กันยายน พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเสริมความแข็งแรงของเสาโทรมนาคม ชนิดเสาเหล็กฉากขาเท่า โดยวิธีการเพิ่มหน้าตัดและการเสริมค้ำยัน
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวชนิกานต์ พูลพิพัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

จากปริมาณความต้องการติดต่อสื่อสารที่เพิ่มขึ้น จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพิ่มบนโครงสร้างเสาโทรมนาคมเดิม ซึ่งก่อนการติดตั้งต้องทำการตรวจสอบและเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้าง เพื่อให้โครงสร้างคงทนต่อการรับกำลังกดอัดได้เพิ่มขึ้นได้

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาวิธีเสริมความแข็งแรงแก่เสาโทรมนาคม โดยใช้ต้นแบบเสาโทรมนาคมแบบความสูง 45 เมตรของ บริษัทดีเคเค-ซีโนไทยเอ็นเจนีริงจำกัด ซึ่งวิเคราะห์ตามหลักมาตรฐาน AISC ด้วยวิธี ASD และมาตรฐานการออกแบบเสาโทรมนาคม EIA 222-C พร้อมทั้งเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบ โดยใช้ชิ้นงานทดสอบเหล็กฉาก ในการสอบเทียบกับข้อมูล โดยแบ่งการทดสอบเป็น 4 ชุด คือ ก่อนเสริมความแข็งแรง เสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็กบาง เสริมความแข็งแรงโดยการค้ำยันขาเสา และเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กฉากคู่ โดยใช้สลักเกลียวในการเชื่อมเข้ากับโครงสร้างหลัก ทั้งนี้จำนวนสลักเกลียว ระยะยึด และกำลังบิด (Torque) ของสลักเกลียวไม่ถูกนำมาพิจารณา

ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างเสาโทรมนาคมต้นแบบขาดเสถียรภาพ จึงต้องเสริมความแข็งแรงโดยประทับแผ่นเหล็กบางที่ปีกของเหล็กฉาก ร่วมกับกาเพิ่มค้ำยันด้านข้างแก่โครงสร้าง ผลการเปรียบเทียบการรับกำลังของชิ้นงานทดสอบและการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎี (มาตรฐาน AISC) ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ถึงแม้ว่าค่ากำลังจากการทดสอบให้ผลสูงกว่าค่าจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีเล็กน้อย อย่างไรก็ตามค่าการรับกำลังจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎียังคงถือเป็นค่าปลอดภัยที่สามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณา การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเสาโทรมนาคม ชนิดเหล็กฉากขาเท่าความสูง 45 เมตร ต้นแบบของบริษัท ดีเคเค-ซีโนไทยเอ็นเจนีริงจำกัดได้

คำสำคัญ: กำลังรับแรงอัด การเสริมความแข็งแรง เสาโทรมนาคม เหล็กฉาก

Thesis Title Strengthening of Self-supporting Communication Towers Constructed with
 Equal Angle Steel by Increasing Section Area and Bracing Members

Name – Surname Miss Chanikant Poolpiput

Program Civil Engineering

Thesis Advisor Mr. Jatuphon Tangpagasit, Ph.D.

Academic Year 2017

ABSTRACT

Continuous increase in communication needs have led to the need to install additional antenna on existing communication towers. To do this, research on strengthening such towers is required to ensure that the towers are capable of safely supporting additional compression.

This research aimed to investigate the methods for strengthening communication towers, using the 45-metre high model of communication towers provided by DKK-SINO THAI ENGINEERING CO., LTD. The model was analyzed with the AISC standard (ASD method) and EIA 222-C standard for designing communication towers. Equal angle bars were used as specimens for investigating additional compressive strength. The bars were divided into four groups: unreinforced, reinforced with a flat bar, reinforced with bracing method and reinforced with a pair of equal angle bars. All specimens were fixed to an existing tower by using bolts. However, the number, space and torque of the bolts were not taken into consideration.

The results show that the existing communication tower was not stable. The section area of its legs needed to be increased together with the bracing method to improve the compressive strength of the tower. The results from testing the four groups of specimens were similar to the analysis based on the AISC standard. However, although the study shows slightly higher test results, the AISC standard is considered safer for determining the methods for strengthening a communication tower similar to the 45-metre high model of DKK-SINO THAI ENGINEERING CO., LTD.

Keywords: compressive strength, reinforced, communication tower, equal angle steel

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต และอาจารย์สันติสุข เข้มชัยตระกูล ที่ให้ความกรุณาชี้แนะและติดตามการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ นับแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาของท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติสานต์ กร้ามาตร ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย ผึ้งไผ่งาม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ มกระชัช กรรมการสอบ ที่ให้ความกรุณา ในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาร่วมเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณบริษัทเคเค-ซิโนไทยเอ็นเจเนียร์ริงจำกัด สำหรับข้อมูลการออกแบบเสาโทรคมนาคมรวมทั้งการสนับสนุนด้านวัสดุและการจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบ รวมทั้งการขนส่งและติดตั้งในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ ครอบครัวข้าพเจ้า และคณะครู-อาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ และเพื่อน ๆ MCE 54 ทุกคนที่เป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจหากวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้มีข้อผิดพลาด หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้

ชนิกันต์ พูลพิพัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์.....	14
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 องค์ความรู้รับแรงอัด.....	16
2.2 เสาโทรมนาคม.....	20
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	37
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	37
3.2 ขั้นตอนดำเนินการ.....	37
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเดลเสาต้นแบบด้วยโปรแกรม TNX.TOWER.....	46
4.2 วิเคราะห์ความเหมาะสมของการเสริมความแข็งแรง.....	48
4.3 ผลการเสริมความแข็งแรงโมเดลเสาต้นแบบ.....	49
4.4 ผลการทดสอบชิ้นงานทดสอบ.....	51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม TNX.TOWER.....	74
ภาคผนวก ข การคำนวณหน้าตัดแปลง	124
ภาคผนวก ค การคำนวณกำลังรับแรงอัดสูงสุดของชิ้นงานทดสอบ	131
ภาคผนวก ง อุปกรณ์ และ ชิ้นงานทดสอบ.....	136
ภาคผนวก จ งบประมาณการตรวจสอบและเสริมความแข็งแรงของ เสาโทรคมนาคม ความสูง 45 เมตร Type NV.....	141
ภาคผนวก ฉ งบประมาณการก่อสร้างเสาโทรคมนาคมความสูง 45 เมตร เพื่อ รองรับการติดตั้ง อุปกรณ์ระบบ 3G.....	143
ภาคผนวก ช แบบแสดงรายละเอียดการเสริมความแข็งแรงของเสาโทรคมนาคม ความสูง 45 เมตร Type NV.....	145

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 กลุ่มชิ้นงานทดสอบ.....	40
ตารางที่ 3.2 รัศมีใจเรชั่น ของชิ้นงานทดสอบ.....	41
ตารางที่ 4.1 การเสริมความแข็งแรงโครงสร้างเหล็กเสาโทรมขนาดต้นแบบ.....	49
ตารางที่ 4.2 การเสริมความแข็งแรงจุดต่อขาเสา (Leg Member).....	50
ตารางที่ 4.3 วิธีการเสริมความแข็งแรงจุดต่อค้ำยันด้านข้าง (Horizontal Member).....	50
ตารางที่ 4.4 วิธีการเสริมความแข็งแรงจุดต่อค้ำทะแยง (Diagonal Member).....	51
ตารางที่ 4.5 พื้นที่หน้าตัดและรัศมีใจเรชั่น ของชิ้นงานทดสอบ.....	52
ตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดก่อนเสริมความแข็งแรง Case 1:L65x6.....	52
ตารางที่ 4.7 กำลังรับแรงอัดด้วยการเสริมเหล็กแผ่นบาง Case 2:L65x6 –FB.....	54
ตารางที่ 4.8 กำลังรับแรงอัดด้วยการเสริมค้ำยัน Case 3:L65x6 –BR.....	55
ตารางที่ 4.9 กำลังรับแรงอัดด้วยการเสริมเหล็กจากค้ำ Case3:L65x6L.....	56
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณขนาด L65x6 หลังเสริมความแข็งแรง.....	58
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุด จากการทดสอบ เทียบกับกำลังรับ แรงอัดสูงสุดจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎี.....	59
ตารางที่ ภาคผนวก จ-1 ประมาณการตรวจสอบและเสริมความแข็งแรงของ เสาโทรมขนาด Type NV ความสูง 45 เมตร โมเดลต้นแบบ บริษัท ดีเคเค-ซีโนไทย เอ็นจิ- เนียริงจำกัด.....	142
ตารางที่ ภาคผนวก ฉ-1 งบประมาณก่อสร้างเสาโทรมขนาด ความสูง 45 เมตร.....	144

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดที่ยอมให้กับ KL/r	17
รูปที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (K).....	18
รูปที่ 2.3 เสาโทรคมนาคมชนิด Self Support Tower แยกตามลักษณะความชัน.....	22
รูปที่ 2.4 เสาโทรคมนาคมชนิด Guy Mast Tower.....	23
รูปที่ 2.5 เสาโทรคมนาคมชนิด Pole Mast.....	24
รูปที่ 2.6 รูปแบบการจัดเรียงเหล็กโครงสร้าง.....	26
รูปที่ 2.7 ประเภทชิ้นส่วนโครงสร้างเสา.....	28
รูปที่ 2.8 ชุด Ladder & Feeder Rack.....	30
รูปที่ 2.9 ชุด Mounting สำหรับติดตั้งบนโครงสร้างเสาโทรคมนาคม.....	32
รูปที่ 3.1 หน้าตัดชิ้นงานทดสอบ.....	42
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ ประกอบการทดสอบ.....	43
รูปที่ 3.3 ฐานรองรับแบบยึดหมุน (Pin Support).....	45
รูปที่ 4.1 โครงสร้างเสาโทรคมนาคมความสูง 45 เมตร Type NV โมเดลต้นแบบ บริษัท ดีเคเค-ซิโนไทยเอ็นจิเนียริงจำกัด.....	47
รูปที่ 4.2 ชิ้นทดสอบ Case 1:L65x6.....	53
รูปที่ 4.3 ชิ้นงานทดสอบ Case 2:L65x6 –FB.....	54
รูปที่ 4.4 ชิ้นงานทดสอบ Case 3:L65x6 –BR.....	56
รูปที่ 4.5 ชิ้นงานทดสอบ Case 4:L65x6 –L.....	57
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain) ชุดทดสอบที่ 1 (Case 1: L65x6).....	63
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain) ชุดทดสอบที่ 2 (Case 2: L65x6 –FB).....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain) ชุดทดสอบที่ 3 (Case 2:L65x6 –BR).....	66
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain) ชุดทดสอบที่ 4 (Case 2:L65x6 –L).....	67



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

fa	หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น
P	แรงในแนวความยาว
A	พื้นที่หน้าตัดเสาที่ตั้งฉากกับแนวแกนความยาว
Fa	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้
Fy	หน่วยแรงคราก
E	มอดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
K	ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล
L	ความยาวอิสระไร้ค้ำยัน
R	รัศมีจําเรชัน
I_{NA}	โมเมนต์อินเนอร์เซีย
H	แรงในแนวราบที่กระทำต่อ โครงสร้าง
q	แรงด้นลมที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัส
Ca	ค่าสัมประสิทธิ์รูปทรง
Cf	ค่าสัมประสิทธิ์ความสูง
ρ	ความหนาแน่นมวลอากาศ
V	ความเร็วลม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารในประเทศมีการพัฒนาเป็นอย่างมาก ประเทศไทยก้าวเข้าสู่ระบบการสื่อสารในยุค 3G อย่างเป็นทางการทั่วประเทศ และกำลังพัฒนาสู่ระบบ 4G ในอนาคตอันใกล้ ไม่เพียงแต่ การพัฒนาด้าน โทรศัพท์มือถือและระบบอินเทอร์เน็ตเท่านั้น ในส่วนโครงข่ายระบบสัญญาณโทรศัพท์ ประเทศไทยกำลังเดินหน้าเปลี่ยนถ่ายจากการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกที่ขาดประสิทธิภาพความละเอียดและคมชัดของภาพ รวมถึงความเสถียรและมั่งคั่งของระบบต่ำและถูกรบกวนได้ง่าย เข้าสู่ระบบดิจิทัล ที่ความคมชัดของภาพและเสียง ความเสถียรของสัญญาณสูง ดังนั้นการจัดระบบ โครงสร้างเพื่อนำส่งสัญญาณให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ในการบริการในประเทศ จำเป็นต้องมีการสร้างโครงสร้างรองรับการติดตั้งอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณ ซึ่งโครงสร้างที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อส่งสัญญาณนี้เรียกว่า เสาโทรคมนาคม (Telecommunication Tower) โดยที่เสาโทรคมนาคมแต่ละต้นจะมีพื้นที่ในการส่งสัญญาณได้จำกัด เพื่อให้ได้การสื่อสารเป็นเครือข่ายครอบคลุมจำเป็นต้องมีการก่อสร้างโครงสร้างเสาโทรคมนาคม เพื่อรองรับอุปกรณ์ ให้เพียงพอกับความ ต้องการ และครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน

ในการก่อสร้างเสาโทรคมนาคมขึ้นใหม่ให้ครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายนั้น ต้องอาศัยระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่มหาศาล ดังนั้นผู้รับสัมปทาน จึงเลือกทำการติดตั้งอุปกรณ์รับ-ส่ง สัญญาณบนโครงสร้างเสาส่งสัญญาณเดิม เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งถือเป็นการเพิ่มภาระของแรงกระทำ (Load) ให้แก่โครงสร้างเสาโทรคมนาคมเดิม ดังนั้น ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพิ่มจำเป็นต้องตรวจสอบความแข็งแรงของ โครงสร้างเสาส่งสัญญาณเดิม ซึ่งโครงสร้างเสาเดิม ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการรับผลของแรงกระทำที่เกิดขึ้นหลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริมซึ่งหากการติดตั้งอุปกรณ์นั้น ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเกิดการ สูญเสียเสถียรภาพ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ข้อดี

ของการนำโครงสร้างเสาโทรมนาคมเดิมมาทำการตรวจสอบ (Investigation) และปรับปรุงโครงสร้าง (Reinforcement) เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ขยายการรับส่งสัญญาณนั้น คือประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย กล่าวคือ หากทำการก่อสร้างเสาโทรมนาคมใหม่จำเป็นต้องหาพื้นที่และทำเลก่อสร้างซึ่งหากเป็นเขตเมือง เช่น กรุงเทพมหานคร หรือพื้นที่เขตเมืองใหญ่ ที่มีกฎหมายผังเมืองเกี่ยวกับการควบคุมความสูงองค์อาคาร ไม่สามารถการก่อสร้างเสาโทรมนาคมขึ้นใหม่ ผลกระทบเหล่านี้ทำให้โครงสร้างเสาโทรมนาคมไม่เพียงพอต่อการรองรับการขยายตัวของผู้ใช้งาน ดังนั้นการปรับปรุงโครงสร้างเสาเดิมจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม ซึ่งผู้รับสัมปทานนิยมใช้เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย และตอบสนองให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น

เนื่องจากโครงสร้างเสาโทรมนาคมจัดเป็นโครงสร้างที่มีผลต่อสาธารณสุขและระบบการติดต่อสื่อสาร เสาโทรมนาคมเดิมนั้นมีลักษณะเป็นโครงสร้างเหล็กประเภทโครงข้อหมุน ซึ่งผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งในบางโครงสร้างอาจผ่านการใช้งานหลายปี ซึ่งการพิจารณาคาดคะเนความแข็งแรงหลังผ่านอายุการใช้งานนั้น จำเป็นต้องมีข้อมูลของโครงสร้างเสาเดิมที่เพียงพอเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาวิธีการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเสาโทรมนาคมด้วยวิธีเสริมพื้นที่หน้าตัด โดยใช้เหล็กฉากคู่ (Double Angle), ใช้แผ่นเหล็ก (Flab Bar) ประทับ และการปรับรูปแบบของโครงถักเสริมค้ำยันด้านข้าง (Bracing Member) เพื่อลดความยาวของชิ้นส่วน เพื่อช่วยให้ชิ้นส่วนรับแรงกระทำได้เพิ่มขึ้นและทำการยึดด้วย สลักเกลียว (Bolt) โดยใช้โมเดลต้นแบบเสาโทรมนาคมความสูง 45 เมตรของบริษัทเคเค-ซีโนไทย เอ็นจิเนียริงจำกัด โดยวิเคราะห์การรับแรงลมตามหลักการออกแบบเสาโทรมนาคมตามมาตรฐาน ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) 222-C ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้ในการออกแบบเสาโทรมนาคมในประเทศไทย เพื่อหาวิธีการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างเสาโทรมนาคมต้นแบบ และเป็นแนวทางในการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเสาโทรมนาคมรองรับการติดตั้งอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างเสาโทรคมนาคมหลังการติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณเพิ่มบนโครงสร้างเสาเดิมตามมาตรฐานการออกแบบเสาโทรคมนาคม ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) 222-C

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมความแข็งแรงให้โครงสร้างที่ได้จากการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีเทียบกับผลกำลังรับแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงจากการทดสอบชิ้นงานทดสอบ

1.2.3 เพื่อหารูปแบบวิธีในการเสริมความแข็งแรงที่เหมาะสมสำหรับการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงโทรคมนาคมต้นแบบ เพื่อให้โครงสร้างต้านทานต่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นด้านกำลังอัด (Compression Strength) รวมถึงผลกระทบต่อการโก่งตัวของโครงสร้าง (Deflection), การบิด (Twist), การเคลื่อนตัวด้านข้าง (Side Sway) ของโครงสร้าง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 วิเคราะห์ผลของแรงกระทำตามหลักการออกแบบมาตรฐาน ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) 222-C เท่านั้น

1.3.2 พิจารณาเฉพาะ โครงสร้างเสาและอุปกรณ์ประกอบเสา (Accessory) ตามโมเดลเสาโทรคมนาคม Type NV ความสูง 45 เมตร ของบริษัทดีเคเค-ซีโนไทย เอ็นจิเนียริง จำกัด

1.3.3 เสาโทรคมนาคมเดิม Type NV ออกแบบเพื่อรองรับการติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณชนิด Cellular Antenna ชนิด 2G ขนาดระบุ 0.2x2.00 เมตร จำนวน 9 แห่ง ที่ระดับ -2.00 เมตร จากยอดเสาแบบ Ring Mount กระจายการติดตั้งโดยรอบเสา

1.3.4 อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณที่ติดตั้งเพิ่ม พิจารณาเป็นชนิด Cellular Antenna ชนิด 3G ขนาดระบุ 0.3x2.50 เมตร จำนวน 9 แห่ง ที่ระดับ -2.00 เมตรแบบ Ring Mount จากยอดและ จำนวน 3 แห่ง ที่ระดับ -7.00 เมตร เสาแบบ Single Mount แยกติดตั้งตำแหน่งขา ด้านละ 1 ชุด

1.3.5 พิจารณาผลกระทบของแรงลมที่มีต่อสายส่ง โดยจัดเรียงสายสัญญาณเป็นแถวซ้อนทับไม่เกิน 3 ชั้นต่อ 1 แถว เกษาด้านนอกของโครงสร้างเสาจนถึงระดับการติดอุปกรณ์

- 1.3.6 พิจารณาเฉพาะผลกระทบที่เกิดจากแรงอัด ที่มีต่อ โครงสร้างเสาโทรคมนาคมเท่านั้น
- 1.3.7 พิจารณาความเร็วลมระบุสูงสุดที่ 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Design wind speed 130 kph.)
- 1.3.8 พิจารณาความเร็วลมรองรับการให้บริการที่ 112 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง (Service wind speed 112 kph.)
- 1.3.9 พิจารณาการเชื่อมต่อ โครงสร้างใหม่กับชิ้นส่วนเดิม โดยใช้สลักเกลียวเท่านั้น (Bolt Joint) ไม่ใช้การเชื่อม
- 1.3.10 เหล็กรูปพรรณใช้ตามมาตรฐาน JIS – G 3101 (SS 400 , SS 540)
- 1.3.11 แผ่นเหล็กใช้ตามมาตรฐาน JIS – G 3101 (SS 400)
- 1.3.12 สลักเกลียวใช้ตามมาตรฐาน JIS – B – 1180
- 1.3.13 มาตรฐานการออกแบบ โครงสร้างเหล็กใช้มาตรฐาน AISC ด้วยวิธี ASD
- 1.3.14 โครงสร้างพิจารณาเป็น โครงข้อหมุนแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic Truss)
- 1.3.15 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม TNX. TOWER

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบรูปแบบที่เหมาะสมในการเสริมความแข็งแรงให้โครงสร้างเสาโทรคมนาคม เพื่อรองรับการติดตั้งอุปกรณ์ บน โครงสร้างเสาโทรคมนาคมต้นแบบ ตามมาตรฐาน ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) 222-C

1.4.2 ได้โครงสร้างเสาโทรคมนาคมที่มีความแข็งแรงต้านทานแรงที่เกิดขึ้น จากการติดตั้งอุปกรณ์รับ-ส่ง สัญญาณเพิ่ม

1.4.3 ทราบถึงแนวโน้มการรับกำลังอัดของหน้าตัดประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ ทางทฤษฎี และกำลังรับแรงอัดจากการทดสอบจริงของชิ้นงานทดสอบเพื่อเป็นแนวทางสำหรับ พิจารณาประกอบในงานเสริม โครงสร้างแก่เสาโทรคมนาคม

1.4.4 ได้โครงสร้างที่ให้ความประหยัดเงินและเวลาในการก่อสร้าง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่ใช้ประกอบการศึกษาและพัฒนาการออกแบบการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเสาโทรคมนาคมพอสั่งแบบดั่งนี้

2.1 องค์อาคารรับแรงอัด (Compression Member)

2.1.1 การคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด

สมการการคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด มีดังนี้

$$f_a = P / A \quad (2.1)$$

เมื่อ f_a คือ หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น, kg/cm^2

P คือ แรงในแนวความยาว, kg

A คือ พื้นที่หน้าตัดเสาที่ตั้งฉากกับแนวแกนความยาว, cm^2

2.1.2 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (Allowable Compressive Stress), F_a

จากมาตรฐาน AISC เมื่อ

2.1.2.1 เมื่อ $KL/r < C_c$ เสาพังจากการคราก (Yield) จัดเป็นเสาสั้น

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ คือ

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2 \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left[\frac{KL/r}{C_c} \right] - \frac{1}{8} \left[\frac{KL/r}{C_c} \right]^3} \quad (2.2)$$

2.1.2.2 เมื่อ $KL/r > C_c$ เสาพังด้วยการโก่งเดาะ (Buckling) จัดเป็นเสายาว

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ คือ

$$F_a = \frac{12\Pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.2 และ 2.3

$$C_c = \sqrt{\frac{2\Pi^2 E}{F_y}} \quad (2.4)$$

เมื่อ F_a คือ หน่วยแรงอัดตั้งฉากกับหน้าตัดเสาที่ยอมให้, kg/cm^2

F_y คือ หน่วยแรงคราก, kg/cm^2

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก = 2.1×10^6 , kg/cm^2

K คือ ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (Effective Length Factor)

ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับสภาพการรองรับที่ปลาย

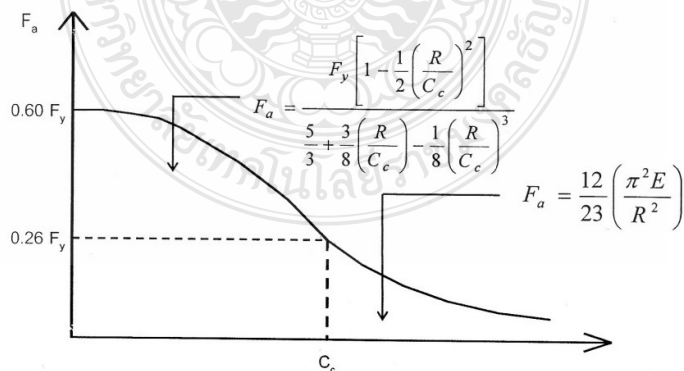
L คือ ความยาวเสาอิสระไม่มีสิ่งยึดด้านข้าง, cm .

R คือ รัศมีไจเรชั่น (Radius of Gyration) ที่น้อยที่สุดของพื้นที่รอบแกนที่

เกิดการโก่งงอมีค่า = $\sqrt{I_{NA}/A}$, cm .

I_{NA} คือ โมเมนต์อินเนอร์เซียที่น้อยที่สุดของหน้าตัดเสารอบแกน cm^4

A คือ พื้นที่หน้าตัดเสา, cm^2



โดยที่ $R = KL/r$

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดที่ยอมให้กับ KL/r

	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)	(ฉ)
ลักษณะการโค้งงอของเสา แสดงโดยเส้นประ						
ค่า k ตามทฤษฎี	0.50	0.70	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า k ที่ใช้ในการออกแบบ	0.65	0.80	1.20	1.0	2.10	2.0
สัญลักษณ์ของการยึดปลาย		การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของปลายเสา		
		ไม่มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
		ไม่มี	ไม่มี	มี	มี	มี
		มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

รูปที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (K)

2.1.3 แรงลมตามมาตรฐาน EIA STANDARD RS-222-C

สมการพื้นฐาน

$$H = q * C_a * C_f * A \quad (2.5)$$

H คือ แรงในแนวนอนที่กระทำต่อโครงสร้าง

q คือ แรงดันลมที่กระทำตั้งฉากกับพื้นสัมผัส

C_a คือ ค่าสัมประสิทธิ์รูปทรง (Shap Factor)

1.75 สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

1.50 สำหรับสามเหลี่ยมด้านเท่า

C_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความสูง (Height Factor)

1.0 เมื่อความสูง โครงสร้าง $0 < H < 91$ เมตร

1.2 เมื่อความสูง โครงสร้าง $91.4 < H < 198.2$ เมตร

1.67 เมื่อความสูง โครงสร้าง $H > 198.2$ เมตร

A คือ พื้นที่ปะทะลม

สามารถคำนวณแรงลมได้จากสมการทฤษฎีของ เบนรูว์ลี (Bernoullis Theorem)

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2.6)$$

โดยที่

q คือ แรงดันไดนามิก (Dynamic Pressure), lb/ft²

ρ คือ ความหนาแน่นของมวลอากาศ, slugs/ft³

V คือ ความเร็วลม, ft/sec

เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 15°c ความหนาแน่นของมวลอากาศมาตรฐานวัดจากระดับน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 0.0765 lbs/ft³ เมื่อแทนค่าในสมการเบนรูว์ลี ดังนั้น

$$q = 0.00256V^2 \quad (2.7)$$

โดยที่

q คือ แรงดันไดนามิก (Dynamic Pressure), lb/ft²

V คือ ความเร็วลม, Mile/hr.

จัดสมการใหม่ในระบบเมตริกได้ดังนี้

$$q = 0.004826V^2 \quad (2.8)$$

โดยที่

q คือ แรงดันไดนามิก (Dynamic Pressure), kg/m²

V คือ ความเร็วลม, km/hr.

2.2 เสาโทรคมนาคม

2.2.1 ความหมายของเสาโทรคมนาคม

เสาโทรคมนาคม ประกอบด้วยความหมายของ คำ 2 ส่วน คือ

เสา หมายถึง โครงสร้างที่มีการรับน้ำหนักต่างๆในองค์อาคาร โดยจะทำหน้าที่รับน้ำหนักในแนวดิ่งและในบางกรณี ต้องรับโมเมนต์ดัดร่วมด้วย นอกจากนี้อาจมีการรับแรงด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหว หรือจากแรงลมที่กระทำ ประเภทของเสา เช่น เสาไม้ เสาคอนกรีต เสาเหล็กรูปพรรณ หรือโครงข้อแข็ง เป็นต้น

โทรคมนาคม หมายถึง การติดต่อเพื่อการสื่อความหมายระหว่างผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสาร แต่ผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสารอาจอยู่ในสถานที่เดียวกันหรืออยู่ต่างสถานที่กันก็ได้ หากอยู่ต่างสถานที่กันอาจจะต้องใช้ระบบการสื่อสาร เช่น โทรเลข, โทรศัพท์, โทรสาร หรือ อินเทอร์เน็ต ฯลฯ เพื่อการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสาร

เสาโทรคมนาคม หมายถึง องค์อาคารที่ก่อสร้างเพื่อเป็นที่รองรับการติดตั้งเครื่องมือ หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร โครงสร้างเสารับแรงกระทำทั้งในแนวดิ่ง จากน้ำหนักของโครงสร้างเสา และอุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านบน และรับแรงกระทำในแนวราบที่เกิดจากการกระทำของแรงลมกระทำต่อโครงสร้างและอุปกรณ์ประกอบ หรืออาจรวมถึงแรงจากแผ่นดินไหว โครงสร้างเสาโทรคมนาคมจะเป็นโครงข้อแข็งที่ประกอบจากเหล็กรูปพรรณ ท่อนสั้นๆเชื่อมต่อกันโดยการเชื่อม หรือการขันน๊อตยึด โครงสร้างหน้าตัดของเสาโทรคมนาคมที่นิยมใช้ คือหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า และหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่วนความสูงของเสาขึ้นอยู่กับระดับความสูงที่ต้องการสำหรับติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารเป็นสำคัญ

2.2.2 พื้นฐานเสาโทรคมนาคม

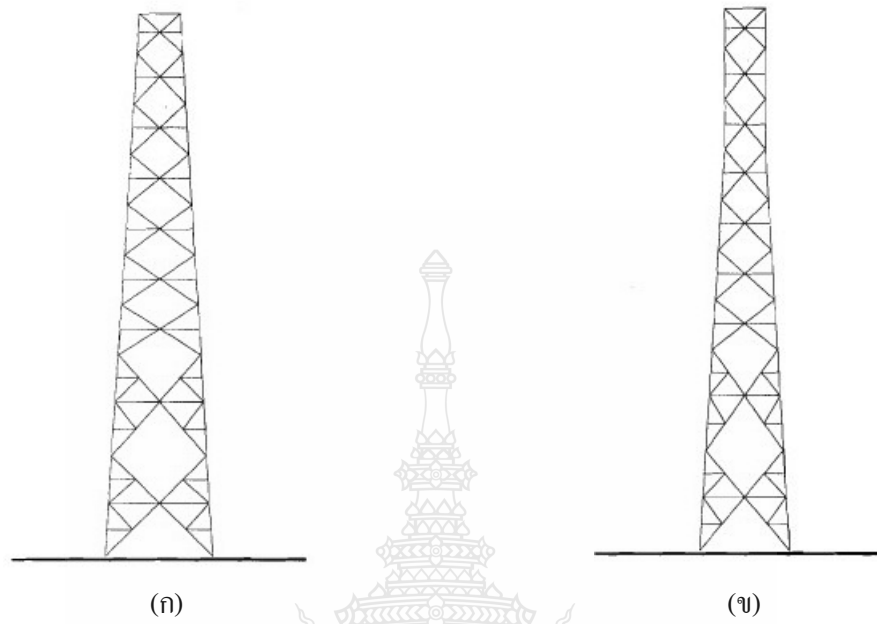
2.2.2.1 ลักษณะโครงสร้างเสาโทรคมนาคม มีลักษณะโครงสร้างโดยที่พิจารณาจากหน้าตัด (Cross Section) ของโครงสร้างเป็น 2 ลักษณะ คือ เสาโทรคมนาคมหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส และเสาโทรคมนาคมหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า และหากพิจารณาในมุมมองด้านข้าง (Side View)

เสาโทรคมนาคมจะแบ่งความสูงของเสาออกเป็นช่วงๆ (Block) โดยขนาดความสูงของแต่ละช่วงสามารถกำหนดได้ตามความต้องการในการใช้งาน ความสูงที่เป็นที่นิยมในการแบ่งช่วงนิยมนำมาจัดเรียงเหล็กที่ประกอบเป็นโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งในการออกแบบเสาโทรคมนาคมนั้น โครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่ใช้ทำชิ้นส่วนประกอบ (Member) นิยมใช้เหล็กฉากชนิดขาเท่า (Equal Angle) ทั้งชนิดมุม 90 องศาและชนิดมุม 60 องศา หรือเหล็กท่อดำ (Pipe) โครงสร้างจะมีลักษณะที่สมมาตรกัน นอกจากนี้หากพิจารณาแนวของส่วนที่เป็นขาเสานั้น อาจมีการกำหนดให้โครงสร้างเสามีความชัน (Slope) โดยที่ความกว้างในแต่ละช่วงของเสามีค่าแตกต่างกัน ความกว้างที่มากที่สุดจะเป็นส่วนที่เป็นฐาน และความกว้างที่น้อยที่สุดจะเป็นส่วนที่อยู่ด้านบนของโครงสร้างเสา

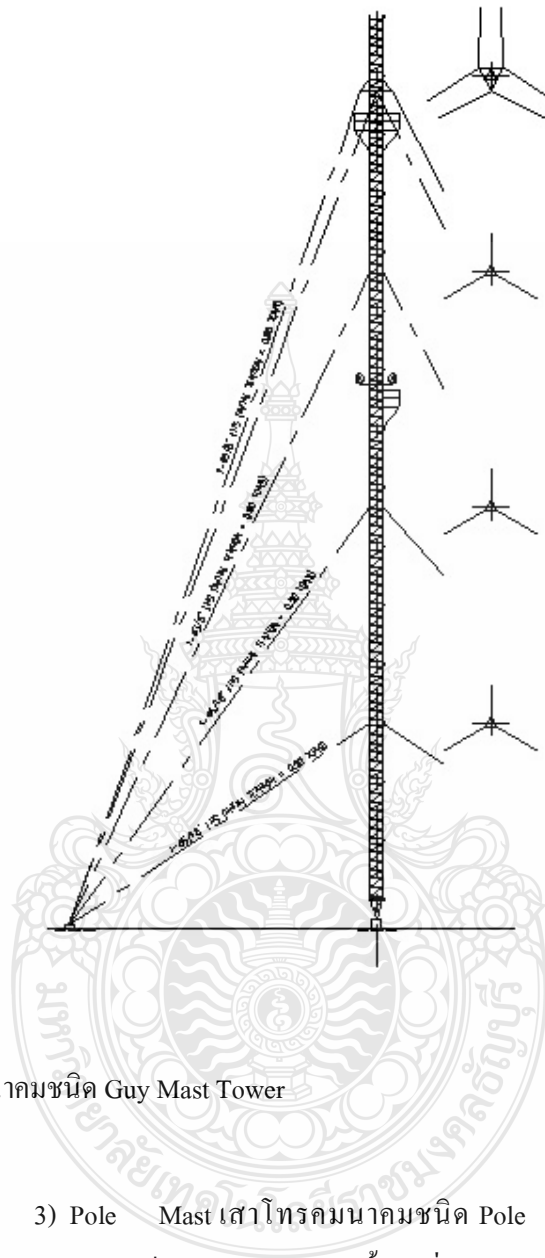
2.2.2.2 ประเภทเสาโทรคมนาคม สามารถแบ่งประเภทตามการยึดรั้งค้ำยันด้านข้างได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) Self Support Tower เสาโทรคมนาคมชนิด Self Support Tower หมายถึง โครงสร้างลักษณะเป็นหอเสาเดี่ยว หรือเสาโครงถัก ที่ตั้งอยู่ได้โดยไม่ต้องมีการใช้สายยึดโยง หรือการค้ำยันด้านข้าง กล่าวคือโครงสร้างเสา สามารถตั้งได้โดยไม่ต้องมีการค้ำยัน โดยโครงสร้างเหล็ก หรือการยึดรั้งโดยสายเคเบิล โครงสร้างสามารถต้านทานต่อแรงที่กระทำกับโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะนำมาใช้ประโยชน์ในด้านงานโทรคมนาคม การรับ-ส่งสัญญาณภาพหรือเสียงหรือสายสัญญาณ มีทั้งโครงสร้างที่ตั้งบนอาคาร และตั้งบนพื้นดินมีลักษณะเป็นแบบเสา 1 Slope และเสา 2 Slope

2) Guy Mast Tower เสาโทรคมนาคมชนิด Guy Mast Tower หมายถึง โครงสร้างเสาที่มีลักษณะเป็นหอเสาเดี่ยว หรือ โครงถักที่ต้องมีการใช้สายยึดโยงเพื่อให้สามารถตั้งอยู่ได้ โดยนิยมใช้สายเคเบิลเป็นตัวยึดรั้งโครงสร้าง โดยที่สายเคเบิลนี้จะทำหน้าที่ให้การปรับสมดุลให้โครงสร้างสามารถต้านทานแรงกระทำจากภายนอกได้ ซึ่งมีทั้งโครงสร้างที่ตั้งบนอาคาร และตั้งบนพื้นดิน ซึ่งจะนำมาใช้ประโยชน์ในการโทรคมนาคม การรับส่งสัญญาณภาพหรือเสียง

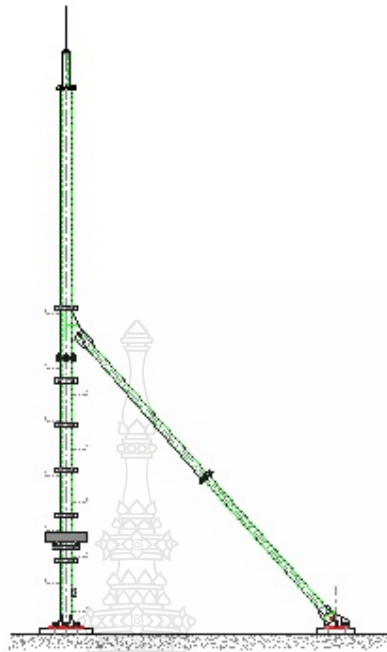


รูปที่ 2.3 เสาโทรคมนาคมชนิด Self Support Tower แยกตามลักษณะความชัน (ก) เสา 1 Slope,
(ข) เสา 2 Slope



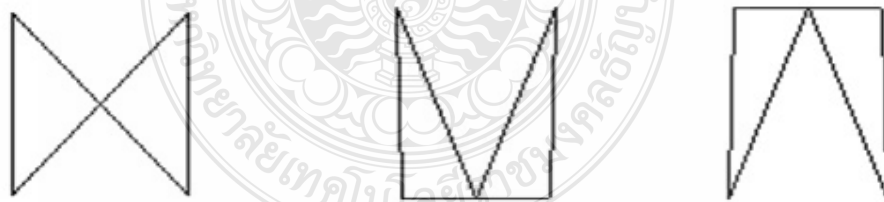
รูปที่ 2.4 เสาโทรคมนาคมชนิด Guy Mast Tower

3) Pole Mast เสาโทรคมนาคมชนิด Pole Mast เป็นโครงสร้างเสาโทรคมนาคมที่ประกอบจาก เหล็กท่อ(Steel Pipe) ตั้งขาเดี่ยว อาจมีขาค้ำยัน (Bracing) ที่ทำจากเหล็กท่อ (Steel Pipe) หรือจากเหล็กฉาก (Equal Angle) เป็นขาค้ำยัน หรืออาจเป็นเสาเดี่ยว ที่ไม่มีการค้ำยัน (Mono Pole) โครงสร้างเสาลักษณะนี้ มีทั้งประเภทที่ติดตั้งบนอาคาร (Roof Top) และตั้งบนพื้นดิน (On Ground)

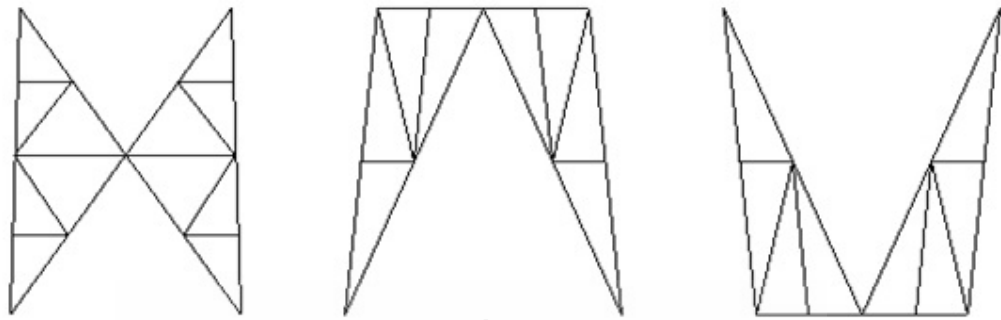


รูปที่ 2.5 เสาโทรคมนาคมชนิด Pole Mast

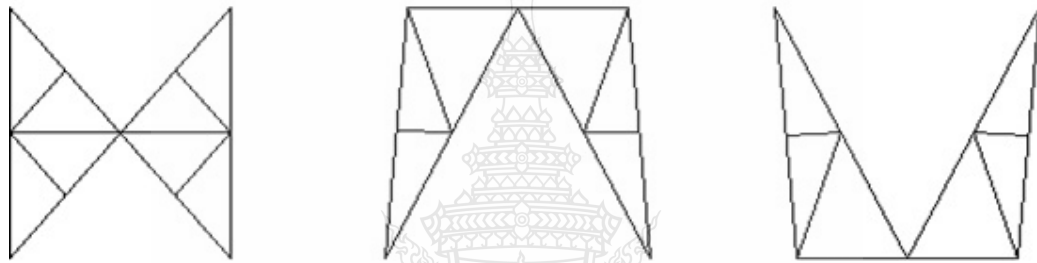
2.2.2.3 รูปแบบการจัดเรียงเหล็กโครงถัก เสาโทรคมนาคมนั้นสามารถแบ่งแยกได้ตามความสูงของช่วง Block ซึ่งสามารถแยกได้ดังนี้



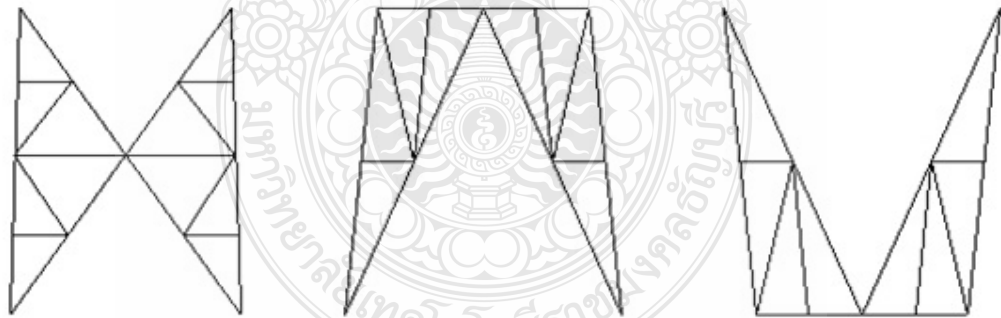
(ก)



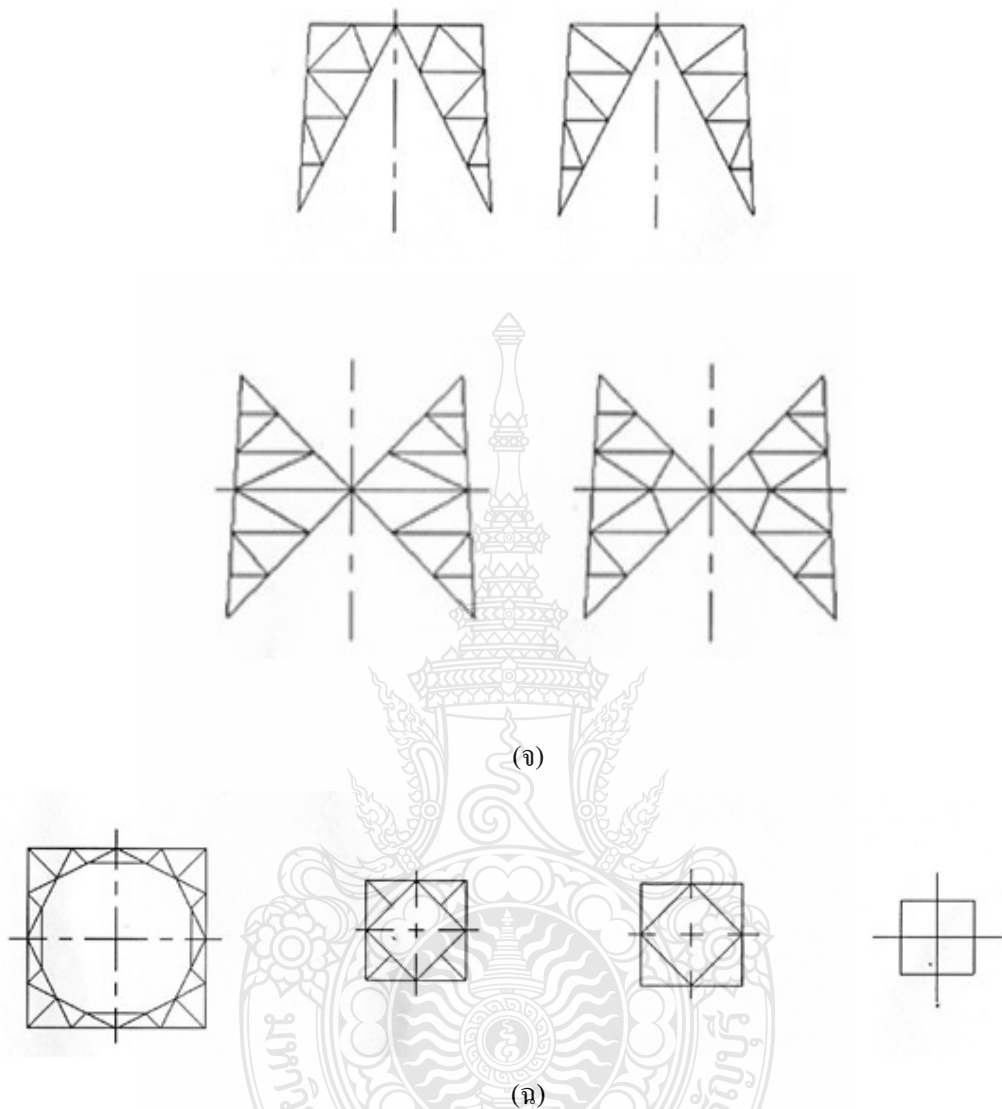
(ข)



(ค)



(ง)



รูปที่ 2.6 รูปแบบการจัดเรียงเหล็กโครงถัก (ก) ความสูง Block ไม่เกิน 1.50 เมตร, (ข) ความสูง Block ไม่เกิน 2.50 เมตร, (ค) ความสูง Block ไม่เกิน 3.50 เมตร, (ง) ความสูง Block ไม่เกิน 5.00 เมตร, (จ) ความสูง Block ไม่เกิน 10.00 เมตร, (ฉ) รูปตัดขวาง

2.2.3 หลักการออกแบบ

โครงสร้างเสาโทรมขนาดม ประกอบจากการนำเหล็กท่อนเล็กๆ มาทำการเชื่อมต่อหรือถัก เป็นโครงสร้างที่สามารถรับแรงกระทำที่เกิดขึ้นได้ โดยในการออกแบบนั้น ผู้ออกแบบต้อง

ทำการพิจารณาความแข็งแรงของโครงสร้างไปพร้อมกับ การเสวยรูปของโครงสร้างที่มีผลต่อการรับส่งสัญญาณซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

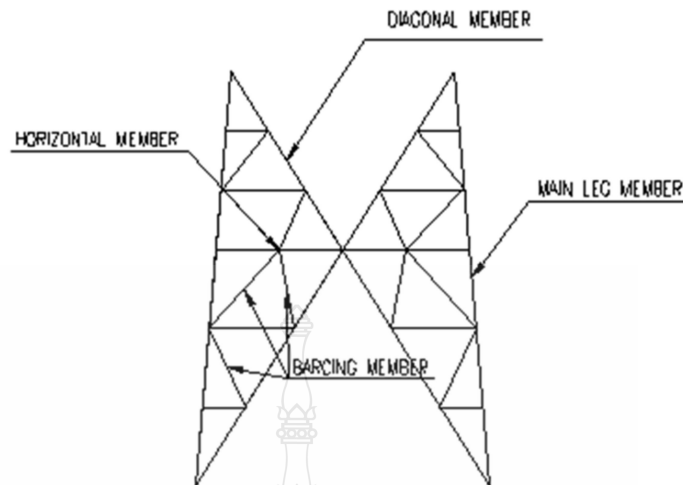
2.2.3.1 ความแข็งแรงของโครงสร้าง (Strength) เนื่องจากโครงสร้างเสาโทรคมนาคม เป็นโครงสร้างประเภทโครงถัก (Truss) ซึ่งชิ้นส่วนของโครงสร้างจะรับแรงที่กระทำตามแนวแกน ทำให้โครงสร้างรับแรงกดอัด (Compression Force) และแรงดึง (Tension Force) โครงถักถือเป็นโครงสร้างที่ไม่พิจารณาแรงดัด (Bending) สามารถแยกการรับแรงของชิ้นส่วนได้เป็น 2 ประเภท

1) ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression Member) ใน โครงสร้างเสาโทรคมนาคม ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ในการรับแรงอัด ได้แก่ ขาเสา (Main Leg Member), ทะแยงด้านข้าง (Diagonal Member) ชิ้นส่วนดังกล่าวจะต้องทำการพิจารณาถึงอัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ดังนี้

- (1.) ชิ้นส่วนขา (Main Leg Member) ต้องไม่เกิน 150
- (2.) ชิ้นส่วนหลัก อื่นๆที่ไม่ใช่ขา (Diagonal Member) ต้องไม่เกิน 200
- (3.) ชิ้นส่วนรอง (Internal Bracing) ต้องไม่เกิน 250

2.2.3.2 ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member) โครงสร้างที่ทำหน้าที่รับแรงดึง (Tension Member) ได้แก่ ขาเสา (Main Leg Member), ทะแยง (Diagonal Member) โดยโครงสร้างรับแรงดึงนี้ จะต้องมีความสามารถในการรับแรงดึงได้ ไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของแรงอัด

2.2.3.3 ชิ้นส่วนโครงถัก ค้ำยันด้านข้าง (Lateral Support) สำหรับชิ้นส่วนถักที่ใช้เป็นตัวค้ำยันการรับแรงด้านข้าง (Lateral Force) ต้องสามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 ของแรงอัดสูงสุดในชิ้นส่วนขาเสา ทั้งนี้ผู้ออกแบบสามารถใช้ค่าแรงด้านข้างที่สูงเกินค่าแนะนำได้ แต่ต้องมีผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ ที่แสดงให้เห็นค่ากำลัง (Strength) และสติฟเนส (Stiffness) ของชิ้นส่วนมีค่าเพียงพอ



รูปที่ 2.7 ประเภทชิ้นส่วน โครงสร้างเสา

2.2.4 การประกอบและการติดตั้ง ความสมบูรณ์ของแบบโครงสร้างเสา และแบบติดตั้ง จะต้องมีคุณภาพถูกต้องโดยจะต้องแสดง รายละเอียดของแบบโครงสร้างและการติดตั้ง โดยโครงสร้าง เสาโทรคมนาคมหลังติดตั้งต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

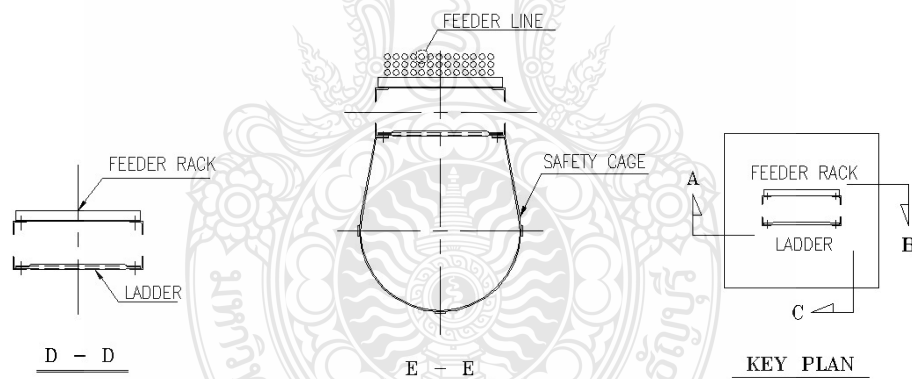
1) ค่าการวางตัวในแนวตั้ง (Plumb) เมื่อพิจารณาการวางตัวของโครงสร้าง ในแนวตั้งเมื่อโครงสร้างเสาโทรคมนาคม ถูกแรงกระทำจากภายนอก สามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณี Guy Mast Tower ค่าการเบี่ยงเบน (Deviation) ของโครงสร้างเสาเทียบกับแนวตั้ง มีค่าไม่เกิน $1/400$ และกรณี Self Support Tower ค่าการเบี่ยงเบนที่ยอมรับให้มากที่สุด มีค่าเท่ากับ $1/250$ ของระดับ ความสูงของโครงสร้าง

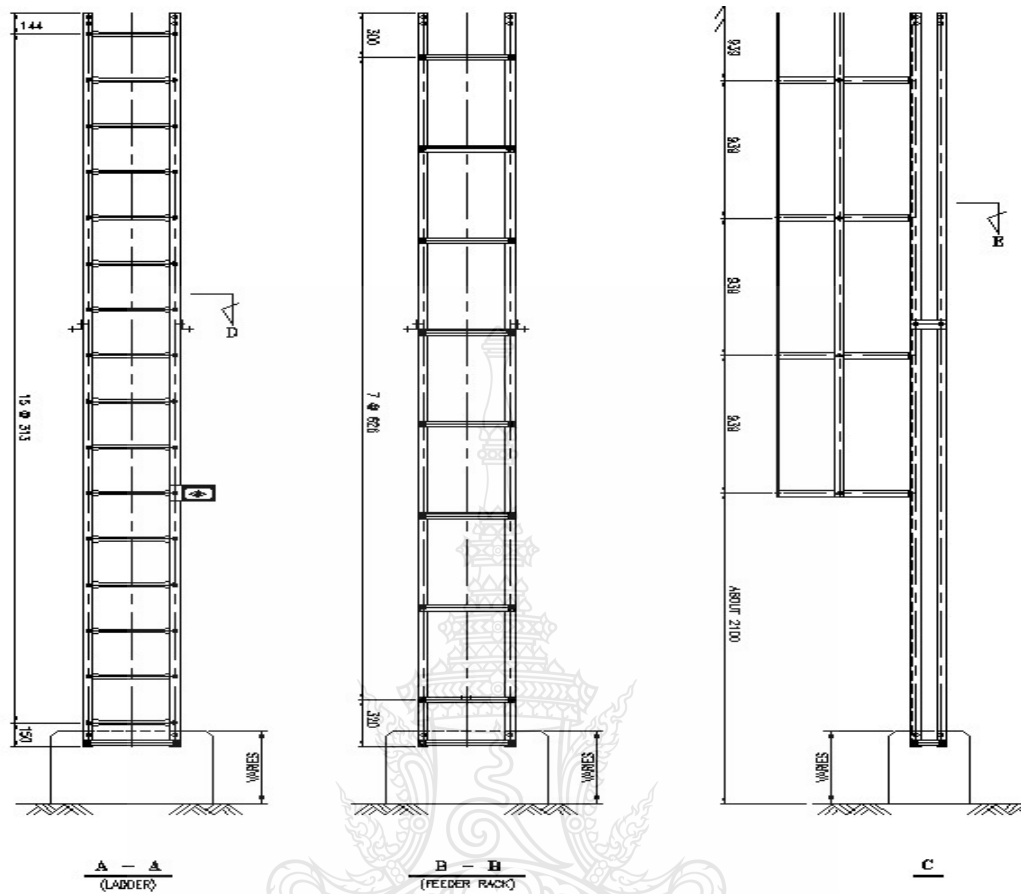
2) ค่าเชิงเส้น (Linearity) เมื่อโครงสร้างเสาโทรคมนาคม รับแรงที่กระทำ จากภายนอกการเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาในแนวเชิงเส้น เปรียบเทียบระหว่างจุด 2 จุดใดๆ ของ โครงสร้างในระนาบเดียวกับการรับแรงกระทำ จะมีค่าไม่เกิน $1/1000$

2.2.5 อุปกรณ์ประกอบเสา (Accessories)

2.2.5.1 Ladder & Feeder Rack

Ladder หมายถึง บันได เป็นโครงสร้างที่อยู่ด้านในเสาโทรคมนาคม สำหรับการปีนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ หรือการบำรุงรักษา โครงสร้างเสาโดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างแม่บันไดนั้นนิยมให้ เหล็กฉากชนิดขาเท่า (Equal Angle) หรือเหล็กตัวซี (Light Chanel) และใช้เหล็กเส้นกลม (Round Bar) หรือเหล็กท่อ (Pipe) นำมาเชื่อมติดกับแม่บันได เป็นลูกขึ้น สำหรับการปีน โดยปกติความกว้างของบันไดมีค่า 40 เซนติเมตร โดยประมาณและระยะก้าวคือ 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามอาจมีการเปลี่ยนแปลง ตามเงื่อนไขการใช้งาน โดยโครงสร้างบันได จะมีการยึดกับโครงสร้างเสาตามระยะทุกๆ 10-15 เมตร โดยประมาณ และต้องมีการติดตั้งวงกันตก (Safety Cage) ตลอดความยาวของบันได และทุกๆความสูง 15-25 เมตร โดยประมาณจะต้องมีการติดตั้งขานพักบันได (Rest Platform)





รูปที่ 2.8 ชุด Ladder & Feeder Rack

Feeder Rack หมายถึง โครงสร้างที่ทำหน้าที่ เป็นที่ยึดเกาะสายส่งสัญญาณ (Feeder Line) ของอุปกรณ์ โดยสายส่งสัญญาณจะมีลักษณะเป็นเส้นกลม ขนาดของสายขึ้นอยู่กับ ชนิดอุปกรณ์ โดยติดตั้งเป็นแถวตามหน้าตัด Feeder Rack หากมีจำนวนมาก สามารถเรียงซ้อนกัน โดยทั่วไปซ้อนได้ไม่เกิน 3 ชั้น หรือขึ้นอยู่กับข้อกำหนดเงื่อนไขที่ตกลงของงาน Feeder Rack นี้อาจ ตั้งอยู่ตรงบริเวณกลางหน้าตัดของโครงสร้างเสาในแนวเดียวกับ Ladder หรือ เป็นโครงสร้างฝักที่ชุด Ladder หรือเสาโทรคมนาคมบางชนิดที่ หน้าตัดเสาแคบอาจจะทำการติดตั้ง Feeder Line เกาะที่ โครงถักด้านนอก ซึ่งขึ้นอยู่กับกรออกแบบและการใช้งาน โดยปกติ Feeder Rack ใช้ เหล็กฉาก (Equal Angle) หรือเหล็กซี (Light Chanel) เป็นตัวหลักและใช้เหล็กฉาก (Equal Angle)

เป็นลูกชั้น ระยะห่างชั้นไม่เกิน 1 เมตร และจะต้องมีการยึดรั้งฝากกับ โครงสร้างเสา ทุกๆระยะ เช่นเดียวกับ Ladder

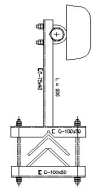
2.2.5.2 Platform แปลความหมายตามตัวหมายถึง ชานพัก โดยทั่วไปพื้นชานพัก ทำจากตะแกรงเหล็กฉีก หรือเหล็กแผ่นบาง ทำการตัดพับและยึดกับ โครงสร้างโดย Bolte – Nut หรือ การเชื่อม โดยขึ้นอยู่กับข้อกำหนดการใช้งานของผู้ใช้งาน ขนาดความกว้าง และความยาว เป็นไปตาม ข้อกำหนดของการใช้งานเช่นเดียวกัน แต่โดยทั่วไปแล้วเพื่อความคล่องตัวในการใช้งาน ความกว้าง ของ Platform ไม่ควรต่ำกว่า 60 เซนติเมตร ส่วนความยาว แปลผันไปตามความกว้าง ของหน้าตัดเสา ตำแหน่งติดตั้ง และต้องเสริมราวกันตกโดยรอบ เพื่อความปลอดภัยของผู้ทำงานซึ่งสามารถแบ่ง ประเภทของ Platform เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามการใช้งาน

1) Work Platform เป็น โครงสร้างตำแหน่งชานพักที่ติดตั้งที่ระดับความสูง สำหรับติดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการทำงาน

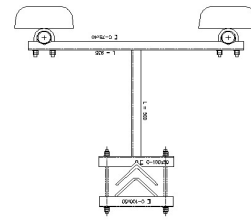
2) Rest Platform เป็น โครงสร้างชานพักเพื่อการปีน โดยจะเริ่มติดตั้งทุก ความสูง 15-25 เมตร เป็นขั้นแรก และติดตั้งชั้นต่อไปที่ระดับห่างจากชั้นก่อนหน้าไม่เกิน 15 เมตร โดยประมาณ ทั้งนี้ระดับความสูงติดตั้งอาจมีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม โดยจะต้องอิงตาม มาตรฐานความปลอดภัย และข้อกำหนดการใช้งาน

3) Obstruction Light Platform เป็น โครงสร้างชานพัก ติดตั้งที่ระดับ การติดสัญญาณไฟส่องสัญญาณ โดยระดับความสูงของชานพักชนิดนี้ จะอ้างอิงตามมาตรฐาน การให้สัญญาณไฟส่องสว่างของเสาโทรคมนาคม กรณีอยู่ในพื้นที่ควบคุมการบินของอากาศยาน

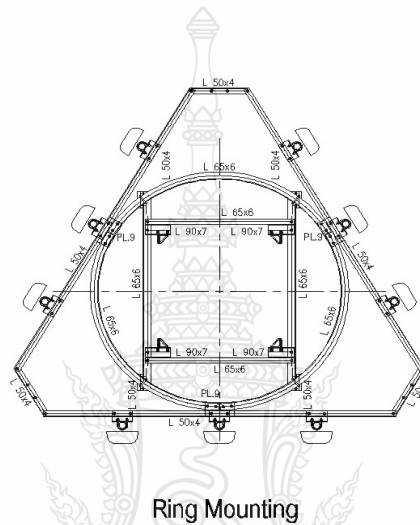
2.2.5.3 Mounting เป็น โครงสร้างสำหรับยึดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ เข้ากับ โครงสร้าง เสาโดย Mounting มีด้วยกันหลากหลายรูปแบบขึ้นกับความต้องการใช้งาน และรูปแบบของ โครงสร้างเสาที่จะต้องจับยึด



Single Mounting



Double Mounting



Ring Mounting

รูปที่ 2.9 ชุด Mounting สำหรับติดตั้งบนโครงสร้างเสาโทรคมนาคม

2.2.6 โปรแกรมออกแบบเสาโทรคมนาคม TNX.TOWER PROGRAM.

โปรแกรมออกแบบ TNX.TOWER เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการสร้างโมเดลวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเสาสื่อสาร (Communication Tower) ที่รองรับมาตรฐาน RS-222A, RS-222-B, EIA-222C, EIA-222-D, EIA-222E, TIA/EIA-222-F หรือ TIA-222-G และรวมถึงมาตรฐาน Canadian CSA-S37-01 โดยการทำงานของโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ด้วยระบบไฟไนต์เอลาเมนต์ (Finite element analysis; FEA) และระเบียบวิธีทางตัวเลขตามทฤษฎีนิวตัน-รอฟสันต์ (Newton-Raphson increment solution techniques) โดยที่โปรแกรมจะทำการคิดคำนวณค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงดันลมที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างเสาโทรคมนาคม (Tower) และวิเคราะห์

ตรวจสอบความเหมาะสมของชิ้นส่วนและประมาณน้ำหนักของโครงสร้างเสา และจำนวน Bolt ที่ใช้ในการเชื่อมต่อรอบต่อของโครงสร้าง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1993 โดย Nickerson นำเสนอบทความวิชาการเกี่ยวกับการศึกษาการออกแบบเสาต่งสัญญาณแบบถักกากบาท (X-Bracing) อ้างอิงตามคู่มือการออกแบบ American Society of Civil Engineers (ASCE Manual 52) โดยการทำการทดสอบกับโครงสร้างขนาดจริง (Full-Scale) ในระบบโครงเฟรม 3 มิติ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่าง เหล็กฉากขาเท่าและเหล็กฉากขาไม่เท่า พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน แรงดึงต่อแรงอัดที่เกิดขึ้นในหน้าตัดประเภทรับแรงอัด (Compression Member) มีค่าน้อยมาก ยกเว้นกรณีใช้เหล็กฉากขาไม่เท่า ด้านปีกเหล็กที่ยาวกว่าจะให้ผลต่างของ แรงดึงต่อแรงอัด เปลี่ยนไปร้อยละ 40 นอกจากนี้ยังพบว่าผลของการจับยึดที่ปลายของโครงสร้างมีผลต่อการรับกำลังของเฟรมและพฤติกรรมการรับแรงของการถักแบบกากบาท (X-Bracing) และศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนชะลูด (KL/r) ที่แสดงในคู่มือออกแบบเทียบกับผลการทดลองจริง

ในปี 2004 โดย Cindy มหาวิทยาลัยวินด์เซอร์ (University of Windsor) ได้นำเสนอการศึกษาวิธีการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเสาโทรคมนาคมชนิดเสา Guy Mast โดยอ้างอิงมาตรฐาน Canadian Standards [CSA2001], AISC-LRFD Specification [AISC 1999], American Specification ANS/TIA/EIA-222-G และ Euro code EN 1993-7 [CEN 2003] วิเคราะห์การรองรับการติดตั้งระบบที่วีดีจิตอล โดยการเสริมพื้นที่หน้าตัดของขาเสาเดิม ด้วยเหล็กเพลตตัน (Rod Connected) และประกบเหล็กฉาก (Angle Connected) โดยทำการเชื่อมต่อกับโครงสร้างด้วยการยึดเฉพาะ U-Bolt เทียบกับการยึดด้วย U-Bolt ผสมกับเชื่อมปลาย ใช้การวิเคราะห์ด้วย Finite Element สร้างแบบจำลองวิเคราะห์ผลที่เทียบกับการทำชิ้นงานตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างโดยการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดช่วยให้โครงสร้างรับแรงได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโครงสร้างเก่าและใหม่เข้าด้วยกันมีผลต่อการรับแรงเช่นกัน โดยผลที่ออกมาจากการวิเคราะห์ด้วย Finite Element สอดคล้องในทิศทางเดียวกับการทดลอง

ต่อมาในปี 2011 Cindy ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเสาโทรคมนาคม ชนิด Guy Mast การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยเหล็กเพลลา (Rod) และเหล็กท่อดำ (Pipe) และผลกระทบในเรื่องการเกิดความเสียหายแก่สายเคเบิล (Guy Wire) ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเสา อย่างไรโดยทำการวิเคราะห์ภายใต้มาตรฐาน Canadian Standards [CSA2001], AISC-LRFD Specification [AISC 1999], American Specification ANS/TIA/EIA-222-G โดยทำการสร้างแบบจำลองโดย Finite Element เปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยการจำลองโครงสร้าง (Small-scale) เพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ ซึ่งให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสรุปได้ว่าการเสริมพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้าง ช่วยให้โครงสร้างรับแรงได้เพิ่มขึ้น และตำแหน่งของความเสียหายของสายเคเบิลยึดรั้งโครงสร้างมีผลต่อกำลังของโครงสร้างกล่าวคือ ตำแหน่งการเสียหายของสายเคเบิล ยิ่งระดับสูงจะยิ่งส่งผลเสียต่อโครงสร้างมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบ สอดคล้อง และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการวิเคราะห์โดย Finite Element

ในปี 2013 วารสารวิชาการ Advances in Structural Engineering ตีพิมพ์บทความเรื่อง Two-Step Method for Instability Damage Detection in Tower Body of Transmission Structures แสดงการวิเคราะห์ความสั่นพ้อง ระหว่างแรงในแนวแกน, แรงคดและความมั่นคงในแนวแกนของโครงสร้าง เสาส่งสัญญาณ โดยใช้การวิเคราะห์ตามหลักการ Finite Element Method ควบคู่กับระเบียบวิธีปฏิบัติเชิงตัวเลข (Numerical) และการทดลองจากตัวอย่าง พบว่าโครงสร้างหลักของเสา จะยังคงรับแรงแบกทานที่เกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ในสถานะยืดหยุ่น (Elastic) และกำลังในการรับแรงลดลงเมื่อเข้าสู่สถานะพลาสติก (Plastic) จนเป็นศูนย์การสร้างแบบจำลองโดยใช้ระบบปฏิบัติการเชิงตัวเลข เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำการทดลอง แสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้สามารถประเมินตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างเสาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ในวารสารเล่มนี้ยังได้เสนอบทความเรื่อง Buckling Strength of Single Angle Struts Part 3: Cross-Bracing in Tower Structure นำเสนอผลการศึกษาภายใต้ทฤษฎีเสถียรภาพภายใต้สถานะยืดหยุ่น (Elastic Stability) และพิจารณาการเกิดการโก่งคดของชิ้นส่วน, การเชื่อมต่อรอยต่อโดยแบ่งลักษณะการใช้ค้ำยันโครงสร้างด้านในเป็นหลักจากเดี่ยว และเหล็กจากคู่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการโก่งคดลดลง

ในปี 2015 โดย Szafran และ Jacek เสนอบทความเกี่ยวกับ การทดลอง กลไกการวิบัติของ เสาส่งสัญญาณ โดยวิธีทำการทดลองกับโครงสร้างเสาสูง 40 เมตร (Full-Scale) โดยศึกษารูปแบบ

การวิบัติ รวมถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังการรับแรงของเสาส่งสัญญาณ โดยพบว่า ความแข็งแรงของรอยต่อมีผลเกี่ยวเนื่องกับความหนาของหน้าตัด จำนวนและเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวที่ทำการจับยึด โดยการวิบัติที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการรับกำลังอัด และในบทความนี้ยัง เสนอความสัมพันธ์ของอัตราหะลุดและกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมในการเลือกที่ได้จากการ ทดลอง

ในประเทศไทยเริ่มจัดทำมาตรฐานแนะนำสำหรับการออกแบบ โดยจัดทำขึ้นเมื่อ พ.ศ.2554 โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง ชุดมาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างพิเศษ อ้างถึง ในหัวข้อ มยพ.1343-54 มาตรฐานประกอบออกแบบหอหรือหอยึดโยง ได้กล่าวถึงนิยามความหมาย รวมทั้งวิธีการคำนวณแรงลมที่มีผลต่อโครงสร้างเสาและอัตราความหะลุดที่ยอมให้ของแต่ละชิ้นส่วน ของเสา และค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่แนะนำไว้สำหรับการออกแบบ อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ดังกล่าวนี้ ยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการออกแบบ โครงสร้างเสาโทรมนาคม และเสาส่งสัญญาณ การออกแบบจะเน้นไปที่มาตรฐาน ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) เป็นหลัก

งานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวกับเสาโทรมนาคม เน้นที่วิธีการออกแบบ เพื่อรองรับ แรงลม, แรงแผ่นดินไหว หรือการนำหลักการเจเนติกอัลกอริทึมส์ร่วมกับการออกแบบโครงสร้าง เสาโทรมนาคม หรือการออกแบบโครงสร้างให้มีความประหยัด เสียเป็นส่วนใหญ่ แต่งานด้าน การเสริมความแข็งแรงนั้น ยังไม่มีผลการศึกษาที่แพร่หลาย ส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของเอกชน ที่วิเคราะห์ผลที่เกิดจากการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มขึ้นจากการขยายเครือข่ายระบบสัญญาณโทรศัพท์ หรือ การติดตั้งในระบบทีวีดิจิตอล โดยการเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงสร้างหลังการ ติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งแนวโน้มของการนำโครงสร้างเสาเดิมมาทำการติดอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพิ่ม มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของความต้องการใช้งานที่เพิ่ม ประกอบกับปัญหาการหา พื้นที่ตั้งและราคาการก่อสร้าง รวมทั้งเวลาก่อสร้างที่ไม่ตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น การนำโครงสร้างเสาเดิมมาทำการปรับปรุงจึงเป็นทางเลือกที่ดีและน่าสนใจของประเทศไทย ดังที่ กล่าวมานี้เป็นแรงบันดาลใจให้จัดทำงานวิจัยเรื่องการเสริมความแข็งแรง โครงสร้าง เสาโทรมนาคมโดยวิธี เพิ่มหน้าตัด และวิธีเสริมค้ำยันของโครงสร้างเสาโทรมนาคมชนิด เหล็กกลาขาท่า เพื่อสร้างรูปแบบการเสริมความแข็งแรงที่เหมาะสม โดยทำการเปรียบเทียบผลของ กำลังที่เพิ่มขึ้น จากวิธีการเสริมความแข็งแรง เปรียบเทียบกับผลที่เกิดจากการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎี

เพื่อให้ทราบถึงแนวทางวิธีการเสริมที่เหมาะสมกับ โครงสร้างที่สามารถก่อสร้างได้จริง และประหยัด
ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง



บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

วิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาวิธีการเสริมความแข็งแรงของเสาโทรคมนาคม เล่มนี้วิเคราะห์อ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบเสาโทรคมนาคมตาม ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) 222-C ซึ่งสามารถแสดงลำดับขั้นตอนในการศึกษาได้ดังนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. โครงเฟรมทดสอบกำลังอัด
2. ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pumps)
3. กระบอกไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinders)
4. Load Cell
5. เกจวัดการโก่งตัวด้านข้าง (LVDT)
6. เกจวัดการยืดตัว (Strain gage)
7. เกจวัดการเคลื่อนที่ด้านล่าง (LVDT)
8. เครื่องแปลงข้อมูล (Data Logger)

3.2 ขั้นตอนดำเนินการ

3.2.1 ขั้นศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

ศึกษาข้อมูลการออกแบบเสาโทรคมนาคมตามมาตรฐานการออกแบบเสาโทรคมนาคม ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) และมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กอ้างอิงตาม AISC ตามวิธี ASD ศึกษารูปแบบและลักษณะของโครงสร้างเสาโทรคมนาคม อุปกรณ์ประกอบภายในเสา ชนิดและประเภทของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณและพฤติกรรมของเสาโทรคมนาคมที่เกิดขึ้นในการรับแรงกระทำจากภายนอก เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการจัดทำการศึกษาในลำดับต่อไป

3.2.2 ชั้นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม TNX.TOWER

3.2.1.1 นำข้อมูลเสาโทรคมนาคมต้นแบบ มาทำการวิเคราะห์หาแรงที่เกิดภายในชั้นส่วนโดยโปรแกรม TNX.TOWER โดยติดตั้งอุปกรณ์ตามข้อกำหนดเดิมของโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วย Cellular Antenna ชนิด 2G ขนาดระบุ 0.2x2.00 เมตร จำนวน 9 แห่ง ที่ระดับ -2.00 เมตร จากยอดเสา ที่ความเร็วลมออกแบบ (Wind Design) 130 kph. เพื่อหาค่าแรงภายในที่เกิดขึ้นแต่ละชั้นส่วนเมื่อรับแรงกระทำตามภาระแรงที่ออกแบบไว้เดิม ซึ่งค่าแรงภายในที่ได้จากชั้นตอนนี้จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อเปรียบเทียบผลของแรงที่เพิ่มขึ้นหลังการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มประกอบการทำการศึกษาในลำดับต่อไป

3.2.1.2 นำโมเดลที่ได้จาก ข้อ 3.2.1.1 มาทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการรับสัญญาณประเภท Cellular Antenna ชนิด 3G ขนาดระบุ 0.3x2.50 เมตร จำนวน 9 แห่ง ที่ระดับ -1.00 เมตร โดยใช้ Ring Mount และ 3 แห่งที่ระดับ -7.00 เมตร จากยอดเสาแบบ Single Mount แยกคิดที่ตำแหน่งขา ด้านละ 1 ชุด และทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม TNX.TOWER ที่ความเร็วลมออกแบบ (Wind Design) 130 kph. เพื่อหาแรงกระทำภายในที่เกิดขึ้นกับ โครงสร้างของเสาเมื่อรับภาระแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งอุปกรณ์ชนิดใหม่

3.2.1.3 พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในที่เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างเสาติดตั้งอุปกรณ์ตามการออกแบบเดิม เปรียบเทียบกับแรงภายในที่เกิดขึ้นเมื่อเสาแบกรับภาระที่เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ พร้อมทั้งหาตำแหน่งที่โครงสร้างสูญเสียเสถียรภาพในการรับกำลังที่ส่งผลให้เกิดความเสียหายขึ้นภายในชั้นส่วน พร้อมทั้งตรวจสอบตำแหน่งจุดต่อต่างๆ หลังการเพิ่มขึ้นของแรงกระทำที่มีผลกระทบต่อจุดต่อ จนเกินกว่าความสามารถในการรับกำลังของจุดต่อหรือไม่ เพื่อกำหนดตำแหน่งของการเสริมความแข็งแรงของโมเดลเสาเพื่อรองรับการติดตั้งอุปกรณ์เสริม

3.2.1.4 กำหนดรูปแบบในการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างโดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เน้นศึกษาวิธีในการเสริมความแข็งแรง ดังนี้

การเพิ่มพื้นที่หน้าตัด แบ่งออกเป็น

- 1) ประทับด้วยแผ่นเหล็กบาง (Additional with Flat Bars)
- 2) การเพิ่มค้ำยันด้านข้าง (Additional with Barcing)
- 3) ประทับด้วยเหล็กฉาก (Additional with Angle)

3.2.1.5 คำนวณพื้นที่หน้าตัด, โมเมนต์อินเนอร์เซียร์ (Moment of Inertia), รัศมีไจเรชั่น (Radius Gyration) รวมทั้งข้อมูลพื้นฐานในส่วนการเสริมความแข็งแรงของหน้าตัดประกอบที่ได้จากการเสริมความแข็งแรงของแต่ละวิธี เพื่อกำหนดค่าคุณสมบัติหน้าตัดประกอบ

สำหรับป้อนให้โปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างหลังการเสริมความแข็งแรง

3.2.1.6 ปรับโมเดลของโครงสร้างเสาในโปรแกรม TNX.TOWER ตามวิธีการเสริมความแข็งแรง

- 1) แผ่นเหล็กประกบ (Flab Bars)
- 2) เสริมค้ำยันด้านข้าง (Bracing Member)
- 3) เหล็กฉากคู่ (Double Angle)

พร้อมทำการวิเคราะห์การรับแรงของแต่ละชั้นส่วนหลังการเสริมความแข็งแรงตามวิธีทั้ง 3 วิธีข้างต้น เพื่อตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างหลังเสริมความแข็งแรง โดยทำการวิเคราะห์หาขนาดของหน้าตัดประกอบหรือระยะค้ำยัน ที่เหมาะสมกับโครงสร้างรวม ที่ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงทนทานสามารถรับแรงที่เกิดขึ้นได้ พร้อมทั้งตรวจการโก่งตัว (Deflection), การส่าย (Sway), การบิด (Twist) ที่เกิดกับโครงสร้างหลังทำการปรับปรุง โดยค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเสา ณ ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ ต้องมีค่าไม่เกิน 5 องศา ที่ความเร็วลมบริการ (Service Wind Speed) 112 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.2.1.7 ถอดปริมาณน้ำหนักของเหล็ก จำนวนสลักเกลียวที่ใช้ยึดโครงสร้างส่วนเสริมเข้ากับโครงสร้างเดิม ในการเสริมความแข็งแรงโดยวิธีการทั้ง 3 รูปแบบ เพื่อใช้เทียบราคาของวัสดุ

3.2.1.8 ประมาณราคาการเสริมความแข็งแรงของทั้ง 3 วิธี

3.2.1.9 เปรียบเทียบ ข้อดีข้อเสีย ของทั้ง 3 วิธี พร้อมเสนอ รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่ควรเลือกใช้ ในการเสริมความแข็งแรงให้แก่เสาโทรคมนาคมชนิด Self Support type N ความสูง 45 เมตร ของ บริษัทเคเค-ซีโนไทยเอ็นจีเนียริงจำกัด

3.2.2 ขั้นตอนการทำการทดสอบ

เพื่อพิสูจน์ถึงพฤติกรรมการรับแรงที่เกิดขึ้นจริง หลังการเสริมความแข็งแรงด้วยวิธีการในข้างต้น จึงทำชุดชิ้นงานทดสอบ เพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลสำหรับการสอบเทียบผลกำลังที่เกิดขึ้นจากวิธีการเสริมความแข็งแรงทั้ง 3 วิธี เพื่อหาค่ารับแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงจากการทดสอบ เทียบกับกำลังอัดที่ได้จากการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AISC เพื่อพิจารณาแนวโน้มความสอดคล้อง

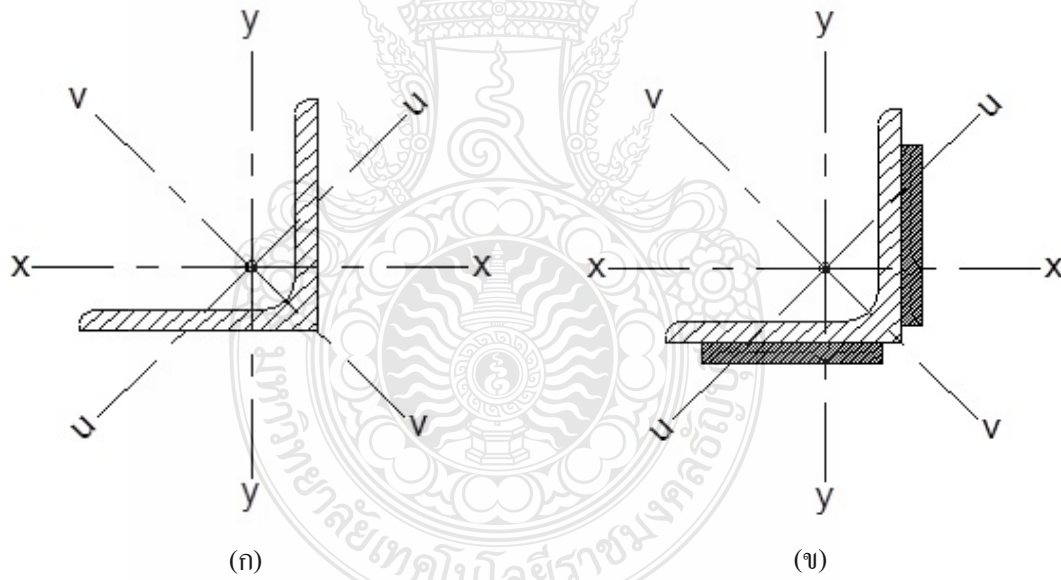
ของค่ากำลังรับแรงอัดจริง และค่ากำลังวิเคราะห์ตามทฤษฎี โดยในการทดสอบนี้ฐานรองรับ (Support) ด้านบนและล่าง จำลองให้มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับจุดรองรับแบบยึดหมุน (Pin Support) เพื่อให้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของเสาโทรมนาคม โดยใช้ชิ้นงานทดสอบ เป็นเหล็กฉากชนิดขาเท่า ขนาด L65x6 ความยาวปราศจากการค้ำยันคือ 150 เซนติเมตร ($KL/r = 118 < 150$) เป็นชิ้นสอบเทียบ เนื่องจากขนาดเหล็กฉาก L65x6 นี้ ถือเป็นขนาดเหล็กฉากเล็กที่สุด ที่นิยมนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนของขาเสาในเสาโทรมนาคม ผู้จัดทำจึงเลือกนำเหล็กฉากขนาดดังกล่าว เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลสำหรับการทำการศึกษา โดยจัดทำชิ้นงานทดสอบทั้งสิ้น 12 ชิ้น แบ่งการทดสอบเป็น 4 ชุด คือ กรณีที่ 1 ก่อนเสริมความแข็งแรง 3 ชั้น, กรณีที่ 2 เสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็กบาง 3 ชั้น, กรณีที่ 3 เสริมโดยการค้ำยันขาเสา 3 ชั้นและกรณีที่ 4 เสริมด้วยเหล็กฉากขาเท่า ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

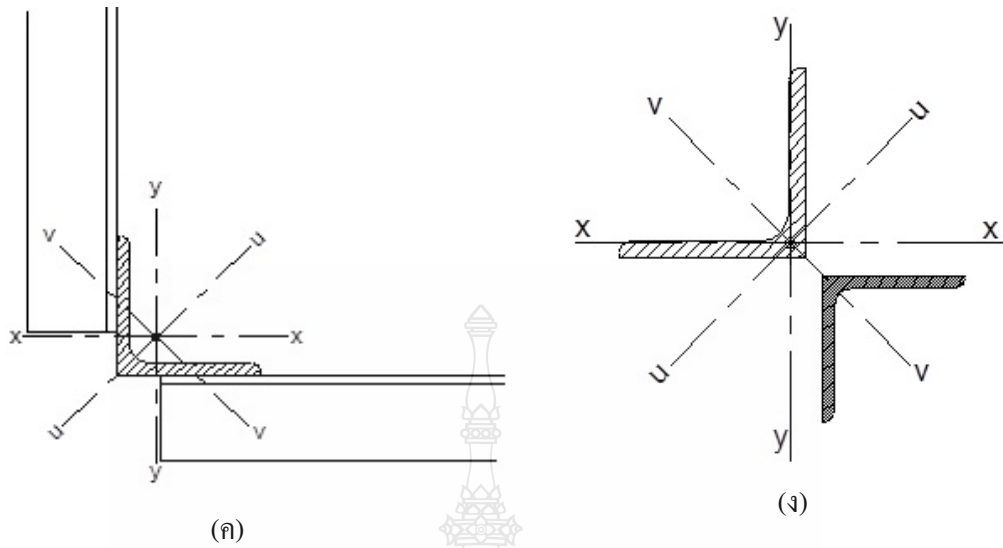
ตารางที่ 3.1 กลุ่มชิ้นงานทดสอบ

CASE	จำนวน ชิ้นงานที่	ขนาด	ความยาว (m)
1	3	L65x6	1.50
2	3	L65x6 & FB50x6	1.50
3	3	L65x6 & Bracing	0.675
4	3	L65x6 & L50x4	1.50

ตารางที่ 3.2 รัศมีไจเรชั่น ของชิ้นงานทดสอบ

CASE	ประเภท	พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	รัศมีไจเรชั่นรอบ แกน v-v (cm.)
1	L65x6	7.53	1.271
2	L65x6 & FB50x6	13.53	1.212
3	L65x6 & Bracing	7.53	1.271
4	L65x6 & L50x4	11.42	3.028





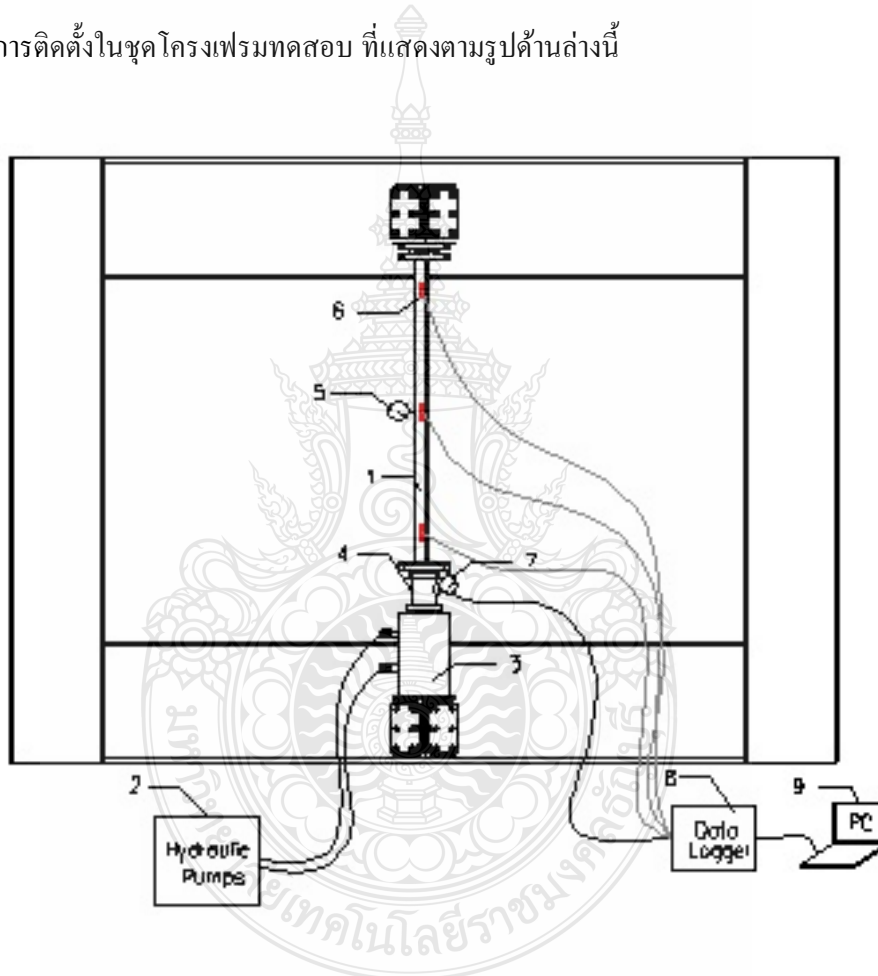
รูปที่ 3.1 หน้าตัดชิ้นงานทดสอบ (ก) L65x6 ก่อนเสริมความแข็งแรง, (ข) L65x6 เสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็ก, (ค) L65x6 เสริมความแข็งแรงโดยการเพิ่มค้ำยันด้านข้าง, (ง) L65x6 เสริมความแข็งแรงโดยการเพิ่มเหล็กฉากขาเท่า

3.2.2.1 วิธีการดำเนินงาน ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดในชิ้นงานทดสอบซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มการทดสอบได้ดังนี้

- 1) Case 1 หากำลังรับแรงอัดสูงสุด กรณีก่อนเสริมความแข็งแรงของเหล็กฉากเดี่ยวขาเท่า L65x6
- 2) Case 2 หากำลังรับแรงอัดสูงสุด กรณีเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็ก (Flat Bar) ขนาด FB50x6 (L65x6 -FB) โดยทำการประกบแผ่นเหล็ก ที่ด้านนอกของปีกเหล็กฉาก และยึดด้วยสลักเกลียวขนาด 12 มิลลิเมตร ทุกระยะ 20 เซนติเมตร
- 3) Case 3 หากำลังรับแรงอัดสูงสุด กรณีเสริมความแข็งแรงโดยการเสริมค้ำยัน L65x6 (L65x6 -BR) โดยเสริมค้ำยันด้วยเหล็กฉาก L40x3 ที่ระยะกึ่งกลางความยาวชิ้นงานทดสอบ (L = 75 เซนติเมตร) และคาดด้านในให้โครงสร้างเป็นสามเหลี่ยมพร้อมยึดด้วยสลักเกลียว 12 มิลลิเมตร

4) Case 4 หากำลังรับแรงอัดสูงสุด กรณีเสริมความแข็งแรงด้วยการเสริมเหล็กฉากขาเท่ากับ L50x4 ประกับเข้ากับโครงหลัก (L65x6 -L) โดยหันด้านสันของเหล็ก L50x4 ประกับเข้ากับเหล็ก L65x6 โดยใช้สลักเกลียวและแผ่นเหล็กฉากบาทยึดทุกๆ ระยะ 27.5 เซนติเมตร โดยประมาณที่ปีกทั้ง 2 ด้านของเหล็กฉาก

จัดทำชิ้นงานทดสอบตาม Case ข้างต้น เพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยทำการติดตั้งในชุดโครงเฟรมทดสอบ ที่แสดงตามรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ ประกอบการทดสอบ

- (1) ชิ้นงานทดสอบ, (2) ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pumps), (3) กระบอกไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinders), (4) Load Cell, (5) เกจวัด การ โกงตัวด้านข้าง (LVDT), (6) เกจวัดการยืดตัว (Strain gage), (7) เกจวัดการเคลื่อนที่ด้านล่าง (LVDT), (8) เครื่องแปลงข้อมูล (Data Logger), (9) เครื่องคอมพิวเตอร์

3.2.2.2 วิธีติดตั้งอุปกรณ์ และการทดสอบ

- 1) ตัดชิ้นงานทดสอบตามขนาดระบุทั้ง 4 ชุดทดสอบ
- 2) กำหนดตำแหน่งติดเกจวัดการยืดตัว (Strain Gage) เพื่อวัดการยืดตัวของชิ้นงาน ขณะทดสอบที่ตำแหน่ง 30, 75, 120 เซนติเมตร วัดจากปลายล่างของชิ้นทดสอบ
- 3) ประกอบกระบอกลไฮดรอลิกเข้ากับ โครงเฟรมทดสอบ
- 4) ติดตั้ง Load Cell ที่ด้านบนของกระบอกลไฮดรอลิก พร้อมต่อสายส่งสัญญาณเข้าสู่ Data Logger
- 5) ติดตั้งชุดฐานรองรับแบบยึดหมุน (Pin Support) ที่ด้านบน Load Cell และที่ด้านบนของโครงเฟรมทดสอบ
- 6) นำชิ้นงานทดสอบประกอบเข้ากับชุดเฟรม ที่เตรียมการติดตั้งตามข้อที่ 3-5 ต่อจากนั้นเปิดเครื่องไฮดรอลิก คำนวณให้กระบอกลยกสูงขึ้นเพื่อให้ ชิ้นงานสบกับฐานรองรับด้านบนพอดี พร้อมปรับให้ชิ้นงานอยู่ในแนวตั้ง
- 7) ติดตั้งเกจวัดการโก่งตัว (Deflection gage) ด้านล่างและที่กึ่งกลางของระยะไว้ค้ำยัน เพื่อวัดการโก่งตัว
- 8) ต่อสายส่งสัญญาณของ Strain gage, Deflection gage, Load cell เข้ากับ Data Logger ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อแปลงข้อมูล และแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์
- 9) บันทึกผลการทดสอบของ กำลังรับแรงอัดสูงสุด (P_{max}), การยืดตัวของ Strain gage (ϵ), การโก่งตัวด้านข้างของ โครงสร้างแต่ละรูปแบบเพื่อเป็นข้อมูล ใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณตามทฤษฎี พร้อมทั้งทำการทดสอบกำลังทางกล (Tensile Stress) ของเหล็กgrupพรรณ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการอ้างอิง

โดยทั่วไปการใช้เหล็กgrupพรรณชนิดเหล็กฉากของ โครงสร้างประเภท โครงข้อหมุน มักนิยมใช้เป็นที่ โครงสร้างหลัก (Main Member) และ โครงสร้างรอง (Secondary Member) ซึ่งการเชื่อมต่อกันของ โครงข้อหมุนที่ใช้เหล็กฉากนี้ นิยมใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึด โดยยึดต่อปลายขาเดือด้วยหมุดย้ำหรือสลักเกลียวส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดสุทธิ สำหรับการรับกำลังของเหล็กฉาก จะเท่ากับพื้นที่สุทธิของขาเหล็กด้านต่อปลายรวมกับครึ่งหนึ่งของพื้นที่ขาที่ไม่มี การต่อปลาย ตัวอย่าง โครงสร้างประเภทนี้ได้แก่ โครงหลังคา และชิ้นส่วนค้ำยันต่างๆ แต่ในงาน

โครงสร้างเสาโทรคมนาคมนั้นนิยมใช้เหล็กฉากขาเท่า เป็นโครงสร้างหลักในส่วนขาเสา (Main Leg) และชิ้นส่วนรองในโครงสร้างทะแยง (Diagonal Member), โครงสร้างแนวนอน (Horizontal Member) และชิ้นส่วนถักค้ำยันด้านใน (Inner Bracing) ซึ่งในชิ้นส่วนรองนั้น จะเชื่อมเหล็กฉากเข้ากับโครงสร้างหลัก ด้วยสลักเกลียวหรือหมุดย้ำเพียงด้านเดียว แต่ในโครงสร้างขาเสา การเชื่อมต่อขาเสาเหล็กฉาก ใช้สลักเกลียวยึดที่ปีกทั้ง 2 ด้านของเหล็กฉากแบบวิธีต่อชนหรือวิธีต่อทาบ ทำให้การรับกำลังของเหล็กฉากจะรับเต็มพื้นที่หน้าตัดในกรณีชิ้นส่วนรับแรงกดอัด และเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิหักลบรูเจาะในชิ้นส่วนรับแรงดึง เช่นเดียวกับงานวิจัยฉบับนี้ที่มุ่งเสริมความแข็งแรงของส่วนโครงสร้างเสาโทรคมนาคม ดังนั้นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบขณะทดสอบนั้น จึงใช้แรงกระทำกับพื้นที่หน้าเต็มหน้าตัด ของเหล็กฉากชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.3 ฐานรองรับแบบยึดหมุด (Pin Support)

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาการเสริมความแข็งแรงของเสาโทรมนาคมนชนิดเสาเหล็กฉากขาเท่า โดยวิธีการเพิ่มหน้าตัด และการเสริมค้ำยันนี้ ผู้จัดทำแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาโดยการวิเคราะห์โครงสร้างเสาโทรมนาคมนโมเดลต้นแบบพร้อมกำหนดวิธีการเสริมความแข็งแรงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการศึกษาพฤติกรรมและกำลังการรับแรงที่เกิดขึ้นจริง โดยการจำลองชิ้นงานทดสอบซึ่งสามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเดลเสาต้นแบบด้วยโปรแกรม TNX.TOWER

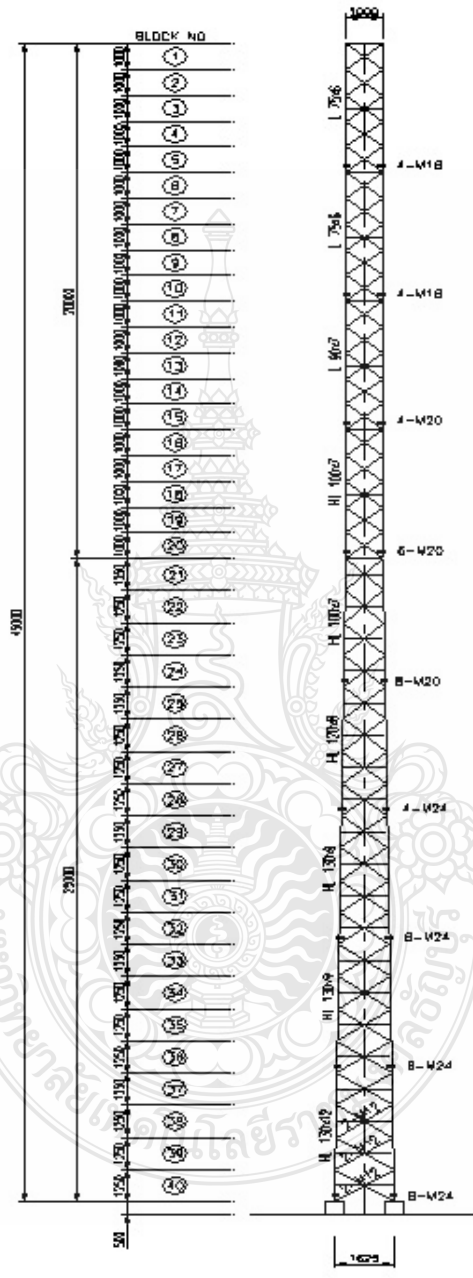
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาโมเดลต้นแบบด้วยโปรแกรม TNX.TOWER สามารถแสดงตำแหน่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างภายในชิ้นส่วน และตำแหน่งจุดต่อต่างๆ ได้ดังนี้

4.1.1 ความเสียหายส่วนโครงสร้างเหล็กเสาใน Block 14-15, Block 19-20, Block 21-24, Block 25-28, Block 29-32, Block 33-36 และ Block 38-40

4.1.2 ความเสียหายของจุดต่อส่วนขาเสาในช่วง Block 10, 15, 20, 24, 28, 32, 36, 40

4.1.3 ความเสียหายของจุดต่อส่วนค้ำยันด้านข้างใน Block 33-36 และ Block 38-40

4.1.4 ความเสียหายของจุดต่อส่วนค้ำยันทะแยงใน Block 10-37



รูปที่ 4.1 โครงสร้างเสาโทรคมนาคมความสูง 45 เมตร Type NV โมเดลต้นแบบ บริษัทเคเค-ซีโนไทยเอ็นเจเนียร์ริงจำกัด

4.2 วิเคราะห์ความเหมาะสมของการเสริมความแข็งแรง

เมื่อพิจารณาความเสียหายของโครงสร้างเสาโทรมขนาดต้นแบบหลังการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มสามารถแบ่งความเสียหายของโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วนคือ ความเสียหายของเหล็กโครงสร้างบริเวณส่วนขาเสา และความเสียหายที่เกิดกับส่วนข้อต่อ ซึ่งสามารถแยกวิธีในการเสริมความแข็งแรงได้ดังนี้

4.2.1 ความเสียหายของโครงสร้างเหล็กขาเสา

เลือกทำการเสริมความแข็งแรงด้วย การเพิ่มหน้าตัด หรือวิธีการเสริมค้ำยันด้านข้าง ซึ่งก่อนการเลือกวิธีในการเสริมจำเป็นต้องทราบข้อจำกัดของแต่ละวิธี เนื่องจาก การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเสานั้นจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบด้านอื่นนอกเหนือจากการเพิ่มความสามารถในการรับกำลัง ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าแรงที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมความแข็งแรงให้แก่เหล็กโครงสร้างที่อ้างอิงตามมาตรฐาน AISC แล้วนั้น ผู้ศึกษาสามารถทำการสรุปข้อดีและข้อด้อยของแต่ละวิธีได้ดังนี้

4.2.1.1 วิธีประกบแผ่นเหล็กบาง (Flat Bars) ข้อดีเป็นการเพิ่มพื้นที่รับแรงกดอัดแก่โครงสร้างโดยตรงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น และไม่เพิ่มพื้นที่ปะทะลมให้แก่โครงสร้าง ข้อเสียคือการจับยึดระหว่างโครงสร้างเดิมและแผ่นเหล็กประกบ ต้องทำการเจาะยึดสลักเกลียวทุกๆ ระยะไม่เกิน 30 เซนติเมตร อ้างอิงตามมาตรฐาน AISC 89 เรื่องหน้าตัดประกอบ (Built-Up Member) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การรับแรงดึงของโครงสร้างและในขั้นตอนก่อสร้างต้องใช้ผู้มีประสบการณ์

4.2.1.2 วิธีประกบเหล็กฉากคู่ (Double Angle) ข้อดีคือเพิ่มพื้นที่รับแรงอัดให้แก่โครงสร้างโดยตรง แต่ข้อเสียคือเพิ่มพื้นที่ปะทะลมให้แก่โครงสร้างส่งผลให้โครงสร้างรับภาระของแรงลมที่กระทำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างเกิดการบิดตัวเพิ่ม ซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างโดยรวมโดยในการปฏิบัติงานต้องเจาะยึดสลักเกลียวทุกๆ ระยะไม่เกิน $40 \cdot r_{\min}$ อ้างอิงตามมาตรฐาน AS 3995-1994 ขึ้นส่วนขาเสาเหล็กประกอบ (Compound leg member)

4.2.1.3 วิธีเสริมค้ำยัน (Bracing) ข้อดีของวิธีนี้คือ ความสะดวกในขั้นการก่อสร้าง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเจาะยึดระหว่างโครงสร้างเดิมและ โครงสร้างส่วนเสริมความแข็งแรงมากเหมือนใน 2 วิธีแรก แต่ข้อจำกัดในการเสริมด้วยวิธีนี้คือ ให้ค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นไม่สูงดั่งนั้นเหมาะกับการเสริมในบริเวณที่ต้องการเพิ่มกำลังไม่มากนัก และต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งค้ำยัน

4.2.2 ความเสียหายของจุดต่อ

การเสริมความแข็งแรงให้แก่จุดต่อต่างๆในแต่ละชั้นส่วนนั้น ในการศึกษาครั้งนี้เลือกทำการปรับเกรดของสลักเกลียวเป็นลำดับแรก หากค่ากำลังของสลักเกลียวยังไม่สามารถรับแรงกระทำที่เกิดขึ้นจริงได้ จึงทำการเพิ่มจำนวนของสลักเกลียวเป็นลำดับต่อไป

4.3 ผลการเสริมความแข็งแรงโมเดลเสาต้นแบบ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างเสาโทรคมนาคมต้นแบบด้วยโปรแกรม TNX.TOWER พร้อมพิจารณาความเหมาะสมกับโครงสร้างโดยรวม สามารถเลือกวิธีในการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างเสาโทรคมนาคมต้นแบบได้ดังนี้

4.3.1 การเสริมความแข็งแรงส่วนหลักโครงสร้าง

เมื่อทำการพิจารณาระบบโครงสร้างโดยรวมแล้ว สามารถเลือกวิธีการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างแต่ละจุดได้ดังตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 4.1 การเสริมความแข็งแรงโครงสร้างหลักเสาโทรคมนาคมต้นแบบ

Block No.	Block Type	Block Height (m.)	Before Reinforce	Reinforced Type	Add. Size
14-15	X Bracing	1.00	L90x7	& Flat Bars	FB 65x6
19-20	X Bracing	1.00	HL100x7	& Bracing	L40x3
21-24	Double K	1.25	HL100x7	& Flat Bars	FB 75x12
25-28	Double K	1.25	HL120x8	& Flat Bars	FB 100x9
29-32	Double K	1.25	HL130x9	& Flat Bars	FB 100x9
33-36	Double K	1.25	HL130x9	& Flat Bars	FB 125x12
38-40	Double K	1.25	HL130x12	& Flat Bars	FB 125x12

4.3.2 การเสริมความแข็งแรงจุดต่อ

สำหรับในส่วนของจุดต่อของโครงสร้างนั้น สามารถแบ่งวิธีการเสริมความแข็งแรงของจุดต่อของโครงสร้างขาเสาและจุดต่อโครงสร้างค้ำยันได้ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 4.2 การเสริมความแข็งแรงจุดต่อขาเสา (Leg Member)

Block No.	After Reinforcement			Type	Shear
	Size	Grade	Number of Bolt	SS/DS	Plan.
10	16	8.8	4	SS	1
15	20	8.8	4	SS	1
20	20	8.8	6	SS	1
24	20	8.8	8	SS	1
28	24	9.8	6	SS	1
32	24	9.8	8	SS	1
36	24	9.8	8	SS	1
40	24	9.8	10	SS	1

ตารางที่ 4.3 วิธีการเสริมความแข็งแรงจุดต่อก้านด้านข้าง (Horizontal Member)

Block No.	After Reinforcement			Type	Shear
	Size	Grade	Number of Bolt	SS/DS	Plan.
33	12	8.8	1	SS	1
34	12	8.8	1	SS	1
35	12	8.8	1	SS	1
36	12	8.8	1	SS	1
38	12	8.8	1	SS	1
39	12	8.8	1	SS	1
40	12	8.8	1	SS	1

ตารางที่ 4.4 วิธีการเสริมความแข็งแรงจุดต่อค้ำทะแยง (Diagonal Member)

Block		After Reinforcement			Type	Shear
No.	Size	Grade	Number of Bolt	SS/DS	Plan.	
10	12	8.8	1	SS	1	
.	
.	
.	
37	12	8.8	1	SS	1	

จากการศึกษาพบว่า วิธีที่เหมาะสมกับการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างเสาโทรคมนาคมต้นแบบความสูง 45 เมตร Type NV คือวิธีเสริมค้ำยันด้านข้าง และวิธีเสริมหน้าตัด โดยการประกบเหล็กแผ่นบาง (Flat Bars) ซึ่งผลจากการเสริมทำให้โครงสร้างสามารถรองรับกำลังที่เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งอุปกรณ์ โดยโครงสร้างหลังเสริมความแข็งแรงนอกจากจะสามารถรองรับภาระแรงที่เกิดขึ้นได้แล้ว หลังการเสริมความแข็งแรงค่าการบิดตัว (Twist) และการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Side Sway) ของโครงสร้างยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีค่าไม่เกิน 5° ถือว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ ส่วนวิธีการเสริมเหล็กฉากคู่ (Double Angle) ไม่เหมาะสมกับโครงสร้าง เนื่องจากวิธีในการเสริมนี้ เพิ่มพื้นที่ปะทะลมให้แก่โครงสร้าง ส่งผลให้โครงสร้างรับภาระของแรงกระทำที่ปะทะกับเหล็กโครงสร้างมากขึ้น เสาเกิดการส่ายตัว จนเกินกว่าค่าที่ยอมให้ ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างเสาแบบนี้

4.4 ผลการทดสอบชิ้นงานทดสอบ

เพื่อเป็นการยืนยันพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างที่เกิดจากการเสริมความแข็งแรงตามสมมติฐานข้างต้นนั้น ผู้จัดทำจึงทำการทดสอบหาค่ากำลังการรับแรงอัดที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการเสริมความแข็งแรงตามวิธีการทั้ง 3 วิธีดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบแนวโน้มพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างจริง และผลจากการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีการออกแบบตามมาตรฐาน AISC ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 พื้นที่หน้าตัดและรัศมีไจเรชั่น ของชิ้นงานทดสอบ

CASE	ชั้นที่	ประเภท	สัญลักษณ์	พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	รัศมีไจเรชั่น (cm.)
1	1	L65x6	L65x6	7.53	1.271
2	1	L65x6 & FB50x6	L65x6 -FB	13.53	1.212
3	1	L65x6 & Bracing	L65x6 -BR	7.53	1.271
4	1	L65x6 & L50x4	L65x6 -L	11.42	3.028

จากตารางที่ 4.5 แสดงวิธีการเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็กบาง (Flab bar) ใน Case 2 ให้พื้นที่หน้าตัดสูงที่สุด แต่ใน Case 4 การเสริมด้วยเหล็กฉากนั้นให้ค่ารัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดแปลงที่สูงที่สุด

ตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดก่อนเสริมความแข็งแรง Case 1:L65x6

CASE	ชั้นที่	ขนาด ชั้นทดสอบ	กำลังรับแรงอัด สูงสุดจากการทดสอบ P _{max} (t)	กำลัง รับแรงอัดเฉลี่ย P _{avg} (t)
	1	L65x6	18.03	
1	2	L65x6	15.96	15.92
	3	L65x6	13.76	



(ก)



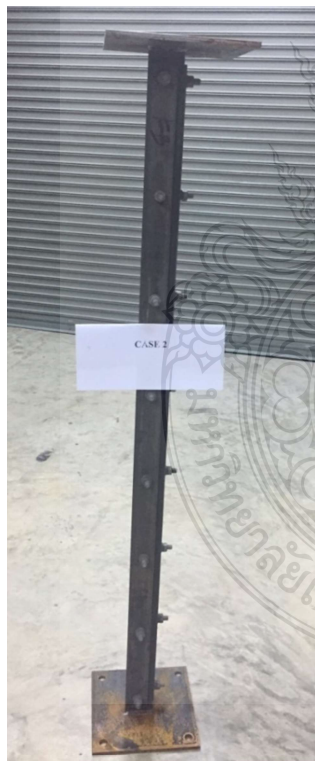
(ข)

รูปที่ 4.2 ชันทดสอบ Case 1:L65x6 (ก) ชันทดสอบ L65x6 ก่อนการทดสอบ และ
(ข) การเสียรูปของชันทดสอบ L65x6

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการรับกำลังกดอัดของชันทดสอบใน Case 1:L65x6 ก่อนการเสริมความแข็งแรง ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยจากการทดสอบมีค่า 15.92 ตัน ซึ่งสามารถแสดงชันทดสอบและลักษณะการเสียรูปหลังการทดสอบในรูปที่ 4.2 ในรูป (ก) และ (ข) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาลักษณะการโก่งตัวของชันทดสอบ L65x6 พบว่าการโก่งตัวสูงสุดของชันทดสอบหลังการรับแรงกดอัดเกิดการโก่งตัวรอบแกน v-v ซึ่งเป็นแกนที่มีความอ่อนแอที่สุดของเหล็กฉากโดยจะเกิดการโก่งตัวมากที่สุดในตำแหน่งกึ่งกลางของความสูงชันทดสอบ ในที่นี้อยู่ที่ระยะ 75 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.7 กำลังรับแรงอัดด้วยการเสริมเหล็กแผ่นบาง Case 2:L65x6 –FB

CASE	ชั้นที่	ขนาด ชั้นทดสอบ	กำลังรับแรงอัด	
			สูงสุดจากการ ทดสอบ P _{max} (t)	กำลัง รับแรงอัดเฉลี่ย P _{avg} (t)
	1	L65x6 -FB	21.52	
2	2	L65x6 -FB	20.19	20.59
	3	L65x6 -FB	20.06	



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 ชิ้นงานทดสอบ Case 2:L65x6 –FB (ก) ชิ้นงานทดสอบ L65x6 -FB ก่อนการทดสอบ และ (ข) การเสียรูปของชิ้นทดสอบ L65x6 -FB

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของการเสริมความแข็งแรงให้แก่
 ชั้นงานทดสอบ โดยวิธีประทับด้วยเหล็กแผ่นบาง Flat Bars ตาม Case 2 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย
 มีค่า 20.59 ตัน การโก่งตัวสูงสุดเกิดที่ระยะกึ่งกลางของความยาวชั้นทดสอบรอบแกน v-v
 เช่นเดียวกับใน Case 1

ตารางที่ 4.8 กำลังรับแรงอัดด้วยการเสริมค้ำยัน Case 3:L65x6 -BR

CASE	ชั้นที่	ขนาด ชั้นทดสอบ	กำลังรับแรงอัด	
			สูงสุดจากการ ทดสอบ P _{max} (t)	กำลัง รับแรงอัดเฉลี่ย P _{avg} (t)
	1	L65x6 -BR	19.56	
3	2	L65x6 -BR	20.26	20.18
	3	L65x6 -BR	20.73	

กำลังรับแรงอัดของชั้นทดสอบโดยการเสริมค้ำยันด้านข้าง (Bracing) นี้ได้ผลการทดสอบ
 ดังแสดงใน ตารางที่ 4.8 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 20.18 ตัน ซึ่งลักษณะการเสียรูปสามารถแสดงได้ดัง
 รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการโก่งตัวสูงสุดอยู่ที่ $\frac{1}{4}$ ของความยาวชั้นงานทดสอบ หรือที่ระยะ
 $\frac{1}{2}$ ของความยาวไว้การค้ำยัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 ชั้นงานทดสอบ Case 3:L65x6 -BR (ก) ชั้นงานทดสอบ L65x6 -BR ก่อนการทดสอบ และ (ข) การเสียรูปของชั้นทดสอบ L65x6 -BR

ตารางที่ 4.9 กำลังรับแรงอัดด้วยการเสริมเหล็กฉากคู่ Case 3:L65x6 -L

CASE	ชั้นที่	ขนาด ชั้นทดสอบ	กำลังรับแรงอัด	กำลัง รับแรงอัดเฉลี่ย
			สูงสุดจากการ ทดสอบ P _{max} (t)	
4	1	L65x6 -L	29.52	30.07
	2	L65x6 -L	30.95	
	3	L65x6 -L	29.72	

จากตารางที่ 4.9 แสดงกำลังการรับแรงอัดของชิ้นงานทดสอบเมื่อเสริมความแข็งแรง โดยวิธีเหล็กฉากคู่ โดยกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยจากการทดสอบมีค่า 30.07 ตัน การโก่งตัวสูงสุด แสดงได้ดัง รูปที่ 4.5 เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งกึ่งกลาง ของความยาวชิ้นงานทดสอบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 ชิ้นงานทดสอบ Case 4:L65x6 -L (ก) ชิ้นงานทดสอบ L65x6 -L ก่อนการทดสอบ และ (ข) การเสียรูปของชิ้นทดสอบ L65x6 -L

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบ กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณขนาด L65x6 หลังเสริมความแข็งแรง

CASE	ชั้นที่	พื้นที่หน้าตัด cm ²	อัตราส่วน ความขะลูด KL/r	กำลังรับแรงอัด จากการทดสอบ Pmax (t)	กำลัง รับแรงอัดเฉลี่ย P _{avg} (t)
1	1	7.53	118.11	18.03	
	2	7.53	118.11	15.96	15.92
	3	7.53	118.11	13.76	
2	1	13.53	123.76	21.52	
	2	13.53	123.76	20.19	20.59
	3	13.53	123.76	20.06	
3	1	7.53	59.06	19.56	
	2	7.53	59.06	20.26	20.18
	3	7.53	59.06	20.73	
4	1	11.42	98.46	29.52	
	2	11.42	98.46	30.95	30.07
	3	11.42	98.46	29.72	

จากตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการรับกำลังที่เพิ่มขึ้นของเหล็ก L65x6 หลังการเสริมความแข็งแรง ทั้ง 3 รูปแบบนั้น จะเห็นได้ว่า เหล็กฉากที่เสริมความแข็งแรงด้วย L65x6 -L ใน Case 4 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยหลังเสริมความแข็งแรงสูงสุด สามารถรับแรงอัดสูงสุดหลังการเสริมความแข็งแรงเฉลี่ยที่ 30.07 ตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 88.93 ของกำลังรับแรงอัดก่อนเสริมความแข็งแรง ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นการเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็กบาง (FB 50x6) ใน Case 2 ซึ่งให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของการรับแรงอัดอยู่ที่ ร้อยละ 29.38 ของกำลังรับแรงอัดก่อนเสริมความแข็งแรง และวิธีการเสริมความแข็งแรงด้วยการเพิ่มค้ำยันเพื่อลดอัตราความขะลูด L65x6 -BR ให้ค่าการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับใน Case ที่ 2 กล่าวคือ เพิ่มขึ้นร้อยละ

26.79 ของกำลังรับแรงอัดเดิมของเหล็ก L65x6 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กับการวิเคราะห์กำลังรับแรงอัดของโครงสร้างตามมาตรฐาน AISC ตามวิธี ASD ซึ่งเมื่อพิจารณา สมการที่ (2.2) และ (2.3) จะเห็นได้ว่า หน่วยแรงอัดวิกฤต (critical stress) จะแปรผกผันกับค่าอัตราส่วนชะลูด และแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของส่วนโครงสร้างรับแรงอัด

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชุดตัวอย่าง สามารถเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดที่ชิ้นทดสอบรับได้จริงจากการทดสอบ เทียบกับการคำนวณกำลังรับแรงอัดสูงสุดตามมาตรฐาน AISC มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบ ค่ากำลังรับแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการคำนวณ ได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุด จากการทดสอบเทียบกับกำลังรับแรงอัดสูงสุด จากการวิเคราะห์ตามทฤษฎี

CASE	ชิ้นทดสอบ	รัศมีไจเรชัน (cm.)	พื้นที่หน้าตัด cm ²	อัตราส่วน ชะลูด KL/r	กำลังรับแรงอัด ตามทฤษฎี Py (t)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับ แรงอัดทดสอบ P _{avg} (t)	P _{avg} / Py
1	L65x6	1.271	7.53	118.11			
	L65x6	1.271	7.53	118.11	10.54	15.92	1.51
	L65x6	1.271	7.53	118.11			
2	L65x6 -FB	1.212	13.53	123.76			
	L65x6 -FB	1.212	13.53	123.76	17.63	20.59	1.17
	L65x6 -FB	1.212	13.53	123.76			
3	L65x6 -BR	1.271	7.53	59.06			
	L65x6 -BR	1.271	7.53	59.06	16.16	20.18	1.25
	L65x6 -BR	1.271	7.53	59.06			
4	L65x6 -L	3.028	11.42	98.46			
	L65x6 -L	3.028	11.42	98.46	19.84	30.07	1.52
	L65x6 -L	3.028	11.42	98.46			

เมื่อพิจารณา ตารางที่ 4.11 จากการวิเคราะห์รูปแบบของความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์ ตามทฤษฎีแสดงให้เห็นว่าใน Case 2:L65x6 –FB พื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 79.68 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 67.27 สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของหน้าตัดต่อกำลังรับแรงอัด คือ 1:1.18 ในขณะที่ Case 4:L65x6 –L มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดร้อยละ 51.66 และการเพิ่มขึ้นของค่ารัศมีไจเรชั่น ร้อยละ 138.2 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดตามทฤษฎีมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 88.24 ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงอัด สูงที่สุด สาเหตุที่ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของหน้าตัดประกอบใน Case 4 สูงกว่าใน Case 2 นั้นเป็นผล จากค่ารัศมีไจเรชั่น กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติพบว่าพื้นที่หน้าตัดรวมของ Case 2 เป็น 1.18 เท่าของ Case 4 ในขณะที่ ค่ารัศมีไจเรชั่นของ Case 4 เป็น 2.38 เท่าของ Case 2 ผลต่างของกำลังรับ แรงอัดจากการวิเคราะห์ ของ Case 2 และ Case 4 คือ 2.21 ตัน ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของหน้าตัด ประกอบใน Case 4 จะเห็นได้ว่าพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น 3.89 cm² หากพิจารณาสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของ กำลังรับแรงอัดต่อพื้นที่หน้าตัดอ้างอิงตาม Case 2 แล้ว นั่นกำลังรับแรงอัดที่เกิดจาก การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดควรมีค่าเป็น 15.136 ตัน ส่วนกำลังอัดส่วนต่าง 4.403 ตัน นั้นเป็นผลของจากค่า รัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดแปลง

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตามทฤษฎีและผลจากการทำการทดสอบ กำลังรับแรงอัดที่เกิดขึ้นของชุดชิ้นงานทดสอบดัง ตารางที่ 4.11 นั้นพบว่า แนวโน้มของการรับกำลังมี ทิศทางเดียวกันกล่าวคือ กำลังของชิ้นงานทดสอบในชิ้นงานทดสอบ Case 4:L65x6 –L ให้ค่ากำลัง รับแรงอัดสูงสุดตามทฤษฎี รองลงมาคือ Case 2:L65x6 –FB และ Case 3:L65x6 –BR ตามลำดับ โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบ มีค่าสูงกว่าผลจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีเล็กน้อย และเมื่อ พิจารณาในรายละเอียดนั้นพบว่า อิทธิผลของการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดสำหรับรับแรงอัดนั้น มีผล น้อยกว่า การเพิ่มขึ้นของค่ารัศมีไจเรชั่น กล่าวคือใน Case 2:L65x6 –FB ให้ค่ากำลังรับแรงอัดทดสอบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 29.33 ของกำลังรับก่อนเสริมความแข็งแรง ในขณะที่ ผลการรับกำลังอัดหลังการเสริม ด้วย เหล็กฉาก ใน Case 4 นั้นให้ค่ากำลังรับแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 88.88 ซึ่งแสดงให้เห็น ค่ารัศมีไจเรชั่นนี้ เป็นตัวช่วยให้โครงสร้างด้านทานการ โกงเดาะขณะรับแรงกดอัดได้สูงขึ้นซึ่ง ในการเสริมความแข็งแรงแบบ L65x6 –L ของ Case 4 นี้ให้ค่ารัศมีไจเรชั่นรอบแกนที่เกิดการ โกงตัว มากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายสาเหตุได้ว่า เมื่อโครงสร้างรับแรงอัดจะเกิดการ โกงหรือ โกงตัวในขณะที่ รับแรง ดังนั้นชิ้นงานจึงต้องรับ โมเมนต์ดัด ค่ารัศมีไจเรชั่นนี้ ช่วยเสริมให้โครงสร้าง ทนต่อการ โกงตัว

ได้ ในขณะที่รับแรงจึงส่งผลให้รับแรงอัดได้ดียิ่งขึ้น เป็นให้ผลการทดสอบใน Case 4 ได้กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ส่วนการลดความยาวโดยเสริมค้ำยันด้านข้างตาม Case 3:L65x6 –BR นั้น ทำให้อัตราชะงักลดลงส่งผลให้ ชิ้นงานรับแรงกดอัดได้เพิ่มขึ้น ผลจากการทดสอบชิ้นงานทดสอบใน Case 3 นี้ แสดงให้เห็นว่าชิ้นค้ำยันจะช่วยให้โครงสร้างทนแรงโก่งงอในขณะที่รับแรงอัด สอดคล้องกับมาตรฐานในการออกแบบเสาโทรมนาคมที่กล่าวว่า ในชิ้นส่วนหลักที่ใช้เป็นค้ำยันด้านข้างของชิ้นส่วนขาเสา จะต้องมีความสามารถในการรับ แรงด้านข้าง (Lateral Force) ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 ของแรงอัดสูงสุดในชิ้นส่วนขาเสา ซึ่งเป็นผลให้ แรงอัดที่ชิ้นงานทดสอบใน Case 3 รับได้จริงจากการทดลองมีค่ามากกว่า กำลังรับแรงอัดที่ได้จากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีเล็กน้อย

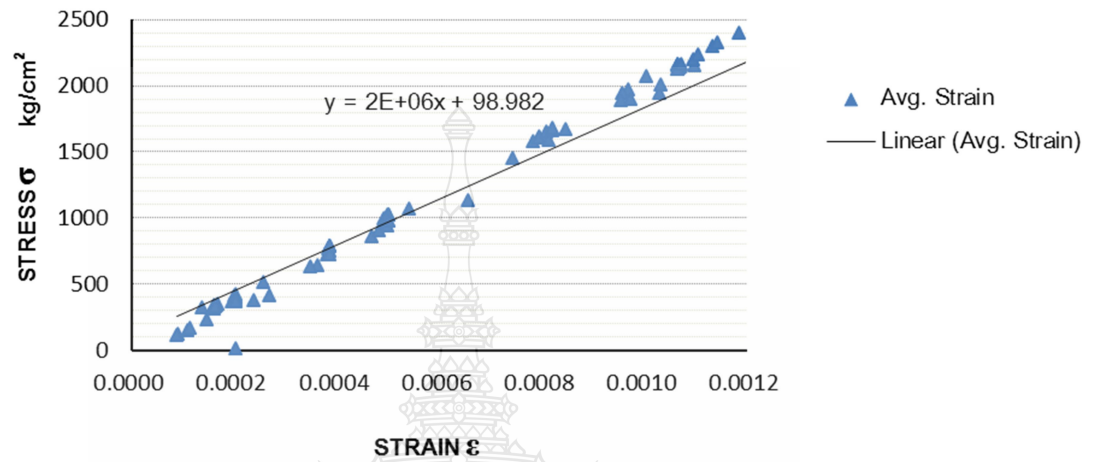
อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลให้ค่าที่ได้จากการทดสอบ มากกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี นั่นคือ ผลกระทบจากฐานรองรับชิ้นงาน ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว พฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วนที่ประกอบภายในเสา โทรมนาคมนั้นเป็นลักษณะจุดต่อแบบยึด ค่าตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลตามทฤษฎี $K = 1$ ซึ่งในการทดสอบ ผู้วิจัยได้จัดทำชุด ฐานรองรับแบบยึดหมุนเพื่อใช้ประกอบในโครงเฟรมทดสอบ แต่อย่างไรก็ตาม การทำให้ชุดฐานรองรับมีพฤติกรรมเข้าใกล้จุดรองรับแบบยึดหมุนตามอุดมคติ เพื่อให้เป็นไปตามทฤษฎีนั้น ไม่สามารถทำได้สมบูรณ์จริง ทำให้ฐานรองรับที่ใช้ในการทดสอบนี้มีพฤติกรรมกึ่งยึดหมุนผสมกับยึดแน่น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ในการทดสอบจริงนั้นชิ้นงานทดสอบรับกำลังได้สูงกว่ากำลังรับแรงอัดที่คำนวณตามทฤษฎี

จากผลการทดสอบสามารถนำค่า ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงกด,การยืดตัวของ Strain Gage ที่เกิดขึ้นแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) แยกตาม Case เพื่อแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ ดังนี้

STRESS - STRAIN DIAGRAM

CASE 1 : L65x6

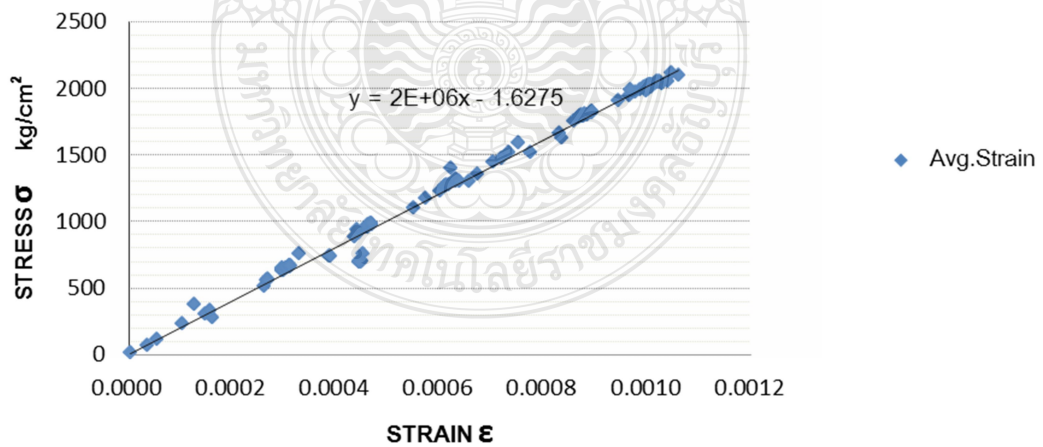
(SAMPLE 1)

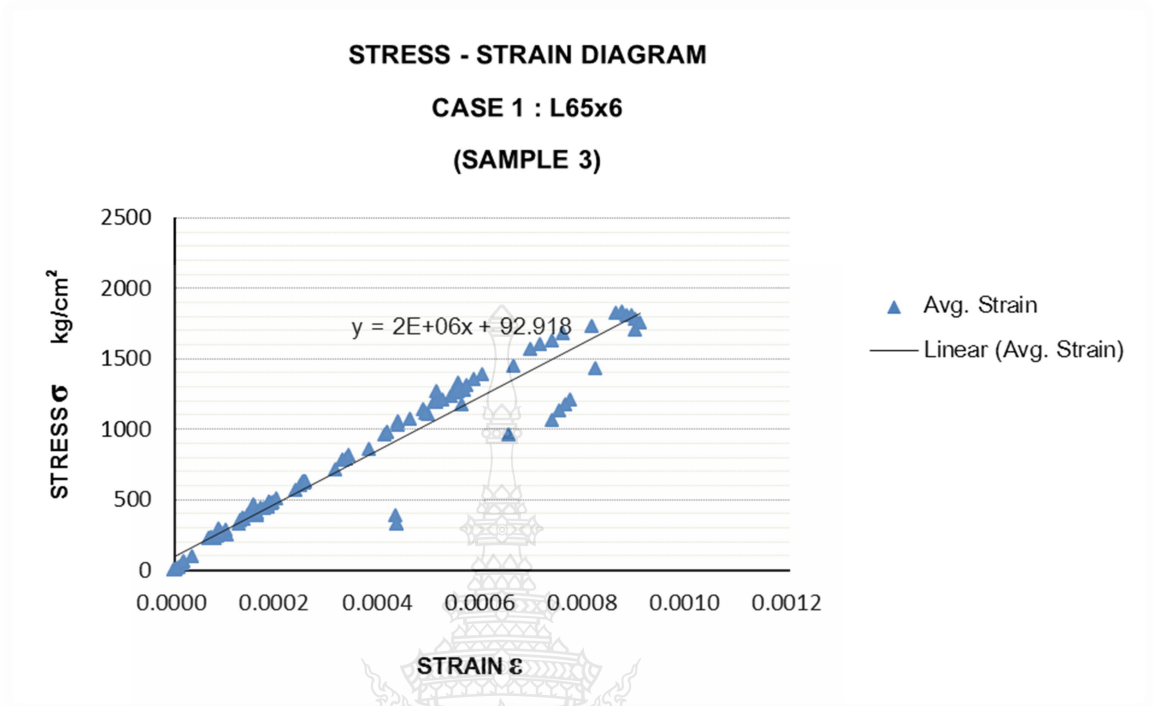


STRESS - STRAIN DIAGRAM

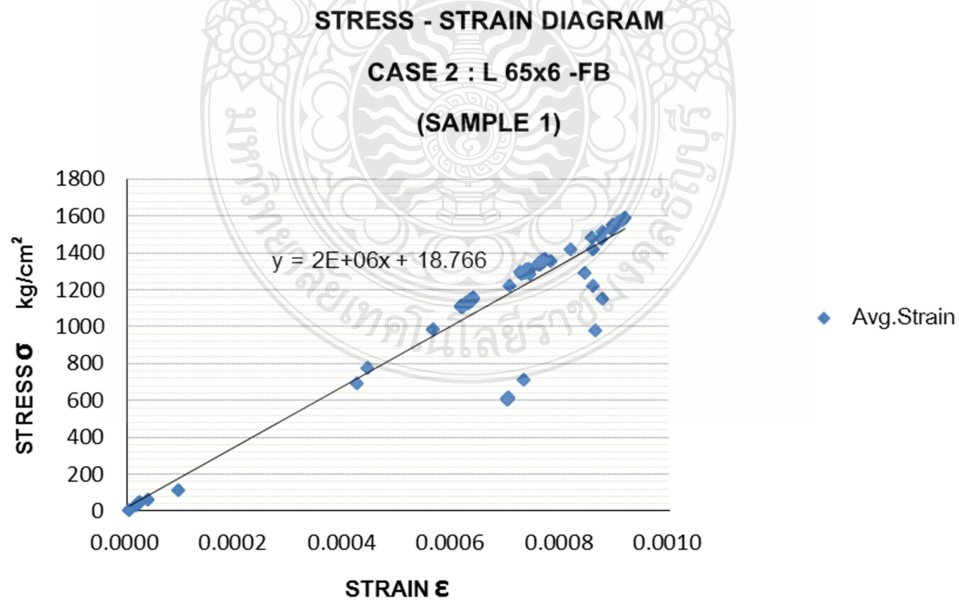
CASE 1 : L65x6

(SAMPLE 2)





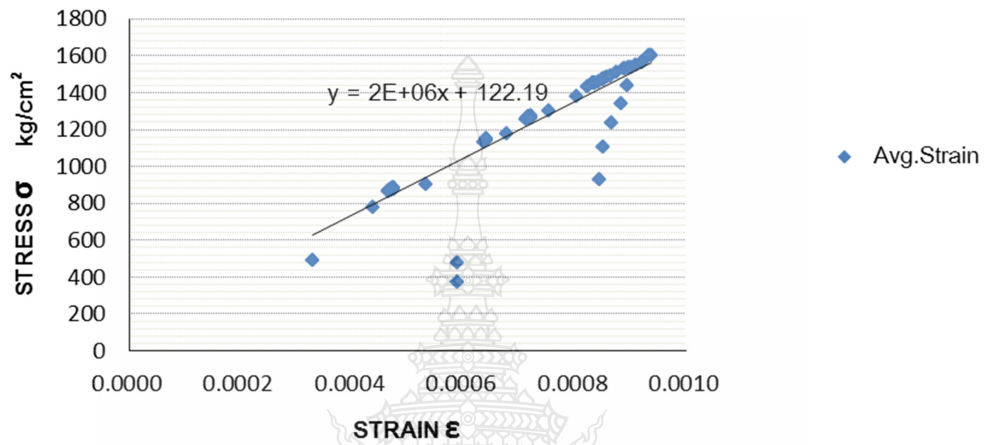
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain)
 ชุดทดสอบที่ 1 (Case 1: L65x6)



STRESS - STRAIN DIAGRAM

CASE 2 : L 65x6 -FB

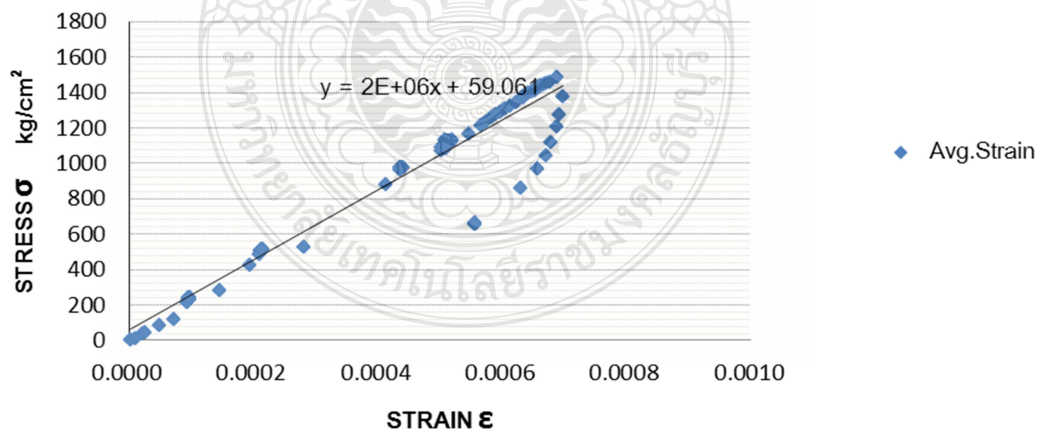
(SAMPLE 2)



STRESS - STRAIN DIAGRAM

CASE 2 : L 65x6 -FB

(SAMPLE 3)

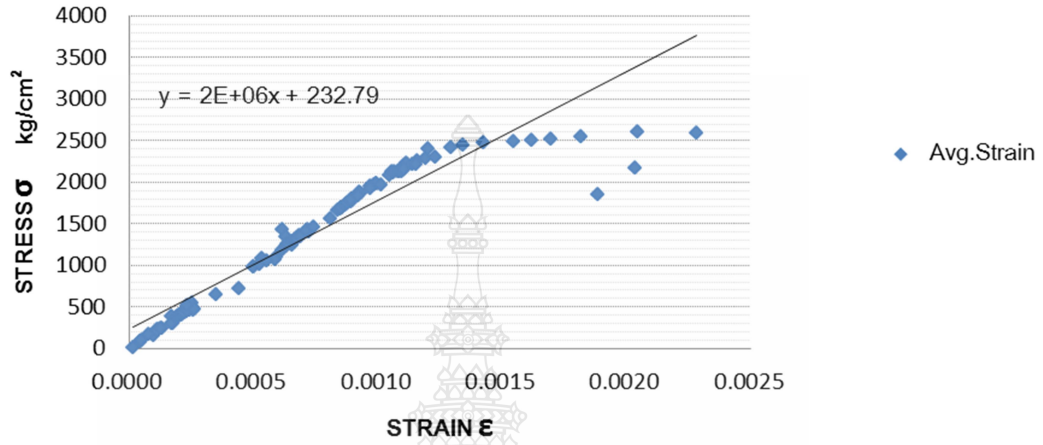


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain)
ชุดทดสอบที่ 2 (Case 2: L65x6 -FB)

STRESS - STRAIN DIAGRAM

CASE 3 : L 65x6 -BR

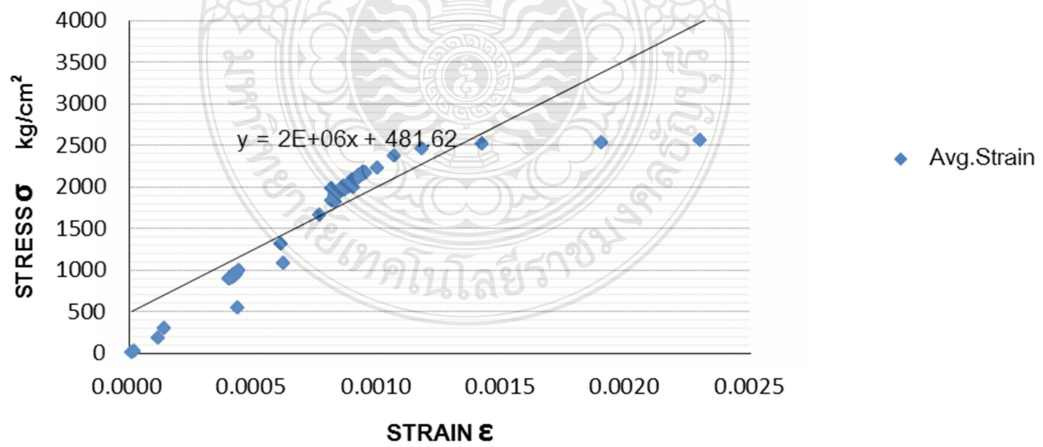
(SAMPLE 1)

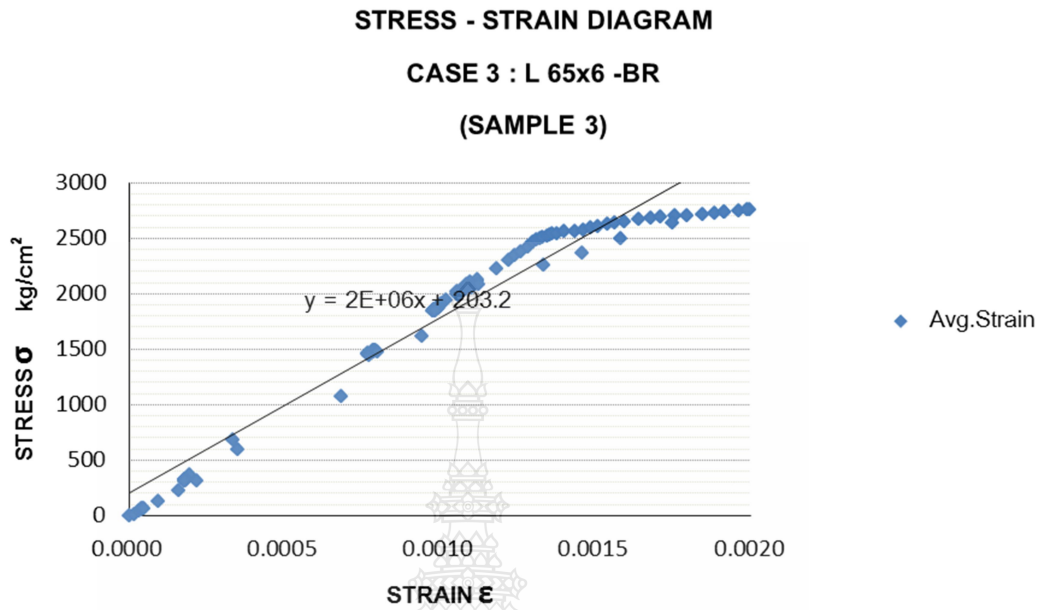


STRESS - STRAIN DIAGRAM

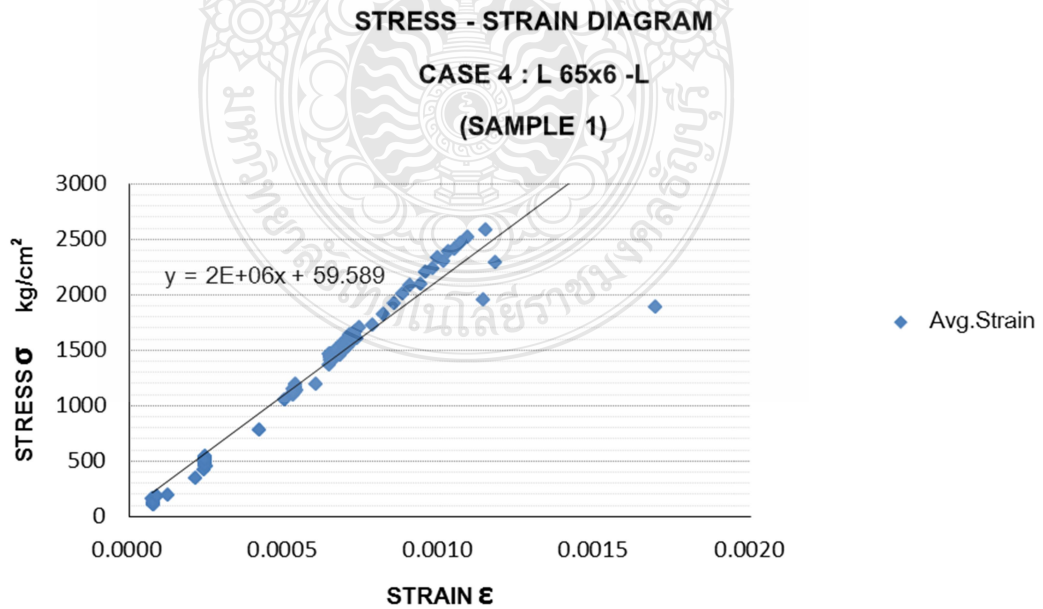
CASE 3 : L 65x6 -BR

(SAMPLE 2)





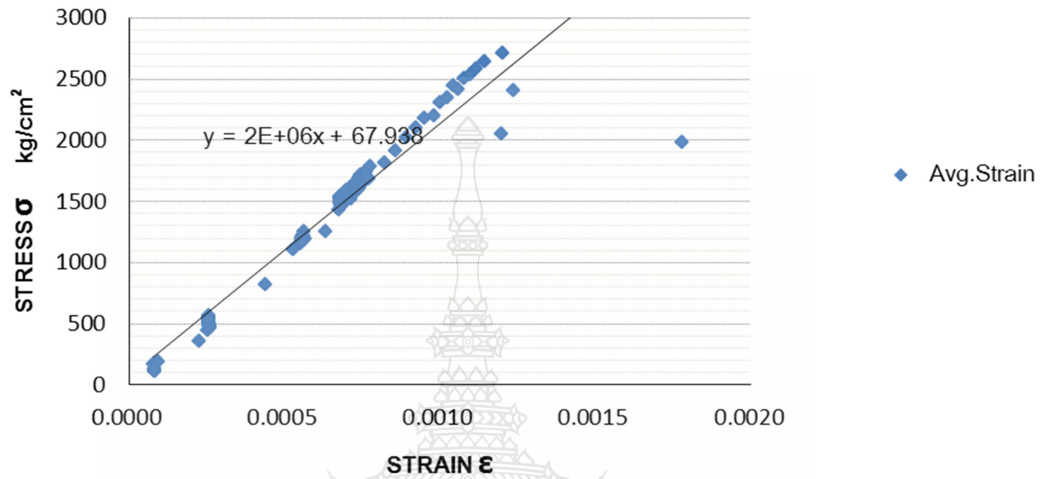
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain)
 ชุดทดสอบที่ 3 (Case 2:L65x6 -BR)



STRESS - STRAIN DIAGRAM

CASE 4 : L 65x6 -L

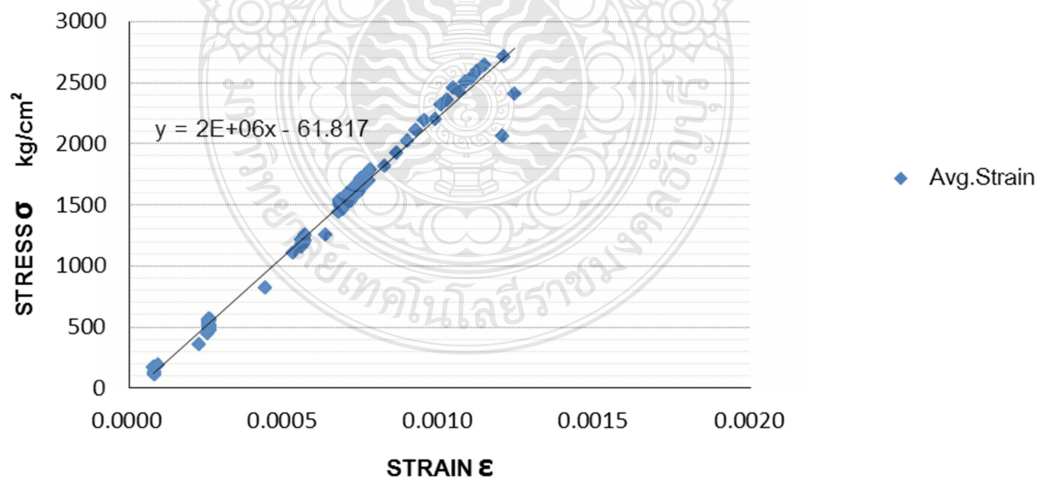
(SAMPLE 2)



STRESS - STRAIN DIAGRAM

CASE 4 : L 65x6 -L

(SAMPLE 3)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain)

ชุดทดสอบที่ 4 (Case 2:L65x6 -L)

รูปที่ 4.6 – 4.9 เป็นกราฟตัวแทนข้อมูลชุดทดสอบทั้ง 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดประกอบด้วย ชิ้นงานทดสอบ 3 ชิ้นตัวอย่าง ซึ่งผลจากการทดสอบกำลังในการรับแรงกดอัดที่เกิดขึ้น เมื่อนำ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดที่ชิ้นทดสอบรับได้ และการยืดตัวของเกจวัดการยืดตัว (Strain gage) ที่ติดตั้งบริเวณปีกของเหล็กจากชิ้นทดสอบเขียนกราฟความสัมพันธ์นั้น จากกราฟสามารถวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงกดอัดและการยืดตัวของชิ้นงานทดสอบได้ คือเมื่อให้แรงกระทำ กับชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานจะเกิดการโก่งตัวทำให้ผิวเหล็กยืดตัวเมื่อรับแรงกดอัด ซึ่งแรงกดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เหล็กเกิดการยืดตัวเพิ่มขึ้น ชิ้นงานจะสามารถรับแรงที่เพิ่มขึ้นนี้ได้จนถึง แรงกดวิกฤต ($P = P_{cr}$) ซึ่งชิ้นงานจะไม่สามารถรับแรงกดได้เพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงกดจะตกลง ในขณะที่เหล็ก เกิดการยืดตัวจนเสียรูป และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ซึ่งค่าความชันจากกราฟของทุกชุดงานทดสอบ มีค่า $m = 2 \times 10^6$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับ กฎของฮุก (Hook's Law) ที่กล่าวว่า ความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ความลาดชันของกราฟจะเท่ากับ E (Modulus of elasticity) ซึ่งผลจากการทดสอบให้ค่า $m = E = 2 \times 10^6$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ในการทำการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเกจวัดการโก่งตัว (Deflection Gage) ที่ตำแหน่ง กึ่งกลางของความยาวช่วงไร้การค้ำยัน ในที่นี้อยู่ที่ 75 เซนติเมตร โดยประมาณซึ่งใน Case 1, 2 และ 4 และสำหรับระยะ 37.5 เซนติเมตร ของ Case 3 ผลที่ได้นั้น ในช่วงแรก อัตราการเพิ่มขึ้น ของแรงกดและการโก่งตัว เป็นสัดส่วนกัน แต่เนื่องจากขนาดปีกเหล็กแคบ เมื่อการโก่งตัวของปีกเพิ่ม มากขึ้น ทำให้เข็มวัดการโก่งตัวหลุดจากปีกเหล็ก ในขณะที่เหล็กชิ้นงานยังสามารถรับแรงกดและ เกิดการโก่งตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าการโก่งที่วัดได้นี้ จึงไม่เป็นค่าที่ถูกต้อง ผู้ทดสอบจึงไม่นำมาพิจารณา ร่วมด้วย เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอที่จะอนุมานความสัมพันธ์ได้อย่างแน่ชัด เช่นเดียวกับเกจวัด การเคลื่อนตัวในแนวตั้ง ซึ่งผู้ทดสอบติดตั้งไว้ที่ ด้านฐานล่างเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง เมื่อกระบอกไฮดรอลิกให้แรงกดอัดแก่ชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานจะถูกดันขึ้นในแนวตั้ง แต่เนื่องจาก ฐานรองรับมีความใกล้เคียงกับ ฐานแบบยึดหมุน ส่งผลให้เมื่อกระบอกไฮดรอลิกขยับตัวดันชิ้นงาน ขึ้น เกิดการขยับตัวในลักษณะที่ไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน ส่งผลให้ค่าที่เกจวัดได้ มีความแปรปรวน ไม่ สามารถนำค่ามาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเสริมความแข็งแรงของเสาโทรมนาคม ชนิดเสาเหล็กฉากขาเท่า โดยวิธีการเพิ่มหน้าตัด และการเสริมค้ำยัน ด้วยการวิเคราะห์ตามมาตรฐานการออกแบบเสาโทรมนาคม EIA 222-C ประกอบกับทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเหล็กมาตรฐาน AISC ด้วยวิธี ASD พร้อมทั้งจัดทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบแนวโน้ม และพฤติกรรมการรับกำลังของโครงสร้างจริงเทียบกับผลจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎี ซึ่งจากการทำการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเสาโทรมนาคมความสูง 45 เมตร Type NV โมเดลต้นแบบของบริษัทเคเค-ซีโนไทยเอ็นจีเนียริงจำกัด หลังการติดตั้งอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาโทรมนาคมต้นแบบ เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเพื่อรับสัญญาณ Cellular Antenna ชนิด 3G ขนาดระบุ 0.3x2.50 เมตร จำนวน 9 แห่ง ที่ระดับ -1.00 เมตร จากยอดเสา แบบ Ring Mount และ 3 แห่ง ที่ระดับ -7.00 เมตร จากยอดเสา แบบ Single Mount แยกติดตั้งตำแหน่งขา ด้านละ 1 ชุด นั้น จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม TNX.TOWER ตามมาตรฐานการออกแบบเสาโทรมนาคม EIA 222-C นั้น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างส่วนของขาเสา และจุดต่อของขาเสา รวมทั้งจุดต่อของเหล็กทะแยงไม่สามารถรองรับแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มได้ ดังนั้นก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ต้องเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างเสาโทรมนาคมเดิมก่อน เพื่อให้โครงสร้างมีความมั่นคงเพียงพอในการรองรับภาระแรงกระทำที่เพิ่มขึ้น

5.1.2 การเปรียบเทียบผลของกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมความแข็งแรงให้โครงสร้างที่ได้จากการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีเทียบกับผลกำลังรับแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงจากการทดสอบชิ้นงานทดสอบ โดยใช้ตัวแทนข้อมูลเป็นเหล็กฉากขนาด L65x6 ทำการทดสอบ

ค่าของแรงที่เพิ่มขึ้นหลังการเสริมความแข็งแรงด้วยวิธีที่ ทั้ง 3 วิธี ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบ ชิ้นงานทดสอบมีผลสอดคล้องในทิศทางเดียวกับผลการวิเคราะห์ตามทฤษฎีคือ การเสริมความแข็งแรงโดยเหล็กฉากคู่รับกำลังได้ดีที่สุด รองลงมาคือวิธีเสริมความแข็งแรงโดยการประกบเหล็กแผ่นบาง และการเสริมค้ำยันด้านข้างตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ตามทฤษฎี

5.1.3 ผลจากการศึกษาวิธีการเสริมความแข็งแรงแก่โครงสร้างเสาโทรคมนาคม ความสูง 45 เมตร โมเดลต้นแบบของบริษัท ดีเคเค-ซีโนไทยเอ็นจีเนียริงจำกัด โดยการพิจารณาวิธีการเสริมความแข็งแรงเพื่อรองรับภาระของแรงกระทำที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างประกอบกับพิจารณาถึงความสามารถในทางปฏิบัติงานจริงรวมทั้ง สามารถเลือกวิธีในการเสริมความแข็งแรงให้แก่เสาโทรคมนาคมต้นดังกล่าวได้ดังนี้

(1) ความเสียหายของโครงสร้างเหล็กขาเสา เสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้าง โดย วิธีการค้ำยันด้านข้าง และการประกบเหล็กแผ่นบาง

(2) ความเสียหายของจุดต่อของโครงสร้างเสา สามารถแยกวิธีเสริมความแข็งแรง ออกเป็น ส่วนของขาเสาปรับเกรดของสลักเกลียว ร่วมกับการเพิ่มจำนวนในจุดต่อขาเสา และจุดต่อเหล็กค้ำทะแยง เพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อโดยการปรับเกรดของสลักเกลียว

5.1.4 การเปรียบเทียบราคาสำหรับงานการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้าง เสาโทรคมนาคมชนิดเหล็กฉากขาเท่าโมเดลต้นแบบนี้ จากการศึกษาพบว่าจำเป็นต้องทำการเสริมความแข็งแรงให้ส่วนของโครงสร้างขาเสา และจุดต่อ ดังที่ได้สรุปไว้ตามในบทที่ 4 ซึ่งน้ำหนัก ส่วนเสริมโครงสร้างทั้งหมดรวม 1277.37 กิโลกรัม เมื่อรวมราคาค่าดำเนินการและค่าแรงงาน การก่อสร้างรวมคิดเป็นค่าใช้จ่าย 315,795 บาท ระยะเวลาของการดำเนินการ 2-3 สัปดาห์ ในขณะที่ การก่อสร้างเสาโทรคมนาคมใหม่นั้น มีค่าใช้จ่ายสำหรับงานก่อสร้าง ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ระบบไฟฟ้า และพื้นที่โดยรวมทั้งสิ้น คิดเป็นราคาค่าก่อสร้าง 1,252,651 บาท ต่อ 1 สถานีก่อสร้าง ในที่นี้ ยังไม่รวมถึงค่าเช่าพื้นที่รายปี ค่าดำเนินการขยายเขตไฟฟ้า และค่าเช่าเสาไฟฟ้าสำหรับการเดินสายไฟ เข้าต่อระบบสำหรับอุปกรณ์ ระยะเวลาการก่อสร้างอยู่ที่ 90-120 วันโดยประมาณ ดังนั้น การนำเสาโทรคมนาคมเดิมทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อรับส่งสัญญาณใหม่ในระบบ 3G ถือว่ามี ความเหมาะสม ประหยัดค่าใช้จ่ายคิดเป็นร้อยละ 74.78 ของราคาค่าก่อสร้างสถานีใหม่และ ลดระยะเวลาการก่อสร้าง ทันต่อการขยายระบบเครือข่าย เพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภค

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างเสาโทรมนาคมนชนิดเสาเหล็กจากขาเท้า ด้วยวิธีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดและการเสริมค้ำยันด้านข้างเล่มนี้ มุ่งเน้นศึกษาวิธีการเสริมกำลังที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งอุปกรณ์เสริม บนโครงสร้างเสาโทรมนาคมนเดิมซึ่งในที่นี้ผู้จัดทำมุ่งเน้นการเสริมกำลังในส่วนของกำลังรับแรงอัดเป็นหลัก เนื่องจาก คุณสมบัติของเหล็กนั้นมีคุณสมบัติการรับแรงดึงได้ดี แต่ในส่วนของการรับกำลังอัดนั้น ยังมีค่าที่ไม่แน่นอนโดยขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนชะลูดเป็นหลัก ดังนั้นในงานวิจัยเล่มนี้ ผู้จัดทำจึงมุ่งเน้นในส่วนของการเสริมกำลังรับแรงอัดเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม การเสริมความแข็งแรงโดยการประกบเหล็กแผ่นบางที่ปีกด้านนอกของโครงสร้างหลัก และยึดระหว่างโครงสร้างหลักและส่วนเสริมความแข็งแรงด้วยสลักเกลียวทุกๆระยะ 20 – 25 เซนติเมตร การจับยึดดังกล่าวส่งผลให้สูญเสียพื้นที่ในการรับแรงดึงจากรูเจาะ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรงดึงของโครงสร้าง ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดจากการเจาะยึดโครงสร้าง รวมทั้งควรทำการศึกษาถึงระยะที่เหมาะสมในการยึดโครงสร้างส่วนเสริมเข้ากับโครงสร้างหลัก เพื่อให้ได้รูปแบบและวิธีการเสริมความแข็งแรงที่มีประสิทธิภาพ และปลอดภัยเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในงานการเสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างเสาโทรมนาคมนได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] R. Nickerson, “Results of TLMRC Research on X-Bracing Strength in Lattice Transmission Tower,” **Journal of IEEE Transaction on Power Delivery**, vol. 8, pp. 285-293, 1993.
- [2] C. Kumalasari, “Compressive Strength of Solid Round Steel Leg and Bracing Member of Lattice Communication Tower Reinforced with Rod or Angle,” Master’s Thesis, Civil Engineering, The University of Windsor, Cannada, 2004.
- [3] C. Dostatni, “Analysis Design and Strengthening of Communication Tower,” Ph.D. Thesis, Civil Engineering, The University of Windsor, Cannada, 2011.
- [4] Q. Weilian, S. Wanjun, X. Yong, X. Youlin, Q. Wenke, and J. Zhicai, “Two – Step Method for Instability Damage Detection in Tower Body of Transmission Structures,” **Journal of Advances in Structural Engineering**, vol. 16, No. 1, pp. 219-232, 2013.
- [5] S. Chen, and X. Wang, “Buckling Strength of Single Angle Struts Part 3: Cross-Bracing in Tower Structure,” **Journal of Advances in Structural Engineering**, vol. 16, Issue. 6, pp. 1149-1160, June 2013.
- [6] J. Szafran, “An Experimental Investigation into Failure Mechanism of a Full-Scale 40m High steel Telecommunication Tower.” **Journal of Engineering Failure Analysis**, vol. 54, pp. 131-145, August 2015.
- [7] กระทรวงมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานประกอบออกแบบหอหรือหอยึดโยง (มยพ.1343-54),” ใน **ชุดมาตรฐานประกอบการออกแบบโครงสร้างลักษณะพิเศษ**. ปีที่. 2554, ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร, 2554, นน. 53-77.
- [8] พิพัฒน์ ทองบ่อ, “การพัฒนาเทคนิคอัลกอริทึมสำหรับใช้ร่วมกับการออกแบบโครงสร้างเสาโทรคมนาคม,” **วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**, 2543

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ โครงสร้างเสาโทรมนาคมด้วยโปรแกรม TNX.TOWER



ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาโทรคมนาคมด้วย โปรแกรม TNX. TOWER
ก่อนเสริมความแข็งแรง



Tower Input Data

The main tower is a 4x free standing tower with an overall height of 45.5000 m above the ground line.

The base of the tower is set at an elevation of 0.5000 m above the ground line.

The face width of the tower is 1.0000 m at the top and 1.6250 m at the base.

There is a 4 sided latticed pole with a face width of 1.0000 m.

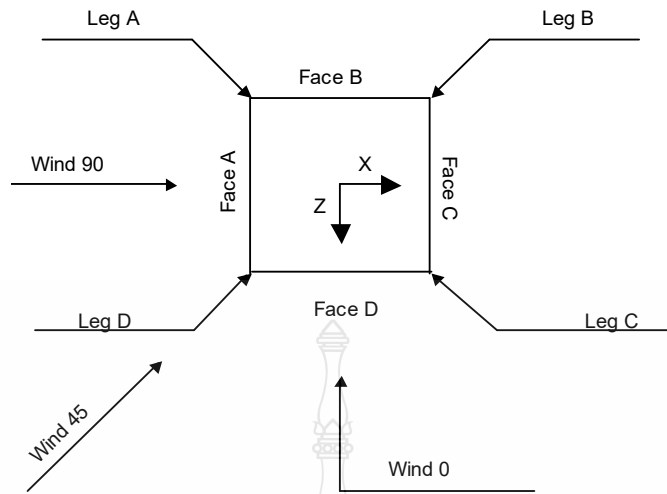
This tower is designed using the EIA-222-C standard.

The following design criteria apply:

1. EIA-222-C Zone A - 127.138 kgsm.
2. Wind pressure multiplier used: 0.868000.
3. Weld together tower sections have flange connections..
4. Connections use galvanized A325 bolts, nuts and locking devices.
Installation per TIA/EIA-222 and AISC Specifications..
5. Tower members are "hot dipped" galvanized in accordance with ASTM A123 and ASTM A153 Standards..
6. Welds are fabricated with ER-70S-6 electrodes..
7. A non-linear (P-delta) analysis was used.
8. Pressures are calculated at each section.
9. Stress ratio used in latticed pole member design is 1.
10. Stress ratio used in tower member design is 1.
11. Local bending stresses due to climbing loads, feed line supports, and appurtenance mounts are not considered.

Options

Consider Moments - Legs Consider Moments - Horizontals Consider Moments - Diagonals Use Moment Magnification √ Use Code Stress Ratios √ Use Code Safety Factors - Guys Escalate Ice Always Use Max Kz Use Special Wind Profile √ Include Bolts In Member Capacity √ Leg Bolts Are At Top Of Section Secondary Horizontal Braces Leg √ Use Diamond Inner Bracing (4 Sided) Add IBC .6D+W Combination	Distribute Leg Loads As Uniform Assume Legs Pinned √ Assume Rigid Index Plate Use Clear Spans For Wind Area Use Clear Spans For KL/r Retension Guys To Initial Tension Bypass Mast Stability Checks Use Azimuth Dish Coefficients Project Wind Area of Appurt. √ Autocalc Torque Arm Areas SR Members Have Cut Ends Sort Capacity Reports By Component Triangulate Diamond Inner Bracing Use TIA-222-G Tension Splice Capacity Exemption	Treat Feedline Bundles As Cylinder Use ASCE 10 X-Brace Ly Rules √ Calculate Redundant Bracing Forces Ignore Redundant Members in FEA SR Leg Bolts Resist Compression √ All Leg Panels Have Same Allowable Offset Girt At Foundation √ Consider Feedline Torque Include Angle Block Shear Check Poles Include Shear-Torsion Interaction Always Use Sub-Critical Flow Use Top Mounted Sockets
--	--	---



Square Tower

4 Sided Latticed Pole Section Geometry (cont'd)

Tower Section	Tower Elevation <i>m</i>	Diagonal Spacing <i>m</i>	Bracing Type	Has K Brace End Panels	Has Horizontals	Top Girt Offset <i>cm</i>	Bottom Girt Offset <i>cm</i>
L1	45.5000-44.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L2	44.5000-43.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L3	43.5000-42.5000	0.5000	Double K	No	Yes	0.00	0.00
L4	42.5000-41.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L5	41.5000-40.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L6	40.5000-39.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L7	39.5000-38.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L8	38.5000-37.5000	0.5000	Double K	No	Yes	0.00	0.00
L9	37.5000-36.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L10	36.5000-35.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L11	35.5000-34.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L12	34.5000-33.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L13	33.5000-32.5000	0.5000	Double K	No	Yes	0.00	0.00
L14	32.5000-31.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L15	31.5000-30.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L16	30.5000-29.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L17	29.5000-28.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L18	28.5000-27.5000	0.5000	Double K	No	Yes	0.00	0.00
L19	27.5000-26.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00
L20	26.5000-25.5000	1.0000	X Brace	No	No	0.00	0.00

Feed Line/Linear Appurtenances - Entered As Round Or Flat

Description	Face or Leg	Allow Shield	Component Type	Placement <i>m</i>	Face Offset <i>cm</i>	Lateral Offset (Frac FW)	#	# Per Row	Clear Spacing <i>cm</i>	Width or Diameter <i>cm</i>	Perimeter <i>cm</i>	Weight <i>kg/m</i>
Feeder 5/8" (Existing 18 - 5/8")	C	No	Ar (CaAa)	43.5000 - 0.5000	0.00	0	18	5	1.59	1.59		0.50
Ladder & Feeder Rack NV	C	No	Af (CfAe)	45.5000 - 0.5000	-81.25	0	1	1	10.00	8.00	25.13	9.60

Discrete Tower Loads

Description	Face or Leg	Offset Type	Offsets: Horz Lateral Vert m m m	Azimuth Adjustment °	Placement m		C _A A _A Front m ²	C _A A _A Side m ²	Weight kg
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	A	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	B	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	C	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	A	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	A	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	B	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	A	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	B	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00
KATHREIN 2G (At Top -2.00 m.)	C	From Leg	0.6000 0.0000 0.0000	0.0000	43.5000	No Ice	0.2936	0.0654	20.00

Tower Forces - No Ice - Wind Normal To Face

Section Elevation m	Add Weight kg	Self Weight kg	F _a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E m ²	F kg	w kg/m	Ctrl. Face
L1 45.5000-44.5000	9.60	54.89	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	82.69	82.69	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L2 44.5000-43.5000	9.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	74.46	74.46	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L3 43.5000-42.5000	18.60	60.02	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	97.49	97.49	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L4 42.5000-41.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	89.26	89.26	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L5 41.5000-40.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	89.26	89.26	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L6 40.5000-39.5000	18.60	54.89	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	97.49	97.49	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
L7 39.5000- 38.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	89.26	89.26	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L8 38.5000- 37.5000	18.60	60.02	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	97.49	97.49	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L9 37.5000- 36.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	89.26	89.26	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L10 36.5000- 35.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	89.26	89.26	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L11 35.5000- 34.5000	18.60	65.79	A	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561	103.98	103.98	C
			B	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
			C	0.382	1	0.667	1.75	1.75	0.701			
			D	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
L12 34.5000- 33.5000	18.60	58.53	A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	95.56	95.56	C
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L13 33.5000- 32.5000	18.60	70.91	A	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559	103.65	103.65	C
			B	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
			C	0.38	1	0.667	1.75	1.75	0.699			
			D	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
L14 32.5000- 31.5000	18.60	58.53	A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	95.56	95.56	C
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L15 31.5000- 30.5000	18.60	58.53	A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	95.56	95.56	C
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L16 30.5000- 29.5000	18.60	70.18	A	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593	107.98	107.98	C
			B	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
			C	0.397	1	0.667	1.75	1.75	0.733			
			D	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
L17 29.5000- 28.5000	18.60	62.93	A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	99.75	99.75	C
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
L18 28.5000- 27.5000	18.60	75.31	A	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591	107.76	107.76	C
			B	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
			C	0.396	1	0.667	1.75	1.75	0.731			
			D	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
L19 27.5000- 26.5000	18.60	62.93	A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	99.75	99.75	C
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
L20 26.5000- 25.5000	18.60	62.93	A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	99.75	99.75	C
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
T1 25.5000- 24.2500	23.25	91.01	A	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768	138.39	110.71	C
			B	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
			C	0.403	1	0.667	1.75	1.75	0.943			
			D	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
T2 24.2500- 23.0000	23.25	89.64	A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710	131.06	104.85	C
			B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
			C	0.367	1	0.667	1.75	1.75	0.885			
			D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
T3 23.0000-	23.25	84.79	A	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716	131.75	105.40	C

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
21.7500			B	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
			C	0.359	1	0.667	1.75	1.75	0.891			
			D	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
T4 21.7500-20.5000	23.25	91.01	A	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721	132.43	105.95	C
			B	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
			C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	0.896			
			D	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
T5 20.5000-19.2500	23.25	105.67	A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811	143.81	115.05	C
			B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
			C	0.373	1	0.667	1.75	1.75	0.986			
			D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
T6 19.2500-18.0000	23.25	112.21	A	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814	144.25	115.40	C
			B	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
			C	0.365	1	0.667	1.75	1.75	0.989			
			D	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
T7 18.0000-16.7500	23.25	106.74	A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820	144.95	115.96	C
			B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
			C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	0.995			
			D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
T8 16.7500-15.5000	23.25	113.62	A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825	145.66	116.53	C
			B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
			C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
			D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
T9 15.5000-14.2500	23.25	140.74	A	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929	158.85	127.08	C
			B	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
			C	0.377	1	0.667	1.75	1.75	1.104			
			D	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
T10 14.2500-13.0000	23.25	148.16	A	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934	159.52	127.61	C
			B	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
			C	0.37	1	0.667	1.75	1.75	1.109			
			D	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
T11 13.0000-11.7500	23.25	142.28	A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941	160.34	128.28	C
			B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
			C	0.364	1	0.667	1.75	1.75	1.116			
			D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
T12 11.7500-10.5000	23.25	154.65	A	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947	161.17	128.94	C
			B	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
			C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	1.122			
			D	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
T13 10.5000-9.2500	23.25	143.84	A	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954	162.01	129.61	C
			B	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
			C	0.353	1	0.667	1.75	1.75	1.129			
			D	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
T14 9.2500-8.0000	23.25	156.75	A	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960	162.84	130.27	C
			B	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
			C	0.347	1	0.667	1.75	1.75	1.135			
			D	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
T15 8.0000-6.7500	23.25	145.43	A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967	163.68	130.94	C
			B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
			C	0.342	1	0.667	1.75	1.75	1.142			
			D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
T16 6.7500-5.5000	23.25	158.88	A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974	164.52	131.62	C
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
			C	0.337	1	0.667	1.75	1.75	1.149			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
T17 5.5000-4.2500	23.25	175.18	A	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980	165.37	132.29	C
			B	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
			C	0.332	1	0.667	1.75	1.75	1.155			
			D	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
T18 4.2500-3.0000	23.25	189.17	A	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987	166.21	132.97	C
			B	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
			C	0.328	1	0.667	1.75	1.75	1.162			
			D	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
T19 3.0000-1.7500	23.25	176.80	A	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994	167.06	133.65	C
			B	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994			

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
T20 1.7500-0.5000	23.25	191.34	C	0.323	1	0.667	1.75	1.75	1.169	167.92	134.33	C
			D	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994			
			A	0.272	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
			B	0.272	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
			C	0.319	1	0.667	1.75	1.75	1.175			
Sum Weight:	819.00	3880.18	D	0.272	1	0.667	1.75	1.000	OTM	102699 kg-m	4977.00	

Tower Forces - No Ice - Wind 45 To Face

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
L1 45.5000-44.5000	9.60	54.89	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	82.69	82.69	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L2 44.5000-43.5000	9.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	74.46	74.46	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
L3 43.5000-42.5000	18.60	60.02	D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	97.49	97.49	C
			A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
L4 42.5000-41.5000	18.60	47.64	D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	89.26	89.26	C
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
L5 41.5000-40.5000	18.60	47.64	D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	89.26	89.26	C
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
L6 40.5000-39.5000	18.60	54.89	D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	97.49	97.49	C
			A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
L7 39.5000-38.5000	18.60	47.64	D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	89.26	89.26	C
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
L8 38.5000-37.5000	18.60	60.02	D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	97.49	97.49	C
			A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
L9 37.5000-36.5000	18.60	47.64	D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	89.26	89.26	C
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
L10 36.5000-35.5000	18.60	47.64	D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	89.26	89.26	C
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
L11 35.5000-34.5000	18.60	65.79	D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	103.98	103.98	C
			A	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
			B	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
			C	0.382	1	0.667	1.75	1.75	0.701			
L12 34.5000-	18.60	58.53	A	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561	95.56	95.56	C

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
33.5000			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			A	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
L13 33.5000-32.5000	18.60	70.91	B	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559	103.65	103.65	C
			C	0.38	1	0.667	1.75	1.75	0.699			
			D	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
			A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L14 32.5000-31.5000	18.60	58.53	B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	95.56	95.56	C
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L15 31.5000-30.5000	18.60	58.53	B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	95.56	95.56	C
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L16 30.5000-29.5000	18.60	70.18	B	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593	107.98	107.98	C
			C	0.397	1	0.667	1.75	1.75	0.733			
			D	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
L17 29.5000-28.5000	18.60	62.93	B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	99.75	99.75	C
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
L18 28.5000-27.5000	18.60	75.31	B	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591	107.76	107.76	C
			C	0.396	1	0.667	1.75	1.75	0.731			
			D	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
L19 27.5000-26.5000	18.60	62.93	B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	99.75	99.75	C
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
L20 26.5000-25.5000	18.60	62.93	B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	99.75	99.75	C
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
T1 25.5000-24.2500	23.25	91.01	B	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768	138.39	110.71	C
			C	0.403	1	0.667	1.75	1.75	0.943			
			D	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
			A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
T2 24.2500-23.0000	23.25	89.64	B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710	131.06	104.85	C
			C	0.367	1	0.667	1.75	1.75	0.885			
			D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
			A	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
T3 23.0000-21.7500	23.25	84.79	B	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716	131.75	105.40	C
			C	0.359	1	0.667	1.75	1.75	0.891			
			D	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
			A	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
T4 21.7500-20.5000	23.25	91.01	B	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721	132.43	105.95	C
			C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	0.896			
			D	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
			A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
T5 20.5000-19.2500	23.25	105.67	B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811	143.81	115.05	C
			C	0.373	1	0.667	1.75	1.75	0.986			
			D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
			A	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
T6 19.2500-18.0000	23.25	112.21	B	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814	144.25	115.40	C
			C	0.365	1	0.667	1.75	1.75	0.989			
			D	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
			A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
T7 18.0000-16.7500	23.25	106.74	B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820	144.95	115.96	C
			C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	0.995			
			D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
			A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
T8 16.7500-15.5000	23.25	113.62	B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825	145.66	116.53	C

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kgm	
T9 15.5000-14.2500	23.25	140.74	C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	1.000	158.85	127.08	C
			D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
			A	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
			B	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
T10 14.2500-13.0000	23.25	148.16	C	0.377	1	0.667	1.75	1.75	1.104	159.52	127.61	C
			D	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
			A	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
			B	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
T11 13.0000-11.7500	23.25	142.28	C	0.37	1	0.667	1.75	1.75	1.109	160.34	128.28	C
			D	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
			A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
			B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
T12 11.7500-10.5000	23.25	154.65	C	0.364	1	0.667	1.75	1.75	1.116	161.17	128.94	C
			D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
			A	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
			B	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
T13 10.5000-9.2500	23.25	143.84	C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	1.122	162.01	129.61	C
			D	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
			A	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
			B	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
T14 9.2500-8.0000	23.25	156.75	C	0.353	1	0.667	1.75	1.75	1.129	162.84	130.27	C
			D	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
			A	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
			B	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
T15 8.0000-6.7500	23.25	145.43	C	0.347	1	0.667	1.75	1.75	1.135	163.68	130.94	C
			D	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
			A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
			B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
T16 6.7500-5.5000	23.25	158.88	C	0.342	1	0.667	1.75	1.75	1.142	164.52	131.62	C
			D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
T17 5.5000-4.2500	23.25	175.18	C	0.337	1	0.667	1.75	1.75	1.149	165.37	132.29	C
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
			A	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
			B	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
T18 4.2500-3.0000	23.25	189.17	C	0.332	1	0.667	1.75	1.75	1.155	166.21	132.97	C
			D	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
			A	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
			B	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
T19 3.0000-1.7500	23.25	176.80	C	0.328	1	0.667	1.75	1.75	1.162	167.06	133.65	C
			D	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
			A	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994			
			B	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994			
T20 1.7500-0.5000	23.25	191.34	C	0.323	1	0.667	1.75	1.75	1.169	167.92	134.33	C
			D	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994			
			A	0.272	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
			B	0.272	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
Sum Weight:	819.00	3880.18							102699 kg-m	4977.00		

Tower Forces - Service - Wind Normal To Face

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kgm	
L1 45.5000-	9.60	54.89	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	63.51	63.51	C

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
44.5000			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L2 44.5000- 43.5000	9.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	57.19	57.19	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L3 43.5000- 42.5000	18.60	60.02	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	74.88	74.88	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L4 42.5000- 41.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L5 41.5000- 40.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L6 40.5000- 39.5000	18.60	54.89	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	74.88	74.88	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L7 39.5000- 38.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L8 38.5000- 37.5000	18.60	60.02	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	74.88	74.88	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L9 37.5000- 36.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L10 36.5000- 35.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L11 35.5000- 34.5000	18.60	65.79	A	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561	79.86	79.86	C
			B	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
			C	0.382	1	0.667	1.75	1.75	0.701			
			D	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
L12 34.5000- 33.5000	18.60	58.53	A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	73.39	73.39	C
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L13 33.5000- 32.5000	18.60	70.91	A	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559	79.61	79.61	C
			B	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
			C	0.38	1	0.667	1.75	1.75	0.699			
			D	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
L14 32.5000- 31.5000	18.60	58.53	A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	73.39	73.39	C
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L15 31.5000- 30.5000	18.60	58.53	A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	73.39	73.39	C
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L16 30.5000- 29.5000	18.60	70.18	A	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593	82.93	82.93	C
			B	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
			C	0.397	1	0.667	1.75	1.75	0.733			
			D	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
L17 29.5000- 28.5000	18.60	62.93	A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	76.62	76.62	C
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
L18 28.5000- 27.5000	18.60	75.31	C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668	82.77	82.77	C
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
			B	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
L19 27.5000- 26.5000	18.60	62.93	C	0.396	1	0.667	1.75	1.75	0.731	76.62	76.62	C
			D	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
L20 26.5000- 25.5000	18.60	62.93	C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668	76.62	76.62	C
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
T1 25.5000- 24.2500	23.25	91.01	C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668	106.29	85.03	C
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
			B	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
T2 24.2500- 23.0000	23.25	89.64	C	0.403	1	0.667	1.75	1.75	0.943	100.66	80.53	C
			D	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
			A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
			B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
T3 23.0000- 21.7500	23.25	84.79	C	0.367	1	0.667	1.75	1.75	0.885	101.19	80.95	C
			D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
			A	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
			B	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
T4 21.7500- 20.5000	23.25	91.01	C	0.359	1	0.667	1.75	1.75	0.891	101.72	81.37	C
			D	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
			A	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
			B	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
T5 20.5000- 19.2500	23.25	105.67	C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	0.896	110.45	88.36	C
			D	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
			A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
			B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
T6 19.2500- 18.0000	23.25	112.21	C	0.373	1	0.667	1.75	1.75	0.986	110.79	88.63	C
			D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
			A	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
			B	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
T7 18.0000- 16.7500	23.25	106.74	C	0.365	1	0.667	1.75	1.75	0.989	111.33	89.06	C
			D	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
			A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
			B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
T8 16.7500- 15.5000	23.25	113.62	C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	0.995	111.87	89.50	C
			D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
			A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
			B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
T9 15.5000- 14.2500	23.25	140.74	C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	1.000	122.01	97.60	C
			D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
			A	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
			B	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
T10 14.2500- 13.0000	23.25	148.16	C	0.377	1	0.667	1.75	1.75	1.104	122.52	98.01	C
			D	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
			A	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
			B	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
T11 13.0000- 11.7500	23.25	142.28	C	0.37	1	0.667	1.75	1.75	1.109	123.15	98.52	C
			D	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
			A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
			B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
T12 11.7500- 10.5000	23.25	154.65	C	0.364	1	0.667	1.75	1.75	1.116	123.79	99.03	C
			D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
			A	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
			B	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
T13 10.5000- 9.2500	23.25	143.84	C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	1.122	124.43	99.54	C
			D	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
			A	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
			B	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
			C	0.353	1	0.667	1.75	1.75	1.129			

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
T14 9.2500-8.0000	23.25	156.75	D	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954	125.07	100.06	C
			A	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
			B	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
			C	0.347	1	0.667	1.75	1.75	1.135			
T15 8.0000-6.7500	23.25	145.43	D	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960	125.71	100.57	C
			A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
			B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
			C	0.342	1	0.667	1.75	1.75	1.142			
T16 6.7500-5.5000	23.25	158.88	D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967	126.36	101.09	C
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
			C	0.337	1	0.667	1.75	1.75	1.149			
T17 5.5000-4.2500	23.25	175.18	D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974	127.01	101.61	C
			A	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
			B	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
			C	0.332	1	0.667	1.75	1.75	1.155			
T18 4.2500-3.0000	23.25	189.17	D	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980	127.66	102.13	C
			A	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
			B	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
			C	0.328	1	0.667	1.75	1.75	1.162			
T19 3.0000-1.7500	23.25	176.80	D	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987	128.31	102.65	C
			A	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994			
			B	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994			
			C	0.323	1	0.667	1.75	1.75	1.169			
T20 1.7500-0.5000	23.25	191.34	D	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994	128.97	103.17	C
			A	0.272	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
			B	0.272	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
			C	0.319	1	0.667	1.75	1.75	1.175			
Sum Weight:	819.00	3880.18							78878 kg-m	3822.58		

Tower Forces - Service - Wind 45 To Face

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
L1 45.5000-44.5000	9.60	54.89	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	63.51	63.51	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L2 44.5000-43.5000	9.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	57.19	57.19	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L3 43.5000-42.5000	18.60	60.02	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	74.88	74.88	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L4 42.5000-41.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L5 41.5000-40.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L6 40.5000-39.5000	18.60	54.89	A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510	74.88	74.88	C
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
L7 39.5000-38.5000	18.60	47.64	C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650	68.55	68.55	C
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
L8 38.5000-37.5000	18.60	60.02	D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	74.88	74.88	C
			A	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			B	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
			C	0.357	1	0.667	1.75	1.75	0.650			
			D	0.28	1	0.667	1.75	1.75	0.510			
L9 37.5000-36.5000	18.60	47.64	A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
L10 36.5000-35.5000	18.60	47.64	B	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446	68.55	68.55	C
			C	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.586			
			D	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			A	0.244	1	0.667	1.75	1.75	0.446			
			B	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
L11 35.5000-34.5000	18.60	65.79	C	0.382	1	0.667	1.75	1.75	0.701	79.86	79.86	C
			D	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
			A	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
			B	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561			
			C	0.382	1	0.667	1.75	1.75	0.701			
L12 34.5000-33.5000	18.60	58.53	D	0.305	1	0.667	1.75	1.75	0.561	73.39	73.39	C
			A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L13 33.5000-32.5000	18.60	70.91	A	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559	79.61	79.61	C
			B	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
			C	0.38	1	0.667	1.75	1.75	0.699			
			D	0.304	1	0.667	1.75	1.75	0.559			
			A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L14 32.5000-31.5000	18.60	58.53	B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	73.39	73.39	C
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
L15 31.5000-30.5000	18.60	58.53	C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635	73.39	73.39	C
			D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			A	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			B	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495			
			C	0.346	1	0.667	1.75	1.75	0.635			
L16 30.5000-29.5000	18.60	70.18	D	0.269	1	0.667	1.75	1.75	0.495	82.93	82.93	C
			A	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
			B	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
			C	0.397	1	0.667	1.75	1.75	0.733			
			D	0.321	1	0.667	1.75	1.75	0.593			
L17 29.5000-28.5000	18.60	62.93	A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	76.62	76.62	C
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
L18 28.5000-27.5000	18.60	75.31	B	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591	82.77	82.77	C
			C	0.396	1	0.667	1.75	1.75	0.731			
			D	0.32	1	0.667	1.75	1.75	0.591			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
L19 27.5000-26.5000	18.60	62.93	C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668	76.62	76.62	C
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
L20 26.5000-25.5000	18.60	62.93	D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528	76.62	76.62	C
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
			C	0.362	1	0.667	1.75	1.75	0.668			
			D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.528			
T1 25.5000-24.2500	23.25	91.01	A	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768	106.29	85.03	C
			B	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
			C	0.403	1	0.667	1.75	1.75	0.943			
			D	0.328	1	0.667	1.75	1.75	0.768			
			A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710			
T2 24.2500-23.0000	23.25	89.64	B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710	100.66	80.53	C
			C	0.367	1	0.667	1.75	1.75	0.885			
			C	0.367	1	0.667	1.75	1.75	0.885			

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg							m ²	kg	kg/m	
T3 23.0000- 21.7500	23.25	84.79	D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.710	101.19	80.95	C
			A	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
			B	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716			
			C	0.359	1	0.667	1.75	1.75	0.891			
T4 21.7500- 20.5000	23.25	91.01	D	0.289	1	0.667	1.75	1.75	0.716	101.72	81.37	C
			A	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
			B	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721			
			C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	0.896			
T5 20.5000- 19.2500	23.25	105.67	D	0.283	1	0.667	1.75	1.75	0.721	110.45	88.36	C
			A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
			B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811			
			C	0.373	1	0.667	1.75	1.75	0.986			
T6 19.2500- 18.0000	23.25	112.21	D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.811	110.79	88.63	C
			A	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
			B	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814			
			C	0.365	1	0.667	1.75	1.75	0.989			
T7 18.0000- 16.7500	23.25	106.74	D	0.301	1	0.667	1.75	1.75	0.814	111.33	89.06	C
			A	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
			B	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820			
			C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	0.995			
T8 16.7500- 15.5000	23.25	113.62	D	0.295	1	0.667	1.75	1.75	0.820	111.87	89.50	C
			A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
			B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825			
			C	0.352	1	0.667	1.75	1.75	1.000			
T9 15.5000- 14.2500	23.25	140.74	D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.825	122.01	97.60	C
			A	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
			B	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929			
			C	0.377	1	0.667	1.75	1.75	1.104			
T10 14.2500- 13.0000	23.25	148.16	D	0.318	1	0.667	1.75	1.75	0.929	122.52	98.01	C
			A	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
			B	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934			
			C	0.37	1	0.667	1.75	1.75	1.109			
T11 13.0000- 11.7500	23.25	142.28	D	0.312	1	0.667	1.75	1.75	0.934	123.15	98.52	C
			A	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
			B	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941			
			C	0.364	1	0.667	1.75	1.75	1.116			
T12 11.7500- 10.5000	23.25	154.65	D	0.307	1	0.667	1.75	1.75	0.941	123.79	99.03	C
			A	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
			B	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947			
			C	0.358	1	0.667	1.75	1.75	1.122			
T13 10.5000- 9.2500	23.25	143.84	D	0.303	1	0.667	1.75	1.75	0.947	124.43	99.54	C
			A	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
			B	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954			
			C	0.353	1	0.667	1.75	1.75	1.129			
T14 9.2500- 8.0000	23.25	156.75	D	0.298	1	0.667	1.75	1.75	0.954	125.07	100.06	C
			A	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
			B	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960			
			C	0.347	1	0.667	1.75	1.75	1.135			
T15 8.0000- 6.7500	23.25	145.43	D	0.294	1	0.667	1.75	1.75	0.960	125.71	100.57	C
			A	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
			B	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967			
			C	0.342	1	0.667	1.75	1.75	1.142			
T16 6.7500- 5.5000	23.25	158.88	D	0.29	1	0.667	1.75	1.75	0.967	126.36	101.09	C
			A	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
			B	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974			
			C	0.337	1	0.667	1.75	1.75	1.149			
T17 5.5000- 4.2500	23.25	175.18	D	0.286	1	0.667	1.75	1.75	0.974	127.01	101.61	C
			A	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
			B	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980			
			C	0.332	1	0.667	1.75	1.75	1.155			
T18 4.2500- 3.0000	23.25	189.17	D	0.282	1	0.667	1.75	1.75	0.980	127.66	102.13	C
			A	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
			B	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			
			C	0.328	1	0.667	1.75	1.75	1.162			
			D	0.278	1	0.667	1.75	1.75	0.987			

Section Elevation	Add Weight	Self Weight	Face	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _E	F	w	Ctrl. Face
m	kg	kg	Face						m ²	kg	kg/m	
T19 3.0000-1.7500	23.25	176.80	A	0.275	1	0.667	1.75	1.75	0.994	128.31	102.65	C
			B	0.275	1	0.667	1.75	1.75				
			C	0.323	1	0.667	1.75	1.75				
			D	0.275	1	0.667	1.75	1.75				
T20 1.7500-0.5000	23.25	191.34	A	0.272	1	0.667	1.75	1.75	1.000	128.97	103.17	C
			B	0.272	1	0.667	1.75	1.75				
			C	0.319	1	0.667	1.75	1.75				
			D	0.272	1	0.667	1.75	1.75				
Sum Weight:	819.00	3880.18					OTM	78878 kg-m	3822.58			

Discrete Appurtenance Pressures - No Ice $G_H = 1.000$ (base tower), 1.000
(upper structure)

Description	Aiming Azimuth °	Weight kg	Offset _x m	Offset _z m	z m	K _z	q _z kgsm	C _A A _c Front m ²	C _A A _c Side m ²
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	45.0000	20.00	0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	135.0000	20.00	0.9243	0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	45.0000	20.00	0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	45.0000	20.00	0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	135.0000	20.00	0.9243	0.9243	43.5000	1.000	127.14	0.2936	0.0654
Sum		180.00							
Weight:									

Discrete Appurtenance Totals - No Ice

Discrete Appurtenance Pressures - Service $G_H = 1.000$ (base tower), 1.000
(upper structure)

Description	Aiming Azimuth °	Weight kg	Offset _x m	Offset _z m	z m	K _z	q _z kgsm	C _A A _c Front m ²	C _A A _c Side m ²
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	45.0000	20.00	0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	135.0000	20.00	0.9243	0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	45.0000	20.00	0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	315.0000	20.00	-0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	45.0000	20.00	0.9243	-0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
KATHREIN 2G	135.0000	20.00	0.9243	0.9243	43.5000	1.000	97.65	0.2936	0.0654
Sum		180.00							
Weight:									

Force Totals

Load Case	Vertical Forces <i>kg</i>	Sum of Forces <i>X</i> <i>kg</i>	Sum of Forces <i>Z</i> <i>kg</i>	Sum of Overturning Moments, M_x <i>kg-m</i>	Sum of Overturning Moments, M_z <i>kg-m</i>	Sum of Torques <i>kg-m</i>
Leg Weight	2353.56					
Bracing Weight	1526.61					
Total Member Self-Weight	3880.18			-92	-161	
Total Weight	4879.18			-92	-161	
Wind 0 deg - No Ice		-43.51	-5182.37	-111622	1710	140
Wind 45 deg - No Ice		3633.72	-3633.72	-77633	-77702	72
Wind 90 deg - No Ice		5182.37	43.51	1779	-111691	-38
Total Weight	4879.18			-92	-161	
Wind 0 deg - Service		-33.42	-3980.32	-85753	1419	107
Wind 45 deg - Service		2790.88	-2790.88	-59647	-59573	55
Wind 90 deg - Service		3980.32	33.42	1345	-85679	-30

Load Combinations

Comb. No.	Description
1	Dead Only
2	Dead+Wind 0 deg - No Ice
3	Dead+Wind 45 deg - No Ice
4	Dead+Wind 90 deg - No Ice
5	Dead+Wind 0 deg - Service
6	Dead+Wind 45 deg - Service
7	Dead+Wind 90 deg - Service

Maximum Reactions

Location	Condition	Gov. Load Comb.	Vertical <i>kg</i>	Horizontal, X <i>kg</i>	Horizontal, Z <i>kg</i>
Leg D	Max. Vert	1	1141.79	33.05	-32.45
	Max. H_x	1	1141.79	33.05	-32.45
	Max. H_z	3	-47000.57	-1599.58	1578.02
	Min. Vert	3	-47000.57	-1599.58	1578.02
	Min. H_x	3	-47000.57	-1599.58	1578.02
	Min. H_z	1	1141.79	33.05	-32.45
Leg C	Max. Vert	4	36430.56	-1325.71	-1025.32
	Max. H_x	2	-33950.26	953.35	1311.68
	Max. H_z	2	-33950.26	953.35	1311.68
	Min. Vert	2	-33950.26	953.35	1311.68
	Min. H_x	4	36430.56	-1325.71	-1025.32
	Min. H_z	4	36430.56	-1325.71	-1025.32
Leg B	Max. Vert	3	49397.30	-1588.92	1611.34
	Max. H_x	1	1297.80	-34.68	35.28
	Max. H_z	3	49397.30	-1588.92	1611.34
	Min. Vert	1	1297.80	-34.68	35.28
	Min. H_x	3	49397.30	-1588.92	1611.34
	Min. H_z	1	1297.80	-34.68	35.28
Leg A	Max. Vert	2	36388.32	1040.32	1309.75
	Max. H_x	2	36388.32	1040.32	1309.75
	Max. H_z	2	36388.32	1040.32	1309.75
	Min. Vert	4	-33992.54	-1296.57	-969.54
	Min. H_x	4	-33992.54	-1296.57	-969.54
	Min. H_z	4	-33992.54	-1296.57	-969.54

Tower Mast Reaction Summary

<i>Load Combination</i>	<i>Vertical</i>	<i>Shear_x</i>	<i>Shear_z</i>	<i>Overturning Moment, M_x</i>	<i>Overturning Moment, M_z</i>	<i>Torque</i>
	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg-m</i>	<i>kg-m</i>	<i>kg-m</i>
Dead Only	4879.18	-0.00	0.01	-92	-161	0
Dead+Wind 0 deg - No Ice	4879.15	-43.48	-5180.96	-112571	1729	142
Dead+Wind 45 deg - No Ice	4879.15	3632.75	-3632.75	-78289	-78358	72
Dead+Wind 90 deg - No Ice	4879.15	5180.96	43.48	1798	-112639	-41
Dead+Wind 0 deg - Service	4879.16	-33.39	-3979.23	-86485	1291	109
Dead+Wind 45 deg - Service	4879.16	2790.13	-2790.13	-60154	-60222	55
Dead+Wind 90 deg - Service	4879.16	3979.23	33.39	1359	-86553	-31

Solution Summary

<i>Load Comb.</i>	<i>Sum of Applied Forces</i>			<i>Sum of Reactions</i>			<i>% Error</i>
	<i>PX</i>	<i>PY</i>	<i>PZ</i>	<i>PX</i>	<i>PY</i>	<i>PZ</i>	
	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	
1	0.00	-4879.18	-0.00	0.00	4879.18	-0.01	0.000%
2	-43.51	-4879.18	-5182.37	43.48	4879.15	5180.96	0.020%
3	3633.72	-4879.18	-3633.72	-3632.75	4879.15	3632.75	0.019%
4	5182.37	-4879.18	43.51	-5180.96	4879.15	-43.48	0.020%
5	-33.42	-4879.18	-3980.32	33.39	4879.16	3979.23	0.017%
6	2790.88	-4879.18	-2790.88	-2790.13	4879.16	2790.13	0.017%
7	3980.32	-4879.18	33.42	-3979.23	4879.16	-33.39	0.017%

Non-Linear Convergence Results

<i>Load Combination</i>	<i>Converged?</i>	<i>Number of Cycles</i>	<i>Displacement Tolerance</i>	<i>Force Tolerance</i>
1	Yes	6	0.00000001	0.00000001
2	Yes	22	0.00011687	0.00014296
3	Yes	22	0.00011687	0.00014259
4	Yes	22	0.00011686	0.00014288
5	Yes	22	0.00011708	0.00014317
6	Yes	22	0.00011703	0.00014273
7	Yes	22	0.00011706	0.00014307

Maximum Tower Deflections - Service Wind

<i>Section No.</i>	<i>Elevation</i>	<i>Horz. Deflection</i>	<i>Gov. Load Comb.</i>	<i>Tilt</i>	<i>Twist</i>
	<i>m</i>	<i>mm</i>		<i>°</i>	<i>°</i>
L1	45.5 - 44.5	546.46	5	1.1195	0.0178
L2	44.5 - 43.5	526.91	5	1.1195	0.0178
L3	43.5 - 42.5	507.36	5	1.1192	0.0178
L4	42.5 - 41.5	487.79	5	1.1180	0.0178
L5	41.5 - 40.5	468.24	5	1.1156	0.0177
L6	40.5 - 39.5	448.73	5	1.1119	0.0175
L7	39.5 - 38.5	429.30	5	1.1066	0.0174
L8	38.5 - 37.5	409.96	5	1.0992	0.0172
L9	37.5 - 36.5	390.75	5	1.0900	0.0169
L10	36.5 - 35.5	371.72	5	1.0781	0.0167
L11	35.5 - 34.5	352.90	5	1.0640	0.0164
L12	34.5 - 33.5	334.31	5	1.0520	0.0161
L13	33.5 - 32.5	315.93	5	1.0375	0.0158
L14	32.5 - 31.5	297.80	5	1.0210	0.0154
L15	31.5 - 30.5	279.99	5	1.0016	0.0150
L16	30.5 - 29.5	262.51	5	0.9799	0.0146
L17	29.5 - 28.5	245.42	5	0.9579	0.0141
L18	28.5 - 27.5	228.71	5	0.9327	0.0136

Section No.	Elevation m	Horz. Deflection mm	Gov. Load Comb.	Tilt °	Twist °
L19	27.5 - 26.5	212.45	5	0.9051	0.0131
L20	26.5 - 25.5	196.72	7	0.8739	0.0126
T1	25.5 - 24.25	181.52	7	0.8400	0.0120
T2	24.25 - 23	163.43	7	0.7951	0.0112
T3	23 - 21.75	146.31	7	0.7476	0.0104
T4	21.75 - 20.5	130.27	7	0.6976	0.0096
T5	20.5 - 19.25	115.32	7	0.6456	0.0088
T6	19.25 - 18	101.37	7	0.6062	0.0080
T7	18 - 16.75	88.29	7	0.5652	0.0072
T8	16.75 - 15.5	76.10	7	0.5226	0.0064
T9	15.5 - 14.25	64.86	7	0.4785	0.0057
T10	14.25 - 13	54.63	7	0.4411	0.0052
T11	13 - 11.75	45.22	7	0.4024	0.0048
T12	11.75 - 10.5	36.66	7	0.3625	0.0043
T13	10.5 - 9.25	28.97	7	0.3214	0.0038
T14	9.25 - 8	22.19	7	0.2792	0.0034
T15	8 - 6.75	16.34	7	0.2359	0.0029
T16	6.75 - 5.5	11.44	7	0.1914	0.0024
T17	5.5 - 4.25	7.51	7	0.1459	0.0019
T18	4.25 - 3	4.46	7	0.1105	0.0015
T19	3 - 1.75	2.17	7	0.0744	0.0010
T20	1.75 - 0.5	0.70	7	0.0372	0.0005

Critical Deflections and Radius of Curvature - Service Wind

Elevation m	Appurtenance	Gov. Load Comb.	Deflection mm	Tilt °	Twist °	Radius of Curvature m
43.5000	KATHREIN 2G	5	507.36	1.1192	0.0178	67345

Maximum Tower Deflections - Design Wind

Section No.	Elevation m	Horz. Deflection mm	Gov. Load Comb.	Tilt °	Twist °
L1	45.5 - 44.5	710.87	2	1.4556	0.0232
L2	44.5 - 43.5	685.46	2	1.4555	0.0232
L3	43.5 - 42.5	660.04	2	1.4552	0.0232
L4	42.5 - 41.5	634.60	2	1.4537	0.0231
L5	41.5 - 40.5	609.18	2	1.4506	0.0230
L6	40.5 - 39.5	583.81	2	1.4459	0.0228
L7	39.5 - 38.5	558.54	2	1.4390	0.0226
L8	38.5 - 37.5	533.39	2	1.4295	0.0224
L9	37.5 - 36.5	508.41	2	1.4176	0.0221
L10	36.5 - 35.5	483.66	2	1.4022	0.0217
L11	35.5 - 34.5	459.18	2	1.3840	0.0214
L12	34.5 - 33.5	435.00	2	1.3684	0.0210
L13	33.5 - 32.5	411.09	2	1.3496	0.0205
L14	32.5 - 31.5	387.51	2	1.3282	0.0201
L15	31.5 - 30.5	364.34	2	1.3030	0.0195
L16	30.5 - 29.5	341.60	2	1.2748	0.0190
L17	29.5 - 28.5	319.36	2	1.2462	0.0184
L18	28.5 - 27.5	297.63	2	1.2135	0.0178
L19	27.5 - 26.5	276.48	2	1.1776	0.0171
L20	26.5 - 25.5	256.00	4	1.1370	0.0164
T1	25.5 - 24.25	236.22	4	1.0930	0.0157
T2	24.25 - 23	212.68	4	1.0346	0.0146
T3	23 - 21.75	190.41	4	0.9728	0.0135

Section No.	Elevation m	Horz. Deflection mm	Gov. Load Comb.	Tilt °	Twist °
T4	21.75 - 20.5	169.53	4	0.9078	0.0125
T5	20.5 - 19.25	150.08	4	0.8402	0.0114
T6	19.25 - 18	131.92	4	0.7888	0.0104
T7	18 - 16.75	114.90	4	0.7355	0.0094
T8	16.75 - 15.5	99.04	4	0.6801	0.0084
T9	15.5 - 14.25	84.41	4	0.6228	0.0074
T10	14.25 - 13	71.09	4	0.5740	0.0068
T11	13 - 11.75	58.84	4	0.5236	0.0062
T12	11.75 - 10.5	47.71	4	0.4717	0.0056
T13	10.5 - 9.25	37.71	4	0.4183	0.0050
T14	9.25 - 8	28.88	4	0.3633	0.0044
T15	8 - 6.75	21.26	4	0.3070	0.0038
T16	6.75 - 5.5	14.89	4	0.2490	0.0031
T17	5.5 - 4.25	9.77	4	0.1899	0.0025
T18	4.25 - 3	5.80	4	0.1438	0.0019
T19	3 - 1.75	2.83	4	0.0968	0.0013
T20	1.75 - 0.5	0.91	4	0.0485	0.0006

Critical Deflections and Radius of Curvature - Design Wind

Elevation m	Appurtenance	Gov. Load Comb.	Deflection mm	Tilt °	Twist °	Radius of Curvature m
43.5000	KATHREIN 2G	2	660.04	1.4552	0.0232	51603

Bolt Design Data

Section No.	Elevation m	Component Type	Bolt Grade	Bolt Size cm	Number Of Bolts	Maximum Load per Bolt kg	Allowable Load kg	Ratio Load Allowable	Allowable Ratio	Criteria	
L1	45.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	17.16	995.60	0.017	✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	2.96	995.60	0.003	✓	1	Bolt Shear
L2	44.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	48.63	995.60	0.049	✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	172.20	995.60	0.173	✓	1	Bolt Shear
L3	43.5	Latticed Pole Horizontal	G 4.8	1.20	1	8.11	995.60	0.008	✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	197.44	995.60	0.198	✓	1	Bolt Shear
L4	42.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	197.44	995.60	0.198	✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Leg	G 5.8	1.60	4	531.55	2212.44	0.240	✓	1	Bolt SS
L5	41.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	234.64	995.60	0.236	✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	263.12	995.60	0.264	✓	1	Bolt Shear
L6	40.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	41.66	995.60	0.042	✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	298.62	995.60	0.300	✓	1	Bolt Shear
L7	39.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	341.70	995.60	0.343	✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Horizontal	G 4.8	1.20	1	38.72	995.60	0.039	✓	1	Bolt Shear

Section No.	Elevation m	Component Type	Bolt Grade	Bolt Size cm	Number Of Bolts	Maximum Load per Bolt kg	Allowable Load kg	Ratio Load Allowable	Allowable Ratio	Criteria
L9	37.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	357.43	995.60	0.359 ✓	1	Bolt Shear
L10	36.5	Latticed Pole Leg	G 5.8	1.60	4	1958.50	2212.44	0.885 ✓	1	Bolt SS
		Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	406.52	995.60	0.408 ✓	1	Bolt Shear
L11	35.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	420.47	995.60	0.422 ✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	115.46	995.60	0.116 ✓	1	Bolt Shear
L12	34.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	473.68	995.60	0.476 ✓	1	Bolt Shear
L13	33.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	522.13	995.60	0.524 ✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Horizontal	G 4.8	1.20	1	96.87	995.60	0.097 ✓	1	Bolt Shear
L14	32.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	521.60	995.60	0.524 ✓	1	Bolt Shear
L15	31.5	Latticed Pole Leg	G 6.8	2.00	4	4243.69	4148.32	1.023 ✗	1	Bolt SS
		Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	595.18	995.60	0.598 ✓	1	Bolt Shear
L16	30.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	583.88	995.60	0.586 ✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	221.84	995.60	0.223 ✓	1	Bolt Shear
L17	29.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	665.15	995.60	0.668 ✓	1	Bolt Shear
L18	28.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	722.32	995.60	0.726 ✓	1	Bolt Shear
		Latticed Pole Horizontal	G 4.8	1.20	1	180.91	995.60	0.182 ✓	1	Bolt Shear
L19	27.5	Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	687.96	995.60	0.691 ✓	1	Bolt Shear
L20	26.5	Latticed Pole Leg	G 6.8	2.00	6	4947.11	4148.32	1.193 ✗	1	Bolt SS
		Latticed Pole Diagonal	G 4.8	1.20	1	811.57	995.60	0.815 ✓	1	Bolt Shear
T1	25.5	Diagonal	G 4.8	1.20	1	754.83	995.60	0.758 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	239.90	995.60	0.241 ✓	1	Bolt Shear
		Top Girt	G 4.8	1.20	1	276.95	995.60	0.278 ✓	1	Bolt Shear
T2	24.25	Diagonal	G 4.8	1.20	1	737.70	995.60	0.741 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	383.82	995.60	0.386 ✓	1	Bolt Shear
T3	23	Diagonal	G 4.8	1.20	1	734.81	995.60	0.738 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	362.35	995.60	0.364 ✓	1	Bolt Shear
T4	21.75	Leg	G 6.8	2.00	8	5121.42	4148.32	1.235 ✗	1	Bolt SS
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	768.05	995.60	0.771 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	408.51	995.60	0.410 ✓	1	Bolt Shear
T5	20.5	Diagonal	G 4.8	1.20	1	828.61	995.60	0.832 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	417.20	995.60	0.419 ✓	1	Bolt Shear
T6	19.25	Diagonal	G 4.8	1.20	1	853.24	995.60	0.857 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	440.49	995.60	0.442 ✓	1	Bolt Shear
T7	18	Diagonal	G 4.8	1.20	1	875.20	995.60	0.879 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	480.07	995.60	0.482 ✓	1	Bolt Shear
T8	16.75	Leg	G 9.8	2.40	4	13312.71	8960.36	1.486 ✗	1	Bolt SS
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	868.98	995.60	0.873 ✓	1	Bolt Shear

Section No.	Elevation m	Component Type	Bolt Grade	Bolt Size cm	Number Of Bolts	Maximum Load per Bolt kg	Allowable Load kg	Ratio Load Allowable	Allowable Ratio	Criteria
T9	15.5	Horizontal	G 4.8	1.20	1	498.41	995.60	0.501 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	947.32	995.60	0.952 ✓	1	Bolt Shear
T10	14.25	Horizontal	G 4.8	1.20	1	550.17	995.60	0.553 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	973.70	995.60	0.978 ✓	1	Bolt Shear
T11	13	Horizontal	G 4.8	1.20	1	572.98	995.60	0.576 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	1002.91	995.60	1.007 ✗	1	Bolt Shear
T12	11.75	Horizontal	G 4.8	1.20	1	592.09	995.60	0.595 ✓	1	Bolt Shear
		Leg	G 9.8	2.40	6	11090.56	8960.36	1.238 ✗	1	Bolt SS
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	1032.38	995.60	1.037 ✗	1	Bolt Shear
T13	10.5	Horizontal	G 4.8	1.20	1	602.58	995.60	0.605 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	1054.85	995.60	1.060 ✗	1	Bolt Shear
T14	9.25	Horizontal	G 4.8	1.20	1	621.91	995.60	0.625 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	1092.80	995.60	1.098 ✗	1	Bolt Shear
T15	8	Horizontal	G 4.8	1.20	1	623.06	995.60	0.626 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	1098.46	995.60	1.103 ✗	1	Bolt Shear
T16	6.75	Horizontal	G 4.8	1.20	1	659.56	995.60	0.662 ✓	1	Bolt Shear
		Leg	G 9.8	2.40	6	13448.56	8960.36	1.501 ✗	1	Bolt SS
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	1158.73	995.60	1.164 ✗	1	Bolt Shear
T17	5.5	Horizontal	G 4.8	1.20	1	635.29	995.60	0.638 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	1	1149.08	995.60	1.154 ✗	1	Bolt Shear
T18	4.25	Horizontal	G 4.8	1.20	1	636.33	995.60	0.639 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	2	608.36	995.60	0.611 ✓	1	Bolt Shear
T19	3	Horizontal	G 4.8	1.20	1	661.67	995.60	0.665 ✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	2	569.06	995.60	0.572 ✓	1	Bolt Shear
T20	1.75	Horizontal	G 4.8	1.20	1	693.74	995.60	0.697 ✓	1	Bolt Shear
		Leg	G 9.8	2.40	8	11909.71	8960.36	1.329 ✗	1	Bolt SS
		Diagonal	G 4.8	1.20	2	724.97	995.60	0.728 ✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	714.73	995.60	0.718 ✓	1	Bolt Shear

Compression Checks

Leg Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	Mast Stability Index	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
L1	45.5 - 44.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-13.21	9720.17	0.001* ✓
L2	44.5 - 43.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-110.94	9720.17	0.011 ✓
L3	43.5 - 42.5	L 75x6	1.0000	0.5000	33.7 K=1.00	1.00	129076	8.64	-695.57	11372.06	0.061 ✓
L4	42.5 - 41.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-1615.09	9720.17	0.166 ✓
L5	41.5 - 40.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-2474.63	9720.17	0.255 ✓
L6	40.5 - 39.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-3458.03	9720.17	0.356 ✓
L7	39.5 - 38.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-4649.60	9720.17	0.478 ✓
L8	38.5 - 37.5	L 75x6	1.0000	0.5000	33.7 K=1.00	1.00	129076	8.64	-5791.47	11372.06	0.509 ✓
L9	37.5 - 36.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-7419.23	9720.17	0.763 ✓
L10	36.5 - 35.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-8658.45	9720.17	0.891 ✓
L11	35.5 - 34.5	L 90x7	1.0000	1.0000	56.2 K=1.00	1.00	117239	12.11	-10266.84	14477.63	0.709 ✓
L12	34.5 - 33.5	L 90x7	1.0000	1.0000	56.2 K=1.00	1.00	117239	12.11	-12102.26	14477.63	0.836 ✓
L13	33.5 - 32.5	L 90x7	1.0000	0.5000	28.1 K=1.00	1.00	131616	12.11	-13584.87	16252.95	0.836 ✓
L14	32.5 - 31.5	L 90x7	1.0000	1.0000	56.2 K=1.00	1.00	117239	12.11	-15675.48	14477.63	1.083 ✗
L15	31.5 - 30.5	H1-3 (1.08 CR) - 219 L 90x7	1.0000	1.0000	56.2 K=1.00	1.00	117239	12.11	-17174.83	14477.63	1.186 ✗
L16	30.5 - 29.5	bolt (2.07 CR) - 231 HL 100x7	1.0000	1.0000	50.4 K=1.00	1.00	169670	13.51	-19143.33	23374.39	0.819 ✓
L17	29.5 - 28.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	50.4 K=1.00	1.00	169670	13.51	-21482.82	23374.39	0.919 ✓
L18	28.5 - 27.5	HL 100x7	1.0000	0.5000	25.2 K=1.00	1.00	194059	13.51	-23194.00	26734.29	0.868 ✓
L19	27.5 - 26.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	50.4 K=1.00	1.00	169670	13.51	-25838.94	23374.39	1.105 ✗
L20	26.5 - 25.5	H1-3 (1.11 CR) - 299 HL 100x7	1.0000	1.0000	50.4 K=1.00	1.00	169670	13.51	-27572.93	23374.39	1.180 ✗
T1	25.5 - 24.25	bolt (2.22 CR) - 311 HL 100x7	1.2502	0.6251	31.5 K=1.00	1.00	188661	13.51	-29186.09	25990.62	1.123 ✗
T2	24.25 - 23	H1-3 (1.12 CR) - 323 HL 100x7	1.2502	0.6251	31.5 K=1.00	1.00	188661	13.51	-31745.76	25990.62	1.221 ✗

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	Mast Stability Index	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
T3	23 - 21.75	H1-3 (1.22 CR) - 351 HL 100x7	1.2502	0.6251	31.5 K=1.00	1.00	188661	13.51	-33538.04	25990.62	1.290 ✗
T4	21.75 - 20.5	H1-3 (1.29 CR) - 379 HL 100x7	1.2502	0.6251	31.5 K=1.00	1.00	188661	13.51	-35588.69	25990.62	1.369 ✗
T5	20.5 - 19.25	bolt (2.14 CR) - 403 HL 120x8	1.2502	0.6251	26.2 K=1.00	1.00	183876	18.56	-37645.32	34800.34	1.082 ✗
T6	19.25 - 18	H1-3 (1.08 CR) - 431 HL 120x8	1.2502	0.6251	26.2 K=1.00	1.00	183876	18.56	-39571.14	34800.34	1.137 ✗
T7	18 - 16.75	H1-3 (1.14 CR) - 455 HL 120x8	1.2502	0.6251	26.2 K=1.00	1.00	183876	18.56	-41699.71	34800.34	1.198 ✗
T8	16.75 - 15.5	H1-3 (1.20 CR) - 483 HL 120x8	1.2502	0.6251	26.2 K=1.00	1.00	183876	18.56	-43695.15	34800.34	1.256 ✗
T9	15.5 - 14.25	bolt (2.44 CR) - 507 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-45747.98	44399.22	1.030 ✗
T10	14.25 - 13	H1-3 (1.03 CR) - 535 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-47815.45	44399.22	1.077 ✗
T11	13 - 11.75	H1-3 (1.08 CR) - 559 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-49951.87	44399.22	1.125 ✗
T12	11.75 - 10.5	H1-3 (1.13 CR) - 587 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-52078.32	44399.22	1.173 ✗
T13	10.5 - 9.25	bolt (1.94 CR) - 611 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-54247.39	44399.22	1.222 ✗
T14	9.25 - 8	H1-3 (1.22 CR) - 639 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-56383.82	44399.22	1.270 ✗
T15	8 - 6.75	H1-3 (1.27 CR) - 663 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-58633.18	44399.22	1.321 ✗
T16	6.75 - 5.5	H1-3 (1.32 CR) - 691 HL 130x9	1.2502	0.6251	24.2 K=1.00	1.00	192744	22.59	-60684.78	44399.22	1.367 ✗
T17	5.5 - 4.25	bolt (2.26 CR) - 715 HL 130x12	1.2502	0.6251	24.4 K=1.00	1.00	216824	29.76	-63204.94	65799.03	0.961 ✓
T18	4.25 - 3	HL 130x12	1.2502	0.6251	24.4 K=1.00	1.00	216824	29.76	-65199.84	65799.03	0.991 ✓
T19	3 - 1.75	HL 130x12	1.2502	0.6251	24.4 K=1.00	1.00	216824	29.76	-67780.33	65799.03	1.030 ✗
T20	1.75 - 0.5	H1-3 (1.03 CR) - 795 HL 130x12	1.2502	0.6251	24.4 K=1.00	1.00	216824	29.76	-69323.00	65799.03	1.054 ✗

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	Mast Stability Index	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P/P _a
bolt (1.93 CR) - 819											

* DL controls

Diagonal Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P/P _a
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-20.68	2357.79	0.009
L2	44.5 - 43.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-50.13	2357.79	0.021
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-599.18	2357.79	0.254
L4	42.5 - 41.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-609.63	2357.79	0.259
L5	41.5 - 40.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-658.58	2357.79	0.279
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-679.35	2357.79	0.288
L7	39.5 - 38.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-719.23	2357.79	0.305
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-920.74	2357.79	0.391
L9	37.5 - 36.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-920.60	2357.79	0.390
L10	36.5 - 35.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-989.66	2357.79	0.420
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-980.87	2357.79	0.416
L12	34.5 - 33.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1061.35	2380.12	0.446
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1115.42	2380.12	0.469
L14	32.5 - 31.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1088.72	2380.12	0.457
L15	31.5 - 30.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1196.51	2380.12	0.503
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1136.87	2380.12	0.478
L17	29.5 - 28.5	L 40x3	1.4142	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1270.91	2394.90	0.531
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1338.57	2394.90	0.559
L19	27.5 - 26.5	L 40x3	1.4142	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1247.03	2394.90	0.521
L20	26.5 - 25.5	L 40x3	1.4142	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1438.74	2394.90	0.601
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	0.8103	0.7317	92.4 K=1.00	92898	2.31	-1293.31	2188.26	0.591
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.8203	0.7431	93.8	91804	2.31	-1214.20	2162.47	0.561

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
T3	23 - 21.75	L 40x3	0.8305	0.7546	K=1.00 95.3	90692	2.31	-1170.53	2136.28	0.548
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.8409	0.7662	K=1.00 96.8	89561	2.31	-1199.89	2109.66	0.569
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	0.8514	0.7631	K=1.00 96.4	89864	2.31	-1269.51	2116.79	0.600
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8621	0.7750	K=1.00 97.9	88690	2.31	-1278.87	2089.13	0.612
T7	18 - 16.75	L 40x3	0.8729	0.7870	K=1.00 99.4	87497	2.31	-1286.79	2061.04	0.624
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8839	0.7991	K=1.00 100.9	86287	2.31	-1255.09	2032.53	0.617
T9	15.5 - 14.25	L 50x4	0.8950	0.8042	K=1.00 81.4	100963	3.84	-1343.81	3953.43	0.340
T10	14.25 - 13	L 50x4	0.9063	0.8165	K=1.00 82.6	100082	3.84	-1359.48	3918.92	0.347
T11	13 - 11.75	L 50x4	0.9177	0.8289	K=1.00 83.9	99189	3.84	-1377.94	3883.94	0.355
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9292	0.8413	K=1.00 85.1	98283	3.84	-1398.92	3848.48	0.363
T13	10.5 - 9.25	L 50x4	0.9408	0.8538	K=1.00 86.4	97365	3.84	-1410.45	3812.54	0.370
T14	9.25 - 8	L 50x4	0.9525	0.8664	K=1.00 87.7	96435	3.84	-1444.43	3776.12	0.383
T15	8 - 6.75	L 50x4	0.9644	0.8790	K=1.00 88.9	95492	3.84	-1433.72	3739.20	0.383
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	0.9763	0.8917	K=1.00 90.2	94537	3.84	-1524.23	3701.80	0.412
T17	5.5 - 4.25	L 50x4	0.9884	0.9045	K=1.00 91.5	93569	3.84	-1474.28	3663.90	0.402
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0005	0.9173	K=1.00 92.8	92589	3.84	-1548.39	3625.51	0.427
T19	3 - 1.75	L 50x4	1.0128	0.9302	K=1.00 94.1	91595	3.84	-1421.22	3586.62	0.396
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.0251	0.9431	K=1.00 95.4	90590	3.84	-1908.14	3547.23	0.538

Horizontal Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	1.0000	0.4625	58.4 K=1.00	115921	2.31	-21.14	2730.57	0.008
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	1.0000	0.4625	58.4 K=1.00	115921	2.31	-86.88	2730.57	0.032
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	1.0000	0.4550	57.5 K=1.00	116483	2.31	-203.77	2743.82	0.074
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	1.0000	0.4500	56.8 K=1.00	116856	2.31	-347.91	2752.59	0.126
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0156	0.9156	73.5 K=1.00	106354	2.31	-437.86	2505.21	0.175
T2	24.25 - 23	L 40x3	1.0469	0.4734	59.8	115093	2.31	-710.79	2711.06	0.262

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
T3	23 - 21.75	L 40x3	1.0781	0.9781	K=1.00 78.6	102939	2.31	-659.61	2424.77	0.272
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	1.1094	0.5047	K=1.00 63.7	112675	2.31	-730.96	2654.11	0.275
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	1.1406	1.0206	K=1.00 82.0	100550	2.31	-729.25	2368.49	0.308
T6	19.25 - 18	L 40x3	1.1719	0.5259	K=1.00 66.4	110988	2.31	-756.81	2614.38	0.289
T7	18 - 16.75	L 40x3	1.2031	1.0831	K=1.00 87.0	96937	2.31	-812.84	2283.39	0.356
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	1.2344	0.5572	K=1.00 70.4	108445	2.31	-837.73	2554.47	0.328
T9	15.5 - 14.25	L 40x3	1.2656	1.1356	K=1.00 91.2	93811	2.31	-910.89	2209.77	0.412
T10	14.25 - 13	L 40x3	1.2969	0.5834	K=1.00 73.7	106252	2.31	-931.34	2502.81	0.372
T11	13 - 11.75	L 40x3	1.3281	1.1981	K=1.00 96.2	89981	2.31	-953.43	2119.54	0.450
T12	11.75 - 10.5	L 40x3	1.3594	0.6147	K=1.00 77.6	103574	2.31	-959.77	2439.73	0.393
T13	10.5 - 9.25	L 40x3	1.3906	1.2606	K=1.00 101.2	86030	2.31	-980.09	2026.48	0.484
T14	9.25 - 8	L 40x3	1.4219	0.6459	K=1.00 81.6	100823	2.31	-974.04	2374.94	0.410
T15	8 - 6.75	L 40x3	1.4531	1.3231	K=1.00 106.3	81957	2.31	-1019.28	1930.53	0.528
T16	6.75 - 5.5	L 40x3	1.4844	0.6772	K=1.00 85.5	98000	2.31	-975.30	2308.43	0.422
T17	5.5 - 4.25	L 40x3	1.5156	1.3856	K=1.00 111.3	77758	2.31	-948.40	1831.63	0.518
T18	4.25 - 3	L 40x3	1.5469	0.7084	K=1.00 89.5	95103	2.31	-978.33	2240.20	0.437
T19	3 - 1.75	L 40x3	1.5781	1.4481	K=1.00 116.3	73431	2.31	-1025.91	1729.69	0.593
T20	1.75 - 0.5	L 40x3	1.6094	0.7397	K=1.00 93.4	92134	2.31	-1040.17	2170.25	0.479

Top Girt Design Data (Compression)

Section No.	Elevation <i>m</i>	Size	<i>L</i> <i>m</i>	<i>L_u</i> <i>m</i>	<i>Kl/r</i>	<i>F_a</i> <i>kPa</i>	<i>A</i> <i>cm²</i>	Actual <i>P</i> <i>kg</i>	Allow. <i>P_a</i> <i>kg</i>	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.0000	0.9250	116.8 K=1.00	72971	2.31	-9.03	1718.85	0.005
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.0000	0.9250	116.8 K=1.00	72971	2.31	-84.83	1718.85	0.049
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.0000	0.9250	116.8 K=1.00	72971	2.31	-238.50	1718.85	0.139
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.0000	0.9100	114.9 K=1.00	74625	2.31	-432.41	1757.81	0.246
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0000	0.9000	113.7 K=1.00	75717	2.31	-494.11	1783.54	0.277

Inner Bracing Design Data (Compression)

Section No.	Elevation <i>m</i>	Size	<i>L</i> <i>m</i>	<i>L_u</i> <i>m</i>	<i>Kl/r</i>	<i>F_a</i> <i>kPa</i>	<i>A</i> <i>cm²</i>	Actual <i>P</i> <i>kg</i>	Allow. <i>P_a</i> <i>kg</i>	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.05	2243.14	0.000
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.06	2243.14	0.000
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.14	2243.14	0.000
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.28	2243.14	0.000
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.7403	0.7403	93.5 K=1.00	92079	2.31	-0.19	2168.97	0.000
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.7844	0.7844	99.1 K=1.00	87752	2.31	-0.26	2067.03	0.000
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8286	0.8286	104.7 K=1.00	83273	2.31	-0.56	1961.55	0.000
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8728	0.8728	110.2 K=1.00	78642	2.31	-0.44	1852.45	0.000
T10	14.25 - 13	L 40x3	0.9170	0.9170	115.8 K=1.00	73852	2.31	-0.59	1739.61	0.000
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9612	0.9612	97.3 K=1.00	89167	3.84	-0.57	3491.53	0.000
T14	9.25 - 8	L 50x4	1.0054	1.0054	101.7 K=1.00	85631	3.84	-0.55	3353.05	0.000
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	1.0496	1.0496	106.2 K=1.00	81997	3.84	-0.52	3210.75	0.000
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0938	1.0938	110.7 K=1.00	78263	3.84	-0.53	3064.55	0.000
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.1380	1.1380	115.2 K=1.00	74428	3.84	-0.50	2914.36	0.000

Tension Checks

Leg Design Data (Tension)

Section No.	Elevation <i>m</i>	Size	<i>L</i>	<i>L_u</i>	<i>Kl/r</i>	<i>F_a</i> <i>kPa</i>	<i>A</i> <i>cm²</i>	Actual <i>P</i> <i>kg</i>	Allow. <i>P_a</i> <i>kg</i>	Ratio
			<i>m</i>	<i>m</i>						$\frac{P}{P_a}$
L2	44.5 - 43.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	62.41	12445.85	0.005
L3	43.5 - 42.5	L 75x6	1.0000	0.5000	21.5	141264	8.64	483.88	12445.85	0.039
L4	42.5 - 41.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	1354.29	12445.85	0.109
L5	41.5 - 40.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	2198.50	12445.85	0.177
L6	40.5 - 39.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	3145.52	12445.85	0.253
L7	39.5 - 38.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	4285.15	12445.85	0.344
L8	38.5 - 37.5	L 75x6	1.0000	0.5000	21.5	141264	8.64	5364.59	12445.85	0.431
L9	37.5 - 36.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	6929.90	12445.85	0.557
L10	36.5 - 35.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	8164.07	12445.85	0.656
L11	35.5 - 34.5	L 90x7	1.0000	1.0000	35.7	141264	12.11	9726.16	17444.35	0.558
L12	34.5 - 33.5	L 90x7	1.0000	1.0000	35.7	141264	12.11	11502.20	17444.35	0.659
L13	33.5 - 32.5	L 90x7	1.0000	0.5000	17.9	141264	12.11	12965.40	17444.35	0.743
L14	32.5 - 31.5	L 90x7	1.0000	1.0000	35.7	141264	12.11	14984.61	17444.35	0.859
L15	31.5 - 30.5	L 90x7	1.0000	1.0000	35.7	141264	12.11	16474.07	17444.35	0.944
L16	30.5 - 29.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	32.0	235440	13.51	18395.31	32435.08	0.567
L17	29.5 - 28.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	32.0	235440	13.51	20666.90	32435.08	0.637
L18	28.5 - 27.5	HL 100x7	1.0000	0.5000	16.0	235440	13.51	22364.24	32435.08	0.690
L19	27.5 - 26.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	32.0	235440	13.51	24927.45	32435.08	0.769
L20	26.5 - 25.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	32.0	264870	10.27	26654.37	27726.34	0.961
T1	25.5 - 24.25	HL 100x7	1.2502	0.6251	20.0	235440	13.51	28242.53	32435.08	0.871
T2	24.25 - 23	HL 100x7	1.2502	0.6251	20.0	235440	13.51	30720.55	32435.08	0.947
T3	23 - 21.75	HL 100x7	1.2502	0.6251	20.0	235440	13.51	32472.91	32435.08	1.001 X
T4	21.75 - 20.5	H2-1 (1.00 CR) - 377 HL 100x7	1.2502	0.6251	20.0	264870	10.27	34460.06	27726.34	1.243 X
T5	20.5 - 19.25	bolt (2.08 CR) - 401 HL 120x8	1.2502	0.6251	16.7	235440	18.56	36457.90	44559.25	0.818
T6	19.25 - 18	HL 120x8	1.2502	0.6251	16.7	235440	18.56	38319.86	44559.25	0.860

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P/P _a
T7	18 - 16.75	HL 120x8	1.2502	0.6251	16.7	235440	18.56	40377.22	44559.25	0.906
T8	16.75 - 15.5	HL 120x8	1.2502	0.6251	16.7	264870	14.21	42307.93	38385.54	1.102
T9	15.5 - 14.25	bolt (2.36 CR) - 505 HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	235440	22.59	44285.60	54234.69	0.817
T10	14.25 - 13	HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	235440	22.59	46269.16	54234.69	0.853
T11	13 - 11.75	HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	235440	22.59	48318.94	54234.69	0.891
T12	11.75 - 10.5	HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	264870	17.70	50358.29	47802.30	1.053
T13	10.5 - 9.25	bolt (1.87 CR) - 609 HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	235440	22.59	52437.56	54234.69	0.967
T14	9.25 - 8	HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	235440	22.59	54488.71	54234.69	1.005
T15	8 - 6.75	H2-1 (1.00 CR) - 661 HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	235440	22.59	56642.82	54234.69	1.044
T16	6.75 - 5.5	H2-1 (1.04 CR) - 689 HL 130x9	1.2502	0.6251	15.4	264870	17.70	58615.94	47802.30	1.226
T17	5.5 - 4.25	bolt (2.18 CR) - 713 HL 130x12	1.2502	0.6251	15.6	235440	29.76	61021.80	71448.53	0.854
T18	4.25 - 3	HL 130x12	1.2502	0.6251	15.6	235440	29.76	62932.33	71448.53	0.881
T19	3 - 1.75	HL 130x12	1.2502	0.6251	15.6	235440	29.76	65379.46	71448.53	0.915
T20	1.75 - 0.5	HL 130x12 bolt (1.87 CR) - 817	1.2502	0.6251	15.6	264870	23.24	66862.71	62764.05	1.065

Diagonal Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P/P _a
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	18.86	2783.08	0.007
L2	44.5 - 43.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	53.62	2783.08	0.019
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.6541	52.5	196200	1.39	587.34	2783.08	0.211
L4	42.5 - 41.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	615.48	2783.08	0.221
L5	41.5 - 40.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	651.89	2783.08	0.234
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	674.39	2783.08	0.242
L7	39.5 - 38.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	720.79	2783.08	0.259
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.6541	52.5	196200	1.39	913.09	2783.08	0.328

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L9	37.5 - 36.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	921.19	2783.08	0.331
L10	36.5 - 35.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	987.77	2783.08	0.355
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	980.20	2783.08	0.352
L12	34.5 - 33.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1059.58	2783.08	0.381
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.6435	51.7	196200	1.39	1113.56	2783.08	0.400
L14	32.5 - 31.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1085.73	2783.08	0.390
L15	31.5 - 30.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1201.58	2783.08	0.432
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1141.32	2783.08	0.410
L17	29.5 - 28.5	L 40x3	1.4142	0.6364	51.1	196200	1.39	1267.77	2783.08	0.456
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.6364	51.1	196200	1.39	1340.98	2783.08	0.482
L19	27.5 - 26.5	L 40x3	1.4142	0.6364	51.1	196200	1.39	1241.96	2783.08	0.446
L20	26.5 - 25.5	L 40x3	1.4142	0.6364	51.1	196200	1.39	1448.87	2783.08	0.521
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	0.8103	0.7317	58.8	196200	1.39	1259.83	2783.08	0.453
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.8203	0.7431	59.7	196200	1.39	1224.96	2783.08	0.440
T3	23 - 21.75	L 40x3	0.8305	0.7546	60.6	196200	1.39	1185.89	2783.08	0.426
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.8409	0.7662	61.5	196200	1.39	1216.36	2783.08	0.437
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	0.8514	0.7631	61.3	196200	1.39	1279.92	2783.08	0.460
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8621	0.7750	62.2	196200	1.39	1291.80	2783.08	0.464
T7	18 - 16.75	L 40x3	0.8729	0.7870	63.2	196200	1.39	1298.16	2783.08	0.466
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8839	0.7991	64.2	196200	1.39	1262.16	2783.08	0.454
T9	15.5 - 14.25	L 50x4	0.8950	0.8042	51.8	196200	2.42	1352.95	4851.17	0.279
T10	14.25 - 13	L 50x4	0.9063	0.8165	52.6	196200	2.42	1367.63	4851.17	0.282
T11	13 - 11.75	L 50x4	0.9177	0.8289	53.4	196200	2.42	1385.00	4851.17	0.285
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9292	0.8413	54.2	196200	2.42	1403.33	4851.17	0.289
T13	10.5 - 9.25	L 50x4	0.9408	0.8538	55.0	196200	2.42	1415.93	4851.17	0.292
T14	9.25 - 8	L 50x4	0.9525	0.8664	55.8	196200	2.42	1445.80	4851.17	0.298
T15	8 - 6.75	L 50x4	0.9644	0.8790	56.6	196200	2.42	1437.29	4851.17	0.296
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	0.9763	0.8917	57.4	196200	2.42	1487.92	4851.17	0.307

Section No.	Elevation m	Size	L m	L_u m	Kl/r	F_a kPa	A cm^2	Actual P kg	Allow. P_a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T17	5.5 - 4.25	L 50x4	0.9884	0.9045	58.2	196200	2.42	1474.23	4851.17	0.304
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0005	0.9173	59.1	196200	2.42	1541.24	4851.17	0.318
T19	3 - 1.75	L 50x4	1.0128	0.9302	59.9	196200	2.42	1420.23	4851.17	0.293
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.0251	0.9431	60.7	196200	2.42	1850.67	4851.17	0.381

Horizontal Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L_u m	Kl/r	F_a kPa	A cm^2	Actual P kg	Allow. P_a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	1.0000	0.4625	37.1	196200	1.39	22.24	2783.08	0.008
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	1.0000	0.4625	37.1	196200	1.39	86.88	2783.08	0.031
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	1.0000	0.4550	36.5	196200	1.39	203.77	2783.08	0.073
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	1.0000	0.4500	36.1	196200	1.39	347.91	2783.08	0.125
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0156	0.9156	73.5	196200	1.39	437.86	2783.08	0.157
T2	24.25 - 23	L 40x3	1.0469	0.4734	38.0	196200	1.39	715.56	2783.08	0.257
T3	23 - 21.75	L 40x3	1.0781	0.9781	78.6	196200	1.39	662.95	2783.08	0.238
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	1.1094	0.5047	40.5	196200	1.39	735.26	2783.08	0.264
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	1.1406	1.0206	82.0	196200	1.39	733.15	2783.08	0.263
T6	19.25 - 18	L 40x3	1.1719	0.5259	42.2	196200	1.39	761.17	2783.08	0.274
T7	18 - 16.75	L 40x3	1.2031	1.0831	87.0	196200	1.39	817.86	2783.08	0.294
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	1.2344	0.5572	44.7	196200	1.39	834.38	2783.08	0.300
T9	15.5 - 14.25	L 40x3	1.2656	1.1356	91.2	196200	1.39	909.01	2783.08	0.327
T10	14.25 - 13	L 40x3	1.2969	0.5834	46.9	196200	1.39	937.88	2783.08	0.337
T11	13 - 11.75	L 40x3	1.3281	1.1981	96.2	196200	1.39	959.35	2783.08	0.345
T12	11.75 - 10.5	L 40x3	1.3594	0.6147	49.4	196200	1.39	965.49	2783.08	0.347
T13	10.5 - 9.25	L 40x3	1.3906	1.2606	101.2	196200	1.39	985.71	2783.08	0.354
T14	9.25 - 8	L 40x3	1.4219	0.6459	51.9	196200	1.39	979.06	2783.08	0.352
T15	8 - 6.75	L 40x3	1.4531	1.3231	106.3	196200	1.39	1024.70	2783.08	0.368
T16	6.75 - 5.5	L 40x3	1.4844	0.6772	54.4	196200	1.39	979.37	2783.08	0.352

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T17	5.5 - 4.25	L 40x3	1.5156	1.3856	111.3	196200	1.39	950.00	2783.08	0.341
T18	4.25 - 3	L 40x3	1.5469	0.7084	56.9	196200	1.39	978.33	2783.08	0.352
T19	3 - 1.75	L 40x3	1.5781	1.4481	116.3	196200	1.39	1028.91	2783.08	0.370
T20	1.75 - 0.5	L 40x3	1.6094	0.7397	59.4	196200	1.39	1040.17	2783.08	0.374

Top Girt Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.0000	0.9250	74.3	196200	1.39	8.88	2783.08	0.003
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.0000	0.9250	74.3	196200	1.39	95.22	2783.08	0.034
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.0000	0.9250	74.3	196200	1.39	253.41	2783.08	0.091
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.0000	0.9100	73.1	196200	1.39	450.97	2783.08	0.162
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0000	0.9000	72.3	196200	1.39	507.45	2783.08	0.182

Inner Bracing Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.05	3327.54	0.000
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.07	3327.54	0.000
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.15	3327.54	0.000
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.30	3327.54	0.000
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.7403	0.7403	59.4	141264	2.31	0.14	3327.54	0.000
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.7844	0.7844	63.0	141264	2.31	0.21	3327.54	0.000
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8286	0.8286	66.5	141264	2.31	0.51	3327.54	0.000
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8728	0.8728	70.1	141264	2.31	0.38	3327.54	0.000
T10	14.25 - 13	L 40x3	0.9170	0.9170	73.6	141264	2.31	0.49	3327.54	0.000
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9612	0.9612	61.9	141264	3.84	0.44	5531.47	0.000
T14	9.25 - 8	L 50x4	1.0054	1.0054	64.7	141264	3.84	0.42	5531.47	0.000

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	1.0496	1.0496	67.6	141264	3.84	0.38	5531.47	0.000 ✓
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0938	1.0938	70.4	141264	3.84	0.37	5531.47	0.000 ✓
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.1380	1.1380	73.3	141264	3.84	0.33	5531.47	0.000 ✓



ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม TNX.TOWER
หลังเสริมความแข็งแรง



Section	T20	T19	T18	T17	T16	T15	T14	T13	T12	T11	T10	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	L20	L19	L18	L17	L16	L15	L14	L13	L12	L11	L10	L9	L8	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1		
Legs	C		B		HL 130x9&FB125x12		HL 130x9&FB125x12		HL 130x9&FB100x9		HL 120x8 & FB100x9		HL 100x7 & FB100x9		HL 100x7 & FB75x12		HL 100x7		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540	
Leg Grade	SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540	
Diagonal Grade	SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540	
Top Girts	SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540	
Horizontals	SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540	
Inner Bracing	SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540		SS540	
Face Width (m)	1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379		1.6255379			
# Panels @ (m)	40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625		40 @ 0.625			
Weight (kg)	5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6		5675.6			



MAX. CORNER REACTIONS AT BASE:
 DOWN: 72171 kg
 SHEAR: 2604 kg

UPLIFT: -68687 kg
SHEAR: 2501 kg

AXIAL
 6969 kg

SHEAR
 6644 kg

MOMENT
 166100 kg-m

TORQUE 484 kg-m
REACTIONS - Zone A - 127.138 kgsm

DESIGNED APPURTENANCE LOADING

TYPE	ELEVATION	TYPE	ELEVATION
DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5	DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5
DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5	DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5
DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5	DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5
DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5	DB858DG90ESY (New Addition At Top -5.00m.)	38.5
DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5	DB858DG90ESY (New Addition At Top -5.00m.)	38.5
DB858DG90ESY (At Top -2.00 m.)	43.5	DB858DG90ESY (New Addition At Top -5.00m.)	38.5

SYMBOL LIST

MARK	SIZE	MARK	SIZE
A	L90x7_FB65x6	E	L 40x3
B	HL 130x12	F	L 50x4
C	HL130x12FB125x12	G	2 @ 0.5
D	SS540	H	1 @ 1

MATERIAL STRENGTH

GRADE	Fy	Fu	GRADE	Fy	Fu
SS400	235440 kPa	392400 kPa	SS540	392400 kPa	529740 kPa

TOWER DESIGN NOTES

1. Tower designed for Zone A - 127.138 kgsm to the EIA-222-C Standard.
2. Wind pressure multiplier is 0.868 for the non-ice condition.
3. Weld together tower sections have flange connections.
4. Connections use galvanized A325 bolts, nuts and locking devices. Installation per TIA/EIA-222 and AISC Specifications.
5. Tower members are "hot dipped" galvanized in accordance with ASTM A123 and ASTM A153 Standards.
6. Welds are fabricated with ER-70S-6 electrodes.

Bolt Design Data

Section No.	Elevation m	Component Type	Bolt Grade	Bolt Size cm	Number Of Bolts	Maximum Load per Bolt kg	Allowable Load kg	Ratio Load Allowable	Allowable Ratio	Criteria
L1	45.5	Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	9.03	995.60	0.009 ✓	1	Bolt Shear
L5	41.5	Latticed Pole Leg	G 5.8	1.60	4	1237.33	2212.44	0.559 ✓	1	Bolt SS
L6	40.5	Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	95.24	995.60	0.096 ✓	1	Bolt Shear
L10	36.5	Latticed Pole Leg	G 8.8	1.60	4	2164.88	3539.90	0.612 ✓	1	Bolt SS
		Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	987.33	1080.37	0.914 ✓	1	Member Bearing
L11	35.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	981.94	1080.37	0.909 ✓	1	Member Bearing
		Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	259.34	995.60	0.260 ✓	1	Bolt Shear
L12	34.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1055.85	1080.37	0.977 ✓	1	Member Bearing
L13	33.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1136.09	1440.49	0.789 ✓	1	Member Bearing
L14	32.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1111.20	1440.49	0.771 ✓	1	Member Bearing
L15	31.5	Latticed Pole Leg	G 8.8	2.00	4	4327.35	5531.11	0.782 ✓	1	Bolt SS
		Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1157.65	1440.49	0.804 ✓	1	Member Bearing
L16	30.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1147.15	1440.49	0.796 ✓	1	Member Bearing
		Latticed Pole Top Girt	G 4.8	1.20	1	350.48	995.60	0.352 ✓	1	Bolt Shear
L17	29.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1267.73	1440.49	0.880 ✓	1	Member Bearing
L18	28.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1346.83	1440.49	0.935 ✓	1	Member Bearing
L19	27.5	Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1432.44	1440.49	0.994 ✓	1	Member Bearing
		Latticed Pole Horizontal	G 4.8	1.20	1	458.77	995.60	0.461 ✓	1	Bolt Shear
L20	26.5	Latticed Pole Leg	G 8.8	2.00	6	4669.54	5531.11	1.185 ✓	1	Bolt SS
		Latticed Pole Diagonal	G 8.8	1.20	1	1353.60	1440.49	0.940 ✓	1	Member Bearing
T1	25.5	Diagonal	G 8.8	1.20	1	1243.99	1440.49	0.864 ✓	1	Member Bearing
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	446.74	995.60	0.449 ✓	1	Bolt Shear
		Top Girt	G 4.8	1.20	1	43.24	995.60	0.043 ✓	1	Bolt Shear
T2	24.25	Diagonal	G 8.8	1.20	1	1253.59	1440.49	0.870 ✓	1	Member Bearing
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	480.80	995.60	0.483 ✓	1	Bolt Shear
T3	23	Diagonal	G 8.8	1.20	1	1258.45	1440.49	0.873 ✓	1	Member Bearing
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	509.86	995.60	0.512 ✓	1	Bolt Shear
T4	21.75	Leg	G 8.8	2.00	8	4509.69	5531.11	0.815 ✓	1	Bolt SS
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1257.84	1440.49	0.873 ✓	1	Member Bearing
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	541.34	995.60	0.544 ✓	1	Bolt Shear
T5	20.5	Diagonal	G 8.8	1.20	1	1295.04	1440.49	0.899 ✓	1	Member Bearing
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	571.23	995.60	0.574 ✓	1	Bolt Shear
T6	19.25	Diagonal	G 8.8	1.20	1	1304.00	1440.49	0.905 ✓	1	Member Bearing
		Horizontal	G 4.8	1.20	1	602.03	995.60	0.605 ✓	1	Bolt Shear
T7	18	Diagonal	G 8.8	1.20	1	1315.84	1440.49	0.913 ✓	1	Member Bearing

Section No.	Elevation m	Component Type	Bolt Grade	Bolt Size cm	Number Of Bolts	Maximum Load per Bolt kg	Allowable Load kg	Ratio Load Allowable	Allowable Ratio	Criteria	
T8	16.75	Horizontal	G 4.8	1.20	1	633.37	995.60	0.636	✓	1	Bolt Shear
		Leg	G 9.8	2.40	6	7382.84	8960.36	0.824	✓	1	Bolt SS
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1285.56	1440.49	0.892	✓	1	Member Bearing
T9	15.5	Horizontal	G 4.8	1.20	1	664.67	995.60	0.668	✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1360.77	1440.49	0.945	✓	1	Member Bearing
T10	14.25	Horizontal	G 4.8	1.20	1	695.42	995.60	0.698	✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1378.30	1440.49	0.957	✓	1	Member Bearing
T11	13	Horizontal	G 4.8	1.20	1	727.05	995.60	0.730	✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1394.48	1440.49	0.968	✓	1	Member Bearing
T12	11.75	Horizontal	G 4.8	1.20	1	759.54	995.60	0.763	✓	1	Bolt Shear
		Leg	G 9.8	2.40	8	6590.70	8960.36	0.736	✓	1	Bolt SS
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1400.72	1440.49	0.972	✓	1	Member Bearing
T13	10.5	Horizontal	G 4.8	1.20	1	791.15	995.60	0.795	✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1410.46	1440.49	0.979	✓	1	Member Bearing
T14	9.25	Horizontal	G 8.8	1.20	1	825.14	1080.37	0.764	✓	1	Member Bearing
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1426.55	1440.49	0.990	✓	1	Member Bearing
T15	8	Horizontal	G 8.8	1.20	1	857.99	1080.37	0.794	✓	1	Member Bearing
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1446.19	1900.00	0.761	✓	1	Member Bearing
T16	6.75	Horizontal	G 8.8	1.20	1	889.93	1080.37	0.824	✓	1	Member Bearing
		Leg	G 9.8	2.40	8	7720.54	8960.36	0.862	✓	1	Bolt SS
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1412.26	1440.49	0.980	✓	1	Member Bearing
T17	5.5	Horizontal	G 8.8	1.20	1	926.74	1080.37	0.858	✓	1	Member Bearing
		Diagonal	G 8.8	1.20	1	1597.54	1640.37	0.974	✓	1	Member Bearing
T18	4.25	Horizontal	G 4.8	1.20	1	950.05	995.60	0.954	✓	1	Bolt Shear
		Diagonal	G 4.8	1.20	2	749.51	995.60	0.753	✓	1	Bolt Shear
T19	3	Horizontal	G 8.8	1.20	1	993.92	1080.37	0.920	✓	1	Member Bearing
		Diagonal	G 4.8	1.20	2	755.86	995.60	0.759	✓	1	Bolt Shear
T20	1.75	Horizontal	G 8.8	1.20	1	1026.21	1080.37	0.950	✓	1	Member Bearing
		Leg	G 9.8	2.40	10	7049.37	8960.36	0.787	✓	1	Bolt SS
		Diagonal	G 4.8	1.20	2	772.75	995.60	0.776	✓	1	Bolt Shear
		Horizontal	G 8.8	1.20	1	1057.66	1080.37	0.979	✓	1	Member Bearing

Compression Checks

Leg Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	Mast Stability Index	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
L1	45.5 - 44.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-13.21	9720.17	0.001*
L2	44.5 - 43.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-110.95	9720.17	0.011
L3	43.5 - 42.5	L 75x6	1.0000	0.5000	33.7 K=1.00	1.00	129076	8.64	-695.58	11372.06	0.061
L4	42.5 - 41.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-1615.11	9720.17	0.166
L5	41.5 - 40.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-2474.66	9720.17	0.255
L6	40.5 - 39.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-3458.03	9720.17	0.356
L7	39.5 - 38.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-4649.73	9720.17	0.478
L8	38.5 - 37.5	L 75x6	1.0000	0.5000	33.7 K=1.00	1.00	129076	8.64	-5791.42	11372.06	0.509
L9	37.5 - 36.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-7419.09	9720.17	0.763
L10	36.5 - 35.5	L 75x6	1.0000	1.0000	67.5 K=1.00	1.00	110327	8.64	-8659.53	9720.17	0.891
L11	35.5 - 34.5	L 90x7	1.0000	1.0000	56.2 K=1.00	1.00	117239	12.11	-10254.64	14477.63	0.708
L12	34.5 - 33.5	L 90x7	1.0000	1.0000	56.2 K=1.00	1.00	117239	12.11	-12123.80	14477.63	0.837
L13	33.5 - 32.5	L 90x7	1.0000	0.5000	28.1 K=1.00	1.00	131616	12.11	-13546.77	16252.95	0.833
L14	32.5 - 31.5	L90x7 & FB65x6	1.0000	1.0000	62.0 K=1.00	1.00	114689	20.02	-15725.64	23413.49	0.672
L15	31.5 - 30.5	L90x7 & FB65x6	1.0000	1.0000	62.0 K=1.00	1.00	114689	20.02	-17309.41	23413.49	0.739
L16	30.5 - 29.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	50.4 K=1.00	1.00	169670	13.51	-19142.33	23374.39	0.819
L17	29.5 - 28.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	50.4 K=1.00	1.00	169670	13.51	-21515.43	23374.39	0.920
L18	28.5 - 27.5	HL 100x7	1.0000	0.5000	25.2 K=1.00	1.00	194059	13.51	-23153.18	26734.29	0.866
L19	27.5 - 26.5	HL 100x7	1.0000	0.5000	25.2 K=1.00	1.00	194059	13.51	-25279.80	26734.29	0.946
L20	26.5 - 25.5	HL100x7&FB75x12	1.0000	1.0000	56.5 K=1.00	1.00	179865	31.62	-28017.23	57994.52	0.483
T1	25.5 - 24.25	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3 K=1.00	1.00	206225	31.62	-29777.99	66493.94	0.448
T2	24.25 - 23	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3 K=1.00	1.00	206225	31.62	-32041.46	66493.94	0.482
T3	23 - 21.75	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3 K=1.00	1.00	206225	31.62	-33980.61	66493.94	0.511
T4	21.75 - 20.5	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3 K=1.00	1.00	206225	31.62	-36077.52	66493.94	0.543
T5	20.5 - 19.25	HL120x8 &FB100x9	1.2502	0.6251	27.9 K=1.00	1.00	131986	36.76	-38068.93	49474.69	0.769

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	Mast Stability Index	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
T6	19.25 - 18	HL120x8 & FB100x9	1.2502	0.6251	27.9 K=1.00	1.00	131986	36.76	-40121.48	49474.69	0.811
T7	18 - 16.75	HL120x8 & FB100x9	1.2502	0.6251	27.9 K=1.00	1.00	131986	36.76	-42210.23	49474.69	0.853
T8	16.75 - 15.5	HL120x8 & FB100x9	1.2502	0.6251	27.9 K=1.00	1.00	131986	36.76	-44297.03	49474.69	0.895
T9	15.5 - 14.25	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3 K=1.00	1.00	132665	40.74	-46345.36	55113.30	0.841
T10	14.25 - 13	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3 K=1.00	1.00	132665	40.74	-48452.75	55113.30	0.879
T11	13 - 11.75	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3 K=1.00	1.00	132665	40.74	-50618.65	55113.30	0.918
T12	11.75 - 10.5	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3 K=1.00	1.00	132665	40.74	-52725.59	55113.30	0.957
T13	10.5 - 9.25	HL130x9&FB125x1 2	1.2502	0.6251	24.1 K=1.00	1.00	133526	52.74	-54992.19	71810.04	0.766
T14	9.25 - 8	HL130x9&FB125x1 2	1.2502	0.6251	24.1 K=1.00	1.00	133526	52.74	-57181.68	71810.04	0.796
T15	8 - 6.75	HL130x9&FB125x1 2	1.2502	0.6251	24.1 K=1.00	1.00	133526	52.74	-59311.76	71810.04	0.826
T16	6.75 - 5.5	HL130x9&FB125x1 2	1.2502	0.6251	24.1 K=1.00	1.00	133526	52.74	-61764.33	71810.04	0.860
T17	5.5 - 4.25	HL 130x12	1.2502	0.6251	24.4 K=1.00	1.00	216824	29.76	-63309.27	65799.03	0.962
T18	4.25 - 3	HL130x12&FB125x 12	1.2502	0.6251	24.1 K=1.00	1.00	133523	59.76	-66242.19	81366.78	0.814
T19	3 - 1.75	HL130x12&FB125x 12	1.2502	0.6251	24.1 K=1.00	1.00	133523	59.76	-68396.76	81366.78	0.841
T20	1.75 - 0.5	HL130x12&FB125x 12	1.2502	0.6251	24.1 K=1.00	1.00	133523	59.76	-70493.72	81366.78	0.866

* DL controls

Diagonal Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-20.68	2357.79	0.009
L2	44.5 - 43.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-50.13	2357.79	0.021
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-599.18	2357.79	0.254
L4	42.5 - 41.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-609.63	2357.79	0.259
L5	41.5 - 40.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-658.58	2357.79	0.279
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-679.35	2357.79	0.288
L7	39.5 - 38.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-719.24	2357.79	0.305

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-920.68	2357.79	0.390
L9	37.5 - 36.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-920.71	2357.79	0.390
L10	36.5 - 35.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-989.27	2357.79	0.420
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.4142	0.6541	82.6 K=1.00	100095	2.31	-982.28	2357.79	0.417
L12	34.5 - 33.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1058.46	2380.12	0.445
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1136.64	2380.12	0.478
L14	32.5 - 31.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1114.60	2380.12	0.468
L15	31.5 - 30.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1157.68	2380.12	0.486
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.4142	0.6435	81.3 K=1.00	101043	2.31	-1140.98	2380.12	0.479
L17	29.5 - 28.5	L 40x3	1.4142	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1273.67	2394.90	0.532
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1340.92	2394.90	0.560
L19	27.5 - 26.5	L 40x3	0.7071	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1421.54	2394.90	0.594
L20	26.5 - 25.5	L 40x3	1.4142	0.6364	80.4 K=1.00	101671	2.31	-1357.64	2394.90	0.567
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	0.8103	0.7317	92.4 K=1.00	92898	2.31	-1238.86	2188.26	0.566
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.8203	0.7431	93.8 K=1.00	91804	2.31	-1254.03	2162.47	0.580
T3	23 - 21.75	L 40x3	0.8305	0.7546	95.3 K=1.00	90692	2.31	-1256.00	2136.28	0.588
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.8409	0.7662	96.8 K=1.00	89561	2.31	-1258.09	2109.66	0.596
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	0.8514	0.7631	96.4 K=1.00	89864	2.31	-1293.79	2116.79	0.611
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8621	0.7750	97.9 K=1.00	88690	2.31	-1304.66	2089.13	0.624
T7	18 - 16.75	L 40x3	0.8729	0.7870	99.4 K=1.00	87497	2.31	-1316.04	2061.04	0.639
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8839	0.7991	100.9 K=1.00	86287	2.31	-1287.97	2032.53	0.634
T9	15.5 - 14.25	L 50x4	0.8950	0.8042	81.4 K=1.00	100963	3.84	-1364.53	3953.43	0.345
T10	14.25 - 13	L 50x4	0.9063	0.8165	82.6 K=1.00	100082	3.84	-1383.19	3918.92	0.353
T11	13 - 11.75	L 50x4	0.9177	0.8289	83.9 K=1.00	99189	3.84	-1400.23	3883.94	0.361
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9292	0.8413	85.1 K=1.00	98283	3.84	-1408.77	3848.48	0.366
T13	10.5 - 9.25	L 50x4	0.9408	0.8538	86.4 K=1.00	97365	3.84	-1417.68	3812.54	0.372
T14	9.25 - 8	L 50x4	0.9525	0.8664	87.7 K=1.00	96435	3.84	-1436.42	3776.12	0.380
T15	8 - 6.75	L 50x4	0.9644	0.8790	88.9 K=1.00	95492	3.84	-1456.59	3739.20	0.390

Section No.	Elevation m	Size	L m	L_u m	Kl/r	F_a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P_a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	0.9763	0.8917	90.2 K=1.00	94537	3.84	-1421.99	3701.80	0.384
T17	5.5 - 4.25	L 50x4	0.9884	0.9045	91.5 K=1.00	93569	3.84	-1597.54	3663.90	0.436
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0005	0.9173	92.8 K=1.00	92589	3.84	-1499.01	3625.51	0.413
T19	3 - 1.75	L 50x4	1.0128	0.9302	94.1 K=1.00	91595	3.84	-1511.71	3586.62	0.421
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.0251	0.9431	95.4 K=1.00	90590	3.84	-1545.49	3547.23	0.436

Horizontal Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L_u m	Kl/r	F_a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P_a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	1.0000	0.4625	58.4 K=1.00	115921	2.31	-21.14	2730.57	0.008
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	1.0000	0.4625	58.4 K=1.00	115921	2.31	-86.88	2730.57	0.032
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	1.0000	0.4550	57.5 K=1.00	116483	2.31	-203.21	2743.82	0.074
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	1.0000	0.4500	56.8 K=1.00	116856	2.31	-382.19	2752.59	0.139
L19	27.5 - 26.5	L 40x3	1.0000	0.9000	72.3 K=1.00	107189	2.31	-453.70	2524.89	0.180
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0156	0.9156	73.5 K=1.00	106354	2.31	-446.74	2505.21	0.178
T2	24.25 - 23	L 40x3	1.0469	0.4734	59.8 K=1.00	115093	2.31	-480.80	2711.06	0.177
T3	23 - 21.75	L 40x3	1.0781	0.9781	78.6 K=1.00	102939	2.31	-509.86	2424.77	0.210
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	1.1094	0.5047	63.7 K=1.00	112675	2.31	-541.34	2654.11	0.204
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	1.1406	1.0206	82.0 K=1.00	100550	2.31	-571.23	2368.49	0.241
T6	19.25 - 18	L 40x3	1.1719	0.5259	66.4 K=1.00	110988	2.31	-602.03	2614.38	0.230
T7	18 - 16.75	L 40x3	1.2031	1.0831	87.0 K=1.00	96937	2.31	-633.37	2283.39	0.277
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	1.2344	0.5572	70.4 K=1.00	108445	2.31	-664.67	2554.47	0.260
T9	15.5 - 14.25	L 40x3	1.2656	1.1356	91.2 K=1.00	93811	2.31	-695.42	2209.77	0.315
T10	14.25 - 13	L 40x3	1.2969	0.5834	73.7 K=1.00	106252	2.31	-727.05	2502.81	0.290
T11	13 - 11.75	L 40x3	1.3281	1.1981	96.2 K=1.00	89981	2.31	-759.54	2119.54	0.358
T12	11.75 - 10.5	L 40x3	1.3594	0.6147	77.6 K=1.00	103574	2.31	-791.15	2439.73	0.324
T13	10.5 - 9.25	L 40x3	1.3906	1.2606	101.2 K=1.00	86030	2.31	-825.14	2026.48	0.407
T14	9.25 - 8	L 40x3	1.4219	0.6459	81.6 K=1.00	100823	2.31	-857.99	2374.94	0.361

Section No.	Elevation m	Size	L m	L_u m	Kl/r	F_a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P_a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T15	8 - 6.75	L 40x3	1.4531	1.3231	106.3 K=1.00	81957	2.31	-889.93	1930.53	0.461
T16	6.75 - 5.5	L 40x3	1.4844	0.6772	85.5 K=1.00	98000	2.31	-926.74	2308.43	0.401
T17	5.5 - 4.25	L 40x3	1.5156	1.3856	111.3 K=1.00	77758	2.31	-949.97	1831.63	0.519
T18	4.25 - 3	L 40x3	1.5469	0.7084	89.5 K=1.00	95103	2.31	-993.92	2240.20	0.444
T19	3 - 1.75	L 40x3	1.5781	1.4481	116.3 K=1.00	73431	2.31	-1026.21	1729.69	0.593
T20	1.75 - 0.5	L 40x3	1.6094	0.7397	93.4 K=1.00	92134	2.31	-1057.66	2170.25	0.487

Top Girt Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L_u m	Kl/r	F_a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P_a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.0000	0.9250	116.8 K=1.00	72971	2.31	-9.03	1718.85	0.005
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.0000	0.9250	116.8 K=1.00	72971	2.31	-84.86	1718.85	0.049
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.0000	0.9250	116.8 K=1.00	72971	2.31	-244.05	1718.85	0.142
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.0000	0.9100	114.9 K=1.00	74625	2.31	-334.31	1757.81	0.190
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0000	0.9000	113.7 K=1.00	75717	2.31	-40.59	1783.54	0.023

Inner Bracing Design Data (Compression)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L_u m	Kl/r	F_a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P_a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.05	2243.14	0.000
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.06	2243.14	0.000
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.19	2243.14	0.000
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.7071	89.3 K=1.00	95228	2.31	-0.32	2243.14	0.000
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.7403	0.7403	93.5 K=1.00	92079	2.31	-0.55	2168.97	0.000
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.7844	0.7844	99.1 K=1.00	87752	2.31	-0.52	2067.03	0.000
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8286	0.8286	104.7 K=1.00	83273	2.31	-0.60	1961.55	0.000
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8728	0.8728	110.2 K=1.00	78642	2.31	-0.51	1852.45	0.000
T10	14.25 - 13	L 40x3	0.9170	0.9170	115.8	73852	2.31	-0.63	1739.61	0.000

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9612	0.9612	K=1.00 97.3	89167	3.84	-0.59	3491.53	0.000
T14	9.25 - 8	L 50x4	1.0054	1.0054	K=1.00 101.7	85631	3.84	-0.53	3353.05	0.000
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	1.0496	1.0496	K=1.00 106.2	81997	3.84	-0.46	3210.75	0.000
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0938	1.0938	K=1.00 110.7	78263	3.84	-0.39	3064.55	0.000
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.1380	1.1380	K=1.00 115.2	74428	3.84	-0.43	2914.36	0.000

Tension Checks

Leg Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L2	44.5 - 43.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	62.43	12445.85	0.005
L3	43.5 - 42.5	L 75x6	1.0000	0.5000	21.5	141264	8.64	483.90	12445.85	0.039
L4	42.5 - 41.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	1354.31	12445.85	0.109
L5	41.5 - 40.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	2198.54	12445.85	0.177
L6	40.5 - 39.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	3145.52	12445.85	0.253
L7	39.5 - 38.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	4285.26	12445.85	0.344
L8	38.5 - 37.5	L 75x6	1.0000	0.5000	21.5	141264	8.64	5364.55	12445.85	0.431
L9	37.5 - 36.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	6929.80	12445.85	0.557
L10	36.5 - 35.5	L 75x6	1.0000	1.0000	42.9	141264	8.64	8165.12	12445.85	0.656
L11	35.5 - 34.5	L 90x7	1.0000	1.0000	35.7	141264	12.11	9714.95	17444.35	0.557
L12	34.5 - 33.5	L 90x7	1.0000	1.0000	35.7	141264	12.11	11522.43	17444.35	0.661
L13	33.5 - 32.5	L 90x7	1.0000	0.5000	17.9	141264	12.11	12929.79	17444.35	0.741
L14	32.5 - 31.5	L90x7 & FB65x6	1.0000	1.0000	62.0	141264	20.02	15029.11	28838.68	0.521
L15	31.5 - 30.5	L90x7 & FB65x6	1.0000	1.0000	62.0	141264	20.02	16587.15	28838.68	0.575
L16	30.5 - 29.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	32.0	235440	13.51	18368.23	32435.08	0.566
L17	29.5 - 28.5	HL 100x7	1.0000	1.0000	32.0	235440	13.51	20676.33	32435.08	0.637
L18	28.5 - 27.5	HL 100x7	1.0000	0.5000	16.0	235440	13.51	22298.88	32435.08	0.687

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L19	27.5 - 26.5	HL 100x7	1.0000	0.5000	16.0	235440	13.51	24376.24	32435.08	0.752
L20	26.5 - 25.5	HL100x7&FB75x12	1.0000	1.0000	56.5	235440	31.62	27040.69	75914.15	0.356
T1	25.5 - 24.25	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3	235440	31.62	28743.20	75914.15	0.379
T2	24.25 - 23	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3	235440	31.62	30906.21	75914.15	0.407
T3	23 - 21.75	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3	235440	31.62	32759.00	75914.15	0.432
T4	21.75 - 20.5	HL100x7&FB75x12	1.2502	0.6251	35.3	235440	31.62	34762.69	75914.15	0.458
T5	20.5 - 19.25	HL120x8 &FB100x9	1.2502	0.6251	27.9	141264	36.76	36659.12	52952.39	0.692
T6	19.25 - 18	HL120x8 &FB100x9	1.2502	0.6251	27.9	141264	36.76	38610.47	52952.39	0.729
T7	18 - 16.75	HL120x8 &FB100x9	1.2502	0.6251	27.9	141264	36.76	40594.94	52952.39	0.767
T8	16.75 - 15.5	HL120x8 &FB100x9	1.2502	0.6251	27.9	141264	36.76	42578.41	52952.39	0.804
T9	15.5 - 14.25	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3	141264	40.74	44519.06	58685.80	0.759
T10	14.25 - 13	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3	141264	40.74	46505.93	58685.80	0.792
T11	13 - 11.75	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3	141264	40.74	48549.82	58685.80	0.827
T12	11.75 - 10.5	HL130x9&FB100x9	1.2502	0.6251	26.3	141264	40.74	50537.01	58685.80	0.861
T13	10.5 - 9.25	HL130x9&FB125x12	1.2502	0.6251	24.1	141264	52.74	52660.73	75971.75	0.693
T14	9.25 - 8	HL130x9&FB125x12	1.2502	0.6251	24.1	141264	52.74	54702.80	75971.75	0.720
T15	8 - 6.75	HL130x9&FB125x12	1.2502	0.6251	24.1	141264	52.74	56692.26	75971.75	0.746
T16	6.75 - 5.5	HL130x9&FB125x12	1.2502	0.6251	24.1	141264	52.74	58976.10	75971.75	0.776
T17	5.5 - 4.25	HL 130x12	1.2502	0.6251	15.6	235440	29.76	60444.38	71448.53	0.846
T18	4.25 - 3	HL130x12&FB125x12	1.2502	0.6251	24.1	141264	59.76	63193.60	86083.69	0.734
T19	3 - 1.75	HL130x12&FB125x12	1.2502	0.6251	24.1	141264	59.76	65192.58	86083.69	0.757
T20	1.75 - 0.5	HL130x12&FB125x12	1.2502	0.6251	24.1	141264	59.76	67144.84	86083.69	0.780

Diagonal Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	141264	2.31	18.86	3327.54	0.006

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P/P _a
L2	44.5 - 43.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	141264	2.31	53.63	3327.54	0.016
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.6541	52.5	141264	2.31	587.34	3327.54	0.177
L4	42.5 - 41.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	141264	2.31	615.48	3327.54	0.185
L5	41.5 - 40.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	141264	2.31	651.89	3327.54	0.196
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	141264	2.31	674.40	3327.54	0.203
L7	39.5 - 38.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	141264	2.31	720.78	3327.54	0.217
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.6541	52.5	141264	2.31	913.04	3327.54	0.274
L9	37.5 - 36.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	141264	2.31	921.31	3327.54	0.277
L10	36.5 - 35.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	987.33	2783.08	0.355
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.4142	0.6541	52.5	196200	1.39	981.94	2783.08	0.353
L12	34.5 - 33.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1055.85	2783.08	0.379
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.6435	51.7	196200	1.39	1136.09	2783.08	0.408
L14	32.5 - 31.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1111.20	2783.08	0.399
L15	31.5 - 30.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1157.65	2783.08	0.416
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.4142	0.6435	51.7	196200	1.39	1147.15	2783.08	0.412
L17	29.5 - 28.5	L 40x3	1.4142	0.6364	51.1	196200	1.39	1267.73	2783.08	0.456
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.6364	51.1	196200	1.39	1346.83	2783.08	0.484
L19	27.5 - 26.5	L 40x3	0.7071	0.6364	51.1	196200	1.39	1432.44	2783.08	0.515
L20	26.5 - 25.5	L 40x3	1.4142	0.6364	51.1	196200	1.39	1353.60	2783.08	0.486
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	0.8103	0.7317	58.8	196200	1.39	1243.99	2783.08	0.447
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.8203	0.7431	59.7	196200	1.39	1253.59	2783.08	0.450
T3	23 - 21.75	L 40x3	0.8305	0.7546	60.6	196200	1.39	1258.45	2783.08	0.452
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.8409	0.7662	61.5	196200	1.39	1257.84	2783.08	0.452
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	0.8514	0.7631	61.3	196200	1.39	1295.04	2783.08	0.465
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8621	0.7750	62.2	196200	1.39	1304.00	2783.08	0.469
T7	18 - 16.75	L 40x3	0.8729	0.7870	63.2	196200	1.39	1315.84	2783.08	0.473
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8839	0.7991	64.2	196200	1.39	1285.56	2783.08	0.462
T9	15.5 - 14.25	L 50x4	0.8950	0.8042	51.8	196200	2.42	1360.77	4851.17	0.281
T10	14.25 - 13	L 50x4	0.9063	0.8165	52.6	196200	2.42	1378.30	4851.17	0.284

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
T11	13 - 11.75	L 50x4	0.9177	0.8289	53.4	196200	2.42	1394.48	4851.17	0.287
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9292	0.8413	54.2	196200	2.42	1400.72	4851.17	0.289
T13	10.5 - 9.25	L 50x4	0.9408	0.8538	55.0	196200	2.42	1410.46	4851.17	0.291
T14	9.25 - 8	L 50x4	0.9525	0.8664	55.8	196200	2.42	1426.55	4851.17	0.294
T15	8 - 6.75	L 50x4	0.9644	0.8790	56.6	196200	2.42	1446.19	4851.17	0.298
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	0.9763	0.8917	57.4	196200	2.42	1412.26	4851.17	0.291
T17	5.5 - 4.25	L 50x4	0.9884	0.9045	58.2	196200	2.42	1544.51	4851.17	0.318
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0005	0.9173	59.1	196200	2.42	1486.87	4851.17	0.306
T19	3 - 1.75	L 50x4	1.0128	0.9302	59.9	196200	2.42	1500.81	4851.17	0.309
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.0251	0.9431	60.7	196200	2.42	1524.69	4851.17	0.314

Horizontal Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio P P _a
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	1.0000	0.4625	37.1	141264	2.31	22.24	3327.54	0.007
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	1.0000	0.4625	37.1	141264	2.31	86.88	3327.54	0.026
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	1.0000	0.4550	36.5	141264	2.31	203.21	3327.54	0.061
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	1.0000	0.4500	36.1	141264	2.31	384.38	3327.54	0.116
L19	27.5 - 26.5	L 40x3	1.0000	0.9000	72.3	196200	1.39	458.77	2783.08	0.165
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0156	0.9156	73.5	196200	1.39	446.74	2783.08	0.161
T2	24.25 - 23	L 40x3	1.0469	0.4734	38.0	196200	1.39	480.80	2783.08	0.173
T3	23 - 21.75	L 40x3	1.0781	0.9781	78.6	196200	1.39	509.86	2783.08	0.183
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	1.1094	0.5047	40.5	196200	1.39	541.34	2783.08	0.195
T5	20.5 - 19.25	L 40x3	1.1406	1.0206	82.0	196200	1.39	571.23	2783.08	0.205
T6	19.25 - 18	L 40x3	1.1719	0.5259	42.2	196200	1.39	602.03	2783.08	0.216
T7	18 - 16.75	L 40x3	1.2031	1.0831	87.0	196200	1.39	633.37	2783.08	0.228
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	1.2344	0.5572	44.7	196200	1.39	664.67	2783.08	0.239
T9	15.5 - 14.25	L 40x3	1.2656	1.1356	91.2	196200	1.39	695.42	2783.08	0.250

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T10	14.25 - 13	L 40x3	1.2969	0.5834	46.9	196200	1.39	727.05	2783.08	0.261
T11	13 - 11.75	L 40x3	1.3281	1.1981	96.2	196200	1.39	759.54	2783.08	0.273
T12	11.75 - 10.5	L 40x3	1.3594	0.6147	49.4	196200	1.39	791.15	2783.08	0.284
T13	10.5 - 9.25	L 40x3	1.3906	1.2606	101.2	196200	1.39	825.14	2783.08	0.296
T14	9.25 - 8	L 40x3	1.4219	0.6459	51.9	196200	1.39	857.99	2783.08	0.308
T15	8 - 6.75	L 40x3	1.4531	1.3231	106.3	196200	1.39	889.93	2783.08	0.320
T16	6.75 - 5.5	L 40x3	1.4844	0.6772	54.4	196200	1.39	926.74	2783.08	0.333
T17	5.5 - 4.25	L 40x3	1.5156	1.3856	111.3	196200	1.39	950.05	2783.08	0.341
T18	4.25 - 3	L 40x3	1.5469	0.7084	56.9	196200	1.39	993.92	2783.08	0.357
T19	3 - 1.75	L 40x3	1.5781	1.4481	116.3	196200	1.39	1026.21	2783.08	0.369
T20	1.75 - 0.5	L 40x3	1.6094	0.7397	59.4	196200	1.39	1057.66	2783.08	0.380

Top Girt Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L1	45.5 - 44.5	L 40x3	1.0000	0.9250	74.3	196200	1.39	8.88	2783.08	0.003
L6	40.5 - 39.5	L 40x3	1.0000	0.9250	74.3	196200	1.39	95.24	2783.08	0.034
L11	35.5 - 34.5	L 40x3	1.0000	0.9250	74.3	196200	1.39	259.34	2783.08	0.093
L16	30.5 - 29.5	L 40x3	1.0000	0.9100	73.1	196200	1.39	350.48	2783.08	0.126
T1	25.5 - 24.25	L 40x3	1.0000	0.9000	72.3	196200	1.39	43.24	2783.08	0.016

Inner Bracing Design Data (Tension)

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _u m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L3	43.5 - 42.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.05	3327.54	0.000
L8	38.5 - 37.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.07	3327.54	0.000

Section No.	Elevation m	Size	L m	L _a m	Kl/r	F _a kPa	A cm ²	Actual P kg	Allow. P _a kg	Ratio $\frac{P}{P_a}$
L13	33.5 - 32.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.20	3327.54	0.000
L18	28.5 - 27.5	L 40x3	0.7071	0.7071	56.8	141264	2.31	0.36	3327.54	0.000
T2	24.25 - 23	L 40x3	0.7403	0.7403	59.4	141264	2.31	0.49	3327.54	0.000
T4	21.75 - 20.5	L 40x3	0.7844	0.7844	63.0	141264	2.31	0.46	3327.54	0.000
T6	19.25 - 18	L 40x3	0.8286	0.8286	66.5	141264	2.31	0.54	3327.54	0.000
T8	16.75 - 15.5	L 40x3	0.8728	0.8728	70.1	141264	2.31	0.44	3327.54	0.000
T10	14.25 - 13	L 40x3	0.9170	0.9170	73.6	141264	2.31	0.52	3327.54	0.000
T12	11.75 - 10.5	L 50x4	0.9612	0.9612	61.9	141264	3.84	0.46	5531.47	0.000
T14	9.25 - 8	L 50x4	1.0054	1.0054	64.7	141264	3.84	0.39	5531.47	0.000
T16	6.75 - 5.5	L 50x4	1.0496	1.0496	67.6	141264	3.84	0.31	5531.47	0.000
T18	4.25 - 3	L 50x4	1.0938	1.0938	70.4	141264	3.84	0.23	5531.47	0.000
T20	1.75 - 0.5	L 50x4	1.1380	1.1380	73.3	141264	3.84	0.25	5531.47	0.000





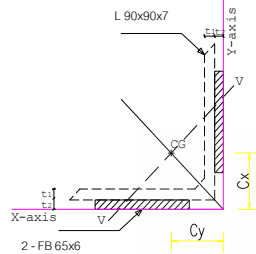
ภาคผนวก ข
การคำนวณหน้าตัดแปลง

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER

1 Block 15

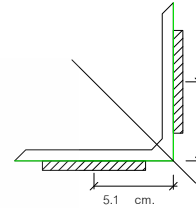
Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)		4	max 4	min 4	
			Cx	Cy				
L 90x90x7	9x9	0.7	12.22	2.46	2.46	93.00	148.00	38.30



Center of Gravity (CG) of Flat Bars

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)		
			Cx	Cy	
2 - FB 65x6	6.5x6.5	0.6	7.8	2.40	2.40



Combine Section

Position Add Flat Bars

CG of Combine Section

Piceture	Area (cm. ²)	Xi cm.	Yi cm	Axi cm ³	Ayi cm ²	dx cm	dy cm	du cm	dv cm
1	12.22	2.46	2.46	30.06	30.06	0.02	0.02	0.00	0.03
2	3.9	5.1	-0.3	19.89	-1.17	2.74	2.66	3.82	0.05
3	3.9	-0.3	5.1	-1.17	19.89	2.66	2.74	3.82	0.05
	20.02			48.78	48.78				

$$\text{Moment of Inertia ; } I_x = \sum I_{xc} + \sum A d_x^2$$

$$\sum I_{yc} + \sum A d_y^2$$

$$\sum \sum^2$$

$$\sum \sum^2$$

Radius of Gyration ; $r_x = \sqrt{I_x / A}$

Radius of Gyration ; $r_y = \sqrt{I_y / A}$

Radius of Gyration ; $r_u = \sqrt{I_u / A}$

Radius of Gyration ; $r_v = \sqrt{I_v / A}$

$$= 163.73 \text{ cm}^4$$

$$= 2.86 \text{ cm.}$$

$$= 2.86 \text{ cm.}$$

$$= 3.71 \text{ cm.}$$

$$= 1.61 \text{ cm.}$$

Design Member

Distance of Member ; L

Ratio kL/r

$$\sqrt{\pi^2}$$

Add : 2 - FB 65x6

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

$$= 93.01$$

$$> kL/r$$

Allowable Compressive Stress ; Fa

$$F_a = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kL/r}{C_c} \right)^2 \right] \times F_y$$

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

; Shot Column

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(kL/r)^2}$$

; Long Column

∴ Allowable Compression Stress ; Fa

$$= 92.34^2$$

ult mac

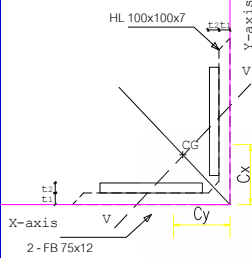
$$= 277.303 \text{ KN (28.27 tons)}$$

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER

1 Block 24

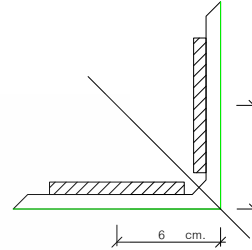
Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)		max	min
			Cx	Cy		
HL 100x100x7	10x10	0.7	13.62	2.71	129.00	205.00



Center of Gravity (CG) of Flat Bars

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)	
			Cx	Cy
2 - FB 75x12	7.5x7.5	1.2	18	3.65



Combine Section

Position Add Flat Bars

CG of Combine Section

Piceture	Area (cm. ²)	Xi cm.	Yi cm	Axi cm ³	Ayi cm ²	dx cm	dy cm	du cm	dv cm
1	13.62	2.71	2.71	36.91	36.91	0.54	0.54	0.00	0.76
2	9	6	1.3	54	11.7	1.95	2.75	3.37	-0.57
3	9	1.3	6	11.7	54	2.75	1.95	3.37	-0.57

$$I_x = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2$$

$$I_y = \sum I_{yc} + \sum A d_x^2$$

$$I_u = \sum I_{uc} + \sum A d_v^2$$

$$I_v = \sum I_{vc} + \sum A d_u^2$$

Radius of Gyration ; $r_x = \sqrt{I_x / A} = \sqrt{278.52 / 31.62} = 2.97 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_y = \sqrt{I_y / A} = \sqrt{278.52 / 31.62} = 2.97 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_u = \sqrt{I_u / A} = \sqrt{451.90 / 31.62} = 3.78 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_v = \sqrt{I_v / A} = \sqrt{109.09 / 31.62} = 1.86 \text{ cm.}$

Design Member

Add : 2 - FB 75x12

Distance of Member ; L

= 150 cm.

Ratio KL/r

= 80.76

$$\sqrt{\pi^2}$$

Allowable Compressive Stress ; F_a

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

; Shot Column

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

; Long Column

∴ Allowable Compression Stress ; F_a

= 101.27

ult mac

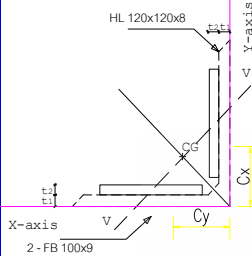
= 480.328 KN (48.96 tons)

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER

1 Block 28

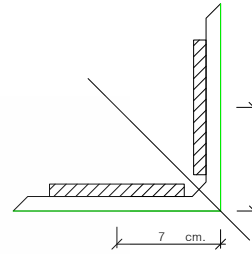
Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)					
			Cx	Cy	4			
HL 120x120x8	12x12	0.8	18.76	3.24	3.24	258.00	410.00	106.00



Center of Gravity (CG) of Flat Bars

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)	
			Cx	Cy
2 - FB 100x9	10x10	0.9	18	4.13



Combine Section

Position Add Flat Bars

CG of Combine Section

Piceture	Area (cm. ²)	Xi cm.	Yi cm	Axi cm ³	Ayi cm ²	dx cm	dy cm	du cm	dv cm
1	18.76	3.24	3.24	60.78	60.78	0.43	0.43	0.00	0.61
2	9	7	1.25	63	11.25	2.42	3.33	4.12	-0.64
3	9	1.25	7	11.25	63	3.33	2.42	4.12	-0.64

$$I_x = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2 = 489.58 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \sum I_{yc} + \sum A d_x^2 = 489.58 \text{ cm}^4$$

$$I_u = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2 + \sum I_{yc} + \sum A d_x^2 = 789.91 \text{ cm}^4$$

$$I_v = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2 + \sum I_{yc} + \sum A d_x^2 = 195.39 \text{ cm}^4$$

Radius of Gyration ; $r_x = \sqrt{I_x / A} = \sqrt{489.58 / 36.76} = 3.65 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_y = \sqrt{I_y / A} = \sqrt{489.58 / 36.76} = 3.65 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_u = \sqrt{I_u / A} = \sqrt{789.91 / 36.76} = 4.64 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_v = \sqrt{I_v / A} = \sqrt{195.39 / 36.76} = 2.31 \text{ cm.}$

Design Member Add. : 2 - FB 100x9

Distance of Member ; L = 150 cm.

Ratio $KL/r = \sqrt{\frac{L^2}{\pi^2 r^2}} = 65.06$

Allowable Compressive Stress ; F_a

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

: Shot Column

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

: Long Column

∴ Allowable Compression Stress : $F_a = 111.68 \text{ }^2$

ult msc

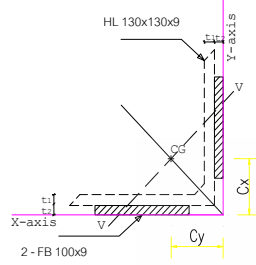
$$= 615.810 \text{ KN} \quad (62.77 \text{ tons})$$

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER

1 Block 32

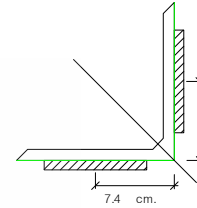
Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)		max	min
			Cx	Cy		
HL 130x130x9	13x13	0.9	22.74	3.53	366.00	150.00



Center of Gravity (CG) of Flat Bars

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)	
			Cx	Cy
2 - FB 100x9	10x10	0.9	18	3.48



Combine Section

Position Add Flat Bars

CG of Combine Section

Piceture	Area (cm. ²)	Xi cm.	Yi cm	Axi cm ³	Ayi cm ²	dx cm	dy cm	du cm	dv cm
1	22.74	3.53	3.53	80.27	80.27	0.02	0.02	0.00	0.03
2	9	7.4	-0.45	66.6	-4.05	3.96	3.89	5.55	0.04
3	9	-0.45	7.4	-4.05	66.6	3.89	3.96	5.55	0.04

$$I_x = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2$$

$$I_y = \sum I_{yc} + \sum A d_x^2$$

$$I_u = \sum I_{xc} + \sum A d_v^2$$

$$I_v = \sum I_{yc} + \sum A d_u^2$$

Radius of Gyration ; $r_x = \sqrt{I_x / A}$

Radius of Gyration ; $r_y = \sqrt{I_y / A}$

Radius of Gyration ; $r_u = \sqrt{I_u / A}$

Radius of Gyration ; $r_v = \sqrt{I_v / A}$

$$= 718.94 / 40.74 = 4.20 \text{ cm.}$$

$$= 718.94 / 40.74 = 4.20 \text{ cm.}$$

$$= 1212.64 / 40.74 = 5.46 \text{ cm.}$$

$$= 225.06 / 40.74 = 2.35 \text{ cm.}$$

Design Member

Distance of Member ; L

Ratio KL/r

$$\sqrt{\pi^2}$$

Add : 2 - FB 100x9

= 150 cm.

= 63.82

Allowable Compressive Stress ; Fa

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

; Shot Column

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

; Long Column

∴ Allowable Compression Stress ; Fa

= 11246 ²

ult mec

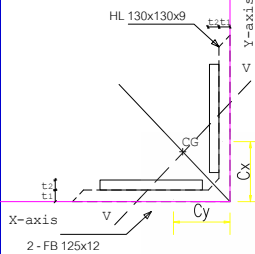
= 687.218 KN (70.05 tons)

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER

1 Block 36

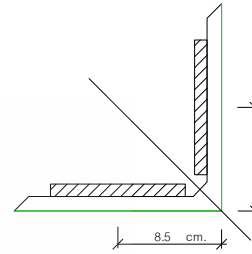
Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)		
			Cx	Cy	4
HL 130x130x9	13x13	0.9	22.74	3.53	366.00
					583.00
					150.00



Center of Gravity (CG) of Flat Bars

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm. ²)	Position Center of Gravity (cm.)	
			Cx	Cy
2 - FB 125x12	12.5x12.5	1.2	30	5.00



Combine Section

CG of Combine Section

Piceture	Area (cm. ²)	Xi cm.	Yi cm	Axi cm ³	Ayi cm ²	dx cm	dy cm	du cm	dv cm
1	22.74	3.53	3.53	80.27	80.27	0.84	0.84	0.00	1.18
2	15	8.5	1.5	127.5	22.5	2.87	4.13	5.03	-0.90
3	15	1.5	8.5	22.5	127.5	4.13	2.87	5.03	-0.90

$$I_x = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2 = 958.56 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \sum I_{yc} + \sum A d_x^2 = 958.56 \text{ cm}^4$$

$$I_u = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2 + \sum I_{yc} + \sum A d_x^2 = 1,537.42 \text{ cm}^4$$

$$I_v = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2 + \sum I_{yc} + \sum A d_x^2 = 401.22 \text{ cm}^4$$

Radius of Gyration ; $r_x = \sqrt{I_x / A} = \sqrt{958.56 / 52.74} = 4.26 \text{ cm.}$
 Radius of Gyration ; $r_y = \sqrt{I_y / A} = \sqrt{958.56 / 52.74} = 4.26 \text{ cm.}$
 Radius of Gyration ; $r_u = \sqrt{I_u / A} = \sqrt{1,537.42 / 52.74} = 5.40 \text{ cm.}$
 Radius of Gyration ; $r_v = \sqrt{I_v / A} = \sqrt{401.22 / 52.74} = 2.76 \text{ cm.}$

Design Member

Add : 2 - FB 125x12

Distance of Member ; L

= 150 cm.

Ratio kl/r

= 54.38

$$\sqrt{\frac{A}{\pi^2}}$$

Allowable Compressive Stress ; F_a

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

: Shot Column

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(kL/r)^2}$$

: Long Column

∴ Allowable Compression Stress : F_a

= 118.09 ²

ult

mcc

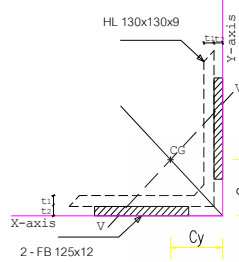
= 934.236 KN (95.23 tons)

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER

1 Block 40

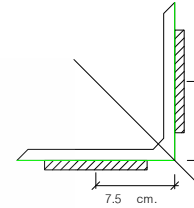
Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)			max	min
			C:				
HL 130x130x9	13x13	0.9	22.74	3.53	3.53	366.00	150.00



Center of Gravity (CG) of Flat Bars

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)	
			C:	
2 - FB 125x12	12.5x12.5	1.2	30	3.45



Combine Section

Position Add Flat Bars

CG of Combine Section

Picature	Area (cm.) ²	Xi cm.	Yi cm.	Axi cm ³	Ayi cm ²	dx cm	dy cm	du cm	dv cm
1	22.74	3.53	3.53	80.27	80.27	0.05	0.05	0.00	0.06
2	15	7.5	-0.6	112.5	-9	4.08	4.02	5.73	0.05
3	15	-0.6	7.5	-9	112.5	4.02	4.08	5.73	0.05

$$I_x = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2$$

$$I_y = \sum I_{yc} + \sum A d_x^2$$

$$I_x = 1055.27 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1055.27 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{I_x / A} = \sqrt{1055.27 / 52.74} = 4.47 \text{ cm.}$$

$$r_y = \sqrt{I_y / A} = \sqrt{1055.27 / 52.74} = 4.47 \text{ cm.}$$

$$r_u = \sqrt{I_u / A} = \sqrt{1762.53 / 52.74} = 5.78 \text{ cm.}$$

$$r_v = \sqrt{I_v / A} = \sqrt{345.48 / 52.74} = 2.56 \text{ cm.}$$

Design Member

Add : 2-FB 125x12

Distance of Member ; L

= 150 cm.

Ratio kL/r

= 58.61

$$\sqrt{\pi^2}$$

Allowable Compressive Stress ; Fa

$$F_a = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kL/r}{C_c} \right)^2 \right] \times F_y$$

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

; Shot Column

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(kL/r)^2}$$

; Long Column

∴ Allowable Compression Stress ; Fa

= 115.62²

ult mac

= 914.700 KN (93.24 tons)

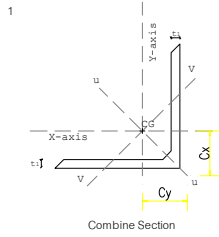


ภาคผนวก ค

การคำนวณกำลังรับแรงอัดสูงสุดของชิ้นงานทดสอบ



CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER



Center of Gravity (CG) of Main Angle

	AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)		o (cm.) ³	cm ⁴	cm.
				Cx	Cy			
L 65x65x6	6.5x6.5	0.6	7.527	1.81	1.81	46.60	46.60	1.27

Combine Section

Design Member

Distance of Member ; L

Ratio kL/r

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E / F_y}$$

Critical Compressive Stress ; Fu

$$F_u = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kL/r}{C_c} \right)^2 \right] \times F \quad ; \text{ Shot Column}$$

$$F_u = 1.2r^2 E \quad ; \text{ Long Column}$$

Ultimate Compression stress ; Fc

Maximum Compression Force ; Pc = Fc x A

= 150 cm.

= 118.11

> kL/r Shot Column

= 137 N/mm²

= 103443 N

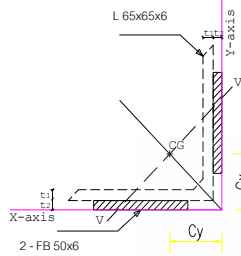


CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER

1

Center of Gravity (CG) of Main Angle

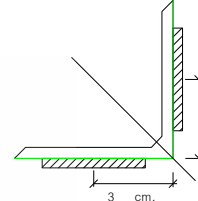
	AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)				
				Cx				
L 65x65x6	6.5x6.5	0.6	7.527	1.81	1.81	29.40	46.60	12.20



Combine Section

Center of Gravity (CG) of Flat Bars

	AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)	
				Cx	
2 - FB 50x6	5x5	0.6	6	1.35	1.35



Position Add Flat Bars

CG of Combine Section

Picature	Area (cm.) ²	Xi cm.	Yi cm.	Axi cm ³	Ayi cm ²	dx cm	dy cm	du cm	dv cm
1	7.527	1.81	1.81	13.62	13.62	0.20	0.20	0.00	0.29
2	3	3	-0.3	9	-0.9	1.91	1.39	2.36	0.36
3	3	-0.3	3	-0.9	9	1.39	1.91	2.36	0.36

$$I_x = \sum I_{xc} + \sum A d_y^2 = 52.78 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \sum I_{yc} + \sum A d_x^2 = 52.78 \text{ cm}^4$$

$$I_u = \sum I_{uc} + \sum A d_v^2 = 86.31 \text{ cm}^4$$

$$I_v = \sum I_{vc} + \sum A d_u^2 = 19.86 \text{ cm}^4$$

Radius of Gyration ; $r_x = \sqrt{I_x / A} = \sqrt{52.78 / 13.53} = 1.98 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_y = \sqrt{I_y / A} = \sqrt{52.78 / 13.53} = 1.98 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_u = \sqrt{I_u / A} = \sqrt{86.31 / 13.53} = 2.53 \text{ cm.}$

Radius of Gyration ; $r_v = \sqrt{I_v / A} = \sqrt{19.86 / 13.53} = 1.21 \text{ cm.}$

Design Member : Add : 2 - FB 50x6

Distance of Member ; L = 150 cm.

Ratio $KL/r = 123.79 > KL/r$

Critical Compressive Stress ; F_u

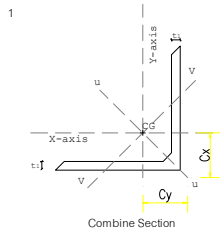
$F_u = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2 \right] \times F$; Shot Column

$F_u = 12 \tau^2 E$; Long Column

Ultimate Compression stress ; $F_c = 128$

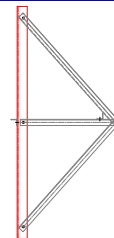
Maximum Compression Force ; $P_c = F_c \times A = 172911 \text{ N}$

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER



Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)					
			1	2	3			
L 65x65x6	6.5x6.5	0.6	7.527	1.81	1.81	46.60	46.60	1.27



Design Member

Distance of Member ; L

Ratio kL/r

$Cc = \sqrt{2\pi^2 E / Fy}$

Critical Compressive Stress ; Fu

$$Fu = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kL/r}{Cc} \right)^2 \right] \times F$$
 ; Shot Column

$$Fu = 1.2\pi^2 E$$
 ; Long Column

Ultimate Compression stress ; Fc

Maximumm Compression Force ; $Pc = Fc \times A$

= 75 cm.

= 59.06

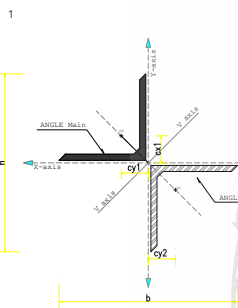
= 129.61

> kL/r Shot Column

= 211²

= 158524 N

CALCULATION OF REINFORCEMENT MEMBER



Center of Gravity (CG) of Main Angle

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)					
			1	2	3			
L 65x65x6	6.5x6.5	0.6	7.527	1.81	1.81	29.40	46.60	12.20

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)			$Ix = Iy$		
			1	2	3	1	2	3
L 50x50x4	5x5	0.4	3.892	1.37	1.37	9.06	14.40	3.76

CG of Combine Section

AXB (cm.)	t (cm.)	Section Area (cm.) ²	Position Center of Gravity (cm.)		$Ix = Iy$	
			1	2	1	2
L 65x65x6	6.5x6.5	0.6	2.11	4.45	15.88	33.51
L 50x50x4	5x5	0.4	1.67	2.79	6.50	10.85
			11.419		22.38	44.37

$$c \sum \sum$$

$$\sum Ixc + \sum Ad_1^2$$

$$\sum Iyc + \sum Ad_2^2$$

Moment of Inertia ; Iu = 46.60 + 14.40 = 61.00⁴

Moment of Inertia ; Iv = (12.20 + [7.53 x (2.11 x $\sqrt{2}$)²]) + [3.76 + [3.89 x (1.67 x $\sqrt{2}$)²]] = 104.69⁴

Radius of Gyration ; $rx = \sqrt{Iu / A}$ = $\sqrt{61.00 / 11.42}$ = 2.69 cm.

Radius of Gyration ; $ry = \sqrt{Iv / A}$ = $\sqrt{104.69 / 11.42}$ = 3.03 cm.

Radius of Gyration ; $ru = \sqrt{Iu / A}$ = $\sqrt{61.00 / 11.42}$ = 2.31 cm.

Radius of Gyration ; $rv = \sqrt{Iv / A}$ = $\sqrt{104.69 / 11.42}$ = 3.03 cm.

Design Member

Add : L 50x50x4

Distance of Member ; L

$$\text{Ratio : } \left(\frac{KL}{R}\right)_M = \sqrt{\left(\frac{KL}{R}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_x}\right)^2}$$

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E / F_y}$$

Critical Compressive Stress ; F_u

$$F_u = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2 \right] \times F$$

: Shot Column

$$F_u = 1.2\sigma^2 E$$

: Long Column

Ultimate Compression stress ; F_c

Maximum Compression Force ; $P_c = F_c \times A$

$$= 150 \text{ cm.}$$
$$= 99.04 \text{ cm.}$$

$$> \left(\frac{KL}{R}\right)_M \text{ Shot Column}$$

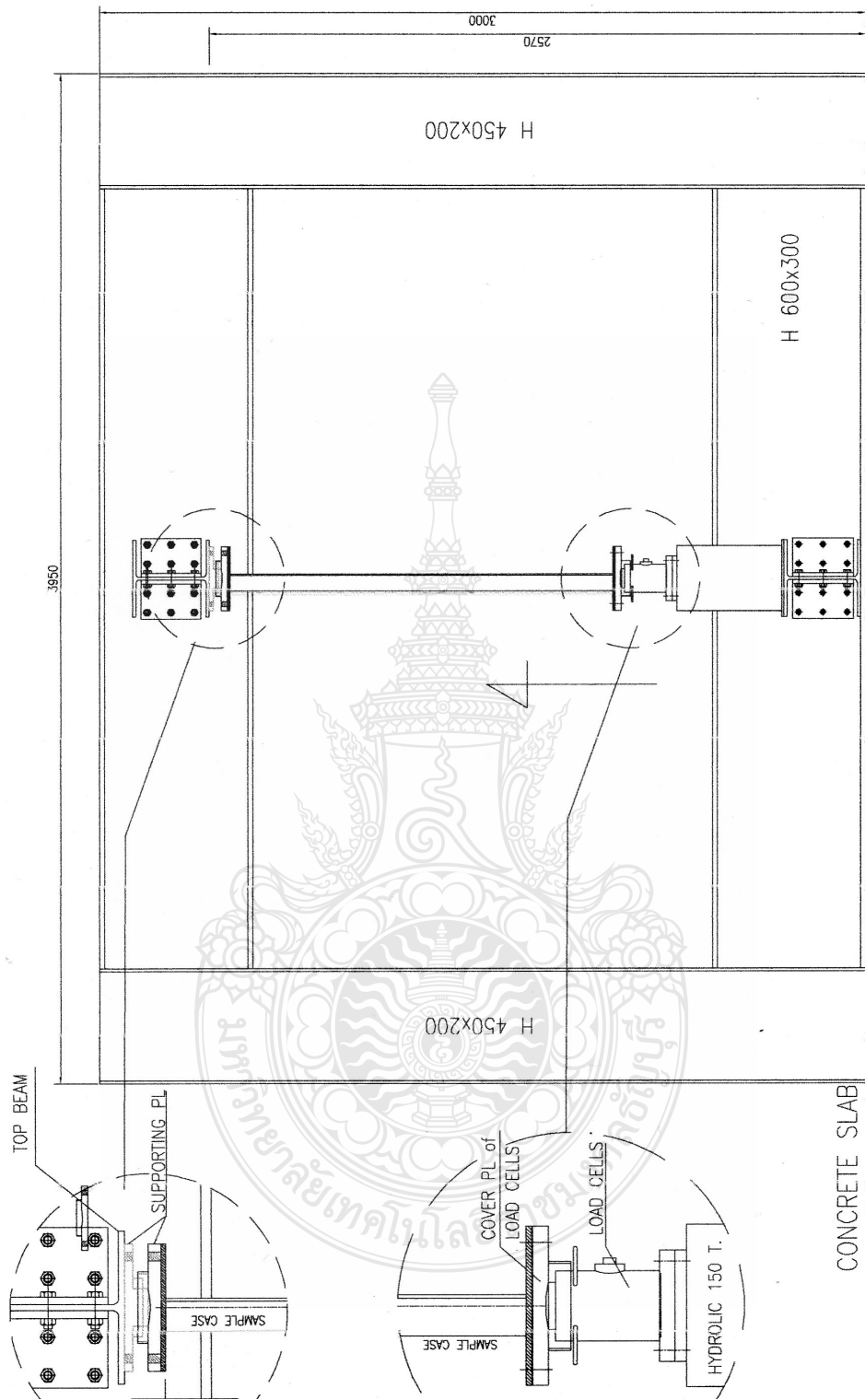
$$= 170^2$$
$$= 194610 \text{ N}$$
$$= 195 \text{ kN (19.84 ton)}$$





ภาคผนวก ก

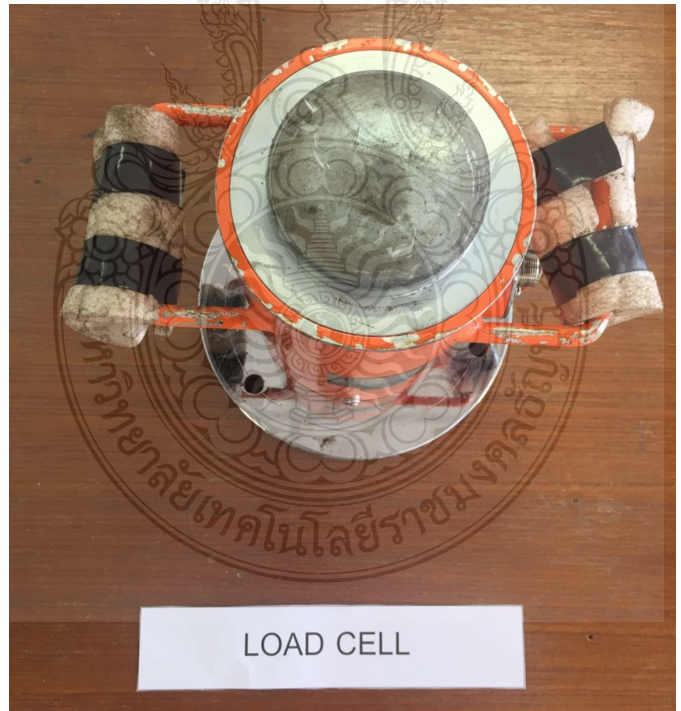
อุปกรณ์ และ ชิ้นงานทดสอบ



รูปภาคผนวก ก-1 - การติดตั้งอุปกรณ์บนโครงเฟรมทดสอบ



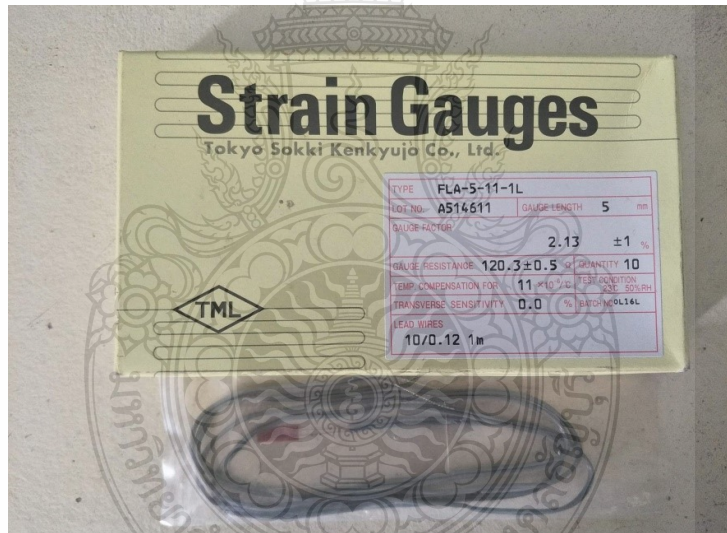
(ก)



(ข)



(ค)



(จ)

รูปภาคผนวก ง -2 ชุดอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าทดสอบ (ก) เครื่องแปลงข้อมูล Data Logger, (ข) Load Cell, (ค) เกจวัดการการโก่งตัวด้านข้าง LVDT, (จ) เกจวัดการยืดตัว (Strain Gage)



(ก) Case 1:L65x6



(ข) Case 2:L65x6 -FB



(ค) Case 3:L65x6 -BR



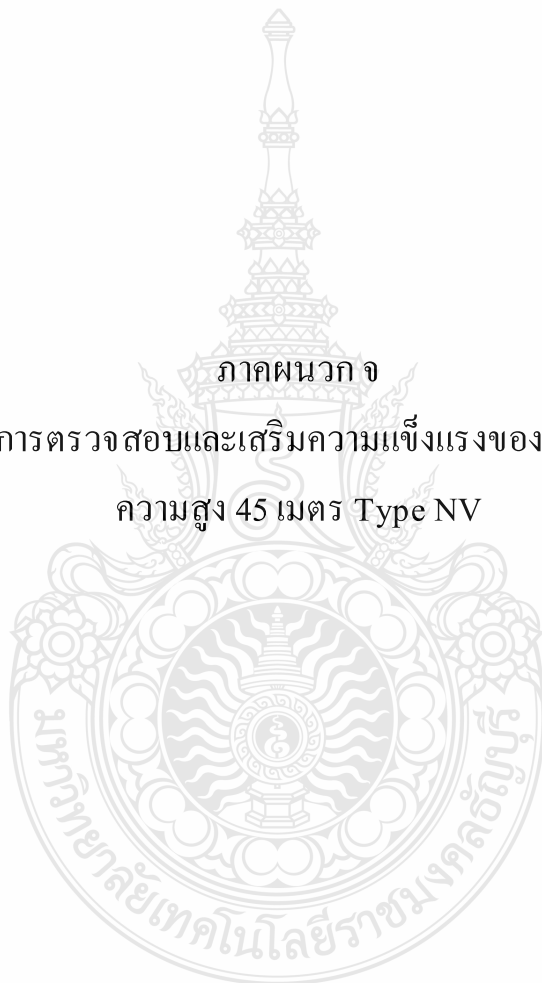
(ง) Case 4:L65x6 -L

รูปภาพผนวก ง-3 การติดตั้งชิ้นงานทดสอบบนโครงเฟรมทดสอบ

ภาคผนวก จ

งบประมาณการตรวจสอบและเสริมความแข็งแรงของเสาโทรคมนาคม

ความสูง 45 เมตร Type NV



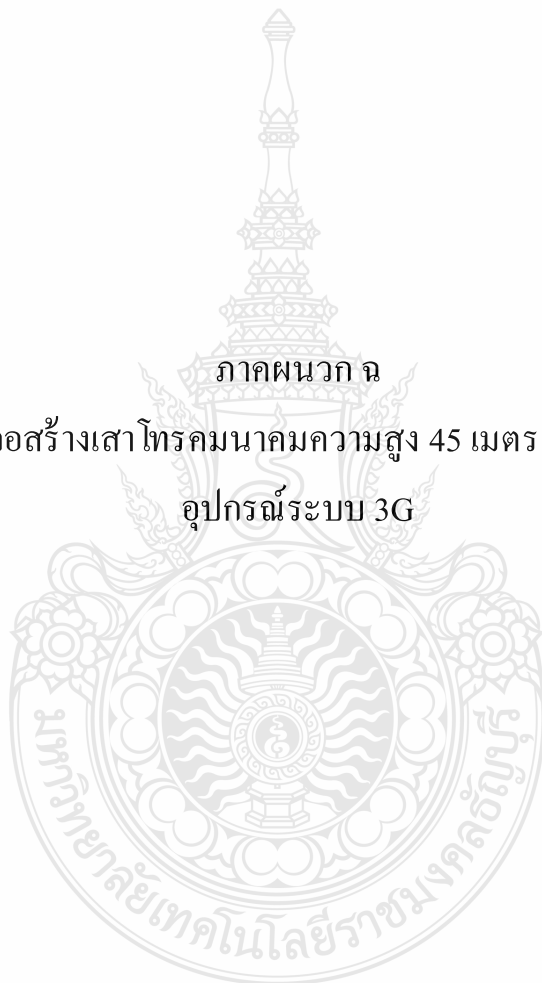
ตารางที่ ภาคผนวก จ-1 ประมาณการตรวจสอบและเสริมความแข็งแรงของเสาโทรคมนาคม
Type NV ความสูง 45 เมตร โมเดลต้นแบบ บริษัทดีเคเค-ซีโน ไทย เอ็นจิเนียริงจำกัด

Item	Description	Unt	Q'ty	Price	Total Cost
			Unit	Baht	Baht
1.	Technical Site Survey and Report	Station	1	16,000	16,000
2.	Investigation , Calculation and Cerity	Model	1	40,000	40,000
3.	Tower Reinforcement (Modification)				
	- Steel Structure for Tower Reinforcement (Self Support)Inci.Installation กรณีน้ำหนักเหล็กที่ใช้ตั้งแต่ 1 kg ถึง 50 kg.	kg.	-	300	-
	- Steel Structure for Tower Reinforcement (Self Support)Inci.Installation กรณีน้ำหนักเหล็กที่ใช้ตั้งแต่ 51 kg ถึง 100 kg.	kg.	-	270	-
	- Steel Structure for Tower Reinforcement (Self Support)Inci.Installation กรณีน้ำหนักเหล็กที่ใช้ตั้งแต่ 101 kg ถึง 150 kg.	kg.	-	250	-
	- Steel Structure for Tower Reinforcement (Self Support)Inci.Installation กรณีน้ำหนักเหล็กที่ใช้เกิน 150 kg.	kg.	1277.37	230	293795.1
4.	Consumable and Tool	site	1	10,000	10,000
5.	Foundation Reinforcement	m ³	1	12,000	12,000

371,795


ภาคผนวก ฉ

งบประมาณการก่อสร้างเสาโทรคมนาคมความสูง 45 เมตร เพื่อรองรับการติดตั้ง
อุปกรณ์ระบบ 3G



ตารางที่ ภาคผนวก ฉ-1 งบประมาณก่อสร้างเสาโทรคมนาคม ความสูง 45 เมตร

Item	Description	Price Baht	Q'ty Unit	Total Cost Baht	Remark
1.	Tower Structure				
	Tower Height 45 m.				- Tower Body +
	Foundation	850,000	1	850,000	Foundation
2.	Site Preparation Work	100	100	10,000	
	- Site Clearing	500	3	1,500	
	- Compact Sand	300	108	32,400	
	- PC Pile Ø 0.150x0.15x3.00 m.	12,000	4	48,000	
	- Concrete Slab	2,500	20.2	50,500	
	- Fence	15,000	1	15,000	
	- Gate	50,000	1	50,000	
	- F - Stand H = 1.00 m.	40,000	1	40,000	- Equipment Support - Civil Engineer Level
	- Application for Build Permit for Greenfield	100,000	1	100,000	2 Signed - Exclude
	- KWH Meter 15/45 A From PEA/MEA (A)	55,000	1	55,000	Transformers
				1,252,400	
3.	Site Area Rental (Price / Year)	80,000	1	80,000	-All Life Time
4.	Telecommunication				
	- Transmission Line				
	- Rental PEA Line for Hang Transmission Line				- Avg.
	- Other				1km/1000000Baht.



ภาคผนวก ข

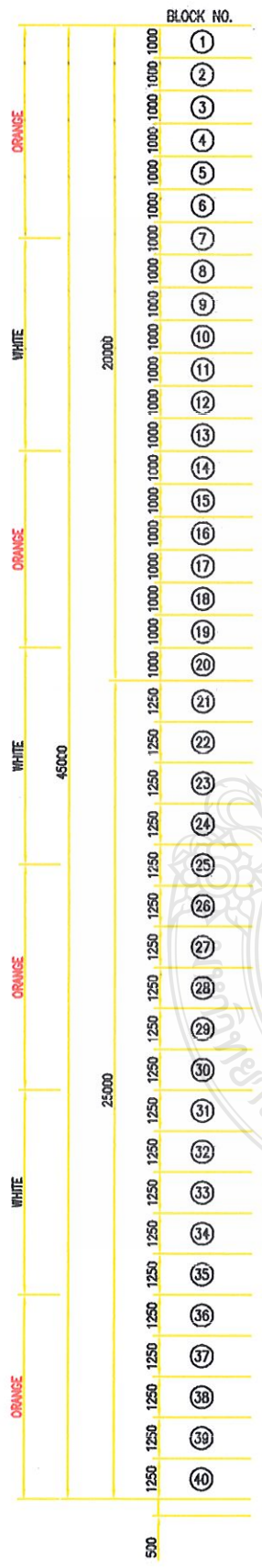
แบบแสดงรายละเอียดการเสริมความแข็งแรงของเสาโทรคมนาคม

ความสูง 45 เมตร Type NV

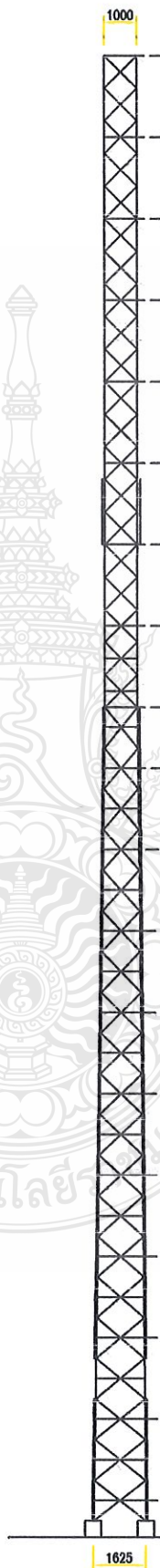
NO.	DATE	DESCRIPTION	DESIGN	CHECK	DATE	DATE	DRGN	THANNA	TITLE	DRGN. NO.
									SELF SUPPORTING TOWER TOWER REINFORCEMENT DIAGRAM	ISD-45-N



DKK SINGO-THAI ENGINEERING CO., LTD.
 AVUTHAYA THAILAND



NO.	DESCRIPTION	1) MAIN LEG SET UNIT	2) ORIGNAL	3) NOMINAL
1		-	-	-
2		-	-	-
3		-	-	-
4		-	-	-
5		-	-	-
6		-	-	-
7		-	-	-
8		-	-	-
9		-	-	-
10		-	-	-
11		-	-	-
12		-	-	-
13		-	-	-
14		-	-	-
15		-	-	-
16		-	-	-
17		-	-	-
18		-	-	-
19		-	-	-
20		-	-	-
21		-	-	-
22		-	-	-
23		-	-	-
24		-	-	-
25		-	-	-
26		-	-	-
27		-	-	-
28		-	-	-
29		-	-	-
30		-	-	-
31		-	-	-
32		-	-	-
33		-	-	-
34		-	-	-
35		-	-	-
36		-	-	-
37		-	-	-
38		-	-	-
39		-	-	-
40		-	-	-



PLANE MARK	REINFORCEMENT
1	
2	
3	
4	ER-N-10
5	
6	ER-N-15
7	
8	ER-N-20
9	
10	ER-N-24
11	
12	ER-N-28
13	
14	ER-N-32
15	
16	ER-N-36
17	
18	ER-N-40
19	

TOWER REINFORCEMENT DIAGRAM

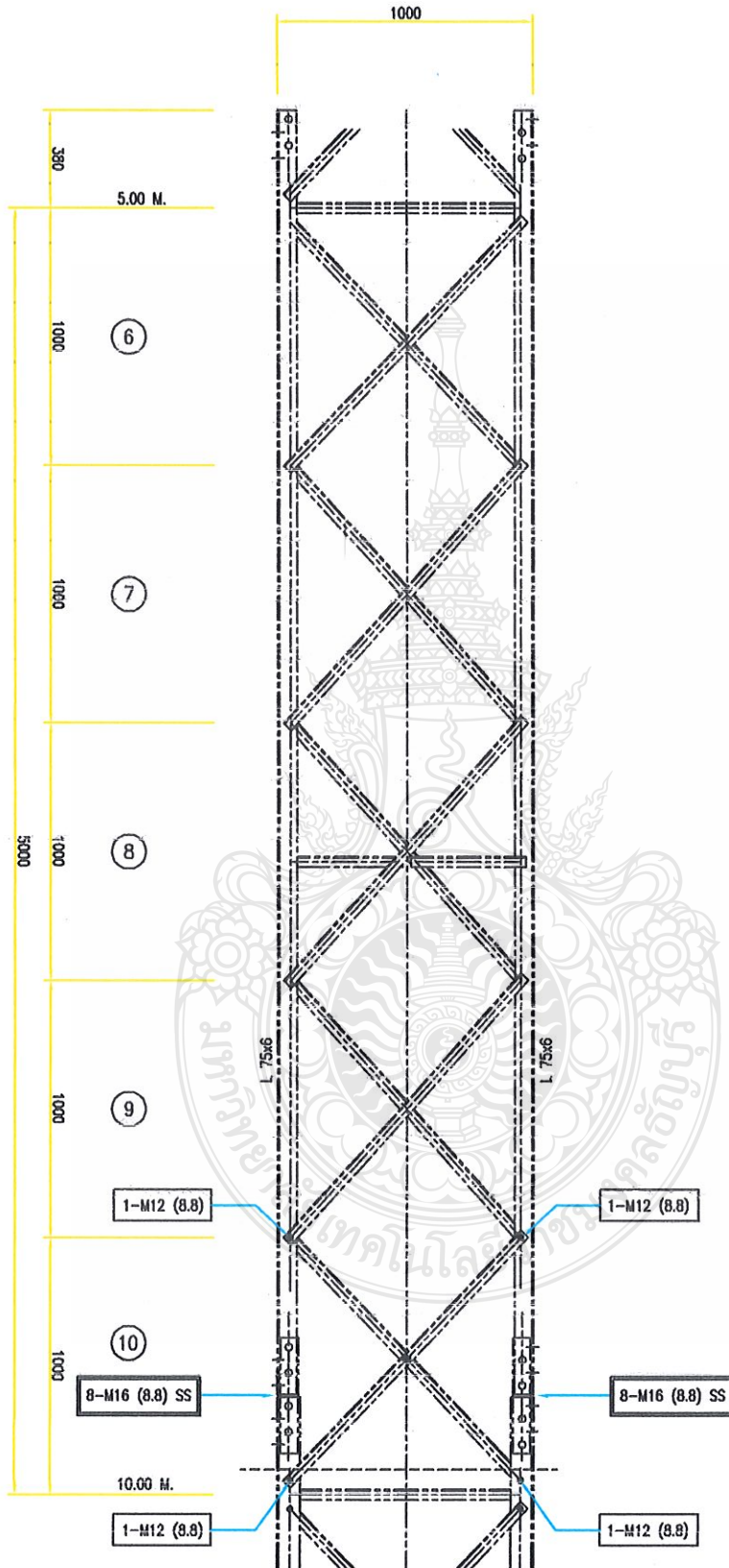


4	REV.	
3	REV.	
2	REV.	
1	REV.	

DESIGN.	DATE :
CHECK.	DATE :
APP.	DATE :

DESIGN.	DATE :	DRWN.	CHANGKANT	TITLE
CHECK.	DATE :	SCALE	NOVE	SELF SUPPORTING TOWER REINFORCEMENT
APP.	DATE :	UNIT	MM.	


DRWN. NO.	REV. NO.
EN-N-10	0

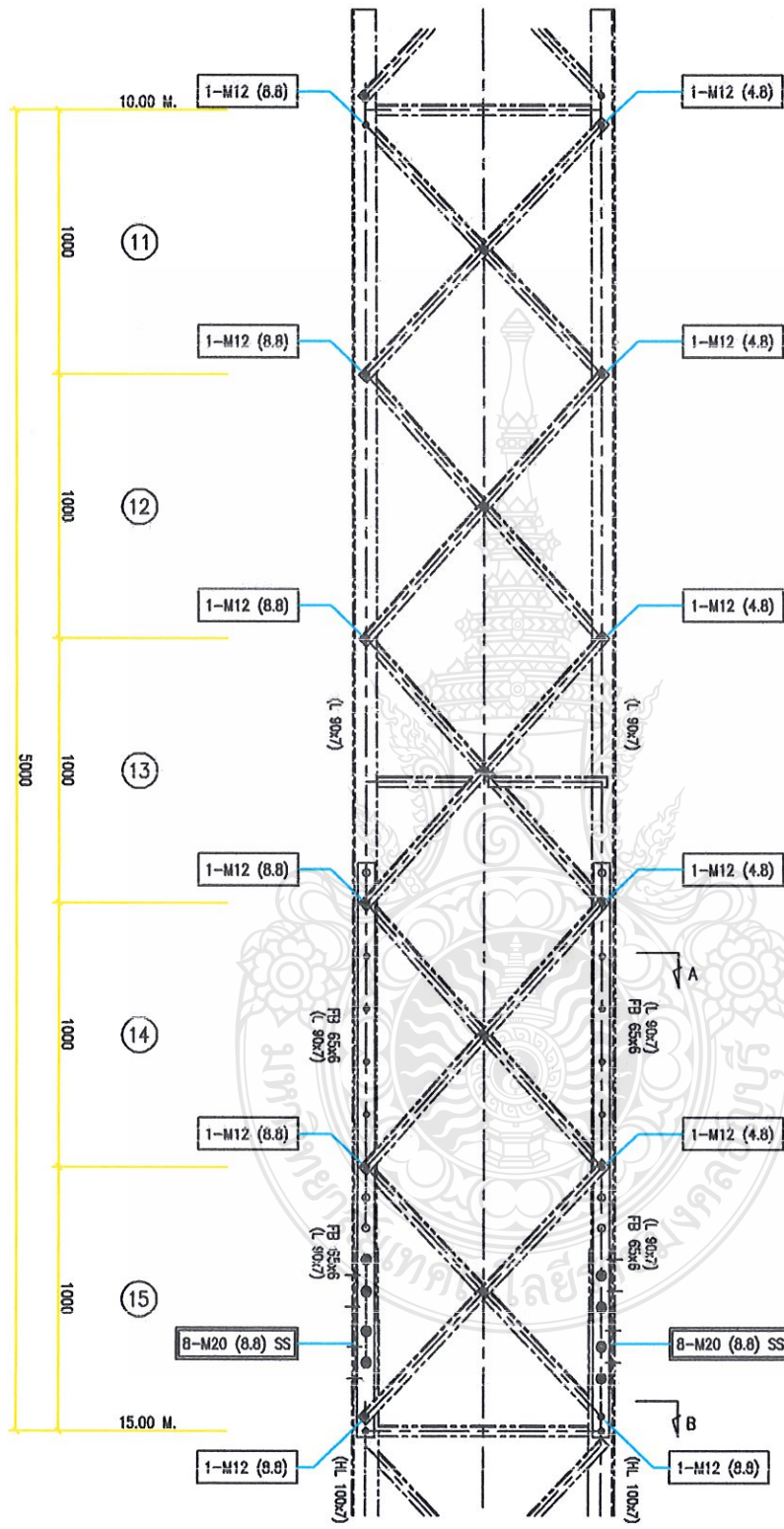


BLOCK NO.10

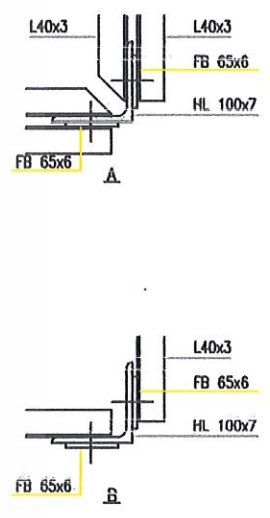
LEGEND

- EXISTING MEMBER
- REINFORCED MEMBER
FB 65x6 (OUT SIDE)
- REPLACE BOLT OF DIAGONAL
- REPLACE BOLT OF MAIN LEG

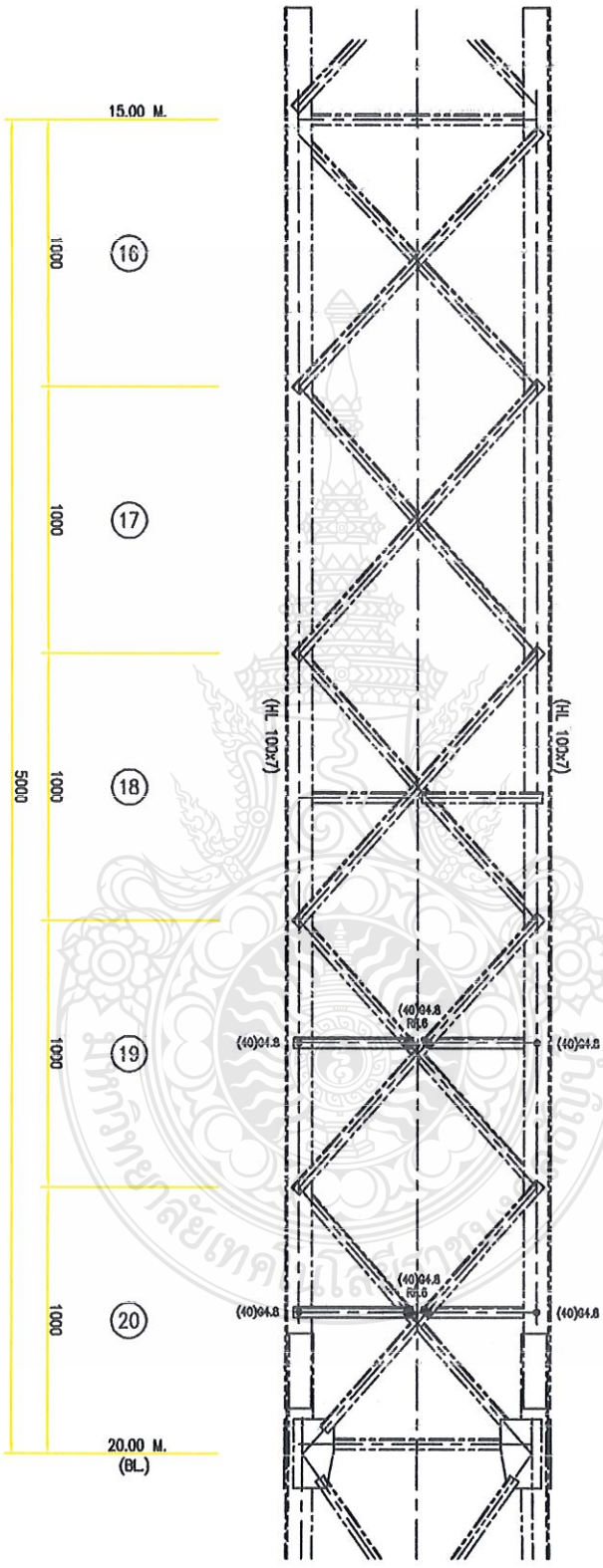
NO.	DATE	DESCRIPTION
 DKK SINGO-THAT ENGINEERING CO., LTD. AYUTTHAYA THAILAND		
DESIGN	CHECK	APP.
DATE	DATE	DATE
UNIT	SCALE	UNIT
SELF SUPPORTING TOWER REINFORCEMENT		
DRWN. NO.	REV.	
ER-N-15	0	



BLOCK NO.15



- LEGEND**
- EXISTING MEMBER
 - REINFORCED MEMBER
 - FB 65x6 (OUT SIDE)
 - [] REPLACE BOLT OF DIAGONAL
 - [] REPLACE BOLT OF MAIN LEG




BLOCK NO.20

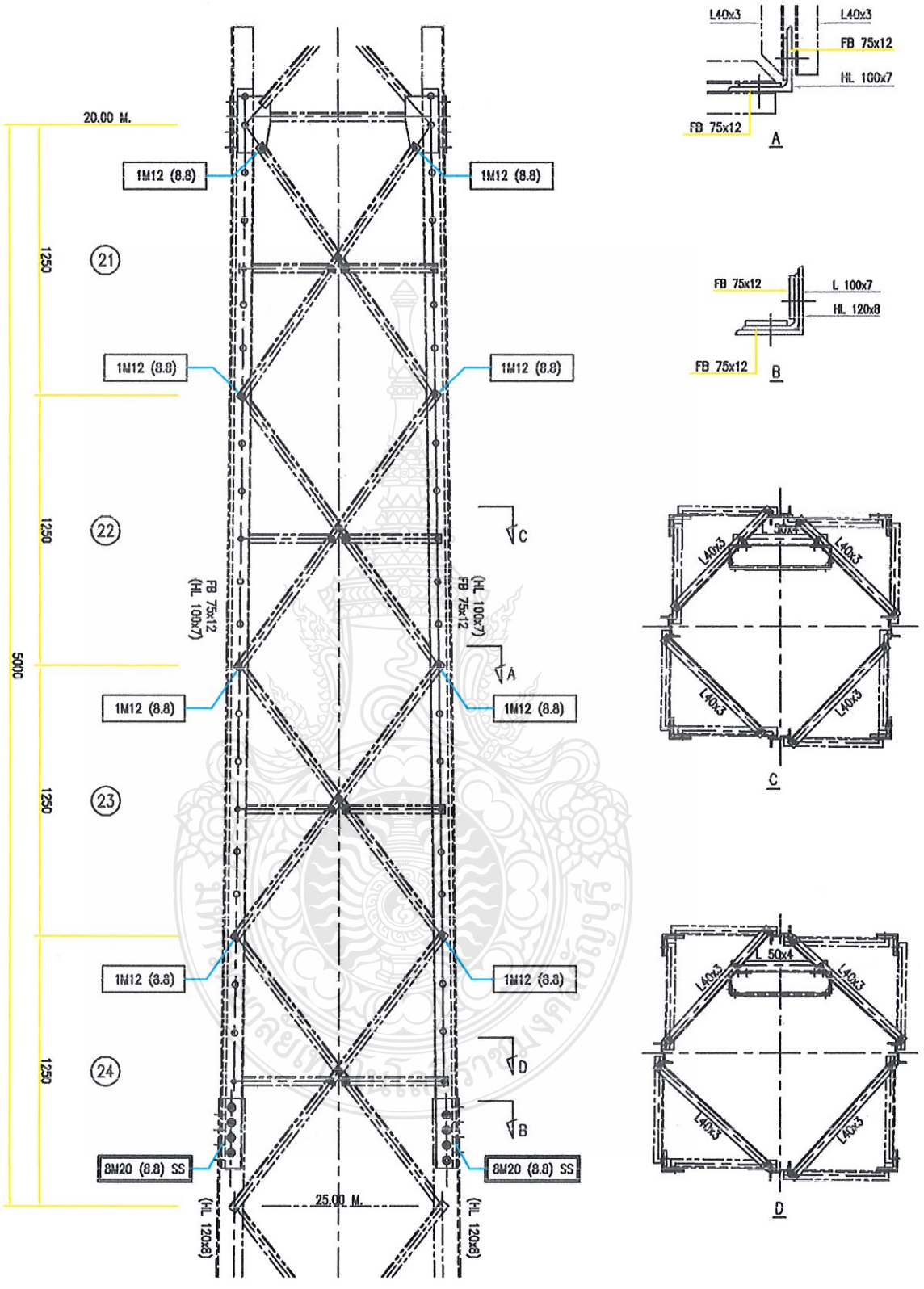
LEGEND
 - - - - - EXISTING MEMBER
 ———— REINFORCED MEMBER L 40x3

NO.	DATE	DESCRIPTION	DESIGN	DATE	DRAWN	SCALE	TITLE	DRWN. NO.	REV.
△			CHECK	DATE	CHAIKIKAT	NONE	SELF SUPPORTING TOWER REINFORCEMENT	ER-N-20	0
△			APP.	DATE	UNIT	M.M.			



DEK SING-THAI ENGINEERING CO., LTD.
 AYUTTHAYA THAILAND

NO.	DATE	DESCRIPTION	DESIGN	CHECK	APP.	DATE	DATE	DATE	DESIGN	SCALE	UNIT	DATE	DATE	DATE	DESIGN	SCALE	UNIT	TITLE	DESIGN NO.	REV.	
																			SELF SUPPORTING TOWER REINFORCEMENT	ER-N-24	0
 <p>DKK SINO-THAI ENGINEERING CO., LTD. AYUTTHAYA THAILAND</p>																					



BLOCK NO.24

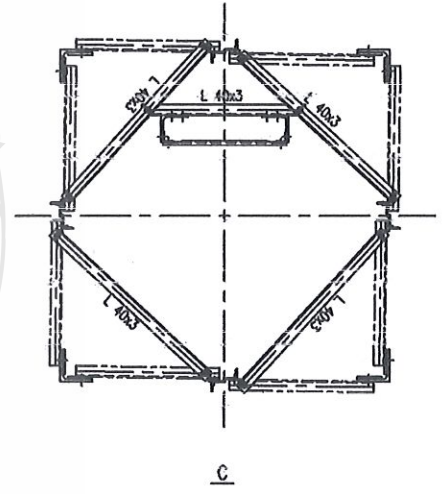
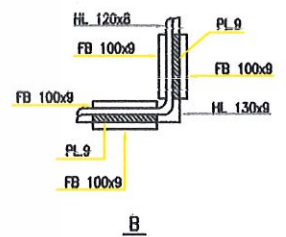
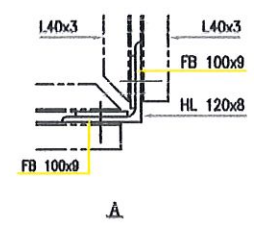
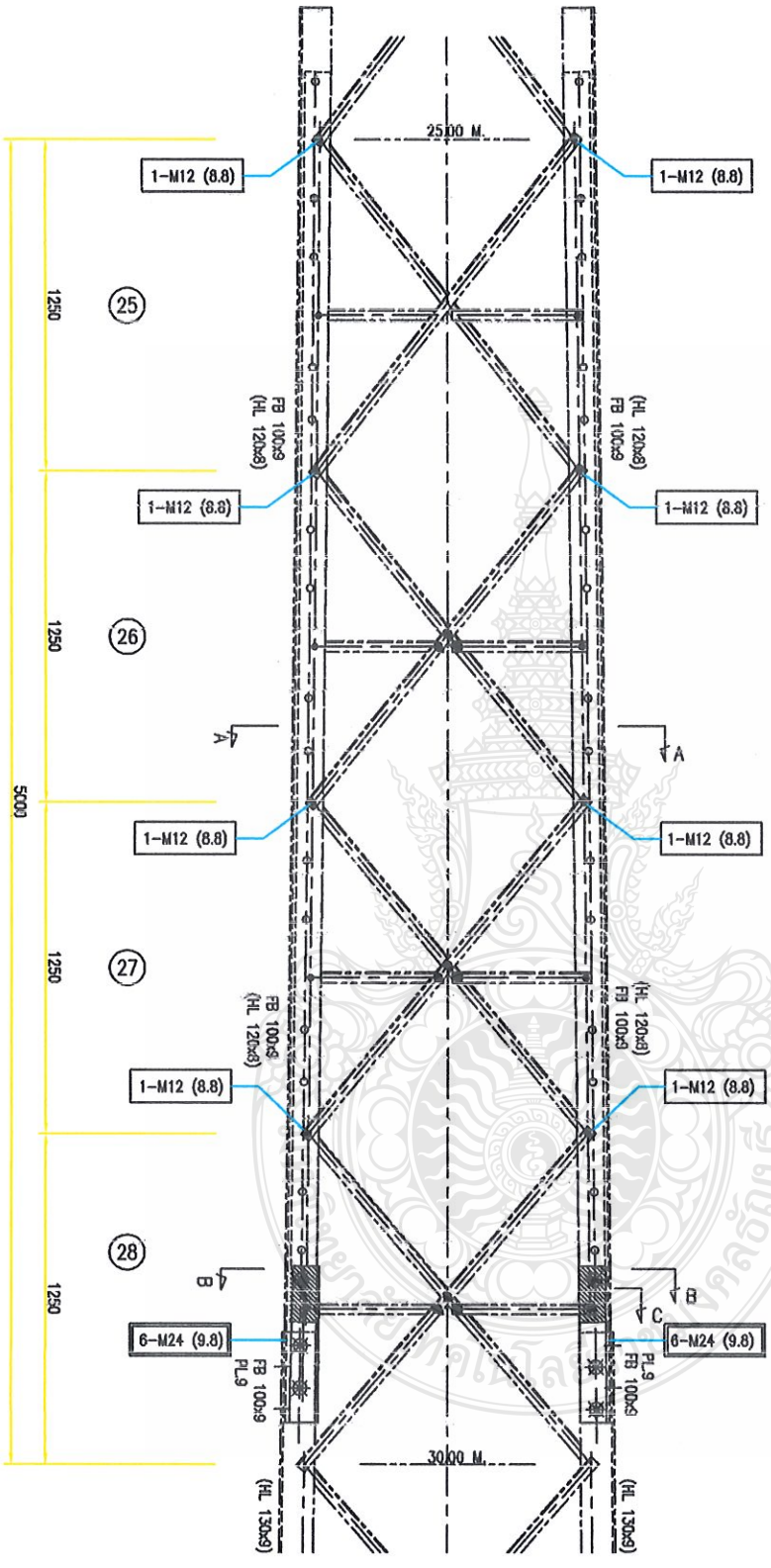
LEGEND

- EXISTING MEMBER
- REINFORCED MEMBER
- FB 75x12 (IN SIDE)
- REPLACE BOLT OF DIAGONAL
- REPLACE BOLT OF MAIN LEG

NO.	DATE	DESCRIPTION	DESIGN	CHECK	APP.	DATE	DATE	UNIT	SCALE	TITLE	DRWN. NO.	REV.



DKK SINGO-THAI ENGINEERING CO., LTD.
 AYUTTHAYA THAILAND



BLOCK NO.26

LEGEND

- EXISTING MEMBER
- - - REINFORCED MEMBER FB 100x9 (IN SIDE)
- REINFORCED MEMBER FB 100x9 + PL.9 (OUT SIDE)
- REPLACE BOLT OF DIAGONAL
- REPLACE BOLT OF MAIN LEG

NO.	DATE	DESCRIPTION

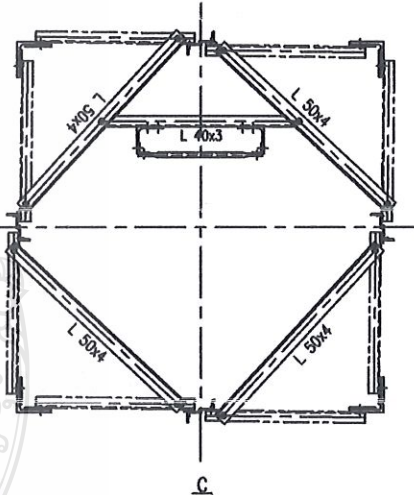
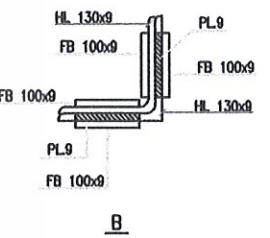
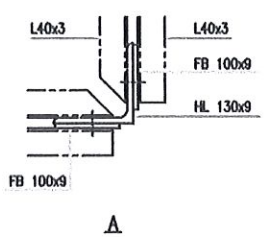
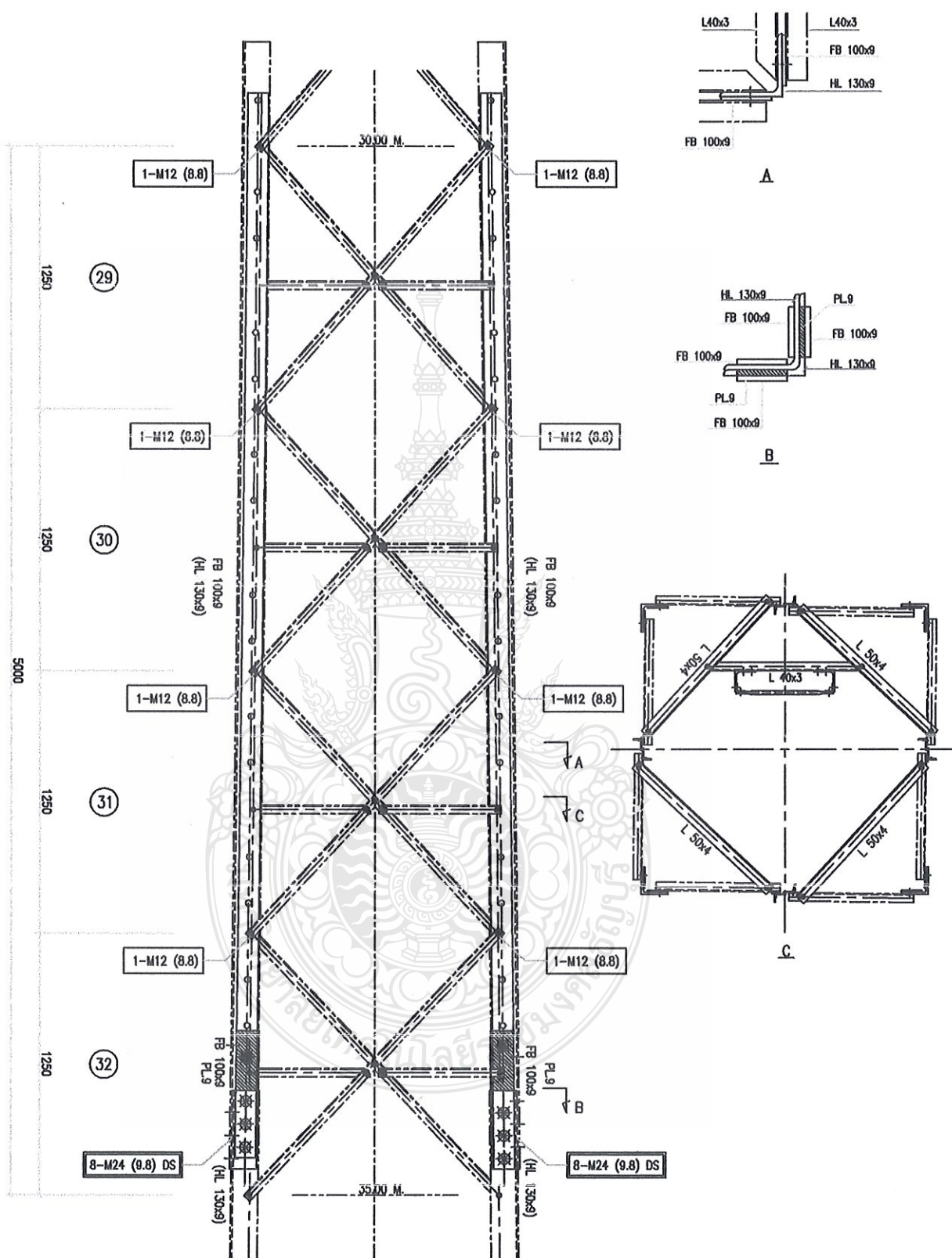


DKK SINO-THAI ENGINEERING CO., LTD.
AYUTTHAYA THAILAND

DESIGN	DATE	DRAWN	DATE	CHAIKANT
CHECK	DATE	SCALE	DATE	NONE
APP.	DATE	UNIT	DATE	M.M.

TITLE
**SELF SUPPORTING TOWER
REINFORCEMENT**

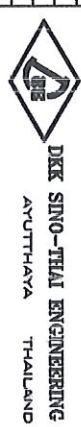
DRWN. NO.	REV.
ER-N-32	0

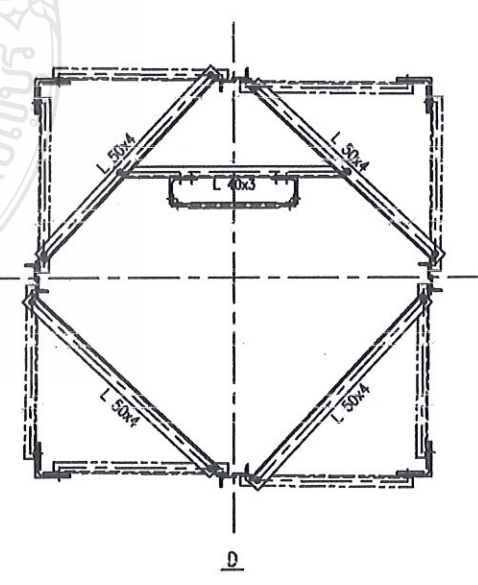
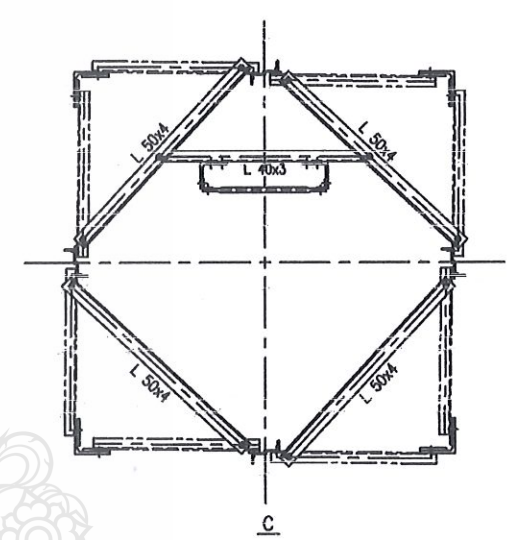
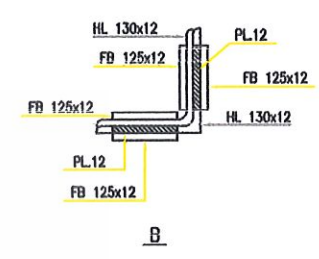
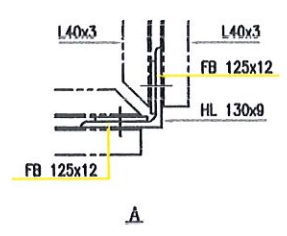
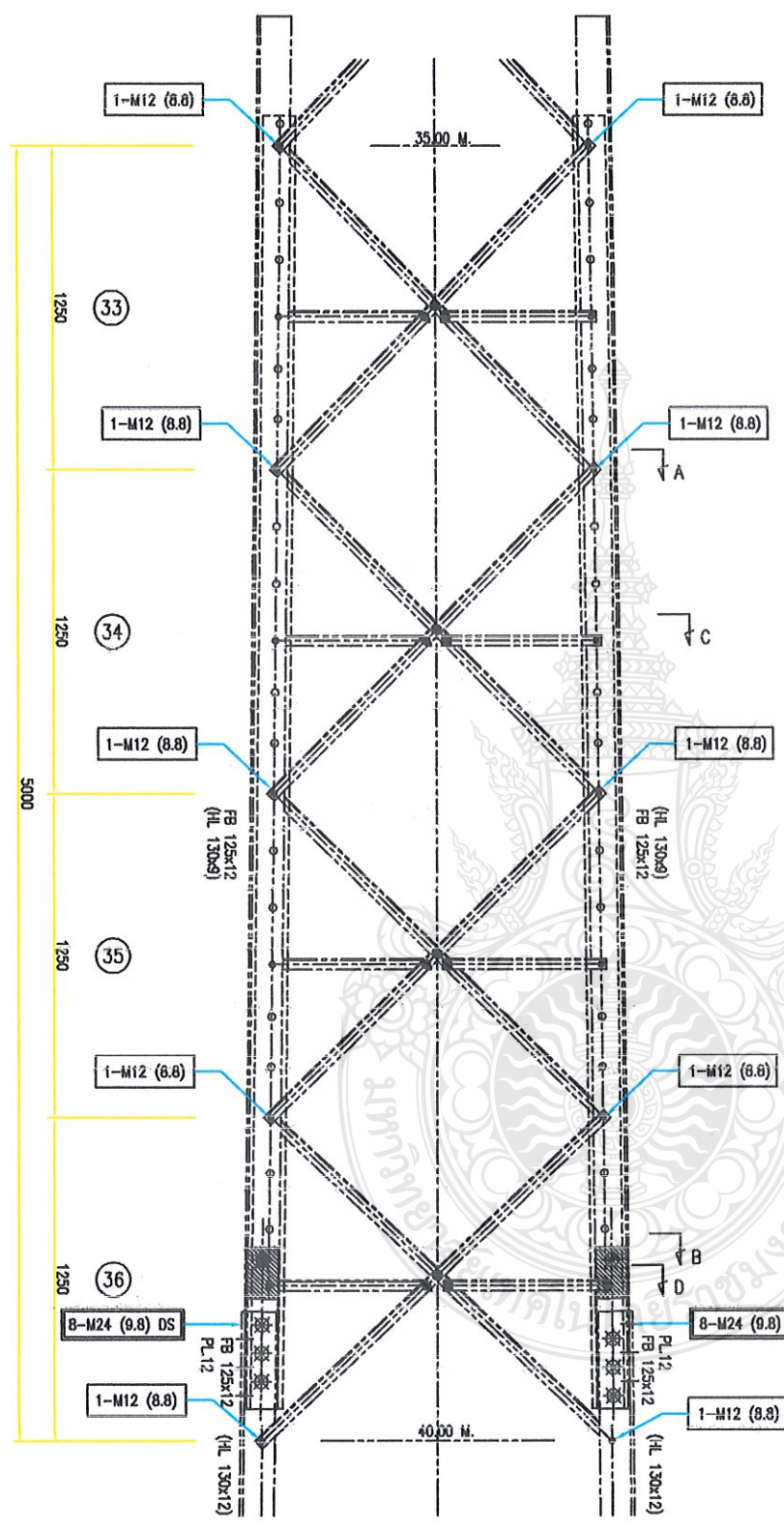


BLOCK NO.32

- LEGEND**
- EXISTING MEMBER
 - REINFORCED MEMBER
FB 100x9 (OUT SIDE)
 - REPLACE BOLT OF DIAGONAL
 - REPLACE BOLT OF MAIN LEG

NO.	DATE	DESCRIPTION				DRM. NO.	REV.
Δ						ER-N-36	0
Δ							
Δ							
Δ							
Δ							
Δ							


 DKK SINO-THAI ENGINEERING CO., LTD. AYUTTHAYA THAILAND	DESIGN	DATE	DRWN	CHKRNT	TITLE
	CHECK	DATE	SCALE	NONE	SELF SUPPORTING TOWER
	APP.	DATE	UNIT	MIL.	REINFORCEMENT
		DATE			

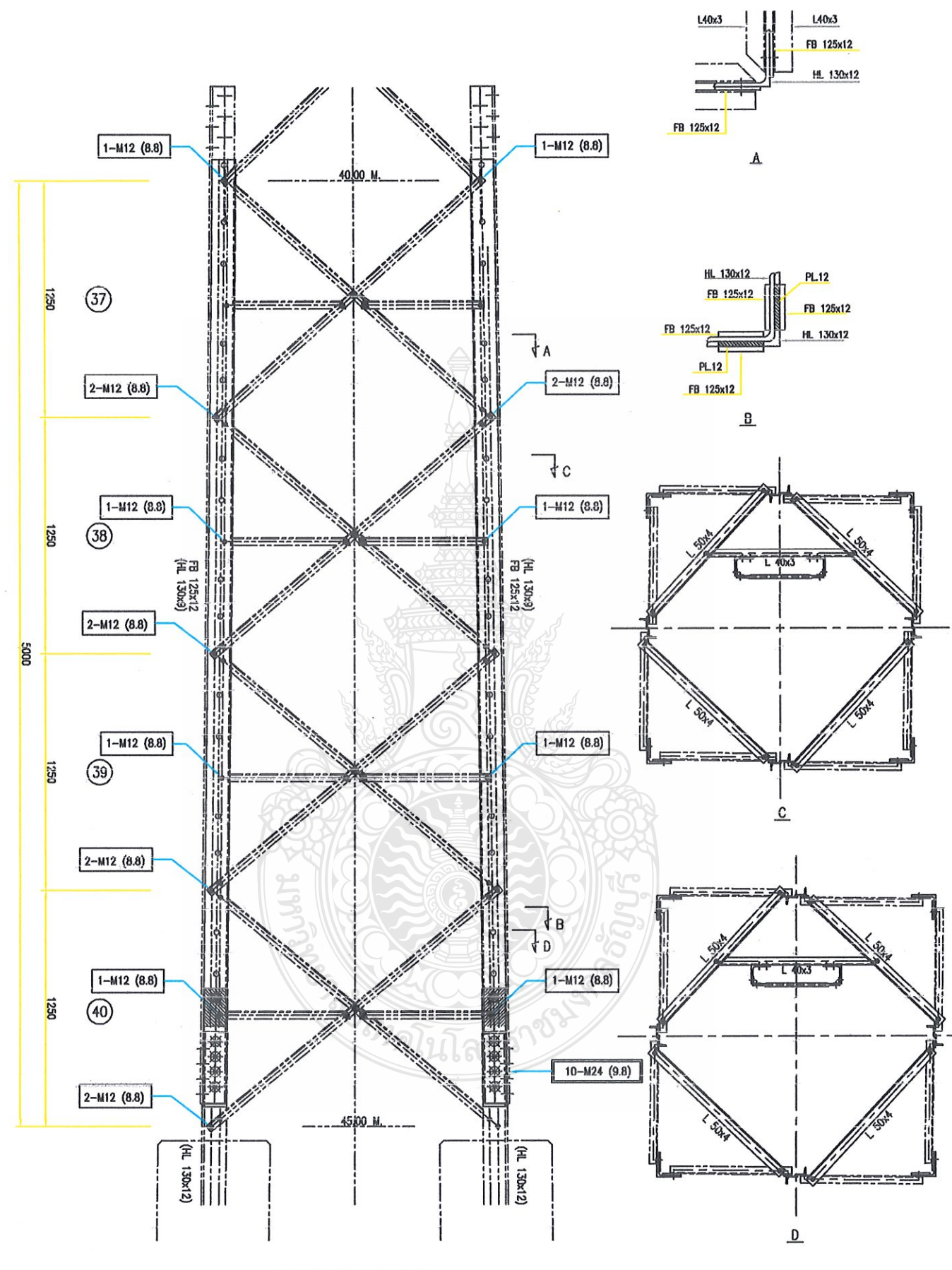


BLOCK NO.36

LEGEND

- EXISTING MEMBER
- REINFORCED MEMBER FB 125x12 (IN SIDE)
- REINFORCED MEMBER FB 125x12 + PL.12 (OUT SIDE)
- REPLACE BOLT OF DIAGONAL
- REPLACE BOLT OF MAIN LEG

NO.	DATE	DESCRIPTION
 DKK SINO-THAI ENGINEERING CO., LTD. AYUTTHAYA THAILAND		
DESIGN	CHECK	DATE
APP.		
DATE	DATE	DATE
UNIT	SCALE	DRW/N. CHAIKANT
SELF SUPPORTING TOWER REINFORCEMENT		
DRW/N. NO.		
ER-N-40		
REV.		
0		



LEGEND

- EXISTING MEMBER
- REINFORCED MEMBER FB 125x12 (OUT SIDE)
- REINFORCED MEMBER FB 125x12 + PL.12 (OUT SIDE)
- [] REPLACE BOLT OF DIAGONAL
- [] REPLACE BOLT OF MAIN LEG

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวชนิกานต์ พูลพิพัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด 19 กันยายน 2529
ที่อยู่ 85/2 หมู่ 2 ตำบลไผ่จำศีล อำเภอวิเศษชัยชาญ
จังหวัดอ่างทอง 14110
การศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน วิศวกรออกแบบ
บริษัท ดีเคเค-ซีโนไทย เอ็นจิเนียริง จำกัด ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์ 09-8254-6578
อีเมล Chanikant@mail.rmutt.ac.th

