รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

วิธีการออกแบบและติดตั้งโครงหลังคาเหล็กขนาดใหญ่พิเศษ

Design and installation method of extra large steel skeleton

นายวัชรวุธ สว่างสุรีย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T148585

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

วิธีการออกแบบและติดตั้งโครงหลังคาเหล็กขนาดใหญ่พิเศษ

Design and installation method of extra large steel skeleton

นายวัชรวุธ สว่างสุรีย์

b.12871813
i.
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.148585
วัน.เดือน.ปี - 6 มิ.ย. 2560

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา วิธีการออกแบบและติดตั้งโครงหลังเหล็กขนาดใหญ่พิเศษ

นักศึกษา นายวัชรวุธ สว่างสุรีย์

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา**

อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรรศศิธร

ผู้นิเทศ คุณคณาพจน์ ทองพันธุ์

สถานประกอบการ บริษัท นันทวัน จำกัด (Thai Obayashi Corp., Ltd.)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโครงหลังคาเหล็กสำหรับทำโดมของสนามกีฬาเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากพื้นที่ภายในสนามกีฬาต้องการให้มีพื้นที่บริเวณตรงกลางโล่งกว้าง เพื่อใช้พื้นที่บริเวณนั้นทำเป็นสนามกีฬาของแต่ละประเภทกีฬา ซึ่งทำให้มีระยะความยาวช่วงกลางระหว่างเสา (SPAN) มีค่ามากตามไปด้วย จึงทำให้ตัวโครงหลังคาต้องมีความยาวมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน โดยส่วนใหญ่ประเภทของโครงหลังคาสนามกีฬาจะใช้ประเภทโครงถักแบบโครงข้อหมุน (TRUSS) ในการก่อสร้าง

โครงงานฉบับนี้จึงเป็นการศึกษาโครงสร้างหลังคาโครงถักที่แบบโครงข้อหมุน (TRUSS) ที่มีความยาว (SPAN) 80 และ 120 ม. และมีความลาดชันที่มีค่าแตกต่างกันออกไป (SLOPE) สำหรับโครงสร้างหลังคาที่ทำการศึกษานี้จะใช้โปรแกรม STAAD.Pro มาช่วยในการวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้น และได้นำโปรแกรม SketchUp มาใช้ในการร่างแบบเป็น 3D (Model) โดยในการศึกษานี้จะค้นหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม STAAD.Pro ตัวแปรที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม เช่น แรงลม น้ำหนักที่ลงโครงข้อหมุน ความชันของหลังคา เป็นต้น ข้อจำกัดของปัญหา คือ ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างเหล็กวิเคราะห์และออกแบบโดยวิธีอิลาสติก (Allowable Stress Design : ASD) ตามมาตรฐาน AISD/ASD รวมทั้งยังทำการศึกษาขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กที่ถูกต้องเพื่อไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title : Design and installation method of extra large steel skeleton

Student intern name : MR. Watcharawut Sawangsuree

Faculty : Engineering

Department : Civil Engineering

Advisor name : Asst.Prof.Dr. Arthit Petchsasithon

Mentor name : Mr. Khanapod Tongpun

Company : Thai Obayashi Corp.,Ltd.

ABSTRACT

Nowadays steel truss frame structure for dome and roof of stadium is popular. Due to internal area at center of stadium are required a long and wide span to useage of the area for any sports. So steel truss frame structure must be long span too.

This project is study about steel truss frame structure which are 80 and 120 meter long span and differences in slope of roof. Steel skeleton was analyze internal force by STAAD.Pro and build 3D model by SketchUp. Suitable perimeter for analyze such as wind load , gravity load that act on truss and slope of roof. Steel skeleton analyze and design is reference from Allowable Stress Design (ASD) in American Institute of Steel Construction (AISC) standard include correct method of installation for apply in real life.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษาและค้นคว้าโครงงาน สหกิจศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบริษัท นันทวัน จำกัด (Thai Obayashi Corp.,Ltd.) ที่มอบคำปรึกษา และคำแนะนำ ทั้งในด้านการทำโครงงาน การทำงานหน้างานก่อสร้าง และ ด้านการใช้ชีวิตในการทำงานจริง และขอขอบคุณอาจารย์ที่ให้ความปรึกษาและคำแนะนำ จนโครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณดังรายนามดังต่อไปนี้

- รศ.ดร ขวัญเนตร สมบัติสมภพ อาจารย์ที่ปรึกษา
- คุณพรชัย สิทธิยากรณ์ กรรมการและรองกรรมการผู้อำนวยการบริษัท นันทวัน จำกัด
- คุณคณาพจน์ ทองพันธุ์ หัวหน้าอาวุโส แผนกก่อสร้าง ฝ่ายก่อสร้างอาคาร บริษัท นันทวัน จำกัด
- คุณจักรา พรประสิทธิ์ หัวหน้าอาวุโส แผนกก่อสร้าง ฝ่ายก่อสร้างอาคาร บริษัท นันทวัน จำกัด

รวมถึงอาจารย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบจากบริษัทออกแบบ พี่เลี้ยงที่ฝึกงาน รุ่นพี่ และเพื่อน

ท้ายที่สุด ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ครู อาจารย์ ที่สนับสนุนและช่วยเหลือในทุกๆด้าน ให้คำปรึกษารวมถึงให้คำแนะนำที่ดีและมีประโยชน์ตลอดมา

หากโครงงานพิเศษนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ส่วนรวม ขอมอบคุณประโยชน์และคุณงามความดีทั้งหมดที่เกิดขึ้น ให้แก่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และทุกท่านที่ได้กล่าวมา

นายวัชรวุธ สว่างสุรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	I
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเหล็กในพฤติกรรมต่างๆตาม มาตรฐาน AISC/ASD	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ทฤษฎีแรงลมออกแบบ 25

2.1.3 การใช้โปรแกรม STAAD PRO 33

2.1.4 การคำนวณการใช้เครนยกสิ่งของ 37

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 39

3.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล 39

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ 39

3.2.1 ขั้นตอนการคำนวณน้ำหนักที่กระทำกับตัวอาคาร 39

3.2.2 ขั้นตอนการออกแบบชิ้นส่วน 41

3.3 ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก 56

บทที่ 4 ผลการวิจัย 71

4.1 ผลการออกแบบ 71

4.1.1 แรงลม 71

4.1.2 Purlin 71

4.1.3 Main Truss 72

4.1.4 Sub Truss 73

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 99

5.1 สรุปผลที่ได้จากการศึกษาทดลอง 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลที่ได้จากการปฏิบัติงานสหกิจ 99

เอกสารอ้างอิง 101

ภาคผนวก 102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่า K 15

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของอาคาร 21

ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณชน 26

ตารางที่ 2.4 ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม 27

ตารางที่ 2.5 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e) สำหรับวิธีการอย่างง่าย 29

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปตัดแบบต่างๆ ของโครงสร้างส่วนรับแรงดึง 6

รูปที่ 2.2 การวิบัติแบบ Block Shear 7

รูปที่ 2.3 หน้าตัดสุทธิ 8

รูปที่ 2.4 ระยะห่างของรูเจาะในแนวตั้งฉากกับแนวแรง 9

รูปที่ 2.5 ระยะ $\bar{x}$ และ L 10

รูปที่ 2.6 ค่า U สำหรับรอยต่อยึด 11

รูปที่ 2.7 เหล็กเส้นกันหย่อน 17

รูปที่ 2.8 รูปทรงของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณตามมาตรฐานของ AISC 19

รูปที่ 2.9 การขึ้นรูปร่างของตัวโครงถัก 33

รูปที่ 2.10 การใส่คุณสมบัติของชิ้นส่วน 34

รูปที่ 2.11 การใส่ข้อมูลเฉพาะให้กับชิ้นส่วน 34

รูปที่ 2.12 การใส่จุดรองรับให้กับจุดต่อชิ้นส่วน 35

รูปที่ 2.13 การใส่น้ำหนักบรรทุกให้ชิ้นส่วน 35

รูปที่ 2.14 การใส่ชนิดวัสดุให้ชิ้นส่วน 36

รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการตรวจสอบและทำการรันโปรแกรม 36

รูปที่ 2.16 โปรแกรมแสดงค่าแรงดึงและแรงอัดที่เกิดขึ้น 37

รูปที่ 2.17 chart คำนวณน้ำหนักที่ยกได้ของเครน 25 ตัน 38

รูปที่ 3.1 รายระเอียดโครงถักหลักเมื่อมองจาก Top view 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 รายละเอียดโครงถักแบบ 3 มิติ จากโปรแกรม sketchup 45

รูปที่ 3.3 โครงถัก T101 45

รูปที่ 3.4 โครงถัก T102 46

รูปที่ 3.5 โครงถัก T103 46

รูปที่ 3.6 โครงถัก T104 47

รูปที่ 3.7 โครงถัก T105 47

รูปที่ 3.8 โครงถัก T106 48

รูปที่ 3.9 โครงถัก T107 48

รูปที่ 3.10 โครงถัก T108 48

รูปที่ 3.11 โครงถัก T109 49

รูปที่ 3.12 โครงถัก T201 49

รูปที่ 3.13 โครงถัก T202 49

รูปที่ 3.14 โครงถัก T203 50

รูปที่ 3.15 โครงถัก T204 50

รูปที่ 3.16 โครงถัก T205 51

รูปที่ 3.17 โครงถัก T206 51

รูปที่ 3.18 โครงถัก T207 52

รูปที่ 3.19 โครงถัก T208 52

รูปที่ 3.20 รายละเอียดรอยต่อจากโปรแกรม sketchup 55

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการคำนวณเครน 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 การแบ่งโซนการติดตั้ง 57

รูปที่ 3.23 การติดตั้ง STEP 1 59

รูปที่ 3.24 การติดตั้ง STEP 2 59

รูปที่ 3.25 การติดตั้ง STEP 3 60

รูปที่ 3.26 การติดตั้ง STEP 4 60

รูปที่ 3.27 การติดตั้ง STEP 5 61

รูปที่ 3.28 การติดตั้ง STEP 6 61

รูปที่ 3.29 การติดตั้ง STEP 7 62

รูปที่ 3.30 การติดตั้ง STEP 8 62

รูปที่ 3.31 การติดตั้ง STEP 9 63

รูปที่ 3.32 การติดตั้ง STEP 10 63

รูปที่ 3.33 การติดตั้ง STEP 11 64

รูปที่ 3.34 การติดตั้ง STEP 12 64

รูปที่ 3.35 การติดตั้ง STEP 13 65

รูปที่ 3.36 การติดตั้ง STEP 14 65

รูปที่ 3.37 การติดตั้ง STEP 15 66

รูปที่ 3.38 การติดตั้ง STEP 16 66

รูปที่ 3.39 การติดตั้ง STEP 17 67

รูปที่ 3.40 การติดตั้ง STEP 18 67

รูปที่ 3.41 การติดตั้ง STEP 19 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.42 การติดตั้ง STEP 20 68

รูปที่ 3.43 การติดตั้ง STEP 21 69

รูปที่ 3.44 การติดตั้ง STEP 22 69

รูปที่ 3.45 การติดตั้ง STEP 23 70

รูปที่ 3.46 การติดตั้ง STEP 24 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โครงข้อหมุน (Truss) หรือเรียกอีกอย่างว่าโครงข้อหมุน เป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการนำเอาชิ้นส่วนหรือองค์อาคารมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งเป็นโครงที่พบเห็นได้ทั่วไปสำหรับโครงสร้างที่มีช่วงพาดยาว เช่น โครงสร้างสะพาน หลังคาโรงงาน หลังคาสนามกีฬา โรงอาหาร หอประชุม อัศจรรย์ เป็นต้น โดยทั่วไป โครงข้อหมุนจะทำจากเหล็กรูปพรรณหรือไม้ การขึ้นรูปโครงสร้าง ประเภทนี้จะประกอบ ชิ้นส่วนย่อยเข้าด้วยกันโดยการเชื่อม หรือยึดด้วยสลักเกลียว แต่ในการก่อสร้างจริงมักนิยมประกอบโครงสร้างด้วยวิธีการเชื่อม

โดยในปัจจุบันโครงหลังคาเหล็กสำหรับทำโดมของสนามกีฬาเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากโดมต้องการให้มีช่วงกลางระหว่างเสาให้มีความยาวมากที่สุด เพื่อให้พื้นที่ตรงกลางเปิดโล่ง จึงทำให้ดูมีความสวยงาม ดูทันสมัยเหมาะกับยุคสมัยใหม่ อีกทั้งยังประหยัดเวลาในการก่อสร้าง และ สามารถควบคุมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงงานฉบับนี้จึงเป็นการศึกษาโครงสร้างหลังคาโครงถักที่มีช่วงยาว ของโครงสร้างหลังคาแบบโครงข้อหมุน (TRUSS) ที่มีความยาว (SPAN) 80 และ 120 ม. และมีความลาดชันที่มีค่าแตกต่างกันออกไป (SLOPE) สำหรับโครงสร้างหลังคาต่างๆ นี้จะใช้โปรแกรม STAAD.Pro มาช่วยในการวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้น และได้นำโปรแกรม SketchUp มาใช้ในการร่างแบบเป็น 3D (Model) โดยในการศึกษานี้จะค้นหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม STAAD.Pro ตัวแปรที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม ได้แก่ แรงลม น้ำหนักที่ลงโครงข้อหมุน ความชันของหลังคา ข้อจำกัดของปัญหา คือ ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างเหล็กวิเคราะห์และออกแบบโดยวิธีอิลาสติก (Allowable Stress Design : ASD) ตามมาตรฐาน AISC/ASD รวมทั้งยังทำการศึกษาขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กที่ถูกต้องเพื่อ ไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อที่จะศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธีอิลาสติก(ASD) ตามมาตรฐาน AISC
- เพื่อศึกษาวิธีการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กทั้งรายการคำนวณ และ แผนการทำงานเพื่อความปลอดภัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- ศึกษาวิธีการออกแบบโครงหลังคาเหล็กขนาดใหญ่ ลักษณะเป็นอาคารสนามกีฬาแบบโดม โดยเป็นไปตามมาตรฐาน AISC โดยวิธี ASD
- ศึกษาวิธีการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กขนาดใหญ่ ในลักษณะอาคารแบบเดียวกัน โดยมีทั้งรายการคำนวณ และแผนงานการติดตั้ง
- สรุปข้อแตกต่างระหว่างการคำนวณและการออกแบบระหว่างโครงสร้างเหล็กขนาดเล็กและขนาดใหญ่

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- กำหนดหัวข้อและขอบเขตของการจัดทำโครงงาน
- ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นและกำหนดแนวทางในการจัดทำโครงงาน
- ศึกษาโปรแกรม SketchUp เพื่อใช้ในการร่างแบบ (Model)
- ศึกษาโปรแกรม STAAD.Pro เพื่อใช้ในการคิดวิเคราะห์หาแรงภายใน ที่เกิดขึ้น
- ทำการออกแบบโครงสร้างหลังคาเหล็ก (TRUSS) โดยการเลือก แต่ละชิ้นส่วนมา Analysis และ Member Selection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวางแผนขั้นตอนการก่อสร้างของโครงสร้างหลังคาเหล็ก (TRUSS)
- สรุปผลและจัดทำโครงงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้รับประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับการทำงานจริงภายในสถานประกอบการ
- ได้เรียนรู้เรื่องการจัดการและการบริหารงานภายในสถานประกอบการอย่างละเอียด
- ได้พบปัญหาต่างๆ ที่แท้จริงของสถานประกอบการ และ การคิดหาวิธีแก้ปัญหาเฉพาะหน้า
- ได้มีโอกาสพัฒนาบุคลิกภาพ รู้จักหน้าที่ และ ความรับผิดชอบในการปฏิบัติงาน
- ได้เรียนรู้การมีมนุษย์สัมพันธ์กับผู้ร่วมงานในสถานประกอบการ และการเป็นผู้นำและผู้ตามที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทฤษฎีหลักๆที่เกี่ยวข้องนั้นจะมี ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเหล็กในพฤติกรรมต่างๆตามมาตรฐาน AISC/ASD และ ทฤษฎีแรงลมออกแบบตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 แต่จะมีทฤษฎีการใช้โปรแกรม STADD PRO และ การคำนวณการใช้เครนยกสิ่งของ เป็นส่วนย่อย

2.1.1) ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเหล็กในพฤติกรรมต่างๆตามมาตรฐาน AISC/ASD มีดังนี้

- การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง
- การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงอัด
- การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดัด
- การออกแบบรอยต่อ

1. การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง

เป็นส่วนของโครงสร้างที่รับแรงดึงตรงปลายทั้งสองข้าง โดยกระทำผ่านศูนย์ ถ่วงของรูปตัด พบทั่วไปในชิ้นส่วนของโครงสะพาน โครงหลังคา หอสูง ค้ำยัน ระบบเคเบิ้ล และในกรณีทีใช้กรณีที่ใช้เป็นเหล็กยึด (tie rod) การออกแบบหน้าตัดของ โครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนั้นค่อนข้างง่าย เนื่องจากไม่ต้องระวังเรื่องการค้างโก่งงอ (buckling) ที่จะทำให้ชิ้นส่วนไร้ความมีเสถียรภาพ (stability) แต่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับการ ทำรอยต่อที่ปลายของส่วนโครงสร้าง

ถ้าให้ P เป็นแรงดึงทั้งหมดที่กระทำตั้งฉากบนรูปตัดที่มีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับ A และสมมุติให้หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นเท่ากับ f_t แผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดเนื้อที่หน้าตัดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น : $f_t = P/A$ หรือแรงดึงที่ส่วนโครงสร้างรับได้ : $P/A = : F_t$ ใน เมื่อ : F_t เป็นหน่วยแรงดึงที่ส่วนโครงสร้างจะสามารถรับได้

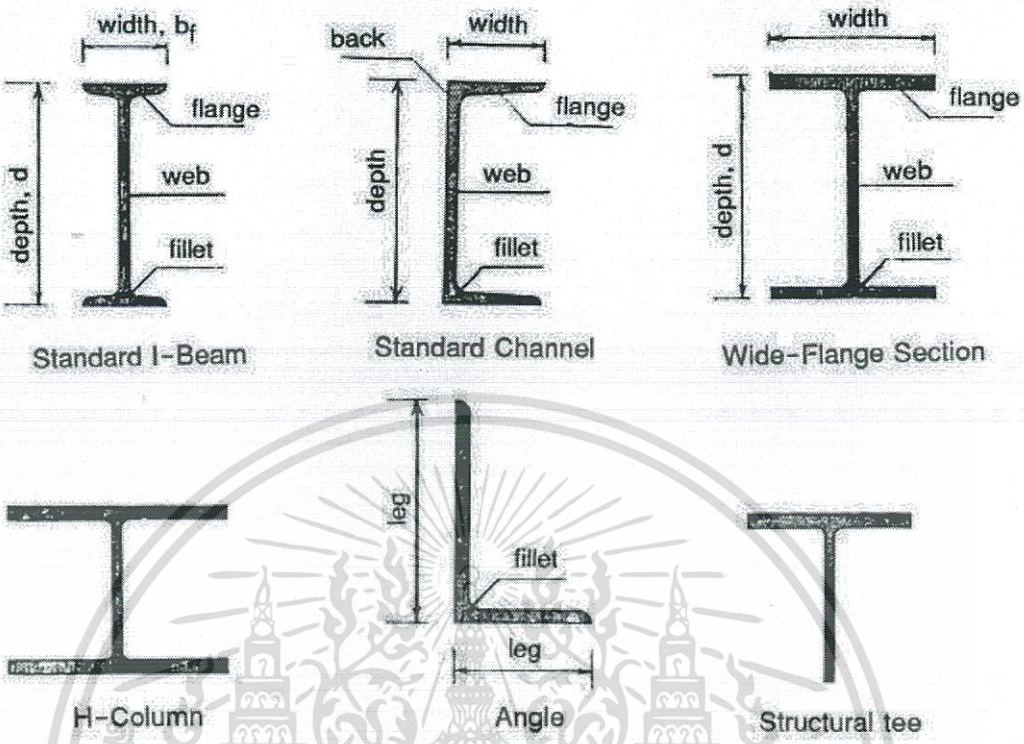
ซึ่งเป็นสมการที่จะนำไปใช้พิจารณาออกแบบ หาเนื้อที่หน้าตัดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงต่อไป เมื่อทราบหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ หรือ กำลังรับแรงดึงประลัย ที่กำหนดให้ในแต่ละวิธีของการออกแบบ

อนึ่ง การคำนวณออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงดึง มักพิจารณาร่วมกันกับ การออกแบบทำรอบต่อที่ปลายชิ้นส่วน ซึ่งอาจต่อโดยใช้การเชื่อม หรือโดยใช้การเชื่อม หรือโดยใช้ตัวยึด หากทราบเกี่ยวกับลักษณะของการต่อปลาย จะช่วยให้การออกแบบ และเลือกใช้ส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึงง่ายขึ้น

1.) รูปตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

การเลือกใช้รูปตัดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง ขึ้นอยู่กับชนิดหรือแบบของการต่อปลายมากกว่าอย่างอื่น รูปที่ 2.1 แสดงหน้าตัดทั่วไปของส่วนโครงสร้างรับแรงดึง แบบง่ายที่สุดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง คือ ท่อนเหล็ก (bars หรือ rods) ซึ่งใช้เป็นค้ำยัน (bracing) ในโครงสร้างขนาดย่อม (light structures) การต่อปลายอาจ ใช้ชีวิตขันเกลียวที่ปลายตัวนอต ท่อนเหล็กแบน (plate หรือ flat bar) ซึ่งใช้กับโครงสร้าง ของเสาไฟฟ้าแรงสูง หรือ เสาสัญญาณไฟจราจร ซึ่งอาจต่อปลายโดยการเชื่อม หรือ เคเบิ้ลที่เป็นลวดเหล็กฟั่นเกลียว (strand) หรือลวดเหล็กกลุ่ม (wire rope) ซึ่งมีกำลัง รับแรงดึงสูง และอาจต่อปลายโดยขันด้วยตัวขันที่เรียกว่า turnbuckle หรือใช้สมอยึด โครงสร้างส่วนรับแรงดึงที่นิยมใช้ทั่วไป คือ เหล็กฉาก (angle) ซึ่งอาจใช้เป็น เหล็กฉากเดี่ยว (single angle) หรือเหล็กฉากคู่ (double angles) แบบอื่นของโครงสร้าง ส่วนที่รับแรงดึงได้แก่ เหล็กรูปตัดแบบตัว T ตัว C ตัว W หรือหน้าตัดที่ประกอบขึ้น จากรูปตัดแบบต่างๆที่กล่าวแล้ว (built-up section) ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรง และ ง่ายต่อการต่อปลาย นอกจากนี้อาจเป็นท่อนเหล็กแบนที่มีปลายโค้งกลมใหญ่ แต่เจาะ รูตรงปลายเพื่อใส่หมุดหรือสลัก ทำเป็นข้อต่อแบบหมุนได้ (pin connected) ตามข้อกำหนดมาตรฐาน สำหรับใช้ในโครงสะพาน ซึ่งปัจจุบันไม่ค่อยใช้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปตัดแบบต่างๆ ของโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

2.) ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

โดยทั่วไป การวิบัติหรือชำรุดเสียหายของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง (เมื่อไม่คิดการวิบัติที่ยึดตัวยึดต่อหรือที่รอยเชื่อมต่อ) อาจเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ ดังต่อไปนี้ คือ

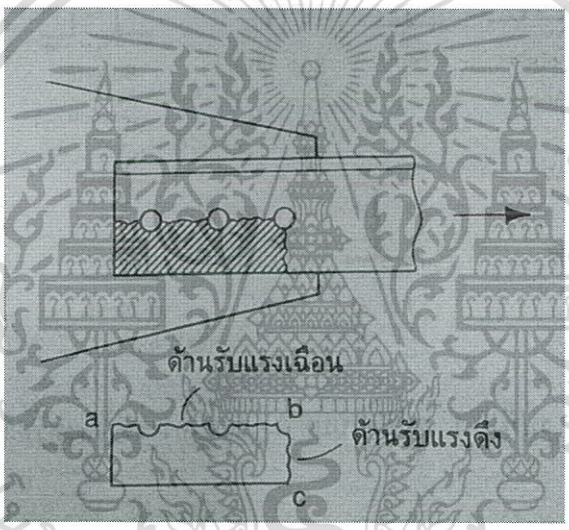
1. จากการคราก (yielding) เนื่องจากแรงดึงที่กระทำบนหน้าตัดทั้งหมด (gross area : Ag) ของชิ้นส่วนมีค่าสูงมาก เกินกว่ากำลังที่จุดครากของเหล็ก (Fy) ทำให้ชิ้นส่วนถูกดึงยืดออกจนทำให้โครงสร้างโดยรวมเสียรูปร่างไปป้องกันได้โดยเปลี่ยนใช้ขนาดรูปตัดใหญ่ขึ้น

2. จากการฉีกขาด (fracture) เนื่องจากแรงดึงที่กระทำตรงหน้าตัดที่มีรูเจาะเพื่อการรอยต่อหรือที่เรียกว่า หน้าตัดสุทธิ (net area : A_n) ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดน้อยกว่าหน้าตัดทั้งหมด ดังนั้น หน่วยแรงดึงที่กระทำตรงหน้าตัดสุทธิจึงมีค่าสูงมากกว่าปกติ และเมื่อมีค่าสูง เกินกว่ากำลังต้านทานแรงดึง (minimum tensile strength : F_u) ของเหล็ก ชิ้นส่วนจะฉีกขาดออกจากกัน ป้องกันได้โดยการจัดระยะห่างระหว่างรูเจาะ และระยะห่างส่วนให้มีค่ามากขึ้น เพื่อให้ได้เนื้อที่หน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุทธิมากขึ้นซึ่งเป็น การลดค่าหน่วยแรงดึงมิให้เกินกว่าหน่วยแรงดึงที่กำหนด หรือเปลี่ยนใช้เหล็ก ที่มีกำลังต้านทานแรงดึงสูงขึ้น

อนึ่ง การวิบัติเนื่องจากการฉีกขาด อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนตรงรอยต่อ จากการกระทำร่วมกันระหว่างแรงดึงและแรงเฉือน ที่เรียกว่า Block Shear ดังรูปที่ 2.2 โดยหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ตั้งฉากกับแนวแรงจะรับแรงดึง ส่วนหน้าตัด ของชิ้นส่วนที่ขนานกับแนวแรงจะรับแรงเฉือน ทำให้ชิ้นส่วนอาจเกิดการวิบัติได้ 2 ลักษณะ คือ ชิ้นส่วนถูกดึงฉีกขาด ในขณะที่เกิดการครากที่ด้านรับแรงเฉือน หรือชิ้นส่วนถูกขนาดในขณะที่เกิดการครากที่ด้านรับแรงดึง



รูปที่ 2.2 การวิบัติแบบ Block Shear

ลักษณะการวิบัติต่างๆ ที่กล่าว นำไปสู่ข้อกำหนดสำหรับการพิจารณาออกแบบส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึง และการทำรอยต่อของส่วนโครงสร้างที่ต่อด้วยตัวยึดหรือโดยการเชื่อม

3.) หน้าตัดสุทธิ (Net Section)

คำว่า “เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ” (Net cross-sectional area : A_n) หรือเรียกสั้นๆ ว่า “หน้าตัดสุทธิ” หมายถึง เนื้อที่หน้าตัดของส่วนโครงสร้างที่อยู่ในแนว ที่ตั้งฉากกับน้ำหนักหรือแรงดึงที่กระทำเมื่อหักเนื้อที่ส่วนที่เป็นรูเจาะออกแล้ว ปกติขนาด รูเจาะมาตรฐานของตัวยึด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าขนาดของตัวยึดประมาณ 2 มม. หรือประมาณ 3 มม. เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 24 มม. ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อที่ของรูเจาะที่จะมาหักออกมีค่าเท่ากับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะคูณ ด้วยความหนาของชิ้นส่วนที่รูเจาะ นั่นคือ

ถ้าให้ Ag เป็นเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (Gross cross – sectional area) $= (w_g)(t)$

A_{hole} เป็นเนื้อที่หน้าตัดของรูเจาะ $= (d_h)(t)$

ในเมื่อ w_g เป็นความกว้างทั้งหมดของเหล็กแผ่นที่ตั้งฉากกับแรงดึง

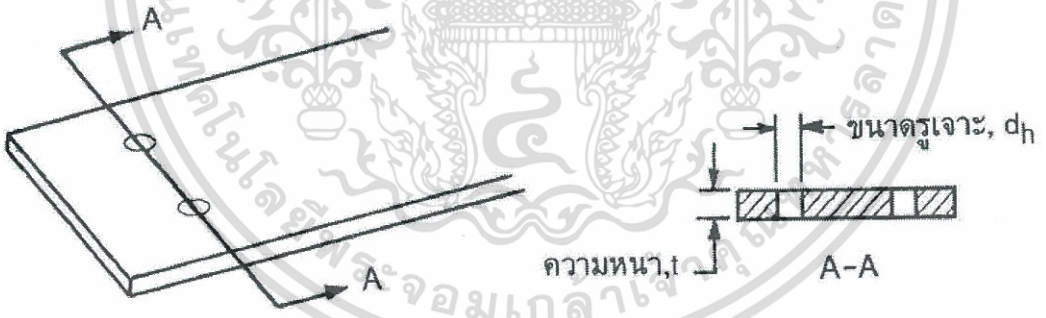
t เป็นความหนาของเหล็กแผ่น

d_h เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ

ดังนั้น หน้าตัดสุทธิ $A_n = A_g - A_{hole}$

$= (w_g)(t) - (d_h)(t)$

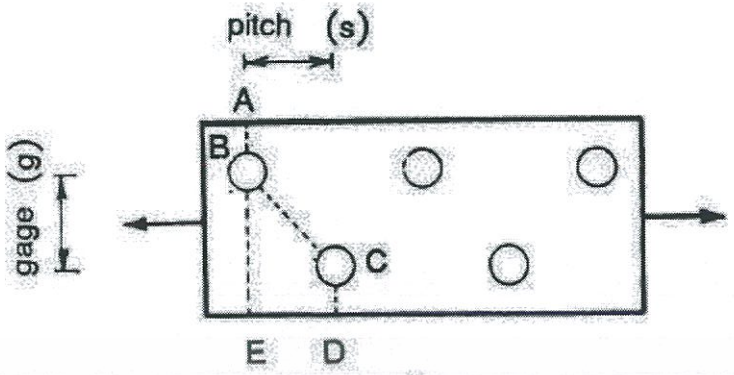
เมื่อความหนาของแผ่นเหล็กมีค่าคงที่ จะได้ ความกว้างสุทธิ $w_n = w_g - d_h$



รูปที่ 2.3 หน้าตัดสุทธิ

เมื่อรอยต่อหนึ่งๆต้องใช้ตัวยึดมากกว่าหนึ่งแถวในแนวที่ขนานกับแนวแรง จะต้องพยายามจัดระยะห่างตัวยึด (ตามมาตรฐานกำหนด) เพื่อให้ได้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากที่สุด หรือ เพื่อให้ส่วนโครงสร้างนั้นสามารถรับแรง หรือน้ำหนักได้มากที่สุดนั่นเอง สำหรับการจัดระยะนี้สังเกตได้จากรูปที่ 2.3 ซึ่งจะเห็นในภาพรวมว่าต้องจัดให้รูเจาะมีแนวเยื้องกัน (zigzag) และให้ระยะระหว่างรูเจาะ (s) มีค่ามากพอ เพื่อลดปัญหาการฉีกขาดหรือชำรุดของแผ่นเหล็กตามแนว ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ระยะห่างของรูเจาะในแนวตั้งฉากกับแนวแรง

ถ้าสมมุติให้ s เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะในแนวขนานกับแนวแรง ซึ่งเรียกว่า ระยะเกลียว (pitch) และให้ g เป็นระยะห่างของรูเจาะในแนวตั้งฉากกับแนวแรง ซึ่งเรียกว่า gage ดังรูปที่ 2.4

ถ้าแผ่นเหล็กมีความหนาคงที่ ความกว้างสุทธิ w_n ในแนวเยื้องที่ผ่านรูเจาะมีค่าเท่ากับความกว้างทั้งหมดของเหล็กลบด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะทั้งหมดในแนวเยื้องที่พิจารณาแล้วบวกด้วยผลของ $\frac{s^2}{4g}$ ทั้งหมดที่มีในแนวเยื้องกัน

นั่นคือ ความกว้างสุทธิ $w_n = w_g - \sum d_h + \sum(s^2/4g)$

ในการคำนวณออกแบบ ต้องพิจารณาหาความกว้างสุทธิ หลายๆ แนว แล้วนำค่าน้อยที่สุดมาใช้คำนวณหากำลังรับแรงดึง

4.) หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (Effective Net Cross-sectional Area)

เมื่อทำรอยต่อที่ปลายของส่วนโครงสร้างรับแรงดึง โดยการใช้ตัวยึดหรือโดยการเชื่อม หากทำการยึดต่อหรือเชื่อมต่อเพียง บางส่วนของรูปตัด เช่น ยึดต่อเหล็กรูปตัดฉากเดี่ยวที่ขาข้างที่ขาข้างใดข้างหนึ่ง เพียงขาเดียวเท่านั้น ในลักษณะนี้ การรับและถ่ายแรงจะไม่แผ่กระจายอย่าง สม่ำเสมอ ขาของด้านที่ถูกยึดติดจะรับแรงกระทำมากกว่าขาของด้านที่ไม่ถูกยึด เป็นผลให้รอยต่อต้องรับแรงเยื้องศูนย์ที่เรียกว่า Shear Lag ทำให้กำลัง หรือ ประสิทธิภาพของการรับแรงดึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นในกรณีที่ทำรอยต่อในลักษณะดังกล่าวข้างต้น มาตรฐาน AISC กำหนดให้พิจารณาการรับและถ่ายแรงดึงบนหน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (A_e) ซึ่งเป็นเนื้อที่หน้าตัดของส่วนโครงสร้างที่ลดค่าลงจากผลของการต่อปลาย โดยอาศัยตัวคูณลดค่า (reduction factor : U) ดังนี้

1. เมื่อต่อปลายโดยใช้ตัวยึด หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล : $A_e = U A_n$

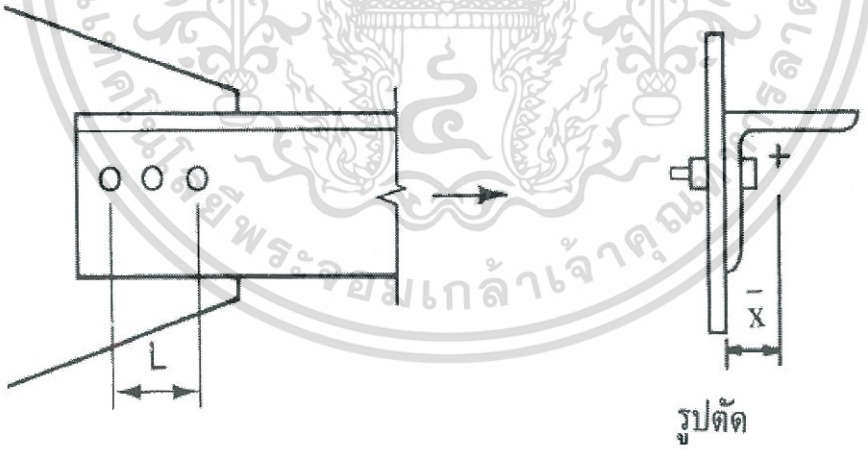
2. เมื่อต่อปลายโดยใช้การเชื่อม หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล : $A_e = U A_g$

มาตรฐาน AISC กำหนดค่าของตัวคูณลดค่า (U) จากผลการต่อปลาย ดังนี้

$$U = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0.9$$

ในเมื่อ $\bar{x}$ = ระยะจากระนาบรับแรงเฉือนถึงจุดศูนย์ถ่วงของรูปตัดที่นำมาต่อ

L = ความยาวของรอยต่อในทิศที่ขนานกับแรงกระทำ



รูปที่ 2.5 ระยะ $\bar{x}$ และ L

มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD ได้ให้ค่าตัวเลขของตัว U แทนการใช้สมการข้างต้น โดยมีเงื่อนไข ดังนี้

ก) สำหรับเหล็กรูปพรรณที่มีรูปตัดต่อ W M หรือ S หรือตัว T :

ถ้าส่งถ่ายแรงดึงผ่านรอยเชื่อมที่อยู่ตั้งฉากกับแนวแรงอย่างเดียว :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อที่ที่เชื่อมต่อ

ถ้าส่งถ่ายแรงดึงโดยสลักเกลียวหรือตัวยึด :

U = 0.90 - เมื่อใช้สลักเกลียวทำรอยต่อที่ปีกชิ้นส่วนในแนว ของแรงกระทำอย่างน้อย 3 ตัวต่อแถว และชิ้นส่วนมีอัตราสวนระหว่าง ความกว้างของปีกต่อความลึกเท่ากับหรือเกินกว่า 2/3

U = 0.85 – เมื่อใช้สลักเกลียวในแนวของแรงกระทำ อย่างน้อย 3 ตัวต่อแถว แต่ไม่ตรงตามเงื่อนไขข้างต้น

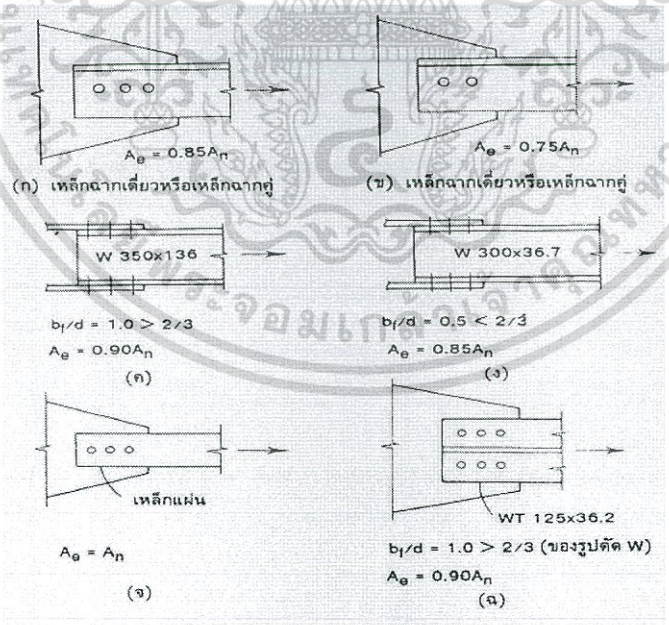
U = 0.75 – เมื่อใช้สลักเกลียวในแนวของแรงกระทำ เท่ากับ 2 ตัวต่อแถว

ข) สำหรับเหล็กแผ่นหรือท่อนเหล็ก ที่ทำรอยเชื่อมขนานกับแนวแรง :

U = 1.0 – เมื่อความยาวของรอยเชื่อมทั้งหมดเกินกว่า 2 เท่าของรยะห่างระหว่างรอยเชื่อม

U = 0.87 – เมื่อความยาวของรอยเชื่อมทั้งหมดอยู่ระหว่าง 2 ถึง 1.5 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม

U = 0.75 – เมื่อความยาวของรอยเชื่อมทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1 ถึง 1.5 เท่าของระยะห่างระหว่างรอยเชื่อม



รูปที่ 2.6 ค่า U สำหรับรอยต่อยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงดึง – มาตรฐาน AISC

การออกแบบส่วนโครงสร้าง เพื่อให้รับแรงดึงตามแนวแกน อาจใช้ตามมาตรฐานกำหนด AISC ซึ่งให้ข้อกำหนดในการออกแบบไว้สองวิธี คือ ASD (Allowable Stress Design) และวิธี LRFD (Load and Resistance Factor Design) ในแต่ละวิธีของมาตรฐาน AISC ได้ให้สูตรคำนวณคำนึงถึงพฤติกรรมต่างๆที่ได้กล่าวในตอนต้น

การออกแบบโดยวิธี ASD

1. สำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไป (ยกเว้นท่อนเหล็กและเหล็กแผ่นเจาะรูทำข้อต่อ) ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ต่อไปนี้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด $F_t = 0.6F_y$

   หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดสุทธิประสิทธิผล $F_t = 0.5F_u$
2. สำหรับท่อนเหล็กหรือเคเบิ้ลรับแรงดึง

   หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ $F_t = 0.33F_u$
3. สำหรับข้อต่อแบบหมุนได้ในเหล็กแผ่น (pin-connected plate) หรือรูหมุดตาไก่ (pin hole) ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ต่อไปนี้

   หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด $F_t = 0.6F_y$

   หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดสุทธิที่ผ่านรูเจาะ $F_t = 0.45F_y$

   อนึ่ง หน่วยแรงกดตรงรูเจาะที่ยอมให้ $F_p = 0.9F_y$
4. สำหรับส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน (block shear)

   แรงดึงที่ยอมให้ $= 0.5F_uA_{nt} + 0.3F_uA_{nv}$

   ในที่นี้ F_y เป็นกำลังจุดครากของเหล็ก (yield strength of steel)

   F_u เป็นกำลังรับแรงดึงประลัยของเหล็ก (minimum tensile strength of steel)

   A_{nt} เป็นหน้าตัดสุทธิที่รับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_{nt} เป็นหน้าตัดสุทธิที่รับแรงแรงเฉือน

อัตราส่วนความชะลูด

แม้ว่าจะไม่ต้องระวังเรื่องการโก่งงอในโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง แต่เมื่อโครงสร้างส่วนนั้นมีรูปร่างเรียวหรือชะลูด นั่นคือมีสติฟเนสน้อย ก็อาจหย่อนตกท้องช้าง เนื่องจากน้ำหนักของส่วนโครงสร้างเอง หรือ เกิดการแกว่ง หรือโก่งทางด้านข้าง (Lateral deflection) หรือสั่นไหวตัว (vibration) เนื่องจากแรงลม ดังนั้น มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD จึงกำหนดอัตราส่วนความชะลูดสำหรับโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง ดังนี้

ค่า $\frac{KL}{r} \leq 300$ (ยกเว้นท่อนเหล็กกลม rod)

ในเมื่อ K = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล (มีค่า = 1)

L = ช่วงความยาวของส่วนโครงสร้างรับแรงดึง (ซม.)

r = รัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุด ($= \sqrt{I/A}$)ของส่วนโครงสร้างรับแรงดึง (ซม.)

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดของส่วนโครงสร้างรับแรงดึง (ซม.^{4})

A = เนื้อที่หน้าตัดของส่วนโครงสร้างรับแรงดึง (ซม.^{2})

สำหรับท่อนเหล็กกลม ให้ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อยเท่ากับ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงอัด

การออกแบบเสาหรือองค์อาคารรับแรงอัดตามแนวแกนคือการเลือกหน้าตัดที่เหมาะสมเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกให้ได้ตามต้องการ สำหรับความยาว และสภาวะจุดรองรับที่กำหนดมา โดยพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ

คำนวณได้จาก : $$\text{พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ} = \frac{\text{น้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ}}{\text{หน่วยแรงที่ยอมให้}}$$

การเลือกหน้าตัดจะทำได้จากพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ ปัญหาอยู่ที่หน่วยแรงที่ยอมให้ F_a ที่ยังไม่รู้ค่าเนื่องจากเป็นฟังชั่นของอัตราส่วน ความชะลูด KL/r ซึ่งขึ้นกับหน้าตัดที่ใช้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial-and-error) โดยทั่วไปจะเริ่มจากการเดา F_a เพื่อคำนวณพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ เมื่อเลือกหน้าตัดที่ได้แล้วก็จะคำนวณค่าจริงของ F_a ได้ และ คำนวณน้ำหนัก บรรทุกที่หน้าตัดรับได้ P มาเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการว่าเพียงพอ หรือไม่ ถ้ารับน้ำหนักได้ไม่พอหรือรับได้เกินไปมากก็จะลองเลือกใหม่ แล้วทำซ้ำ กระบวนการเดิมไปเรื่อยๆจนได้หน้าตัดที่เหมาะสม

ข้อมูลที่ต้องทราบก่อนการออกแบบ

- ความยาวจริงตามแนวแกน (L;m.)
- ชั้นคุณภาพของเหล็กที่เลือก (ทราบค่า Fy และ Fu ; ksc.)
- โหลดหรือแรงอัด (Fc ; kg.) ซึ่งได้จากวิเคราะห์
- ลักษณะของการยึดที่ปลายหัว-ท้าย (จากเงื่อนไขดังกล่าวนำไปหาค่า K ได้จากตาราง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบ

หาพื้นที่หน้าตัดเหล็ก จาก

$$As \geq \frac{Fc}{(0.50 \text{ ถึง } 0.60)Fy}$$ นำไปเปิดตารางเพื่อเลือกขนาดหน้าตัด

ตรวจสอบขนาดเล็กที่เลือกจากตาราง 2 ส่วน คือ

$$Fa \times As' \geq Fc$$

และจากเงื่อนไขของการยึดที่ปลายหัว-ท้าย เปิดตารางหาค่า K

หัวเสา	ท้ายเสา	case	K
Fix	Fix	ไม่มีการหมุนที่ปลายเสาและไม่มีการเคลื่อนที่	0.65
Fix	Hinge	มีการหมุนที่ปลายเสาแต่ไม่มีการเคลื่อนที่	0.8
Fix	Fix	ไม่มีการหมุนที่ปลายเสาแต่มีการเคลื่อนที่	1.2
Hinge	Hinge	มีการหมุนที่ปลายเสาแต่ไม่มีการเคลื่อนที่	1
Fix	Free	มีการหมุนที่ปลายเสาและมีการเคลื่อนที่	2.1
Hinge	Fix	ไม่มีการหมุนที่ปลายเสาแต่มีการเคลื่อนที่	2

ตารางที่ 2.1 ค่า K

โดยค่า Fa หาได้จากการเปรียบเทียบค่าของ $\frac{KL}{r_{min}}$ & C_c (โดย $C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Fy}}$)

เมื่อ $\frac{KL}{r_{min}} \leq C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ Fa คำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ $\frac{KL}{r_{min}} > C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ Fa คำนวณได้จาก

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

โดย L = ความยาว (ซม.)

r = รัศมีไจเรชั่น (ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการโก่งงอ (ซม.)

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (กก./ซม.^{2})

F_y = กำลังจุดครากของเหล็ก (กก./ซม.^{2})

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (กก./ซม.^{2})

3.การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดัดใช้ในการออกแบบแปเหล็ก

แปเป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงหลังคาลาดเอียงที่ต้องรับการดัดแบบไม่สมมาตร โดยรับน้ำหนักบรรทุกจากหลังคาในแนวดิ่งและแรงลมในแนวตั้งฉากกับหลังคา

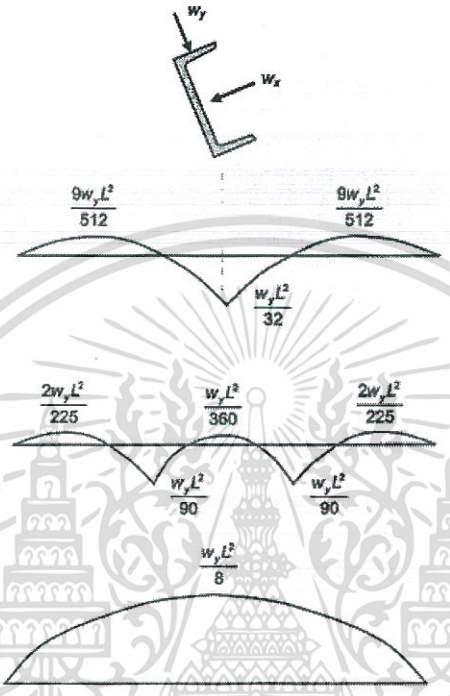
เพื่อหลีกเลี่ยงการดัดของจันทัน (Top Chord) ของโครงหลังคา จึงควรวางแปที่จุดต่อของโครงถักแต่ถ้าต้องการใช้แประหว่างกลางจันทันจะต้องพิจารณาหน่วยแรงกัดและหน่วยแรงตามแนวแกนร่วมกันในจันทันดังจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

เหล็กเส้นกันหย่อน (Sag Rod) มักจะถูกใช้เพื่อลดช่วงความยาวสำหรับการดัดรอบแกนรองเหล็กเส้นกันหย่อนทำให้แปกลายเป็นคานต่อเนื่องรอบแกน y และโมเมนต์รอบแกนนี้จะลดลงมากดังแสดงในรูปที่ 2.7 โมเมนต์ไดแกรมเหล่านี้ได้มาโดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงความยาวของเหล็กเส้นกันหย่อน นอกจากนั้นยังสมมุติว่าแปถูกรองรับแบบจุดหมุนที่โครงถัก สมมติฐานเช่นนี้ เป็นการเผื่อความปลอดภัย เนื่องจากแป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มักจะต่อเนื่องประมาณ 2-3 ช่วงโครงถัก และ ความต่อเนื่องที่จุดต่อมีค่อนข้างมาก ในแผนภูมินี้ L คือระยะระหว่างโครงถัก W_x คือองค์ประกอบของน้ำหนักบรรทุกที่ตั้งฉากกับแกนเอว และ W_y คือองค์ประกอบที่ขนาน กับแกนเอว



รูปที่ 2.7 เหล็กเส้นกันหย่อน

ถ้าไม่ใช้เหล็กกันหย่อนโมเมนต์มากที่สุดรอบแกนเอวของแปจะเป็น $W_xL^2/32$ (ลดลง75%) และเมื่อใช้ที่ระยะหนึ่งในสามจะลดลงเป็น $W_xL^2/90$ (ลดลง90%)

มาตรฐานเหล็กโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่นิยมใช้

ซึ่งก็คือเกรดหรือชั้นคุณภาพของเหล็กรูปพรรณ โดยในแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานในการแบ่งชั้นคุณภาพเพื่อการออกแบบที่แตกต่างกันออกไป เช่น (หมายเหตุ 1 MPa = 10.19716 Kg./cm.^{2})

1. ASTM. (American Society for Testing and Materials)
   ที่นิยมใช้มากในงานออกแบบและก่อสร้างมีอยู่ 2 เกรด คือ
   - A-36 (Carbon Steel : Fy = 250 MPa)
   - A-572 (High-Strength Low-Alloy Steel : 345 MPa)
2. JIS. (Japanese Industrial Standards)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่นิยมใช้งานมากในงานออกแบบและก่อสร้างมีอยู่ 2 เกรด คือ เกรด SS ใช้สำหรับโครงสร้างรองหรือโครงสร้างชั่วคราว และเกรด SM ใช้สำหรับโครงสร้างหลักทั่วๆไป

- SS-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-520 (Fy : 365 MPa)
- SM-570 (Fy : 460 MPa)

3. TIS. (Thai Industrial Standards : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย,มอก.)

ได้ทำการจัดหมวดของผลิตภัณฑ์เหล็กโครงออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1. เหล็กเส้นแบนและเหล็กเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัชตัน (มอก.55)

- มีหน่วยแรงดึงที่จุดคราก่ำสุด (Fy) = 2400 ksc.
- มีหน่วยแรงดึงที่จุดครากสูงสุด (Fy) = 3900 ksc.

กลุ่มที่ 2. เหล็กกลวงที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง (มอก.107) : มี 2 ชั้นคุณภาพ คือ

- HS41 : Fy = 2400 ksc. ; Fu = 4100 ksc. ; δ = 23%
- HS50 : Fy = 3200 ksc. ; Fu = 5000 ksc. ; δ = 23%

ประกอบด้วยเหล็กหน้าตัดรูปกลมกลวง , สี่เหลี่ยมจัตุรัสกลวง , สี่เหลี่ยมผืนผ้ากลวง

กลุ่มที่ 3. เหล็กรูปพรรณ (มอก.116) : มี 2 ชั้นคุณภาพ คือ

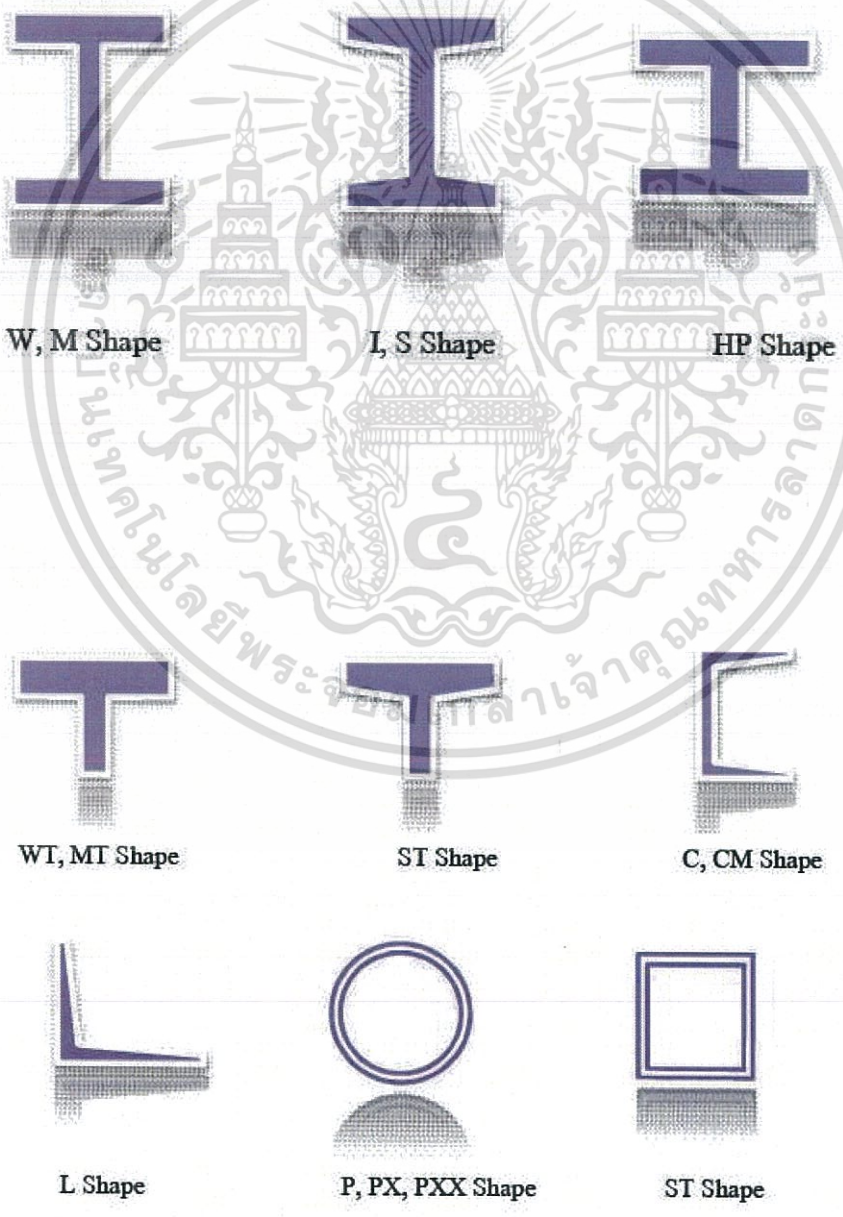
- Fe24 : Fy =2400 ksc. ; Fu = 4100 ksc. ; δ = 23%
- Fe30 : Fy =3000 ksc. ; Fu = 5000 ksc. ; δ = 23%

ประกอบด้วยเหล็กหน้าตัดรูปเหล็กฉาก , รูปตัวซี ,รูปรางน้ำ,รูปตัวไอ,รูปตัวเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานของเราในปัจจุบัน (2550) ในการแบ่งเกรดก็คล้ายๆกับมาตรฐานของ JIS. ที่นิยมให้มากในงานออกแบบและก่อสร้างประกออบด้วย

- SS-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-400 (Fy : 245 MPa)
- SM-570 (Fy : 460 MPa)



รูปที่ 2.8 รูปทรงของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณตามมาตรฐานของ AISC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงที่ยอมให้ในการออกแบบ

ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆนั้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับหน่วยแรงที่ยอมให้เท่านั้น โดย

1. หน่วยแรงตามแนวแกน
   - หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ fs = 0.6Fy ksc.
   - หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ fy = 0.6Fy ksc.
2. หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ fv = 0.40Fy ksc.
3. หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ fb = 0.60Fy ksc.

วิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุก (Load)

ในสภาพความเป็นจริงหรือโครงสร้างจริงนั้น น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง มีอยู่ด้วยกันในหลายรูปแบบและหลายลักษณะ ทั้งนี้โดยรวมภาพแล้วขึ้นอยู่กับลักษณะ หรือประเภทของโครงสร้าง สภาพการใช้งานของโครงสร้าง สภาพและลักษณะ ภูมิประเทศของแต่ละท้องที่ ดังนั้นค่าของน้ำหนักในเชิงตัวเลขที่กระทำต่อโครงสร้าง ก็จะแตกต่างกันออกไปมากบ้างน้อยบ้าง ตามมาตรฐานของแต่ละท้องที่ที่ได้มีการบันทึก เก็บสถิติ หรือจากการรวบรวมวิจัยจากหลายๆหน่วยงาน และได้มีการยอมรับและใช้กัน ทั่วๆไปเพื่อไม่ให้เกิดความสับสน ดังนั้นในที่นี้ผู้เขียนจึงได้ทำการจำแนกน้ำหนักที่กระทำ ต่อโครงสร้างออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ

น้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load ; DL.) คือ น้ำหนักที่ถูกยึดฝัง หรือตรึงให้อยู่กับที่ (โครงสร้าง) รวมถึงน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง (Self-Weight ; SW.)

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load ; LL.) คือ น้ำหนักที่ไม่ถูกยึด ฝัง หรือตรึงให้อยู่ กับที่ (โครงสร้าง) : ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายหรือเคลื่อนไหวได้โดยง่าย ทั้งที่เคลื่อนที่โดยธรรมชาติเองหรือโดยการใส่กำลังงานให้โดยมนุษย์

กลุ่มที่ 1 น้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load ; DL.) ประกอบด้วย

1.นำหนักตัวโครงสร้างเอง (Self Weight ; SW.) ซึ่งสามารถหาได้โดย ตรงจากขนาดของโครงสร้าง และหน่วยน้ำหนัก (Unite Weight) ของตัวโครง สร้างเอง เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอนกรีตเสริมเหล็ก SW. = 2400 × กว้าง(ม.) × หนา(ม.) ; กก./ม.
  หรือ kg./m + 2400 × กว้าง(ม.) × ความหนา topping(ม.) ; กก./ม.
  หรือ kg./m.
- โครงหลังคา (Truss) แบ่งออกเป็น

  1. โครงหลังคาเหล็ก

     - 1.024 × ความยาวโครงถักวัดจาก ปลายถึง ปลาย (ม.) ;
       กก./ตร.ม.
     - $\frac{\text{ความยาวโครงถัก(ม.)}}{3} + 5$; กก./ตร.ม.
     - ประมาณ 7% - 15% ของน้ำหนักบรรทุก

  2. โครงหลังคาไม้

     - θ > 30 องศา ; 1.024 × ความยาวโครงถักวัดจาก ปลาย
       ถึง ปลาย(ม.) ; กก./ตร.ม
     - θ > 30 องศา ; 0.688 × ความยาวโครงถักวัดจาก ปลาย
       ถึง ปลาย(ม.) + 8.54 ; กก./ตร.ม

กลุ่มที่ 2 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load; LL.)

ให้ใช้ตามมาตรฐานของ วสท. (ข้อกำหนด) และ เทศบัญญัติ กทม.(ข้อกฎหมาย) ข้อกำหนด-กฎหมาย ที่ประกาศใช้ในแต่ละท้องที่ ที่จะทำการออกแบบและก่อสร้าง ประกอบด้วย

1.น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของอาคาร : ดูในตารางที่ (ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่แนะนำให้ใช้ โดยค่าในตารางดังกล่าว ได้เผื่อน้ำหนักที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ในกรณีเหตุสุดวิสัยหรือน้ำหนักบรรทุกที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะก่อสร้าง รวมถึงได้เผื่อน้ำหนักเพื่อป้องกันการสั่นไหวของอาคารไว้ด้วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารแต่ละประเภทและส่วนประกอบของอาคาร

ประเภทและส่วนประกอบของอาคาร	น้ำหนักบรรทุก (กก./ตร.ม.)
1. หลังคา (ที่มุงด้วยวัสดุแผ่นมุงทั่วๆไป)	30 (50)
2. หลังคาคอนกรีตหรือกันสาด	100
3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล รวมถึงห้องน้ำ-ห้องส้วม	150
4. อาคารชุด หอพัก โรงแรม ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อพักอาศัย ห้องคนไข้พิเศษ โรงพยาบาล	200
5. อาคารสำนักงาน ธนาคาร	250
6. (ก.) โรงเรียน โรงพยาบาล วิทยาลัย มหาวิทยาลัย อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว และตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ (ข.) ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ อาคารชุด อาคารสำนักงานและธนาคาร หอพัก โรงแรม	300
7. (ก.) ตลาด ภัตตาคาร ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่งหรือรถจักรยานยนต์ (ข.) ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน วิทยาลัย มหาวิทยาลัย	400
8. (ก.) โรงกีฬา อัฒจันทร์ พิพิธภัณฑ์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ (ข.) ห้องโถง บันไดและช่องทางเดินของ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ภัตตาคาร โรงมหรสพ หอประชุม ห้องประชุม หอสมุดและห้องสมุด	500
9. ห้องเก็บหนังสือของหอสมุดหรือห้องสมุด	600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ที่จอดหรือเก็บรถบรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ	800

เนื่องจากว่าน้ำหนักบรรทุกจรดังกล่าวมีโอกาสหรือเป็นไปได้น้อยที่จะเกิดขึ้นหรือกระทำพร้อมๆกันเต็มพื้นที่ที่ออกแบบ

4.การออกแบบรอยต่อ

4.1) แบบสลักเกลียว (Bolt)

สลักเกลียวที่ใช้ทำรอยต่อโครงสร้างเหล็กมี 2 ชนิด คือ สลักเกลียวชนิดธรรมดาและสลักเกลียวชนิดกำลังสูง โดยในการออกแบบจะใช้สลักเกลียวชนิดกำลังสูง เนื่องจากโครงสร้างเกิดแรงอัดและแรงดึงที่มีค่ามาก

ลักษณะการวิบัติของรอยต่อ

- การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน
- การวิบัติเนื่องจากแรงกด
- การวิบัติเนื่องจากการเฉือนขาด
- การวิบัติจากการดึงขาด
- การวิบัติจากการดัด
- การวิบัติจากแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน

<u>หมายเหตุ</u> จะต้องทำการตรวจสอบการวิบัติของทุกกรณีที่กล่าวมา เพื่อให้โครงสร้างสามารถอยู่ได้

กำลังรับแรงดึงและแรงเฉือนของตัวยึด

โดยวิธี ASD : กำลังรับแรงดึงที่ยอมให้ของตัวยึด = FtAb

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ของตัวยึด = FvAb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Ft , Fv = หน่วยแรงดึง และหน่วยแรงเฉือน ที่ยอมให้ของตัวยึด

Ab = เนื้อที่หน้าตัดของตัวยึด = $\pi d^2/4$

กำลังรับแรงกดที่รูเจาะ

โดยวิธี ASD : กำลังรับแรงกดที่ยอมให้ = 1.2Fudt

4.2)แบบเชื่อม (Welds)

โดยรอยเชื่อมที่ใช้เป็นรอยเชื่อมแบบฟิลเลท (Fillet welds)

กำลังของรอยเชื่อมแบบฟิลเลท

ถ้ากำหนดให้ size = ขนาดขาเชื่อม

L = ความยาวรอยเชื่อม

F_{Exx} = กำลังรับแรงดึงประลัยของลวดเชื่อม

= 60 ksi หรือ 4200 กก./ซม.^{2} สำหรับ E60

= 70 ksi หรือ 4900 กก./ซม.^{2} สำหรับ E70

วิธี ASD

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม : $P_w = (0.3F_{Exx})A_w$ กก.

$=(0.3F_{Exx})(0.707 \text{x size x L})$ กก.

หรือ $=(0.3F_{Exx})(0.707 \text{x size x})$ กก./ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2)ทฤษฎีแรงลมออกแบบ

ขั้นตอนการคำนวณแรงลม สำหรับโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม โครงสร้างรอง และผนังภายนอก โดยวิธีการอย่างง่าย และวิธีการอย่างละเอียด

1.) หน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกของอาคารในทิศทางลม สามารถคำนวณได้จาก

$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

โดยที่ p = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure) กระทำตั้งฉากกับ พื้นผิวภายนอกอาคาร โดยเรียกว่า "หน่วยแรงดัน" ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ "หน่วยแรงดูด" ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

I_w = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม ตามที่กำหนดในตารางที่ 2-3 และ 2-4

q = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure) ตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.1.2.1

C_e = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (exposure factor) ตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.1.2.2

C_g = ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (gust effect factor) ตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.1.2.3

C_p = ค่าสัมประสิทธิของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร (external pressure coefficient) ตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.1.2.5

2.)แรงลมสุทธิที่กระทำต่ออาคารโดยรวมเป็นผลรวมแบบเวคเตอร์ของแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกของอาคารทางด้านต้นลมและท้ายลม

3.)หน่วยแรงลมสุทธิเพื่อใช้ในการคำนวณแรงลมที่กระทำต่อส่วยใดส่วนหนึ่งของด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร (เช่น ผนังภายนอก หรือ หลังคา) เป็นผลรวมแบบเวคเตอร์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกกับหน่วยแรงลม ที่กระทำบนพื้นผิวที่กระทำบนพื้นผิวภายใน โดยที่หน่วยแรงภายในคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi}$$

โดยที่ p_i = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure) กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายในอาคาร โดยเรียกว่า "หน่วยแรงดัน" ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ "หน่วยแรงดูด" ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

C_{gi} = ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลมที่กระทำภายในอาคารตามที่กำหนด

C_{pi} = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคารตามที่กำหนด

4.) ประเภทของอาคารตามความสำคัญต่อสาธารณชน แสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณชน

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วยโครงสร้างนั้นๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารของเล็กๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	น้อย
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	ปกติ
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆมากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารและส่วนโครงสร้างที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่สาธารณชนเป็นอย่างมาก หรืออาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุเป็นอย่างมาก เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และ โรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และ โรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารหรือส่วนโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เช่น เชื่อเพลิง หรือสารเคมี อันก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	สูงมาก

5.) ค่าประกอบการความสำคัญของแรงลม แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

ประเภทความสำคัญของอาคาร	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม	
	สภาวะจำกัดด้านกำลัง	สภาวะจำกัดด้านการใช้จริง
น้อย	0.8	0.75
ปกติ	1	0.75
มาก	1.15	0.75
สูงมาก	1.15	0.75

2.1.2.1 หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q)

1.) หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม สามารถคำนวณได้จาก

$$q = \frac{1}{2}\rho \bar{V}^2$$

โดยที่ q ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

หรือ

$$q = \frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{g}\right)\bar{V}^2$$

โดยที่ q ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (แรง) ต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รวมทั้งไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง ในทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ = ความหนาแน่นของมวลอากาศ (ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1.25 กิโลกรัม (มวล) ต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับความดันบรรยากาศปกติและอุณหภูมิของอากาศประมาณ 15 องศาเซลเซียส ถึง 45 องศาเซลเซียส

$\bar{V}$ = ความเร็วลมอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.806 m/s²

2.) ความเร็วลมอ้างอิง คือ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในชาวงเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความสูง 10 เมตรจากพื้นดิน ในสภาพภูมิประเทศโล่ง (open exposure) สำหรับคาบเวลากลับ (return period) 50 ปี (V_{50}) (ยกเว้น กลุ่มที่ 4A และ 4B ในรูปที่ ก.1) ความเร็วลมอ้างอิงของพื้นที่ต่างๆ ในประเทศไทย แสดงในรูปที่ ก.1 และตารางที่ ก-1

สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน $\bar{V} = V_{50}$

สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านกำลัง $\bar{V} = T_F V_{50}$

2.1.2.2 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับ ค่าหน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพภูมิประเทศ

1.) ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ

การคำนวณค่าแรงลมโดยวิธีการอย่างง่าย คำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. สภาพภูมิประเทศแบบ A เป็นสภาพภูมิประเทศแบบโล่งซึ่งมีอาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้าง กระจัดกระจายอยู่ห่างๆกัน หรือ เป็นบริเวณชายฝั่งทะเล ให้คำนวณค่า C_e จากสมการ (2-5) หรือใช้ค่าจากตาราง 2-3

$$C_e = \left(\frac{Z}{10}\right)^{0.2} \quad (2\text{-}5)$$

โดยที่ Z = ความสูงจากพื้นดิน (หน่วยเป็นเมตร) ณ ตำแหน่งที่คำนวณค่าหน่วยแรงลม โดยที่ถ้า C_e ที่คำนวณจากสมการ (2-5) มีค่าน้อยกว่า 0.9 กำหนดให้ใช้ค่า C_e = 0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. *สภาพภูมิประเทศแบบ B* เป็นสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือ บริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก ให้คำนวณค่า C_e จากสมการ *(2-6)* หรือใช้ค่าจากตาราง *2-3*

$$C_e = 0.7\left(\frac{z}{12}\right)^{0.3} \quad (2\text{-}6)$$

โดยที่ ถ้า C_e ที่คำนวณได้จากสมการ (2-6) มีค่าน้อยกว่า 0.7 กำหนดให้ใช้ค่า C_e = 0.7

สภาพภูมิประเทศใดๆ จะจัดอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบ B ได้ ก็ต่อเมื่อ มีลักษณะภูมิประเทศในลักษณะนั้นๆ สม่ำเสมอในทิศทางต้นลม เป็นรยางค์ไม่ ต่ำกว่า 1 กิโลเมตร หรือ 10 เท่าของความสูงของอาคาร โดยใช้ค่าที่มากกว่า ซึ่งสภาพภูมิประเทศที่ใช้ในการคำนวณนี้ ควรสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ ที่แท้จริงในทิศทางลมที่พิจารณา

ข้อยกเว้น อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 80 เมตร และตั้งอยู่ในกลุ่มที่มีความเร็วลมอ้างอิง $(\bar{V} = T_F V_{50})$ ไม่เกิน 25 m/s^2 ในรูปที่ ก.1 ให้ใช้เฉพาะสภาพภูมิประเทศแบบ A เท่านั้น

ตารางที่ 2.5 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e) สำหรับวิธีการอย่างง่าย

ความสูงจากพื้นดิน	สภาพภูมิประเทศแบบ A	สภาพภูมิประเทศแบบ B
สูงไม่เกิน 6 เมตร	0.90	0.70
สูงเกิน 6 เมตร แต่ไม่เกิน 10	1.00	0.70
เมตร	1.15	0.82
สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20	1.25	0.92
เมตร	1.32	1.00
สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 30	1.43	1.13
เมตร	1.52	1.24
สูงเกิน 30 เมตร แต่ไม่เกิน 40		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร สูงเกิน 40 เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร สูงเกิน 60 เมตร แต่ไม่เกิน 80 เมตร		

2.1.2.3 ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม (C_g)

ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม คือ อัตราส่วนระหว่างผลของแรงลมสูงสุดต่อผลของแรงลมเฉลี่ย ค่าประกอบ C_g สำหรับวิธีการอย่างง่าย คำนวณได้ดังนี้

1.) ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

ก. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.0 ในการออกแบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม ยกเว้น ป้ายและกำแพงให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.35

ข. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า C_g เท่ากับ 2.5 ในการออกแบบโครงสร้างรองและผนังภายนอกอาคาร (cladding) ที่มีขนาดเล็ก (ประมาณขนาดของหน้าต่าง)

2.) ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลมที่กระทำภายในอาคาร

สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายในอาคาร ให้ใช้ค่า C_{gi} เท่ากับ 2.0 หรือค่าที่คำนวณจากสมการข้างล่าง นี้ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะและปริมาณของเปิด (opening) ของอาคาร ในกรณีที่มีอาคารมีขนาดใหญ่และไม่มีผนังกั้นภายในซึ่งทำให้ปริมาตรภายในของอาคารมีค่ามาก ค่าความดันลมภายในอาคารจะ มีการแปเปลี่ยนช้า เมื่อเทียบกับการแปรเปลี่ยนของความดัน ลมภายนอกอาคาร ซึ่งในกรณีดังกล่าว อาจใช้ค่าที่คำนวณตาม สมการที่ (2-8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{gi} = 1+\frac{1}{\sqrt{1+\tau}}$$

โดยที่ V_0 = ปริมาตรภายในของอาคาร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m^3)

A_0 = พื้นที่รวมทั้งหมดของช่องเปิดบนผนังภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

2.1.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม (C_p)

1.) ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก ขึ้นอยู่กับรูปทรงของอาคาร ทิศทางลม และลักษณะการแปรเปลี่ยนของความเร็วลมตามความสูงอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำภายนอกอาคาร สำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารและระบบโครงสร้างหลักของอาคาร แบ่งออกเป็น 3 หมวด ดังนี้

ก. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารเตี้ยที่มีความสูงต่อความกว้าง $\left(\frac{H}{D_s}\right)$ น้อยกว่า 1 (D_s คือความกว้างของด้านที่แคบที่สุด) และมีความสูงอ้างอิง (reference height) น้อยกว่า 23 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมได้ถูกนำมา รวมกับค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม ดังแสดงในรูปที่ ข.1 ถึง ข.8 ในภาคผนวก ข.1

ข. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารสูง ดังแสดงในรูปที่ ข.9 ในภาคผนวก ข.2

ค. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับโครงสร้างพิเศษ ดังแสดในรูปที่ ข.10 ถึง ข.18 ในภาคผนวก ข.3

2.) ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายใน (C_{pi}) ใช้ในการคำนวณหาหน่วยแรงลมภายในอาคาร ซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบผนังภายนอกอาคาร และระบบโครงสร้างหลักต้านแรงลม ค่าสัมประสิทธิ์ C_{pi} นี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวและขนาดของรอยรั่วซึมตลอดจนช่องเปิดผนังภายนอกอาคารและหลังคา ซึ่งในการออกแบบอาคารสามารถพิจารณาแบ่งออกเป็น 3 กรณี ตามหัวข้อดังต่อไปนี้ โดยกำหนดให้ใช้ ได้ทั้งวิธีการอย่างง่ายและวิธีการอย่างละเอียด และ ทุกกรณีจะต้องคำนวณหาค่า C_{pi} ตามหัวข้อ 2.5 ฌ เพื่อใช้ร่วมในการหาค่าหน่วยแรงลมภายในอาคารด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 ใช้ค่า C_{pi} = -0.15 ถึง 0.0

กรณีนี้ใช้กับอาคารที่ปราศจากช่องเปิดขนาดใหญ่ แต่อาจมีช่องเปิดเล็ก ๆ กระจายสม่ำเสมอ โดยมีพื้นที่ช่องเปิดรวมน้อยกว่า 0.1% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ตัวอย่างได้แก่ อาคารสูงทั่วๆไปที่มีผนังปิดล้อม ทุกด้านและ มีระบบระบายอากาศภายใน รวมทั้งอาคารเตี้ยบางประเภท เช่น คลังสินค้าที่ไม่มีหน้าต่างหรือช่องเปิด โดยที่ประตูต้องออกแบบ ให้สามารถต้านพายุได้ และได้รับการปิดสนิทเมื่อเกิดพายุ

กรณีที่ 2 ใช้ค่า C_{pi} = -0.45 ถึง 0.3

กรณีนี้ใช้กับอาคารที่มีการรั่วซึมซึ่งกระจายไม่สม่ำเสมอ โดยที่อาจมีช่องเปิดขนาดค่อนข้างใหญ่ แต่ต้องได้รับการปิดสนิท เมื่อเกิดพายุ และมีความแข็งแรงเพียงพอ ตัวอย่างได้แก่ อาคารขนาด เล็กทั่วๆไป และอาคารสูงที่มีหน้าต่างซึ่งสามารถเปิด-ปิดได้ หรือ มีระเบียงซึ่งมีประตูที่สามารถเปิด-ปิดได้

กรณีที่ 3 ใช้ค่า C_{pi} = -0.7 ถึง 0.7

กรณีใช้กับอาคารที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ โดยที่ความแปรปรวนของลมภายนอกอาคาร สามารถส่งผลเข้าไปภายในได้ ตัวอย่างได้แก่ อาคารโรงงานอุตสาหกรรมและคลังสินค้าที่ประตูอาจจะเปิดในระหว่างเกิดพายุ หรือประตูไม่สามารถต้านพายุได้

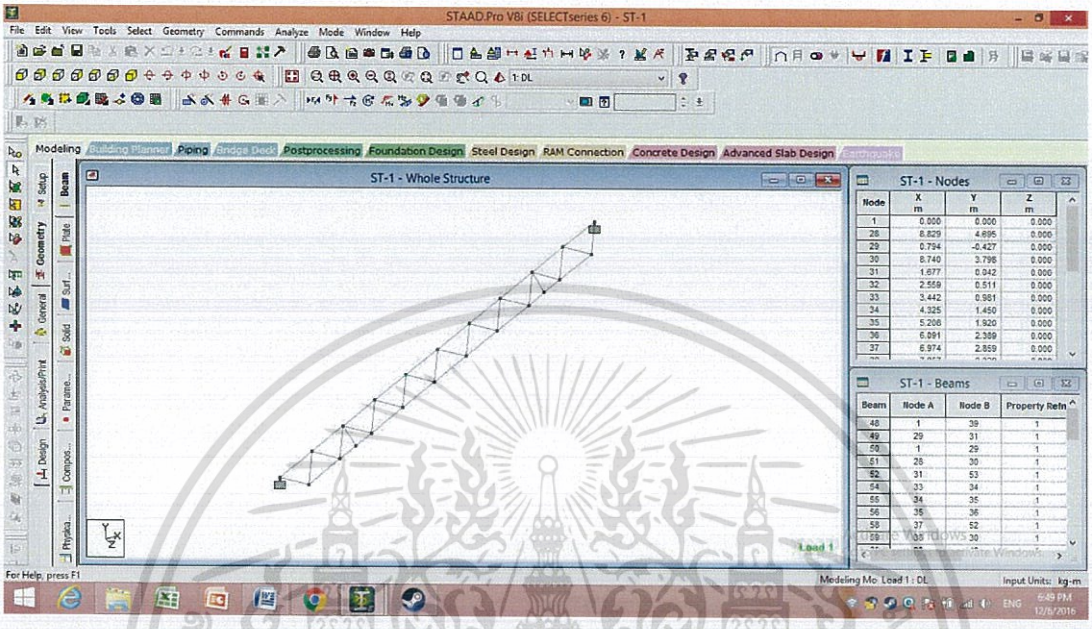
2.1.2.5 แรงลมออกแบบ สำหรับโครงสร้างหลัก และโครงสร้างรองของอาคารเตี้ยในรูปแบบใช้ตาราง

แรงลมออกแบบสำหรับโครงสร้างหลัก และโครงสร้างรองของอาคารเตี้ย นอกจากใช้สูตรการคำนวณโดยตรง ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมในภาคผนวก ข.1 แล้ว ยังสามารถใช้ค่าแรงลมออกแบบดังแสดงในภาคผนวก ค.1 สำหรับแรงลมออกแบบสำหรับโครงสร้างหลักของอาคารเตี้ย และ ค.2 สำหรับแรงลมออกแบบสำหรับโครงสร้างรองของอาคารเตี้ยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การใช้โปรแกรม STADD PRO

1.การขึ้นรูปร่างของตัวโครงถัก (model Truss)

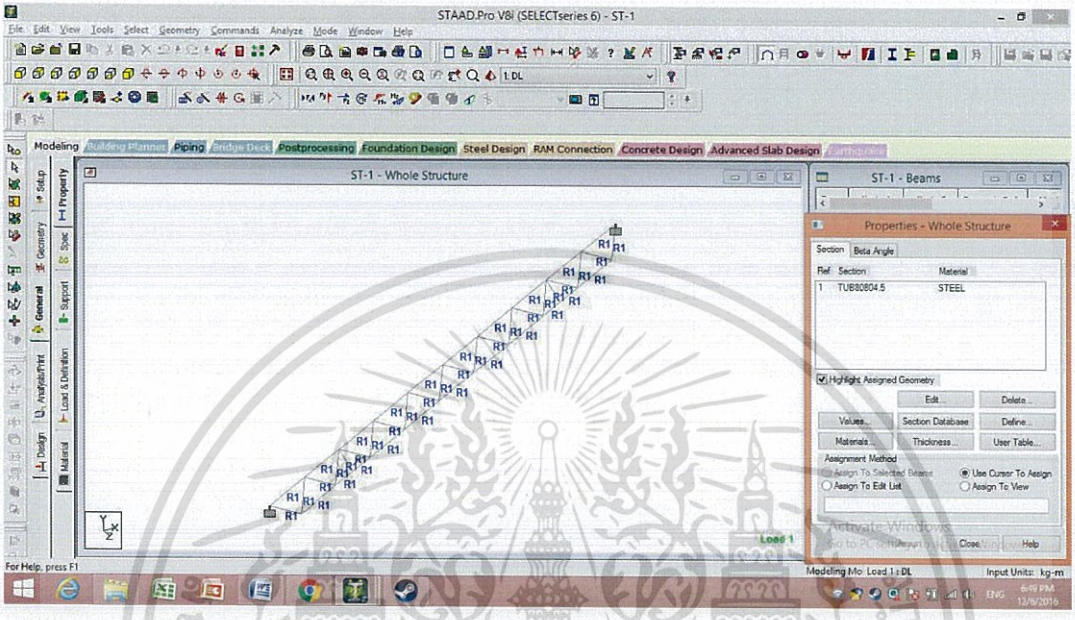


รูปที่ 2.9 การขึ้นรูปร่างของตัวโครงถัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

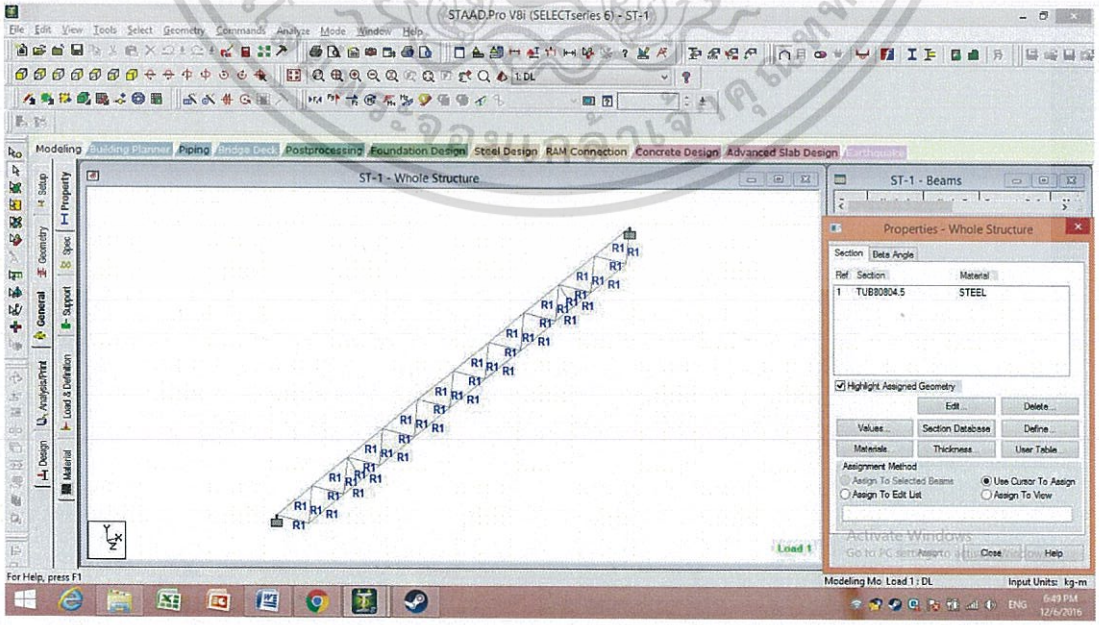
2. การใส่ข้อมูลเบื้องต้นให้แก่ชิ้นส่วน 5 ขั้นตอน

2.1) การใส่คุณสมบัติของชิ้นส่วน (Property)



รูปที่ 2.10 การใส่คุณสมบัติของชิ้นส่วน

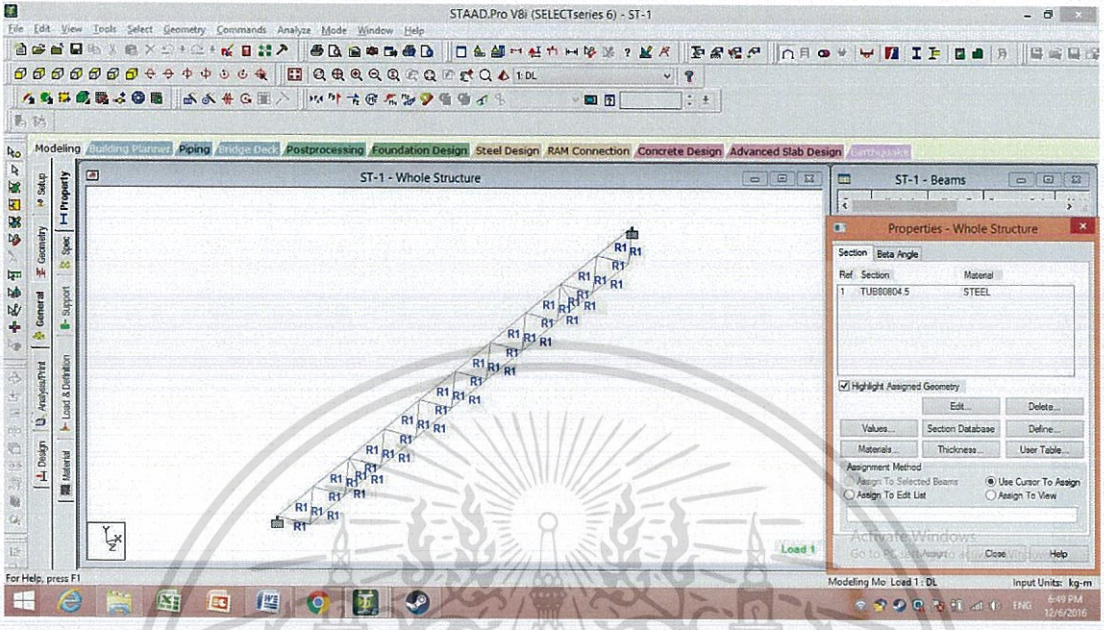
2.2) การใส่ข้อมูลเฉพาะให้กับชิ้นส่วน (Spec)



รูปที่ 2.11 การใส่ข้อมูลเฉพาะให้กับชิ้นส่วน

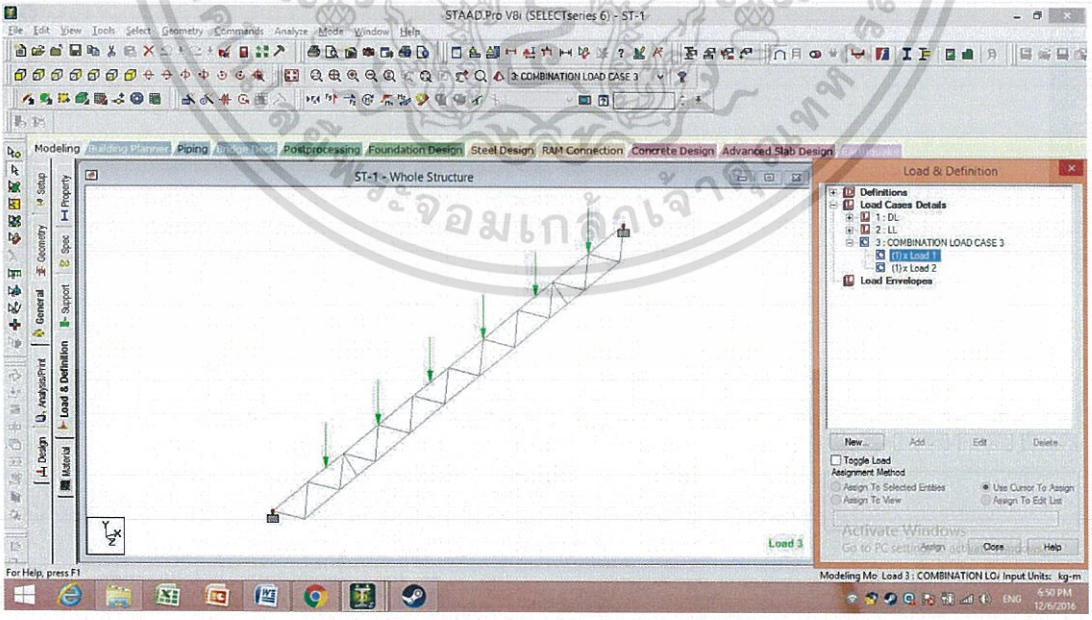
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) การใส่จุดรองรับให้กับจุดต่อชิ้นส่วน (Support)



รูปที่ 2.12 การใส่จุดรองรับให้กับจุดต่อชิ้นส่วน

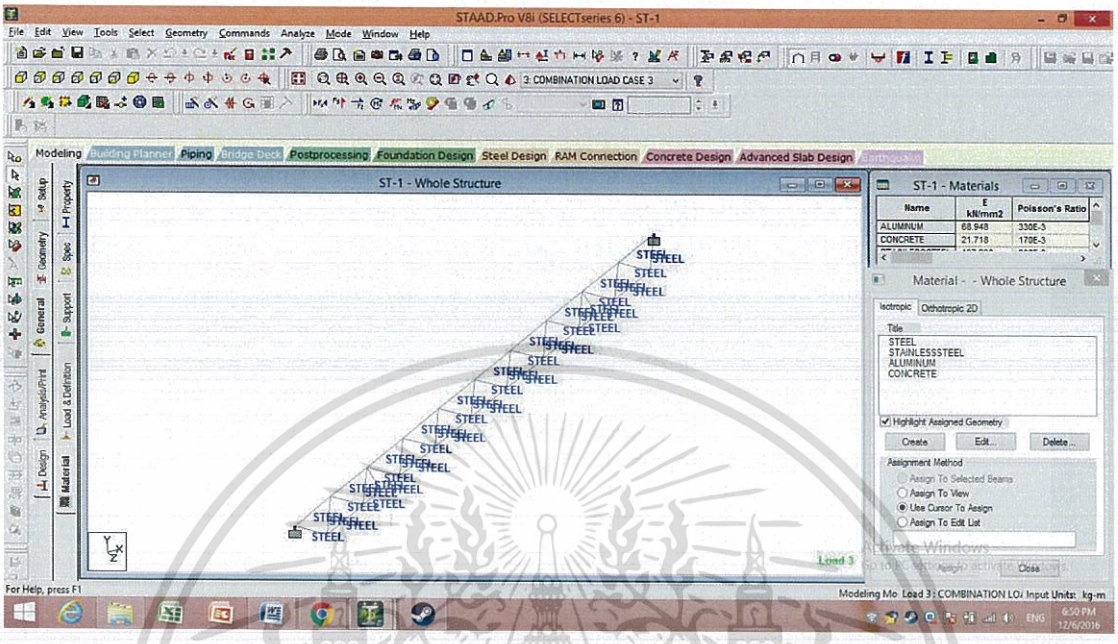
2.4) การใส่น้ำหนักบรรทุกให้ชิ้นส่วน (Load & Definition)



รูปที่ 2.13 การใส่น้ำหนักบรรทุกให้ชิ้นส่วน

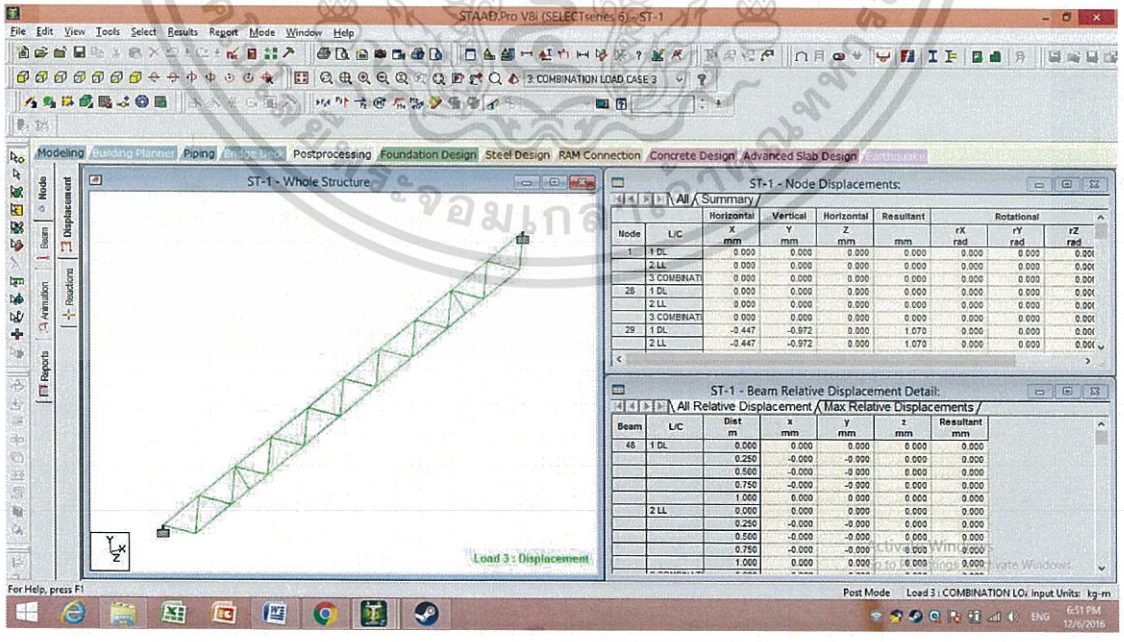
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5) การใส่ชนิดวัสดุให้ชิ้นส่วน (Material)



รูปที่ 2.14 การใส่ชนิดวัสดุให้ชิ้นส่วน

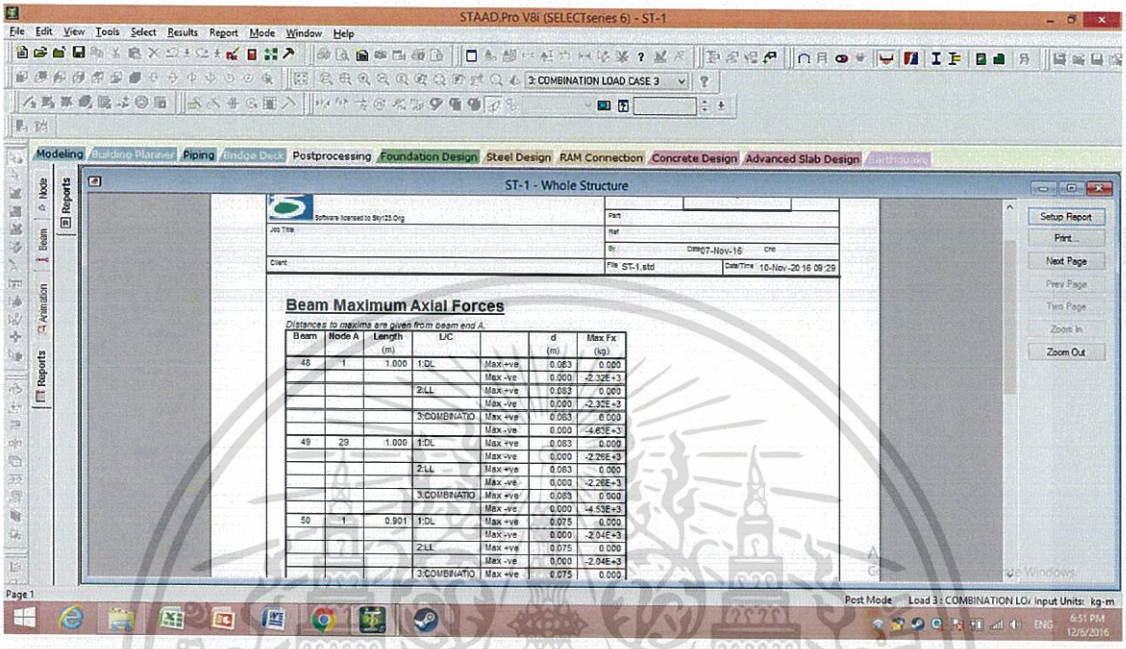
3.ขั้นตอนการตรวจสอบและทำการรันโปรแกรม (Run analysis)



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการตรวจสอบและทำการรันโปรแกรม

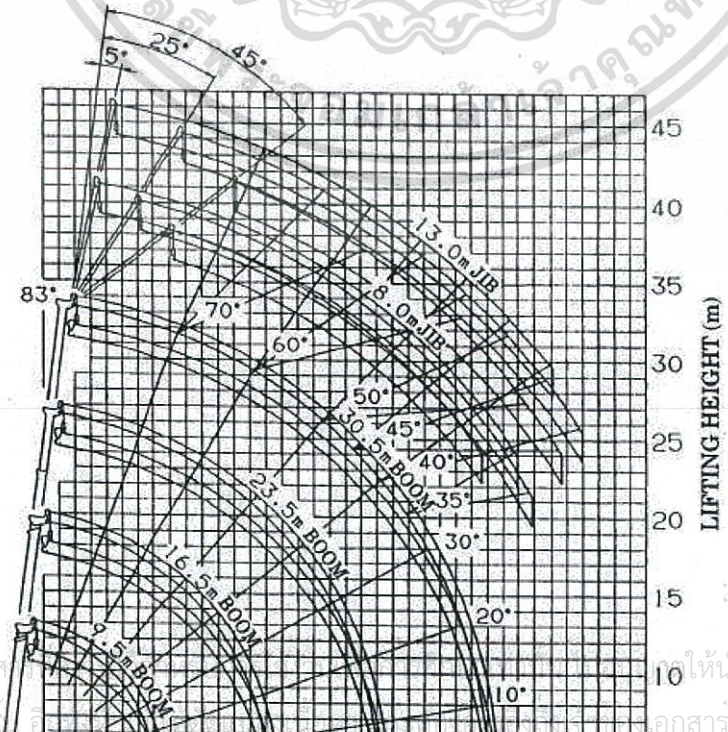
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.โปรแกรมแสดงค่าแรงดึงและแรงอัดที่เกิดขึ้น (Compression and Tension By Program)



รูปที่ 2.16 โปรแกรมแสดงค่าแรงดึงและแรงอัดที่เกิดขึ้น

2.1.4 การคำนวณการใช้เครนยกสิ่งของ



เอกสารนี้เป็นเอกสาร ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Outriggers fully extended (360°)												
A / B (m)	9.5 m	16.5 m	23.5 m	30.5 m	C / D / E	8.0 m			13.0 m		
						5°	25°	45°	5°	25°	45°
2.5 m	25.0	19.0	12.5		83°	3.0	2.1	1.6	2.0	1.2	0.8
3.0 m	25.0	19.0	12.5	7.0	76°	3.0	2.1	1.6	2.0	1.2	0.8
3.5 m	25.0	19.0	12.5	7.0	72°	3.0	2.1	1.6	1.75	1.1	0.8
4.0 m	23.0	19.0	12.5	7.0	70°	2.8	2.1	1.6	1.65	1.05	0.8
4.5 m	21.2	18.0	12.5	7.0	65°	2.35	1.8	1.5	1.4	0.95	0.78
5.0 m	19.4	16.7	12.5	7.0	60°	2.0	1.55	1.35	1.2	0.9	0.75
5.5 m	17.8	15.6	11.75	7.0	55°	1.45	1.35	1.2	1.05	0.85	0.74
6.0 m	16.3	14.6	11.1	7.0	50°	1.05	1.0	0.95	0.85	0.75	0.7
6.5 m	15.1	13.8	10.5	7.0	45°	0.75	0.7	0.7	0.6	0.55	0.55
7.0 m	13.7	13.0	10.0	7.0	40°	0.55	0.5		0.4	0.4	
8.0 m		10.9	9.0	7.0	35°	0.38	0.35				
9.0 m		8.65	8.2	6.3							
10.0 m		7.05	7.3	5.8							
11.0 m		5.85	6.4	5.3							
12.0 m		4.95	5.5	4.9							
13.0 m		4.2	4.75	4.5							
14.0 m		3.6	4.1	4.15							
15.0 m			3.6	3.8							
16.0 m			3.15	3.45							
17.0 m			2.8	3.05							
18.0 m			2.45	2.7							
19.0 m			2.15	2.45							
20.0 m			1.9	2.2							
21.0 m			1.7	1.95							
22.0 m				1.75							
24.0 m				1.4							
26.0 m				1.15							
28.0 m				0.95							

A = Boom length
B = Working radius
C = Jib length
D = Jib offset
E = Boom angle

รูปที่ 2.17 chart คำนวณน้ำหนักที่ยกได้ของเครน 25 ตัน

โดยข้อมูลที่เราต้องทราบก่อนการใช้ chart คำนวณหาว่าควรใช้เครนขนาดเท่าใดมี

1.น้ำหนักของชิ้นส่วน

2.ระยะห่างสิ่งกีดขวาง (Working radius)

3.ระยะความสูงของสิ่งกีดขวาง

4.ยกจากที่ไหนไปที่ไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1) ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล แบ่งออกเป็น

- ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงถัก เช่น การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดัด , การออกแบบโครงสร้างเหล็กรับแรงดึง , ศึกษาการใช้โปรแกรม STAAD PRO ที่ใช้เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ และ การออกแบบ รอยต่อแบบเชื่อม เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบนี้ก็อ้างอิง ตามมาตรฐาน AISC ตามวิธี ASD

- ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลที่ได้มาจากทางสถานประกอบการ เช่น แบบแปลนของโครงสร้างหลังคาของอาคาร , แบบแปลนเสาของอาคาร และ ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

3.2) ขั้นตอนในการออกแบบ แบ่งออกเป็น 3 ขั้น

3.2.1) ขั้นตอนการคำนวณน้ำหนักที่กระทำกับตัวอาคาร แบ่งเป็น

3.2.1.1) การคิดน้ำหนักบรรทุกตายตัวและน้ำหนักบรรทุกจร (Dead Load and Live Load) โดยในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาจากแบบเดิมที่ได้จากสถานประกอบการก่อนว่าใช้วัสดุอะไรในการมุงหลังคา แล้วทำการเปิด catalog ดูว่ามีน้ำหนักต่อพื้นที่เท่าใดบ้าง ได้ข้อมูลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dead Load	**Load**	**Unit**
metal sheet roof	5	kg/m^2
cement board	8.55	kg/m^2
insulation	2.1	kg/m^2
cement board	8.55	kg/m^2
Accoya ceiling	7.65	kg/m^2
ceiling frame	15	kg/m^2
Hanging and Hoisting weight	25	kg/m^2
Total Dead Load	71.85	kg/m^2
Live Load	**Load**	**Unit**
LL	30	kg/m^2
Total Live Load	30	kg/m^2
Total Load on roof (DL+LL)	101.85	kg/m^2

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ

ได้ Dead load กระทำเท่ากับ 71.85 kg/m^2 และ Live load 30 kg/m^2

เพราะฉะนั้นจะได้ Total Load on roof เท่ากับ 101.85 kg/m^2

3.2.1.2) การคิดน้ำหนักเนื่องจากแรงลม (Wind Load)

การคิดแรงลมออกแบบก็จะอ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบแรงลมของ มยผ. 1311-50 โดยวิธีที่ใช้เป็นการคิดแรงลมอย่างง่ายที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยตามข้อกำหนดของวิธีนี้อาคารที่ใช้ในการออกแบบถูกจัดในข้อกำหนดดังนี้

1.เป็นอาคารประเภทความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นอาคารที่มีผู้ใช้งาน มากกว่า 300 คน

2.กลุ่มความเร็วลมอ้างอิงจัดอยู่ในกลุ่ม 4A เนื่องจากก่อสร้างในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3.สภาพภูมิประเทศเป็นสภาพภูมิประเทศแบบ A เนื่องจากมีลักษณะเปิดโล่ง และ ติดบริเวณชายฝั่งทะเล

4.เป็นประเภทอาคารเตี้ยตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราใช้ข้อมูลด้านบนนี้ในการคำนวณหาแรงลมออกแบบโดยวิธีอย่างง่าย ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว

3.2.2) ขั้นตอนการออกแบบชิ้นส่วน (Design Member)

3.2.2.1) การออกแบบแปเหล็ก (Design Purlins)

การคำนวณเพื่อออกแบบแปเหล็กจะเป็นไปตามมาตรฐาน AISC โดยวิธี ASD ที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้จะประกอบไปด้วย

1.น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับแปเหล็ก (Load on purlin)

2.ความลาดชันของหลังคาบริเวณนั้น (Slope)

3.ระยะห่างระหว่างแปเหล็กแต่ละชิ้น (Spacing)

4.ความยาวของแปเหล็กแต่ละช่วง (Length)

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อออกแบบแปเหล็ก Type 3 โดยใช้โปรแกรม **excel** ช่วยคำนวณ

Design of purlin	**Type**	3
1.ข้อมูลเบื้องต้น		
LL	30	kg/m^2
DL	71.85	kg/m^2
Total Load	101.85	kg/m^2
Specing	1.5	m
Length	6.5	m
Load on purlin	152.775	kg/m
Weight purlin	20	kg/m
Total Load for purlin	172.775	kg/m
Roof slope	27.76	°
Fy	3720	ksc
E	2.10E+06	ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wx	80	kg/m	
Wy	217	kg/m	
Fbx	2455.2	ksc	
Sx	122.76	cm^3	
My	425	kg-m	
Mx	1144	kg-m	
2.USE			
Purlin type	C 200x90x30.3 Kg/m		**OK**
d	20	cm	
tw	0.8	cm	
bf	9	cm	
tf	1.35	cm	
Sx	249	cm^3	
Sy	44.20	cm^3	
Ix	2490	cm^4	
Iy	277	cm^4	
weight	30.30	kg/m	
fbx	459.43	ksc	
fby	961.54	ksc	
3.check type	bf/2tf	3.33	
	0.38√(E/Fy)	9.03	
	0.56√(E/Fy)	13.31	
	type	Compact	
4.check Lateral bracing	0.44bf√(E/Fy)	94.09	cm
	0.69E/(dFy/Af)	236.63	cm
	Lc(min)	94.09	cm
	L	>	Lc
		กรณี	B
A)	Fbx	2455.2	ksc
B)	L/rT	212.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	√(3.517ECb/Fy)	44.56	
	√(17.586ECb/Fy)	99.64	
	Fbx	812.55	ksc

5.Check interacton	0.91	**OK**	
d/l	0.030769231		
Fy/0.035E	0.05	ต้องตรวจค่าการโก่งตัว	

6.Check Deflection			
W	216.6	kg/m	
Δmax	0.96	cm	
minimum def (l/300)	2.17	cm	**OK**

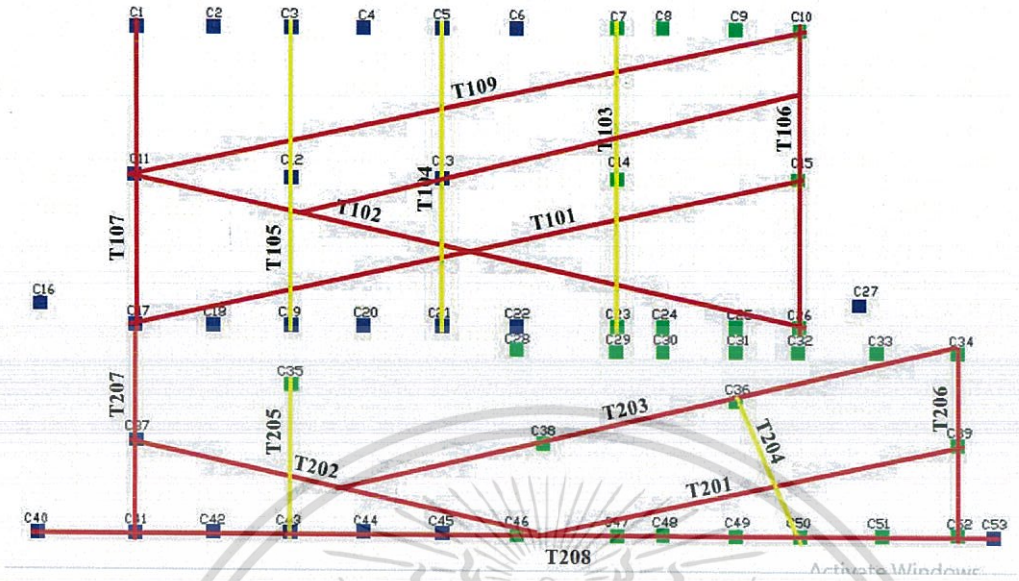
3.2.2.2) การออกแบบโครงถัก (Design Truss)

โดยในการออกแบบโครงถักก็จะทำโดยใช้โปรแกรม STAAD PRO ในการหาค่าแรงอัดและแรงดึงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน จากนั้นนำค่าแรงอัด และแรงดึงที่มีค่ามากที่สุดไปทำการคำนวณออกแบบต่อภายในโปรแกรม Excel เพื่อช่วยคำนวณหาหน้าตัดที่ต้องการ โดยโครงถักแบ่งออกเป็น

1) การออกแบบโครงถักหลัก (Design Main Truss)

เป็นโครงถักที่จะมีขนาดใหญ่ที่สุด โดยโครงถักหลักนี้จะมีจุดรองรับ เป็นเสาอย่างน้อย 1 ต้นขึ้นไป มีหน้าที่สำคัญคือช่วยถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงถักรอง ลงสู่เสาตามตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 รายระเอียดโครงถักหลักเมื่อมองจาก Top view

คำอธิบายรูปภาพ

1.เส้นสีแดง คือ Main Truss

2.เส้นสีเหลือง คือ Super Truss

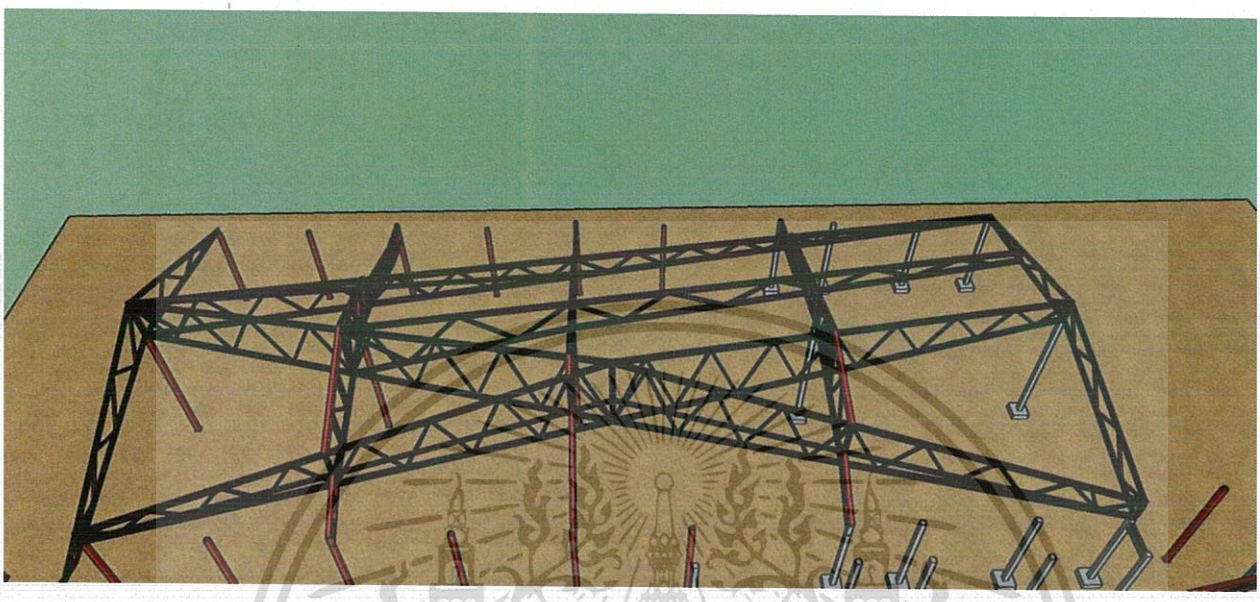
3.สีเหลี่ยมสีน้ำเงิน คือ Steel Colum

4.สีเหลือสีเขียวอ่อน คือ Concrete Colum

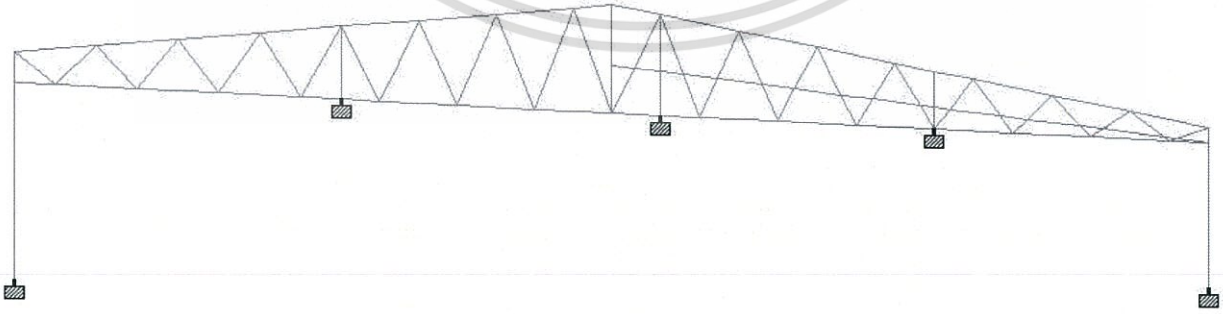
5.หมายเลข T101-T109 คือเบอร์โครงถักแต่ละตัวของหลังที่ 1

6.หมายเลข T201-T207 คือเบอร์โครงถักแต่ละตัวของหลังที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

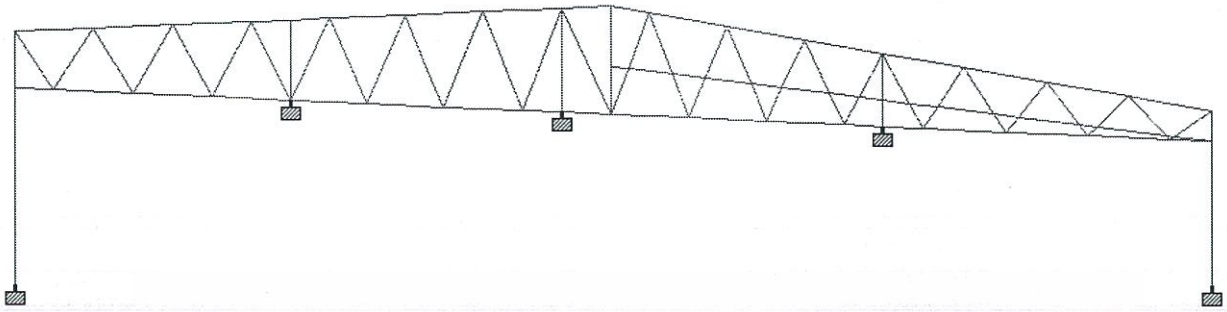


รูปที่ 3.2 รายละเอียดโครงถักแบบ 3 มิติ จากโปรแกรม sketchup



รูปที่ 3.3 โครงถัก T101

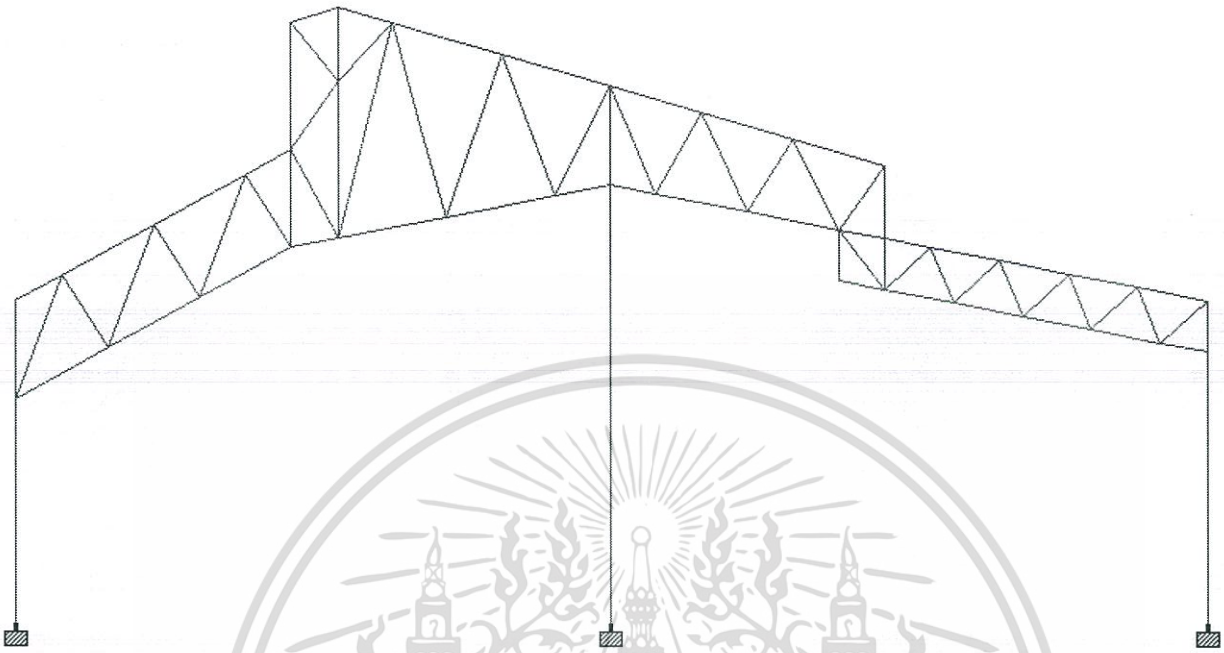
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



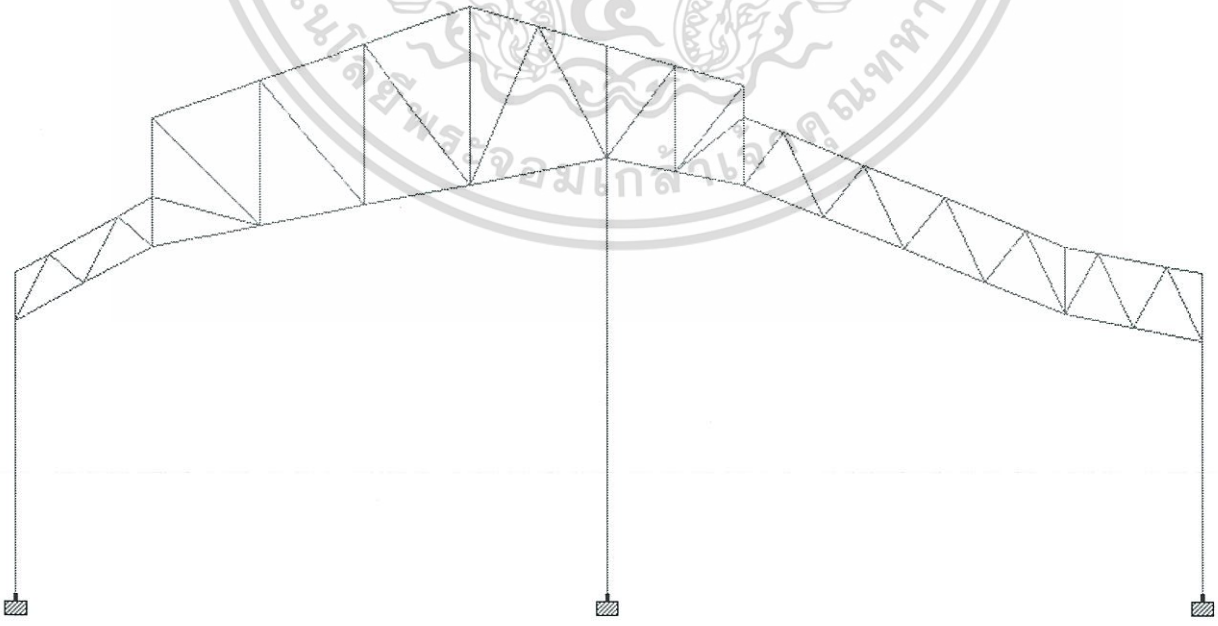
รูปที่ 3.4 โครงถัก T102

รูปที่ 3.5 โครงถัก T103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

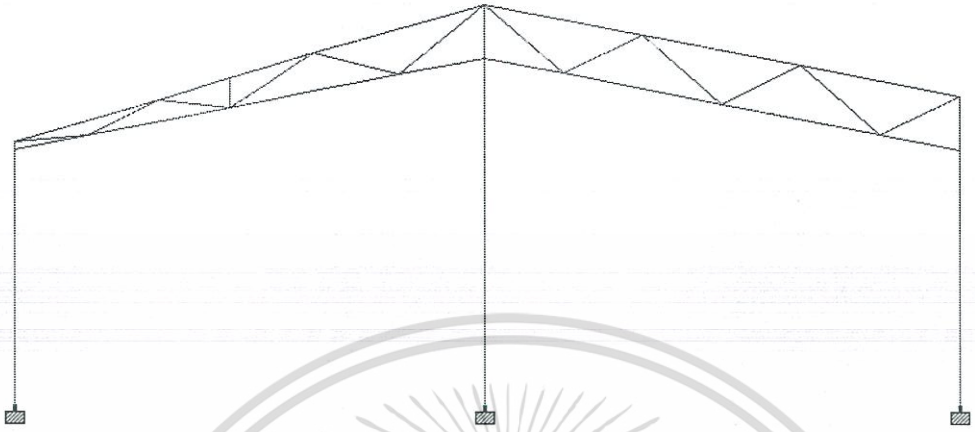


รูปที่ 3.6 โครงถัก T104



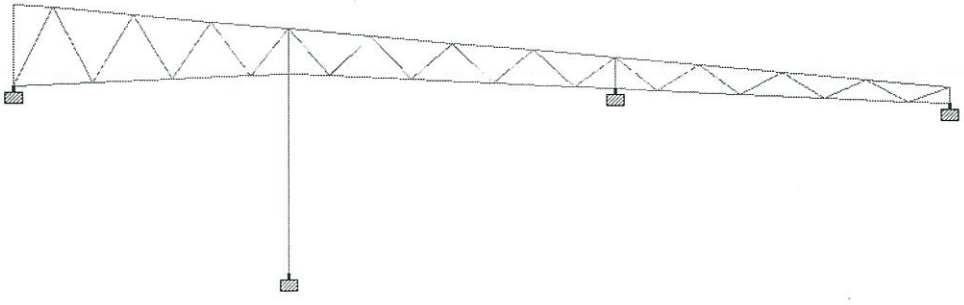
รูปที่ 3.7 โครงถัก T105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



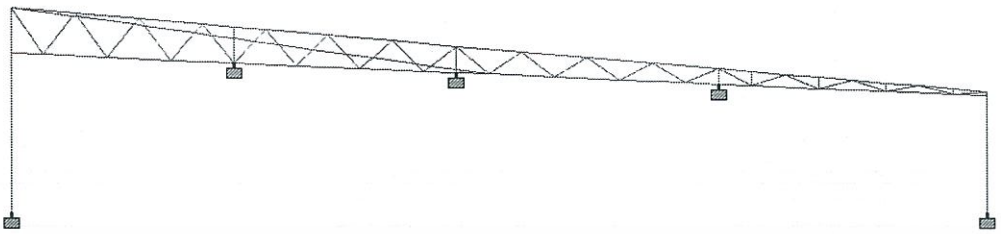
รูปที่ 3.8 โครงถัก T106

รูปที่ 3.9 โครงถัก T107

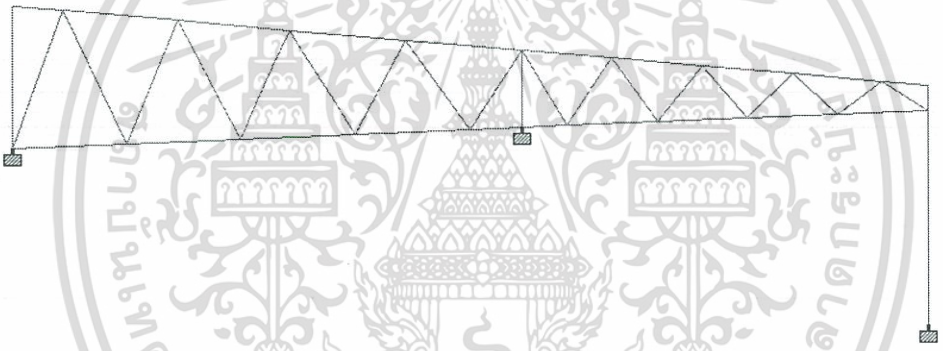


รูปที่ 3.10 โครงถัก T108

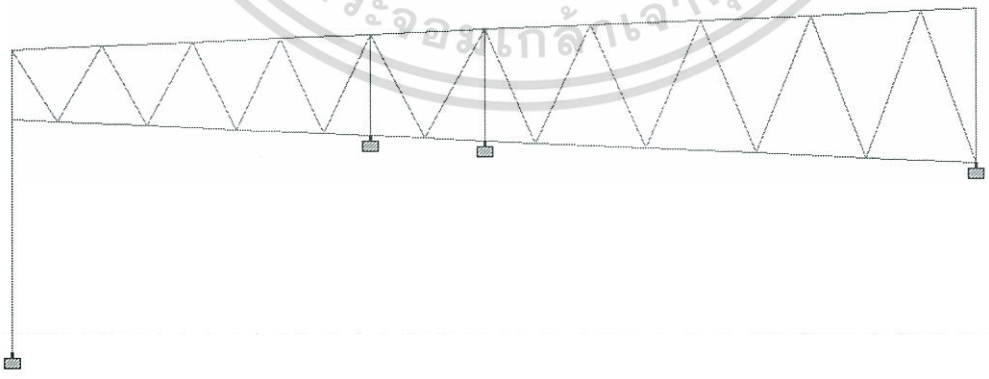
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 โครงถัก T109

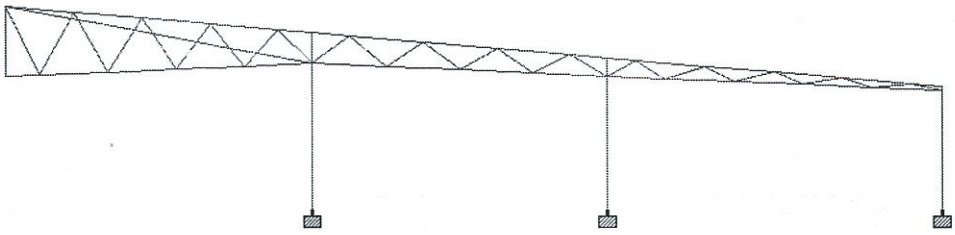


รูปที่ 3.12 โครงถัก T201

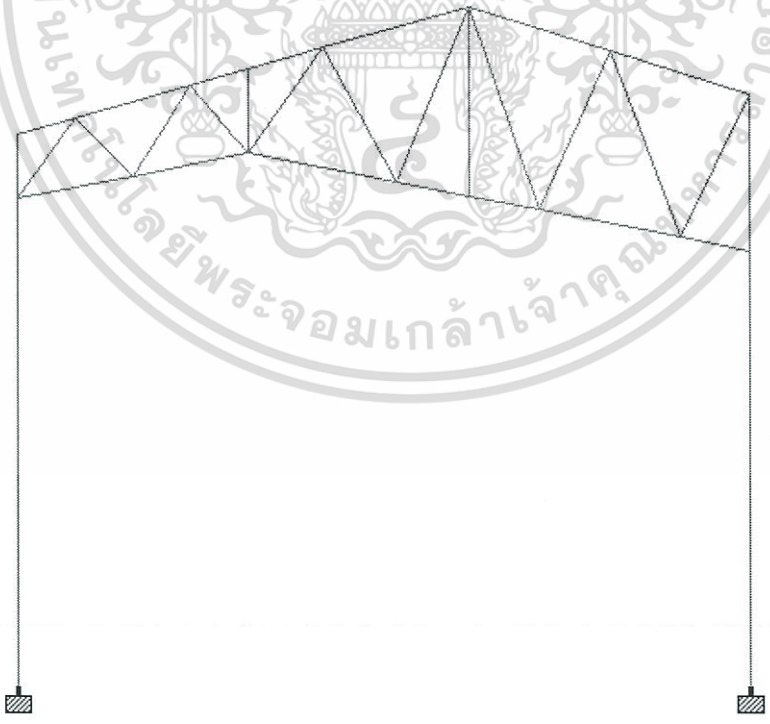


รูปที่ 3.13 โครงถัก T202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

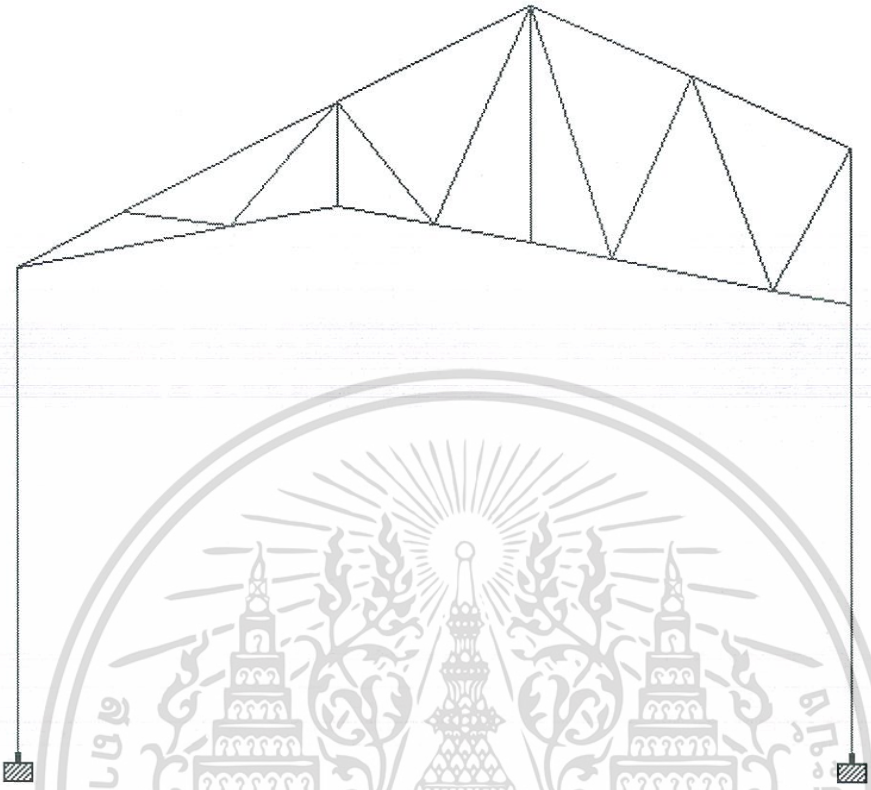


รูปที่ 3.14 โครงถัก T203



รูปที่ 3.15 โครงถัก T204

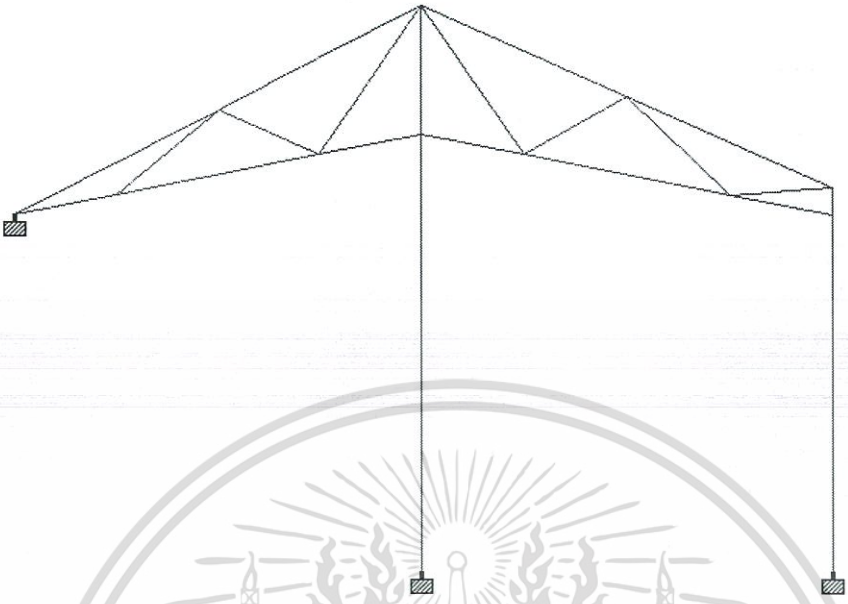
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



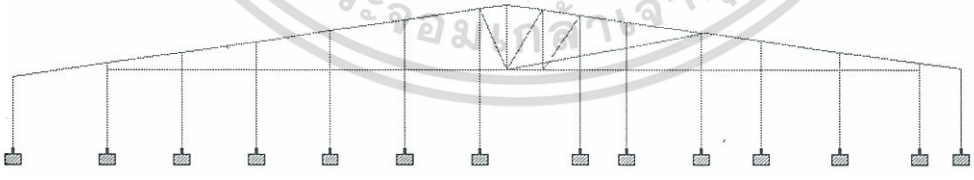
รูปที่ 3.16 โครงถัก T205

รูปที่ 3.17 โครงถัก T206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โครงถัก T207



รูปที่ 3.19 โครงถัก T208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การออกแบบโครงถักรอง (Design Sub Truss)

เป็นโครงถักมีขนาดเล็กรองลงมาจากโครงถักหลัก มีหน้าที่รับน้ำหนักจากแปเหล็กและถ่ายน้ำหนักต่อลงโครงถักหลัก โดยในการคำนวณกำหนดให้ระยะห่างมากสุด (Spacing) อยู่ที่ 6.50 เมตร

3.2.2.3) การออกแบบรอยต่อ

ตัวอย่างการออกแบบรอยต่อโครงถัก **T107**

1. แบบเชื่อม

Pmax = 42000 kg : C 150x75x6.5 mm

ใช้ Gusset Plate หนา 9 mm

ใช้ลวดเชื่อม E70 มีกำลังดึงประลัยของลวดเชื่อม เท่ากับ 70 ksi หรือ 4900 KSC

ขนาดของขาเชื่อม ใช้ 6 mm

กำลังของรอยเชื่อม Pw = 0.707x0.3x4900x1x0.6 = 623.5 kg/ความยาว 1 cm

เนื่องจากหน้าตัดมีความสามาตรในแนวแรง เพราะฉะนั้น

Fa=Fb , L1 = L2

Fa = Fb 42000/2 = 21000 kg

L1=L2=2100/623.5= 34 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.Bolts

Pmax = 42000 kg

ใช้ A490 Bolts 24 mm (4.5 cm^2)

กำลังรับแรงเฉือน bolts = 1950x4.5= 8775 kg/ตัว

ใช้สลักเกลียวจำนวน = 42000/8775 = 4.8 ตัว ปัดเป็น 6 ตัว

ตรวจสอบกำลังของวัสดุ

2.1 C150x75x6.5mm

P=0.6FyAg =(0.6x3720x23.71)/1000 = 53 T

An = 23.71-2(2.4+0.2)(0.65)=20.33 cm^2

Phole= 0.5FuAe = (0.5x6030x0.85x20.33)/1000

Phole=52.1 T >Pmax OK

2.2 Gusset 9 mm

P=0.6FyAg = (0.6x2500x60x0.9)/1000 = 81T >Pmax OK

An = (60x0.9)-2(2.4+0.2)(0.9) = 49.32 cm^2

P=(0.5x4050x49.32)/1000 = 100 T

2.3 ตรวจสอบกำลังของสลักเกลียว

กำลังรับแรงเฉือน = (8775x6)/1000 = 53 T >Pmax OK

กำลังรับแรงกด = 1.2x4050x2.4x0.9 = 10500 kg/ตัว >8775 kg/ตัว OK

ตรวจสอบกำลังรับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน (Block shear strength) ของชิ้นส่วนตัว C

Pbs =[0.5FuAnt + 0.3FuAnv]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ant = 0.65(3.75-(2.6/2)) =1.6 cm^2

Anv = 0.65(19-2.5(2.6)) =8.13 cm^2

Pbs = [0.5(6030)(1.6)=(0.3(6030)(8.13))]x2/1000 =

ออกแบบรอยเชื่อม Gusset 9 mm P=47000 kg

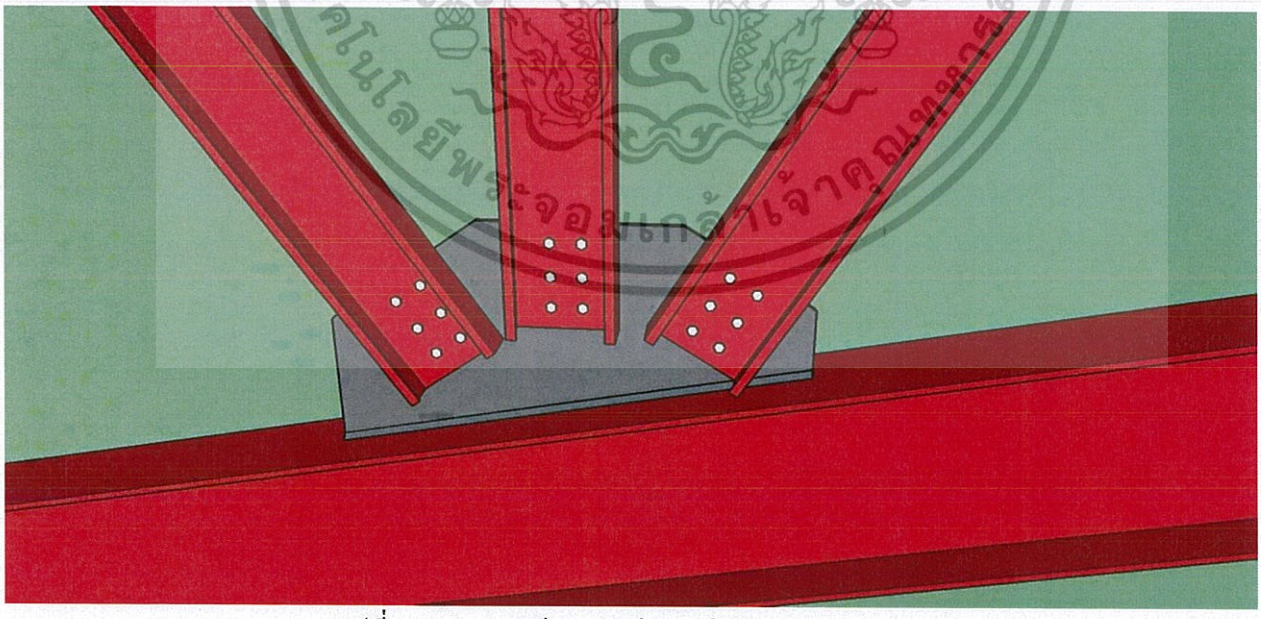
ใช้ลวดเชื่อม E70 = 70 ksi = 4900 ksc

ขาเชื่อม 6 mm

กำลังรอยเชื่อม Pw = 0.707x0.3x4900x0.6 = 623.5 Kg/ ความยาว 1 cm

ความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด = 60+60= 120 cm

รับแรงได้ = 623.5x120 = 74820 kg > 47000 kg OK



รูปที่ 3.20 รายละเอียดรอยต่อจากโปรแกรม sketchup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก

สิ่งที่ต้องทราบก่อนจะทำการติดตั้งก็คือ น้ำหนักของตัวโครงสร้างแต่ละชิ้น ซึ่งหามาได้จากการเอาน้ำหนักต่อเมตรของหน้าตัดแต่ละตัวคูณกับความยาวแล้วนำมารวมกัน จะได้น้ำหนักโครงถักดังนี้

T101 = 7.8 T

T102 = 8.1 T

T103 = 4.8 T

T104 = 5.8 T

T105 = 3.6 T

T106 = 3.1 T

T107 = 2.4 T

T108 = 5.6 T

T109 = 6.5 T

T201 = 5.8 T

T202 = 6.3 T

T203 = 7.8 T

T204 = 1 T

T205 = 4.3 T

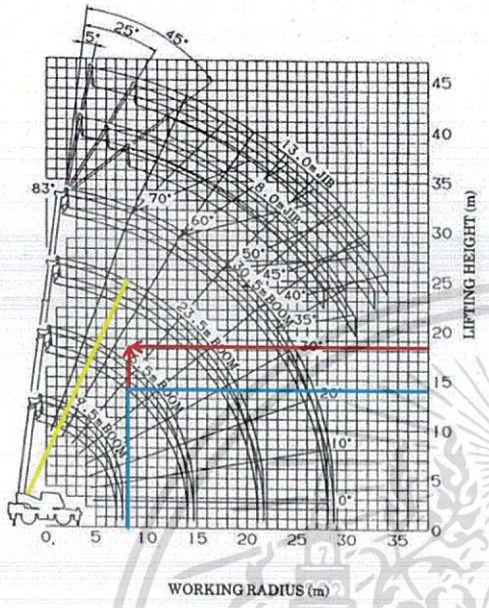
T206 = 1 T

T207 = 1 T

T208 = 3.2 T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การคำนวณโดนใช้ Chart ของเครน 25 T ของโครงถัก T105 ที่มีน้ำหนัก 3.6 T



Outriggers fully extended (360°)

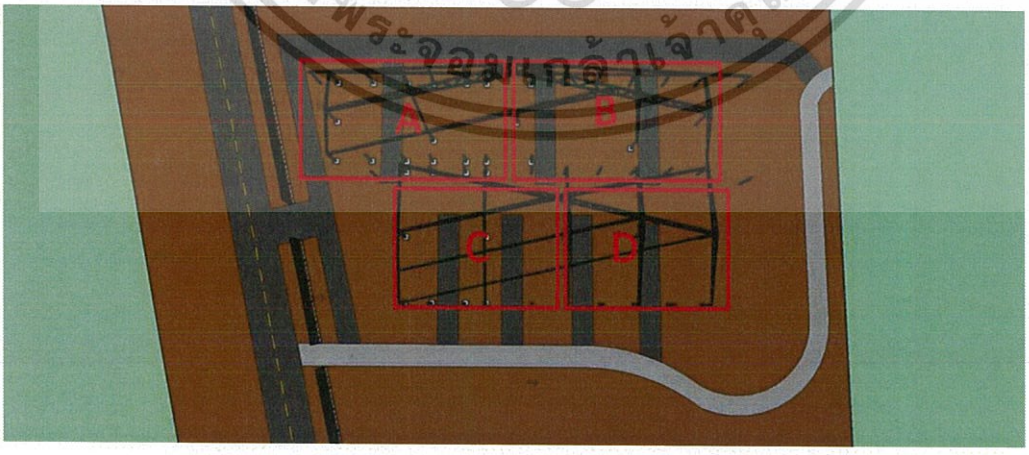
A / B (m)	9.5 m	16.5 m	23.5 m	30.5 m	C / D / E	8.0 m 5°	8.0 m 25°	8.0 m 45°	13.0 m 5°	13.0 m 25°	13.0 m 45°
2.5 m	25.0	19.0	12.5		83°	3.0	2.1	1.6	2.0	1.2	0.8
3.0 m	25.0	19.0	12.5	7.0	76°	3.0	2.1	1.6	2.0	1.2	0.8
3.5 m	25.0	19.0	12.5	7.0	72°	3.0	2.1	1.6	1.75	1.1	0.8
4.0 m	23.0	19.0	12.5	7.0	70°	2.8	2.1	1.6	1.65	1.05	0.8
4.5 m	21.2	18.0	12.5	7.0	65°	2.35	1.8	1.5	1.4	0.96	0.78
5.0 m	19.4	16.7	12.5	7.0	60°	2.0	1.55	1.35	1.2	0.9	0.75
5.5 m	17.8	15.6	11.75	7.0	55°	1.45	1.35	1.3	1.05	0.85	0.74
6.0 m	16.3	14.6	11.1	7.0	50°	1.05	1.0	0.95	0.85	0.75	0.7
6.5 m	15.1	13.8	10.5	7.0	45°	0.75	0.7	0.7	0.6	0.55	0.55
7.0 m	13.7	13.0	9.9	7.0	40°	0.55	0.5		0.4	0.4	
8.0 m		10.9	9.0	7.0	35°	0.38	0.35				
9.0 m		8.65	8.0	6.3							
10.0 m		7.05	7.1	5.8							
11.0 m		5.85	6.4	5.3							
12.0 m		4.95	5.5	4.9							
13.0 m		4.2	4.75	4.5							
14.0 m		3.6	4.1	4.15							
15.0 m			3.6	3.8							
16.0 m			3.15	3.45							
17.0 m			2.8	3.05							
18.0 m			2.45	2.7							
19.0 m			2.15	2.45							
20.0 m			1.9	2.2							
21.0 m			1.7	1.95							
22.0 m				1.75							
24.0 m				1.4							
26.0 m				1.15							
28.0 m				0.95							

A = Boom length
B = Working radius
C = Jib length
D = Jib offset
E = Boom angle

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการคำนวณเครน

แผนการทำงาน

1.จะแบ่งโซนในการกองชิ้นส่วนเป็น **4** โซน **A B C D** ดังรูปที่ โดยจะกองวัสดุไว้กึ่งกลางตามโซนที่ได้แบ่งไว้



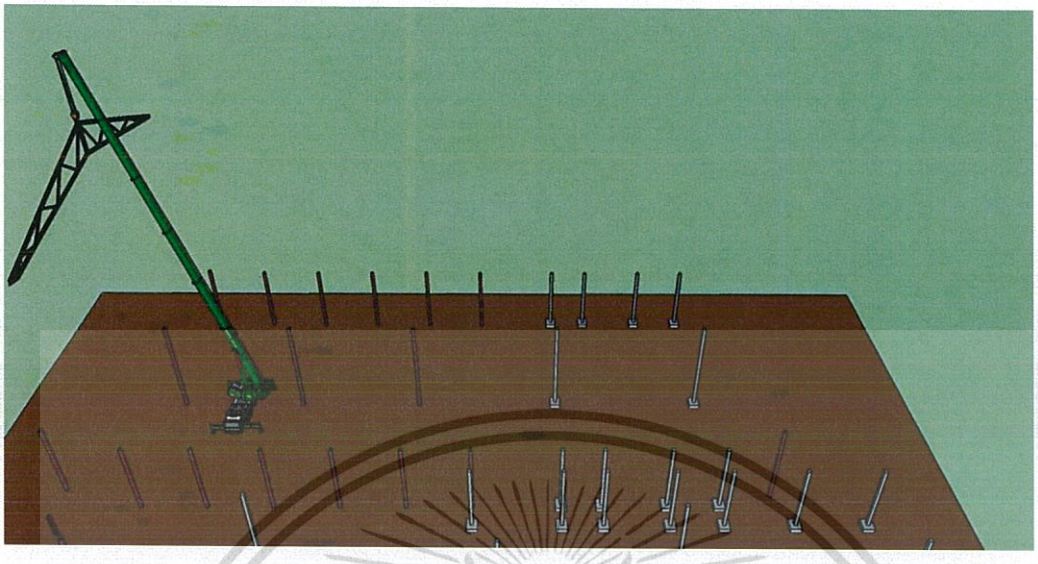
รูปที่ 3.22 การแบ่งโซนการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

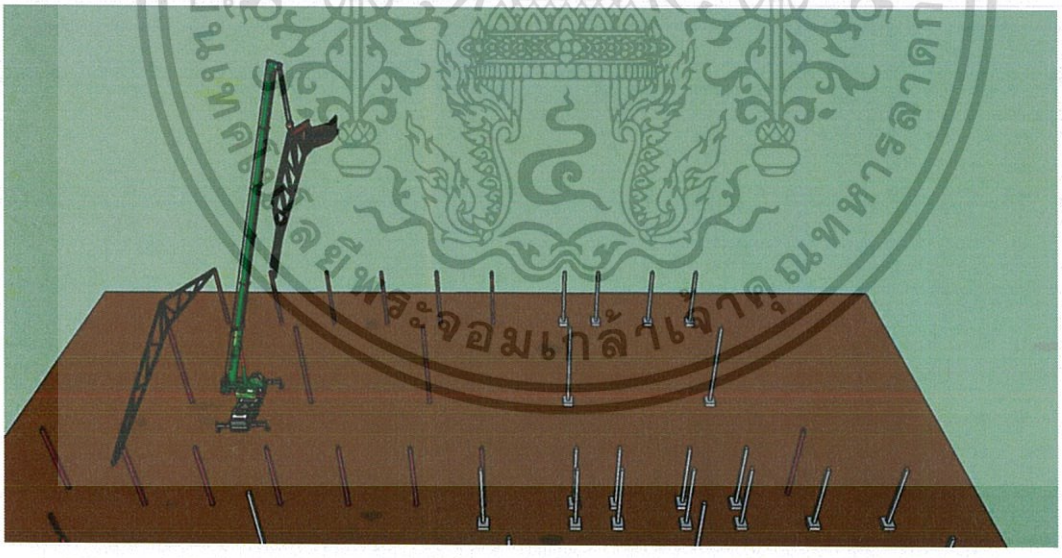
2.จะมีการทำถนนชั่วคราวเข้าไปบริเวณภายในที่จะทำการติดตั้ง เพื่อความสะดวกใน การติดตั้งมากขึ้น โดยถนนชั่วคราวจะเป็นดินลูกลังบดอัดแน่น

3. การติดตั้งจะทำการติดตั้งเป็นแถวๆก่อน ตามแนวขนานกับถนนชั่วคราวที่ได้สร้างขึ้น จากนั้นติดโครงถักแนวตั้งฉากกับถนนชั่วคราวไล่ออกมาดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



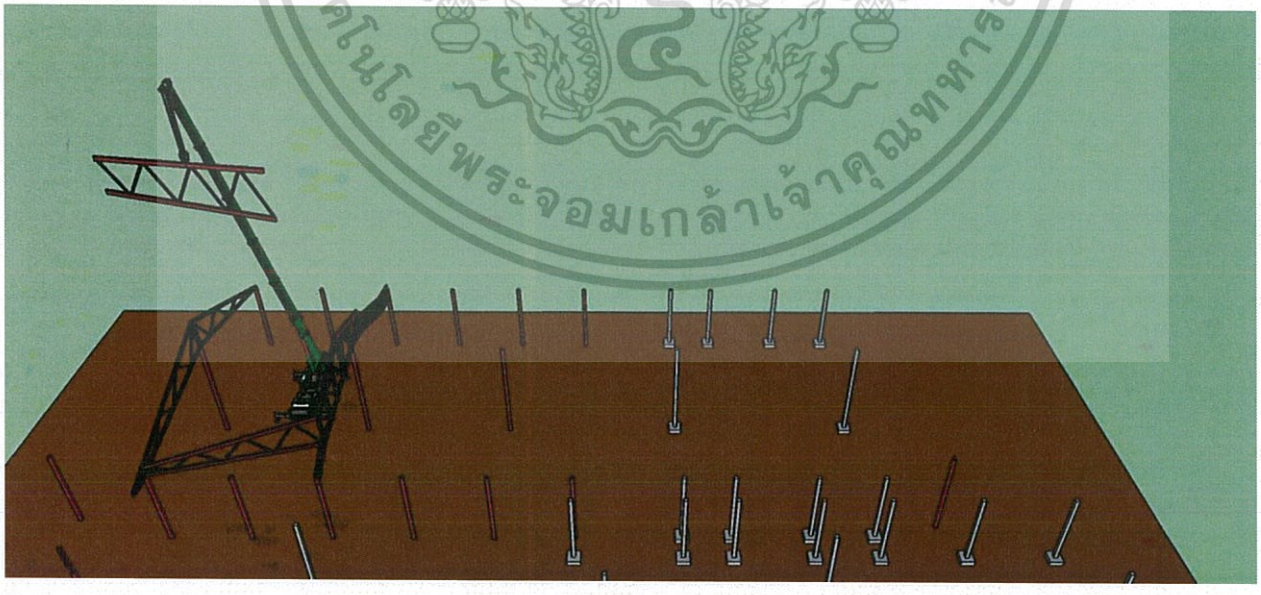
รูปที่ 3.23 การติดตั้ง STEP 1



รูปที่ 3.24 การติดตั้ง STEP 2

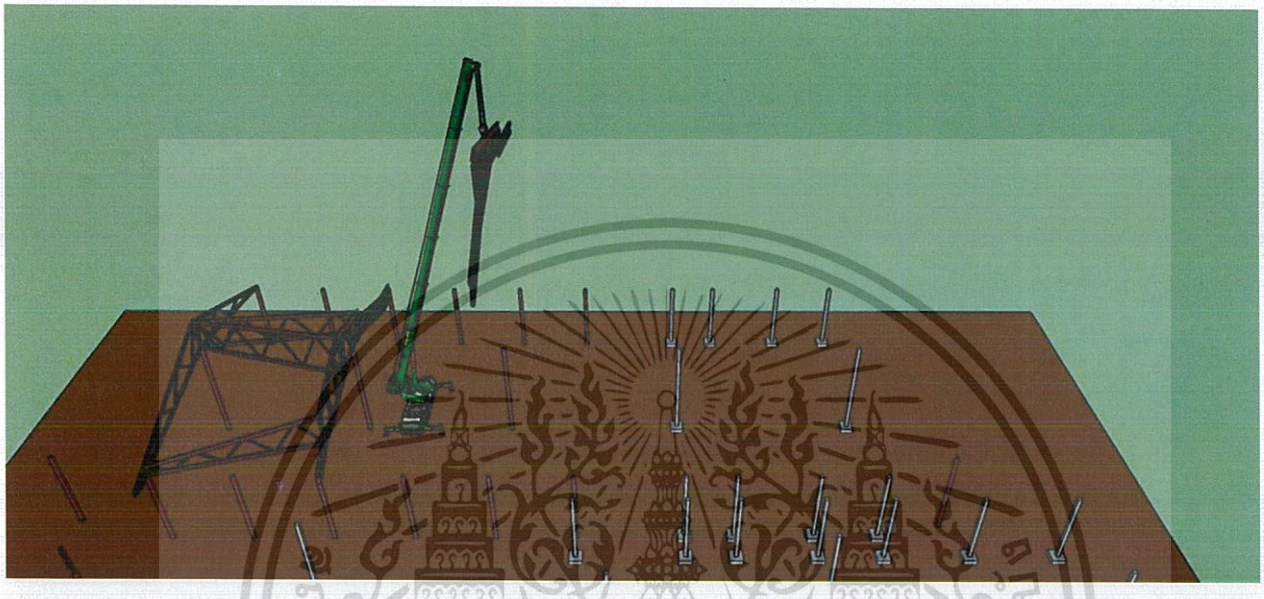
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 การติดตั้ง STEP 3

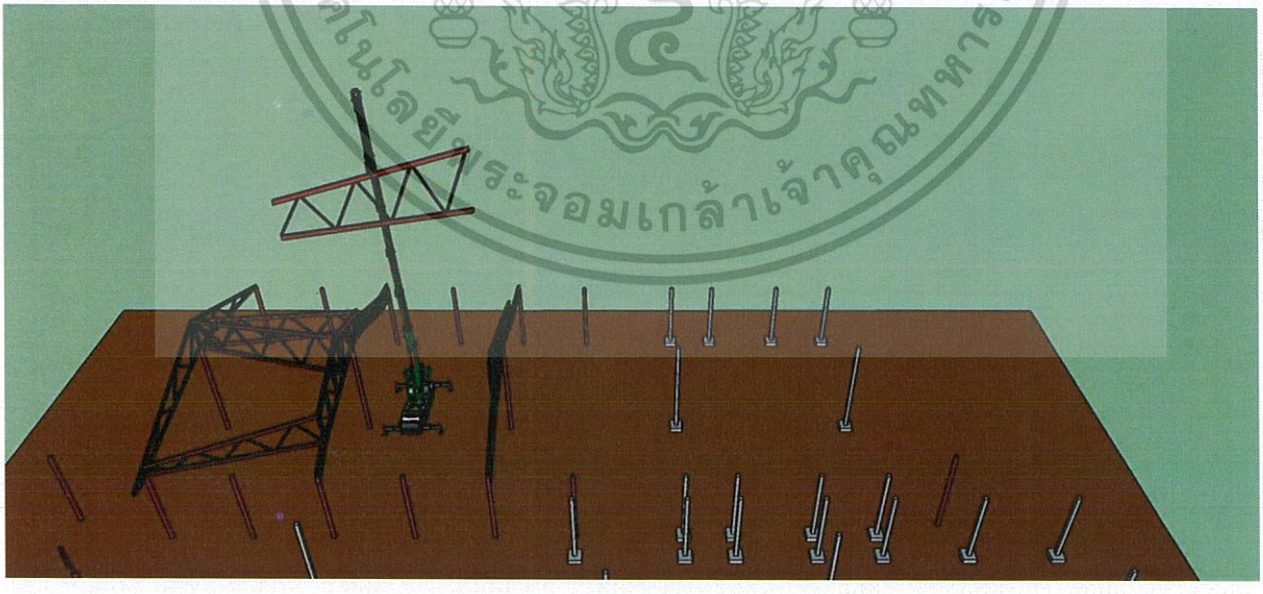


รูปที่ 3.26 การติดตั้ง STEP 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

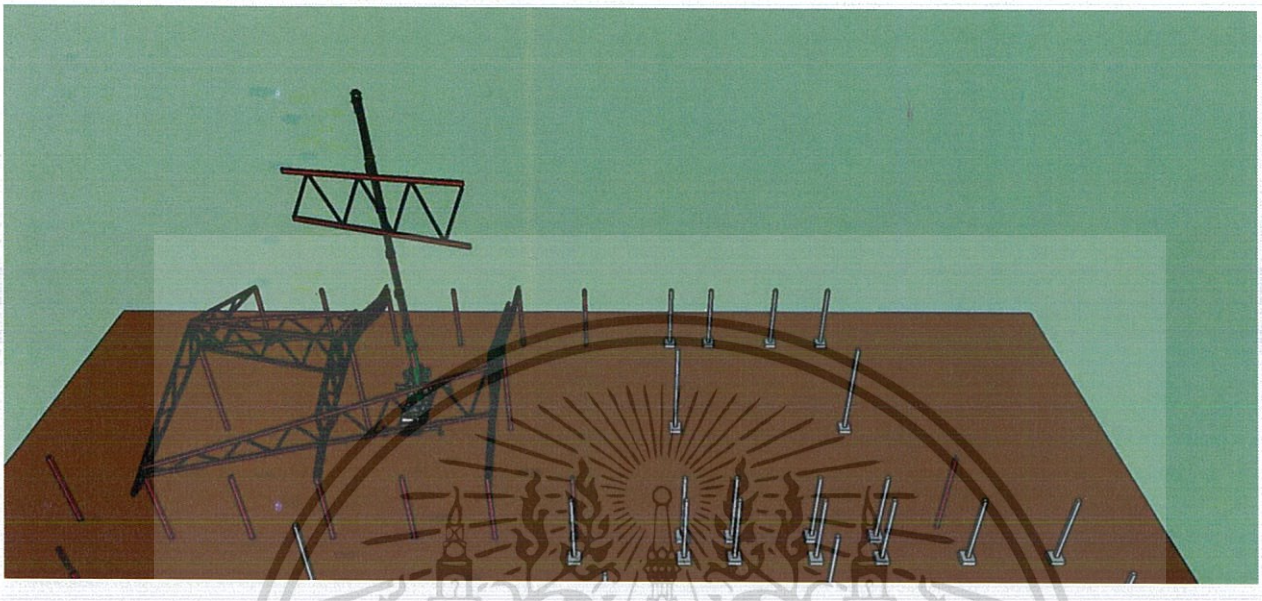


รูปที่ 3.27 การติดตั้ง STEP 5

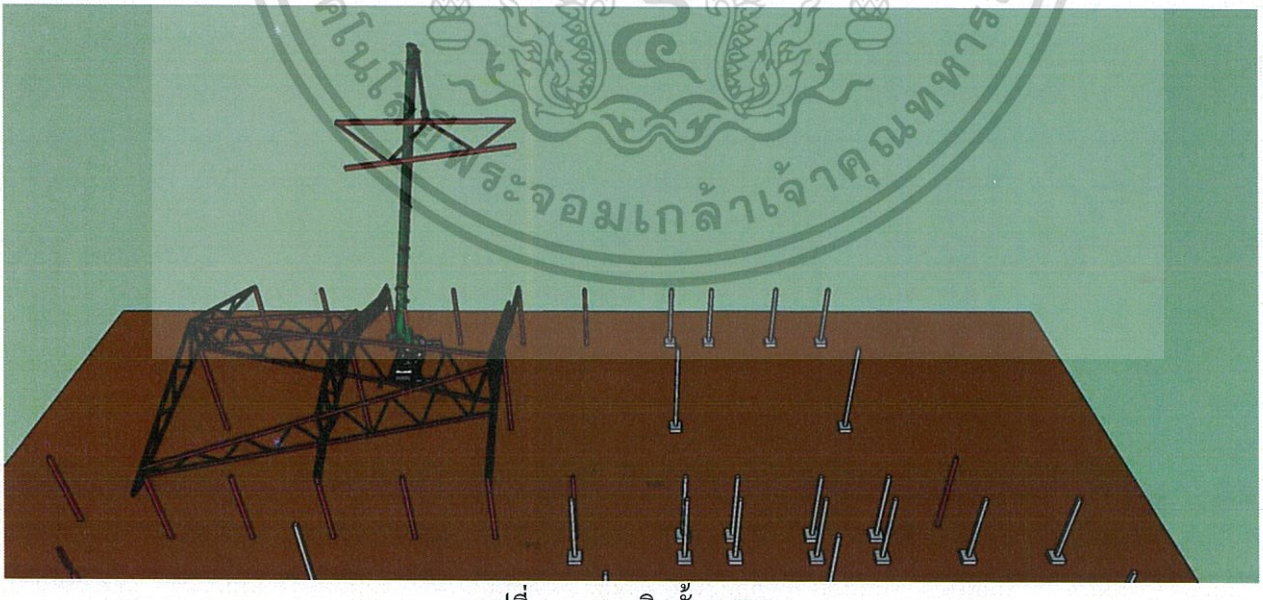


รูปที่ 3.28 การติดตั้ง STEP 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

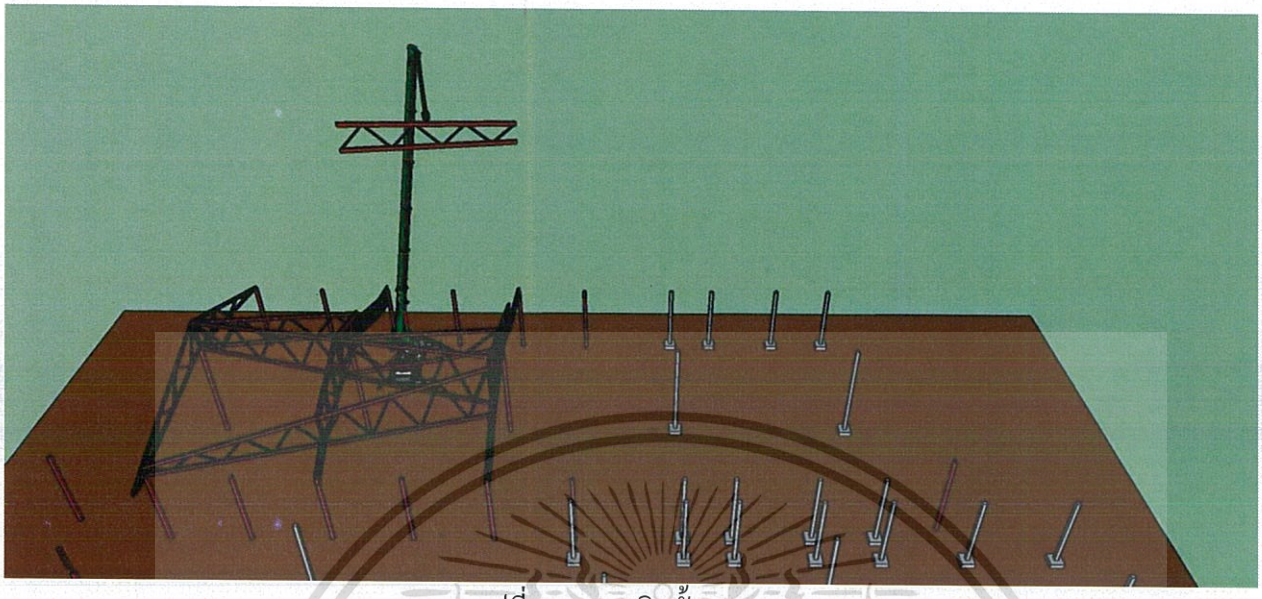


รูปที่ 3.29 การติดตั้ง STEP 7

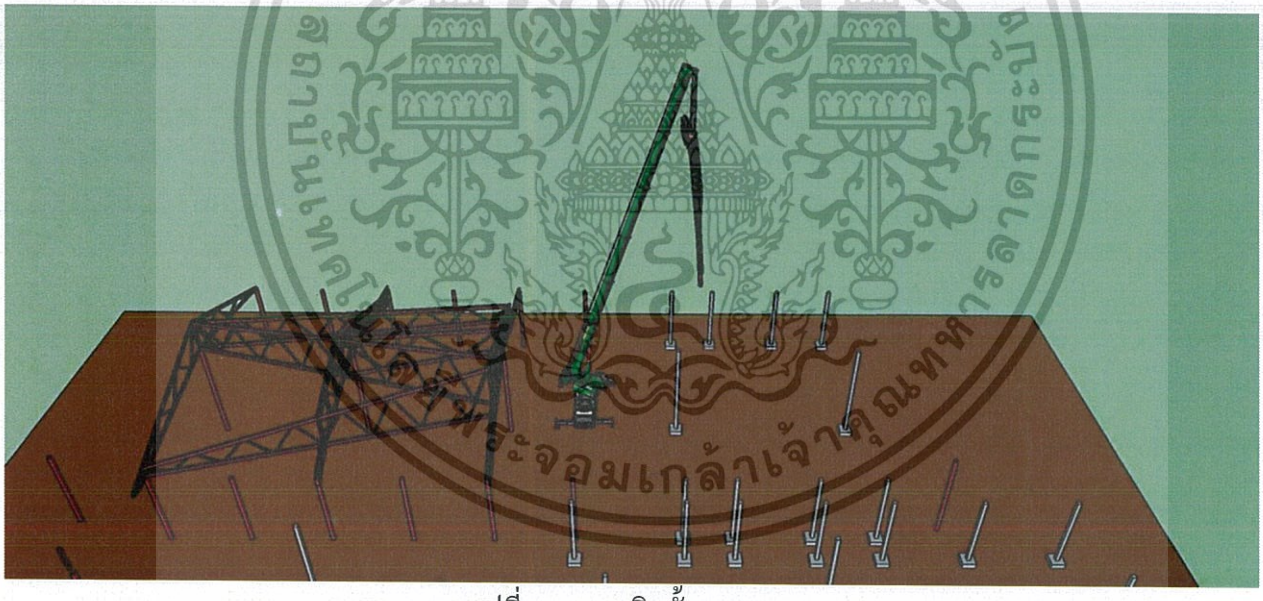


รูปที่ 3.30 การติดตั้ง STEP 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

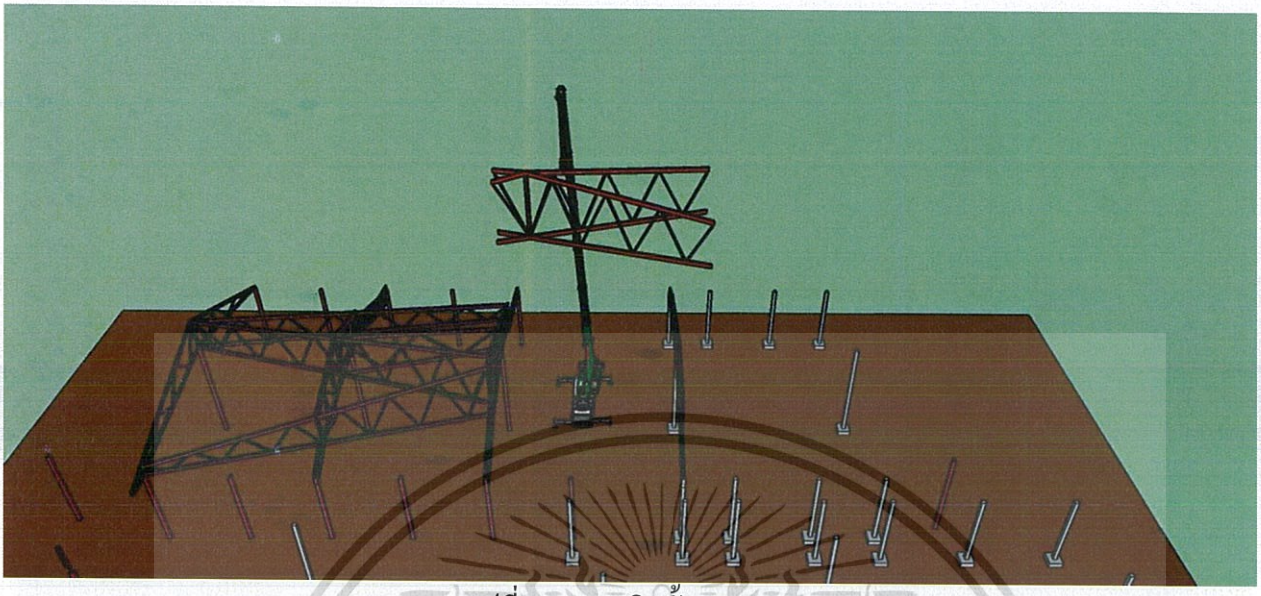


รูปที่ 3.31 การติดตั้ง STEP 9



รูปที่ 3.32 การติดตั้ง STEP 10

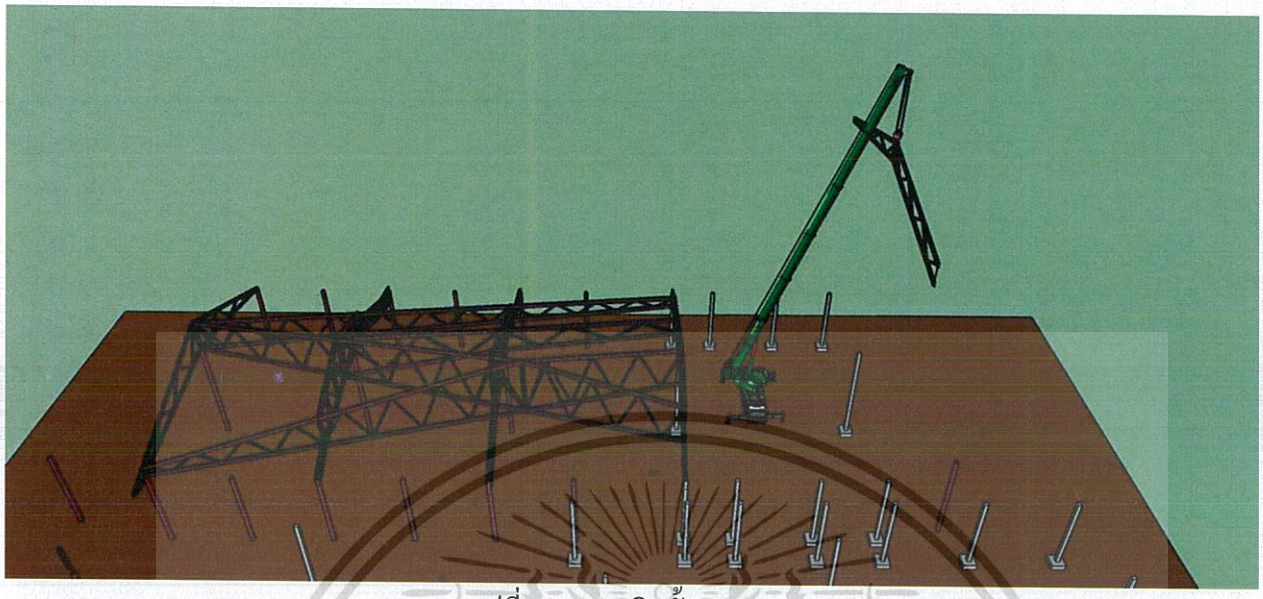
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



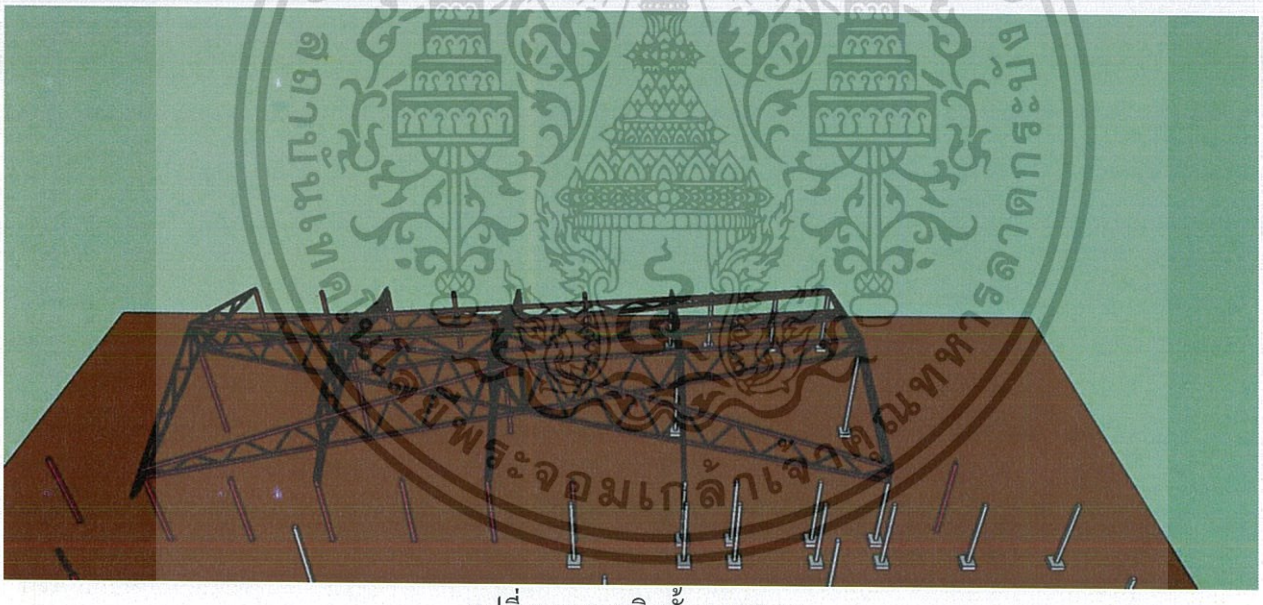
รูปที่ 3.33 การติดตั้ง STEP 11

รูปที่ 3.34 การติดตั้ง STEP 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

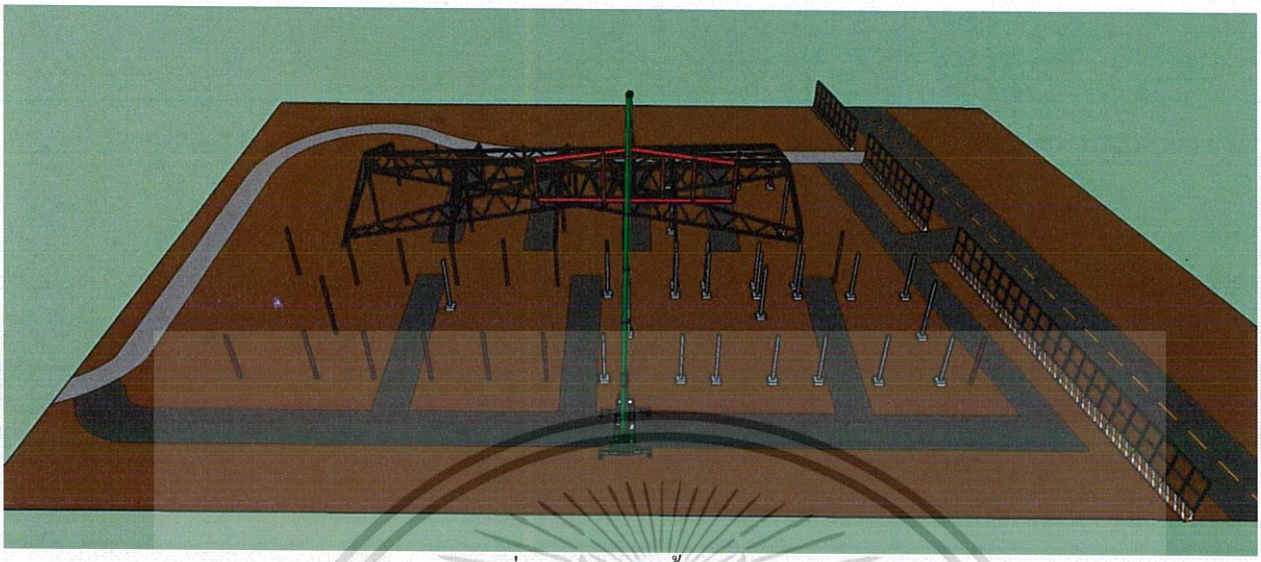


รูปที่ 3.35 การติดตั้ง STEP 13

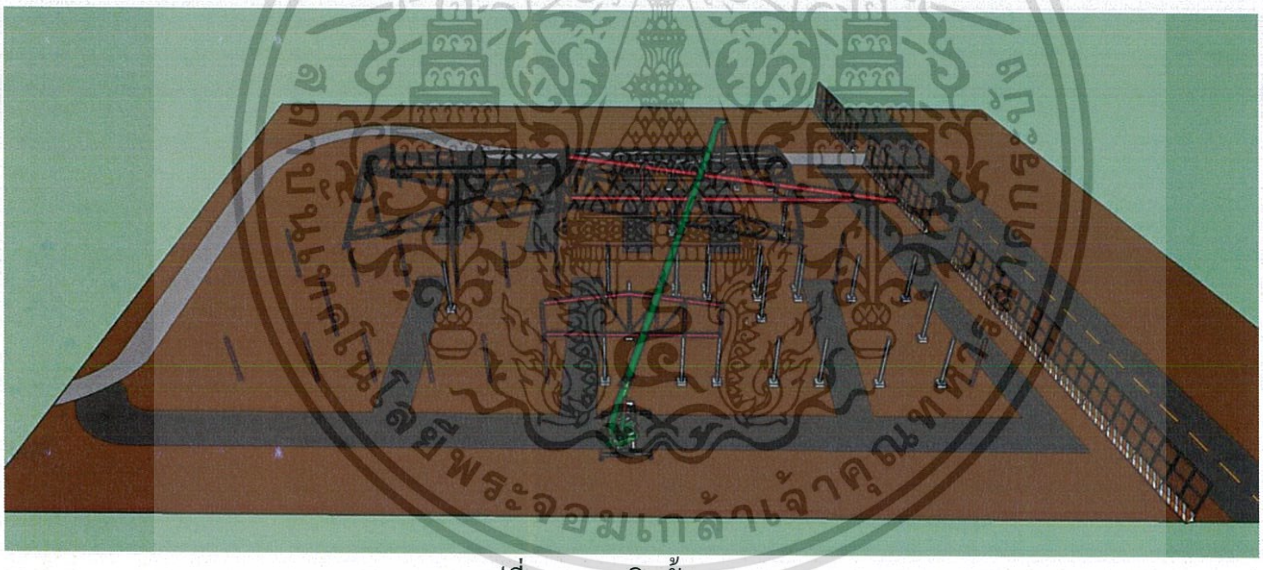


รูปที่ 3.36 การติดตั้ง STEP 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

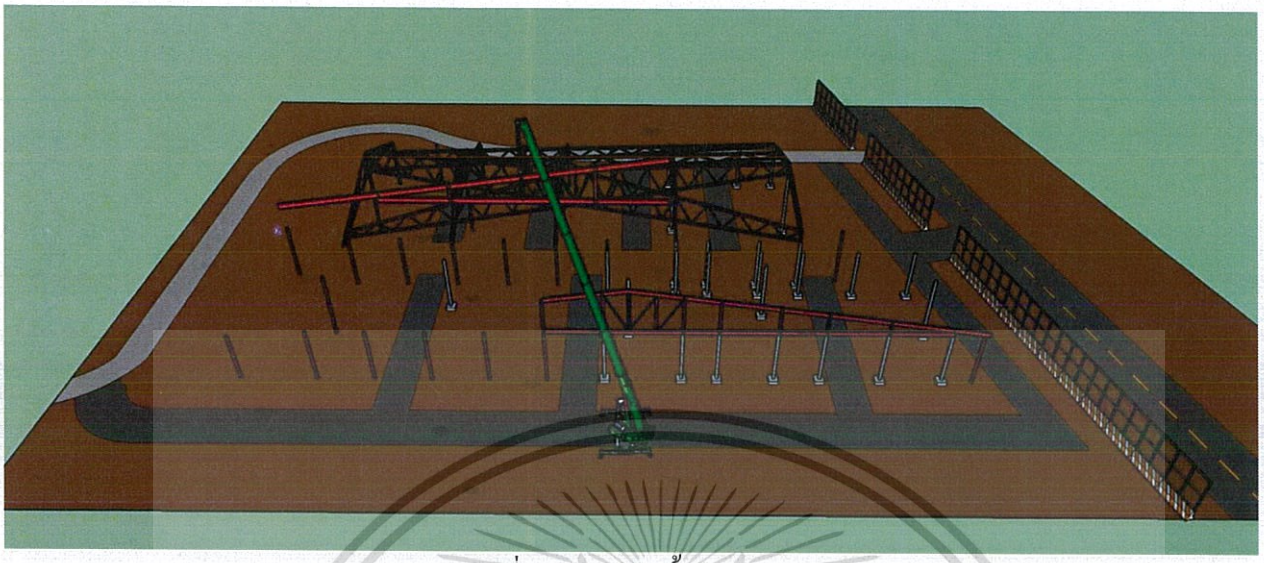


รูปที่ 3.37 การติดตั้ง STEP 15

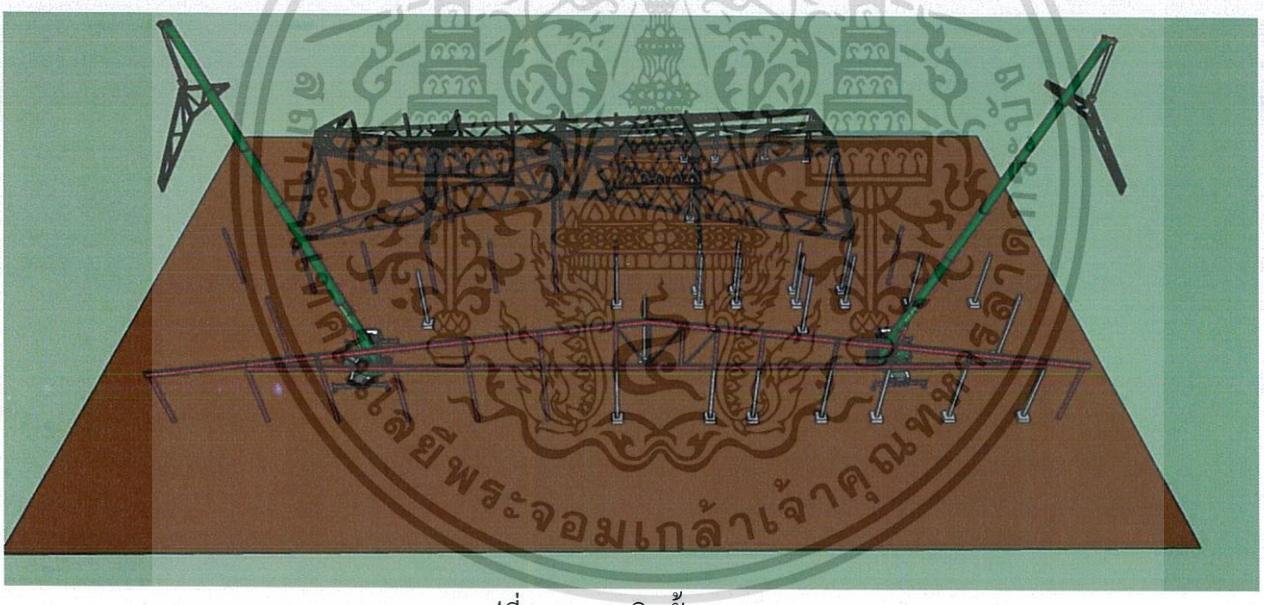


รูปที่ 3.38การติดตั้ง STEP 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

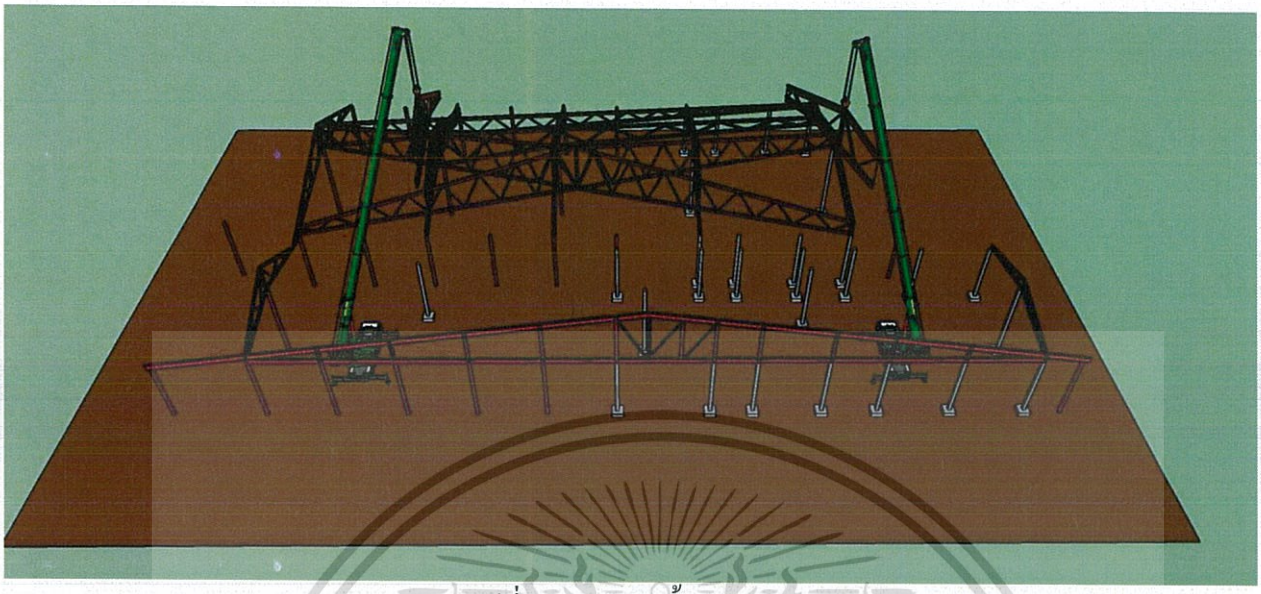


รูปที่ 3.39 การติดตั้ง STEP 17

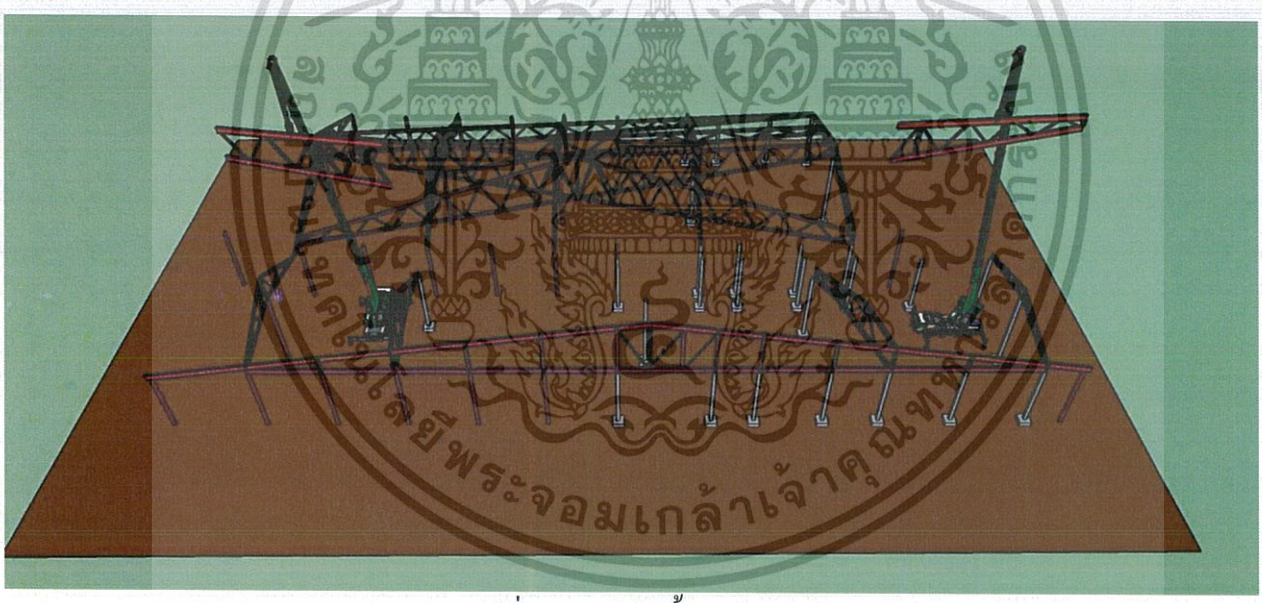


รูปที่ 3.40 การติดตั้ง STEP 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

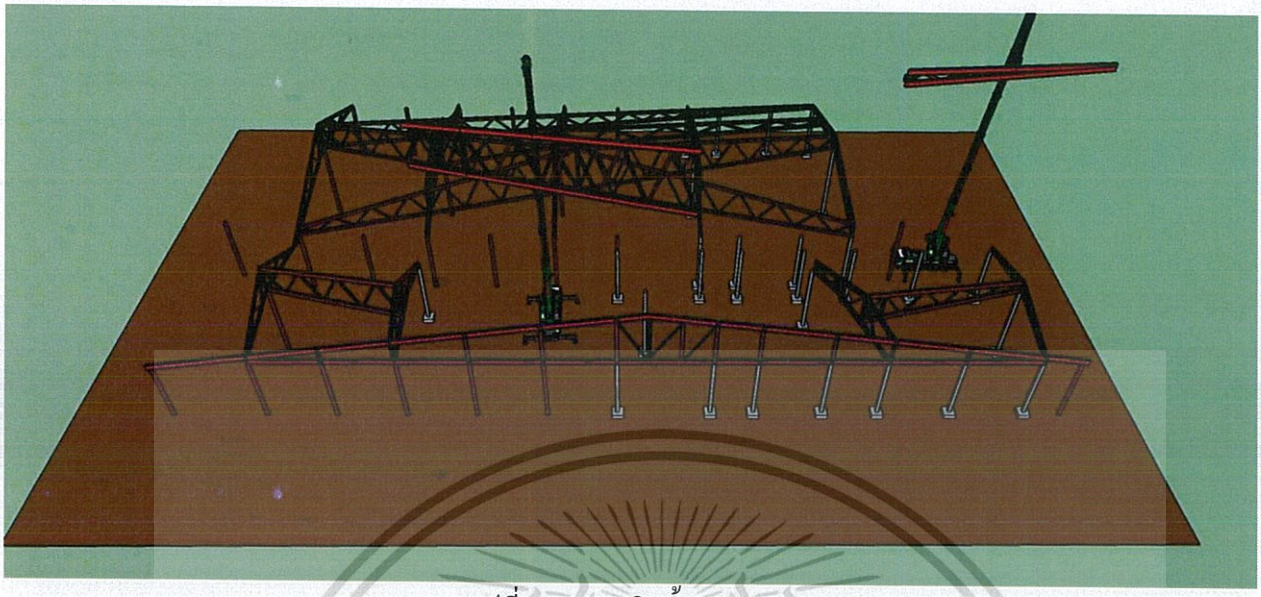


รูปที่ 3.41 การติดตั้ง STEP 19

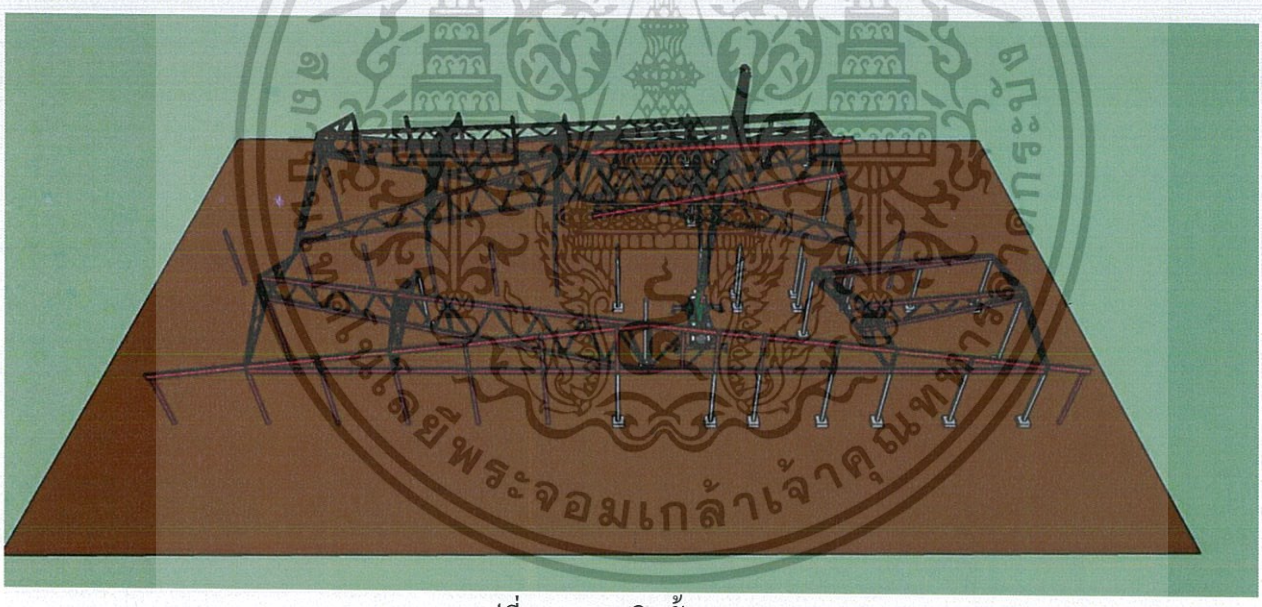


รูปที่ 3.42 การติดตั้ง STEP 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

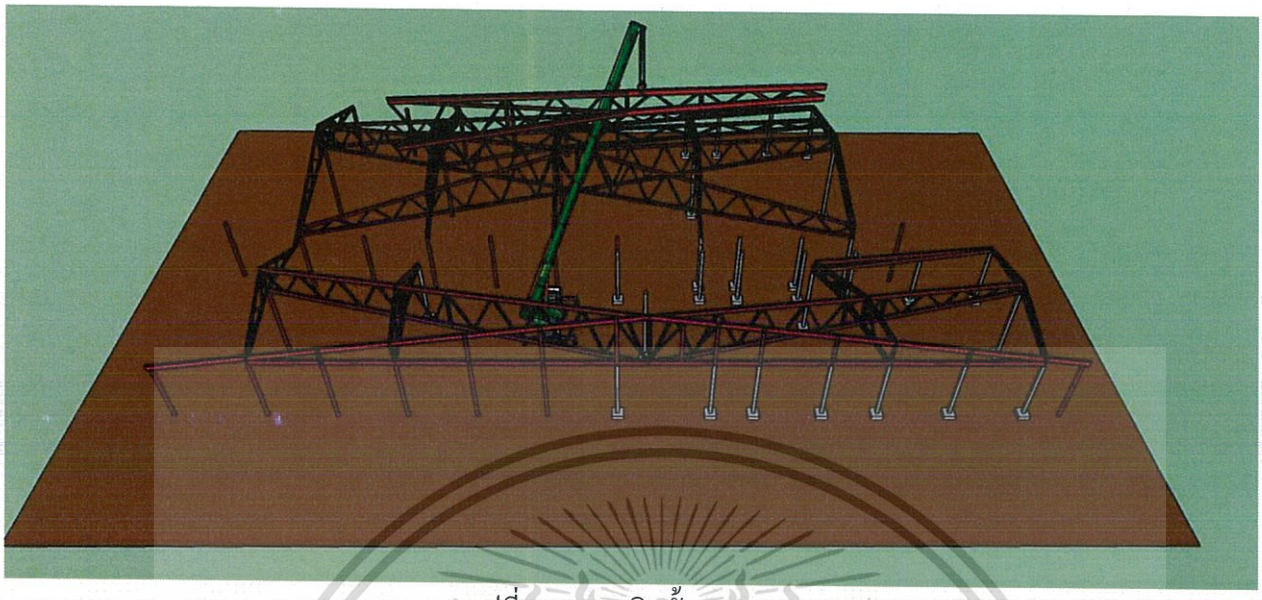


รูปที่ 3.43 การติดตั้ง STEP 21

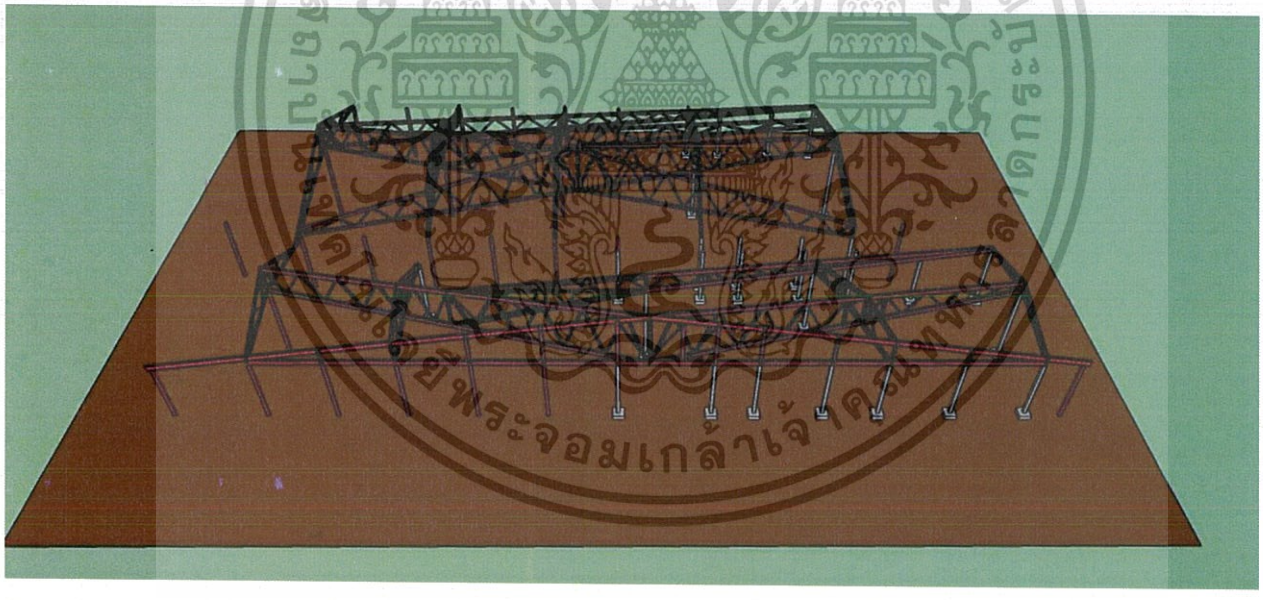


รูปที่ 3.44 การติดตั้ง STEP 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.45 การติดตั้ง STEP 23



รูปที่ 3.46 การติดตั้ง STEP 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลของการออกแบบ

4.1.1 แรงลม

พื้นที่ผิวอาคาร(แบ่งตามโซน)	หน่วยแรงลมภายนอก (kg/m²)		หน่วยแรงลมภายใน (kg/m²)		หน่วยแรงลมสุทธิ (kg/m²)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	หน่วยแรงดันภายในเป็นลบ	หน่วยแรงดันภายในเป็นบวก
2 ในรูป	-44.07	0.65	-41.83	41.83	-85.89	42.48
2E ในรูป	-67.79	-2.03	-41.83	41.83	-109.62	39.79
3 ในรูป	-30.40	-26.48	-41.83	41.83	-72.23	15.34
3E ในรูป	-43.74	-36.17	-41.83	41.83	-85.57	5.65

4.1.2 Purlins

TYPE	PURLIN TYPE	SPACING(m)	REMARK
1	C 150x75x18.6kg/m	1.5	LR1,LR2,LR4,LR7
2	C 150x75x18.6kg/m	1.5	UR2,UR3,UR5,UR6
3	C 180x75x21.4kg/m	1.5	LR3,LR5,LR6,UR1,UR4

***TYPE 1 ใช้ C 150x75x18.6 kg/m @ 1.50 m สำหรับ

LR1,LR2,LR4,LR7,UR2,UR3,UR5,UR6

***TYPE 2 ใช้ C 180x75x21.4 kg/m @ 1.50 m สำหรับ LR3,LR5,LR6,UR1,UR4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 Main Truss

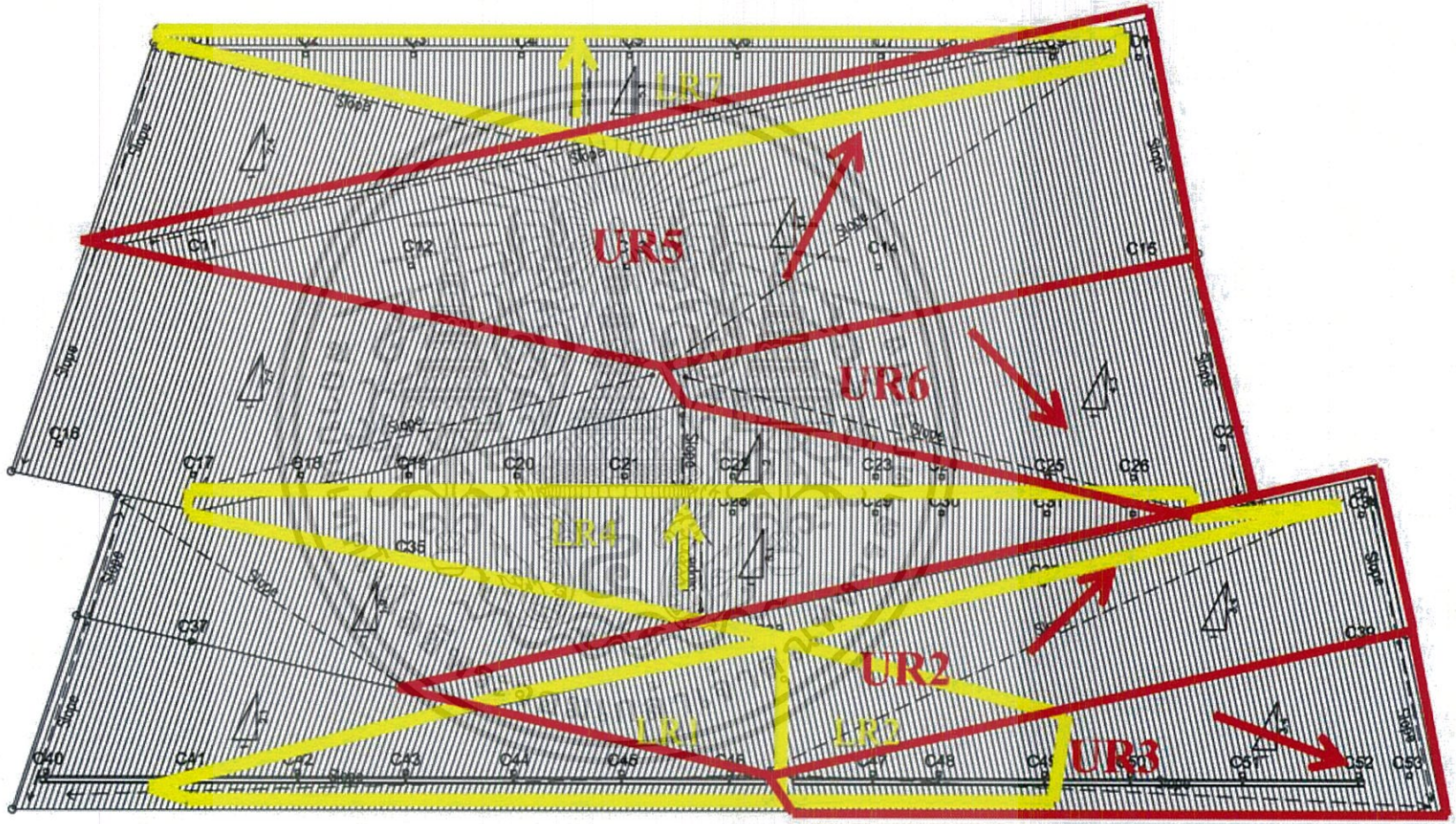
NAME	MEMBER	GRADE
A	C 50 × 25 × 3.86	SM520
B	C 75 × 40 × 6.92	SM520
C	C 100 × 50 × 9.36	SM520
D	C 125 × 65 ×13.4	SM520
E	C 150 × 75 × 18.6	SM520
F	C 150 × 75 × 24	SM520
G	C 180 × 75 × 21.4	SM520
H	C 200 × 80 × 24.6	SM520
J	C 200 × 90 × 30.3	SM520
K	C 250 × 90 × 40.2	SM520
L	C 300 × 90 × 43.8	SM520
M	C 380 × 100 × 62	SM520
N	WF 100 × 50 × 9.3	SM520
O	WF 125 × 60 × 13.2	SM520
P	WF 125 × 65 × 13.4	SM520
Q	WF 150 × 75 × 14	SM520
R	WF 175 × 90 × 18.1	SM520
S	WF 194 × 150 × 30.6	SM520
T	WF 200 × 100 × 21.3	SM520
U	WF 244 × 175 × 44.1	SM520
V	WF 250 × 125 × 29.6	SM520
W	WF 450 × 200 × 76	SM520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

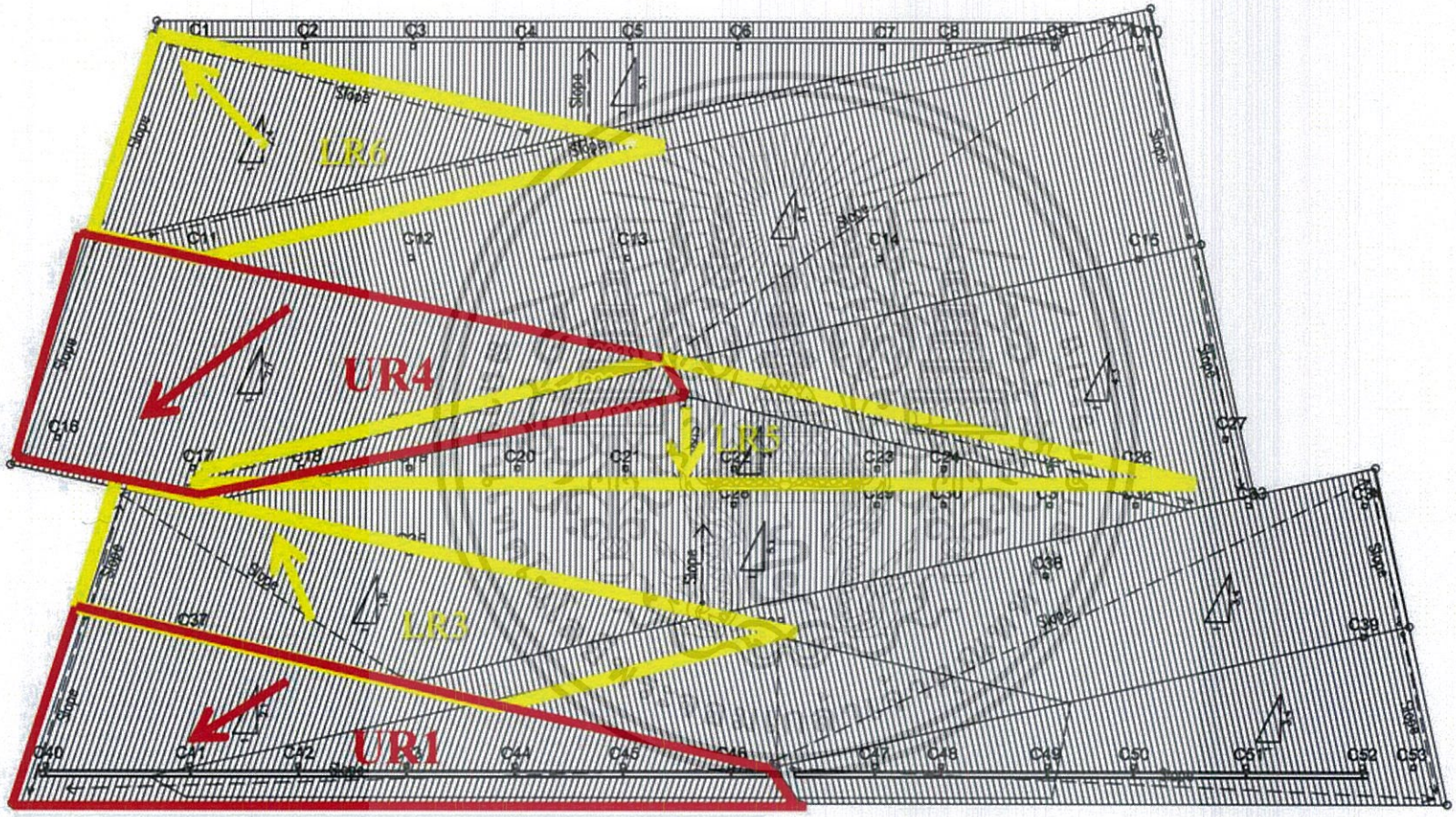
4.1.4 Sub-Truss

SUB TRUSS	Type	length	H	MEMBER "P"	MEMBER "Q"	L
ST1	1	6-8 m	0.75	TUB 32x32x2.04 kg/m	TUB 25x25x1.53 kg/m	8
	2	8-10 m	0.75	TUB 32x32x2.04 kg/m	TUB 25x25x1.53 kg/m	8
ST2	1	10-12 m	1.00	TUB 75x75x7.01 kg/m	TUB 38x38x2.47 kg/m	12
	2	12-14 m	1.00	TUB 75x75x7.01 kg/m	TUB 38x38x2.47 kg/m	12
ST3	1	14-16 m	1.25	TUB 90x90x6.23 kg/m	TUB 50x50x2.38 kg/m	16
	2	16-18 m	1.25	TUB 90x90x6.23 kg/m	TUB 50x50x2.38 kg/m	16

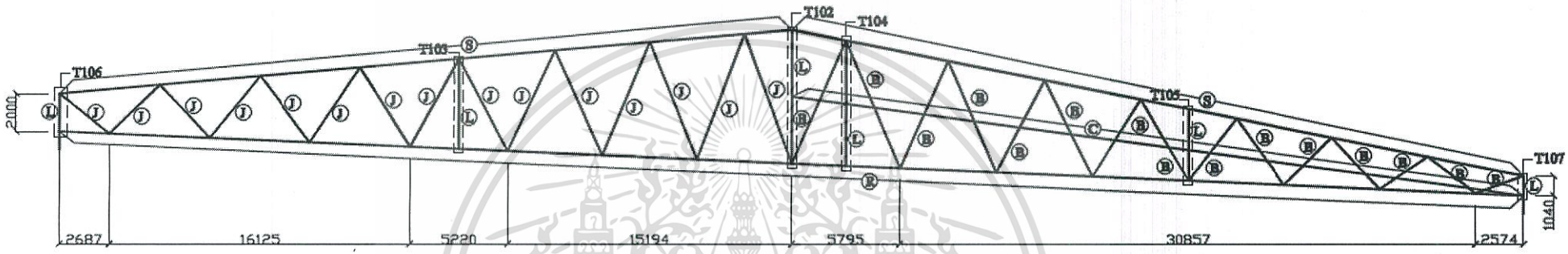
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



***<u>TYPE 1</u>ใช้ C 150x75x18.6 kg/m @ 1.50 m สำหรับ LR1,LR2,LR4,LR7UR2,UR3,UR5,UR6

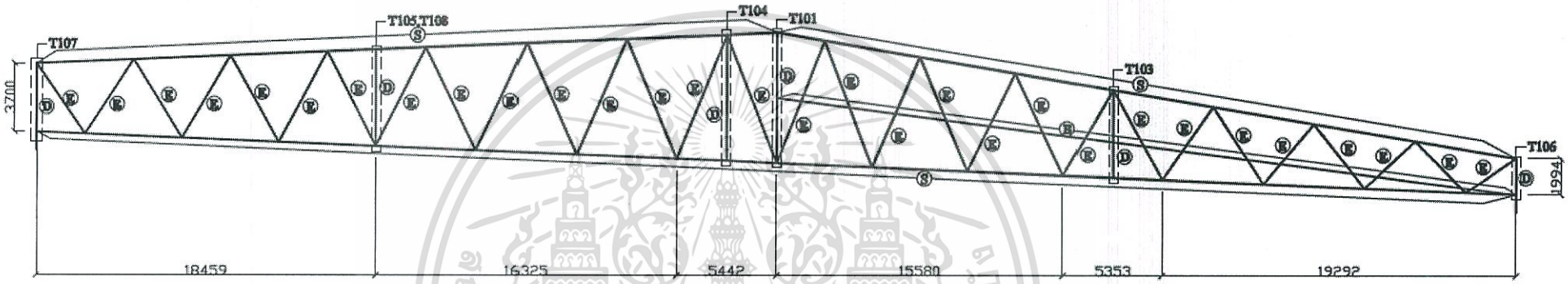


***<u>TYPE 2</u>ใช้ C 180x75x21.4 kg/m @ 1.50 m สำหรับ LR3,LR5,LR6,UR1,UR4



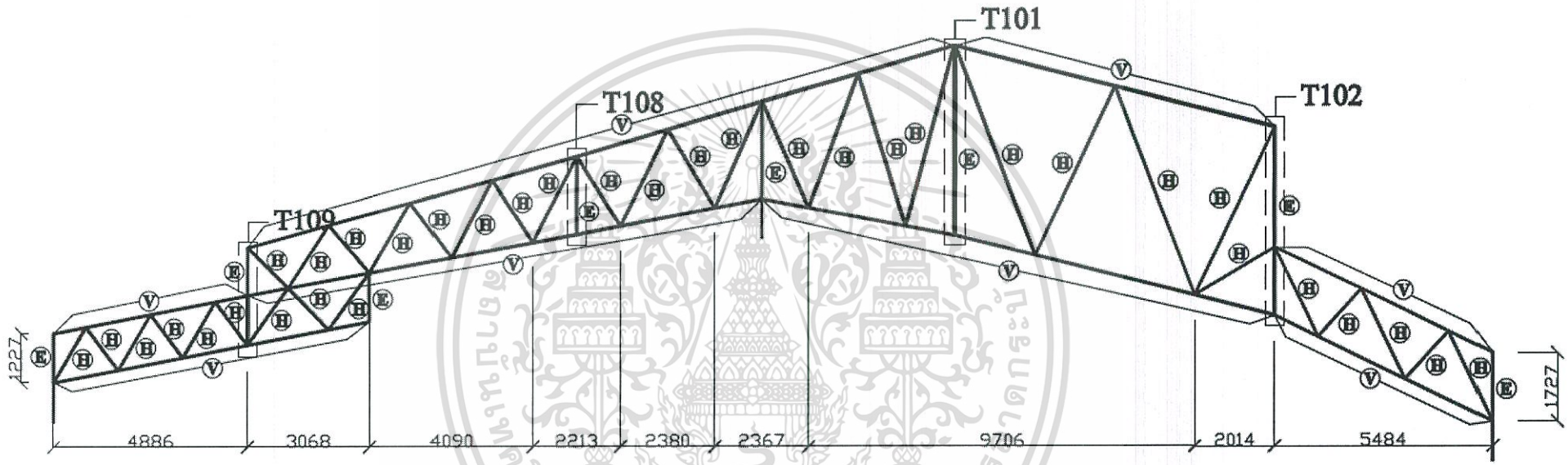
T101

มาตรส่วน 1:100



T102

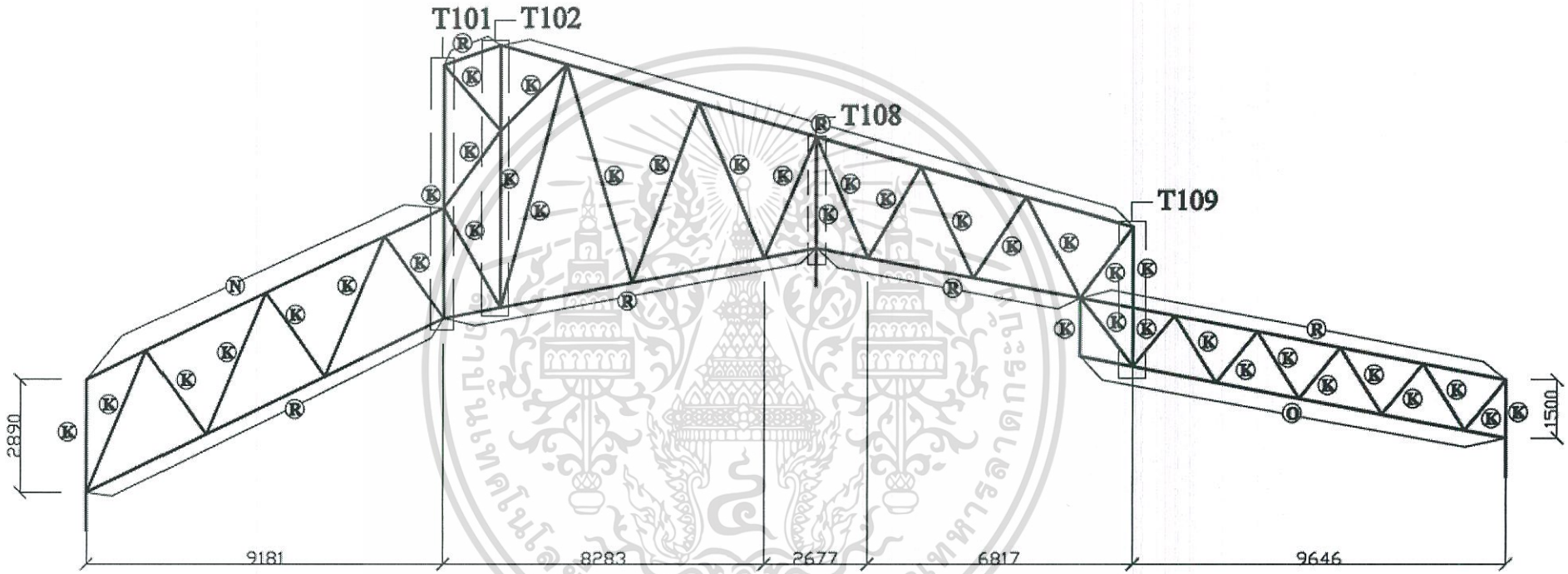
มาตรส่วน 1:100



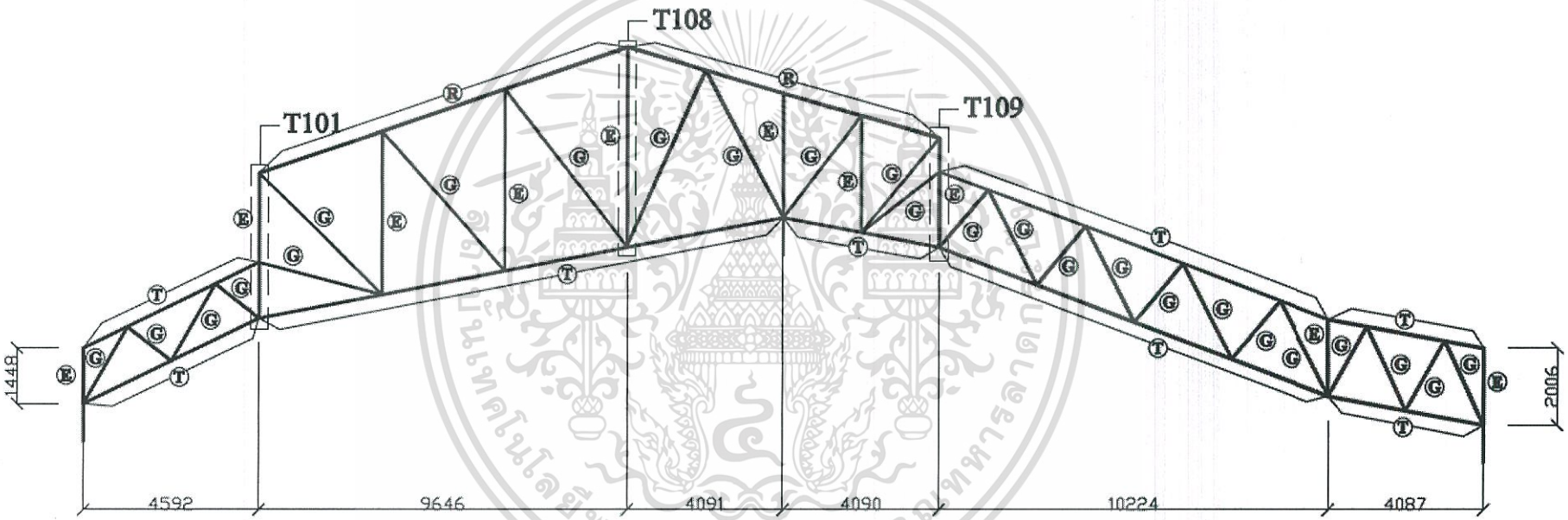
T103

มาตรส่วน 1:100

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



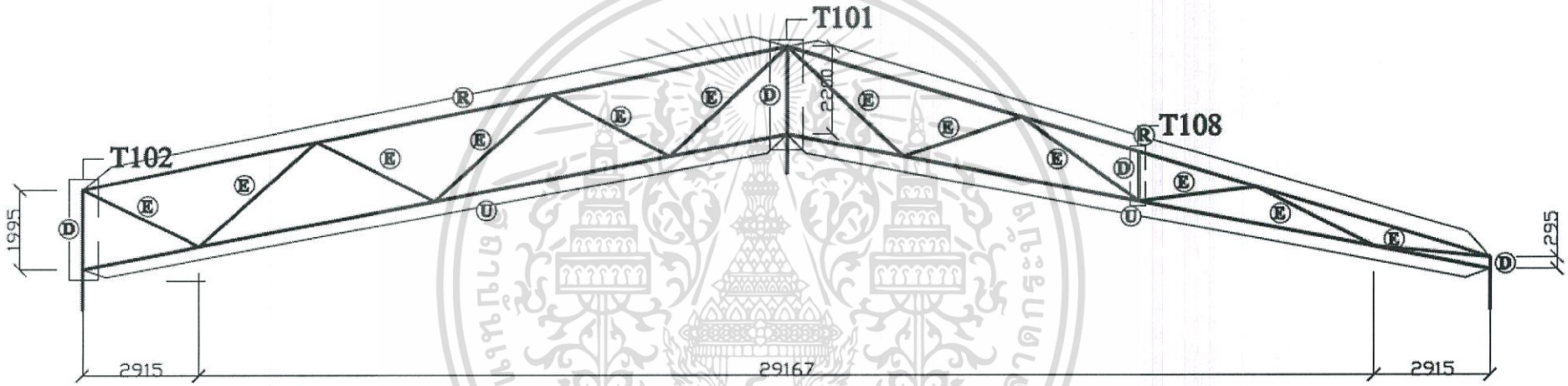
มาตรส่วน 1:100



T105

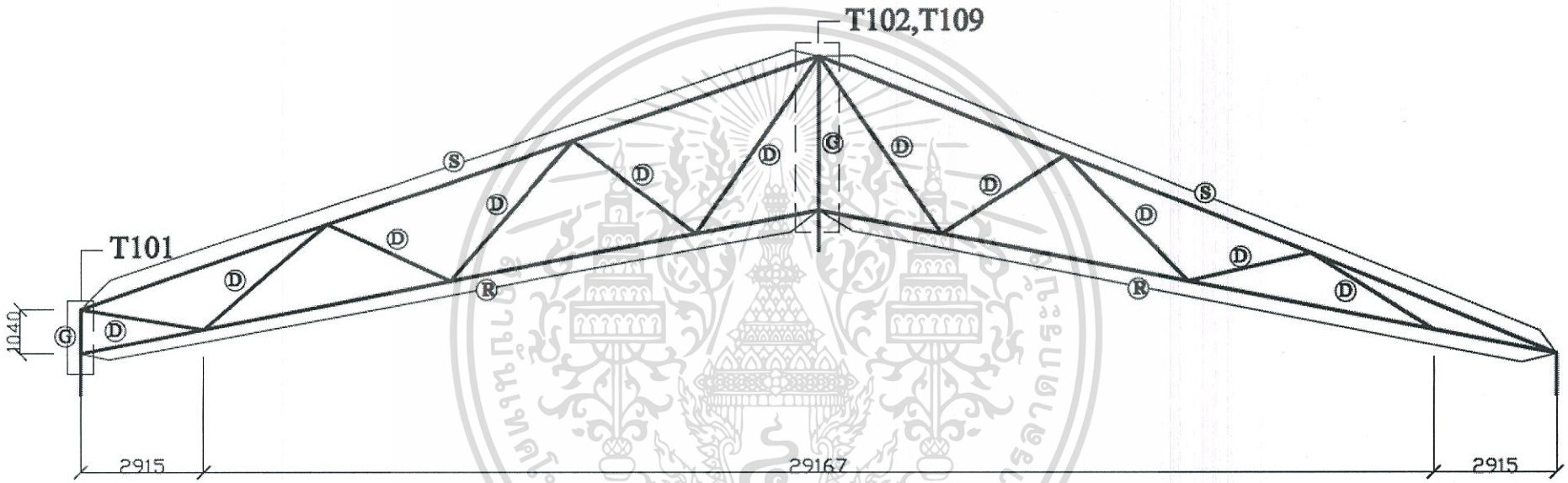
มาตรส่วน 1:100

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



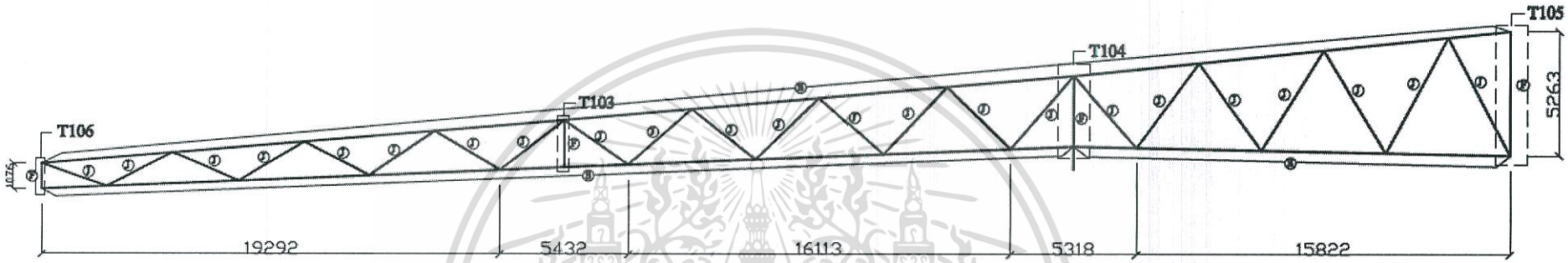
T106

มาตรส่วน 1:100



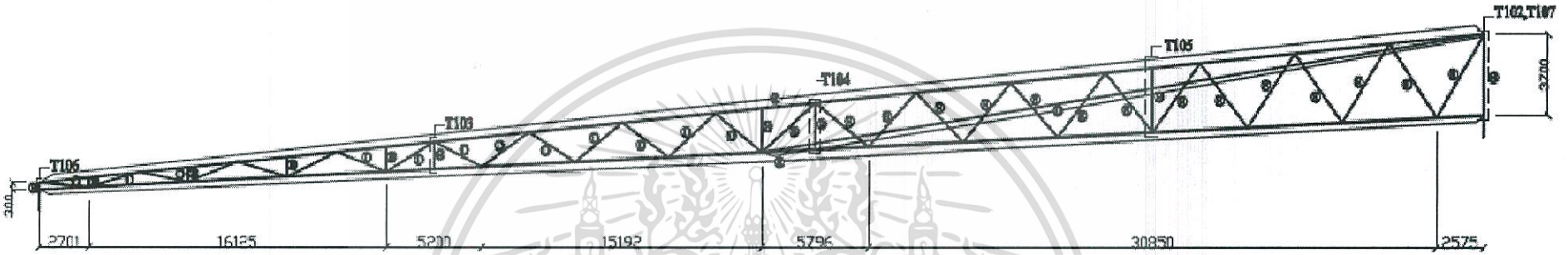
T107

มาตรส่วน 1:100



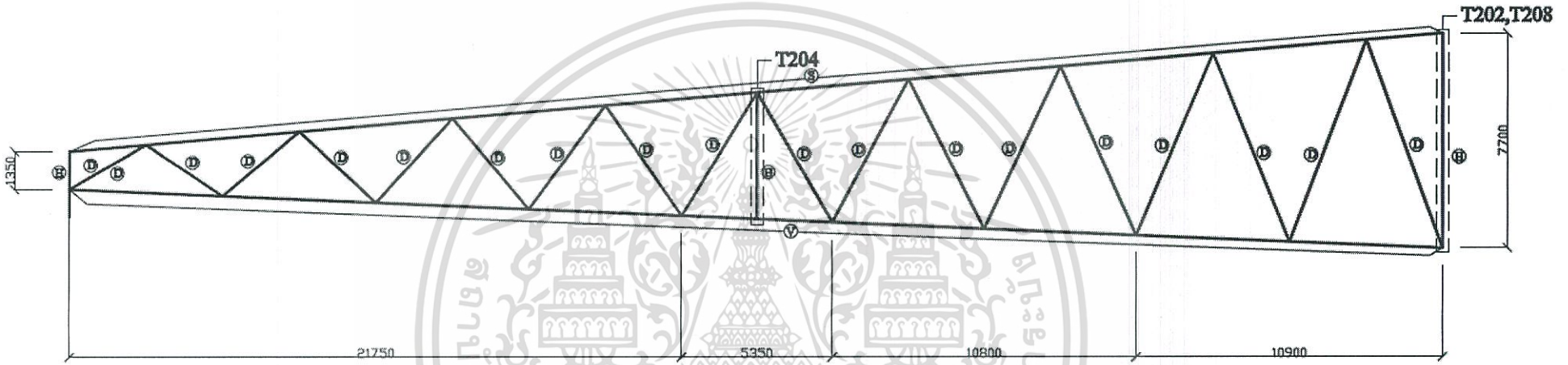
T108

มาตรส่วน 1:100



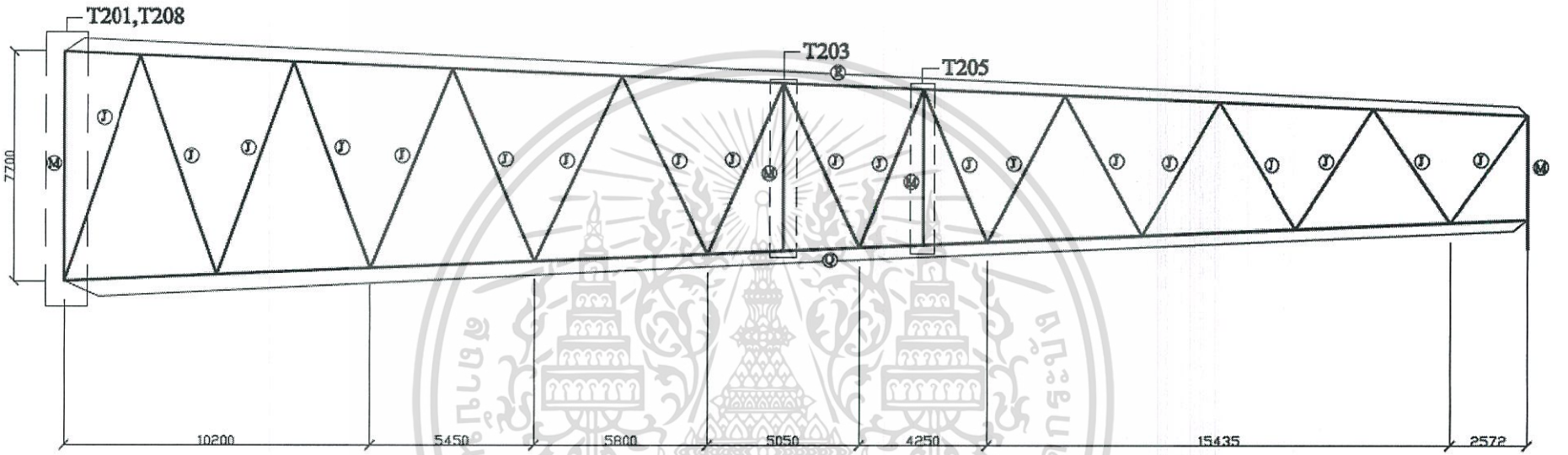
T109

มาตรส่วน 1:100



T201

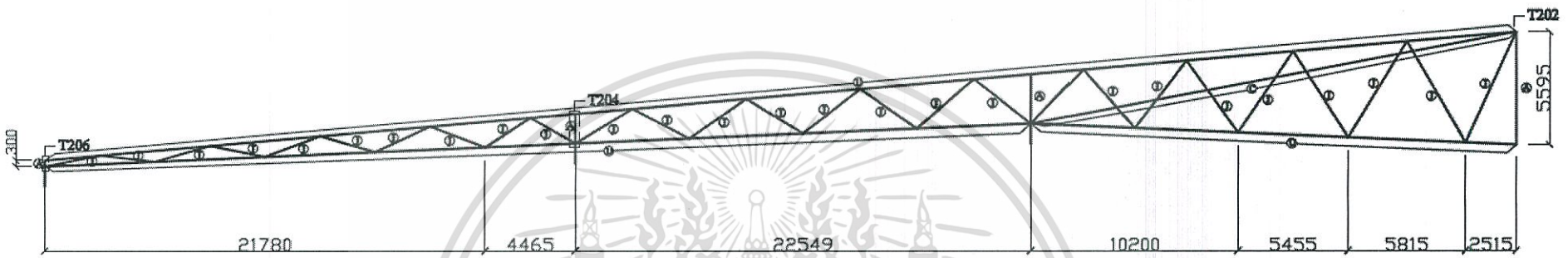
มาตรส่วน 1:100



T202

มาตรส่วน 1:100

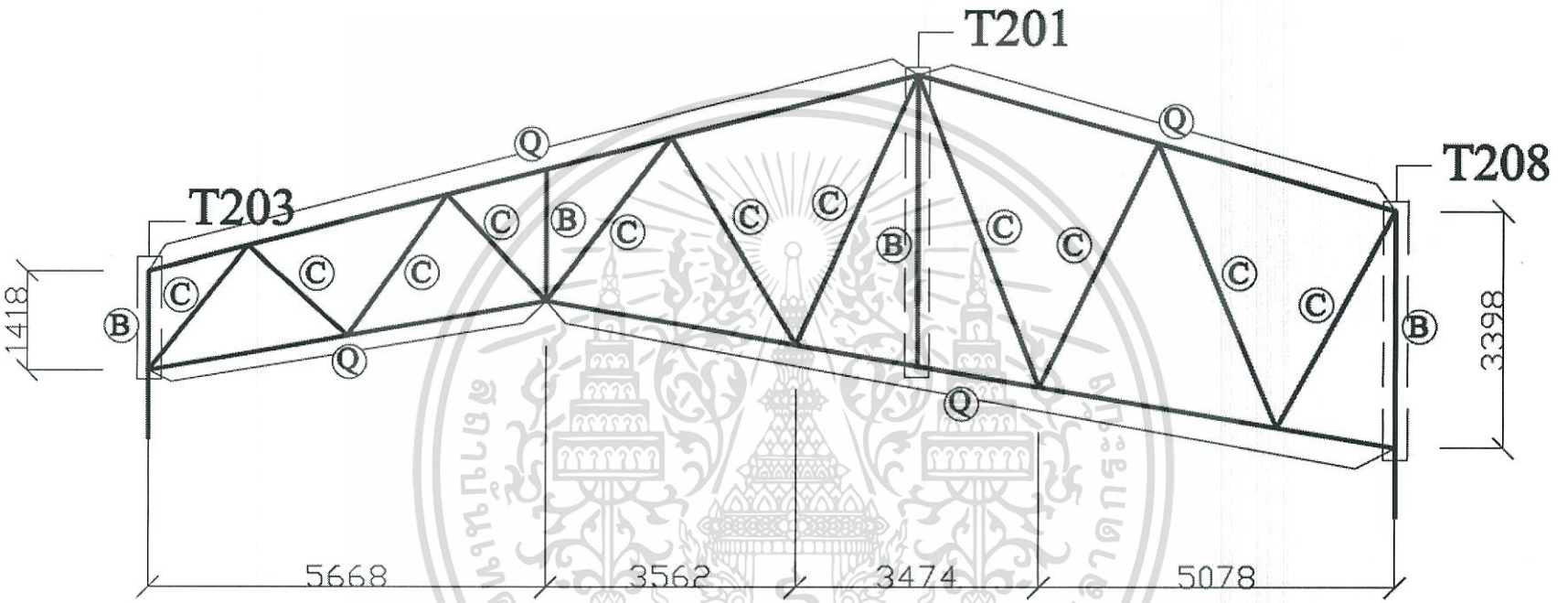
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



T203

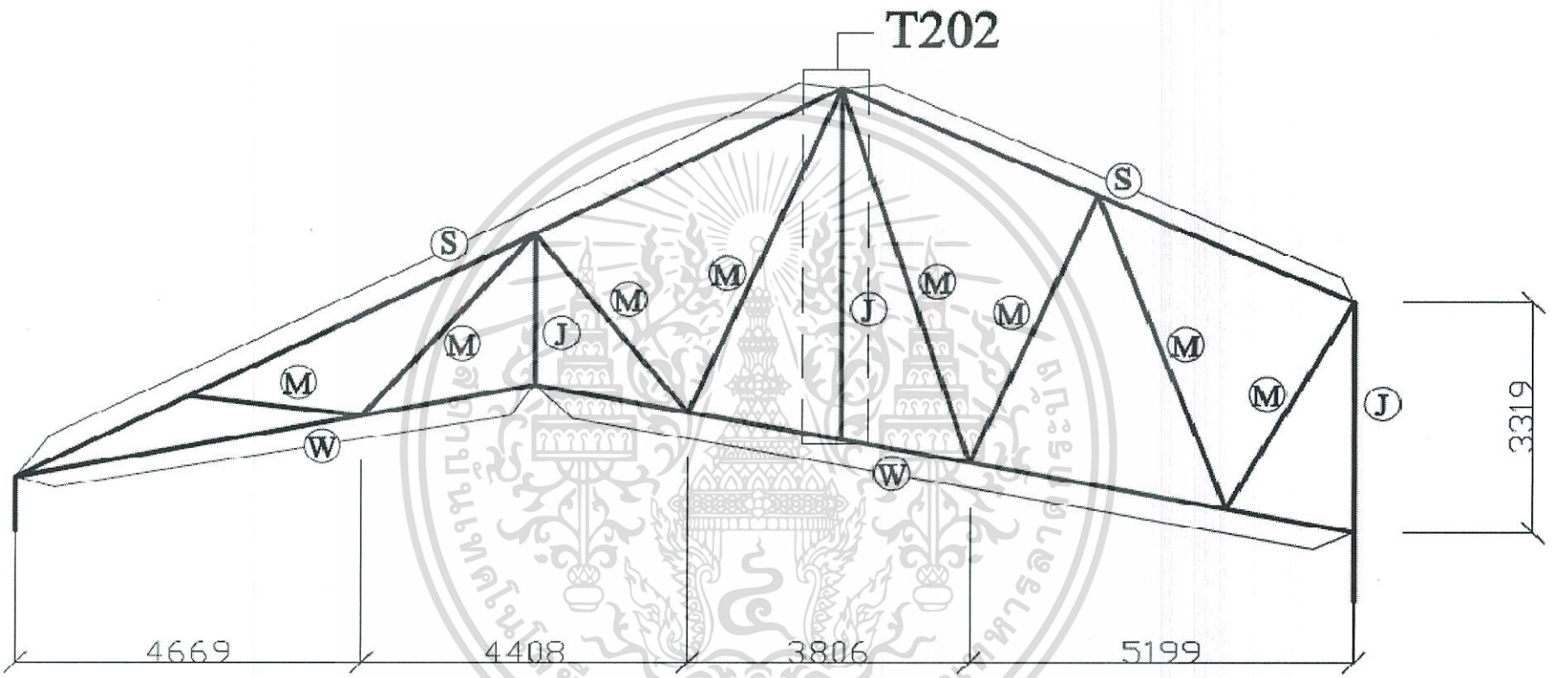
มาตรส่วน 1:100

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



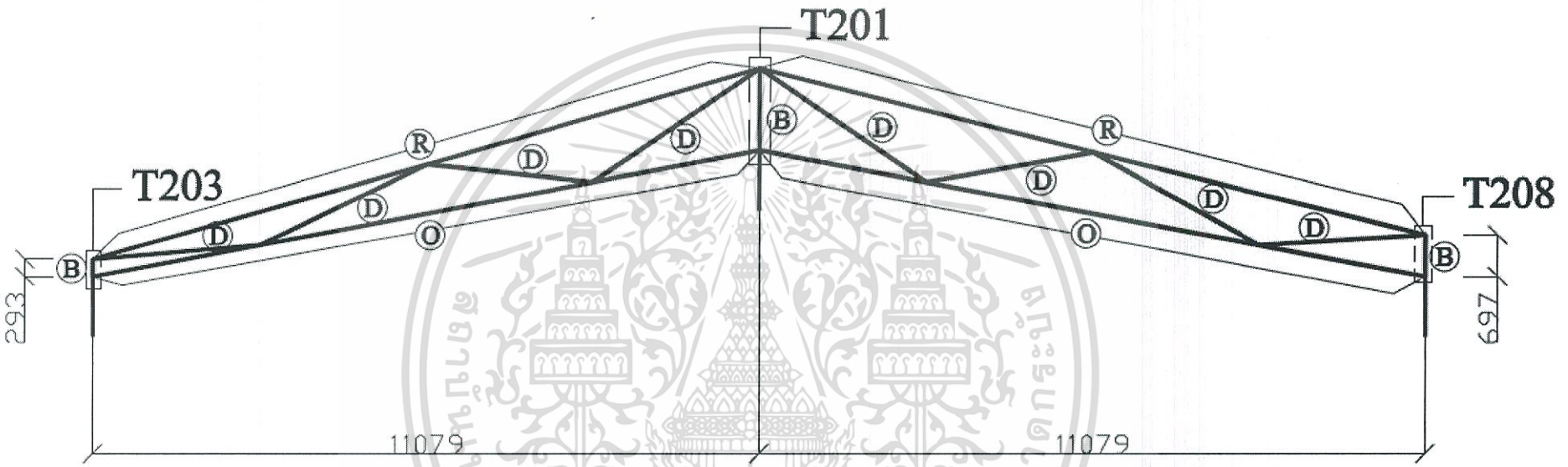
T204

มาตรส่วน 1:100



T205

มาตรส่วน 1:100

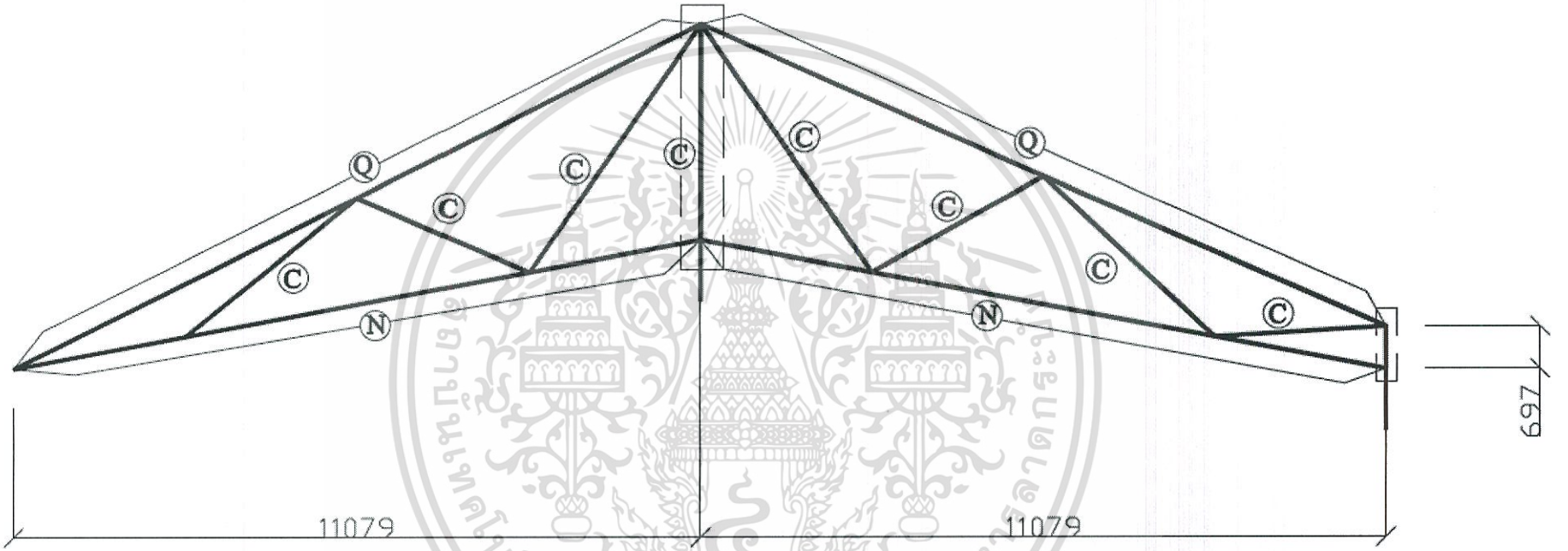


T206

มาตรส่วน 1:100

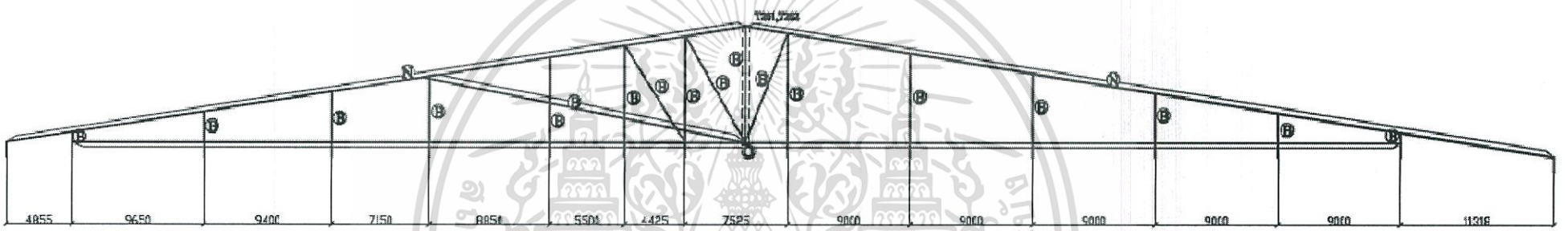
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

T202



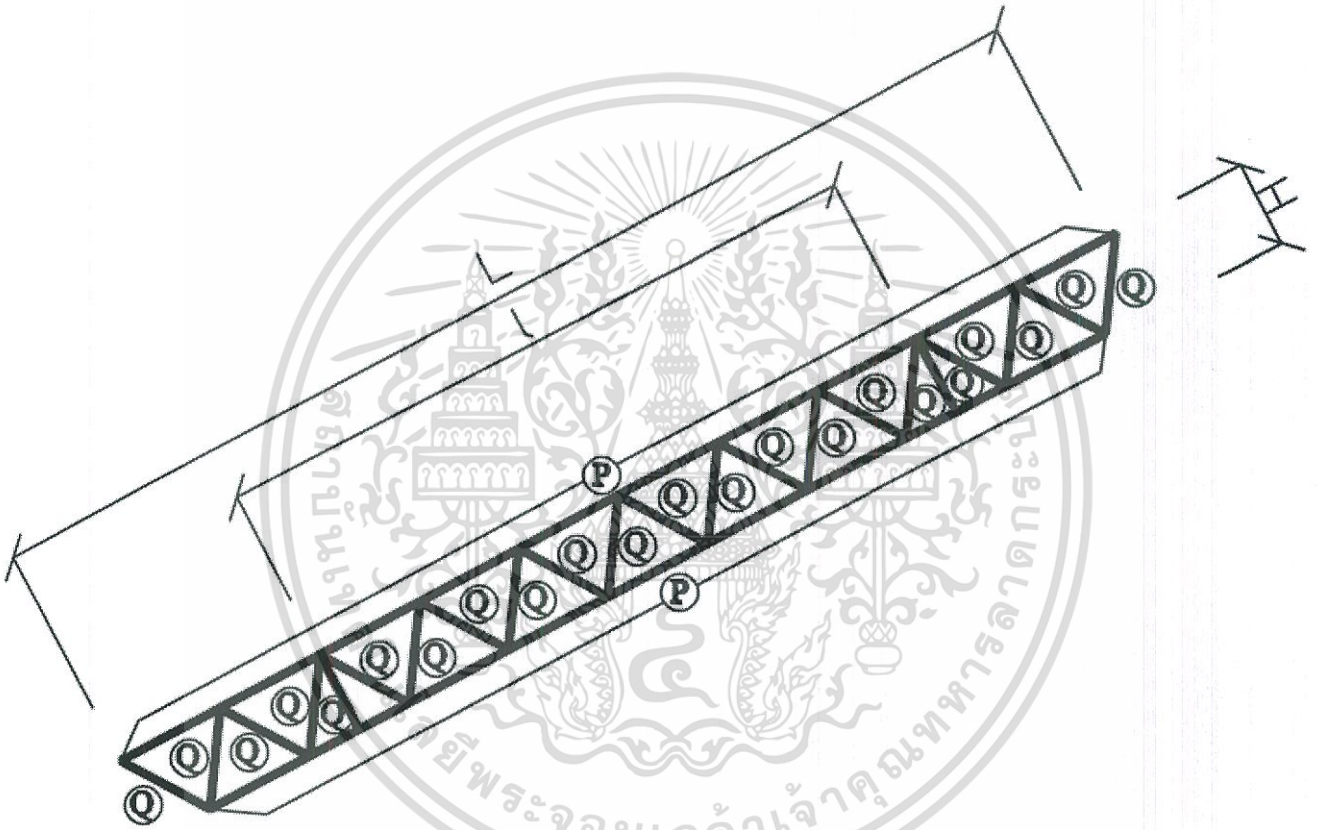
T207

มาตรส่วน 1:100



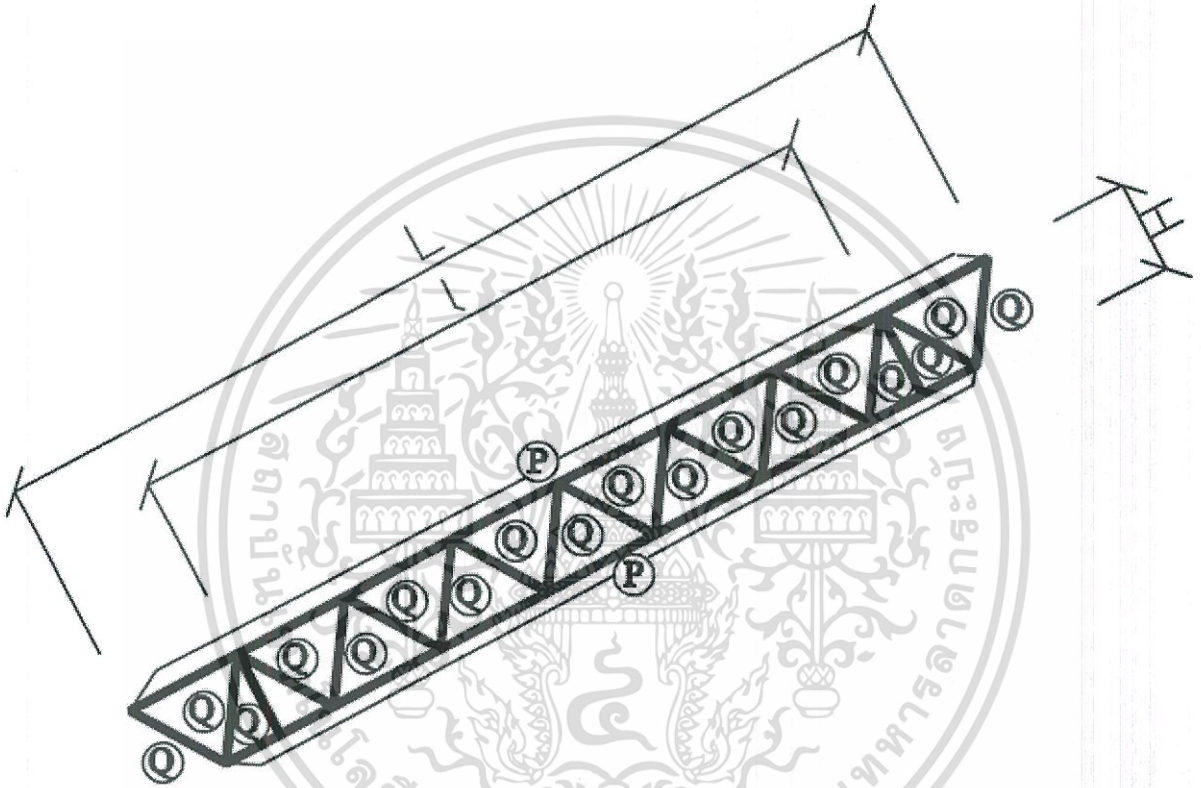
T208

มาตรส่วน 1:100



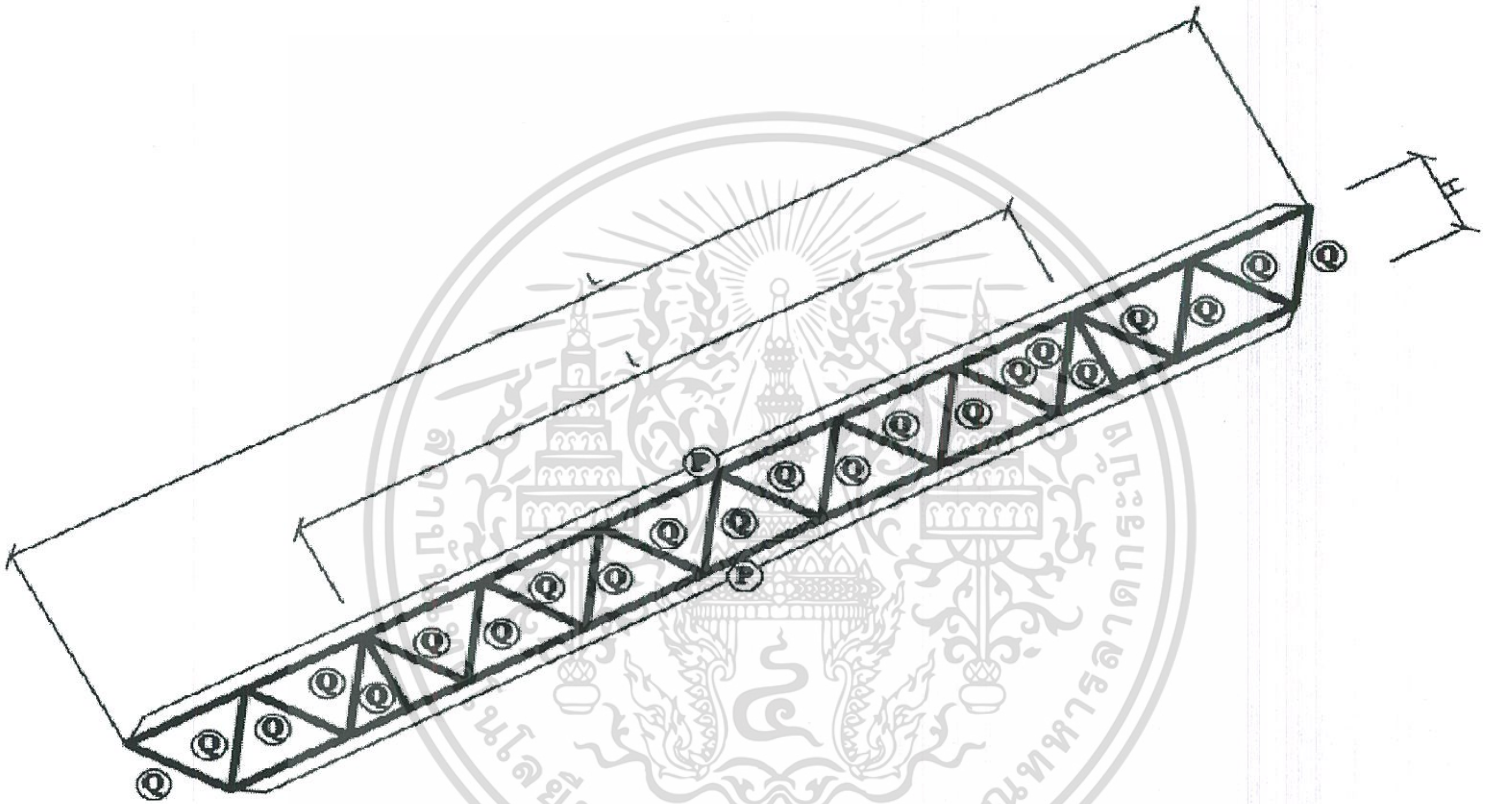
Sub-Truss 1 (Type 1)

มาตรส่วน 1 : 100



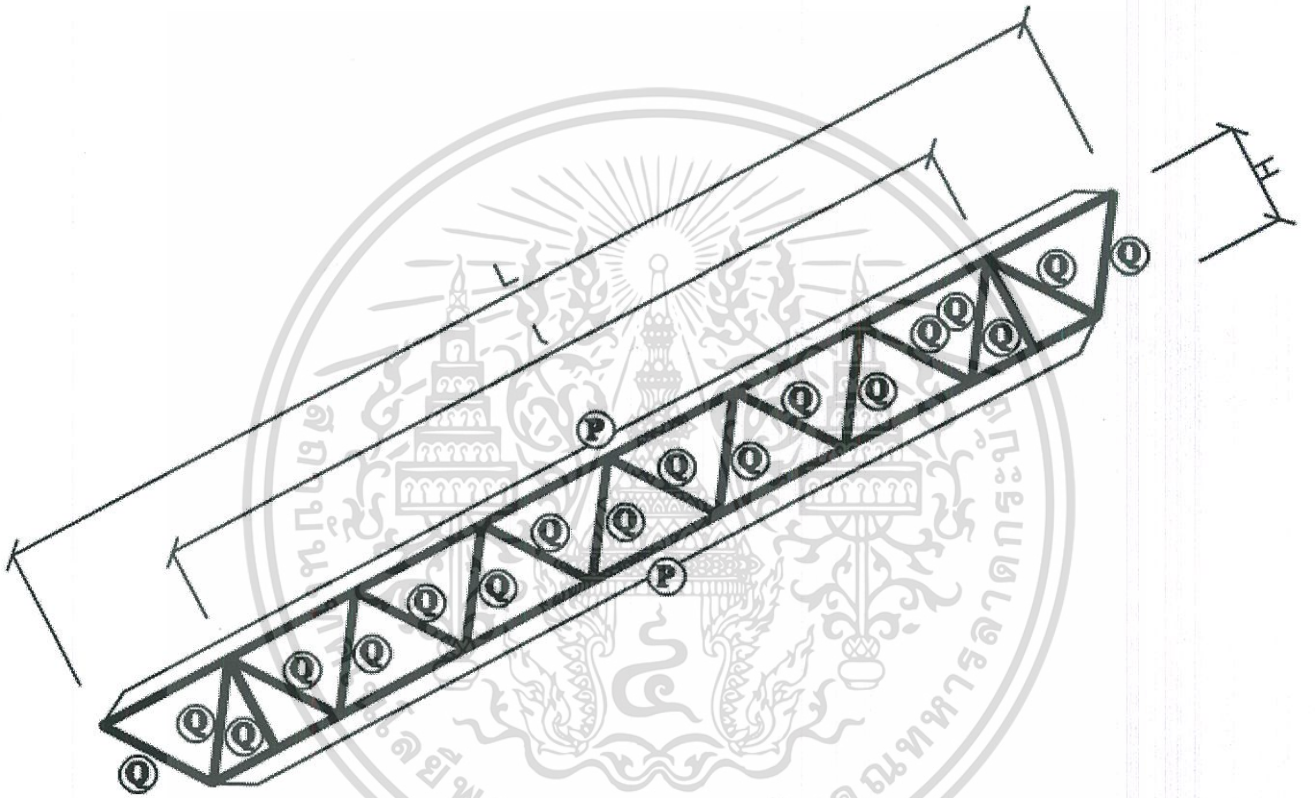
Sub-Truss 1 (Type 2)

มาตรส่วน 1 : 100



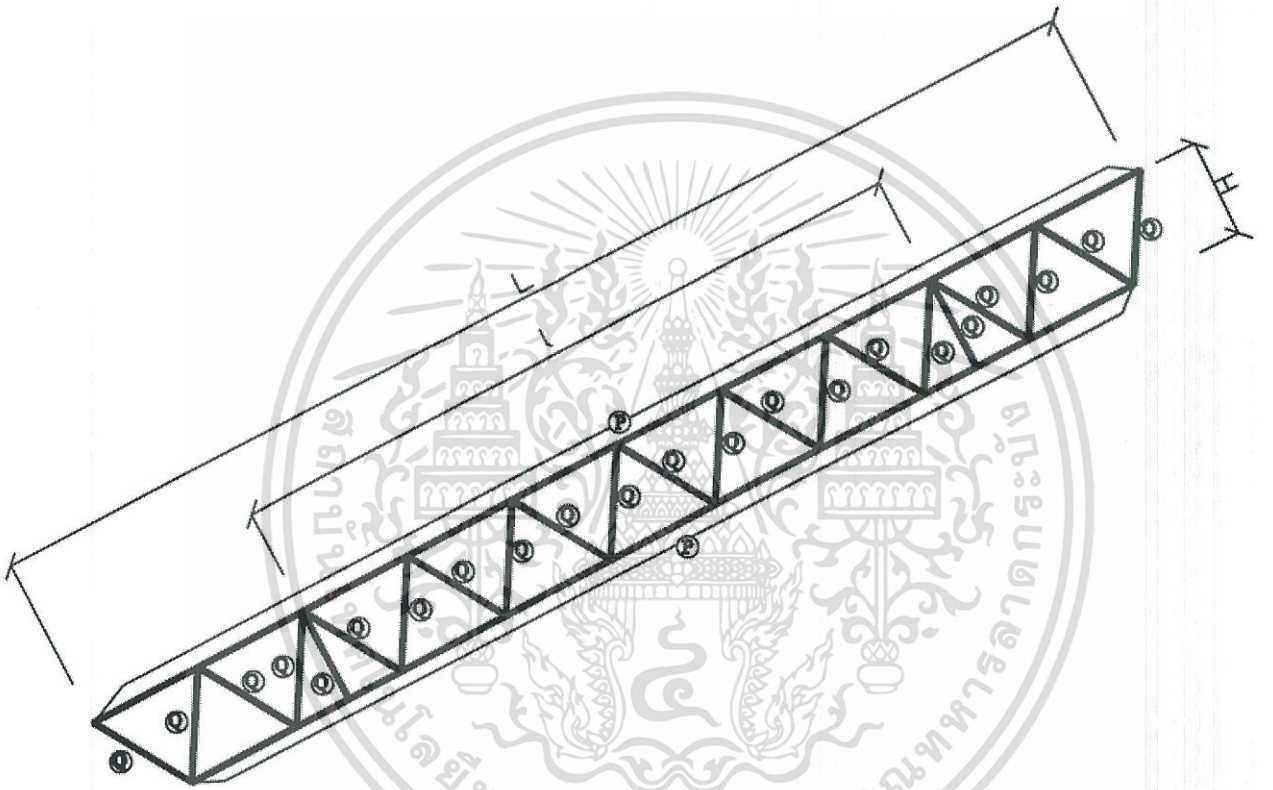
Sub-Truss 2 (Type 1)

มาตรส่วน 1 : 100



Sub-Truss 2 (Type 2)

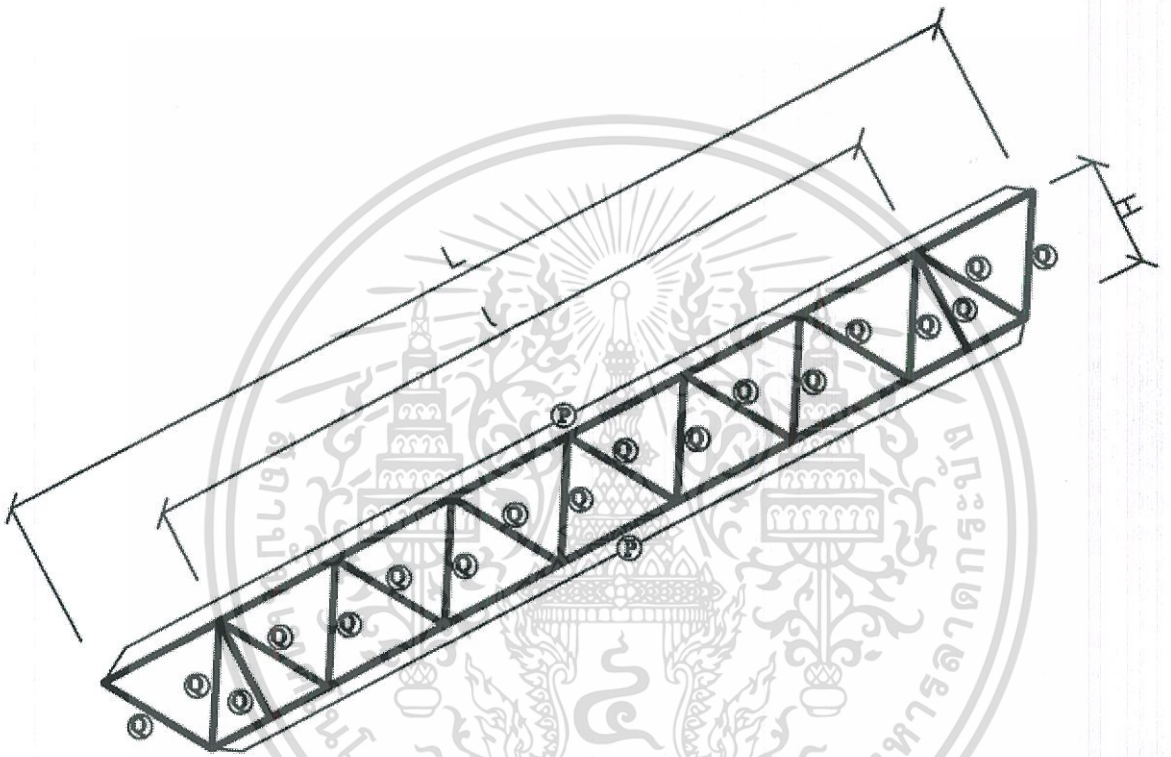
มาตรส่วน 1 : 100



Sub-Truss 3 (Type 1)

มาตรส่วน 1 : 100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หอสมุดวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



Sub-Truss 3 (Type 2)

มาตรส่วน 1 : 100

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลที่ได้จากการศึกษาทดลอง

จากการศึกษาวิธีการออกแบบโครงหลังคาเหล็กขนาดใหญ่พิเศษพบว่าข้อที่ควรคำนึงเมื่อเทียบกับโครงหลังคาเหล็กขนาดปกติ คือ

1. การแอ่นตัวและการโก่งตัวที่เกิดขึ้น เนื่องจากโครงสร้างมี span ยาว

2. Bending Moment ที่เกิดขึ้นในตัวโครงถัก เนื่องจาก Load ไม่ลงในตัว node พอดี

3. เนื่องจากโครงสร้างมีความซับซ้อนการออกแบบโดยการใช้โปรแกรม ต้องคิดแยกเป็นชิ้นๆ เพื่อกันความไม่สับสนของผู้ออกแบบ

5.2 สรุปผลที่ได้จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

5.2.1 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากในช่วงแรกของการศึกษายังไม่มีความรู้เพียงพอในด้านการออกแบบโครงสร้างหลังคาเหล็ก ซึ่งทำให้การศึกษาหาข้อมูลเป็นไปได้ยาก จึงต้องสอบถามผู้มีประสบการณ์ในด้านการออกแบบ เพื่อชี้แนะข้อเท็จจริงของการออกแบบ

5.2.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้รับความรู้และความเข้าใจในการออกแบบของโครงสร้างหลังคาเหล็กขนาดใหญ่พิเศษ

5.2.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาการออกแบบโครงหลังคาเหล็กขนาดใหญ่พิเศษ ข้าพเจ้าคิดว่า ผู้ออกแบบควรทำการออกแบบโดยการใช้โปรแกรมเป็นแบบรวม นั่นคือขึ้นรูปร่างเป็นโครงถักรวมทุกชิ้นเพื่อให้ได้เห็นพฤติกรรมแท้จริงของโครงสร้างที่รับแรงต่างๆและป้องกันความผิดพลาดจากการออกแบบได้ดีกว่าการออกแบบแบบแยกชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรที่จะให้นักศึกษาเรียนรายวิชาหลักให้ครบทุกตัวเสียก่อน จึงให้เริ่มต้นโครงการสหกิจ เพราะยังมีรายวิชาที่นักศึกษายังไม่ได้เรียน แต่พอมาทำโครงการสหกิจจะต้องใช้รายวิชานั้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้เสียเวลาศึกษา รวมทั้งไม่เข้าใจพฤติกรรมจริงๆของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย ., (2550) , มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร(มยผ.1311-50)

[2] ผศ.ดร. วินิต ช่อวิเชียร., (2552) ,

การออกแบบโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แผนที่ความเร็วลมอ้างอิง

คำอธิบายประกอบรูปที่ ก.1 และ ตารางที่ ก-1

ความเร็วลมอ้างอิง $(\bar{V})$ ที่ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q) ในหัวข้อ 4.1.2 กำหนดให้เป็นไปตามสมการ (ก-1) และสมการ (ก-2)

สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน

$$\bar{V} = V_{50} \quad \text{(ก-1)}$$

สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านกำลัง

$$\bar{V} = T_F V_{50} \quad \text{(ก-2)}$$

โดย V_{50} คือค่าความเร็วลมที่คาบเวลากลับ *50* ปี และ T_F คือค่าประกอบไต้ฝุ่น

การจำแนกและการแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิงแสดงในรูป ก.1 และตาราง ก-1 กลุ่มความเร็วลมอ้างอิงมีจำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 $V_{50} = 25$ m/s^2 : $T_F = 1.0$

กลุ่มที่ 2 $V_{50} = 27$ m/s^2 : $T_F = 1.0$

กลุ่มที่ 3 $V_{50} = 29$ m/s^2 : $T_F = 1.0$

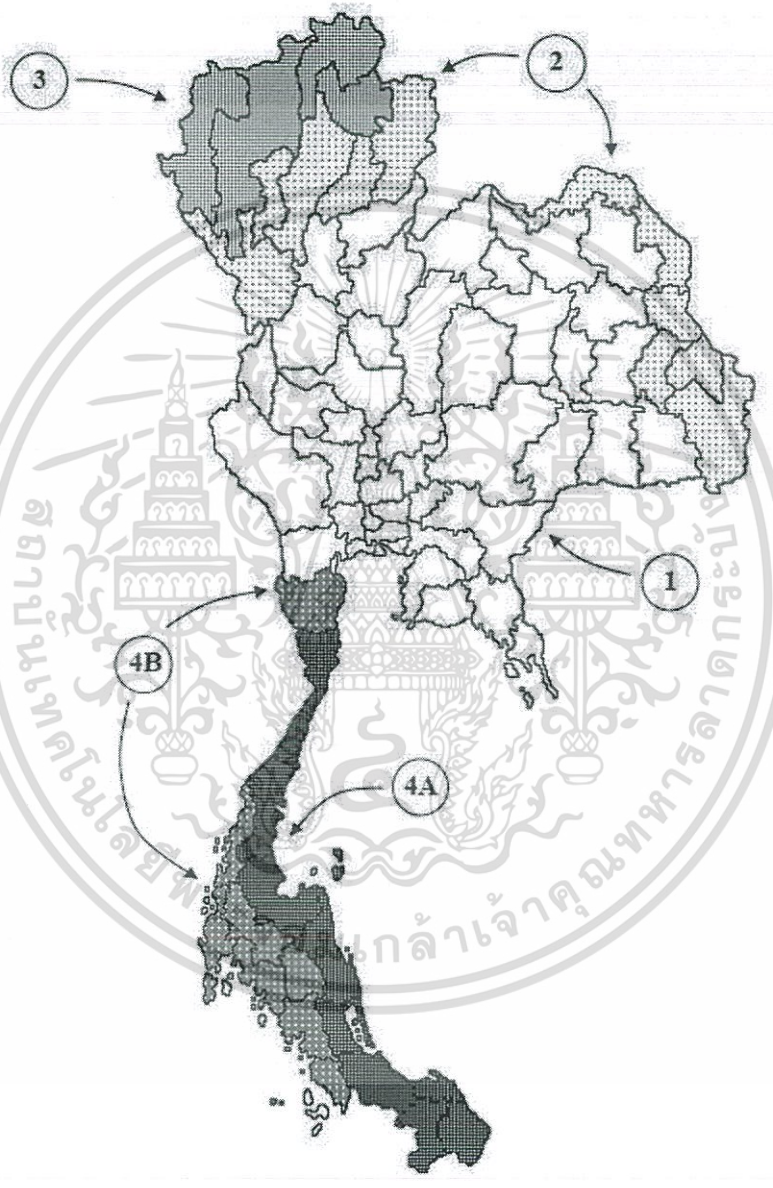
กลุ่มที่ 4A $V_{50} = 25$ m/s^2 : $T_F = 1.2$

กลุ่มที่ 4B $V_{50} = 25$ m/s^2 : $T_F = 1.08$

รูปที่ ก.1 แสดงอาณาบริเวณโดยสังเขปของแต่ละกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง และตาราง ก-1 จำแนก 76 จังหวัดของประเทศไทยตามกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง โดยแบ่งเป็นตารางย่อยสำหรับแต่ละภาคของประเทศ โดยทั่วไปพื้นที่ทั่วจังหวัดจะจัดอยู่ในกลุ่มความเร็วลมอ้างอิงเดียวกัน ยกเว้นจังหวัดตาก จังหวัดนครศรีธรรมราช และ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่มีการแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิงตามอำเภอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ค่าประกอบได้ฝุ่นในสมการ (ก-2) ให้ใช้กับอาคารประเภทความสำคัญสูงมาก (ตารางที่ 4-1) ส่วนอาคารประเภทอื่น การใช้ค่าประกอบดังกล่าวให้เป็นไปตามดุลยพินิจของผู้คำนวณออกแบบโครงสร้าง



รูปที่ ก.1 แผนที่การแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง $(\overline{V})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 การจำแนกกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง

กลุ่มจังหวัดในภาคกลาง

จังหวัด	กลุ่มที่
1. กรุงเทพมหานคร	1
2. กาญจนบุรี	1
3. ฉะเชิงเทรา	1
4. ชัยนาท	1
5. นครนายก	1
6. นครปฐม	1
7. นนทบุรี	1
8. ปราจีนบุรี	1
9. ปทุมธานี	1
10. ประจวบคีรีขันธ์	4A
11. เพชรบุรี	4B
12. ราชบุรี	1
13. ลพบุรี	1
14. สระบุรี	1
15. สิงห์บุรี	1
16. สุพรรณบุรี	1
17. สมุทรปราการ	1
18. สมุทรสงคราม	1
19. สมุทรสาคร	1
20. สระแก้ว	1
21. อยุธยา	1
22. อ่างทอง	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แผนภูมิแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม

คำอธิบายสำหรับการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมในภาคผนวก ข. แบ่งออกเป็น 3 หมวด คือ คำอธิบายสำหรับการใช้หน่วยแรงลมภายนอกสำหรับอาคารเตี้ย หน่วยแรงลมสำหรับอาคารสูงและหน่วยแรงลมสำหรับโครงสร้างพิเศษ

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม คือ อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงลม (pressure or suction) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวต่างๆของอาคารกับค่าความดันพลศาสตร์ (dynamic pressure หรือ velocity pressure) ของลมที่เข้ามาปะทะอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์นี้แปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งบนพื้นผิวอาคาร รูปร่างของอาคาร ทิศทางของลม และลักษณะของลมที่เข้ามาปะทะ ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในภาคผนวก ข นี้ได้จากการทดสอบแบบจำลองย่อส่วนของอาคารในอุโมงค์ลม ซึ่งในหลายกรณีได้มีการตรวจสอบและเทียบผลกับค่าที่วัดได้จากอาคารจริง

ในการออกแบบองค์อาคารจะต้องทำการคำนวณหาค่าพื้นที่รับลมที่มีผลกระทบต่อองค์อาคารที่ออกแบบนั้นเสียก่อน เช่น พื้นที่รับลมสำหรับการออกแบบแปของหลังคามีเท่ากับระยะห่างของแป (spacing) คูณด้วยความยาวของแปแต่ละตัว เป็นต้น พื้นที่ดังกล่าวเรียกว่า พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area)

ข.1 สัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอกสำหรับอาคารเตี้ย

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูปที่ ข.1 ถึง ข.8 ใช้สำหรับอาคารที่มีค่า $H/D_S \leq 0.5$ (D_S คือความกว้างของด้านที่แคบที่สุด) และมีความสูงของอาคาร (H) ไม่เกิน 23 เมตร แต่สามารถใช้สำหรับอาคารที่มีค่า $H/D_S < 1$ และความสูงของอาคาร (H) ไม่เกิน 23 เมตร ได้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจากแหล่งอื่นที่ดีกว่า สำหรับอาคารที่มีลักษณะนอกหรือเหนือไปจากที่กล่าวข้างต้น ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูปที่ ข.9
2. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมในรูปที่ ข.1 ถึง ข.8 แสดงในรูปของผลคูณ C_pC_g ซึ่งได้รวมเอาผลเนื่องจากการกระโชกของลมไว้แล้ว หน่วยแรงลมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์นี้เป็นหน่วยแรงลมกระโชกสูงสุดที่กระทำกับพื้นผิวของอาคารในช่วงเวลา 1 วินาที

3. การคำนวณค่าหน่วยแรงลมในบางกรณีจำเป็นต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งภายนอกและจากภายในอาคาร ในกรณีเช่นนี้ค่าหน่วยแรงลมสุทธิสำหรับการออกแบบเป็นผลรวมแบบเวคเตอร์ของหน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกอาคารและหน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกอาคารและหน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายใน โดยคำนวณได้จากสมการ

$$p_{net} = p + p_i \qquad \text{(ข-1)}$$

โดยที่

$p = I_w q C_e C_g C_p$ คือค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคารตามที่กำหนด

$p_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi}$ คือค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคารตามที่กำหนด

ทั้งนี้ การคำนวณค่าหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q) เป็นไปตามข้อกำหนด การคำนวณค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ C_e เป็นไปตามข้อกำหนด โดยให้ค่าความสูงของพื้นดิน (Z) มีค่าเท่ากับความสูงอ้างอิง (h) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $C_p C_g$ เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ข. และการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงสูงสุดที่กระทำภายในอาคาร $C_p C_g$ เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ข.

4. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูปที่ ข.1 ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักที่รับผนังหลายด้าน เช่น โครงข้อแข็งของอาคารที่รับทั้งหลังคาและผนังภายนอก เป็นต้น ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวแสดงลักษณะการกระจายตัวของแรงลม (wind load distribution) ที่ให้ค่าแรงลัพธ์ต่างๆ (horizontal trust, uplift frame moments) ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง ดังนั้นในการออกแบบจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของแรงลมที่กระทำแบบบางส่วน (partial loading) ตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.8 ของมาตรฐาน

5. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม $C_p C_g$ ที่แสดงในรูปที่ ข.2 ถึง ข.8 ใช้สำหรับออกแบบผนังภายนอกอาคาร หลังคา และชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural member) เช่น แปของหลังคา เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักที่แบกรับผนังด้านเดียว เช่น โครงสร้างหลังคาที่มีจุดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคากับโครงสร้างส่วนอื่นในลักษณะที่ไม่สามารถถ่ายโมเมนต์ดัดเข้าสู่โครงสร้างส่วนอื่นได้ เป็นต้น

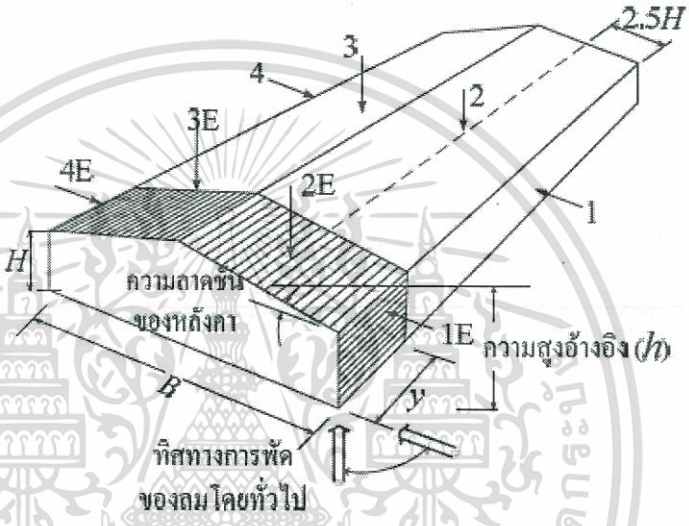
การพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ยและอาคารสูงมีลักษณะและรูปร่างต่างๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข-1 การพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ยและอาคารสูง

ประเภทอาคาร	ประเภทของโครงสร้าง	ความลาดชันของหลังคา (α)	หมายเลขของรูป	สัมประสิทธิ์ที่กำหนด
อาคารเตี้ย ที่มีค่า $H/D_z < 1$ และ $H \leq 23$ เมตร	โครงสร้างหลัก	-	ข.1	$C_p C_g$
	ค้ำเพิง	-	ข.2	
	หลังคา			
	(1) ทั่วไป	$\alpha \leq 7^\circ$	ข.3	
	(2) หลังคาลดระดับ	$\alpha = 0^\circ$	ข.4	
	(3) หลังคาจั่วและปั้นหยา	$\alpha \leq 7^\circ$	ข.3	
		$\alpha > 7^\circ$	ข.5	
	(4) หลังคาต่อเนื่อง	$\alpha \leq 10^\circ$	ข.3	
		$\alpha > 10^\circ$	ข.6	
	(5) หลังคาลาดชันด้านเดียว	$\alpha \leq 3^\circ$	ข.3	
		$3^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	ข.7	
	(6) หลังคารูปร่างฟันเลื่อย	$\alpha \leq 10^\circ$	ข.3	
		$\alpha > 10^\circ$	ข.8	
อาคารที่มีค่า $H/D_z \geq 1$ หรือ $H > 23$ เมตร	-	-	ข.9	C_p และ C_p^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระทำกรณีที่ 1 ทิศทางการพัดของลมโดยทั่วไป อยู่ในแนวตั้งฉากกับสันหลังคา

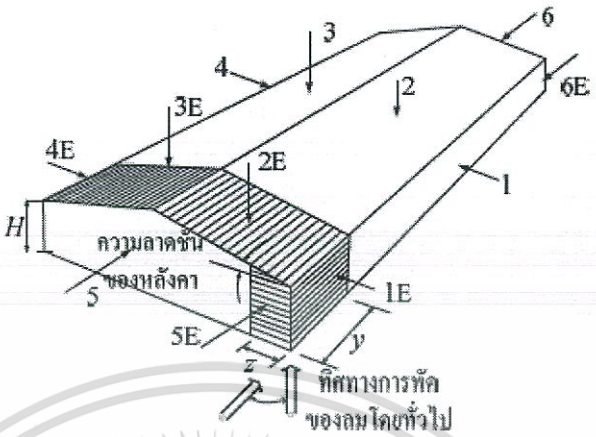


ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวของอาคาร							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
0° ถึง 5°	0.75	1.15	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.55	-0.8
20°	1.0	1.5	-1.3	-2.0	-0.9	-1.3	-0.8	-1.2
30° ถึง 45°	1.05	1.3	0.4	0.5	-0.8	-1.0	-0.7	-0.9
90°	1.05	1.3	1.05	1.3	-0.7	-0.9	-0.7	-0.9

รูปที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร C_pC_g สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่กระทำกับพื้นที่ ผิวทุกด้านของอาคารพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระทำกรณีที่ 2 ทิศทางการพัดของลมโดยทั่วไปอยู่ในแนวขนานกับสันหลังคา



ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวของอาคาร											
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
0° ถึง 90°	-0.85	-0.9	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.85	-0.9	0.75	1.15	-0.55	-0.8

รูปที่ ข.1 (ต่อ)

คำอธิบายประกอบรูปที่ ข.1

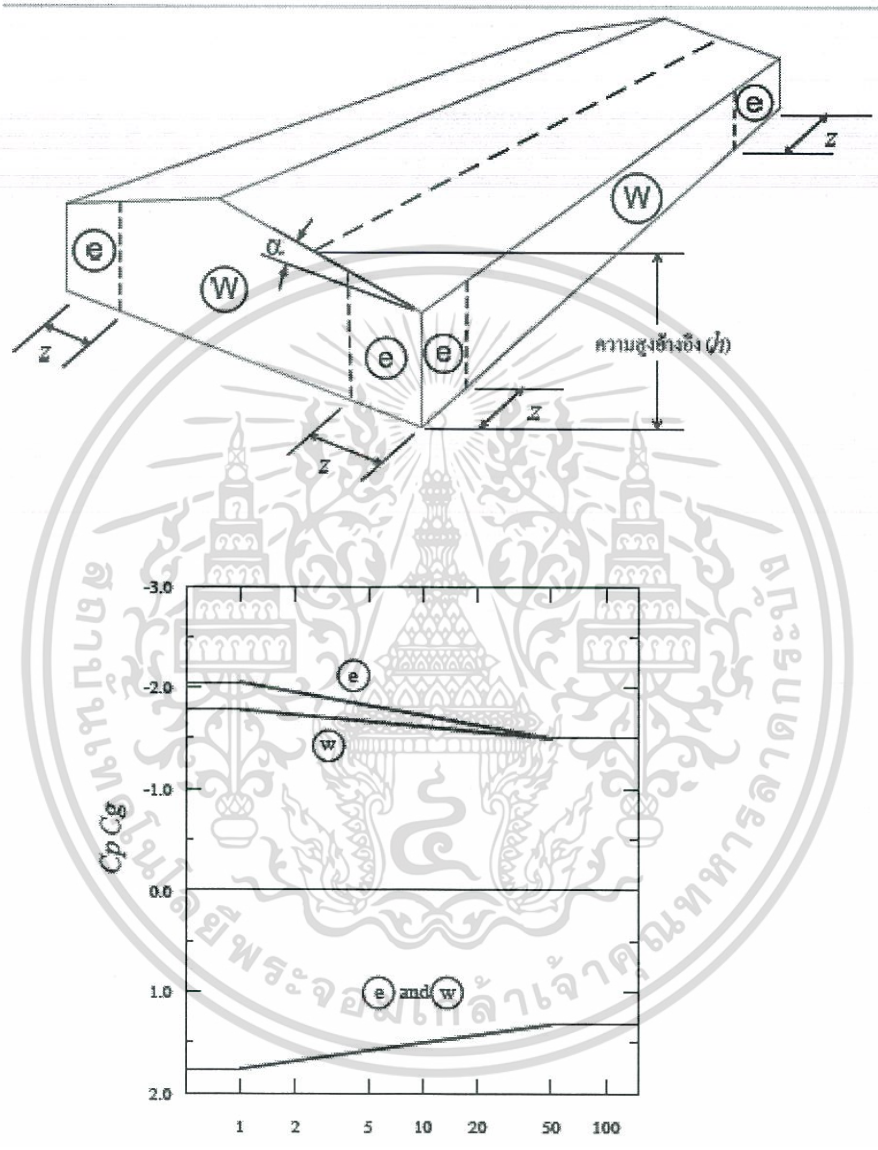
1. อาคารต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงลมได้ในทุกทิศทาง โดยที่ทั้ง 4 มุมของอาคารต้องได้รับการพิจารณาให้เป็นมุมที่รับแรงลม (windward corner) ตามรูป แรงลมที่กระทำต้องพิจารณาแยกเป็นแรงกระทำกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าแรงกระทำต่างๆรวมทั้งแรงบิดที่เกิดขึ้นกับระบบโครงสร้าง
2. สำหรับหลังคาที่มีองศาความชันเป็นค่าอื่นที่ไม่ได้แสดงไว้ในตาราง ให้เทียบบัญญัติไตรยางศ์เพื่อคำนวณหาค่า C_pC_g จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง
3. สัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าบวก แสดงถึงแรงกระทำที่พุ่งเข้าและตั้งฉากกับพื้นผิว ส่วยสัมประสิทธิ์ทีเป็นค่าลบแสดงถึงแรงกระทำที่พุ่งออกและตั้งฉากกับพื้นผิว
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร C_{pi} ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานนี้

5. สำหรับการออกแบบฐานราก (ยกเว้นส่วนที่ยึดโครงอาคารกับฐานราก (anchorages)) ให้ใช้ค่า 70% ของแรงประสิทธิผล (effective load) ในการออกแบบ
6. ความสูงอ้างอิง, h, สำหรับหน่วยแรงลม ให้ใช้ความสูงที่วัดถึงจุดกึ่งกลาง (Mid-height) ของหลังคาทั้งนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 เมตร ในกรณีความชันของหลังคาน้อยกว่า 7 องศา สามารถใช้ความสูงของชายคาแทนได้
7. ความกว้าง "Z" ของพื้นที่บริเวณขอบของผนังหน้าจั่ว (gable wall) มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง H ทั้งนี้ค่า "Z" ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
8. ความกว้าง "y" ของพื้นที่บริเวณขอบอาคาร (end zone) มีค่าเท่ากับค่าที่มากกว่าระหว่าง 6 เมตร และ 2z สำหรับอาคารที่สร้างขึ้นจากโครงข้อแข็ง (Frame) หลายๆตัวมาประกอบกัน ค่า "y" อาจจะพิจารณาให้มีค่าเท่ากับระยะที่วัดจากขอบของอาคารถึงโครงข้อแข็งภายในตัวแรก (first interior frame)
9. สำหรับแรงกระทำกรณีที่ 1 ในกรณีที่อาคารที่มีค่า B/H > 5 ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าลบบนพื้นผิว 2 และ 2E ควรจะใช้กับพื้นที่ที่กว้าง 2.5H จากขอบของอาคารด้านต้นลมเท่านั้นสำหรับพื้นส่วนที่เหลือบนพื้นผิว 2 และ 2E สามารถกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กับพื้นผิว 3 และ 3E ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



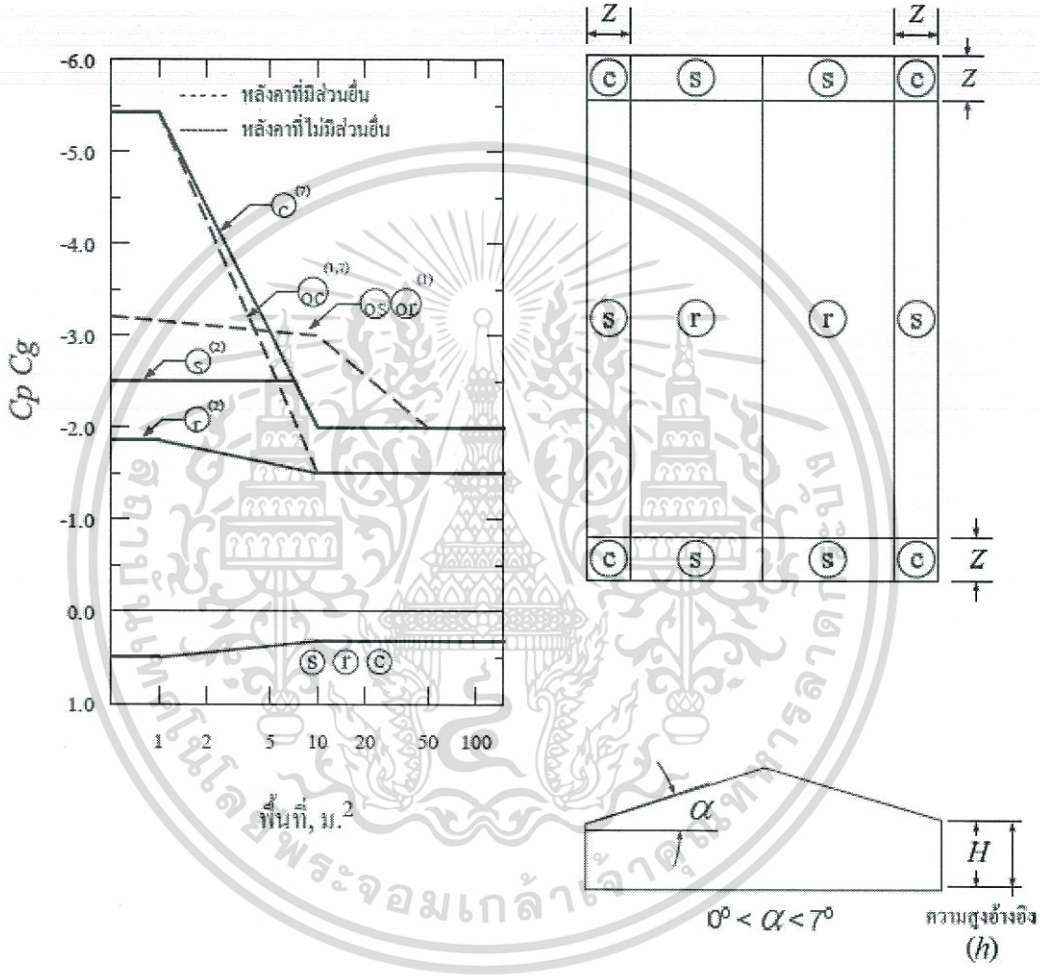
รูปที่ ข.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร (C_pC_g) สำหรับการออกแบบผนังภายนอกและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบรูปที่ ข.2

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับผนังอาคารในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่แสดงไว้ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับหลังคาทุกๆ ความชัน
3. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
4. ความกว้าง "Z" มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H ทั้งนี้ค่า "Z" ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
5. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร C_{pi} ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้
6. ค่าความสูง,h, สำหรับการคำนวณหน่วยแรงลม ให้ใช้ความสูงที่วัดถึงจุดกึ่งกลาง (mid-height) ของหลังคา แต่ทั้งนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 เมตร
7. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงลมสำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารได้ทุกประเภท ยกเว้นในกรณีที่มีครีบแนวดิ่ง (vertical ribs) ที่มีความลึกมากกว่า 1 เมตร ยึดติดอยู่กับระบบผนังภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า $C_p C_g$ = -2.8 กระทำกับโซน e ของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $(C_p C_g)$ ที่กระทำบนพื้นผิวของหลังคาที่มีค่าความชันน้อยกว่า 7° สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

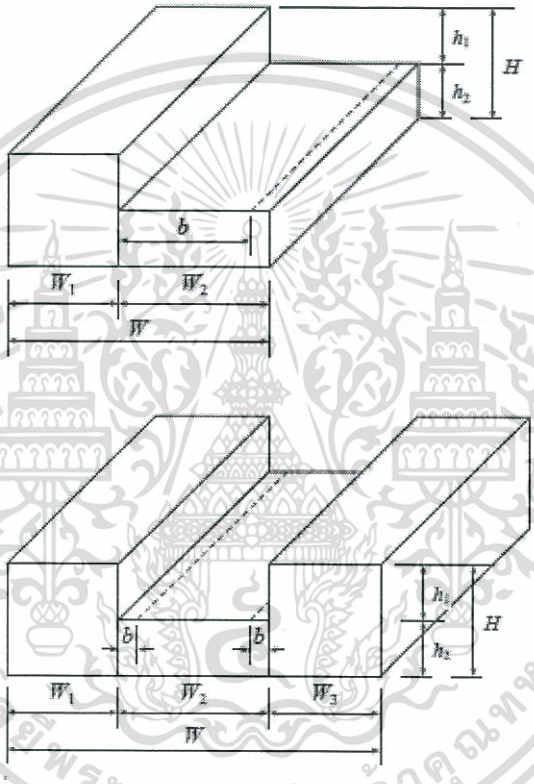
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบรูปที่ ข.3

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ในกรณีที่หลังคามีส่วนยื่น (roof with overhang) หน่วยแรงลมลัพธ์ที่กระทำต่อส่วนยื่นจะเป็นผลรวมของ หน่วยแรงลมที่กระทำพื้นผิวด้านบนและพื้นผิวด้านล่าง ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมลัพธ์สำหรับส่วนที่ยื่นดังกล่าวแสดงโดยกราฟที่มี สัญลักษณ์ "O" นำหน้า
3. ในทุกกรณีไม่ว่าหลังคามีส่วนยื่นหรือไม่มีส่วนยื่น ค่าสัมประสิทธิ์จากกราฟ s,r และ c เป็นค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้คำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนของหลังคาในโซน s,r และ c ตามลำดับ
4. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในภาพคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
5. ความกว้าง "Z" มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า "Z" ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
6. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร C_{pi} ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้
7. สำหรับการออกแบบแรงดูดของหลังคาที่มีพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบมากกว่า 100 m^2 และมีศูนย์กลางของพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบห่างจากขอบหลังคามากกว่า 2H ให้ลดค่า $C_p C_g$ เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ -1.1 ที่ x/H =2 และลดค่าลงเป็นเชิงเส้นเท่ากับ -0.6 ที่ x/H =5 โดย ที่ x = ระยะห่างจากขอบหลังคา และ H = ความสูงของหลังคา



รูปที่ ข.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $(C_p C_g)$ ที่กระทำบนหลังคาลดระดับ (stepped roof) โดยใช้ประกอบกับรูปที่ ข.3 สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบ รูปที่ ข.4

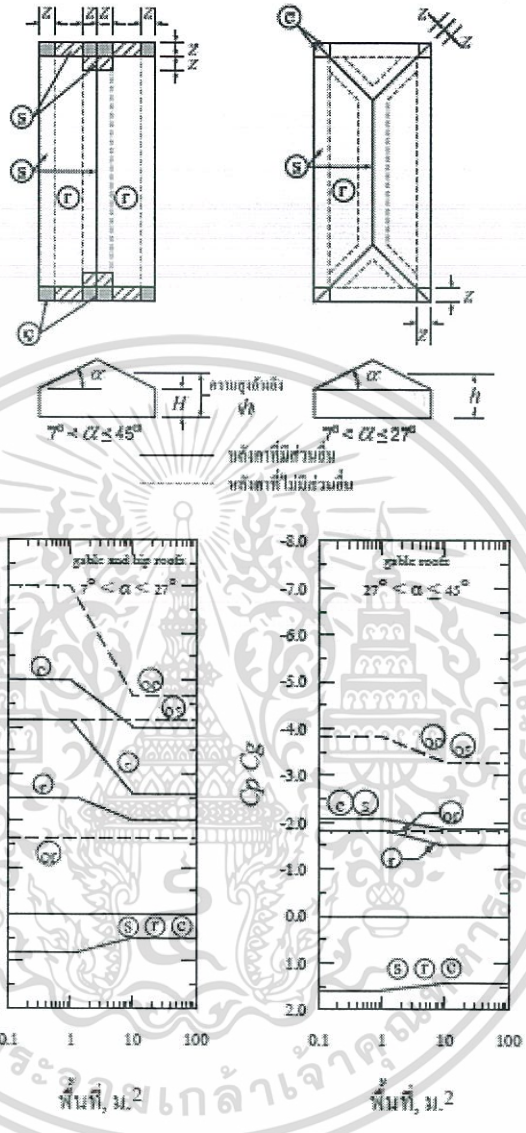
1. ค่าสัมประสิทธิ์ C_pC_g สำหรับหลังคาในรูปที่ ข.3 สามารถนำประยุกต์ใช้กับหลังคาลดระดับของอาคารที่แสดงในสภาพนี้ได้ ยกเว้นในส่วนของหลังคาลดระดับที่วัดจากกำแพงเป็นระยะ b ซึ่งในส่วนนี้ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นบวกของกำแพงในรูปที่ ข.2
2. ความกว้าง "b" มีค่าเท่ากับ 1.5h_1 และไม่เกิน 30 เมตร
3. สำหรับพื้นที่กำแพงด้านต่างๆ รวมทั้งกำแพงที่อยู่ติดกับขอบของหลังคาลดระดับ ให้แบ่งโซนและใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมทั้งค่าบวกและค่าลบเท่ากับกำแพงในรูปที่ ข.2
4. รูปที่ ข.4 ใช้ได้กับหลังคาที่มีขนาดและสัดส่วนทางเรขาคณิตที่สอดคล้องกับข้อกำหนดดังต่อไปนี้

$h_1 \geq$ 3 เมตร

$h_1 \geq$ 0.3H

0.25W $\leq$ (W_1, W_2 และ W_3) $\leq$ 0.75W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



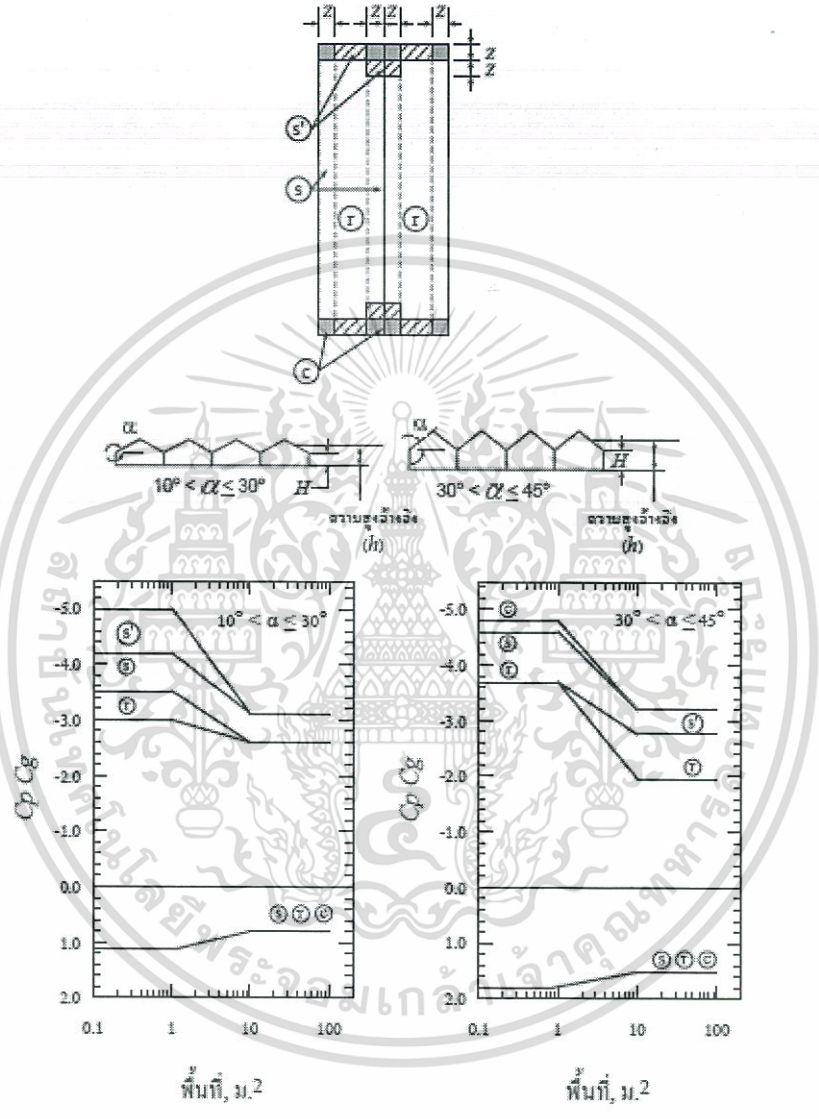
รูปที่ ข.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $(C_p C_g)$ ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า 7° สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบรูปที่ ข.5

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ในกรณีที่หลังคามีส่วนยื่น (roof with overhang) หน่วยแรงลมลัพธ์ที่กระทำต่อส่วนยื่นจะเป็นผลรวมของ หน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนและพื้นผิวด้านล่าง ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมลัพธ์สำหรับส่วนที่ยื่นดังกล่าวแสดงโดยกราฟที่มี สัญลักษณ์ “O” นำหน้า
3. ในกรณีไม่ว่าหลังคามีส่วนยื่นหรือไม่มีส่วนยื่น ค่าสัมประสิทธิ์จากกราฟ s,r และ c เป็นค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้คำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนหลังคาในโซน s,r และ c ตามลำดับ
4. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในภาพคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
5. ความกว้าง “Z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า “z” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4 % ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
6. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร C_{pi} ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $(C_p C_g)$ ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า 10° และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วงสำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบรูปที่ ข.6

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว

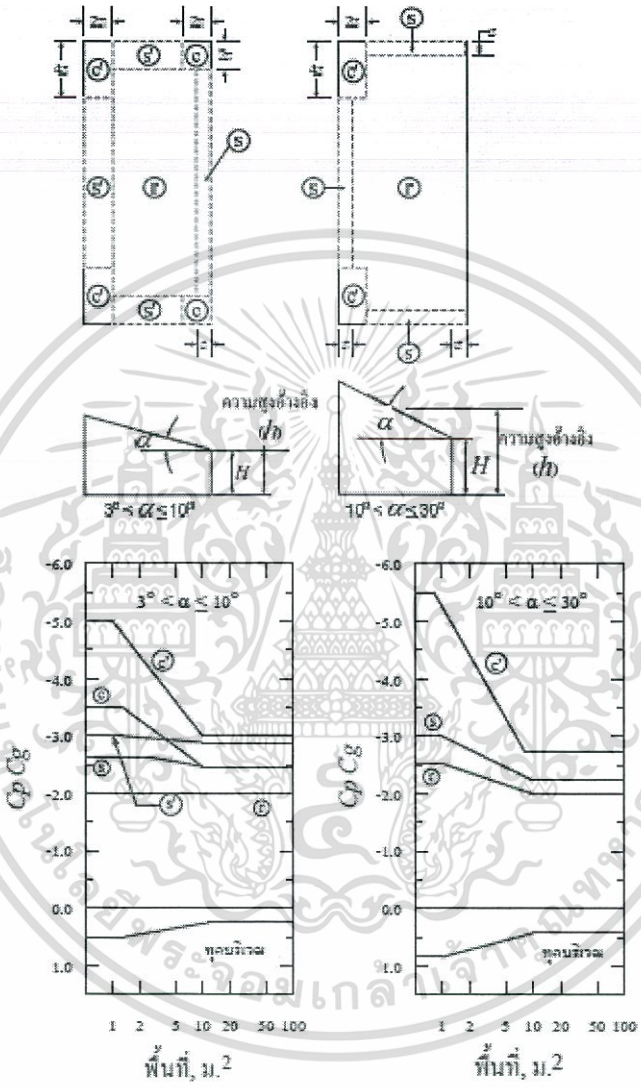
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน

3. ความกว้าง "z" มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า "z" มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร

4.ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร C_{pi} ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้

5.สำหรับหลังคาที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10° ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในรูปที่ ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



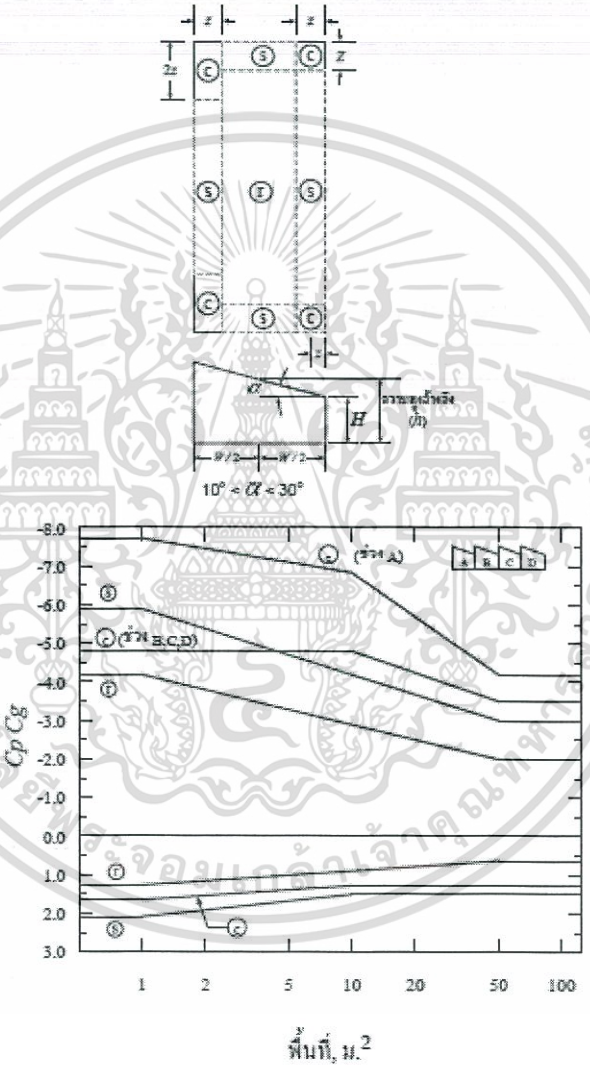
รูปที่ ข.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $(C_p C_g)$ ที่กระทำกับหลังคาที่มีความลาดชันด้านเดียว สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบ รูปที่ ข.7

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุด สำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
3. ความกว้าง "z" มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า "z" มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร C_{pi} ได้แสดงไว้ในหัวข้อ หัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯนี้
5. ค่าสัมประสิทธิ์ $C_p C_g$ ที่แสดงในรูปใช้ได้กับหลังคาที่มีค่าความชันไม่น้อย 3° ส่วนหลังคาที่มีค่าความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3° ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงในรูปที่ ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร (C_pC_g) ที่กระทำกับหลังคาลักษณะฟันเลื่อย (มีความลาดชันเพียงด้านเดียว และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วง) ที่มีความชันมากกว่า 10° สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบ รูปที่ ข.8

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุด สำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
3. ความกว้าง "z" มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า "z" มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร C_{pi} ได้แสดงไว้ในหัวข้อ หัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯนี้
5. สำหรับพื้นที่บริเวณมุมของหลังคาค่าสัมประสิทธิ์ $C_p C_g$ ที่เป็นค่าลบสำหรับที่อยู่ในช่วง A จะแตกต่างจากค่า สัมประสิทธิ์ $C_p C_g$ ของช่วง B,C และ D
6. สำหรับหลังคาที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 ° ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม สำหรับหลังคาในรูปที่ ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แรงลมออกแบบสำหรับอาคารเตี้ย

ค.1 แรงลมออกแบบสำหรับโครงสร้างหลักของอาคารเตี้ย

คำอธิบายประกอบการใช้ตารางที่ ค-1 ถึง ตารางที่ ค-4

1. ค่าหน่วยแรงลมที่แสดงในตารางที่ ค-1 ถึงตารางที่ ค-3 เป็นค่าหน่วยแรงลมลัพธ์ที่กระทบกับพื้นผิวของผนังและหลังคาของอาคาร สำหรับใช้ออกแบบโครงสร้างหลักของอาคารเตี้ยที่มีความลาดชันของหลังคาค่าต่างๆ โดยคำนึงถึงผลของความดันลมภายนอกอาคารและความดันลมภายในอาคารแล้ว
2. ค่าหน่วยแรงลมลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ ค-1 ถึงตารางที่ ค-3 เป็นหน่วยแรงลมที่กระทำกับพื้นผิวที่อยู่ในโซนต่างๆของอาคาร ตามที่กำหนดในรูปที่ ค.1 ข.1 และคำอธิบายประกอบรูป ข.1
3. ความแตกต่างของค่าหน่วยแรงลมที่แสดงในตารางที่ ค-1 ถึงตารางที่ ค-3 เป็นผลมาจากความแตกต่างของหน่วยแรงลมภายในอาคาร ซึ่งสามารถพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมได้ดังนี้
   - ตารางที่ ค-1 ใช้สำหรับอาคารที่มีลักษณะของช่องเปิดเป็นไปตามข้อกำหนดของกรณีที่ 1 (C_{pi} = -0.15 ถึง 0.0 และ C_{gi} = 2)
   - ตารางที่ ค-2 ใช้สำหรับอาคารที่มีลักษณะของช่องเปิดเป็นไปตามข้อกำหนดของกรณีที่ 2 (C_{pi} = -0.45 ถึง 0.3 และ C_{gi} = 2)
   - ตารางที่ ค-3 และ ค-3ข ใช้สำหรับอาคารที่มีลักษณะของช่องเปิดเป็นไปตามข้อกำหนดของกรณีที่ 3 (C_{pi} = -0.7 ถึง 0.7 และ C_{gi} = 2)
4. การออกแบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม หน่วยแรงลมภายในสำหรับแรงในแนวราบจะมีการหักล้างกัน เนื่องจากหน่วยแรงลมภายในอาคารด้านต้นลมและท้ายลมมีค่าเท่ากัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นตารางในภาคผนวก ค ได้รวมแรงด้านต้นลมและท้ายลมมากระทำที่ผนังด้านต้นลม อย่างไรก็ตามหน่วยแรงลมภายในมีผลสำหรับการออกแบบโครงสร้างหลังคา ตารางในภาคผนวก ค-1 และ ค-2 ใช้หน่วยแรงลมภายในเป็นบวกเป็นตัวควบคุม สำหรับหลังคาที่มีความชันน้อยกว่า 25 องศา แต่สำหรับหลักที่มีความชันมากกว่า 25 องศา ต้องตรวจสอบทั้งหน่วยแรงลมภายในเป็นลบ (หน่วยแรงลมที่กระทำในแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 1) และหน่วยแรงลมภายในเป็นบวก (หน่วยแรงลมที่กระทำในแบบที่ 2) เนื่องจากหน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำที่หลักคาด้านต้นลมและท้ายลม มีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับ ส่วนช่องเปิดในกรณีที่ 3 หน่วยแรงลมภายในมีค่ามาก ดังนั้น ตารางที่ ค-3 เป็นผลมาจากการคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายในอาคารที่เป็นค่าบวก ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าหน่วยแรงลมที่แสดงในตารางที่ ค-3ก และ ตารางที่ ค-3ข รวมเป็น 4 แบบ ในขั้นตอนของการวิเคราะห์โครงสร้าง

5. ต้องใช้ค่าหน่วยแรงลมที่กระทำในทิศทางลมตั้งฉากกับสันหลังคา และทิศทางลมขนานกับสันหลังคา เพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบที่เกิดจากทิศทางการปะทะของลม ในตารางที่ ค-1 และ ค-2 แรงแบบที่ 1 และ 2 เป็นแบบหน่วยแรงลมที่กระทำในทิศทางลมตั้งฉากกับสันหลังคา ส่วนแรงแบบที่ 3 เป็นแบบหน่วยแรงลมที่กระทำขนานกับสันหลังคา ในตารางที่ ค-3 แรงแบบที่ 1 และ 3 เป็นแบบหน่วยแรงลมที่กระทำในทิศทางลมขนานกับสันหลังคา ส่วนแรงแบบที่ 2 และ 4 เป็นแบบหน่วยแรงลมที่กระทำในทิศทางลมตั้งฉากกับสันหลังคา
6. ค่าหน่วยแรงลมลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ ค-1 ถึงตารางที่ ค-3 ใช้สำหรับอาคารที่มีความสูง 10 เมตร ตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบ A (เปิดโล่ง) และมีค่า l_w= 1 สำหรับอาคารที่มีความสูงเป็นค่าอื่นหรือตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบ B (ชานเมือง) ให้นำค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงในตารางที่ ค-4 มาคูณเพื่อปรับค่าหน่วยแรงลมให้สอดคล้องกับลักษณะของอาคารนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้