



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบการเพิ่มความจุสำหรับ Concrete Bucket

Design: Improved Capacity for Concrete Bucket

นายอภิวัชระ วีรบุรุษ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาระดับสมบูรณ

การออกแบบการเพิ่มความจุสำหรับ Concrete Bucket

Design: Improved Capacity for Concrete Bucket

นายอภิวัชระ วีรบุรุษ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การออกแบบการเพิ่มความจุสำหรับ Concrete Bucket

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นาย อภิวัชระ วีรบุรุษ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศิริธร

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณ จักรกพร ประสิทธิ์

สถานประกอบการ บริษัท นันทวัน จำกัด

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปในหน่วยงานก่อสร้างต่างๆ การเทคอนกรีต ณ ตำแหน่งที่ Placing Boom ไม่สามารถเทได้ หรือไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ Placing Boom อุปกรณ์อีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในหน่วยงานก่อสร้างกันทั่วไปเรียกว่า Concrete Bucket ซึ่งจะถูกใช้ในงานได้โดยอาศัยเครน(เช่น โมบายล์เครน ทาวเวอร์เครน เเคอร์ริคเครน) การใช้งาน Concrete Bucket จะรับคอนกรีตจากรถปูน เมื่อมีคอนกรีตเต็มความจุแล้ว เคาจะยก Concrete Bucket ไปเทตามจุดที่กำหนดไว้

สิ่งที่เป็นปัญหาในหน่วยงานก่อสร้างคือ การทำงานอื่นๆ(เช่น งานเหล็ก งานไม้แบบ)จะต้องรอเครน เนื่องจากเครนถูกใช้ในงานเทคอนกรีต ซึ่งส่วนใหญ่ Concrete Bucket ที่ใช้กันจะมีขนาดประมาณ 1-2 m³ จึงทำให้เครนต้องยก Concrete Bucket ขึ้น-ลงบ่อยครั้ง จะเป็นการเสียเวลาและอาจทำให้งานอื่นเสร็จช้ากว่าที่ได้วางแผนไว้

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ศึกษาถึงเห็นถึงความสำคัญของการออกแบบ Concrete Bucket ให้มีความจุมากขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาอื่นอีกทั้งทางบริษัท นันทวัน จำกัด ได้ทำการจัดซื้อทาวเวอร์ขนาดใหญ่ที่สามารถยกสิ่งของที่มีน้ำหนักมาก การออกแบบ Concrete Bucket นี้จะทำให้สามารถใช้ทาวเวอร์เครนได้อย่างเป็นประโยชน์ที่สุด ผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิธีการออกแบบ Concrete Bucket ให้ถูกต้องตามมาตรฐานและความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Design: Improved Capacity for Concrete Bucket

Student intern name: Mr. Apiwatchara Veeraburus

Faculty: Engineering **Department:** Civil Engineering

Advisor name: Assist.Prof Dr. Arthit Petchsasithon

Mentor name: Mr. Jakra Pornprasit

Company: THAI OBAYASHI CO.,LTD.

ABSTRACT

In general, in construction sites, for concrete work using Placing Boom which can not work or not necessary to use, the alternative equipment commonly use in construction sites is Concrete Bucket that can be operated by crane (such as Mobile Crane, Tower Crane, Derrick Crane). To use Concrete Bucket, it was filled by cement trucks until capacity was full, then the crane will lift Concrete Bucket to discharge concrete at task areas.

What is the problem in construction sites is that other works (such as metal work and formwork work) have to wait for the crane due to using in concrete pouring procedure. Mainly, maximum capacity of Concrete Bucket is around 1-2 m³ approximately causing the crane has to lift Concrete Bucket frequently. Consequently, it is the unexpectable waste of time and may be affect other works to be delayed their schedule.

From the problem mentioned above, for the researcher, it is obvious that the importance of design the Concrete Bucket to maximize capacity can solve this problem. Furthurmore, THAI OBAYASHI CO.,LTD. have buy huge tower crane that can lift heavy weight objects which could be fulfilled potentially useful. Therefore, the researcher has to study about design correctly and safety.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินโครงการสหกิจศึกษา อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานสหกิจศึกษาของขอบคุณ บริษัท นันทวัน จำกัด สำหรับการอนุญาตให้เข้าไปฝึกงานและศึกษาเรียนรู้การทำงานกับทางบริษัท นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณ จักร่า พรประสิทธิ์ ผู้นิเทศงานสหกิจ และพี่พนักงานทุกท่านทั้งในสำนักงานใหญ่และในหน่วยงานก่อสร้าง สามย่านมิตรทาวน์ ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกๆด้านระหว่างการดำเนินงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มีโครงการสหกิจศึกษา อันเป็นโครงการที่มีประโยชน์อย่างยิ่งแก่นักศึกษา ให้โอกาสนักศึกษาได้ทดลองทำงานจริงกับทางบริษัทที่นักศึกษามุ่งไว้ พัฒนาทักษะการทำงานและความรู้ของนักศึกษาเพื่อเตรียมตัวเข้าสู่การทำงานหลังจบการศึกษาจากสถาบันนี้

อภิวัชระ วีรบุรุษ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 Structural Analysis	4
2.1.1 แบบของฐานรองรับ (Type of Supports)	6
2.1.2 จุดต่อหรือข้อต่อระหว่างชิ้นส่วน	6
2.1.3 สมการสมดุล (Equation of Equilibrium)	7
2.1.4 สมการเงื่อนไข	7
2.1.5 คาน (Beam)	8
2.1.6 โครงข้อหมุน (Truss)	11
2.2 Reinforced Concrete Design	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ IV ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

2.2.1 คานต่อเนื่อง	13
2.2.2 พื้น	14
2.3 Fluid Pressure	15
2.4 Steel Design	18
2.4.1 เหล็กโครงสร้าง	18
2.4.2 น้ำหนักบรรทุก (Load)	24
2.4.3 การออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ Allowable Stress Design (ASD)	25
2.4.4 โครงสร้างรับแรงดึง	25
2.4.5 โครงสร้างรับแรงอัด	27
2.4.6 โครงสร้างรับแรงดัด	31
2.4.7 สลักเกลียว (Bolt)	36
2.4.8 รอยเชื่อม	41
2.5 Strength of Material	45
2.5.1 Hoop Stress	45
2.5.2 การออกแบบผิวถังเหล็ก	46
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 เอกสาร และเอกสารเกี่ยวข้อง	47
3.2 วงกรอบขอบเขตของการศึกษาและกำหนดแนวทางในการออกแบบ	48
3.3 การศึกษาชนิดและการใช้งานของ Concrete Bucket เพื่อนำมาออกแบบ	48
3.4 ร่าง Concrete Bucket ขนาดคร่าวๆ	49
3.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง	50
3.6 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก	54
3.7 การเขียนแบบ	58
3.8 เปรียบเทียบเวลาระหว่าง Concrete Bucket 1 m ³ และ 5 m ³	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลที่ได้จากการคำนวณ	61
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารที่เกี่ยวข้อง	65
ภาคผนวก ก.	66
ภาคผนวก ข.	95
ภาคผนวก ค.	100
ภาคผนวก ง.	109
ภาคผนวก จ.	131
ประวัติผู้เขียน	140



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VI ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงข้อหมุนรูปแบบต่างๆ	5
2.2 รูปแบบของฐานรองรับ	6
2.3 ข้อต่อแบบ Pin Joint และ Fixed Joint	7
2.4 Free Body Diagram ของ โครงสร้าง	7
2.5 ข้อต่อภายในชิ้นส่วน	8
2.6 SFD และ BMD ของคาน	9
2.7 สูตรการหา M_{max} และ Deflection δ_{max}	10
2.8 ตัวอย่าง โครงข้อหมุน	11
2.9 Method of Joint	12
2.10 Method of Section	13
2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ของ โมเมนต์และแรงเฉือนสำหรับคานต่อเนื่อง	14
2.13 ความดันที่ความลึก h ในของเหลวหนาแน่น ρ	16
2.14 ความดันที่กระทำกับภาชนะด้านข้าง	17
2.15 stress-strain ของเหล็กโครงสร้างชนิดต่างๆ	19
2.16 หน้าตัดของเหล็กโครงสร้างชนิดรีร้อน	21
2.17 แสดงขนาดของเหล็กหน้าตัด H และ เหล็กหน้าตัด L	21
2.18 หน้าตัดของเหล็กโครงสร้างชนิดรีร้อน	22
2.19 การวิบัติแบบ Block Shear	26
2.20 การกระจายหน่วยแรงไม่สม่ำเสมอ	27
2.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤตและอัตราส่วนความชะลูดของเสา	29
2.22 คานเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ถูกกระทำโดยโมเมนต์ดัด M รอบแกนสะเทิน	31
2.23 การโก่งเดาะที่ปีกและเอวของคานหน้าตัด W	33
2.24 หน้าตัดคานรับแรงเฉือน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.25	แผนภูมิการรับแรงของแผ่นเหล็ก	36
2.26	สลักเกลียวไม่แตงผิว	37
2.27	สลักเกลียวกำลังสูง	38
2.28	ลักษณะการถ่ายแรงของสลักเกลียวทั้ง 2 ประเภท	38
2.29	หลักการใช้งานของสลักเกลียวกำลังสูง	39
2.30	การวิบัติของสลักเกลียว	40
2.31	รอยเชื่อมพอก (fillet weld)	42
2.32	รอยเชื่อมเซาะร่อง (groove weld)	42
2.33	ระนาบวิบัติของรอยเชื่อมพอก	43
2.34	ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง	46
3.1	ขนาดของรถโมไฮญุ่ 5 m ³ Cpac	49
3.2	ขนาดคร่าวๆของ concrete bucket สำหรับบรรจุคอนกรีต 5 m ³	50
3.3	concrete bucket ขณะใช้งาน	51
3.4	กลุ่มชิ้นส่วน โครงสร้างของ concrete bucket	52
3.5	สูตรการหา M_{max} และ Deflection δ_{max}	53
3.6	ชิ้นงาน concrete bucket ในโปรแกรม sketchup	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกลและลักษณะการใช้งานของเหล็กโครงสร้างตามมาตรฐาน ASTM	20
2.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกลวงตามมาตรฐาน มอก.	23
2.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณตามมาตรฐาน มอก.	23
2.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กโครงสร้างตามมาตรฐาน มอก.	23
2.5 แสดงค่า K ที่ปลายเสาที่มีสภาพแบบต่างๆ	28
2.6 คุณสมบัติเชิงกลของสลักเกลียว (ASTM)	37
2.7 กำลังรับแรงเฉือนของสลักเกลียว	40
2.8 ระยะห่างต่ำจากจุดศูนย์กลางรูเจาะจนถึงขอบแผ่นเหล็ก	41
2.9 ขนาดเล็กที่สุดของรอยเชื่อม	44
3.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ concrete bucket แต่ละชนิด	49
3.2 การเปรียบเทียบเวลาระหว่าง Concrete Bucket 1 m ³ และ 5 m ³	60
4.1 รายการชิ้นส่วนเหล็กสำหรับ Concrete Bucket	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในการเทคอนกรีตนั้น Concrete Bucket ก็เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้เทคอนกรีตซึ่งมักจะใช้กับงานอาคารสูง Concrete Bucket นั้นจะใช้งานคู่กับทาวเวอร์เครน โดยการใช้ทาวเวอร์เครนยก Concrete Bucket จากจุดรับคอนกรีตไปยังจุดที่จะเท โดยปกติแล้ว Concrete Bucket ที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปมักมีขนาดอยู่ที่ 1 หรือ 2 m³ เมื่อมีงานเทคอนกรีตในปริมาณมาก(ที่ไม่ใช่ Placing Boom)ทาวเวอร์เครนจะเสียเวลาไปกับการยก Concrete Bucket ที่ยกได้แค่ครั้งละ 1-2 m³ ไม่เพียงเท่านั้น รถปูนเองก็ต้องจอดรอเพื่อที่จะไหลลงปูนออกจากคันรถให้หมด

ผู้ศึกษาเล็งเห็นปัญหาของโครงการหนึ่งจึงได้ทำการออกแบบ Concrete Bucket ขนาด 5 m³ สำหรับนำไปใช้งานในโครงการ เนื่องมาจากการเทเสา Concrete Filling Tube(CFT) จะต้องใช้ Concrete Bucket ในการเทซึ่ง CFT นี้จะต้องใช้คอนกรีตในปริมาณมาก อีกทั้งยังอยู่ห่างจากจุดที่ Placing Boom จะใช้งาน

อีกหนึ่งปัจจัยที่ผู้ศึกษาริเริ่มหัวข้อ โครงงานนี้คือ ทาวเวอร์เครนในโครงการนี้มีขนาดใหญ่ สามารถยกน้ำหนักมากๆ ได้ ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาผังโครงการและพบว่าจุดที่ใกล้ที่สุดที่สามารถยก Concrete Bucket ได้ ทาวเวอร์จะสามารถยกน้ำหนักได้ถึง 15 ตัน จึงจะเป็นการดีที่จะใช้ Concrete Bucket ที่มีความจุ 5 m³ เพื่อให้งานอื่นๆ(เช่น งานเหล็ก งานไม้ งานระบบ ฯลฯ)ไม่ต้องรอทาวเวอร์เครนนานเกินไป

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นของโครงการ ผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าและวิธีการออกแบบ Concrete Bucket ให้ถูกต้องและปลอดภัยตามหลักการออกแบบ โครงสร้างเหล็กเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในหน้างานจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการบรรจุปริมาตรของคอนกรีตได้มากขึ้น
2. เพื่อประหยัดรอบของการเทคอนกรีตเนื่องจากเสียเวลาในการยก Concrete Bucket ด้วยเครน
3. สามารถเทคอนกรีตในปริมาณที่มากกว่าเดิมได้ต่อการยกโดยเครน 1 ครั้ง
4. เพื่อไม่ต้องใช้ Placing Boom โดยไม่จำเป็น
5. งานอื่นๆไม่ต้องรอทาวเวอร์เครนนานเกินไป

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้ ผู้ศึกษาทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ โครงสร้างเหล็กเพื่อนำไปประยุกต์กับการออกแบบ Concrete Bucket ที่จะนำไปใช้งานในโครงการ ด้วยวิธี ASD โดยใช้มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(วสท.) และ American Institute of Steel Construction(AISC) โดยผู้ศึกษามุ่งศึกษาเพื่อเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของเหล็กในการรับแรงตามบริบทต่างๆของ Concrete Bucket และศึกษาขนาดที่เหมาะสมแก่การใช้งานจริง ระยะเวลาที่ผู้ศึกษาใช้เวลาในการศึกษาและจัดทำโครงการตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม 2561 ถึงวันที่ 23 พฤศจิกายน 2561 เป็นเวลาทั้งหมด 16 สัปดาห์

1.4 วิธีการดำเนินงาน

การศึกษานี้ ผู้ศึกษาได้เริ่มศึกษาจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องซึ่งแบ่งได้แก่ ขนาดที่เหมาะสมแก่การใช้งาน ข้อมูลเกี่ยวข้องกับการออกแบบองค์อาคารเหล็ก(Steel Design) ข้อกำหนดและมาตรฐานที่ใช้ออกแบบ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชิ้นงาน Concrete Bucket และกำหนดวิธีการขั้นตอนในการออกแบบ และทำการเขียนแบบ(Drawing)เพื่อส่งให้ทางบริษัท นันทวัน จำกัด นำไปสร้างและประกอบชิ้นงาน สุดท้ายทำการเปรียบเทียบเวลาของ Concrete Bucket

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการของการออกแบบองค์อาคารเหล็กให้ได้ตามมาตรฐานและความปลอดภัย
2. สามารถหาวิธีการและขั้นตอนในดำเนินการออกแบบชิ้นงานให้เรียบเรียงเป็นระบบ
3. สามารถพิจารณาการเลือกใช้ขนาด และคุณสมบัติต่างๆของเหล็กที่จะใช้ประกอบชิ้นงาน
4. สามารถนำความรู้การออกแบบโครงสร้างเหล็กไปประยุกต์ใช้และแก้ไขปัญหาหน้างานได้



บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Structural Analysis

การออกแบบโครงสร้างมีประวัติมาอย่างยาวนาน โครงสร้างคาน(Beam) คานโค้ง(Arch) โครงสร้าง
ท่อน(Truss) และ โครงสร้างข้อแข็ง(Frame) มีการพัฒนาเพื่อนำไปก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างต่างๆมาแล้วเป็นพันปี
ก่อนที่จะมีวิธีวิเคราะห์โครงสร้างให้นำมาใช้ในปัจจุบัน

โครงสร้าง คือ ชิ้นส่วน โครงสร้างหรือส่วนขององค์อาคารที่ประกอบกันเป็นระบบเพื่อทำหน้าที่รับ
น้ำหนักต่างๆ(น้ำหนักของตัว โครงสร้างหรือน้ำหนักบรรทุกใช้งาน) ลักษณะของโครงสร้างที่ประกอบ
กันเป็นระบบโดยทั่วไปเช่น อาคาร สะพาน โครงหลังคาเหล็ก เป็นต้น โดยชิ้นส่วนของโครงสร้างจะ
ประกอบกันเป็น โครงสร้างและทำหน้าที่รับน้ำหนักอย่างสัมพันธ์กัน การวิเคราะห์โครงสร้างเป็นการ
คำนวณหาค่าแรงที่เกิดขึ้นกับ โครงสร้างและคาดการณ์ลักษณะของ โครงสร้างที่เกิดขึ้นหลังจากรับ
น้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำ ในการหาผลของแรงที่เกิดขึ้นกับ โครงสร้างมักจะสนใจค่าของแรง
ภายในต่างๆ เช่น แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด เป็นต้น รวมถึงแรงปฏิกิริยา และการโค้ง
ตัวในจุดต่างๆที่สนใจหรือทั้งหมดของโครงสร้างที่ต้องการออกแบบ

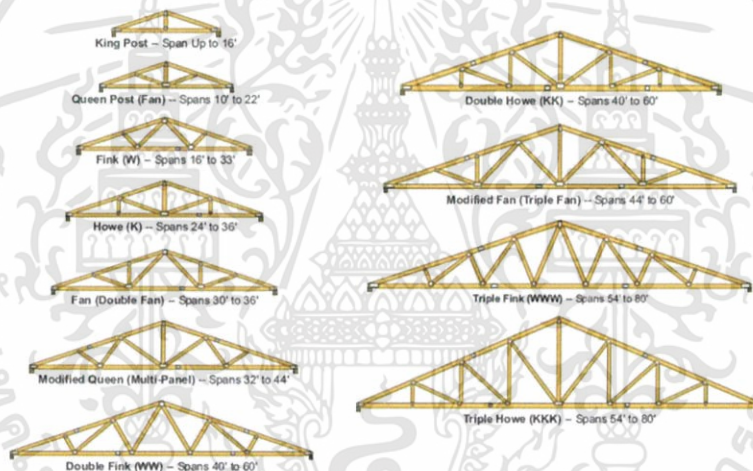
ระบบต่างๆของโครงสร้างมีส่วนประกอบเบื้องต้นดังต่อไปนี้

ตัวยึด(Ties)	ชิ้นส่วน โครงสร้างประเภทนี้สามารถรับแรงดึงได้เพียงอย่างเดียว
ตัวค้ำ(Struts)	ชิ้นส่วน โครงสร้างประเภทนี้สามารถรับแรงอัดได้เพียงอย่างเดียว
คาน(Beam)	ชิ้นส่วน โครงสร้างประเภทนี้สามารถรับแรงดัด ส่วนใหญ่แล้วจะวางใน แนวราบและรับแรงในแนวตั้ง

เสา(Columns) ชั้นส่วน โครงสร้างประเภทนี้แรงหลักจะรับแรงอัดทางแนวแกน ส่วนใหญ่
แล้วจะวางในแนวดิ่ง

แผ่น(Diaphragms) ชั้นส่วน โครงสร้างประเภทนี้มีความแข็งในระนาบสูงมาก มีลักษณะเป็น
แผ่นแบน

ส่วนประกอบเหล่านี้เมื่อนำมาประกอบกันจะเป็นระบบ โครงสร้าง โดยปกติในอาคารจะประกอบ
ไปด้วย เสา คานและพื้น หรืออีกรูปแบบหนึ่งคือการนำตัวยึดประกอบกับค้ำยันหลายๆชั้นจะเกิดเป็น
โครงข้อหมุน(Truss) ซึ่งสมมติฐานของ โครงข้อหมุน ชั้นส่วนที่นำมาประกอบนั้นจะรับแรงดึงหรือ
แรงอัดเพียงแรงเดียว ข้อต่อทุกข้อต่อไม่สามารถรับโมเมนต์ได้ และแรงกระทำต้องกระทำที่ข้อต่อเท่านั้น



ภาพที่ 2.1 โครงข้อหมุนรูปแบบต่างๆ

(ที่มา: <http://design.medeek.com/support/trusspluginmanual/commontruss.html>)

2.1.1 แบบของฐานรองรับ (Type of Supports)

รูปแบบของฐานรองรับ				
ลำดับที่	แบบของฐานรองรับ	สัญลักษณ์	แรงปฏิกิริยา	ลักษณะแรง
1.	ยึดหมุนเคลื่อนที่ได้หรือลูกกลิ้ง(Roller)		1 แรง R_y	สามารถรับแรงในแนวตั้งฉากกับฐานรองรับ
2.	ยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้หรือบานพับ(Pin)		2 แรง R_x และ R_y	สามารถรับแรงทั้งตั้งฉากและขนานกับฐานรองรับ
3.	ยึดแน่น(Fixed)		3 แรง R_x, R_y และ M	สามารถรับแรงได้ทั้ง 3 แรงในระบบพิกัด

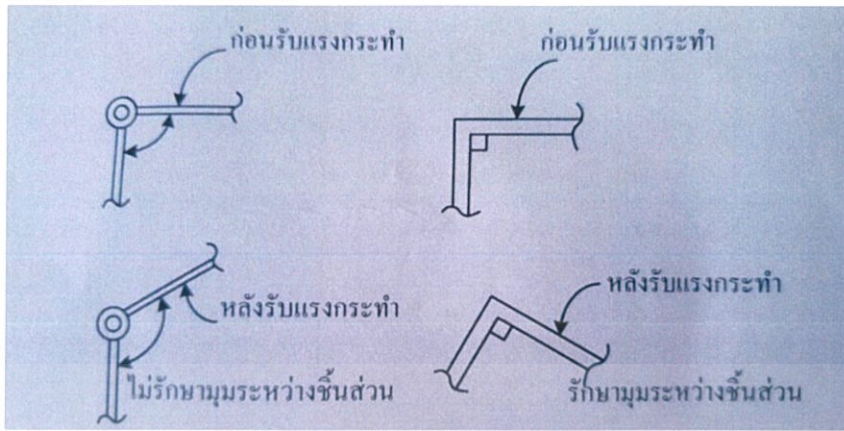
ภาพที่ 2.2 รูปแบบของฐานรองรับ

(ที่มา: Structures Analysis รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์)

2.1.2 จุดต่อหรือข้อต่อระหว่างชิ้นส่วน

องค์อาคารหรือชิ้นส่วนสามารถต่อกันได้หลายแบบแล้วแต่ความต้องการของผู้ออกแบบ แบบที่นิยมใช้กันคือ ข้อต่อแบบหมุน(Pin Joint) และข้อต่อแบบแข็ง(Fixed Joint) โดยที่ข้อต่อแบบหมุนชิ้นส่วนจะสามารถหมุนได้อย่างอิสระ ซึ่งข้อต่อแบบนี้จะรับโมเมนต์คัตไม่ได้ จะใช้ในการถ่ายแรงเพียงอย่างเดียว ดังนั้นผลรวมของโมเมนต์คัตตรงจุดต่อจึงเป็นศูนย์($\sum M=0$)

ในระหว่างที่จุดต่อแบบแข็งจะยึดปลายชิ้นส่วนที่มาต่อกันทำให้ไม่สามารถหมุนได้อย่างอิสระ และจะรักษามุมระหว่างชิ้นส่วนให้คงเดิมจึงมีค่าโมเมนต์คัตเกิดขึ้น จะใช้ในการถ่ายโมเมนต์คัตและถ่ายแรงเฉือน ซึ่งข้อต่อในลักษณะนี้ไม่อาจนำมาใช้วิเคราะห์ได้เพราะว่าไม่อาจหาค่าความแข็งเชิงหมุนมาประกอบการวิเคราะห์ได้อย่างง่าย ๆ

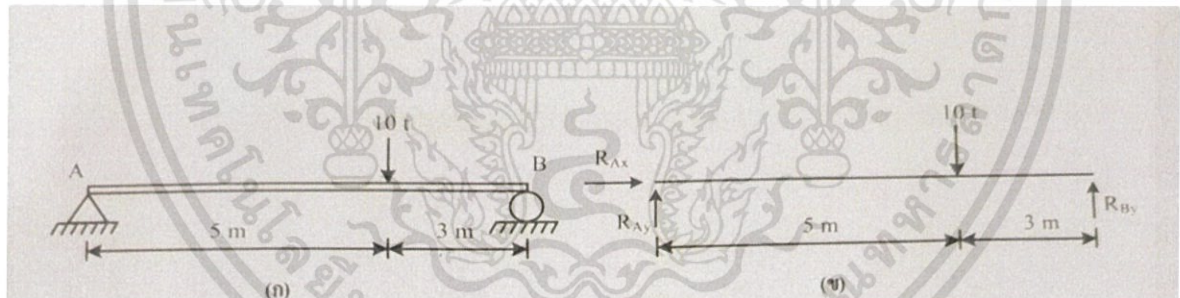


ภาพที่ 2.3 ข้อต่อแบบ Pin Joint และ Fixed Joint

(ที่มา: Structures Analysis รศ.สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์)

2.1.3 สมการสมดุล (Equation of Equilibrium)

สมการสมดุลในที่นี้จะกล่าวเฉพาะสมการสมดุลทางสถิต แรงกระทำทั้งหมดที่กระทำกับชิ้นส่วน โครงสร้างจะต้องเท่ากับแรงปฏิกิริยาทั้งหมดจากฐานรองรับ นั่นหมายความว่า โครงสร้างในรูป 2.4 ต้องไม่เคลื่อนที่ในแนวราบ ($\sum F_x = 0$) ต้องไม่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง ($\sum F_y = 0$) และต้องไม่หมุน ($\sum M_z = 0$)



ภาพที่ 2.4 Free Body Diagram ของโครงสร้าง

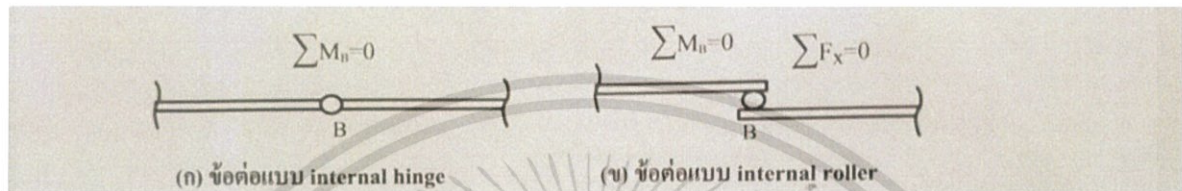
(ที่มา: Structures Analysis รศ.สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์)

2.1.4 สมการเงื่อนไข

เมื่อภายใน โครงสร้างมีจุดต่อแบบข้อต่อหมุนภายในแบบเคลื่อนที่ไม่ได้ (Internal Hinge) หรือ หมุนภายในแบบเคลื่อนที่ได้ (Internal Roller) ทำให้ได้สมการเงื่อนไขเพิ่มเติมในการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

โดยที่ข้อต่อหมุนภายในแบบเคลื่อนที่ไม่ได้ (Internal Hinge) สามารถถ่ายแรงเฉือนและแรงแนวแกนได้แต่ไม่สามารถรับโมเมนต์ได้ ดังนั้นสมการเงื่อนไขที่จุดต่อเป็น $\sum M=0$ ดังนั้นจะได้สมการเงื่อนไขอีก 1 สมการ

สำหรับข้อต่อหมุนภายในแบบเคลื่อนที่ได้ (Internal Roller) สามารถถ่ายแรงเฉือนได้แต่ไม่สามารถถ่ายแรงแนวแกนและโมเมนต์ได้ ดังนั้นจะได้สมการเงื่อนไขอีก 2 สมการ ($\sum F_x=0, \sum M=0$)



ภาพที่ 2.5 ข้อต่อภายในชิ้นส่วน

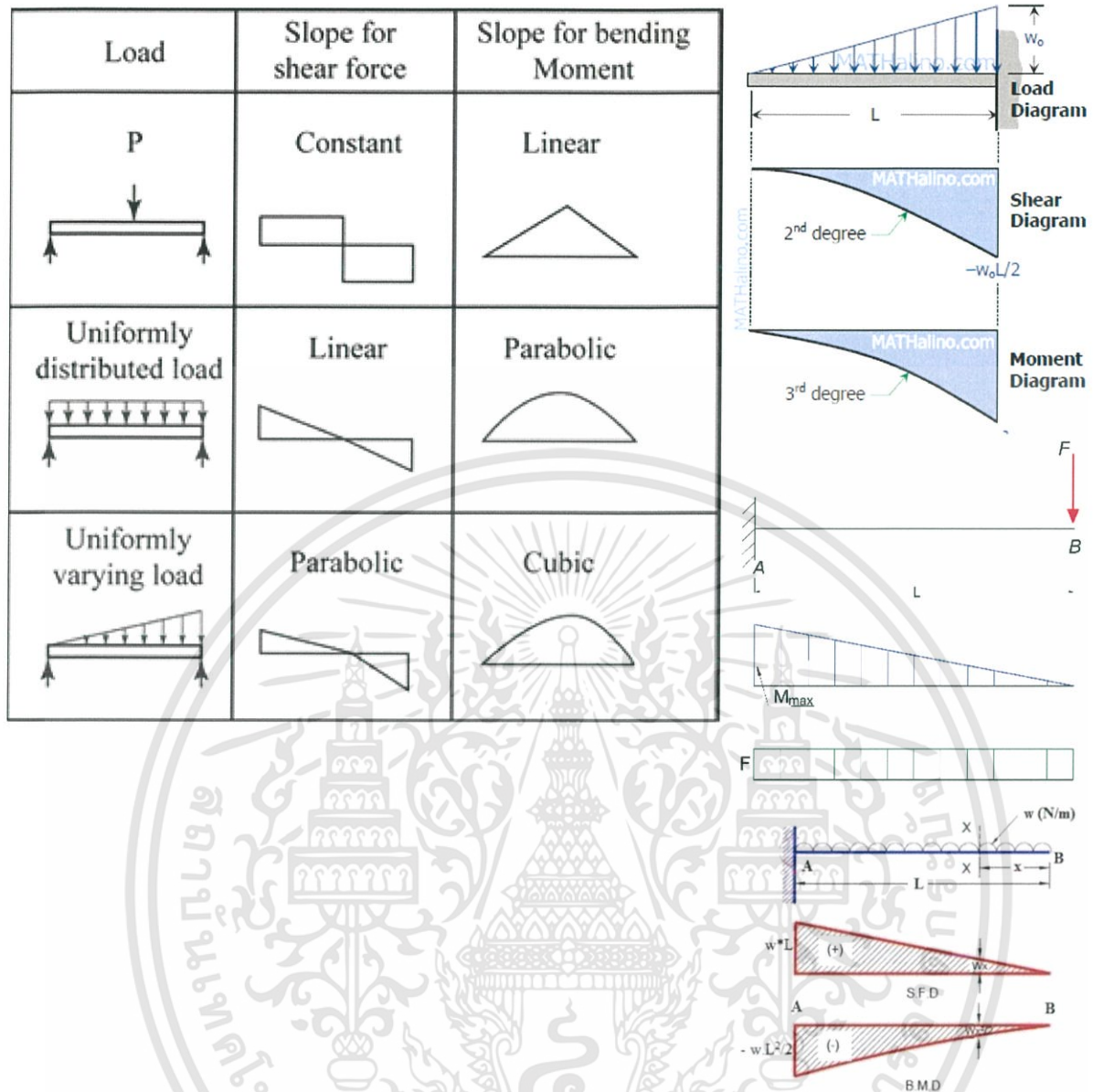
(ที่มา: Structures Analysis รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์)

2.1.5 คาน(Beam)

คานเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีหน้าที่รับแรงดัดเป็นหลัก ส่วนใหญ่จะรับน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายมาจากพื้น (Slab) ในรูปแบบของน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจาย (Distributed Load) หรือรับน้ำหนักกระทำแบบจุด (Point Load) จากคาง (Joist) เพื่อทำการถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงไปที่เสา (Column) แล้วลงสู่ฐานราก

ฐานรองรับของคานที่มักใช้กันคือ Pin, Roller หรือ Fixed Support โดยขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบหรือพฤติกรรมตามความเป็นจริงของโครงสร้าง คานในที่นี้จะกล่าวถึงคานช่วงเดียว ซึ่งรูปแบบของฐานรองรับที่อยู่ระจุดปลายของคานมีผลต่อความเป็นดิเทอร์มิเนท โดยฐานรองรับที่นิยมใช้ในการออกแบบมากที่สุดจะเป็น Pin-Roller เพื่อให้ง่ายสำหรับการออกแบบ (Simplified Design)

สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้าง น้ำหนักกระทำกับคานจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในชิ้นส่วน โดยสามารถใช้วิธีหน้าตัด (Section Method) เพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นนำไปเขียนแผนภาพโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) และแผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram)



ภาพที่ 2.6 SFD และ BMD ของคาน

(ที่มา: <https://www.chegg.com/homework-help/definitions/shear-and-moment-diagrams-5>

<http://www.fotoimage.org/cantilever-beams-shear-and-moment-diagrams/>

https://www.engineeringtoolbox.com/cantilever-beams-d_1848.html

http://www.hkdivedi.com/2017/03/shear-force-and-bending-moment-diagram_30.html)

การออกแบบคานในโครงสร้าง อย่างที่ได้กล่าวมา คานมีหน้าที่รับแรงคดเป็นหลัก ดังนั้นการออกแบบคานเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำจะเน้นไปที่การหาโมเมนต์คดสูงสุด(M_{max}) แต่ยังมีอีกผลตอบสนองที่เกิดขึ้นกับคานที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าโมเมนต์คดที่เกิดขึ้นนั่นก็คือ การโก่งตัว (Deflection) ซึ่งการโก่งตัวคือการที่ชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นมีการโก่งภายใต้แรงกระทำทำให้ในหน้าตัดเดียวกันของชิ้นส่วนนั้นเกิดความเค้นอัดและความเค้นดึงซึ่งแบ่งบริเวณที่เกิดความเค้นนี้โดย Neutral Axis ซึ่งจะนำมารการแตกร้าวหรือการเสียรูปในชิ้นส่วน โครงสร้างนั้น การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงการโก่งตัวสูงสุด(δ_{max})เช่นกัน

Loading Diagram	Shear Force at x: Q_x	Bending Moment at x: M_x	Deflection at x: δ_x
	$Q_A = \frac{Wb}{L}$ $Q_B = -\frac{Wa}{L}$	$M_c = \frac{Wab}{L}$ When $a = b$ $M_c = \frac{WL}{4}$	$\delta_c = \frac{Wa^2b^2}{3EI}$
	$Q_A = \frac{W}{2}$ $Q_B = -\frac{W}{2}$	$M_{max} = \frac{WL}{8}$ at $x = \frac{L}{2}$	$\delta_{max} = \frac{5WL^4}{384EI}$ at $x = \frac{L}{2}$
	$Q_A = \frac{2W}{3} = \frac{wl}{3}$ $Q_B = -\frac{W}{3} = -\frac{wl}{6}$	$M_{max} = 0.064 wL^2$ at $x = 0.577L$	$\delta_{max} = 0.00652 \frac{wL^4}{EI}$ at $x = 0.519L$
	$Q_A = \frac{W}{2} = \frac{wl}{4}$ $Q_B = -\frac{W}{2} = -\frac{wl}{4}$	$M_{max} = \frac{wL^2}{12}$ at $x = \frac{L}{2}$	$\delta_{max} = \frac{wL^4}{120EI}$ at $x = \frac{L}{2}$
	$Q_A = Q_B = W$	$M_A = -Wl$	$\delta_B = \frac{WL^3}{3EI}$
	$Q_A = W$ $Q_B = 0$	$M_A = -\frac{WL}{2} = -\frac{wl^2}{2}$	$\delta_B = \frac{WL^3}{3EI} = \frac{wl^4}{3EI}$
	$Q_A = W$ $Q_B = 0$	$M_A = -\frac{WL}{3} = -\frac{wL^2}{6}$	$\delta_B = \frac{wL^4}{30EI}$
	$Q_A = \frac{Wb}{L}$ $Q_B = -\frac{Wa}{L}$	$M_A = -\frac{Wab^2}{L^2}$ $M_B = \frac{Wa^2b}{L^2}$	$\delta_c = \frac{Wa^2b^2}{3EIL^3}$
	$Q_A = \frac{W}{2}$ $Q_B = -\frac{W}{2}$	$M_A = M_B = \frac{WL}{12}$	$\delta_c = \frac{WL^3}{384EI}$
	$Q_A = \frac{2W}{3}$ $Q_B = -\frac{W}{3}$	$M_A = \frac{WL}{10} = \frac{wL^2}{20}$ $M_B = -\frac{WL}{15} = -\frac{wL^2}{30}$	$\delta_{max} = \frac{wL^4}{764EI}$ at $x = 0.475L$

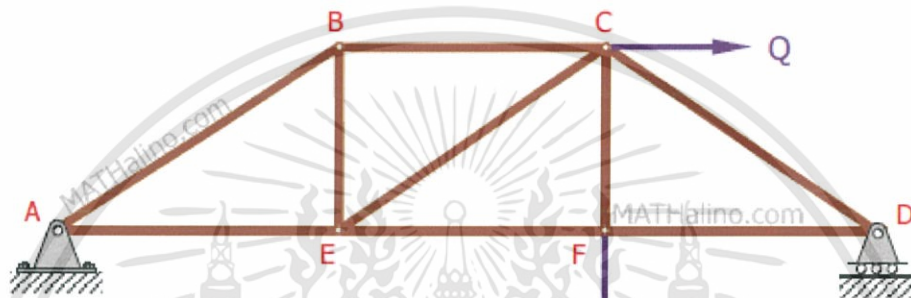
ภาพที่ 2.7 สูตรการหา M_{max} และ Deflection δ_{max}

(ที่มา: <https://www.quora.com/How-do-I-calculate-the-maximum-deflection-of-a-rectangular-plate-under-uniform-load>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 โครงข้อหมุน (Truss)

โครงข้อหมุน หมายถึง โครงสร้างซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายๆชิ้นส่วนมาประกอบกันในลักษณะรูปสามเหลี่ยม โดยจุดต่อ(Joint)เป็นแบบหมุนได้อิสระ(ไม่รับ โมเมนต์)และแรงต่างๆเป็นแรงในแนวแกนที่ประกอบด้วยแรงดึงหรือแรงอัดที่จะต้องผ่านการทำผ่านจุดต่อเท่านั้น โครงข้อหมุนเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยชิ้นส่วน ต่อกันที่ปลายด้วยการเชื่อม (Welding) หรือยึดด้วยสลักเกลียวเข้ากับแผ่นประกบ (Gusset Plate)



Example of a Truss

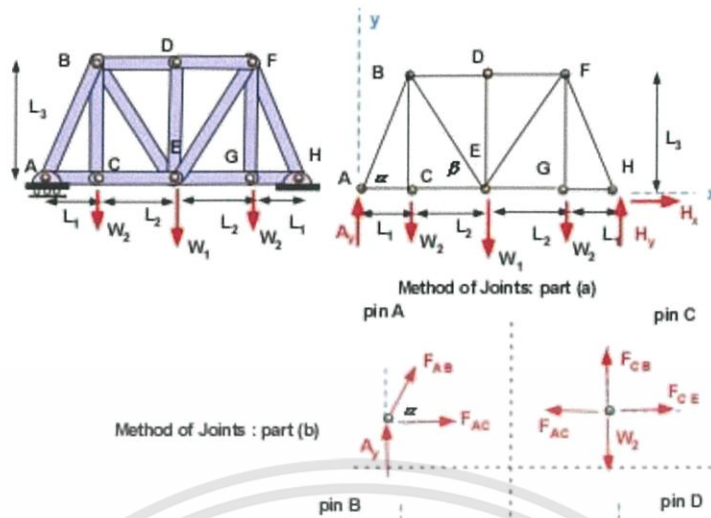
ภาพที่ 2.8 ตัวอย่าง โครงข้อหมุน

(ที่มา: <https://www.mathalino.com/reviewer/engineering-mechanics/analysis-structures>)

การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของ โครงข้อหมุนนั้นจะวิเคราะห์เพื่อหาแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกนของชิ้นส่วน(แรงดึงและแรงอัด) สามารถวิเคราะห์ได้ 2 วิธี

1) การวิเคราะห์ที่จุดต่อ (Method of Joint)

ในการวิเคราะห์โครงข้อหมุนที่จุดต่อของโครงสร้างจะใช้สมการสมดุลของแรงคือ $\sum F_x=0$ และ $\sum F_y=0$ โดยเริ่มจากการหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับโครงข้อหมุนก่อน จากนั้นจะพิจารณาที่จุดต่อ ณ จุดรองรับและอาศัยแรงที่ได้จากการวิเคราะห์ที่จุดแรกไปใช้ในการวิเคราะห์ที่จุดถัดไปจนครบทั้งโครงสร้าง โดยแต่ละโครงสร้างจะมีเฉพาะแรงในแนวแกนเท่านั้น

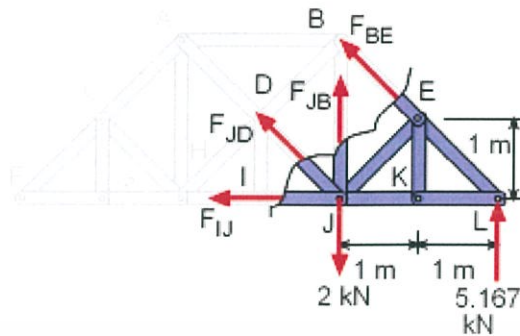


ภาพที่ 2.9 Method of Joint

(ที่มา: https://people.rit.edu/pnveme/personal/EMEM347n/Equations/Equations_Statics.html)

2) วิธีวิเคราะห์ตรงหน้าตัด (Method of Sections)

ในบางครั้งอาจต้องทราบค่าแรงภายในชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งในโครงข้อหมุนเท่านั้น แต่หากต้องเริ่มต้นวิเคราะห์โดยวิธี Method of Joint แล้วจะค่อนข้างเสียเวลา เพราะเริ่มต้นพิจารณาจากจุดต่อหนึ่งที่มีตัวไม่รู้ค่าไม่เกินสอง 2 ตัว แล้วจึงพิจารณาจุดต่ออื่นถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงชิ้นส่วนที่ต้องการทราบค่า ในกรณีเช่นนี้ควรใช้วิธีวิเคราะห์ตรงหน้าตัด Method of Sections ของโครงข้อหมุนซึ่งจะหาค่าได้รวดเร็วกว่า ระบายที่เลือกให้ตัดผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการหาแรงภายในโครงข้อหมุน อาจตัดผ่านชิ้นส่วนอื่นๆตลอดทั้งหน้าตัดของโครงข้อหมุน แต่ต้องเลือกให้ตัดผ่านชิ้นส่วนที่ยังไม่รู้ค่าของแรงภายในได้ไม่เกินกว่า 3 ชิ้น ทั้งนี้เพราะมีสมการสมดุลที่ใช้ได้เพียง 3 สมการเท่านั้นคือ $\sum F_x=0$, $\sum F_y=0$ และ $\sum M=0$ จุดต่อหรือข้อต่อที่จะนำสมการสมดุลของโมเมนต์ตัด $\sum M=0$ มาใช้ต้องเป็นจุดต่อรวมของชิ้นส่วนต่างๆ ยกเว้นชิ้นส่วนที่ต้องการทราบค่าของแรงภายใน



ภาพที่ 2.10 Method of Section

(ที่มา: https://www.ecourses.ou.edu/cgi-bin/ebook.cgi?doc=&topic=st&chap_sec=06.2&page=example)

2.2 Reinforced Concrete Design

เนื้อหาในส่วนของทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็กจะเน้นไปทางวิเคราะห์ระบบโครงสร้าง โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ คานต่อเนื่อง(Continuous Beam) และ พื้น(Slab)

2.2.1 คานต่อเนื่อง

การวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับคานต่อเนื่องจะใช้วิธีการประมาณ ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและทำให้งานวิเคราะห์โครงสร้างง่ายมากขึ้น (โปรแกรม SUT Structor ก็ใช้วิธีนี้เช่นเดียวกัน) มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. ให้พิจารณาหาค่าโมเมนต์คัตและแรงเฉือนสูงสุดสำหรับคานต่อเนื่อง(Continuous Beam) หรือแผ่นพื้นทางเดียว(One-way Slab) ที่ต่อเนื่องซึ่งมีหน้าตัดคงที่ตลอดความยาว(EI มีค่าคงที่) โดยใช้สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนดังรูปที่ 2.11 ภายได้ข้อจำกัดต่อไปนี้คือ

- 1) คานมีหน้าตัดคงที่ตลอดความยาว(EI คงที่)
- 2) มีช่วงต่อเนื่องตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป
- 3) ความยาวของช่วงยาวกว่าความยาวของช่วงสั้นที่อยู่ติดกันไม่เกิน 20 %
- 4) น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ(Uniform Load)
- 5) น้ำหนักบรรทุกใช้งานมีค่าไม่มากกว่า 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ใช้งาน

โมเมนต์บวก	ช่วงนอก	ช่วงใน
- ปลายที่ไม่ต่อเนื่องไม่ยึดร่วมกับที่รองรับ.....	$\frac{1}{11} w l_n^2$	$\frac{1}{16} w l_n^2$
- ปลายที่ไม่ต่อเนื่องหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ.....	$\frac{1}{14} w l_n^2$	$\frac{1}{16} w l_n^2$
โมเมนต์ลบ		
ที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในแรก :		
- เมื่อมีช่วงต่อเนื่อง 2 ช่วง	$\frac{1}{9} w l_n^2$	
- เมื่อมีช่วงต่อเนื่องมากกว่า 2 ช่วง	$\frac{1}{10} w l_n^2$	$\frac{1}{11} w l_n^2$
ที่ขอบรองรับทุกแห่ง :		
สำหรับแผ่นพื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.0 เมตร หรือ คานที่มี $\sum K_c / \sum K_b$ ที่มาบรรจบกันและมีค่า > 8		$\frac{1}{12} w l_n^2$ ที่ขอบรองรับทุกแห่ง
ที่ขอบในของที่รองรับตัวริมเมื่อหล่อขึ้นส่วนเป็น เนื้อเดียวกันกับที่รองรับ :		
- เมื่อที่รองรับเป็นคานขอบ (spandrel beam)	$\frac{1}{24} w l_n^2$	
- เมื่อที่รองรับเป็นเสา	$\frac{1}{16} w l_n^2$	
แรงเฉือน		
- ที่ขอบของที่รองรับตัวในแรก.....		$\frac{1.15}{2} w l_n$
- ที่ขอบของที่รองรับตัวอื่นๆ.....		$\frac{1}{2} w l_n$

ภาพที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์และแรงเฉือนสำหรับคานต่อเนื่อง

(ที่มา: Reinforced Concrete Design ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร)

จากรูปที่ 2.11 w เป็นน้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่สม่ำเสมอ(kg/m) และ l_n เป็นระยะช่วงว่างของคานสำหรับการหาโมเมนต์บวกและแรงเฉือน และเป็นค่าเฉลี่ยของระยะช่วงว่างสองช่วงติดกันสำหรับการหาโมเมนต์ลบ(โมเมนต์บวกหมายถึงโมเมนต์ที่ทำให้ท่อนคานด้านข้างรับแรงดึง ส่วนโมเมนต์ลบหมายถึงโมเมนต์ที่ทำให้หลังคานด้านบนรับแรงดึง)

2.2.2 พื้น

พื้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำแบบแผ่สม่ำเสมอแล้วถ่ายน้ำหนักบรรทุกต่อไปให้คาน เสา หรือพื้นดินที่รองรับ ลักษณะการถ่ายน้ำหนักให้กับที่รองรับ ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดของแผ่นพื้นเช่น พื้นทางเดียว(One-way Slab) โดยมีคานรองรับ 2 ด้านในแนวที่ขนานกับด้านยาวของแผ่นพื้นนั้น และพื้นสองทาง(Two-way Slab) โดยมีคานรองรับทั้ง 4 ด้าน ซึ่งถ้าพื้นสองทางมีอัตราส่วนความยาวของด้านสั้นต่อความยาวของด้านยาวน้อยกว่า 0.5 พฤติกรรมของพื้นจะถือว่าเป็นแบบพื้นทางเดียว

พื้นทางเดียว(One-way Slab)

พื้นทางเดียวใช้กับพื้นที่ด้านยาวของแผ่นพื้นมีความยาวมากกว่าความยาวของด้านสั้น 2 เท่า โดยมีที่รองรับตลอดแนวยาวของแผ่นพื้นทั้งสองด้าน การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นจะมีการวิเคราะห์ในแนวระนาบ 2 มิติซึ่งจะปรากฏในรูปแบบการคำนวณของคาน

โมเมนต์คัด : หลักเกณฑ์ที่ใช้คำนวณออกแบบแผ่นพื้นแบบนี้เหมือนกับที่ใช้ในการคำนวณแบบคาน โดยพิจารณาให้แผ่นพื้นทางด้านสั้นที่อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับที่รองรับเสมือนหนึ่งเป็นคานที่มีความกว้างเท่ากับ 1 เมตร และความหนาทั้งหมดของแผ่นพื้นก็คือความลึกทั้งหมดของคาน ดังนั้น เมื่อแผ่นพื้นต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบแผ่สม่ำเสมอเป็น kg/m^2 น้ำหนักแผ่ w ที่กระทำบนแผ่นพื้นซึ่งกว้าง 1 เมตรจะมีค่าเป็น kg/m แผ่นพื้นก็มีหลากหลายรูปแบบและมีค่าโมเมนต์แตกต่างกันไป ถ้าเป็นแบบช่วงเดียวค่าโมเมนต์คัดสูงสุดที่แผ่นพื้นต้องรับมีค่าเท่ากับ $wS^2/8 \text{ kg.m/m}$ และถ้าเป็นแบบพื้นยื่นค่าโมเมนต์คัดสูงสุดเท่ากับ $wS^2/2 \text{ kg.m/m}$ ในเมื่อ S เป็นความยาวทางด้านสั้นของแผ่นพื้น(เมตร) แต่ถ้าเป็นแบบแผ่นพื้นต่อเนื่องให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์คัดและแรงเฉือนดังรูปที่ 2.11 นั่นคือค่าโมเมนต์คัดมีค่าเท่ากับ $CwS^2 \text{ kg.m/m}$

แรงเฉือน : แรงเฉือนที่กระทำกับแผ่นพื้นควรตรวจสอบที่หน้าตัดรับแรงเฉือนสูงสุด เพื่อออกแบบความหนาของแผ่นพื้นให้เหมาะสม

การถ่ายน้ำหนักให้กับคานที่รองรับ : การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจากแผ่นพื้นลงสู่คานที่รองรับทั้งสองด้าน ให้คานน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับแผ่นพื้นถ่ายลงคานทั้งสองด้านอย่างละครึ่งหนึ่ง นั่นคือ คานที่จะต้องรับน้ำหนักจากแผ่นพื้นมีค่าเท่ากับ น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด(kg/m^2) คูณด้วยครึ่งหนึ่งของความยาวทางด้านสั้น(m) ในแต่ละฝั่งของคาน ค่าที่ได้เป็นน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอกระทำตลอดความยาวคานที่รองรับ มีหน่วยเป็น kg/m

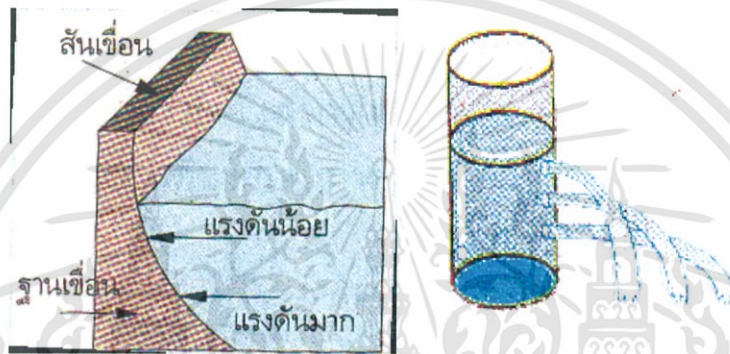
2.3 Fluid Pressure

ของไหล(fluid) ใช้นิยามสารที่เปลี่ยนรูปร่างหรือไหลด้วยความเค้นเฉือน ของเหลวและแก๊สต่างก็เป็นรูปแบบหนึ่งของของไหล ของไหลเป็นสถานะหนึ่งของสาร โดยทั่วไปในภาษาอังกฤษ คำว่า fluid หรือของไหลมักหมายถึงของเหลวหรือ liquid ด้วย โดยในที่นี้จะกล่าวถึงความดันของของเหลวที่กระทำกับวัตถุหรือภาชนะบรรจุของเหลวที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

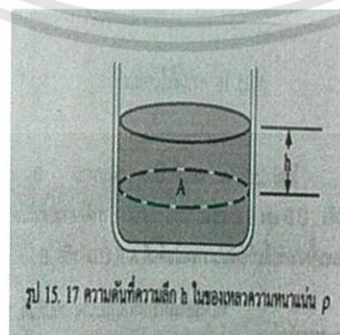
ความดันของของเหลว เกิดจากน้ำหนักของของเหลวที่มีอยู่เหนือตำแหน่งนั้นๆกดทับลงมา ยิ่งใน ระดับที่ลึกมากขึ้น ของเหลวที่อยู่เหนือตำแหน่งนั้นก็จะมามากขึ้น ทำให้น้ำหนักของของเหลวมีมากขึ้น ความดัน” กับ “แรง” แตกต่างกัน ความดันของของไหลกระทำในทิศตั้งฉากกับพื้นผิวใดๆเสมอ ไม่ว่า พื้นผิวนั้นจะวางอยู่ในของไหลนั้นอย่างไร ดังนั้นความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ ในทางตรงกันข้าม แรง เป็นปริมาณเวกเตอร์ ในการบอกแรงต้องบอกทั้งขนาดและทิศทาง ความดันคือแรงตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วย พื้นที่ไม่ว่าจะเป็นก้ำหรือของเหลว) อยู่หนึ่ง ความดันจะออกแรงกระทำในแนวตั้งฉาก กับพื้นผิวที่สัมผัส อยู่ เช่นผนังของภาชนะ หรือผิวของวัตถุที่จมอยู่ในของไหลนั้น



ภาพที่ 2.12 แรงดันของของเหลวที่ระดับความสูงต่างๆ

(ที่มา:<https://sukanyablog.wordpress.com/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%94%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%A7/>)

กฎความดันของของไหล "ความดันในของไหล ณ ที่จุดใดๆของของไหลหรือที่จุดสองจุดที่อยู่ในระดับเดียวกันมีค่าเท่ากัน" กฎข้อนี้ให้ความหมายว่าที่จุดเดียวกันหรือที่ความลึกระดับเดียวกันความดันมีค่าเท่ากัน



รูป 15. 17 ความดันที่ความลึก h ในของเหลวความหนาแน่น ρ

ภาพที่ 2.13 ความดันที่ความลึก h ในของเหลวหนาแน่น ρ

(ที่มา: ImageResizer.net-mjwclwzcgorm7ce.jpg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป A เป็นพื้นที่หน้าตัดของแก้วน้ำรูปทรงกระบอกตันของเหลวความหนาแน่น ρ A อยู่ในความลึก h วัดจากผิวของของเหลว ปริมาตรของของเหลวที่อยู่บนพื้นที่ A มีค่าเท่ากับ V

$$V = hA$$

$$m = \rho hA \quad ; \text{ให้มวลของของเหลวปริมาตร A ที่อยู่เหนือพื้นที่ A เป็น m}$$

$$W = mg = \rho hAg \quad ; \text{ให้น้ำหนักหรือแรงที่กดลงบนพื้นที่ A เป็น w}$$

$$P = W/A \quad ; \text{W เป็นขนาดของแรงตามแนวฉากที่กดลงบนพื้นที่ ตามคำจำกัดความของความดัน}$$

$$\text{จาก } W = \rho hAg$$

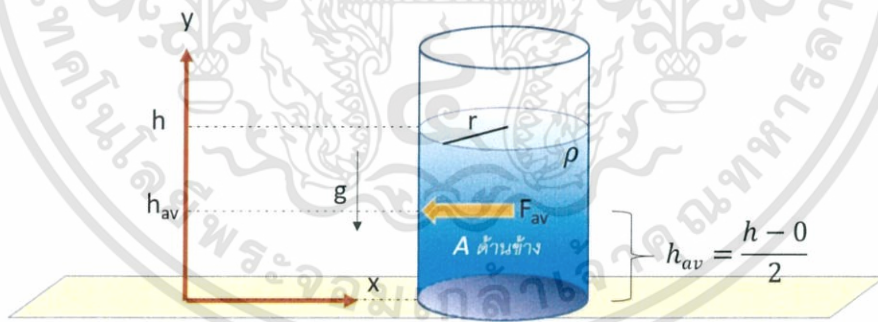
$$P = \rho hAg/A$$

$$\text{ดังนั้น } P = \rho gh \text{ หน่วย}[N/m^2]$$

$$\text{หรือ } P = \rho h \text{ หน่วย}[kg/m^2]$$

สมการข้างบนให้ค่าความดันของของเหลวที่จุดซึ่งอยู่ใต้ระดับน้ำเป็นระยะทาง h เราใช้สมการนี้คำนวณความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุดในของเหลวที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ และอยู่ห่างกันวัดตามแนวตั้งเป็นระยะทาง h_0 ความดันที่คำนวณได้ตามสมการ เป็นความดันที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลว เนื่องจากภาชนะเป็นภาชนะปิดและผิวของของเหลวไม่สัมผัสกับบรรยากาศ

สำหรับความดันของของเหลวที่กระทำกับผนังด้านข้างของภาชนะจะพิจารณาจากความดันที่ระดับความสูงที่ต่างกัน โดยนำความดันที่ 2 จุดนี้มาหาค่าเฉลี่ยดังรูป 2.14



ภาพที่ 2.14 ความดันที่กระทำกับภาชนะด้านข้าง

(ที่มา: <https://www.thaiphysicsteacher.com/physics/contentclassmech/pressures-fluid-on-the-wall-container/>)

$$\begin{aligned} \text{หาความดันเฉลี่ยที่ผิวและที่ก้นภาชนะ ; } P_{av} &= \rho gh_{av} \\ &= \rho g(h-h_0)/2 \\ &= \rho g(h-0)/2 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } P_{\text{ด้านข้าง}} = \rho gh/2 \text{ [N/m}^2\text{] หรือ } = \rho h/2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Steel Design

การออกแบบโครงสร้างเหล็ก(Steel Design) คือการออกแบบ โครงสร้างหรือองค์อาคารสำหรับรับน้ำหนักบรรทุกให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและความปลอดภัยตามมาตรฐานที่กำหนดโดยใช้เหล็ก รูปพรรณหรือแผ่นเหล็กในการประกอบเป็น โครงสร้าง โครงสร้างหรือชิ้นงานเหล็กการรับน้ำหนักบรรทุกโดยรวมแล้วมีกำลังรับน้ำหนักสูงกว่าคอนกรีตแต่มีราคาสูงกว่าและน้ำหนักโดยปริมาตรมากกว่า แต่สำหรับการออกแบบจะไม่นำน้ำหนักเหล็กมาใช้ในการคำนวณเพราะถือว่าน้ำหนักบรรทุกมีค่ามากกว่าน้ำหนักของเหล็กเอง การออกแบบ โครงสร้างเหล็กมักจะคำนวณหาขนาดเหล็กแล้วเลือกหาขนาดเหล็กตามตลาดที่มีขายอยู่ทั่วไป ถ้านอกเหนือจากนั้นต้องมีการประกอบขึ้นเองในหน่วยงานหรือมีการสั่งประกอบตาม โรงงานประกอบเหล็ก(Steel Fabrication)

2.4.1 เหล็กโครงสร้าง

เหล็กโครงสร้าง(structural steel)เป็น โลหะที่ได้จากการนำเอาแร่เหล็ก(iron ore)มาถลุงในเตา ถลุง (blast-furnace)ซึ่งจะได้ผลผลิตออกมาเป็นเหล็กดิบ(pig iron)เมื่อนำเหล็กดิบมาผสมกับคาร์บอนและ สารชนิดอื่นๆ และผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพเหล็กแล้ว เราจะได้เหล็กที่ใช้ในงาน โครงสร้าง 3 ประเภทคือ เหล็กเหนียว(wrought iron) เหล็กกล้า(steel) และเหล็กหล่อ(cast iron)

1. เหล็กเหนียว (wrought iron) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 0.1% มีกำลัง (strength) ต่ำ แต่มีความเหนียว (ductility) สูง ซึ่งทำให้เหล็กชนิดนี้ถูกแปดรูปปร่างได้ง่ายและรับแรงกระทำซ้ำได้ดี

2. เหล็กกล้า (steel) เป็นโลหะผสม (alloy) ที่ได้จากการผสมเหล็กดิบด้วยคาร์บอนและ/หรือสาร ชนิดอื่นๆ โดยแบ่งออกเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) และเหล็กกล้าผสม (alloy steel)

Carbon steel จะเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2% ถึง 2% แต่โดยทั่วไปแล้ว จะมี ปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 1.2% คุณสมบัติของเหล็กชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ โดยที่ ปริมาณคาร์บอนจะมีผลต่อกำลัง ความแข็ง และความเหนียวของเหล็กกล้าชนิดนี้

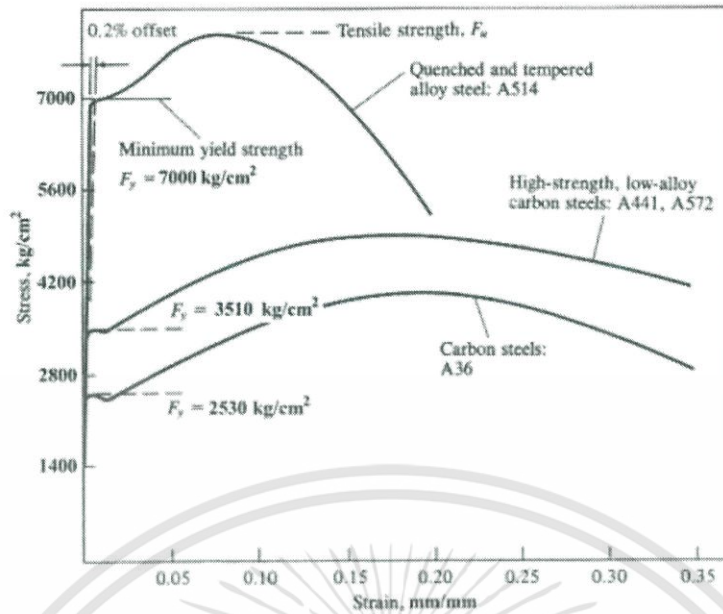
Alloy steel จะเป็นเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติไม่ขึ้นอยู่กับคาร์บอนเป็นหลัก แต่จะขึ้นอยู่กับสารชนิดอื่นๆ ด้วยเช่น silicon, sulfur, phosphorous, และ manganese เป็นต้น เหล็กกล้าจะเป็นเหล็กที่ใช้ในงาน โครงสร้าง

3. เหล็กหล่อ (cast iron) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 2.2% ถึง 4.5% มีกำลัง ด้านทานต่อแรงกดอัดและความแข็งของผิวสูง แต่มีกำลังรับแรงดึงที่ต่ำและเป็นวัสดุเปราะ

รูปที่ 2.15 แสดง stress-strain ของเหล็กโครงสร้างชนิดต่างๆ ซึ่งเราจะเห็นได้ว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ ของคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว กำลังของเหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความเหนียวจะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม เหล็กทุกชนิดมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(modulus of elasticity) โดยประมาณเท่ากันคือ $2.0(10^6)$ kg/cm²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 stress-strain ของเหล็กโครงสร้างชนิดต่างๆ

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

ชนิดและลักษณะการใช้งานของเหล็กโครงสร้าง

เหล็กกล้าที่ใช้ในงานโครงสร้าง (structural steel) มีมากมายหลายชนิดตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM Standard) และมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (JIS Standard) เป็นต้น ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางกลและลักษณะการใช้งานของเหล็กโครงสร้างตามมาตรฐาน ASTM

ชนิด/ชื่อตาม ASTM	Yielding stress (kg/cm ²)	Ultimate stress (kg/cm ²)	ผลิตภัณฑ์และลักษณะการใช้งาน เหล็กกล้าคาร์บอน
เหล็กกล้าคาร์บอน			
A36	2250-2530	4070-5620	เหล็กรูปพรรณ เหล็กแผ่น และเหล็กท่อน เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป สะพาน อาคาร หอสูง
A 53	2100-2460	3370-4210	เหล็กท่อนดำ เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร โดยเฉพาะองค์อาคารรับแรงกอดัดและโครงข้อมุม
A 245	1750-2810	3160-3860	เหล็กแผ่น เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร
A 283	1680-2320		เหล็กแผ่น ใช้ทำถังน้ำมัน
A 501	2530	4070	เหล็กกลวง เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร สะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

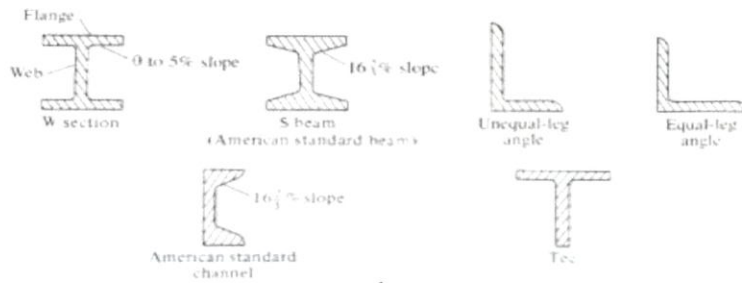
A 529	2950	4210-5970	เหล็กแผ่นและเหล็กท่อน เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างอาคารทั่วไป
A 570	1750-2950	3160-4070	เหล็กแบนและเหล็กแถบในม้วนกลม เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างอาคารทั่วไป สะพาน
เหล็กกล้ากำลังสูง			
A 242	2950-3510	4430-4920	ใช้ในงานทั่วไป เชื่อมได้
A 440	2950-3510	4430-4920	เหล็กรูปพรรณ เหล็กแผ่น และเหล็กท่อน ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร สะพาน หอสถู
A 441	2810-3510	4210-4920	เหล็กรูปพรรณ เหล็กแผ่น และเหล็กท่อน เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร สะพาน
A 572	2950-4570	4210-5620	เหล็กรูปพรรณ เหล็กแผ่น เข็มพืด (sheet pile) และเหล็กท่อน เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างอาคารทั่วไป
A 588	2950-3510	4420-4920	เหล็กรูปพรรณ เหล็กแผ่น และเหล็กท่อน เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร สะพาน
เหล็กกล้าชุบแข็ง			
A 514	6320-7030	7030-9140	เหล็กแผ่น เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร สะพาน
A 517	6320-7030	7030-9140	เหล็กแผ่น เชื่อมได้ ใช้ในโครงสร้างทั่วไป อาคาร สะพาน เหนือกว่า A514

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลและลักษณะการใช้งานของเหล็กโครงสร้างตามมาตรฐาน ASTM

หน้าตัดของเหล็กโครงสร้าง

เหล็กโครงสร้างหรือเหล็กรูปพรรณ (structural steel) จะถูกผลิตโดยขบวนการรีดร้อน (cold-rolled) หรือรีดเย็น (cold-rolled) หรือนำแผ่นเหล็กมาประกอบกันให้มีรูปหน้าตัดและขนาดที่ต้องการในการรับแรง แต่โดยทั่วไปแล้ว หน้าตัดของเหล็กโครงสร้างจะถูกออกแบบให้มีค่า moment of inertia ที่สูง เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของเหล็กโครงสร้าง เพื่อให้หน้าตัดมีความสามารถในการรับแรงต่อน้ำหนักสูงสุด รูปที่

2.16 แสดงหน้าตัดของเหล็กโครงสร้างชนิดรีดร้อน



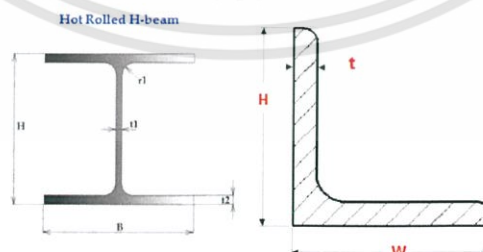
ภาพที่ 2.16 หน้าตัดของเหล็กโครงสร้างชนิดรีดร้อน

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

หน้าตัดของเหล็กโครงสร้างมักจะถูกแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. หน้าตัดรูปตัว W (wide-flange sections) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ หน้าตัดรูปตัว H
 2. หน้าตัดรูปตัว S (S-sections) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ หน้าตัดรูปตัว I (I-sections) จะเป็นหน้าตัดที่มีรูปร่างคล้ายหน้าตัดรูปตัว W แต่จะมีความกว้างของปีกน้อยกว่าแต่ความหนาของปีกมากกว่า
 3. หน้าตัดรูปตัว L หรือเหล็กฉาก (angle-sections) มีทั้งแบบขายาวเท่ากัน (equal-leg angle) และแบบขายาวไม่เท่ากัน (unequal-leg angle)
 4. หน้าตัดรูปตัว C หรือเหล็กรางน้ำ
 5. หน้าตัดรูปตัว T (T-sections) ซึ่งได้จากการตัดครึ่งหน้าตัดรูปตัว W (WT) หรือ I
- เหล็กโครงสร้างจะถูกกำหนดตามลักษณะรูปร่างของหน้าตัด ความลึก(เอว) ความกว้างปีก ความหนาเอว ความหนาปีก ตามลำดับ เช่น

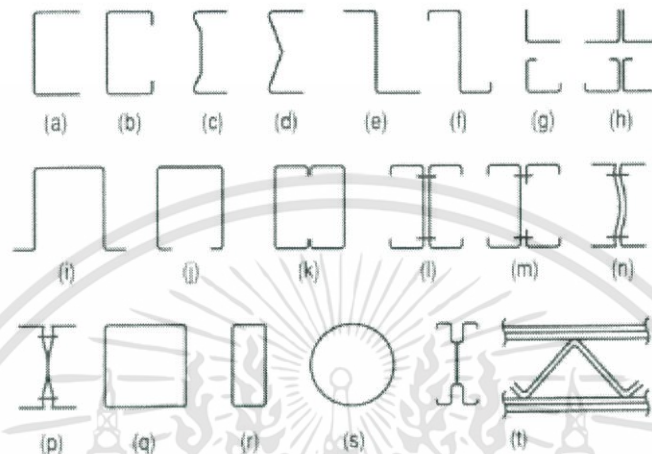
1. W300x200x8x12 เป็นเหล็กหน้าตัดรูปตัว W ซึ่งมีความลึก(H) 300 mm ความกว้างปีก(B) 200 mm ความหนาเอว(t_1) 8 mm และความหนาปีก(t_2) 12 mm ดังรูปที่ 2.17
2. L50x50x3 เป็นเหล็กหน้าตัดรูปตัว L ซึ่งมีความลึก(H) 50 mm ความกว้างปีก(W) 50 mm และความหนา(t) 3 mm ดังรูปที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 แสดงขนาดของเหล็กหน้าตัด H และ เหล็กหน้าตัด L

(ที่มา: http://www.steelplateexports.com/hot_rolled_beam)

นอกจากเหล็กโครงสร้างชนิดรีร้อนแล้ว เหล็กโครงสร้างอีกประเภทหนึ่งจะถูกผลิตโดยคัดแผ่นเหล็กกล้าที่หนาระหว่าง 0.25 mm ถึง 6 mm เป็นรูปหน้าตัดต่างๆ เช่น หน้าตัดรูปตัว C หน้าตัดรูปตัว Z และหน้าตัดรูปตัว L เป็นต้น ดังที่แสดงในรูปที่ 2.18ซึ่งมักจะถูกเรียกว่า เหล็กโครงสร้างชนิดรีเย็น (Cold-formed light-gage steel) เหล็กโครงสร้างประเภทนี้มักจะถูกใช้เป็นองค์อาคารเบาในหลังคา พื้น และผนัง



ภาพที่ 2.18 หน้าตัดของเหล็กโครงสร้างชนิดรีเย็น
(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

คุณสมบัติของเหล็กตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมและวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย คุณภาพ รูปร่าง และขนาดของเหล็กโครงสร้างที่ใช้ในประเทศไทยจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากลอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับ ตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1.เหล็กท่อนแบนและเหล็กแถบ (Flat and square steel bars) ซึ่ง มอก.55-2516 ได้กำหนดคุณสมบัติทางกลต่ำสุดไว้ดังนี้

Yielding stress	2,400	kg/cm ²
Ultimate stress	3,900	kg/cm ²
Percent elongation ต่อความยาว	5.66 A 21	%

2.เหล็กกลวง (Hollow sections) สำหรับใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่ง มอก.107-2517 ได้แบ่งลักษณะของเหล็กกลวงออกเป็น 3 แบบคือ เหล็กกลมกลวง เหล็กกลวงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และได้แบ่งเหล็กกลวงเหล่านี้ออกเป็นอีก 2 ชนิดคือ HS 41 และ HS 50 ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลต่ำสุดไว้ดังที่แสดงในตารางที่ 2.2

สัญลักษณ์	Yielding stress (kg/cm ²)	Ultimate stress (kg/cm ²)	Percent elongation (%)
HS 41	2,400	4,100	23
HS 50	3,200	5,000	23

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกลวงตามมาตรฐาน มอก.

3. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (Structural steel sections) ซึ่ง มอก.116-2529 ได้แบ่งชนิดของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณออกเป็น 2 ชนิดคือ Fe 24 และ Fe 30 ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลต่ำสุดไว้ดังที่แสดงในตารางที่ 2.3

สัญลักษณ์	Yielding stress (kg/cm ²)	Ultimate stress (kg/cm ²)	Percent elongation (%)
Fe 24	2,400	4,100	23
Fe 30	3,000	5,000	23

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณตามมาตรฐาน มอก.

มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน ว.ส.ท.) ได้กำหนดคุณสมบัติทางกลของเหล็กโครงสร้างไว้ดังที่แสดงในตารางที่ 2.4 และค่า yielding stress ของเหล็กมีค่าดังต่อไปนี้

1. สำหรับเหล็กทั่วไปซึ่งมีความหนาไม่เกิน 40 มิลลิเมตร ถ้าไม่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบให้ใช้ค่า yielding stress ได้ไม่เกิน 2500 kg/cm²
2. สำหรับเหล็กทั่วไปซึ่งมีความหนาเกิน 40 มิลลิเมตร ถ้าไม่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบให้ใช้ค่า yielding stress ได้ไม่เกิน 2200 kg/cm²

สัญลักษณ์	Modulus of Elasticity, E (kg/cm ²)	Shear Modulus, G (kg/cm ²)	Poisson's Ratio	Coefficient of Thermal Expansion (10 ⁻⁶ /°C)
เหล็กก่อสร้าง เหล็กหล่อ เหล็กตีเป็นรูป	2.10(10 ⁶)	0.80(10 ⁶)	0.30	12

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก โครงสร้างตามมาตรฐาน มอก.

อย่างไรก็ตาม สำหรับการออกแบบโครงสร้างจะกำหนดให้ค่า Modulus of Elasticity ของเหล็กมีค่าเท่ากับ 2.0×10^6 kg/cm²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 น้ำหนักบรรทุก (Load)

Load เป็นแรงภายนอกหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำอยู่บน โครงสร้าง ถ้าปราศจากข้อกำหนดต่างๆ การประมาณค่า load ที่จะกระทำต่อ โครงสร้างตลอดอายุการใช้งานของ โครงสร้างกระทำ ได้ยากมาก หลังจากที่เรทำการประมาณค่า load แล้ว เราจะต้องหาการจัดเรียงของ load ที่จะมีผลกระทบที่วิกฤติที่สุดต่อ โครงสร้าง โดยทั่วไปแล้ว มาตรฐานหรือข้อบัญญัติต่างๆ จะแบ่งน้ำหนักบรรทุกออกเป็น 2 ประเภทคือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (dead load) และน้ำหนักบรรทุกจร (live load)

1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือ dead load เป็นน้ำหนักของ โครงสร้างหรือน้ำหนักของวัสดุใดๆ ที่วางอยู่บน โครงสร้างอย่างถาวร โดยปกติแล้ว น้ำหนักบรรทุกคงที่จะเป็นน้ำหนักของเสา น้ำหนักคาน น้ำหนักแผ่นพื้น และน้ำหนักท่อระบายน้ำ เป็นต้น เมื่อเราทราบชนิดของวัสดุและขนาดขององค์อาคาร แล้ว เราจะหาน้ำหนักขององค์อาคารได้จากค่าความหนาแน่นของวัสดุคูณกับขนาดขององค์อาคารหรือวัสดุที่องค์อาคารรับน้ำหนัก ค่าต่ำสุดของน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่จะใช้ในการออกแบบจะแสดงดังข้างล่างต่อไปนี้

คอนกรีตสด	2,400	kg/m ³
เหล็ก	7,800	kg/m ³

2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจรหรือ live load เป็นน้ำหนักบรรทุกที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและตำแหน่งตามเวลาหรือเป็นน้ำหนักของวัสดุใดๆ ที่วางอยู่บน โครงสร้างแบบชั่วคราวและแรงกระทำที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แรงแลมและแรงแผ่นดินไหว เป็นต้น

น้ำหนักกระแทก (impact load) ที่กระทำกับ โครงสร้างแบบทันทีทันใดจะทำให้เกิดหน่วยแรงใน โครงสร้างมากกว่าน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ที่กระทำกับ โครงสร้างอย่างช้าๆ ดังนั้น ในการออกแบบ โครงสร้างที่ต้องรองรับน้ำหนักกระแทก เช่น แรงฉุดกระชากของเครน ดังสมการนี้

$$P_I = P_s \times I$$

โดยที่ P_I = น้ำหนักกระแทก

P_s = น้ำหนักบรรทุกสถิตย์

I = ตัวคูณน้ำหนักกระแทก (impact factor)

สำหรับแรงฉุดกระชากของเครนจะใช้ตัวคูณน้ำหนักกระแทก (impact factor) มีค่าเท่ากับ 1.2

2.4.3 การออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ Allowable Stress Design (ASD)

การออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ มีการใช้กันตั้งแต่นยุคแรกเริ่มที่มี การใช้โครงสร้างเหล็กจนถึงในปัจจุบัน วิธีหน่วยแรงใช้งาน หรือ Allowable Stress Design (ASD) มีหลักการคือการจำกัดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในภาวะใช้งาน (Service Level)ไม่ให้เกินค่าที่ยอมให้ โดยค่าที่ยอมให้จะหาจากการลดค่าหน่วยแรงที่จุดครากหรือที่ภาวะขีดสุด (Limit Stress) ของเหล็กกล้า โดยอาศัยตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety) การออกแบบจะตั้งอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ ด้วยวิธีอีลาสติก (Elastic Analysis) เป็นหลัก โดยมีสมมุติฐานคือไม่มีส่วนใดในโครงสร้างที่มีค่าหน่วยแรงถึงจุดคราก วิธี ASD จะจำกัดค่าของหน่วยแรงที่ยอมให้ใช้ (f_a) จากหน่วยแรงที่ภาวะขีดสุด (limit state) ซึ่งอาจจะเป็น Yield Stress (F_y); Critical Buckling Stress (F_{cr}); Ultimate Tensile (F_u) ขณะที่ชิ้นส่วนแตกหักหรือ Fatigue Stress สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบกระทำซ้ำแล้วหารด้วยค่าความปลอดภัย FS (Factor of Safety) ดังนี้

$$f_a = \frac{F_{limit}}{F.S.}$$

2.4.4 โครงสร้างรับแรงดึง

เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่รับแรงดึงตรงปลายทั้งสองข้าง โดยกระทำผ่านศูนย์กลางของรูปตัด พบทั่วไปในชิ้นส่วนของโครงสะพาน หอสถูป ค้ำยัน ระบบเคเบิลและในกรณีที่ใช้เป็นเหล็กยึด (tie rod) การออกแบบหน้าตัดของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนั้นค่อนข้างง่าย เนื่องจากไม่ต้องระวังเรื่องการโก่งเดาะ (buckling) ที่จะทำให้ชิ้นส่วนไร้เสถียรภาพ (stability) แต่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับการทำรอยต่อที่ปลายของส่วนโครงสร้าง

หลักการคำนวณ ถ้าให้ P เป็นแรงดึงทั้งหมดที่กระทำตั้งฉากบนรูปตัดที่มีเนื้อที่เท่ากับ A และสมมติให้หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นเท่ากับ f_t แล้วกระจายสม่ำเสมอตลอดเนื้อที่หน้าตัดนั้น ดังนั้น หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น : $f_t = P/A$ หรือแรงดึงที่ส่วนโครงสร้างรับได้ : $P = f_t A$ ในเมื่อ f_t เป็นหน่วยแรงดึงที่ส่วนโครงสร้างจะสามารถรับได้

2.4.4.1 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างรับแรงดึง

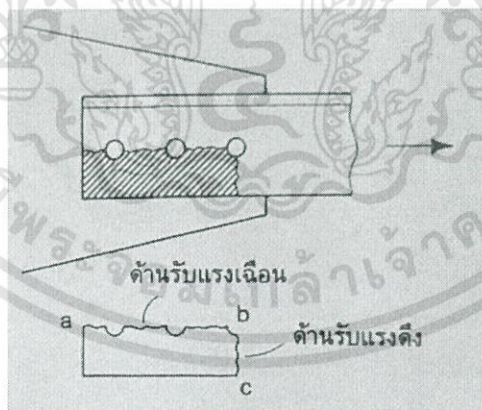
โดยทั่วไป ลักษณะการวิบัติหรือชำรุดเสียหายของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง (เมื่อไม่เกิดการวิบัติที่ตัวยึดหรือที่รอยเชื่อมต่อ) อาจเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1) การคราก (yielding) เนื่องจากแรงดึงที่กระทำบนหน้าตัดทั้งหมด (gross area : A_g) ของชิ้นส่วนมีค่าสูงมาก เกินกว่ากำลังที่จุดครากของเหล็ก (F_y) ทำให้ชิ้นส่วนถูกดึงยืดออกจนทำให้โครงสร้างโดยรวมเสียรูปร่างไป ป้องกันได้โดยเปลี่ยนขนาดรูปตัดที่ใหญ่ขึ้น หรือเปลี่ยนใช้เหล็กที่มีกำลังจุดครากสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้หน่วยแรงดึงที่กระทำมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่กำหนด

2) การฉีกขาด (Fracture) เนื่องจากแรงดึงที่กระทำตรงหน้าตัดที่มีรูเจาะเพื่อทำรอยต่อหรือที่เรียกว่า หน้าตัดสุทธิ (net area : A_n) ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดน้อยกว่าหน้าตัดทั้งหมด ดังนั้น หน่วยแรงดึงที่กระทำตรงหน้าตัดสุทธิจึงมีค่าสูงมากกว่าปกติ และเมื่อมีค่าสูงเกินกว่ากำลังต้านทานแรงดึง (minimum tensile strength : F_u) ของเหล็ก ชิ้นส่วนจะฉีกขาดออกจากกัน ป้องกันได้โดยการจัดระยะห่างระหว่างรูเจาะ และระยะห่างที่ปลายชิ้นส่วนให้มีค่ามากขึ้น เพื่อให้ได้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากขึ้นซึ่งเป็นการลดค่าหน่วยแรงดึงไม่ให้เกินกว่าหน่วยแรงดึงที่กำหนด หรือเปลี่ยนใช้เหล็กที่มีกำลังต้านทานแรงดึงสูงขึ้น

การวิบัติเนื่องจากการฉีกขาดอาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนตรงรอยต่อจากการกระทำร่วมกันระหว่างแรงดึงและแรงเฉือนที่เรียกว่า Block Shear ดังรูปที่ 2.19 โดยหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ตั้งฉากกับแนวแรงจะรับแรงดึง ส่วนหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ขนานกับแนวแรงจะรับแรงเฉือน ทำให้ชิ้นส่วนอาจเกิดการวิบัติได้ 2 ลักษณะคือ ชิ้นส่วนถูกดึงฉีกขาดในขณะที่เกิดการครากที่ด้านรับแรงเฉือน หรือ ชิ้นส่วนถูกเฉือนขาดในขณะที่เกิดการครากที่ด้านรับแรงดึง



ภาพที่ 2.19 การวิบัติแบบ Block Shear

(ที่มา: Structural Steel Design ศ.ดร. วินิต ช่อวิเชียร)

2.4.4.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงดึง – มาตรฐาน AISC ด้วยวิธี ASD

สำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไป (ยกเว้นแผ่นเจาะรู) ให้พิจารณาใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ต่อไปนี้ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด $f_u = 0.6F_y$ (นั่นคือค่า F.S. = 1.67 : $f_u = F_y / 1.67$)

สำหรับส่วนโครงสร้างที่เจาะรูหรือมีการวิบัติแบบ Block Shear ให้พิจารณาจากกำลังรับแรงดึงที่ยอมให้ที่มีค่าน้อยที่สุดต่อไปนี้

$$\text{กำลังครากที่ยอมให้} : P_a = 0.6F_y A_g$$

$$\text{กำลัง Block Shear ที่ยอมให้} : P_a = 0.3F_u A_{nv} + 0.5U_{bs} F_u A_{nt}$$

โดยที่ A_g = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของชิ้นส่วนรับแรงดึง

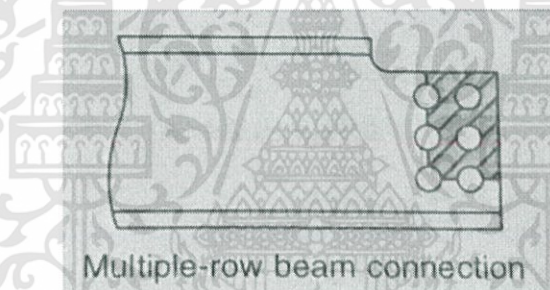
A_{gv} = พื้นที่ทั้งหมดรับแรงเฉือน

A_{nv} = พื้นที่สุทธิรับแรงเฉือน

A_{nt} = พื้นที่สุทธิรับแรงดึง

U_{bs} = ตัวคูณลดค่าเนื่องจากการกระจายหน่วยแรงที่อาจไม่สม่ำเสมอบนระนาบแรงดึงในบางจุดต่อ

ถ้าการกระจายสม่ำเสมอค่า $U_{bs} = 1.0$ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะสม่ำเสมอยกเว้นกรณีในรูปที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 การกระจายหน่วยแรงไม่สม่ำเสมอ

(ที่มา: Structural Steel Design ดร.มงคล จีระวัชรเดช)

2.4.5 โครงสร้างรับแรงอัด

ชิ้นส่วนรับแรงอัด คือ ชิ้นส่วนรับแรงกดหรือแรงอัดตามแกน เช่น เสา จันทัน โครง หลังคา ชิ้นส่วนบางชิ้นของโครงข่อหมุน เป็นต้น ชิ้นส่วนดังกล่าวจะมีมิติของความยาวมากกว่ามิติของหน้าตัดมาก รูปแบบของชิ้นส่วนรับแรงอัด อาจได้แก่ ชิ้นส่วนเดี่ยว ซึ่งได้แก่เหล็กที่มีรูปร่างและขนาดตามมาตรฐานที่ผลิตขายอยู่ทั่วไป เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัว I เหล็กที่กลม ฯลฯ หรืออาจได้แก่ ชิ้นส่วนประกอบ (Built-up Members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น

2.4.5.1 พฤติกรรมการวิบัติของเสาที่รับแรงในแนวแกนเพียงอย่างเดียวมี 2 รูปแบบ คือ

1) การโก่งเดาะของเสาทั้งต้น (Overall Flexural Buckling) เป็นการโก่งเดาะ (Buckling) ของ เสาทั้งต้น ทำให้เสาสูญเสียความมีเสถียรภาพจนกระทั่งเกิดการ โกงงอ

2) การโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local Buckling) เป็นการโก่งเดาะที่เกิดขึ้นกับส่วนใดส่วนหนึ่งของหน้าตัด เช่น การโก่งเดาะของส่วนปีก (Local Flange Buckling) หรือส่วนเอว (Local Web Buckling) ทั้งนี้เพราะสัดส่วนของความกว้างต่อความหนา (b/t) ของส่วนเหล่านั้นไม่เพียงพอที่จะรับแรงกดหรือแรงอัด

วิธีการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดค่อนข้างจะยุ่งยากกว่าวิธีการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึง เนื่องจากเสาจะเกิดการ โกงงอภายใต้แรงอัดตามแกน ซึ่งกำลังของเสาจะขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนความชะลูด (Effective Slenderness Ratio : $\lambda = KL/r$) ของเสานั้น

ค่า K (Effective Length Factors) จะแสดงค่าไว้ตามตาราง 3.3-1 เป็นค่าที่แสดงสภาพที่เสา แบบต่างๆ พร้อมทั้งค่า K ตามทฤษฎีและค่าที่แนะนำเมื่อเอาไปใช้งาน

รูปการโก่งตัว ของเสาที่มีจุด รองรับแบบ ต่างๆ	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
ค่า k ตามทฤษฎี	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า k ที่แนะนำ	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
สภาวะการค้ำ ของจุดรองรับ		ด้านกรหมุน		ด้านกรเคลื่อนที่		
		หมุนอิสระ		ด้านกรเคลื่อนที่		
		ด้านกรหมุน		เคลื่อนที่ได้		
		หมุนอิสระ		เคลื่อนที่ได้		

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า K ที่ปลายเสามีสภาพแบบต่างๆ

(ที่มา: Structural Steel Design ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร)

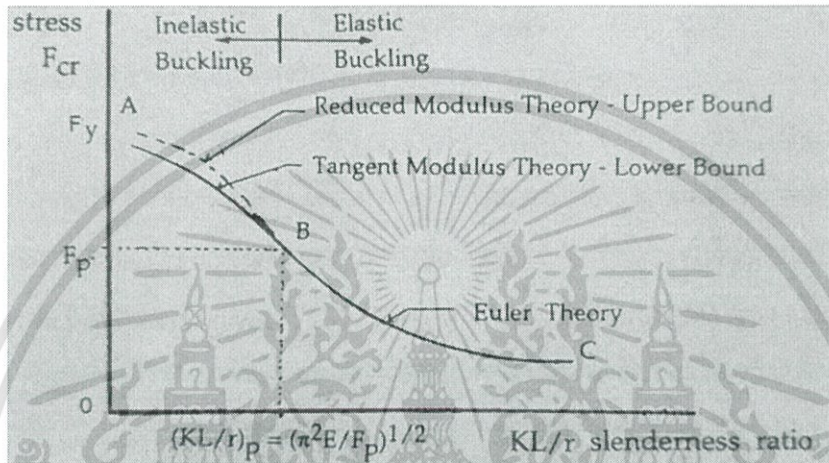
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.2 เส้นโค้งแสดงความสามารถรับน้ำหนักของเสา (Column Strength Curve)

จากการพิจารณากำกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีความยาวต่างกัน สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดวิกฤต F_{cr} กับ อัตราส่วนความชะลูดของเสา KL/r ดังรูปที่ 2.21

ส่วนโค้ง BC แสดงหน่วยแรงอัดวิกฤตเมื่อเสาโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก ซึ่งเป็นไปตามสมการของออยเลอร์เมื่ออัตราส่วนความชะลูดเท่ากับหรือเกินกว่า $(\pi^2 E/F_p)^{1/2}$ ส่วนโค้ง AB แสดงหน่วยแรงอัดวิกฤตเมื่อเสาโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก ซึ่งเป็นไปตามสมการที่เสนอโดย Engesser เมื่ออัตราส่วนความชะลูดน้อยกว่า $(\pi^2 E/F_p)^{1/2}$



ภาพที่ 2.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤตและอัตราส่วนความชะลูดของเสา

(ที่มา: Structural Steel Design ศ.ดร.วินิต ช่อวีเชียร)

ในปีค.ศ. 1952 Bleich ได้เสนอสมการอย่างง่ายที่ใช้คำนวณหาหน่วยแรงอัดวิกฤตเมื่อเสาโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก โดยพิจารณาให้ส่วนโค้ง AB อยู่ในรูปสมการของโค้งพาราโบลาต่อไปนี้เป็นสมการที่ใช้กันต่อมาจนกระทั่งปัจจุบัน คือ

$$F_{cr} = F_y - \frac{F_y - F_p}{(KL/r)_p^2} \left(\frac{KL}{r}\right)^2$$

ถ้าให้หน่วยแรงที่ขีดพิศัยัดยู่ F_p เท่ากับ $F_y/2$ ดังนั้น อัตราส่วนความชะลูด $(\pi^2 E/F_p)^{1/2}$ มีค่าเท่ากับ $(2\pi^2 E/F_y)^{1/2}$ ซึ่งสมมติให้มีสัญลักษณ์เป็น C_c นั่นคือ

1) เมื่ออัตราส่วน $KL/r \geq C_c$ เสาโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก โดยหน่วยแรงอัดวิกฤตมีค่าเท่ากับ $\pi^2 E/(KL/r)^2$ ซึ่งถ้าให้อัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 23/12 จะได้หน่วยแรงอัดที่ยอมได้ในช่วงนี้เท่ากับ $12\pi^2 E/23(KL/r)^2$ และถ้าให้ $\lambda_c = (KL/r\pi)(F_y/E)^{1/2}$ จะได้หน่วยแรงวิกฤตเท่ากับ $F_y/(\lambda_c)^2$

2) เมื่อเสามีอัตราส่วน $KL/r \leq C_c$ เสาโก่งเดาะในช่วงอินีลาสติกโดยหน่วยแรงอัดวิกฤตมีค่าเท่ากับ $F_y - \frac{F_y - (F_y/2)}{C_c^2} \left(\frac{KL}{r}\right)^2$ หรือเท่ากับ $\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^2\right] F_y$ ซึ่งถ้าให้อัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ $\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^3$ จะได้หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในช่วงนี้เท่ากับ

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

2.4.5.3 การออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด - มาตรฐาน AISC ด้วยวิธี ASD

การออกแบบเสาเหล็ก เพื่อให้รับน้ำหนักที่กระทำตามแนวแกนที่ปราศจากการเยื้องศูนย์กลางตามมาตรฐาน AISC ได้ให้สูตรคำนวณต่างๆ โดยคำนึงถึงพฤติกรรมต่างๆของเสา ตลอดจนปัจจัยต่างๆเช่น หน่วยแรงที่คงค้างเหลืออยู่ (residual stress) เมื่อขึ้นส่วนยื่นไม่สม่ำเสมอขณะถูกครีดย้อน การโค้งโก่งงอของเสาก่อนรับน้ำหนัก การยึดปลายเสาที่มีต่อช่วงความยาวประสิทธิผล (KL) อัตราส่วนความชะลูด (KL/r) ในระนาบของการโก่งเดาะ และคุณภาพของเหล็กที่ใช้ (โมดูลัสยืดหยุ่น E และ หน่วยแรงที่จุดคราก F_y) แต่ทั้งนี้ เสาหรือชิ้นส่วน โครงสร้างรับแรงอัดต้องมีอัตราส่วนความชะลูด (KL/r) ไม่เกินกว่า 200 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้บนหน้าตัดทั้งหมด (A_g) ต่อไปนี้ ขึ้นอยู่กับการโก่งเดาะของเสาทั้งในช่วงอีลาสติกและอินีลาสติก โดยใช้ค่าอัตราส่วนความชะลูด C_c เป็นตัวกำหนดโดยที่

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

เมื่อ $KL/r \leq C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ f_a คำนวณได้จาก

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

เมื่อ $KL/r \geq C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ f_a คำนวณได้จาก

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

โดยที่ L = ช่วงความยาวของเสาที่ไม่มีค้ำยันทางข้าง cm

r = รัศมีจายเรชั่น (ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการโก่งเดาะ cm

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (kg/cm^2)

F_y = กำลังจุดครากของเหล็ก (kg/cm^2)

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (kg/cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 โครงสร้างรับแรงดัด

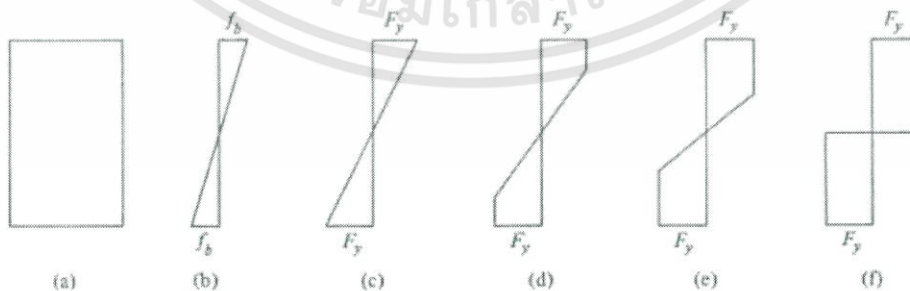
2.4.6.1 คาน (Beam)

คาน (beams) เป็นองค์อาคารของโครงสร้างที่วางอยู่ในแนวนอนและมักจะรองรับแรงกระทำหรือน้ำหนักบรรทุกในแนวตั้งไปตามความยาวขององค์อาคาร เช่น ตง(joists) แป(purlins) ทับหลัง (lintels) คานขอบ(spandrel beams) คานชอย(stringers) คานรับพื้น(floor beam) คานขนาดใหญ่(girders) และโครงสร้างอื่นๆ ที่มีลักษณะดังกล่าวโดยทั่วไปแล้ว คานเหล็กมักจะมีหน้าตัดรูปตัว W, รูปตัว I, สี่เหลี่ยมกลวง (box section), และรูปตัว C คานหน้าตัดรูปตัว W จะเป็นคานที่มีหน้าตัดที่ประหยัดมากที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ในส่วนของปีก (flanges) มากกว่าหน้าตัดรูปตัว I ซึ่งทำให้หน้าตัดรูปตัว W มีค่า moment of inertia ต่อพื้นที่ที่หน้าตัดมากกว่าหน้าตัดรูปตัว I นอกจากนั้นแล้ว คานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมกลวงก็เป็นคานที่มีหน้าตัดที่ประหยัดอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีความสามารถด้านทานต่อแรงดัดและแรงบิดได้ดี คานหน้าตัดรูปตัว C มักจะถูกใช้เป็นที่รองรับน้ำหนักน้อยๆ เช่น แป เป็นต้น ซึ่งจะมีความต้านทานต่อแรงกระทำ ด้านข้าง (lateral forces) ได้น้อยและมักจะต้องถูกค้ำยันโดยเหล็กเส้นยึดกันหย่อน (sag rods) พิจารณาคานเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งถูกกระทำ โดยโมเมนต์ดัด M รอบแกนสะเทิน (neutral axis) ของคานดังที่แสดงในรูปที่ 2.22 เมื่อคานมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear elastic) และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่น้อยมากแล้วหน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายแบบเส้นตรงจากศูนย์ที่แกนสะเทินจนมีค่าสูงสุดที่ผิวด้านบนสุดและล่างสุดของคาน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.22b และหน่วยแรงดัด (flexural stress) สูงสุดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของคานจะหาได้จากสมการการดัด (flexural formula)

$$f_b = \frac{Mc}{I}$$

โดยที่ C = ระยะที่วัดจากแกนสะเทินถึงผิวด้านบนหรือผิวด้านล่างของคาน

I = moment of inertia ของพื้นที่หน้าตัดของคานรอบแกนสะเทิน



ภาพที่ 2.22 คานเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ถูกกระทำโดย โมเมนต์ดัด M รอบแกนสะเทิน

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

โดยทั่วไปแล้ว อัตราส่วนของ I/c ของหน้าตัดคานจะมีค่าคงที่ ซึ่งเรียกว่า section modulus (Z) ดังนั้น หน่วยแรงดัดจะหาได้จากสมการ

$$f_b = \frac{M}{Z}$$

เมื่อ โมเมนต์ดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าๆหนึ่งแล้ว ค่าหน่วยแรงดัดที่ผิวด้านบนสุดและล่างสุดของคานจะมีค่าเท่ากับ yield stress ของเหล็กและการกระจายของหน่วยแรงดัดก็ยังคงเป็นแบบเส้นตรง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.22c ค่า moment นี้จะถูกเรียกว่า yield moment M_y ถ้าให้โมเมนต์ดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่า yield moment เรื่อยๆแล้ว ฝวคานด้านบนสุดและล่างสุดที่มีหน่วยแรงดัดเท่ากับ yield stress ก็ยังคงรับหน่วยแรงเท่าเดิม โดยที่หน่วยแรงดัดที่เพิ่มขึ้นจะถูกต้านทานโดยส่วนของหน้าตัดคานที่อยู่ใกล้แกนสะเทินมากขึ้นเรื่อยๆและจะทำให้พื้นที่ของหน้าตัดคานที่มีหน่วยแรงดัดเท่ากับ yield stress มากขึ้นเรื่อยๆดังที่แสดงในรูปที่ 2.22d และ 2.22e สุดท้ายๆจุดบนหน้าตัดของคานจะมีหน่วยแรงดัดเท่ากับ yield stress ซึ่งเรียกว่า plastic hinge ดังที่แสดงในรูปที่ 2.22f และหน้าตัดของคานจะไม่มีความสามารถในการต้านทานต่อ โมเมนต์ดัดที่เพิ่มมากขึ้นอีกต่อไป ค่าโมเมนต์ดัดที่ทำให้เกิด plastic hinge ดังกล่าวจะถูกเรียกว่า plastic moment M_p

2.4.6.2 การออกแบบคาน โดยใช้สมการการดัด (Flexural Formula)

ในการออกแบบหาขนาดหน้าตัดของคานโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (allowable stress design) นั้น หน่วยแรงดัดสูงสุดจะต้องมีค่าไม่เกินให้หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (allowable bending stress) F_b (การหาค่า F_b จะกล่าวถึงใน section ที่ 2.4.6.3 ดังนั้น

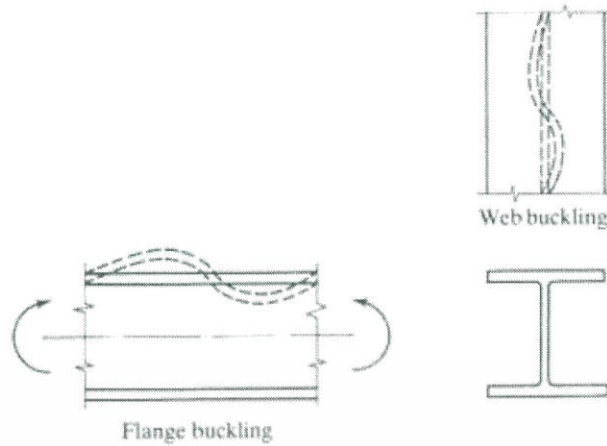
$$f_b = \frac{M_{max}}{Z}$$

ดังนั้น เมื่อเราทราบค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดในคานแล้ว เราจะหาขนาดหน้าตัดของคานที่ต้องการได้จากสมการ

$$Z_{req} = \frac{M_{max}}{f_b}$$

2.4.6.3 ความสามารถในการรับ โมเมนต์ดัดของหน้าตัดคาน

ในการพิจารณาคานที่ผ่านมา เราพิจารณาเพียงกำลังของคานในการต้านทานต่อแรงกระทำเท่านั้น แต่ถ้าปีก (flanges) หรือเอว (webs) ของคานที่รับแรงกดอัดมีลักษณะที่บางมากๆแล้วปีกและเอวดังกล่าวของคานอาจจะเกิดการวิบัติโดยการ โกงเดาะ (buckling) ก่อนที่จะเกิดการวิบัติโดยความไม่เพียงพอของกำลังของคานดังที่แสดงในรูปที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 การ โกงเคาะที่ปีกและเอวของคานหน้าตัด W

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

ASD specification ได้แบ่งหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงกดอัดออกเป็น 3 แบบคือ หน้าตัดแบบอัดแน่น (compact sections) หน้าตัดแบบไม่อัดแน่น (noncompact sections) และหน้าตัดที่มีชิ้นส่วนรับแรงกดอัดที่เรียวยาว (slender compression elements)

คานหน้าตัดแบบอัดแน่นจะเป็นคานที่สามารถรับแรงกระทำได้ถึงจุดที่มี plastic hinge เกิดขึ้นทั้งหน้าตัดโดยไม่มี local buckling เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วหน้าตัดมาตรฐานของเหล็กจะเป็นหน้าตัดแบบอัดแน่น

1) เมื่อคานหน้าตัดแบบอัดแน่นมีการค้ำยันทางด้านข้างที่เพียงพอแล้ว หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของคานรอบแกนหลัก (major axis) จะหาได้จากสมการ

$$f_b = 0.66F_y$$

ในกรณีที่มีการดัดรอบแกนรอง (minor axis) ของหน้าตัดที่สมมาตรสองแกน เช่น I เป็นต้น แล้ว หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของคานจะหาได้จากสมการ

$$f_b = 0.75F_y$$

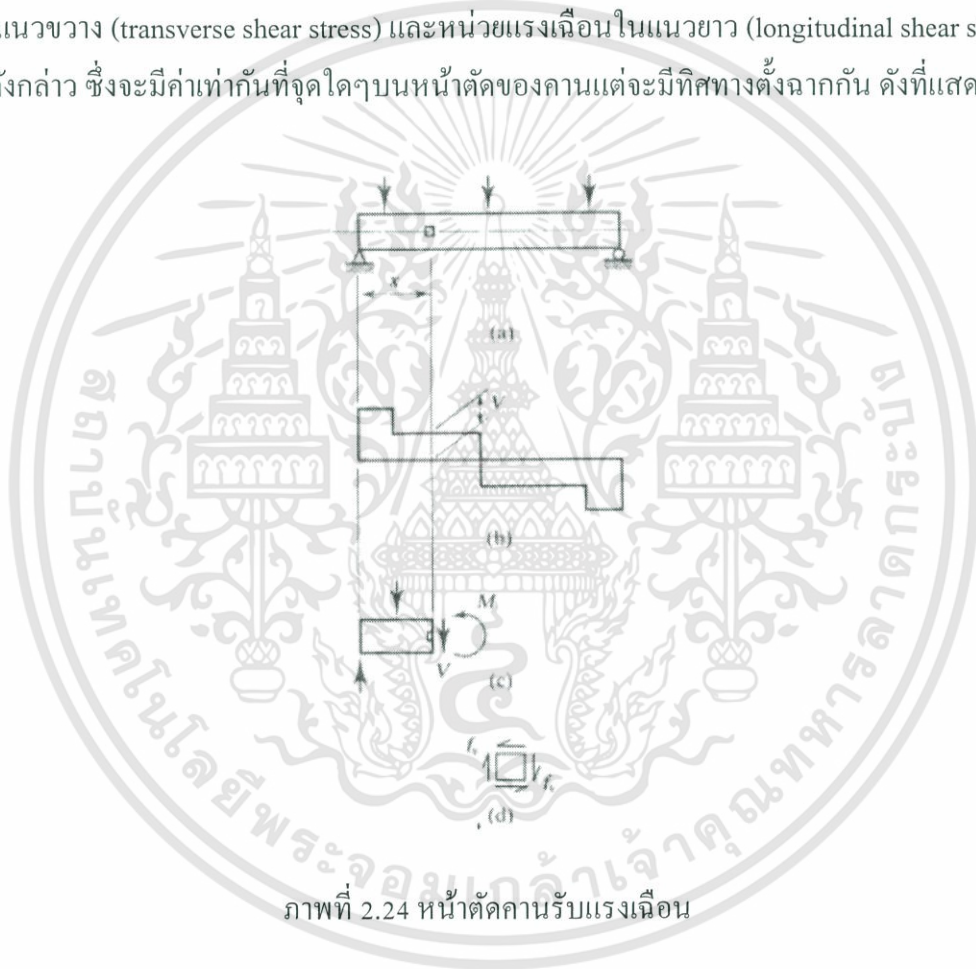
2) คานหน้าตัดแบบไม่อัดแน่นจะเป็นคานที่สามารถรับแรงกระทำได้ถึงจุดที่มีการ yielding เกิดขึ้นได้ในบางส่วนของหน้าตัดก่อนที่ local buckling จะเกิดขึ้นเมื่อคานหน้าตัดแบบไม่อัดแน่นมีการค้ำยันทางด้านข้างที่พอเพียงแล้ว หน่วยแรงดัดที่ยอมให้จะหาได้จากสมการ

$$f_b = 0.60F_y$$

3) หน้าตัดที่มีชิ้นส่วนรับแรงกดอัดที่เรียวยาวจะมีค่าอัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาที่มากกว่าค่าที่กำหนดของหน้าตัดไม่อัดแน่นและจะเกิด local buckling ก่อนที่หน้าตัดคานจะมีการ yielding เกิดขึ้น

2.4.6.4 แรงเฉือน

คานซึ่งรองรับแรงกระทำในแนวขวาง (transverse loads) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.24a จะถูกกระทำโดยแรงเฉือนดังที่แสดงโดย shear diagram ในรูปที่ 2.24b จาก free-body diagram ดังที่แสดงในรูปที่ 2.24c เราจะหาแรงเฉือน V ที่ระยะ x จากทางซ้ายมือของคานได้ ค่าแรงเฉือนนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนในแนวขวาง (transverse shear stress) และหน่วยแรงเฉือนในแนวยาว (longitudinal shear stress) ที่หน้าตัดดังกล่าว ซึ่งจะมีค่าเท่ากันที่จุดใดจุดบนหน้าตัดของคานแต่จะมีทิศทางตั้งฉากกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.24d



ภาพที่ 2.24 หน้าตัดคานรับแรงเฉือน

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

จากรูปที่ 2.24d หน่วยแรงเฉือนในแนวขวางจะเป็นหน่วยแรงเฉือนที่พยายามทำให้เกิดการเลื่อนในแนวตั้งของส่วนของคานที่อยู่ทางซ้ายมือเมื่อเทียบกับส่วนของคานทางด้านขวามือแต่หน่วยแรงเฉือนในแนวยาวจะเป็นหน่วยแรงเฉือนที่พยายามทำให้เกิดการเลื่อนในแนวแกนของคาน หน่วยแรงเฉือนทั้งสองนี้จะมีค่าสูงสุดที่แกนสะเทินของคาน หน่วยแรงเฉือน F_v ที่เกิดขึ้นในคานเหล็กจะถูกต้านทานโดยกำลังรับแรงเฉือน f_v ของเหล็กจากวิชา Strength of materials เราจะหาค่า F_v ได้จากสมการ shear formula

$$F_v = \frac{VQ}{Ib}$$

โดยที่ V = แรงเฉือนภายในที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของคาน

$Q = y'A'$ = โมเมนต์ของพื้นที่ของส่วนของคานที่อยู่เหนือหรือใต้จุดที่ต้องการหาหน่วยแรงเฉือนรอบแกนสะเทิน

I = moment of inertia ของพื้นที่หน้าตัดของคานรอบแกนสะเทิน

b = ความกว้างของหน้าตัดของคาน ที่จุดที่พิจารณา

มาตรฐานว.ส.ท. กำหนดให้หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (allowable shear stress) ของเหล็กจะต้องมีค่าไม่เกิน

$$f_v = 0.40F_y$$

โดยทั่วไปแล้ว แรงเฉือนจะไม่ทำให้คานเหล็กที่มีหน้าตัดมาตรฐานเกิดการวิบัติ ยกเว้นในกรณีที่คานดังกล่าวมีการบากที่ปีกและที่เอวของคานออกบางส่วนเพื่อความสะดวกในการเชื่อมต่อกานและในกรณีที่คานเป็นคานที่สั้นมากและถูกกระทำโดยน้ำหนักบรรทุกทุกเป็นจุดที่มีค่าสูงๆ

2.4.6.5 ระยะเวลาโก่งตัว

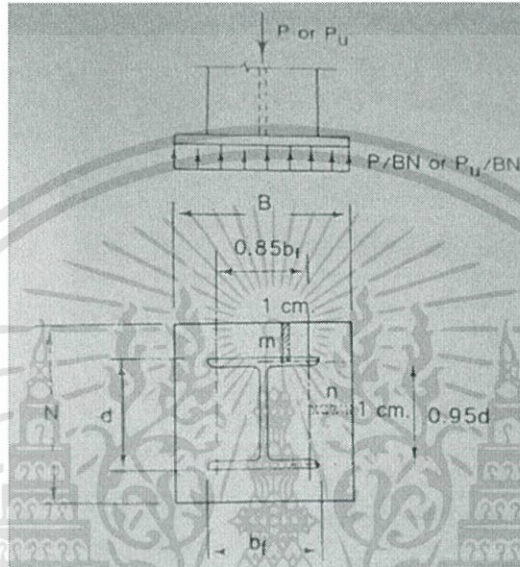
โดยทั่วไปแล้ว ในการออกแบบโครงสร้างเราจะต้องจำกัดการโก่งตัว (deflection) ของโครงสร้างไม่ให้มีค่าสูงจนเกินไปเนื่องจาก

- 1) deflection ที่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้วัสดุบางหรือส่วนของโครงสร้างที่ถูกรองรับโดยโครงสร้างดังกล่าว เช่น ผนัง อิฐก่อ เป็นต้น เกิดการแตกร้าวได้
- 2) โครงสร้างที่มี deflection ที่สูงเกินไปจะเป็นโครงสร้างที่สิ้นสะเทือนได้ง่ายและจะทำให้ผู้ใช้โครงสร้างรู้สึกไม่ปลอดภัย
- 3) deflection ที่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้รูปร่างของโครงสร้างเสียความสวยงาม มาตรฐานว.ส.ท. กำหนดให้คานต่างๆไปจะมีค่าการโก่งตัวไม่เกิน $L/300$ และ $L/200$ สำหรับคานงานชั่วคราวทั่วไป และ $L/250$ สำหรับช่วงคานยื่นเมื่อ L คือความยาว span ของคาน อย่างไรก็ตาม สำหรับคานหรือองค์อาคารรับแรงดัดที่รองรับฟ้าหรือพื้นปูนที่ต้องฉาบผิวค่าการโก่งตัวสูงสุดควรมีค่าไม่เกิน $L/360$

2.4.6.6 แผ่นเหล็กรองรับแรงกดสำหรับเสา (Column Base Plate)

เป็นแผ่นเหล็กช่วยกระจายแรงหรือน้ำหนักจากเสาลงสู่ฐานรองรับเช่น ตอม่อคอนกรีต แผ่นเหล็กดังกล่าวต้องมีความกว้าง ยาว และหนาที่เหมาะสม โดยหน่วยแรงกดที่กระทำต่อฐานรองรับต้องไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด และแผ่นเหล็กต้องสามารถรับ โมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงกดได้ทั้งสองทิศทาง

ถ้าใช้แผ่นเหล็กกว้างเท่ากับ B และยาวเท่ากับ N เพื่อรับแรงกระทำรวมศูนย์ การออกแบบเพื่อขนาดความหนา (t) ของแผ่นเหล็กทำได้โดยสมมติให้หน่วยแรงกดที่เกิดขึ้นได้แผ่นเหล็กกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ของแผ่นเหล็ก(BxN) หากแรงกดอัดจากเสามีค่ามาก ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่แผ่นเหล็กต้องรับให้พิจารณาโดยถือว่าแผ่นเหล็กทำหน้าที่เสมือนคานยื่นยาวเท่ากับ m และ n โดยที่ระยะ m มีค่าเท่ากับ (N-0.95d)/2 และระยะ n มีค่าเท่ากับ (B-0.8b_f)/2 ดังรูปที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 แผนภูมิการรับแรงของแผ่นเหล็ก

(ที่มา: Structural Steel Design ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร)

การออกแบบโดยวิธี ASD ความหนาของแผ่นเหล็ก t ที่ต้องการหาได้จากค่ามากของ m หรือ n

ดังนี้

$$t = 2(m \text{ หรือ } n) \sqrt{\frac{P}{BNF_y}}$$

2.4.7 สลักเกลียว (Bolt)

2.4.7.1 ประเภทของสลักเกลียว

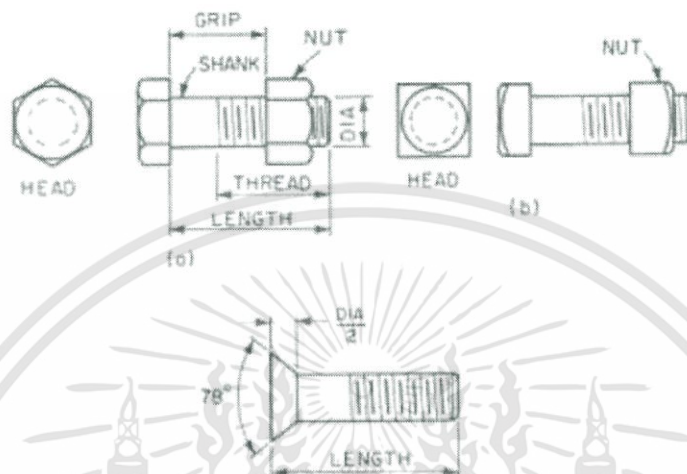
สลักเกลียวถูกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สลักเกลียวไม่แต่งผิว (unfinished bolts) และ สลักเกลียวกำลังสูง(high-strength bolts)

1) สลักเกลียวไม่แต่งผิวมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สลักเกลียวธรรมดา (common bolts) ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM A307 สลักเกลียวไม่แต่งผิวจะทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low-carbon steel) โดยจะมีกำลังรับแรงดึงต่ำสุด 4200 kg/cm² ดังที่แสดงในตารางที่ 2.6 สลักเกลียวชนิดนี้จะเหมาะกับโครงสร้างเหล็กซึ่งไม่ถูกกระทำโดยแรงสั่นสะเทือน (vibration forces) และแรงกระแทก (impact forces) รูปที่ 2.26a ถึง 2.26c แสดงลักษณะของสลักเกลียวไม่แต่งผิว 3 ประเภท ซึ่งมักใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป คือ หัวหกเหลี่ยม หัวสี่เหลี่ยม และหัว countersunk ตามลำดับในกรณีที่จะต้องใช้สลักเกลียวชนิดนี้ในโครงสร้างที่ถูกกระทำโดยแรงแรงสั่นสะเทือนและแรงกระแทกแล้วเราจะต้องใช้น็อตล็อก (lock nuts) สลักเกลียว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเลื่อนของน็อตเมื่อสลักเกลียวถูกกระทำโดยแรงดังกล่าว



ภาพที่ 2.26 สลักเกลียวไม่แต่งผิว

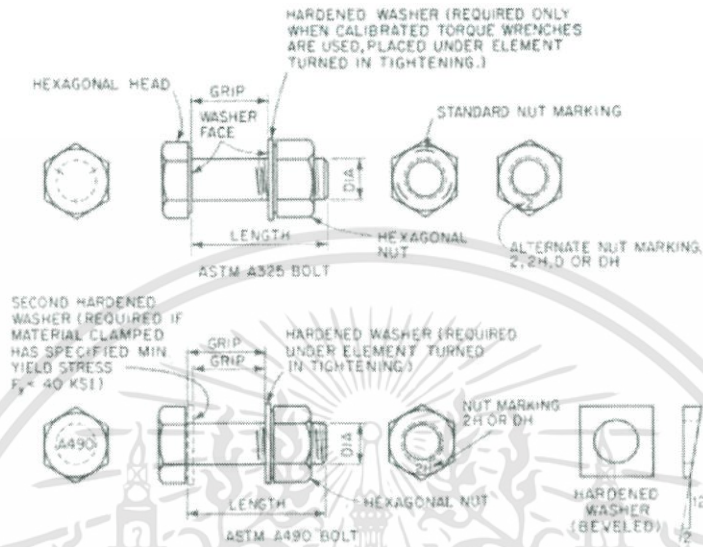
(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

ชื่อเรียกโดย ASTM	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	หน่วยแรงดึงประลัย (kg/cm^2)		Yielding stress ต่ำสุด (kg/cm^2)	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (kg/cm^2)
		Min.	Max.		
สลักเกลียวไม่แต่งผิว; A307					
เกรด A	ทุกขนาด	4,210	-		-
เกรด B	ทุกขนาด	4,210	7,030		-
สลักเกลียวกำลังสูง; medium-carbon steel,					
A325 และ A449	12-25	8,430	-	6,460	5,970
A325 และ A449	29-38	7,380	-	5,690	5,200
A449	43-75	6,320	-	4,070	3,860
alloy steel, A490	12-38	10,540	12,650	9,130	8,430

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติเชิงกลของสลักเกลียว (ASTM)

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

2) สลักเกลียวกำลังสูงเป็นสลักเกลียวที่ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium-carbon steel) ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM A325 และ ASTM A449 และทำด้วยเหล็กกล้าผสม (alloy steel) ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM A490 โดยทั่วไปแล้ว สลักเกลียวกำลังสูงจะมีกำลังรับแรงดึงมากกว่าสลักเกลียวไม่แต่งผิวมาก ดังที่แสดงในตารางที่ 2.6

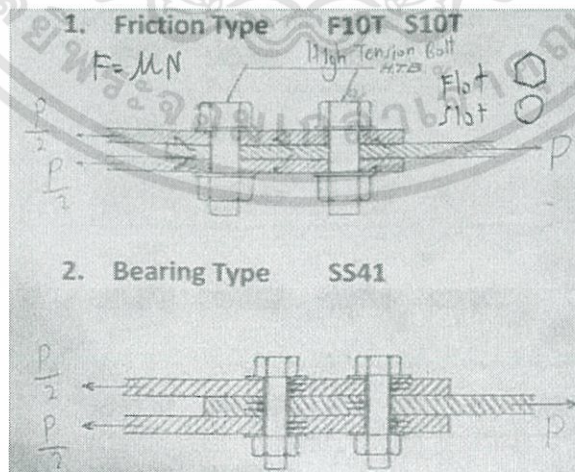


ภาพที่ 2.27 สลักเกลียวกำลังสูง

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

2.4.7.2 การรับแรงเฉือนของสลักเกลียว

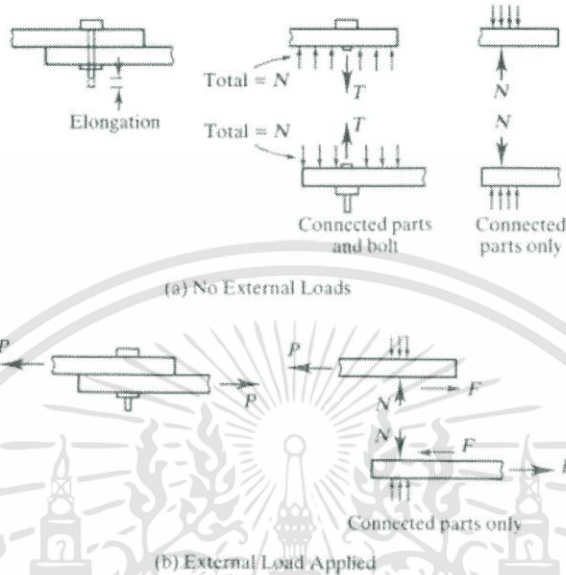
1) สลักเกลียวไม่แต่งผิวจะมีการรับแรงเฉือนโดยใช้กำลังแบกทาน (Bearing) ในการรับน้ำหนักบรรทุก P โดยแรงจะส่งผ่านตัวสลักเกลียวจากชิ้นส่วน โครงสร้างที่รับแรงแล้วถ่ายไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ลักษณะการถ่ายแรงของสลักเกลียวทั้ง 2 ประเภท

(ที่มา: Structural Steel Design บริษัท นันทวัน จำกัด)

2) สลักเกลียวกำลังสูงจะใช้หลักการแรงเสียดทาน (Friction) ในการรับแรงเฉือนเชื่อมต่อชิ้นส่วนโครงสร้างเข้าด้วยกัน โดยจะขันหัวน็อตให้ตึงเกลียวเกิดการยึดตัวในช่วงอิลาสติกจะทำให้ค่าเกลียวของเหล็กหดตัวเพื่อสร้างแรงแบกทานระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 หลักการใช้งานของสลักเกลียวกำลังสูง
(ที่มา: Structural Steel Design ฝศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

2.4.7.3 การวิบัติของสลักเกลียว

พิจารณารอยต่อทาบ (lap joint) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.30a จาก free-body diagram ของสลักเกลียว เราจะเห็นได้ว่า ในกรณีนี้ สลักเกลียวจะถูกเฉือนในระนาบเดียว ซึ่งการเฉือนนี้ถูกเรียกว่า การเฉือนในระนาบเดียว (single shear) และค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของสลักเกลียวจะหาได้จากสมการ

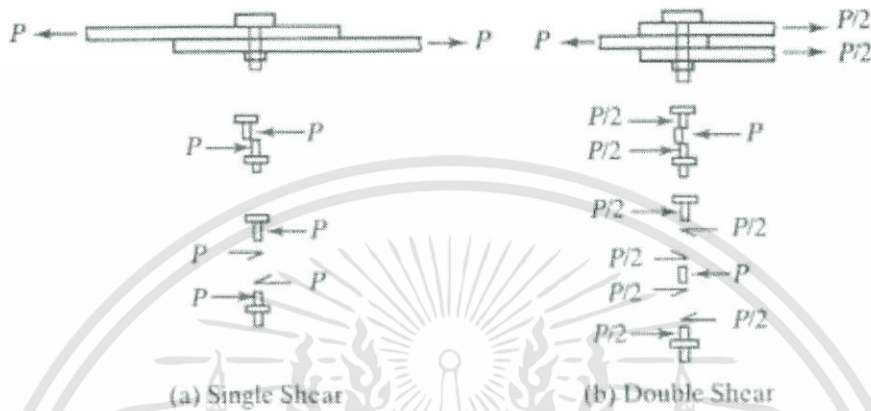
$$f_v = \frac{P}{A}$$

โดยที่ P = แรงที่กระทำ กับสลักเกลียว

A = พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียว

พิจารณารอยต่อชน (butt joint) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.30b จาก free-body diagram ของสลักเกลียว เราจะเห็นว่าสลักเกลียวถูกเฉือนในสองระนาบ ซึ่งการเฉือนนี้จะถูกเรียกว่า การเฉือนในสองระนาบ (double shear) และค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของสลักเกลียวจะหาได้จากสมการ

$$f_v = \frac{P}{2A}$$



ภาพที่ 2.30 การวิบัติของสลักเกลียว

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

การรับแรงเฉือนของสลักเกลียวในทั้ง 2 รูปแบบจะแสดงในตารางที่ 2.7 ของสลักเกลียวไม่แต่ง ผิวเกรด SS400 และสลักเกลียวกำลังสูงเกรด F10T

Bolt	allowable shear(t)		Bolt	allowable shear(t)	
	single	double		single	double
SS400T			F10T		
M16	1.81	3.62	M16	3.02	6.04
M20	2.83	5.65	M20	4.71	9.42
M22	3.42	6.84	M22	5.70	11.4
M24	4.12	8.24	M24	6.78	13.6
M27	5.16	10.32	M27	8.60	17.2
M30	6.36	12.72	M30	10.60	21.2

ตารางที่ 2.7 กำลังรับแรงเฉือนของสลักเกลียว

(ที่มา: Structural Steel Design บริษัท นันทวัน จำกัด)

เพื่อป้องกันการวิบัติเนื่องจากแรงเบกทานในแนวแรงระหว่างรูเจาะสองรู มาตรฐานว.ส.ท. กำหนดให้ระยะต่ำสุดระหว่างสลักเกลียวจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า $2.5d$ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะใช้น้อยกว่า $3d$ นอกจากนั้นแล้วยังได้กำหนดให้ระยะห่างต่ำสุดจากจุดศูนย์กลางรูเจาะจนถึงขอบริมแผ่นเหล็กดังแสดงในตารางที่ 2.8

เส้นผ่าศูนย์กลางของสลักเกลียว (mm)	ระยะห่างต่ำสุดจากขอบ (mm)	
	ขอบตัดด้วยวิธีเฉือนหรือใช้ไฟตัดด้วยมือ	ขอบซึ่งรีด ใช้ไฟตัดอัตโนมัติ เลื่อยออกหรือกลึงออก
10	18	16
12	22	18
16	28	22
20	34	26
22	38	28
24	44	32
28	50	38
30	54	40
เกินกว่า 30	$1.75d$	$1.25d$

ตารางที่ 2.8 ระยะห่างต่ำสุดจากจุดศูนย์กลางรูเจาะจนถึงขอบแผ่นเหล็ก

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

2.4.8 รอยเชื่อม

2.4.8.1 รอยเชื่อม

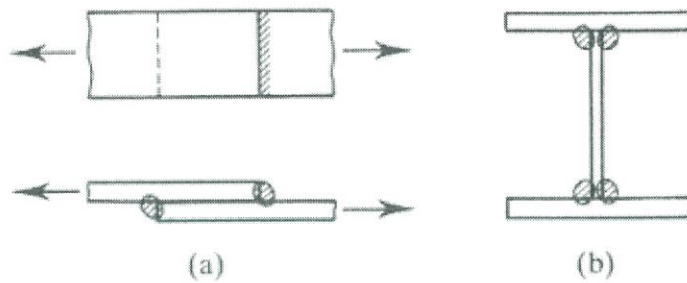
การเชื่อมไฟฟ้าเป็นขบวนการหนึ่งที่ใช้ในการเชื่อมต่อชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็กเข้าด้วยกัน โดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการ arc ของกระแสไฟฟ้าระหว่างชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็กและเนื้อโลหะของรูปเชื่อม (electrode) โดยที่เนื้อโลหะดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็กให้เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อรอยเชื่อมเย็นตัวลง

ชนิดของรอยเชื่อมที่ใช้โดยทั่วไปจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ รอยเชื่อมพอก (fillet weld) และรอยเชื่อมเซาะร่อง (groove weld)

รอยเชื่อมดังที่แสดงในรูปที่ 2.31 เรียกว่า รอยเชื่อมพอก ซึ่งเป็นรอยเชื่อมที่ถูกลง มาใช้งานมากที่สุด เนื่องจากความง่ายในการเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงสร้างเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะการเชื่อมในสถานที่ก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม รอยเชื่อมพอกจะมีกำลังความต้านทานต่อแรงกระแทก และแรงกระทำซ้ำต่ำกว่า รอยเชื่อมเซาะร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

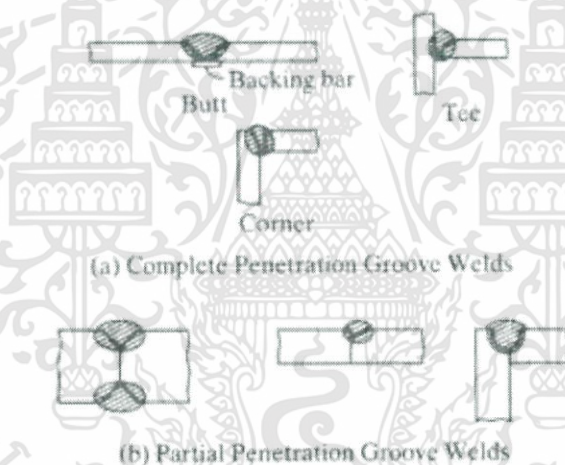
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.31 รอยเชื่อมพอก (fillet weld)

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

รอยเชื่อมดังที่แสดงในรูปที่ 2.32 เรียกว่า รอยเชื่อมเซาะร่อง ซึ่งแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ รอยเชื่อมเซาะร่องลึกเต็มหน้าดังที่แสดงในรูปที่ 2.32a และรอยเชื่อมเซาะร่องไม่ลึกเต็มหน้าดังที่แสดงในรูปที่ 2.32b



ภาพที่ 2.32 รอยเชื่อมเซาะร่อง(groove weld)

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

2.4.8.2 การออกแบบรอยเชื่อมพอก

ในการออกแบบรอยเชื่อมพอก (fillet weld) หน้าตัดของรอยเชื่อมจะถูกสมมุติให้มีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมมุมฉากที่ทำมุม 45° ดังที่แสดงในรูปที่ 2.33 และการวิบัติของรอยเชื่อมจะถูกสมมุติให้เป็นการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน เนื่องจากรอยเชื่อมพอกมีกำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงกดอัด โดยที่ระนาบของการวิบัติดังกล่าวจะเป็นระนาบของคอเชื่อม (throat) และความยาวของคอเชื่อมจะเป็นระยะที่วัดตั้งฉากจากเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างปลายของรอยเชื่อมไปยังราก (root)

ของรอยเชื่อม ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.707 เท่าของขนาดของรอยเชื่อม(size) a ดังนั้น ถ้ากำหนดให้รอยเชื่อมมีความยาว L และถูกกระทำ โดยแรง P แล้ว ค่าของหน่วยแรงเฉือน F_v ที่เกิดขึ้นจะหาได้จากสมการ

$$F_v = \frac{P}{0.707aL}$$

ในกรณีที่เราทราบค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ F_v แล้ว ค่าแรง P สูงสุดที่รอยเชื่อมสามารถรับได้จะหาได้จากสมการ

$$P = 0.707aLF_v$$



ภาพที่ 2.33 ระนาบวิบัติของรอยเชื่อมพอก

(ที่มา: Structural Steel Design ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

กำลังของรอยเชื่อมพอกจะขึ้นอยู่กับชนิดของรูปเชื่อม โดยที่กำลังของรูปเชื่อมจะเป็นค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของโลหะที่ใช้ทำ รูปเชื่อม ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะมีค่า 60, 70, 80, 90, 100, 110 ksi แต่กำลังของรูปเชื่อมที่นิยมใช้มากที่สุดคือ 60 ksi และ 70 ksi ซึ่งมักจะถูกระบุโดยใช้สัญลักษณ์ E ขึ้นต้นแล้วตามด้วยกำลังรับแรงดึงของรูปเชื่อม(F_{EXX}) ซึ่งเป็นตัวเลข 2 หลัก และชนิดของการเคลือบรูปเชื่อมซึ่งเป็นตัวเลข 2 หลักหรือสัญลักษณ์ XX เช่น

E60XX เป็นรูปเชื่อมที่มีกำลังรับแรงดึงสูงสุด 60 ksi = 4200 kg/cm²

E70XX เป็นรูปเชื่อมที่มีกำลังรับแรงดึงสูงสุด 70 ksi = 4900 kg/cm²

จาก ASD specification ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ f_v ของรูปเชื่อม E60XX และ E70XX จะมีค่าเท่ากับ $0.3F_{EXX}$ การออกแบบกำลังรับแรงเฉือนของรอยเชื่อมพอกด้วยวิธี ASD หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม} &= (0.3F_{EXX})(0.707aL) \quad [kg] \\ \text{หรือ} &= (0.3F_{EXX})(0.707a) \quad [kg/cm] \end{aligned}$$

มาตรฐาน AISC/ASD ให้ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับการเชื่อมแบบพอกดังนี้

- 1) ขนาดเล็กสุดของรอยเชื่อมขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็กส่วนที่หนากว่าดังตารางที่ 2.9 (แต่ขนาดขาเชื่อมต้องไม่เกินส่วนที่บางกว่า)

ความหนาของแผ่นเหล็กส่วนที่หนากว่า	ขนาดเล็กสุดของรอยเชื่อม มม.
ไม่เกินหรือเท่ากับ 6 มม.	3
เกินกว่า 6 ถึง 13 มม.	5
เกินกว่า 13 ถึง 19 มม.	6
เกินกว่า 19 มม.	8

ตารางที่ 2.9 ขนาดเล็กที่สุดของรอยเชื่อม

(ที่มา: Structural Steel Design ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร)

- 2) ขนาดใหญ่ที่สุดของขาเชื่อมแบบพอก เท่ากับความหนาของแผ่นเหล็กที่หนาไม่เกิน 6 มม. สำหรับแผ่นเหล็กที่หนาเท่ากับ 6 มม.หรือมากกว่า ขนาดของขาเชื่อมจะเท่ากับ ความหนาแผ่นเหล็กลบด้วย 2 ซม.
- 3) ความยาวของการเชื่อมแบบพอก ต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของขนาดรอยเชื่อม ความยาวของการเชื่อมตามแนวยาวที่ปลายแผ่นเหล็กแบน (Flat bar) ที่รับแรงดึง ต้องไม่น้อยกว่าระยะห่างตั้งฉากระหว่างแนวเชื่อม ซึ่งระยะระหว่างแนวเชื่อมก็ไม่ควรเกิน 20 ซม. เว้นแต่ได้มีการพิจารณาถึงเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล
- 4) ควรมีการเชื่อมอ้อมปลาย (end return) โดยมีความยาวไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดรอยเชื่อม ทั้งนี้เพื่อช่วยลดจุดแรงวิกฤต (high stress concentration) และในการคำนวณก็อาจพิจารณาให้รอยเชื่อมอ้อมปลายรับแรงกระทำด้วยก็ได้
- 5) ระยะทาบของแผ่นเหล็กที่นำมาต่อ อย่างน้อยเท่ากับความหนาของแผ่นเหล็กที่บางกว่า แต่ต้องไม่น้อยกว่า 25 มม.
- 6) ความยาวของรอยเชื่อมแบบเว้นระยะ ต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของขนาดรอยเชื่อมหรือ 38 มม.

2.5 Strength of Material

การรับกำลังของวัสดุในที่นี้จะกล่าวถึงวัสดุเหล็กที่รับแรงดันจากของเหลวที่กระทำด้านข้างกับผิวถึงทรงกระบอกผนังบางที่บรรจุของเหลว (thin wall tube) เมื่อแรงดันของเหลวกระทำด้านข้างกับผิวถึงจะทำให้เกิดความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (hoop stress) และความเค้นตามแนวยาว (longitudinal stress) ในที่นี้จะกล่าวแต่ความเค้นตามแนวเส้นรอบวงเท่านั้น

2.5.1 Hoop Stress

Hoop stress คือความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวเส้นรอบวงของผิวถึงเนื่องจากแรงดันของเหลว P ภายในถึงที่จะต้านทานการบีบอัดของผิวถึงที่ทำให้เกิดการฉีกขาดแยกออกเป็นซี่ก ความเค้นตามแนวเส้นรอบวงจะกระทำในสองทิศทางตามแนวเส้นรอบวงของผิวถึง ในการคำนวณจะแบ่งครึ่งที่แกนสมมาตรของถึง โดยแรงกระทำทั้งหมดจะนำค่า P คูณด้วยพื้นที่ที่ฉายลงมา ดังสมการ

$$F_t = P * (dL)$$

ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง σ_H เมื่อคูณด้วยพื้นที่ตามแนวยาวของผิวถึงจะได้แรงต้านทานแรงกระทำทั้งหมดดังสมการ

$$F_r = 2 * (\sigma_H Lt)$$

หาความเค้นตามแนวเส้นรอบวงจากสมการสมดุลแรง

$$F_t = F_r$$

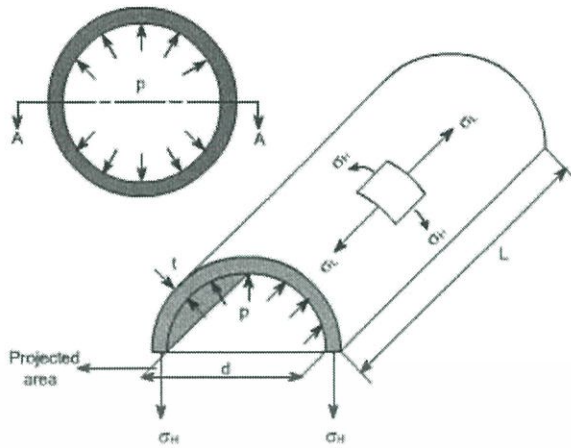
$$P * (dL) = 2 * (\sigma_H Lt)$$

$$\sigma_H = \frac{Pd}{2t}$$

โดยที่ P = แรงดันจากของเหลว (kg/cm^2)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของถึง (cm)

t = ความหนาของผิวถึง (cm)



ภาพที่ 2.34 ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

(ที่มา: <https://www.quora.com/What-is-longitudinal-circumferential-and-radial-stress-in-a-practical-way-How-is-radial-stress-compressive-in-nature>)

2.5.2 การออกแบบผิวถังเหล็ก

จากกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่จุดคราก $0.6F_y$ สามารถคำนวณหาความหนาของเหล็กได้จากสมการสมดุลดังนี้

$$0.6F_y = \sigma_H$$

$$0.6F_y = \frac{Pd}{2t}$$

โดยที่ F_y = กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็ก (kg/cm^2)

เมื่อจัดรูปสมการ ความหนาของเหล็กที่ต้องใช้หาได้จากสมการดังนี้

$$t = \frac{Pd}{1.2F_y}$$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

โครงการออกแบบเล่มนี้นำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยการวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยวิธี ASD โดยจะแบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกเป็น 8 ขั้นตอนหลัก เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลการออกแบบเหล็ก หนังสือทางวิชาการ ทั้งทางอินเทอร์เน็ตและเอกสารที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงศึกษาข้อมูลและขนาดของเหล็กที่มีขายในประเทศตามแค็ตตาล็อกและเว็บไซต์ต่างๆ วางกรอบขอบเขตของการศึกษา เพื่อจัดการกับข้อมูลและกำหนดแนวทางในการออกแบบ ศึกษาวิธีการใช้งาน Concrete Bucket แต่ละประเภทและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย จากนั้นร่างแบบคร่าวๆ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม ทำความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดและหลักการวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโครงสร้างเหล็กให้ถูกต้องตามวิธี ASD แล้วจึงทำการเขียนแบบ Drawing สำหรับการสร้าง Concrete Bucket สุดท้ายคือการเปรียบเทียบเวลาระหว่าง Concrete Bucket 1 m^3 และ 5 m^3

3.1 รวบรวมข้อมูล และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

หลังจากที่ผู้ศึกษากำหนดวัตถุประสงค์และขั้นตอนในการศึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลซึ่งนำมาใช้ในการประกอบการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎี ความรู้ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชิ้นงานนี้ โดยผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากหนังสือ อินเทอร์เน็ตและเอกสารที่เกี่ยวข้อง รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเหล็กในบริบทต่างๆ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบให้ถูกต้องโดยวิธี ASD และสามารถกำหนดขั้นตอนในการออกแบบและแนวทางในการดำเนินการเพื่อใช้งานจริง ซึ่งมีขอบเขตและเนื้อหา ดังนี้

1. การใช้งาน concrete bucket และบริบทต่างๆ
2. วิเคราะห์โครงสร้างแต่ละชิ้นส่วนที่ต้องออกแบบ
3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ โครงสร้างเหล็ก

5. แก๊ตตาล็อกและขนาดเหล็กที่มีขายอยู่ทั่วไป

3.2 วางกรอบขอบเขตของการศึกษาและกำหนดแนวทางในการออกแบบ



การศึกษารอบขอบเขตของโครงการออกแบบโครงสร้างเหล็กและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อใช้ในการกำหนดแนวทางและขั้นตอนการออกแบบชิ้นงาน Concrete Bucket เป็นกรอบขอบเขตของงานออกแบบชิ้นนี้ เพื่อที่จะสามารถออกแบบชิ้นงานให้อยู่บนมาตรฐานและความปลอดภัยแล้วนำไปสร้างและใช้งานจริงได้ โดยขอบเขตจะดำเนินการตามหัวข้อดังนี้

- ศึกษาข้อดีและข้อเสียของ Concrete Bucket แต่ละชนิด เพื่อเลือกมาทำการออกแบบ
- ศึกษาและทบทวนเนื้อหาการวิเคราะห์โครงสร้าง
- ศึกษาและทบทวนเนื้อหาการออกแบบ โครงสร้างเหล็ก
- ทบทวนขนาดหรือโมเดลที่ได้ร่างเอาไว้ตอนแรกว่าเหมาะสมแก่การใช้งานจริงหรือไม่
- ทำการออกแบบตามหลักการออกแบบ โครงสร้างเหล็ก
- ขณะทีออกแบบ ก็ให้ทำโมเดล 3 มิติ(Sketchup)เพื่อตรวจสอบว่าต้องมีการปรับปรุงตรงไหน
- ตรวจสอบว่าขนาดเหล็กที่ออกแบบมา มีขายในตลาดเหล็กหรือไม่
- ทำการเขียนแบบสำหรับประกอบชิ้นงานจริง

3.3 การศึกษาชนิดและการใช้งานของ Concrete Bucket เพื่อนำมาออกแบบ

การศึกษานชนิดของ concrete bucket เพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ concrete bucket แต่ละชนิด ซึ่งก็จะมีฟังก์ชันการใช้งานแตกต่างกันออกไป จากโครงการที่ผู้ศึกษากำลังดำเนินการอยู่นี้ต้องการชนิดที่สามารถออกแบบให้มีความจุได้มากขึ้น จึงได้เลือกใช้ชนิด lay-down concrete bucket ดังตารางที่ 3.1 เนื่องจากเป็นชนิดเดียวที่สามารถออกแบบให้มีขนาดความจุในปริมาณมากได้ จากนั้นศึกษาวิธีการใช้

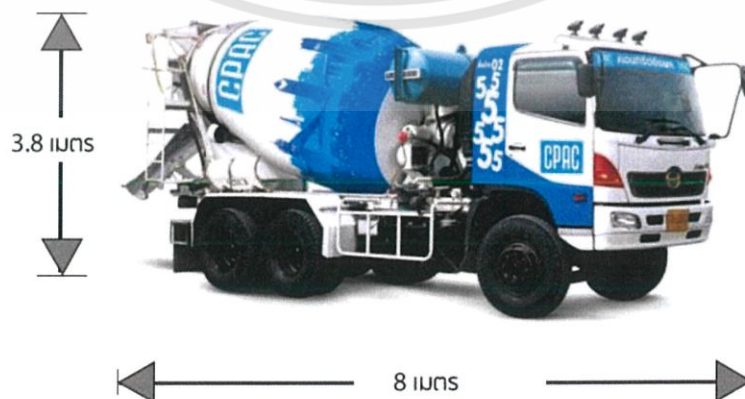
งาน lay-down concrete bucket เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนในแต่ละบริบทของการใช้งานแล้วนำไปทำการออกแบบให้ได้ตามมาตรฐานและความปลอดภัย

ชนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
 <p>Round Bucket</p>	<ul style="list-style-type: none"> - เป็น Bucketแบบทั่วไป ประกอบขึ้นงา่ง่าย - Pressure ที่กระทำกับผิวต้งน้อย 	<ul style="list-style-type: none"> - มีข้อจำกัดเรื่องการเพิ่มความจุ เนื่องจากการเพิ่มขนาดในแนวตั้งจะต้องไม่สูงเกินระดับ Chute ของรถปูน
 <p>Banana Bucket</p>	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถเปิด Discharge Gate ได้ขณะวางบนพื้น - Pressure ที่กระทำกับผิวต้งน้อย 	<ul style="list-style-type: none"> - มีข้อจำกัดเรื่องความจุเช่นเดียวกับ Round Bucket - ถ้าเทระหว่างที่ห้อยอยู่บนเครน จะเกิด Reaction ในทิศทางตรงข้ามกับด้านที่เทคอนกรีต ทำให้เสียสมดุลระหว่างเทได้
 <p>Lay-Down Bucket</p>	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถออกแบบให้รับความจุได้มาก 	<ul style="list-style-type: none"> - มีการออกแบบที่ซับซ้อนกว่า - เมื่อมีขนาดใหญ่ จะเกิด Pressure ที่กระทำมากกว่า

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ concrete bucket แต่ละชนิด

3.4 ร่าง Concrete Bucket ขนาดคร่าวๆ

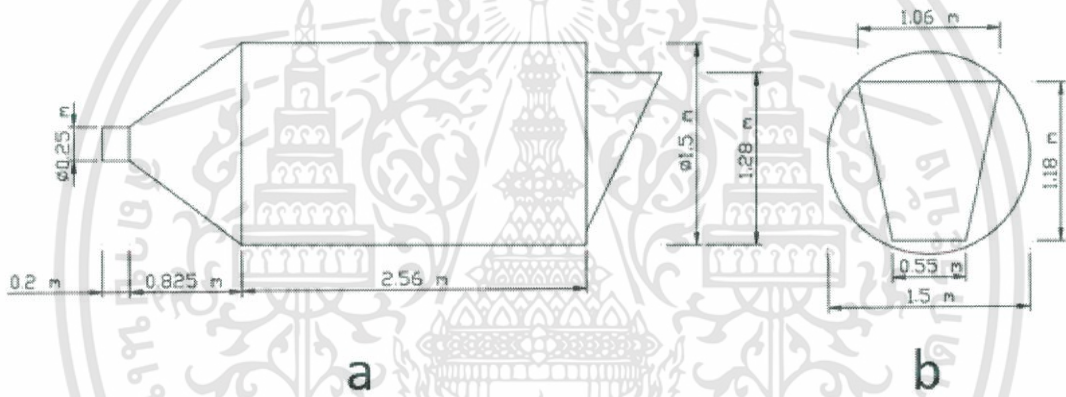
การร่างขนาดคร่าวๆของ concrete bucket ขนาด 5 m^3 เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าถ้าจะบรรจุคอนกรีตขนาด 5 m^3 ควรมีขนาดเท่าไร เหมาะกับสภาพการใช้งานจริงหรือไม่ มีข้อจำกัดอะไรบ้างที่มีผลต่อการออกแบบขนาดของ concrete bucket ซึ่งหลังจากที่ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับข้อจำกัดที่เป็นไปได้ในการใช้งานจึงได้พบข้อจำกัดเช่น ความสูงจูดรับคอนกรีตของ concrete bucket ไม่ควรสูงเกิน 1.6 m (สำหรับรถไม่ใหญ่ Cpac ความจุ 5 m^3 ดังรูปที่ 3.1) และ เมื่อ concrete bucket ถูกยกจกนตั้งฉากกับพื้นดังรูปที่ 3.2d ระดับคอนกรีตในถังควรอยู่ต่ำกว่าปากถัง 10 cm เพื่อป้องกันคอนกรีตระลอกออกมา



ภาพที่ 3.1 ขนาดของรถโมใหญ่ 5 m³ Cpac

(ที่มา: <http://www.poonmix.com/news-article/e17ba-รถโมใหญ่-ซีแพค.html>)

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ ผู้ศึกษาต้องการออกแบบให้คอนกรีตบรรจุได้ทั้งหมด 5 m³ ขนาดของตัวถังดังรูปที่ 3.2 ส่วนของตัวถังที่บรรจุคอนกรีต 5 m³ ขณะที่ยกขึ้นตั้งฉากกับพื้นจะเป็นส่วนทรงกระบอกเล็ก ทรงกรวยและทรงกระบอกใหญ่ดังรูปที่ 3.2a (จากความยาว 2.56 m ระดับคอนกรีตจะอยู่ต่ำกว่าขอบถัง 10 cm หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถัดส่วนนี้ยาว 2.46 m ระดับของคอนกรีตจะอยู่ที่ขอบถังพอดี) สำหรับส่วนท้ายถัง จะสังเกตได้ว่าเมื่อรถปูนเทคอนกรีตจนครบ 5 m³ แล้ว ระดับของคอนกรีตจะอยู่ที่ขอบส่วนท้ายถังพอดีซึ่งมีความสูงอยู่ที่ 1.28 m ขนาดส่วนท้ายถังจึงออกแบบมาไว้เพื่อให้รองรับคอนกรีต 5 m³ ได้พอดีดังรูปที่ 3.2b

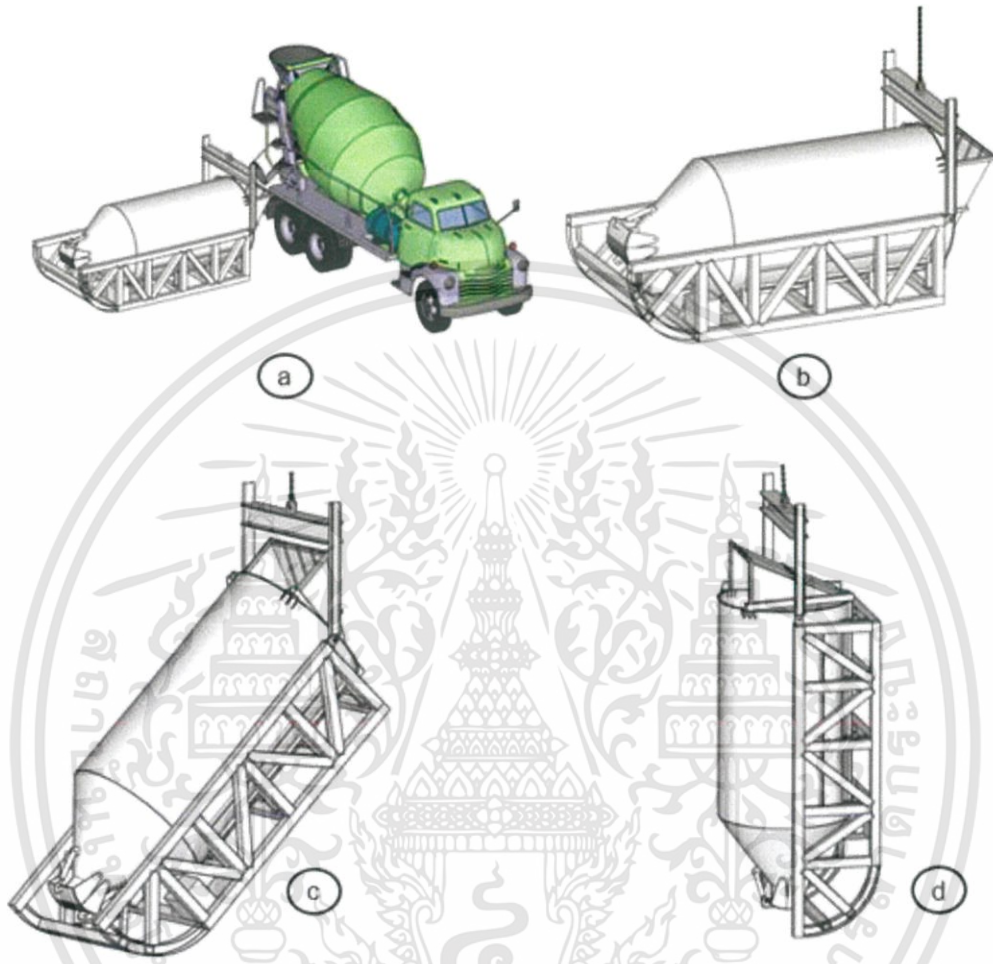


ภาพที่ 3.2 ขนาดคร่าวๆของ concrete bucket สำหรับบรรจุคอนกรีต 5 m³

3.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง

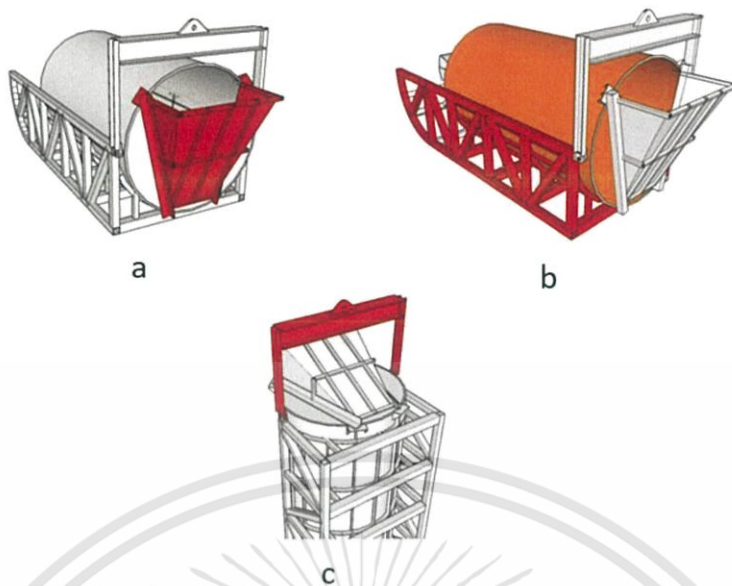
การวิเคราะห์โครงสร้างของ concrete bucket เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกทุกของคอนกรีตที่กระทำกับ concrete bucket ในบริบทต่างๆระหว่างใช้งาน การใช้งาน concrete bucket จะเริ่มจาก concrete bucket จะนอนราบไปกับพื้นเพื่อรถปูนมาเทคอนกรีตลงไป ใน concrete bucket ดังรูปที่ 3.3a เมื่อคอนกรีตเต็มความจุแล้ว concrete bucket จะถูกยกขึ้นไปโดยเครนทำให้ concrete bucket ที่นอนราบอยู่กับพื้นถูกยกขึ้นไปในแนวตั้งฉากกับพื้น ดังรูปที่ 3.3d

น้ำหนักบรรทุกที่พิจารณาของคอนกรีตเมื่อเต็มความจุ 5 m^3 มีน้ำหนักทั้งหมด 12 ตัน และความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 2.4 kg/m^3



ภาพที่ 3.3 concrete bucket ขณะใช้งาน

การวิเคราะห์โครงสร้างจะทำการคำนวณในขณะที่ concrete bucket บรรจุคอนกรีตเต็ม 5 m^3 โดยจะแบ่งการวิเคราะห์หลักๆเป็น 2 กรณีคือ 1)ตอนเพิ่งเริ่มยกออกจากพื้น(ประมาณ 0 องศาที่ระนาบของพื้น) และ 2)ตอนยกขึ้นพ้นจากพื้น(90 องศาที่ระนาบพื้น) และจะแบ่งกลุ่มชิ้นส่วน โครงสร้างสำหรับการวิเคราะห์เป็น 3 ส่วน คือ 1)ส่วนท้ายถึงดังรูปที่ 3.4a 2)ส่วนถังและ โครงดังรูปที่ 3.4b และ 3)ส่วนแขนยกดังรูปที่ 3.4c

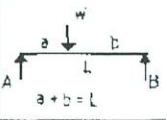
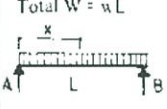
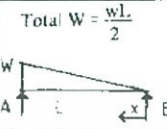
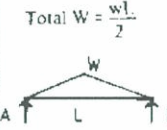

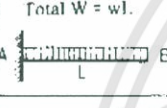
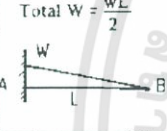
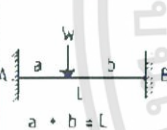
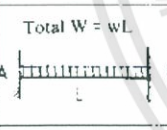
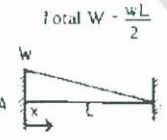


ภาพที่ 3.4 กลุ่มชิ้นส่วน โครงสร้างของ concrete bucket

1) ตอนเพิ่งเริ่มยกออกจากพื้น จะคำนวณส่วนท้ายถึง(รูปที่ 3.4a)เนื่องจากเมื่อมีคอนกรีตบรรจุอยู่เต็มจะเกิดแรงดันข้างกระทำกับแผ่นเหล็กส่วนท้ายถึง ส่วนถึงและโครงเหล็กที่รองรับ(รูปที่ 3.4b)จะเกิดแรงกระทำที่ผิวถึงจากแรงดันคอนกรีตและถ่ายแรงลงมายัง โครงเหล็กที่รองรับ จากนั้นแรงจะถ่ายเข้าไปยัง โครงที่อยู่ด้านข้างของถึงซึ่งออกแบบมาให้เป็นโครงข้อหมุนเพื่อที่จะเกิดเค้นแนวแกนอย่างเดียว แต่สำหรับตัวถึงจะต้องทำการคำนวณในกรณีที่ concrete bucket ถูกยกตั้งฉากกับพื้นด้วย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 เพื่อหาแรงวิกฤตที่เกิดขึ้นกับผิวถึง

2) ตอนยกขึ้นพื้นจากพื้น จะคำนวณส่วนแขนยก(รูปที่ 3.4c)เมื่อเครนยก concrete bucket ขึ้นจากพื้น จากเกิดแรงกระทำสูงสุดกับแขนยกเนื่องจากน้ำหนักคอนกรีตจะทำให้เกิดแรงดึงกับแขนยกและยังมีแรงกระทำตอนเครนยกขึ้นไป

ในการออกแบบ เมื่อโครงสร้างที่ทำการออกแบบมีพฤติกรรมเป็นคานอย่างง่าย(simple beam) จะใช้สูตรในการหาโมเมนต์ดัดสูงสุดและการ โกงตัวสูงสุดสำหรับคานดังรูปที่ 3.5 และสำหรับคานต่อเนื่อง (continuous beam) จะใช้โปรแกรม SUT Structor ในการคำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดและการ โกงตัวสูงสุด

Loading Diagram	Shear Force at x: Qx	Bending Moment at x: Mx	Deflection at x: δx
	$Q_A = \frac{Wb}{L}$ $Q_B = -\frac{Wa}{L}$	$M_c = \frac{Wab}{L}$ When $a = b$ $M_c = \frac{WL}{4}$	$\delta_c = \frac{Wa^2b^2}{3EI}$
	$Q_A = \frac{W}{2}$ $Q_B = -\frac{W}{2}$	$M_{max} = \frac{WL}{8}$ at $x = \frac{L}{2}$	$\delta_{max} = \frac{5WL^3}{384EI}$ at $x = \frac{L}{2}$
	$Q_A = \frac{2W}{3} = \frac{wL}{3}$ $Q_B = -\frac{W}{3} = -\frac{wL}{6}$	$M_{max} = 0.064 wL^2$ at $x = 0.577L$	$\delta_{max} = 0.00652 \frac{wL^4}{EI}$ at $x = 0.519$
	$Q_A = \frac{W}{2} = \frac{wL}{4}$ $Q_B = -\frac{W}{2} = -\frac{wL}{4}$	$M_{max} = \frac{wL^2}{12}$ at $x = \frac{L}{2}$	$\delta_{max} = \frac{wL^4}{120EI}$ at $x = \frac{L}{2}$
	$Q_A = Q_B = W$	$M_A = -WL$	$\delta_B = \frac{WL^3}{3EI}$
	$Q_A = W$ $Q_B = 0$	$M_A = -\frac{WL}{2} = -\frac{wL^2}{2}$	$\delta_B = \frac{WL^3}{3EI} = \frac{wL^4}{3EI}$
	$Q_A = W$ $Q_B = 0$	$M_A = -\frac{WL}{3} = -\frac{wL^2}{6}$	$\delta_B = \frac{wL^4}{30EI}$
	$Q_A = \frac{Wb}{L}$ $Q_B = -\frac{Wa}{L}$	$M_A = \frac{Wab^2}{L^2}$ $M_B = -\frac{Wa^2b}{L^2}$	$\delta_c = \frac{Wa^2b^2}{3EIL^3}$
	$Q_A = \frac{W}{2}$ $Q_B = -\frac{W}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{WL}{12}$	$\delta_c = \frac{WL^3}{384EI}$
	$Q_A = \frac{2W}{3}$ $Q_B = -\frac{W}{3}$	$M_A = -\frac{WL}{10} = -\frac{wL^2}{20}$ $M_B = -\frac{WL}{15} = -\frac{wL^2}{30}$	$\delta_{max} = \frac{wL^4}{764EI}$ at $x = 0.475L$

ภาพที่ 3.5 สูตรการหา M_{max} และ Deflection δ_{max}

(ที่มา: <https://www.quora.com/How-do-I-calculate-the-maximum-deflection-of-a-rectangular-plate-under-uniform-load>)

*รายการคำนวณจะแสดงในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก

การออกแบบโครงสร้างหรือชิ้นส่วนเหล็กที่จะประกอบกันเป็น concrete bucket จะออกแบบจากแรงที่เกิดขึ้นจากที่ได้วิเคราะห์โครงสร้างไว้ ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้จะใช้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยใช้เหล็ก มอก.55 มอก.107 และ มอก.116 ในการคำนวณ(เทียบเท่ากับเหล็กเกรด SS400) ความหนาแน่น(γ_{steel}) = 7870 kg/m³ และ โมดูลัสยืดหยุ่น(E) = 2x10⁶ kg/cm² มีค่า Tensile Strength(F_u) = 4100 kg/cm² ค่า Yield Strength(F_y) = 2400 kg/cm² และ Elongation 23% โดยการคำนวณจะใช้ตามมาตรฐาน AISC ด้วยวิธี ASD และมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(วสท.) การเชื่อมต่อโครงสร้างทั้งหมดจะใช้การเชื่อมด้วยลวดเชื่อม E60 ซึ่งรับแรงดึงได้ 60 ksi(4200 kg/cm²) ชิ้นส่วนเหล็กที่เลือกใช้จะเลือกขนาดหน้าตัดตามที่มีขายอยู่ในตลาดเหล็กทั่วไป ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง สูตรที่ใช้สำหรับการออกแบบได้แก่

1) ชิ้นส่วนรับแรงดัด

1.1) คานรับแรงดัด

$$f_b = 0.60F_y$$
$$Z_{req} = \frac{M_{max}}{f_b}$$

โดยที่ F_y = 2400 kg/cm²

f_b = ความเค้นดัดที่ยอมให้ = 1440 kg/cm²

M_{max} = โมเมนต์ดัดสูงสุด kg.cm

Z_{req} = section modulus ของหน้าตัดเหล็กที่ต้องการ cm³

โดยการโก่งตัวที่ยอมให้สำหรับชิ้นส่วนรับแรงดัดงานชั่วคราวทั่วไป = L/200 เมื่อ L = ความยาว span ของคานนั้น [cm] ในสมการการโก่งตัวจะมีค่า moment of inertia (I) ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับหน้าตัดเหล็กที่เลือกใช้ มีหน่วยเป็น cm⁴

1.2) แผ่นเหล็กรับแรงเฉือน

$$f_v = 0.40F_y$$

$$\sigma_v = f_v$$

$$\frac{P}{A} = f_v$$

ดังนั้น

$$\frac{P}{2 * L * t} \leq f_v$$

โดยที่ f_v = ความเค้นเฉือนที่ยอมให้ kg/cm^2

P = แรงเฉือนที่กระทำกับแผ่นเหล็ก kg

L = ความยาวของแผ่นเหล็กในพื้นที่รับแรงเฉือน cm

t = ความหนาของแผ่นเหล็กในพื้นที่รับแรงเฉือน cm

1.3) แผ่นเหล็กรองรับแรงกด

$$t = 2(m \text{ หรือ } n) \sqrt{\frac{P}{BNF_y}}$$

โดยที่ t = ความหนาของแผ่นเหล็กที่ต้องใช้ cm

P = แรงที่กดลงบนแผ่นเหล็ก kg

B = ความกว้างของแผ่นเหล็ก cm

N = ความยาวของแผ่นเหล็ก cm

$$m = (N - 0.95d) / 2 \text{ cm}$$

$$n = (B - 0.8b_f) / 2 \text{ cm}$$

โดยที่ ให้ใช้ค่ามากของ m หรือ n

2) ชิ้นส่วนรับแรงดึง

2.1) ชิ้นส่วนรับแรงดึงทั่วไป

$$f_a = 0.60F_y$$

$$\sigma_a = \frac{P}{A}$$

ต้องการหาพื้นที่หน้าตัดของเหล็กที่รับแรง

$$\sigma_a = f_a$$

ดังนั้น

$$\frac{P}{A} \leq f_a$$

โดยที่ f_u = ความเค้นดึงที่ยอมให้ = 1440 kg/cm²

P = แรงดึงที่กระทำกับชิ้นส่วน kg

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนเหล็ก cm²

2.2) ชิ้นส่วนรับแรงดึงที่มีการวิบัติแบบ Block Shear

กำลังครากที่ยอมให้ : $P_a = 0.6F_yA_g$

กำลัง Block Shear ที่ยอมให้ : $P_a = 0.3F_yA_{nv} + 0.5U_{bs}F_uA_{nt}$

โดยที่ P_a = กำลังครากและกำลัง block shear ที่ยอมให้ kg

$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

A_g = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของชิ้นส่วนรับแรงดึง cm²

A_{gv} = พื้นที่ทั้งหมดรับแรงเฉือน cm²

A_{nv} = พื้นที่สุทธิรับแรงเฉือน cm²

A_{nt} = พื้นที่สุทธิรับแรงดึง cm²

$$U_{bs} = \text{ตัวคูณลดค่า} = 1.0$$

2.3) ชิ้นส่วนรับแรงอัด

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

เมื่อ $KL/r \leq C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ f_u คำนวณได้จาก

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

เมื่อ $KL/r \geq C_c$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ f_u คำนวณได้จาก

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

ดังนั้น ความเค้นอัดที่เกิดขึ้นต้องน้อยกว่าความเค้นอัดที่ยอมให้

$$\sigma_a < f_a$$

$$\frac{P}{A} < f_a$$

โดยที่ C_c = อัตราส่วนความชะลูด ณ เส้นแบ่งการ โกงเดาะของเสาระหว่างช่วงอีลาสติกและ
อินอีลาสติก

KL/r = อัตราส่วนความชะลูดของชิ้นส่วน

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล

L = ช่วงความยาวของเสาที่ไม่มีค้ำยันทางข้าง cm

r = รัศมีไจเรชั่น (ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการ โกงเดาะ cm

P = แรงอัดที่กระทำกับชิ้นส่วน kg

A = พื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วน cm^2

โดยวสท.ได้กำหนดไว้ว่า ค่า KL/r ของชิ้นส่วนรับแรงอัดต้องมีค่าไม่เกิน 200

*รายการคำนวณจะแสดงในภาคผนวก ก และ ขนาดเหล็กที่มีให้เลือกแสดงในภาคผนวก ง

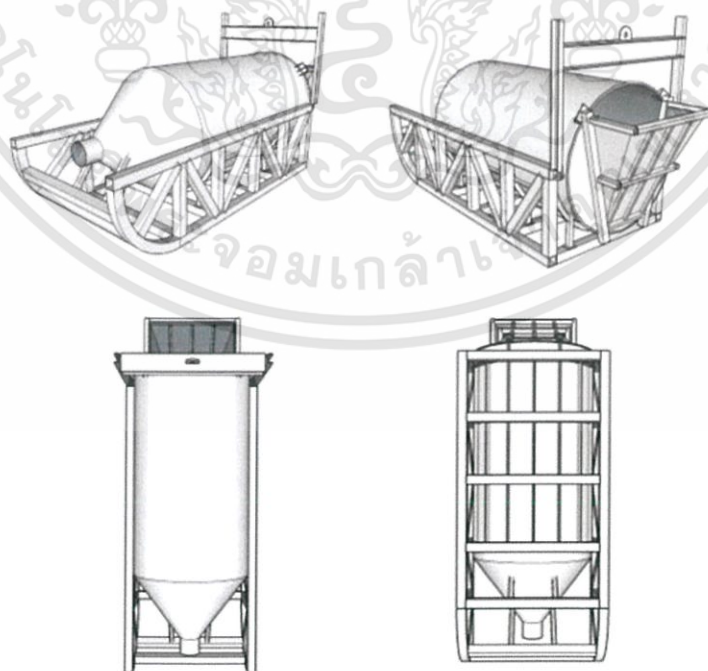
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การเขียนแบบ

การเขียนแบบเป็นการถ่ายทอดความคิดของผู้ออกแบบลงบนกระดาษอย่างเป็นระเบียบแบบแผน เพื่อให้บุคคลได้เข้าใจโดยไม่จำกัดระยะเวลาในการศึกษาทำความเข้าใจ การเขียนแบบเป็นภาษาอย่างหนึ่งที่ใช้กันในงานช่างหรืองานอุตสาหกรรม เป็นภาษาที่ถ่ายทอดความคิดหรือความต้องการของผู้ออกแบบไปให้ผู้อื่นได้ทราบ และเข้าใจได้อย่างถูกต้องไม่คลาดเคลื่อน โดยแบบที่เขียนขึ้นจะเป็นสื่อกลางที่จะนำความคิดไปสร้างได้อย่างถูกต้อง อันจะเป็นการประหยัดและได้งานที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ความเข้าใจที่ตรงกันการเขียนแบบต้องเป็นภาษาสากล โดยเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ และรูปแบบต่างๆ จะต้องเข้าใจได้ง่าย แม้แต่ผู้ที่ไม่ได้ศึกษาวิชาเขียนแบบก็สามารถเข้าใจได้พอสมควร

ก่อนจะเริ่มทำการเขียนแบบ ผู้ศึกษาได้ทำการร่างชิ้นงาน (Model Drafting) ในรูปแบบ 3 มิติจากที่ได้ทำการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของขนาดและการใช้งานจริงว่าชิ้นส่วนไหนอาจจะเกิดปัญหาได้บ้าง ซึ่งในส่วนนี้รายการคำนวณและชิ้นส่วนที่นำมาประกอบสามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน เมื่อปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนจนพบว่าเหมาะสมแล้ว ผู้ศึกษาจึงได้ทำการร่างชิ้นงานสมบูรณ์โดยใช้โปรแกรม Sketchup Pro 2018 ดังรูปที่ 3.6 สุดท้ายจะทำการเขียนแบบโดยใช้โปรแกรม AutoCAD 2018



ภาพที่ 3.6 ชิ้นงาน Concrete Bucket ใน โปรแกรม Sketchup Pro 2018

สำหรับการเขียนแบบของโครงการนี้จะใช้การเขียนแบบทางสถาปัตยกรรม(Architectural Drawing) ซึ่งจะประกอบไปด้วย การเขียนแบบ โครงสร้าง(Structural Drawing) และการเขียนรูปตัด(Section Drawing) เพื่อแสดงรายละเอียดในการประกอบชิ้นงานและวัสดุที่ใช้ให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถอ่านแบบ และทำความเข้าใจได้แล้วนำไปประกอบเป็นชิ้นงานตามที่ได้เขียนแบบไว้ การแสดงขนาด(Dimension) ของชิ้นงานจะแสดงในหน่วยมิลลิเมตร

*แบบจะแสดงในภาคผนวก ข

3.8 เปรียบเทียบเวลาระหว่าง Concrete Bucket 1 m³ และ 5 m³

ในการเปรียบเทียบเวลาระหว่าง Concrete Bucket ขนาด 1 m³ และ 5 m³ จะเปรียบเทียบโดยใช้ 3 ช่วงเวลาดังต่อไปนี้เท่านั้น

- 1) เวลาที่ทาวเวอร์เครนยก Concrete Bucket ขึ้น-ลง
- 2) เวลาที่รถปูนถ่ายคอนกรีตลง Concrete Bucket
- 3) เวลาที่ทาวเวอร์เครนหมุนไปยังจุดที่จะเททุกจุด
- 4) เวลาที่ใช้เทคอนกรีต

โดยอิงจากโครงการที่เกิดปัญหาดังที่กล่าวไว้ในที่มาของโครงการและคำนวณในสภาพแวดล้อมในอุดมคติที่กำหนด โดยจะคำนวณที่ ต้องการเสา CFT ขนาด 0.5 m³ (ฝ่าย Construction ได้วางแผนให้ตั้งเสา CFT สูง 2 ชั้นหรือสูง 6 เมตร) จำนวน 10 ต้น รวมทั้งหมด 5 m³ บนชั้น 30 ของอาคารชั้นละ 3 เมตร รวมความสูงเป็น 90 เมตร มีเงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

1) ทาวเวอร์เครนที่ใช้จะเป็นยี่ห้อ Liebherr 357 HC-L18/32 ใช้บูมยาว 50 เมตร ใช้สลิงเดี่ยว ยกที่ ตำแหน่ง 30 เมตร ยกน้ำหนักได้ 15.24 ตัน ใช้แมส 355 IC ใช้กำลังเครื่องยนต์ 110 kW ยก Concrete Bucket ด้วยความเร็วสูงสุดโดยใช้เฟืองเกียร์ 1 (ความเร็วขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่ยก) โดยความเร็วจะแสดงไว้ในคู่มือของทาวเวอร์เครนดังภาคผนวก จ

2) Concrete Bucket 1 m³ ที่นำมาเปรียบเทียบเป็นแบบ Lay-Down ของ Boscaro BCF-V Model น้ำหนัก 372 kg และจุกอนกรีตน้ำหนัก 2400 kg ได้น้ำหนักรวมทั้งหมด 2772 kg ถูกยกด้วยความเร็ว 62 m/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Concrete Bucket 5 m^3 ที่ได้ ออกแบบไว้มีน้ำหนัก 1400 kg และ จุกอนกรีตน้ำหนัก 12000 kg ได้น้ำหนักรวมทั้งหมด 13400 kg (น้ำหนักแสดงในหัวข้อ 4.1) ถูกยกด้วยความเร็ว 40 m/min

4) ทาวเวอร์เครนที่ยก Concrete Bucket จะหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน

5) รถปูน Cpac ขนาด 5 m^3

6) Concrete Bucket วางไว้ที่ตำแหน่งเดียวกัน และจุดที่จะเทเป็นจุดเดียวกัน

7) Discharge Gate มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันทั้งคู่

Concrete Bucket	1 m^3	5 m^3
เวลายกขึ้น-ลง	14.50 นาที (ครึ่งละ 2.90 นาที)	4.50 นาที
เวลา Load รถปูน	3.75 นาที (ครึ่งละ 0.75 นาที)	3.75 นาที
เวลาที่ทาวเวอร์เครนหมุน	25 นาที (รอบละ 5 นาที)	5 นาที
เวลาเทคอนกรีต	1.50 นาที	7.50 นาที
รวม	44.75 นาที	20.75 นาที

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบเวลาระหว่าง Concrete Bucket 1 m^3 และ 5 m^3

จากสภาพแวดล้อมที่กำหนดให้ จะเห็นได้ว่า Concrete Bucket 5 m^3 สามารถทำงานเดียวกันได้เร็วกว่าแบบ 1 m^3 24 นาที และมีแนวโน้มที่ความต่างของเวลาจะมีค่ามากขึ้นเมื่อความสูงของงานที่ทำเพิ่มขึ้น

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลที่ได้จากการคำนวณ

หลังจากที่ผู้ทำโครงการได้ทำการออกแบบและคำนวณ สามารถสรุปผลได้ว่า Concrete Bucket มีน้ำหนักด้วยตัวมันเอง 1400 kg มีความจุทั้งหมด 5 m³ และสามารถบรรจุทุกน้ำหนักคอนกรีตได้ถึง 12000 kg ทั้งนี้ หากต้องการให้ Concrete Bucket มีคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ผู้ทำโครงการได้ทำการคำนวณออกแบบไว้เพื่อให้เกิดประโยชน์และความปลอดภัยสูงสุด ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข รายการชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในการประกอบ Concrete Bucket มีคุณสมบัติดังนี้

รายการชิ้นส่วนเหล็ก	E(kg/cm ²)	A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	Z _x (cm ³)	r _x (cm)
1. PL 4.5 mm	2x10 ⁶	0.45 cm ² /cm	0.0076 cm ⁴ /cm	0.0338 cm ³ /cm	-
2. □ 32x32x2.3	2x10 ⁶	2.60 cm ²	3.74 cm ⁴	2.34 cm ³	1.20 cm
3. □ 50x50x2	2x10 ⁶	3.74 cm ²	14.11 cm ⁴	5.64 cm ³	1.94 cm
4. □ 75x75x2.3	2x10 ⁶	6.55 cm ²	56.97 cm ⁴	15.19 cm ³	2.95 cm
5. Flat Bar 15x40	2x10 ⁶	6.00 cm ²	8.00 cm ⁴	4 cm ³	1.15 cm
6. Flat Bar 16x50	2x10 ⁶	8 cm ²	16.67 cm ⁴	6.67 cm ³	1.44 cm
7. □ 50x50x3.2	2x10 ⁶	5.73 cm ²	20.44 cm ⁴	8.18 cm ³	1.89 cm
8. PL 6 mm	2x10 ⁶	0.6 cm ² /cm	0.018 cm ⁴ /cm	0.06 cm ³ /cm	-
9. □ 100x100x6	2x10 ⁶	21.63 cm ²	311.55 cm ⁴	62.31 cm ³	3.79 cm
10. □ 100x100x2.8	2x10 ⁶	10.68 cm ²	166.26 cm ⁴	33.25 cm ³	3.94 cm
11. PL 25 mm	2x10 ⁶	2.5 cm ² /cm	1.30 cm ⁴ /cm	1.04 cm ³ /cm	-
12. PL 8 mm	2x10 ⁶	0.8 cm ² /cm	0.043 cm ⁴ /cm	0.107 cm ³ /cm	-
13. Bolt SS400 M24	2x10 ⁶	4.52 cm ²	Double Shear 8.24 Tons		
14. PL 15 mm	2x10 ⁶	1.5 cm ² /cm	0.28 cm ⁴ /cm	0.375 cm ³ /cm	-
15. C 100x50x5x7.5	2x10 ⁶	11.92 cm ²	188 cm ⁴	37.6 cm ³	3.97 cm
16. H 200x200x8x12	2x10 ⁶	5.73 cm ²	20.44 cm ⁴	8.18 cm ³	1.89 cm
17. PL 19 mm	2x10 ⁶	1.9 cm ² /cm	0.572 cm ⁴ /cm	0.602 cm ³ /cm	0.55 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตารางที่ 4.1 รายการชิ้นส่วนเหล็กสำหรับ Concrete Bucket
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสังเกตได้ว่าในรายการวัสดุที่ผู้ศึกษาเลือกนำมาใช้ในการประกอบชิ้นงาน concrete bucket เป็นวัสดุเหล็กที่มีขายตามท้องตลาดเหล็กทั่วไปจะทำให้สามารถหาซื้อได้ง่าย ไม่ต้องทำการนำแผ่นเหล็กมาประกอบกันเป็นหน้าตัด ทำให้ราคาประหยัดและแน่นอนกว่า อีกทั้งยังเป็นการประหยัดงบประมาณบริษัทไปในตัวด้วย



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากโครงการที่ผู้ศึกษาได้ดำเนินการออกแบบ concrete bucket ความจุ 5 m³ เพื่อสำหรับใช้ในโครงการหนึ่งที่มีงานเทคอนกรีตที่ต้องการปริมาณคอนกรีตจำนวนมากและระยะของ placing boom ไม่สามารถเทเสา CFT ได้ อีกทั้งยังในประเทศไทยยังมี concrete bucket ความจุ 5 m³ จำหน่ายจำนวนมากและราคาสูง รวมไปถึงทาวเวอร์เครนส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายเองก็ไม่สามารถยก concrete bucket นี้ใน ระยะที่ต้องการได้ ทางด้านบริษัท นันทวัน จำกัด ได้ทำการจัดซื้อทาวเวอร์เครนขนาดใหญ่มาเพื่อสำหรับทำงานในโครงการนี้โดยเฉพาะ และเพื่อให้เครนขนาดใหญ่ได้ใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผู้ศึกษาจึงได้ทำการออกแบบ concrete bucket ชนิด lay-down concrete bucket ความจุ 5 m³ โดยน้ำหนักของตัว concrete bucket นั้นมีน้ำหนักด้วยตัวเองอยู่ที่ 1400 kg และน้ำหนักคอนกรีตที่บรรจุ 12000 kg ซึ่งรวมแล้วน้ำหนักทั้งหมดที่ทาวเวอร์เครนต้องยกในระยะทำงานคือ 13400 kg หรือ 13.4 tons

ซึ่งก่อนที่จะทำการออกแบบ ผู้ศึกษาได้ศึกษาการใช้งานและข้อดีข้อเสียของ concrete bucket แต่ละชนิด และเลือกชนิดที่เหมาะสมแก่การออกแบบให้มีความจุ 5 m³ จากนั้นทำการร่างแบบคร่าวๆ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดแก่การใช้งาน เมื่อร่างแบบจนได้รูปร่างที่คาดว่าจะนำไปใช้งานได้แล้ว จึงจะวิเคราะห์โครงสร้างในแต่ละบริบทที่ผู้ศึกษาได้วางแผนไว้ตามด้วยการออกแบบโครงสร้างเหล็กของชิ้นงานนี้ โดยใช้ขนาดหน้าตัดหรือชิ้นส่วนที่มีขายทั่วไปในตลาดเหล็ก และสุดท้ายจึงจะทำการเขียนแบบเพื่อส่งให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำไปประกอบชิ้นส่วน concrete bucket ได้ตามแบบที่ผู้ศึกษาได้ทำไว้

โครงการนี้ได้พัฒนาทักษะ ความรู้และความใจในการวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโครงสร้างเหล็กแก่ผู้ศึกษา รวมไปถึงการเสริมสร้างการเรียนรู้และนำความรู้ความเข้าใจไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานก่อสร้างต่างๆได้ อีกทั้งโครงการนี้ได้เปิดโอกาสให้ผู้ศึกษาได้ศึกษาชนิด การใช้งาน ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของ concrete bucket อย่างที่มีเคยได้ศึกษาอย่างละเอียดถี่ถ้วน โดยรวมแล้วโครงการนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าพึงพอใจอย่างยิ่งแก่ตัวผู้ศึกษา

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับการออกแบบ concrete bucket เป็นลำดับแรก คือข้อจำกัดการใช้งานของ concrete bucket ซึ่งเป็นสิ่งที่หลายคนอาจมองข้ามไป สิ่งที่เกิดขึ้นคือเมื่อนำไปใช้ในหน่วยงานก่อสร้างจะทำให้ไม่สามารถใช้งานได้หรือใช้งานได้อย่างไม่สมบูรณ์ ดังนั้นผู้ที่ทำการศึกษาควรศึกษาและสังเกตสิ่งที่เป็นอุปสรรคหรือขัดขวางการใช้งานของ concrete bucket ให้ถี่ถ้วนทุกรูปแบบเช่น ความยาวหรือความกว้างเป็นอุปสรรคใหม่ ระดับคอนกรีตใน concrete bucket ตอนรับคอนกรีตจากรถปูนจะฉ่ำใหม่หรือตอนยกขึ้นตั้งฉากกับพื้นคอนกรีตจะหกออกมาไหม ระหว่างเทคอนกรีตจะทำให้ concrete bucket เสียสมดุลไหม ตอนใช้งานเสร็จแล้วจะล้างในตัวได้อย่างไร



เอกสารที่เกี่ยวข้อง

- หนังสือ Structural Analysis DESIGN โดย รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์
- หนังสือ Reinforced Concrete Design โดย ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร และ ดร.วรนิติ ช่อวิเชียร
- หนังสือ คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็ก มาตรฐาน ASD โดย ผศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์
- หนังสือ คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็ก มาตรฐาน ASD / LFD โดย ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร
- หนังสือ คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็ก มาตรฐาน ASD โดย ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช
- Steel Specification บริษัท นันทวัน จำกัด
- Gnem Rvc.//(2553).//ตัวอย่างรายการคำนวณ การออกแบบถัง-ขังเก็บ ด้วยแผ่นเหล็ก Steel Plate Silos.//(<https://blog.gooshared.com/view/116>)
- Quora Community.//(2017).//Cylinder Stress.//(<https://www.quora.com/What-is-longitudinal-circumferential-and-radial-stress-in-a-pipe-in-a-practical-way-How-is-radial-stress-compressive-in-nature>)
- Thai Metal Trade Public Company Limited.//Products.//(<https://www.thaimetaltrade.com/th>)
- <https://www.liebherr.com/en/int/products/construction-machines/tower-cranes/top-slewing-cranes/luffing-hc-l/details/72146.html>
- <http://www.boscaroitalia.com/geared-laydown-concrete-column-skip.aspx>

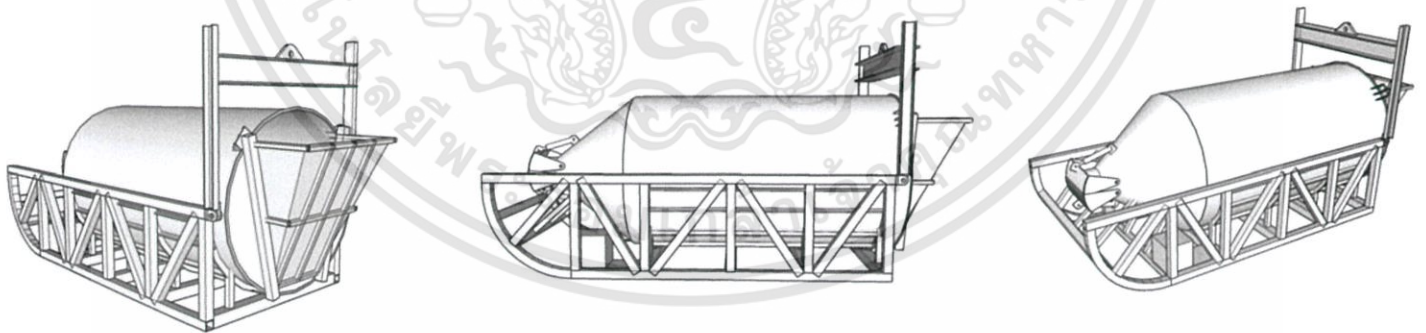


ภาคผนวก ก.

รายการคำนวณ การออกแบบ Concrete Bucket

รายการคำนวณ

1



รายการคำนวณ

2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



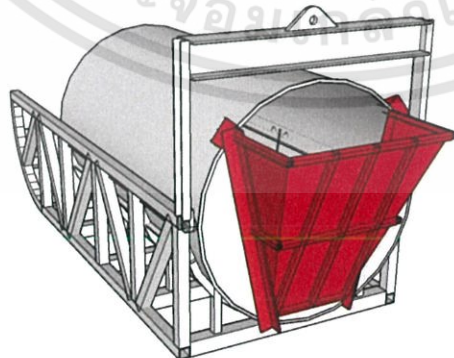
Calculation

- การคำนวณส่วนท้ายถึง
- การคำนวณส่วนถึงและโครง
- การคำนวณแขนยก

3



การคำนวณส่วนท้ายถึง

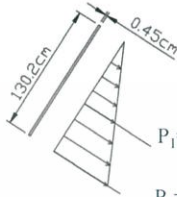
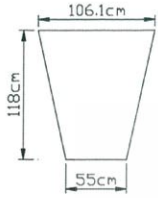
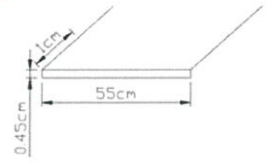


4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

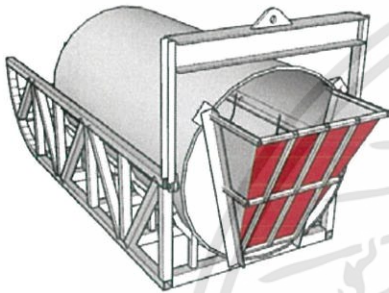


การคำนวณส่วนท้ายถึง: เพลทส่วนท้ายถึง



$$P_1 = \gamma h = 2400 * 0.59 = 1416 \text{ kg/m}^2 = 0.1416 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_2 = \gamma h = 2400 * 1.18 = 2832 \text{ kg/m}^2 = 0.2832 \text{ kg/cm}^2$$



หา Spacing ที่น้อยที่สุดที่จะทำการเสริมเหล็กเข้าไป

คิดที่จุดกลางสุด คำนวณแบบ One-way Slab ต่อ 1 cm

$$M = \frac{WL^2}{8}$$
$$M = \frac{0.2832 * 27.5^2}{8}$$
$$M = 26.77 \text{ kg.cm/cm}$$
$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{26.77}{1440} = 0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}$$

เลือกขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = Z_{ที่\ใช้}$$

$$0.02 = \frac{1}{6} * 1 * h^2$$

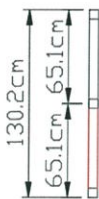
$$h = 0.35 \text{ cm}$$

*ใช้เหล็ก 4.5 mm

5



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Sub-beam ส่วนท้ายถึง



$$P_1 = 0.1416 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_2 = 0.2832 \text{ kg/cm}^2$$

Sub-beam (คำนวณ Span ล่าง)

ใช้การคำนวณแบบ One-way Slab

$$W = \frac{0.1416 + 0.2832}{2} * 27.5 = 5.841 \text{ kg/cm}$$

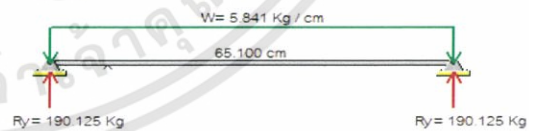
$$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{5.841 * 65.1^2}{8} = 3094.28 \text{ kg.cm}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{3094.28}{1440} = 2.15 \text{ cm}^3$$

*ใช้เหล็กกล่อง 32x32x2.3

$$A = 2.60 \text{ cm}^2, I = 3.74 \text{ cm}^4, Z = 2.34 \text{ cm}^3, r = 1.20 \text{ cm}$$

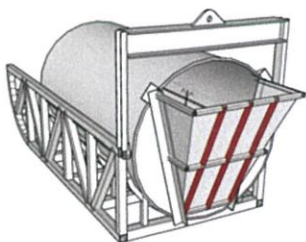


Check Deflection

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EI} < \frac{L}{200}$$

$$\frac{5 * 5.841 * 65.1^4}{384 * 2 * 10^6 * 3.74} < \frac{65.1}{200}$$

$$0.18 \text{ cm} < 0.32 \text{ cm} \text{ ผ่าน}$$

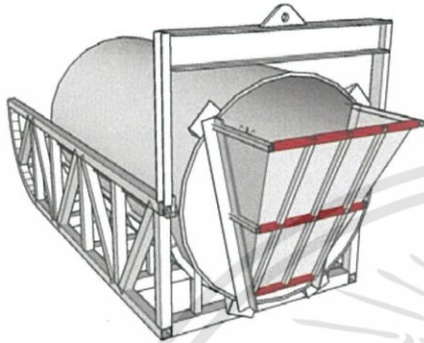


6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Main-beam ส่วนท้ายถึง



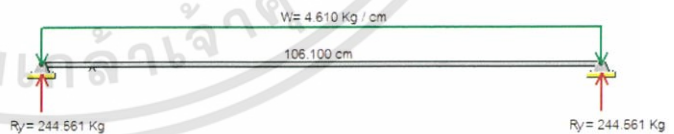
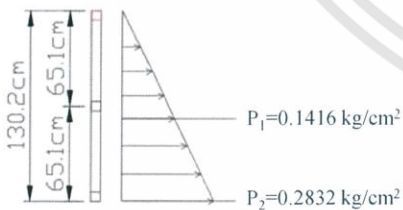
Main-beam

การคำนวณ Main-Beam จะคำนวณทั้งด้านบน กลางและล่าง เพื่อหาค่า Z ที่มากที่สุด แล้วนำไปหาขนาดเหล็กที่เหมาะสม

7



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Main-beam ส่วนท้ายถึง



Main-beam ตัวยบน

ใช้การคำนวณแบบ One-way Slab

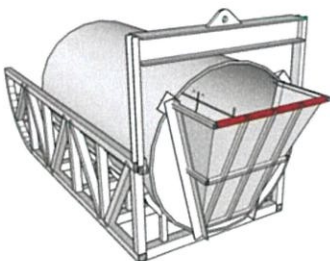
$$W = 0.1416 \cdot \frac{65.1}{2} = 4.61 \text{ kg/cm}$$

$$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{4.61 \cdot 106.1^2}{8} = 6486.97 \text{ kg.cm}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{6486.97}{1440} = 4.51 \text{ cm}^3$$

ถัดไป ตรวจสอบ Main-beam ตัวยกลาง

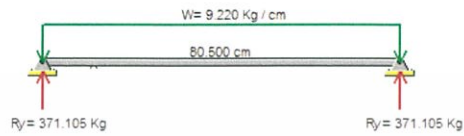
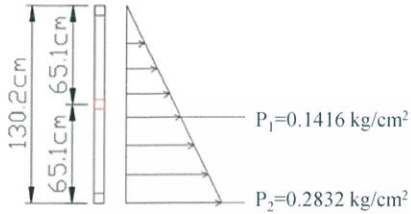


8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Main-beam ส่วนท้ายถึง



Main-beam ตัวกลาง

ใช้การคำนวณแบบ One-way Slab

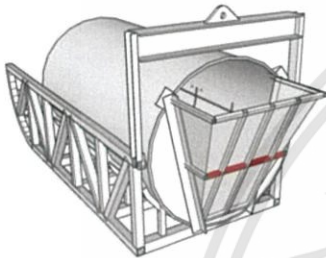
$$W = 0.1416 * 65.1 = 9.22 \text{ kg/cm}$$

$$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{9.22 * 80.5^2}{8} = 7468.49 \text{ kg.cm}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{7468.49}{1440} = 5.186 \text{ cm}^3$$

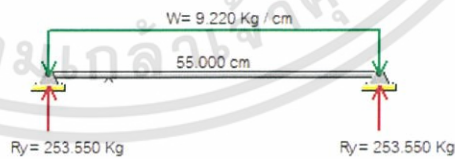
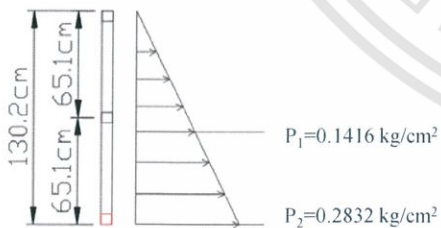
ถัดไป ตรวจสอบ Main-beam ตัวล่าง



9



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Main-beam ส่วนท้ายถึง



Main-beam ตัวล่าง

ใช้การคำนวณแบบ One-way Slab

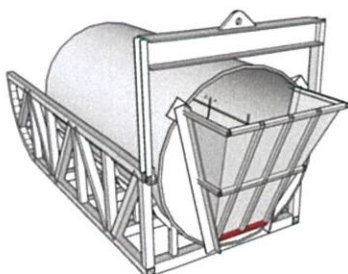
$$W = 0.2832 * \frac{65.1}{2} = 9.22 \text{ kg/cm}$$

$$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{9.22 * 55^2}{8} = 3486.31 \text{ kg.cm}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{3486.31}{1440} = 2.421 \text{ cm}^3$$

ถัดไป นำค่า Z ของแต่ละ Main-beam มาเปรียบเทียบกัน



10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Main-beam ส่วนท้ายถึง

หา Main-beam ที่มีค่า Z เยอะที่สุด

$$\text{Main - beam คับบน } Z_{req} = 4.51 \text{ cm}^3$$

$$\text{Main - beam คับกลาง } Z_{req} = 5.186 \text{ cm}^3$$

$$\text{Main - beam คับล่าง } Z_{req} = 2.421 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น จึงใช้ Main-beam คับกลางมาหาขนาดเหล็ก

* ใช้เหล็กกล่อง 50x50x2

$$A = 3.74 \text{ cm}^2, I = 14.11 \text{ cm}^4, Z = 5.64 \text{ cm}^3, r = 1.94 \text{ cm}$$

Check Deflection

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EI} < \frac{L}{200}$$

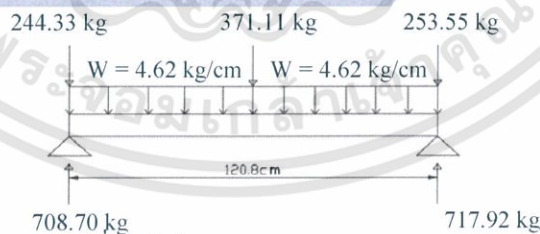
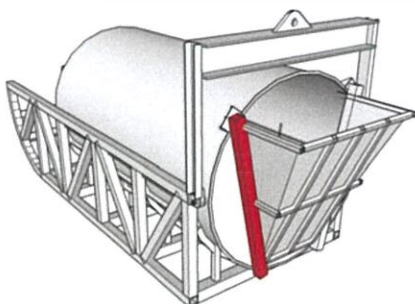
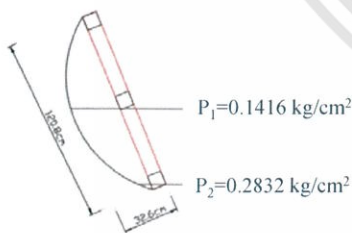
$$\frac{5 * 9.22 * 80.5^4}{384 * 2 * 10^6 * 14.11} < \frac{80.5}{200}$$

$$0.18 \text{ cm} < 0.40 \text{ cm} \text{ ผ่าน}$$

11



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Major-beam ส่วนท้ายถึง



กำหนดหาแรงที่กระทำกับ Beam

$$W = \frac{0.2832}{2} * 32.6 = 4.62 \text{ kg/cm}$$

$$M = \frac{WL^2}{8} + \frac{PL}{4} = \frac{4.62 * 120.8^2}{8} + \frac{371.11 * 120.8}{4}$$

$$= 19634.77 \text{ kg.cm}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{19634.77}{1440} = 13.64 \text{ cm}^3$$

* ใช้เหล็กกล่อง 75x75x2.30

$$A = 6.55 \text{ cm}^2, I = 56.97 \text{ cm}^4, Z = 15.19 \text{ cm}^3, r = 2.95 \text{ cm}$$

Check Deflection

$$\text{จาก SUT; } \delta = 0.0023 \text{ m} = 0.23 \text{ cm}$$

$$0.23 < \frac{120.8}{200}$$

$$0.23 \text{ cm} < 0.60 \text{ cm} \text{ ผ่าน}$$

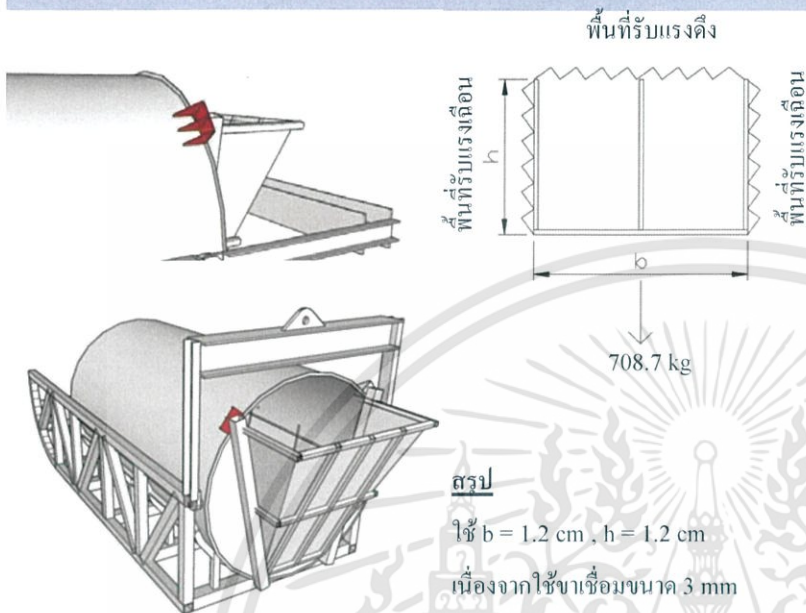
12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนท้ายถึง: Support ของ Major-beam



ใช้การคำนวณแบบบล็อกเฉือน

สมมติให้ผิวลึงมีความหนา = 4.5 mm

$$\text{พื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ: } A_g = b * 0.45 = 0.45b \text{ cm}^2$$

$$\text{พื้นที่รับบล็อกเฉือน: } A_{nv} = (h * 0.45 * 2) = 0.9h \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (b * 0.45) = 0.45b \text{ cm}^2$$

กำหนดค่า b จากกำลังครากที่ยอมรับให้

$$P_a = 0.6F_y A_g = 0.6 * 2400 * 0.45b = 708.7 \text{ kg}$$

$$b = 1.10 \text{ cm}$$

กำลังบล็อกเฉือนที่ยอมรับให้

$$P_a = 0.3F_u A_{nv} + 0.5U_{bs}F_u A_{nt}$$

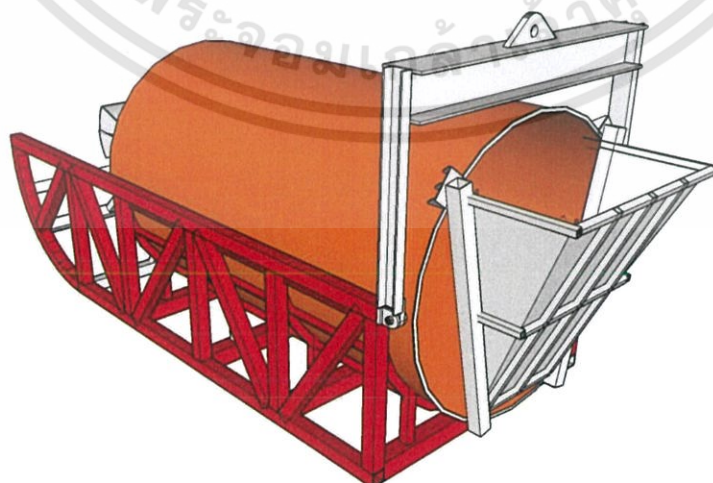
$$708.7 = (0.3 * 4000 * 0.9h) + (0.5 * 1 * 4100 * 0.45b)$$

$$h = -0.3 \text{ cm}$$

13



การคำนวณส่วนถึงและโครง



14

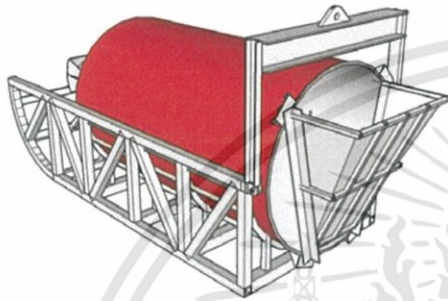
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถังและโครง: ฝิวถัง

ส่วนของตัวถัง จะมีการคำนวณ 2 กรณี

กรณีที่ 1: ตอนนอนราบไปกับพื้น



กรณีที่ 2: ตอนตั้ง 90 องศา



15



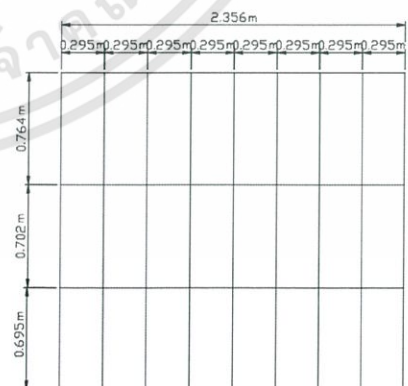
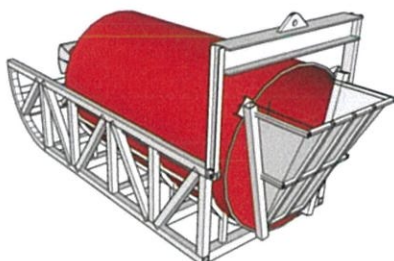
การคำนวณส่วนถังและโครง: ฝิวถัง กรณีที่ 1

กรณีที่ 1: ตอนนอนราบไปกับพื้น

คำนวณแบบ Slab

$$\frac{S}{L} = \frac{0.295}{0.764} = 0.386 < 0.5$$

เป็น One-way Slab

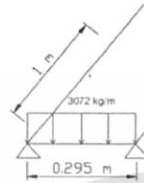
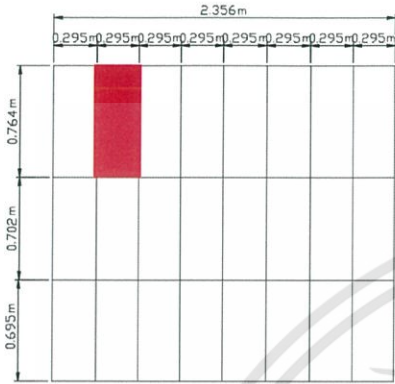


16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถังและโครง: ผิวถัง กรณีที่ 1



กำหนดความหนาของถัง

ใช้ span ที่กว้างที่สุดมาคำนวณ

Concrete Pressure Head = 1.28 m

$$P = \gamma h = 2400 * 1.28 = 3072 \text{ kg/m}^2$$

คำนวณแบบ One-way Slab (คิดแบบต่อ 1 m)

$$M = \frac{PS^2}{8} = \frac{3072 * 0.295^2}{8} = 33.42 \text{ kg. m/m}$$

$$= 3342 \text{ kg.cm/m}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{3342}{1440} = 2.321 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$Z_{req} = Z_{ที่ใช้}$$

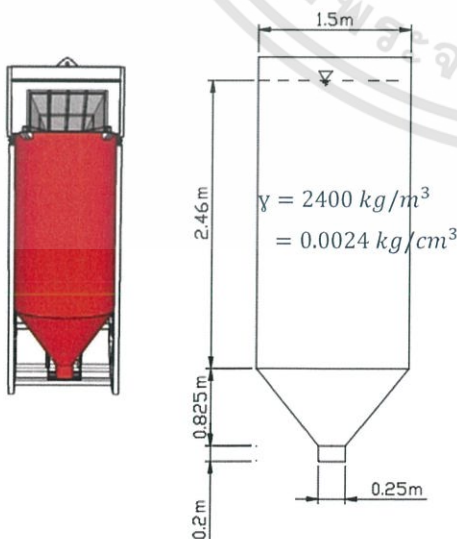
$$2.31 = \frac{1}{6} * 100 * h^2$$

$$h = 0.37 \text{ cm}$$

17



การคำนวณส่วนถังและโครง: ผิวถัง กรณีที่ 2



กรณีที่ 2: ตอนตั้ง 90 องศา

ที่ระดับ 2.46 m

ตัด section

$$\text{Hoop Stress } \sigma_H = \frac{Pr}{t} = \frac{\gamma h * r}{t}$$

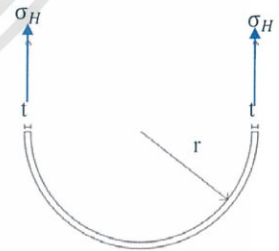
$$\text{ดังนั้น } \sigma_H = 0.6F_y$$

หาความหนาเหล็ก

$$\frac{\gamma h * r}{t} = 0.6F_y$$

$$\frac{0.0024 * 246 * 75}{t} = 0.6 * 2400$$

$$t = 0.03 \text{ cm}$$

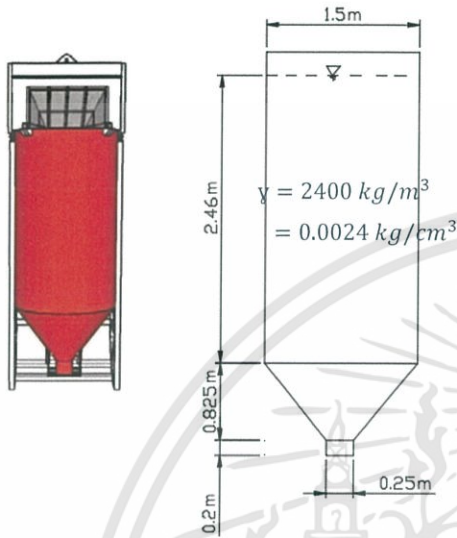


18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถังและโครง: ฝิวถัง กรณีที่ 2



กรณีที่ 2: ตอนตั้ง 90 องศา

ที่ระดับ 3.285 m

ตัด section

$$\text{Hoop Stress } \sigma_H = \frac{Pr}{t} = \frac{\gamma h * r}{t}$$

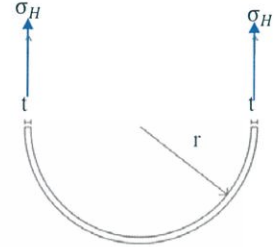
$$\text{ดังนั้น } \sigma_H = 0.6F_y$$

หาความหนาเหล็ก

$$\frac{\gamma h * r}{t} = 0.6F_y$$

$$\frac{0.0024 * 328.5 * 75}{t} = 0.6 * 2400$$

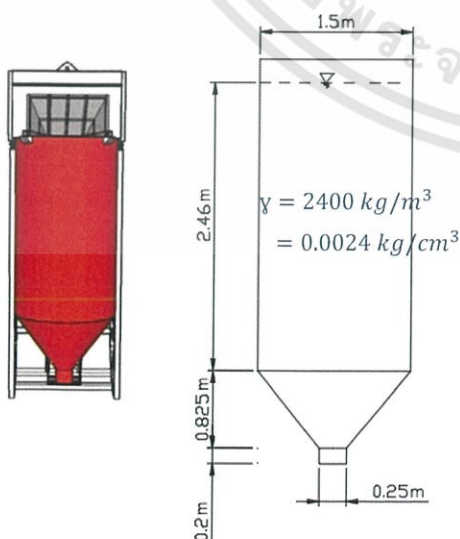
$$t = 0.04 \text{ cm}$$



19



การคำนวณส่วนถังและโครง: ฝิวถัง กรณีที่ 2



กรณีที่ 2: ตอนตั้ง 90 องศา

ที่ระดับ 3.485 m

ตัด section

$$\text{Hoop Stress } \sigma_H = \frac{Pr}{t} = \frac{\gamma h * r}{t}$$

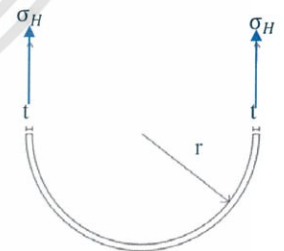
$$\text{ดังนั้น } \sigma_H = 0.6F_y$$

หาความหนาเหล็ก

$$\frac{\gamma h * r}{t} = 0.6F_y$$

$$\frac{0.0024 * 348.5 * 12.5}{t} = 0.6 * 2400$$

$$t = 0.01 \text{ cm}$$



20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: ฝิวถ้ง สรูล

กรณีที่ 1: ตอนนอนราบไปกับพื้น

ความหนา = 0.37 cm

กรณีที่ 2: ตอนตั้ง 90 องศา

ความหนา = 0.03 cm

ความหนา = 0.04 cm

ความหนา = 0.01 cm

จะเห็นได้ว่า กรณีที่ 1 ต้องใช้ความหนามากกว่า

ใช้ความหนาของฝิวถ้ง = 0.45 cm = 4.5 mm

*สรูลใช้ฝิวถ้งหนา 4.5 mm

Check Deflection

ใช้ความหนาของฝิวถ้ง = 0.45 cm = 4.5 mm

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EI} < \frac{L}{200}$$

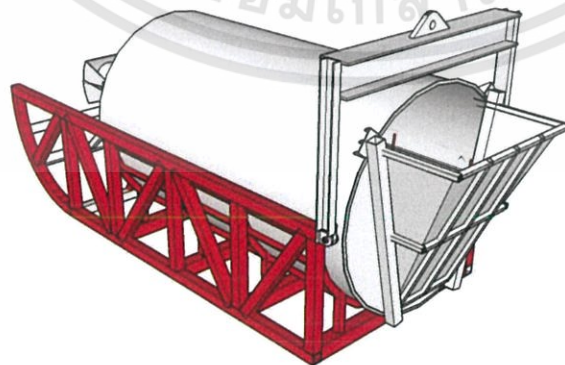
$$\frac{5 * 30.72 * 29.5^4}{384 * 2 * 10^6 * \frac{1}{12} * 100 * 0.45^3} < \frac{29.5}{200}$$

0.20 cm < 0.15 cm ไม่ผ่าน ขอมให้ได้

21



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: โครงเหล็กและ Truss

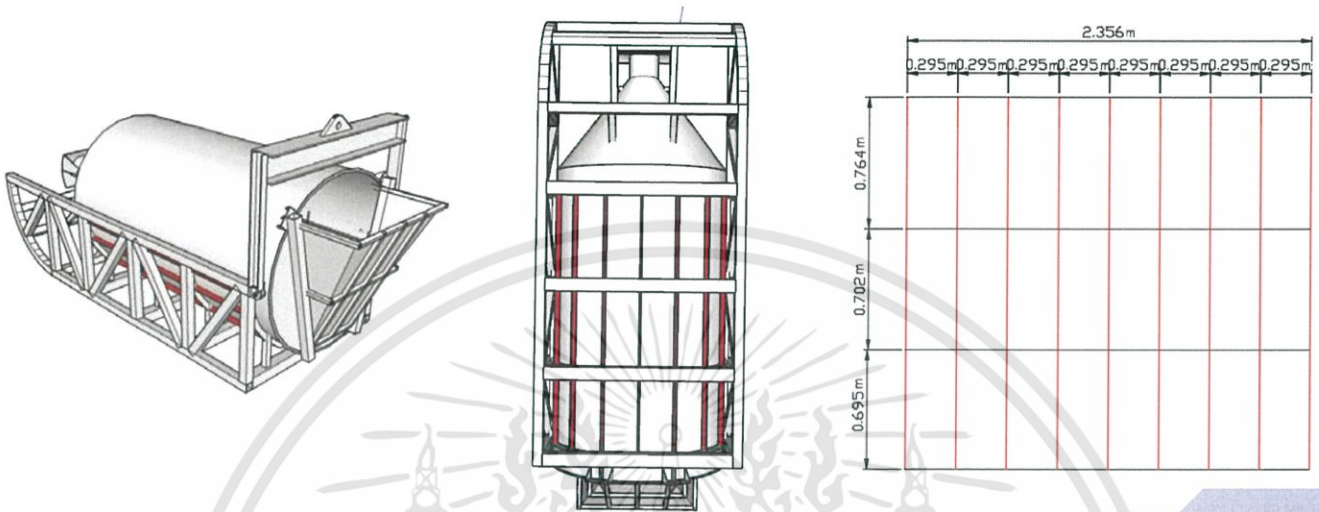


22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



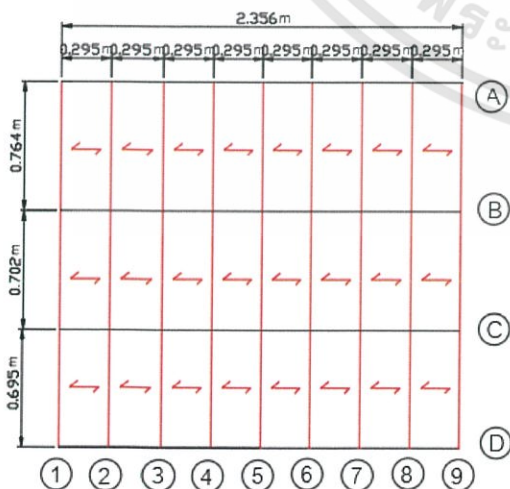
การคำนวณส่วนถ้งและโครง: ตงรองรับถ้ง



23



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: ตงรองรับถ้ง



ถ่าย Load มาจากแรงดันคอนกรีต

จาก $P = 3072 \text{ kg/m}^2$

ถ่าย Load แบบ One-way Slab

$$\text{- ตงที่ขอบ(1,9)} W = \frac{PS}{2} = \frac{3072 * 0.295}{2} = 453.12 \text{ kg/m}$$

$$\text{- ตงช่วงใน(2-8)} W = PS = 3072 * 0.295 = 906.24 \text{ kg/m}$$

* ดังนั้น จึงใช้ตงช่วงใน(2-8)มาออกแบบ

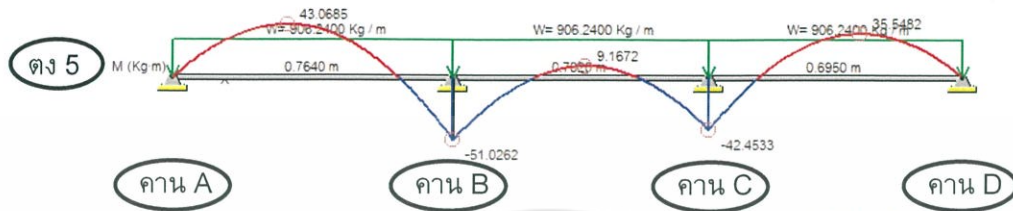
ใช้ตง 5 เป็นตัวแทนมาออกแบบ

24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถังและโครง: ตงรองรับถัง



Check Deflection

จาก SUT; $\delta_{max} = 0.0014 \text{ m} = 0.14 \text{ cm}$

$$\text{Deflection } \delta < \frac{L}{200}$$

$$0.14 < \frac{76.4}{200}$$

$$0.14 < 0.382 \text{ ผ่าน}$$

ถ่าย Load มาจากแรงดันคอนกรีต

จาก SUT; $M_{max} = 51.03 \text{ kg.m} = 5103 \text{ kg.cm}$

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{5103}{1440} = 3.544 \text{ cm}^3$$

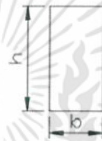
เลือกขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = Z_{ที่ใช้}$$

$$3.544 = \frac{1}{6}bh^2$$

$$(b,h)[\text{cm}] = (1.2,4.21), (1.5,3.77), (1.6,3.65)$$

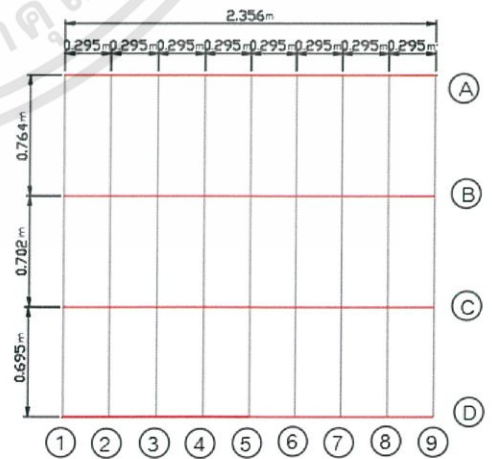
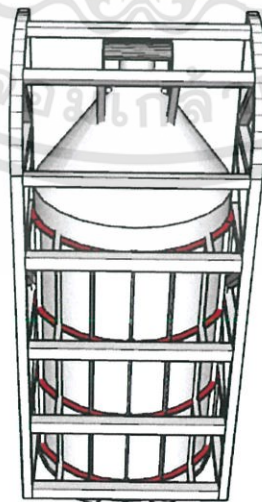
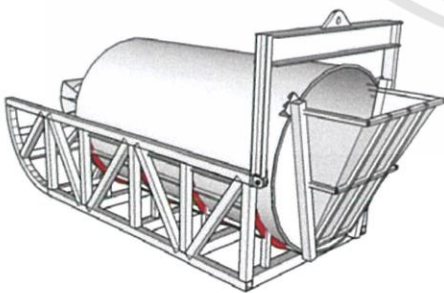
*ใช้ Flat Bar 15x40



25



การคำนวณส่วนถังและโครง: คานรองรับตง



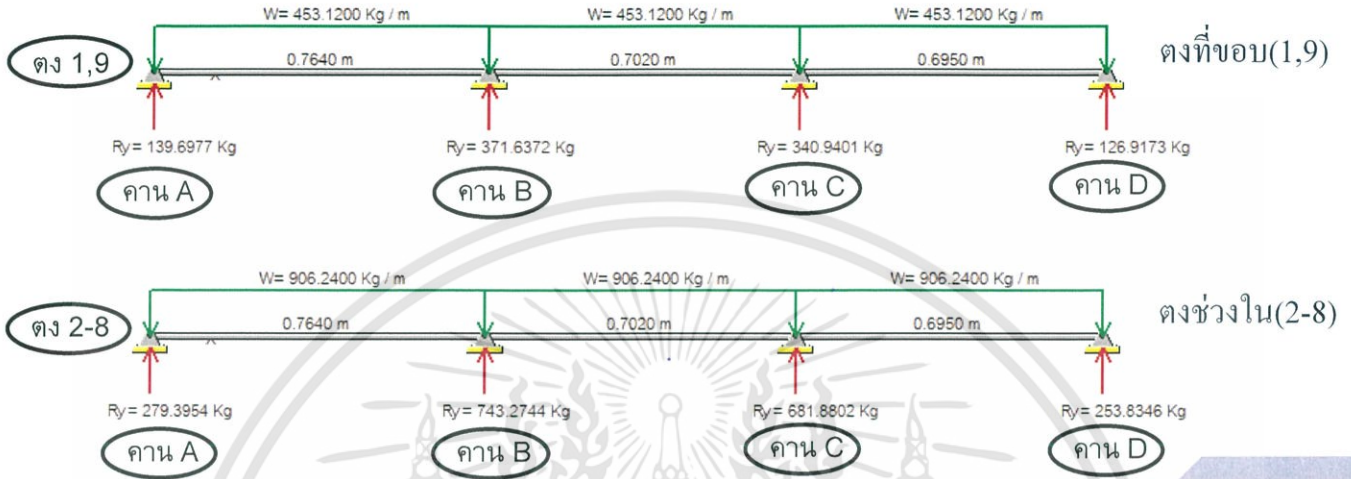
26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: คานรองรับตง

หา Load ที่ตงถ่ายลงคาน

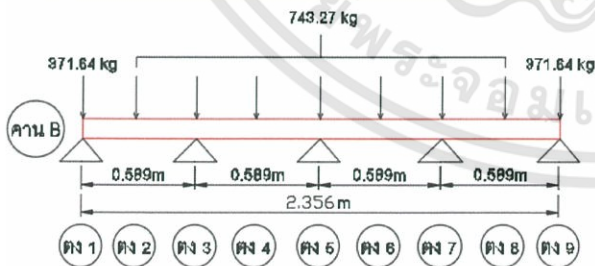


*จะสังเกตได้ว่า คานรองรับตงของ Grid B รับ Load มากที่สุด ใช้คาน Grid B มาออกแบบ

27



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: คานรองรับตง



คาน B รับ Load จากตงตาม Grid 1-9

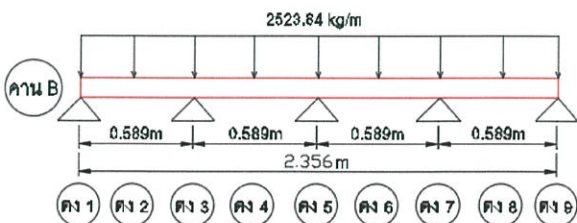
แปลงเป็น Distribution Load

$$W = \frac{\Sigma R}{L} = \frac{(371.64 \times 2) + (743.27 \times 1)}{2.356} = 2523.84 \text{ kg/m}$$

จาก SUT; $M_{max} = 93.811 \text{ kg.m} = 9381.1 \text{ kg.cm}$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{9381.1}{1440} = 6.515 \text{ cm}^3/\text{m}$$

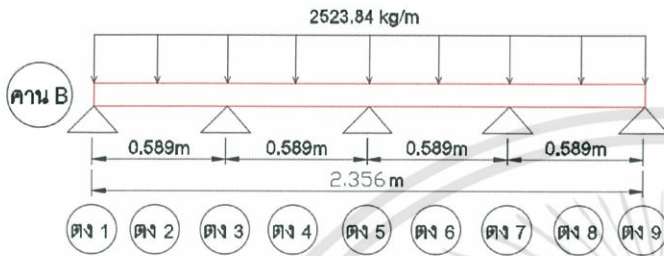


28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: คานรองรับตง



หาขนาดเหล็ก(ต่อ)

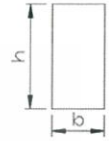
จาก $Z_{req} = 6.515 \text{ cm}^3/\text{m}$

$$Z_{req} = Z_{ที่ใช้}$$

$$6.515 = \frac{1}{6}bh^2$$

(b,h)[cm] = (1.4,5.3) , (1.5,5.1) , (1.6,5.0)

*ใช้ Flat Bar 16x50



Check Deflection

จาก SUT: $\delta_{max} = 0.0014 \text{ m} = 0.14 \text{ cm}$

$$\text{Deflection } \delta < \frac{L}{200}$$

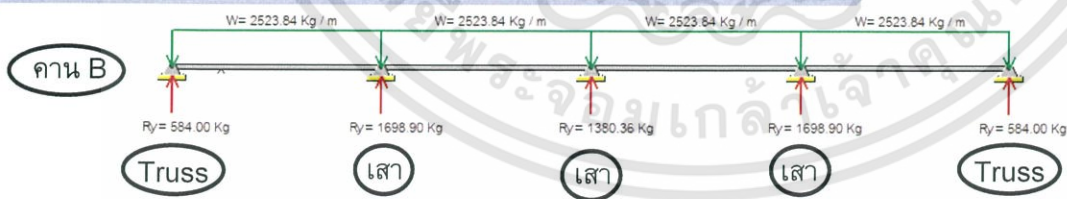
$$0.14 < \frac{76.4}{200}$$

$$0.14 < 0.382 \text{ ผ่าน}$$

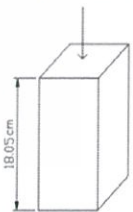
29



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: เสารองรับคาน



1698.905 kg



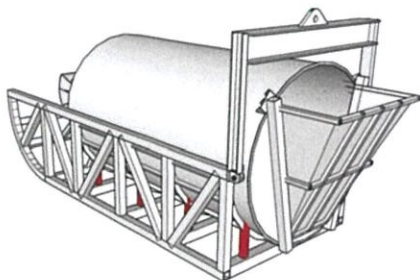
Load จากคาน Grid B ที่ถ่ายลงมายังเสารองรับ 3 ต้นกลาง

คำนวณแบบเสา

คำนวณตัวที่รับ Load มากที่สุด

*สมมติใช้เหล็กกล่อง 50x50x3.2

$$A = 5.73 \text{ cm}^2, I = 20.44 \text{ cm}^4, Z = 8.18 \text{ cm}^3, r = 1.89 \text{ cm}$$

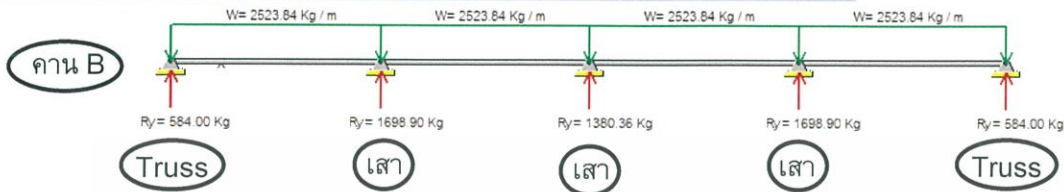


30

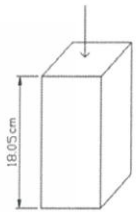
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถังและโครง: เสารองรับคาน(ต่อ)



1698.905 kg



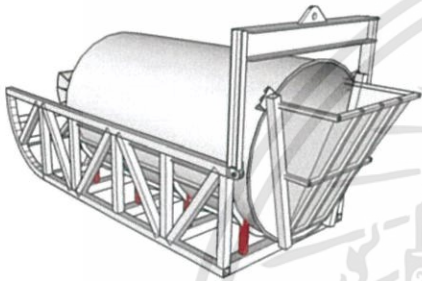
หาความเค้นอัดที่ยอมให้

$$\frac{KL}{r} = \frac{18.05}{1.89} = 9.55, C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 2 * 10^6}{2400}} = 128.25$$

$$f_a = \frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^2}{\frac{5}{8} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^3} F_y = \frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{9.55}{128.25}\right)^2}{\frac{5}{8} + \frac{3}{8} \left(\frac{9.55}{128.25}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{9.55}{128.25}\right)^3} * 2400 = 1412.39 \text{ ksc}$$

ตรวจสอบกำลังรับแรงอัด

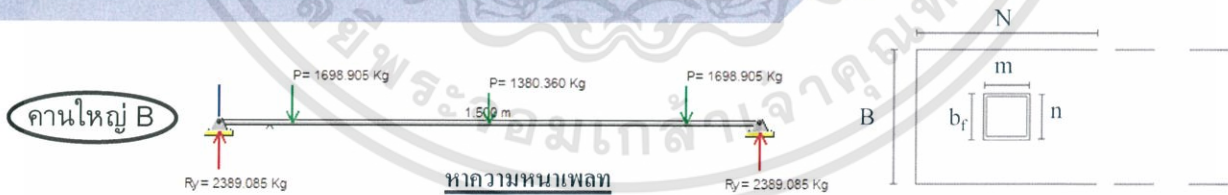
$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{1698.905}{5.73} = 296.49 \text{ ksc} < F_a \text{ ผ่าน}$$



31



การคำนวณส่วนถังและโครง: เพลทรองรับเสา



หาความหนาเพลท

$$P = 1698.905 \text{ kg}$$

$$B = 10 \text{ cm}, N = 10 \text{ cm}$$

$$b_f = 5 \text{ cm}, d = 5 \text{ cm}$$

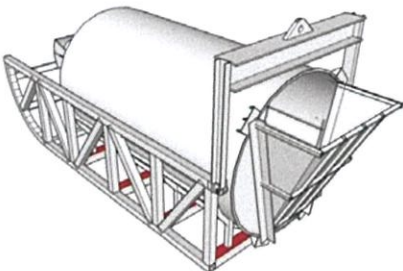
$$n = \frac{B - 0.8b_f}{2} = \frac{10 - (0.8 * 5)}{2} = 3 \text{ cm}, m = \frac{N - 0.95d}{2} = \frac{10 - (0.95 * 5)}{2} = 2.625 \text{ cm}$$

คำนวณความหนาเพลท

จาก m และ n ให้เลือกใช้ค่ามาก ดังนั้นใช้ค่า n ในการคำนวณ

$$t = 2n \sqrt{\frac{P}{BNF_y}} = 2 * 3 \sqrt{\frac{1698.905}{10 * 10 * 2400}} = 0.5 \text{ cm}$$

*ใช้เพลทหนา = 6 mm



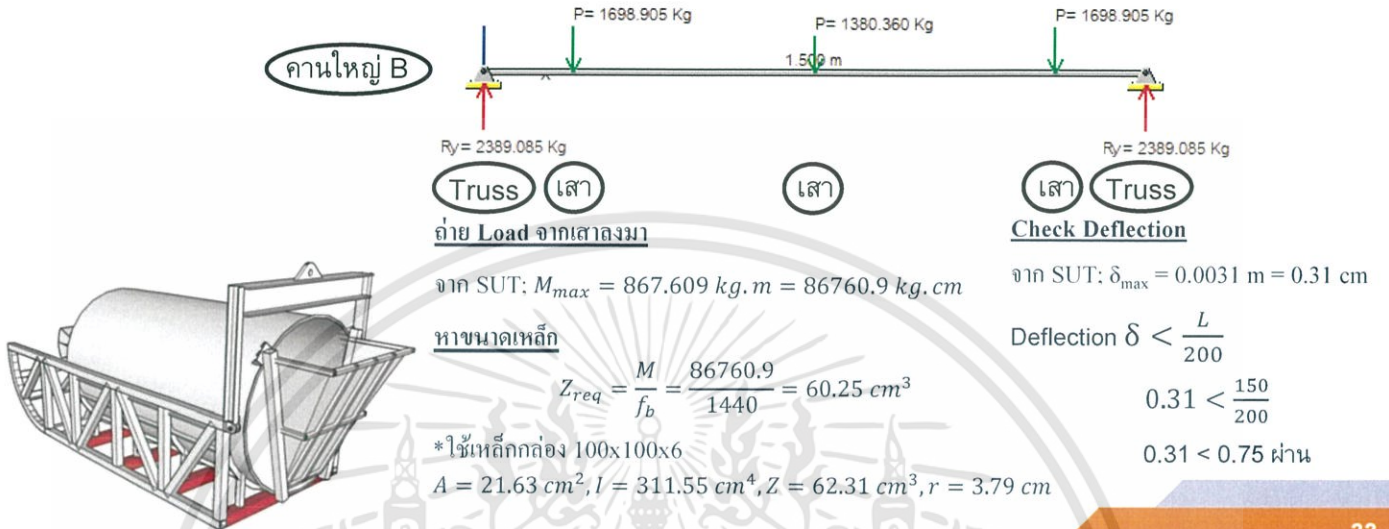
32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: คานใหญ่รองรับเสา

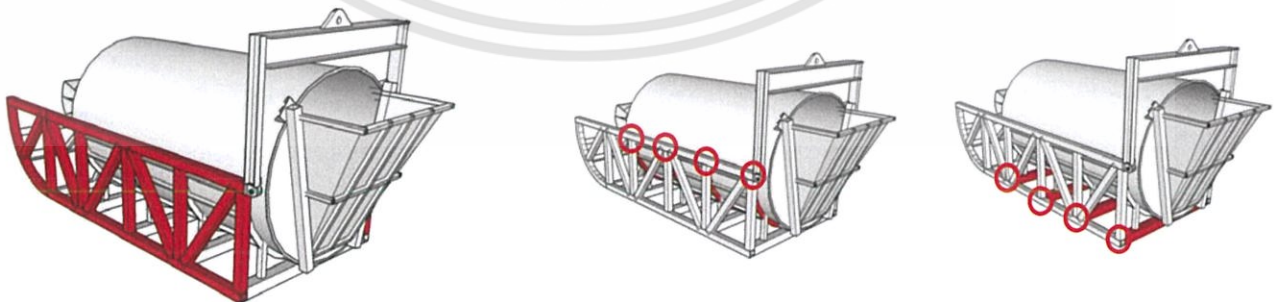


การคำนวณส่วนถ้งและโครง

หา Load ที่ย้ายลงโครงเหล็กด้านข้าง

คำนวณตอนเริ่มยก

ย้ายมาจากคาน 2 ชุดนี้

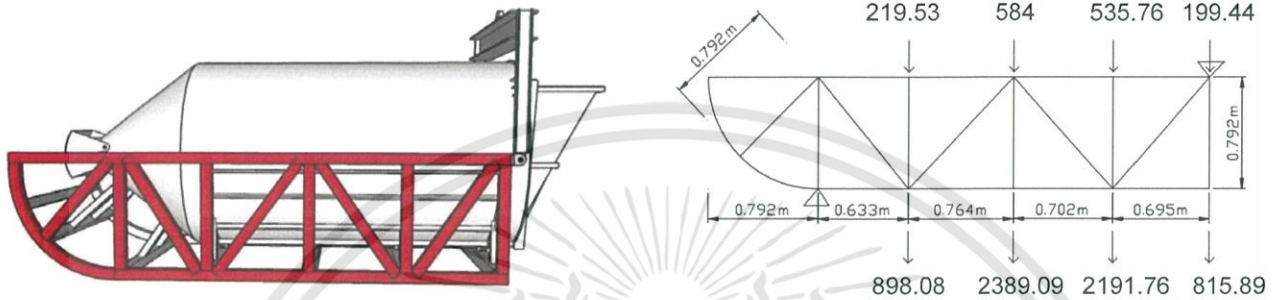


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถังและโครง: Truss

Load ที่ถ่ายลงโครงเหล็กด้านข้าง

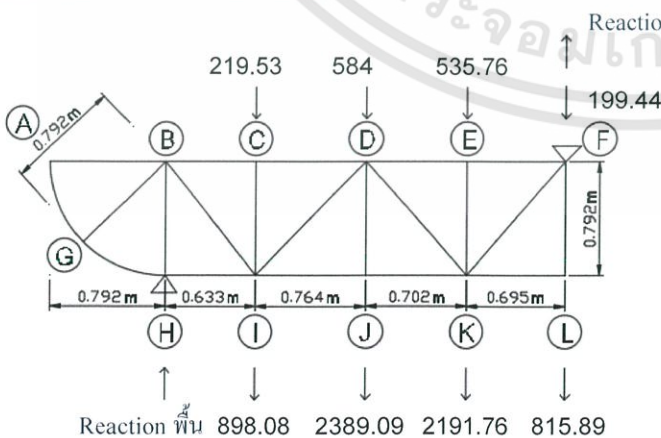


35



การคำนวณส่วนถังและโครง: Truss

คำนวณตอนเริ่มยก ≈ 0 องศา



หา Reaction พื่น

$$\begin{aligned} \Sigma M_F = 0 \\ (\text{Reaction พื่น} * 2.794) \\ = (219.53 + 898.08) * 2.161 + (584 + 2389.09) * 1.397 \\ + (535.76 + 2191.76) * 0.69 \end{aligned}$$

$$\text{Reaction พื่น} = 3029.42 \text{ kg}$$

หา Reaction โครง

$$\begin{aligned} \Sigma F_y = 0 \\ \text{Reaction โครง} + 3029.42 \\ = 219.53 + 898.08 + 584 + 2389.09 + 535.76 + 2191.76 \\ + 199.44 + 815.89 \end{aligned}$$

$$\text{Reaction โครง} = 4804.13 \text{ kg}$$

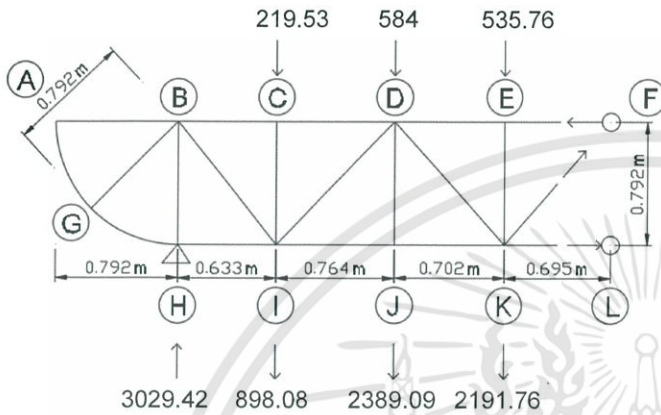
36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถักและโครง: Truss

คำนวณตอนเริ่มยก ≈ 0 องศา



หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน EF

$$\begin{aligned} \Sigma M_K &= 0 \\ (EF * 0.792) + (584 + 2389.09) * 0.702 + (219.53 + 898.08) \\ * 1.466 &= 3029.42 * 2.099 \\ * EF &= 3324.78 \text{ kg } C \end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน KL

$$\begin{aligned} \Sigma M_F &= 0 \\ (KL * 0.792) + (535.76 + 2191.76 * 0.695) \\ + (584 + 2389.09) * 1.397 + (219.53 + 898.08) * 2.161 \\ &= 3029.42 * 2.794 \\ * KL &= 0 \text{ kg} \end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน KF

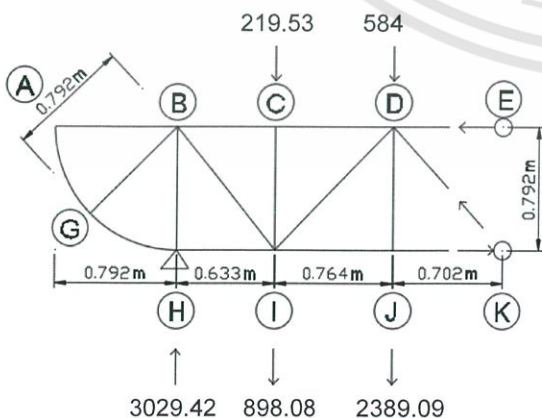
$$\begin{aligned} \Sigma M_E &= 0 \\ (KF * 0.5224) + (584 + 2389.09) * 0.702 \\ + (219.53 + 898.08) * 1.466 &= 3029.42 * 2.099 \\ * KF &= 5040.63 \text{ kg } T \end{aligned}$$

37



การคำนวณส่วนถักและโครง: Truss

คำนวณตอนเริ่มยก ≈ 0 องศา



หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน DE

$$\begin{aligned} \Sigma M_K &= 0 \\ (DE * 0.792) + (584 + 2389.09) * 0.702 + (219.53 + 898.08) \\ * 1.466 &= 3029.42 * 2.099 \\ * DE &= 3324.78 \text{ kg } C \end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน JK

$$\begin{aligned} \Sigma M_D &= 0 \\ (JK * 0.792) + (219.53 + 898.08) * 0.764 = 3029.42 * 1.397 \\ * JK &= 4265.46 \text{ kg } T \end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน DK

$$\begin{aligned} \Sigma M_J &= 0 \\ (DK * 0.5253) + (219.53 + 898.08) * 0.764 \\ = 3029.42 * 1.397 \\ * DK &= 6431.08 \text{ kg } C \end{aligned}$$

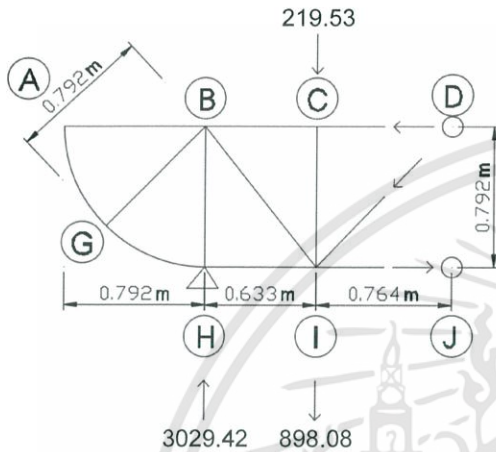
38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: Truss

คำนวณตอนเริ่มยก ≈ 0 องศา



หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน CD

$$\begin{aligned}\Sigma M_I &= 0 \\ (CD * 0.792) &= 3029.42 * 0.633 \\ * CD &= 2421.24 \text{ kg } C\end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน IJ

$$\begin{aligned}\Sigma M_D &= 0 \\ (IJ * 0.792) + (219.53 + 898.08) * 0.764 &= 3029.42 * 1.397 \\ * IJ &= 4265.46 \text{ kg } T\end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน ID

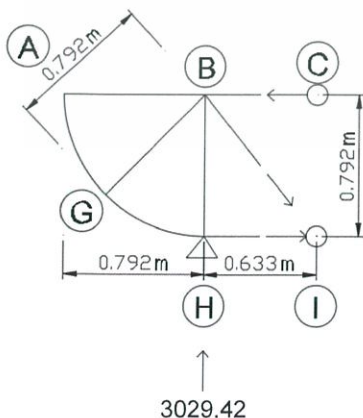
$$\begin{aligned}\Sigma M_C &= 0 \\ (ID * 0.5499) &= 3029.42 * 0.633 \\ * ID &= 3487.22 \text{ kg } C\end{aligned}$$

39



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: Truss

คำนวณตอนเริ่มยก ≈ 0 องศา



หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน BC

$$\begin{aligned}\Sigma M_I &= 0 \\ (BC * 0.792) &= 3029.42 * 0.633 \\ * BC &= 2421.24 \text{ kg } C\end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน HI

$$\begin{aligned}\Sigma M_B &= 0 \\ * HI &= 0 \text{ kg}\end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนชิ้นส่วน HI

$$\begin{aligned}\Sigma M_H &= 0 \\ * HI &= 0 \text{ kg}\end{aligned}$$

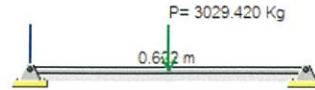
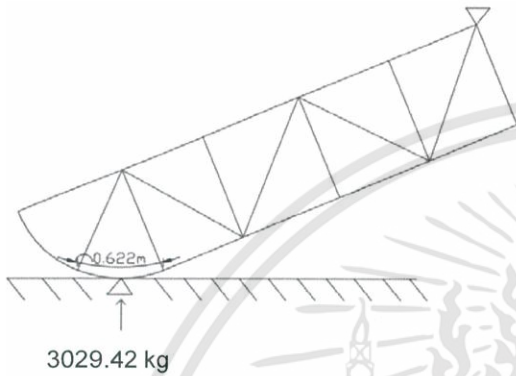
40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณส่วนถ้งและโครง: Truss

Worst Case โครงทำมุม 22.5 องศา กับพื้น



หา Moment

$$M = \frac{Pl}{4} = \frac{3029.42 * 0.622}{4} = 471.08 \text{ kg.m} = 47108 \text{ kg.cm}$$

หาขนาดเหล็ก

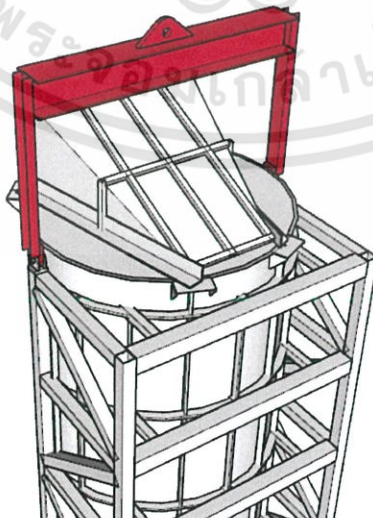
$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{47108}{1440} = 32.71 \text{ cm}^3$$

*ใช้เหล็กกล่อง 100x100x2.8

$$A = 10.68 \text{ cm}^2, I = 166.26 \text{ cm}^4, Z = 33.25 \text{ cm}^3, r = 3.94 \text{ cm}$$



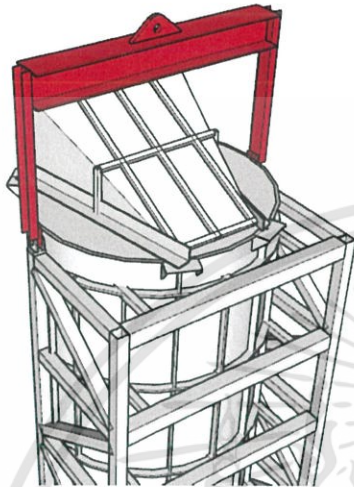
การคำนวณแขนยก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณแยก: Load ทั้งหมด



คำนวณตอนยกขึ้นจากพื้นทั้งหมด

น้ำหนักเหล็ก DL = 1500 kg

น้ำหนักคอนกรีต LL = 12000 kg

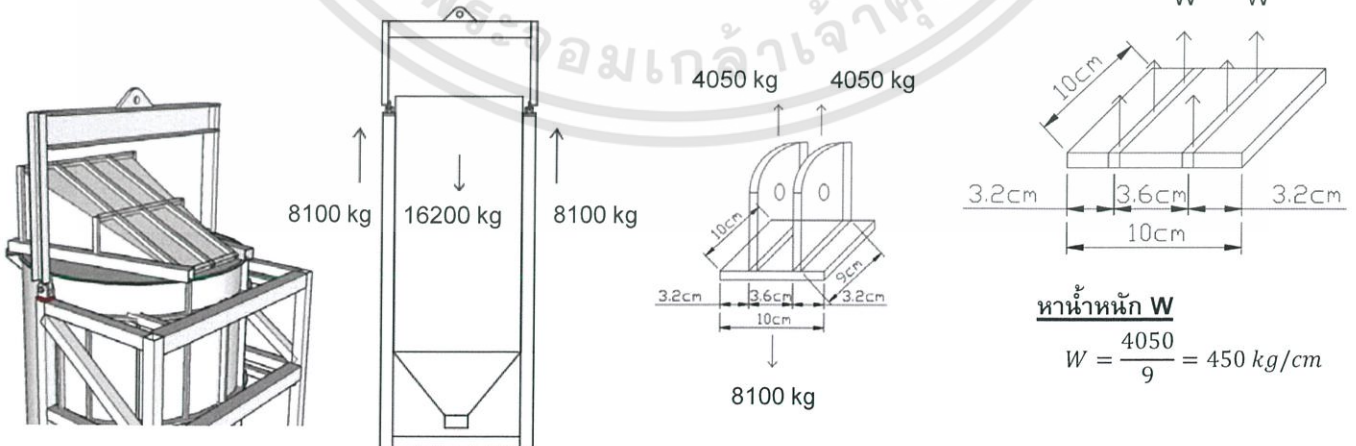
Impact Load 20% = 1.20

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่ใช้คำนวณ} &= (DL+LL) * \text{Impact Load 20\%} \\ &= (1500+12000) * 1.20 \\ &= 16200 \text{ kg} \end{aligned}$$

43



การคำนวณแยก: เพลทเสริมหุ้ม A

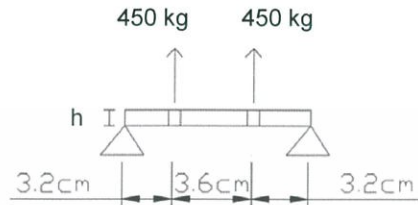
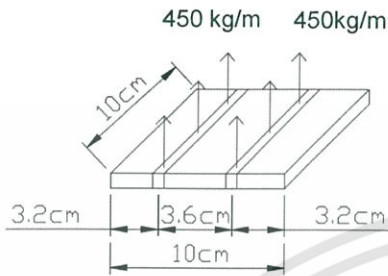


44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณแขนยก: เพลทเสริมหุ้ม A



กำหนดแบบต่อ 1cm

$$M = (450 * 5) - (450 * 1.8) = 1440 \text{ kg.cm/cm}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{1440}{1440} = 1 \text{ cm}^3/\text{cm}$$

$$Z_{req} = Z_{ที่ใช้}$$

$$1 = \frac{1}{6} * 1 * h^2$$

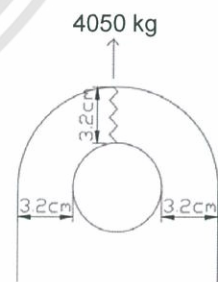
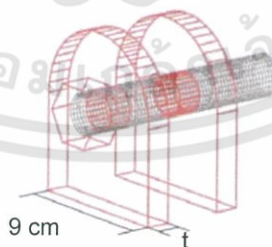
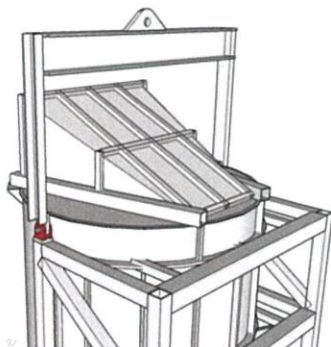
$$h = 2.45 \text{ cm}$$

*ใช้เพลทหนา = 25 mm

45



การคำนวณแขนยก: หุ้ม A



หาความหนา t จาก Shear

$$\sigma_v = f_v$$

$$\frac{4050}{3.2 * t * 2} = 0.4 * 2400$$

$$t = 0.66 \text{ cm}$$

*ใช้เพลทหนา = 0.8 cm = 8 mm

46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณแขนยก: Bolt แขนยก

ขนาด Bolt ที่ใช้
Load = 8100 kg เป็น Double Shear
*ใช้ Bolt SS400 M24 รับได้ 8.24 tons

47



การคำนวณแขนยก: หนา B

หาความหนา t จาก Shear

$$\sigma_v = f_v$$

$$\frac{8100}{3.2 * t * 2} = 0.4 * 2400$$

$$t = 1.32 \text{ cm}$$

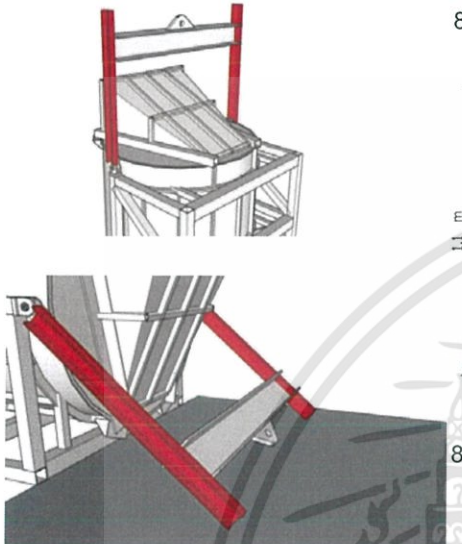
*ใช้เหล็กหนา = 1.5 cm = 15 mm

48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณแขนยก: แขนยก



8100 kg

1.1 m

8100 kg

0.2 m

หาขนาดเหล็กจากการรับแรงดึง

$$\sigma_a = f_a$$

$$\frac{8100}{A} = 0.6 * 2400$$

$$A = 5.63 \text{ cm}^2$$

*ใช้เหล็ก C 100x50x5x7.5

$$A = 11.92 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 188 \text{ cm}^4, I_y = 26 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 37.6 \text{ cm}^3, Z_y = 7.52 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 3.97 \text{ cm}, r_y = 1.48 \text{ cm}$$

*ความยาว = 1.1 m + 0.2 m (ระยะต่อวางบนพื้น)
= 1.3 m

49

การคำนวณแขนยก: รอยเชื่อมระหว่างหัว B และ แขนยก



8100 kg

L

8100 kg

หาขนาดขาเชื่อม size

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของลวดเชื่อม = $(0.3F_{Exx})(0.707 * a * L) \text{ kg}$

ขนาดรอยเชื่อม a = 5 mm เนื่องจากขนาดรอยเชื่อมต้องไม่หนาเกินกว่าความหนาแผ่นเหล็กที่บางกว่า (C 100x50x5x7.5)

$$8100 = (0.3 * 4200)(0.707 * 0.5 * (L * 2))$$

$$L = 9 \text{ cm}$$

*ใช้ความยาวรอยเชื่อมแต่ละข้าง = 9 cm

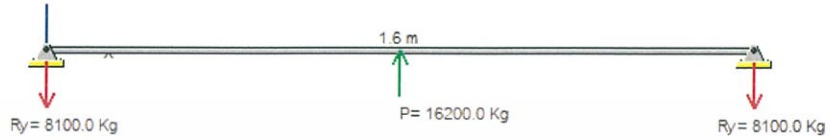
50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณแขนยก: คานยก



กำหนดหา Moment สูงสุด

$$M = \frac{PL}{4} = \frac{16200 \cdot 1.6}{4} = 6480 \text{ kg.m} = 648000 \text{ kg.cm}$$

หาขนาดเหล็ก

$$Z_{req} = \frac{M}{f_b} = \frac{648000}{1440} = 450 \text{ cm}^3$$

*ใช้เหล็ก H 200x200x8x12

$$A = 63.53 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 4720 \text{ cm}^4, I_y = 1600 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 472 \text{ cm}^3, Z_y = 160 \text{ cm}^3$$

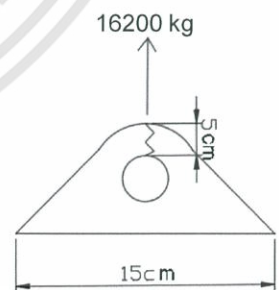
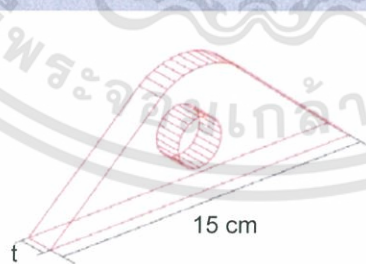
$$r_x = 8.6 \text{ cm}, r_y = 5.02 \text{ cm}$$



51



การคำนวณแขนยก: หัว C



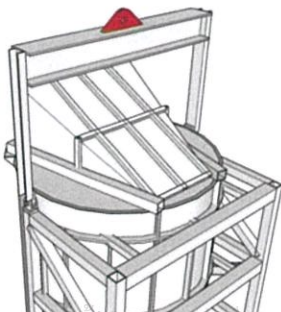
หาความหนา t จาก Shear

$$\sigma_v = f_v$$

$$\frac{16200}{5 \cdot t \cdot 2} = 0.4 \cdot 2400$$

$$t = 1.7 \text{ cm}$$

*ใช้เพลทหนา = 1.9 cm = 19 mm



52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการคำนวณ

53



สรุป: เหล็กที่ใช้ในแต่ละชิ้นส่วน

เหล็กส่วนท้ายัง

- เพลทส่วนท้ายัง หน้า 4.5 mm
- Sub-beam ส่วนท้ายัง $\square 32 \times 32 \times 2.3$
- Main-beam ส่วนท้ายัง $\square 50 \times 50 \times 2$
- Major-beam ส่วนท้ายัง $\square 75 \times 75 \times 2.3$
- Support ของ Major-beam หน้า 4.5 mm

เหล็กส่วนตั้งและโครง

- คิวตั้ง หน้า 4.5 mm
- ตงรองรับตั้ง Flat Bar 15x40
- คานรองรับตง Flat Bar 16x50
- เสารองรับคาน $\square 50 \times 50 \times 3.2$
- เพลทรองรับเสา หน้า 6 mm
- คานใหญ่รองรับเสา $\square 100 \times 100 \times 6$
- Truss $\square 100 \times 100 \times 2.8$

เหล็กแขนยก

- เพลทเสริมหูหัว A หน้า 25 mm
- หูหัว A หน้า 8 mm
- Bolt แขนยก SS400 M24
- หูหัว B หน้า 15 mm
- แขนยก C 100x50x5x7.5
- คานยก H 200x200x8x12
- หูหัว C ความหนา 19 mm

54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สรุป: น้ำหนักเหล็กทั้งหมด

เหล็กส่วนท้ายถัง

- 64.61 kg

เหล็กส่วนถังและโครง

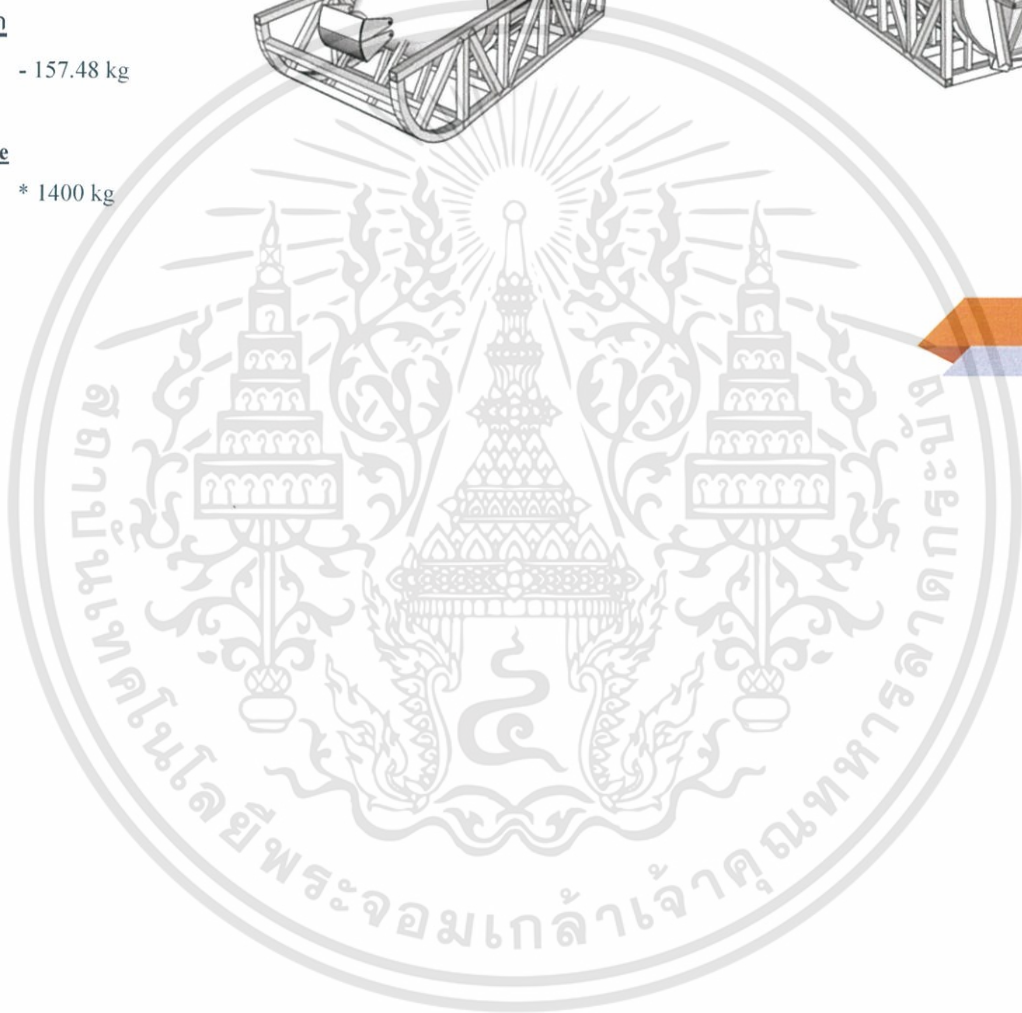
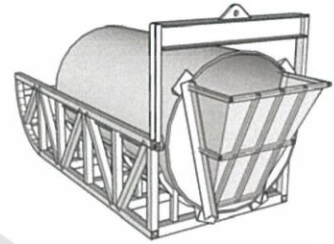
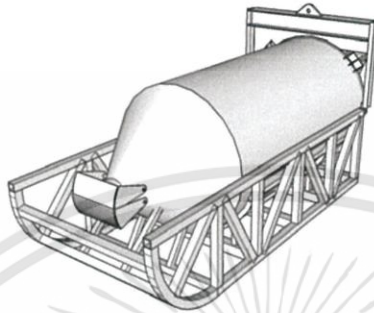
- 1162.38 kg

เหล็กแขนยก

- 157.48 kg

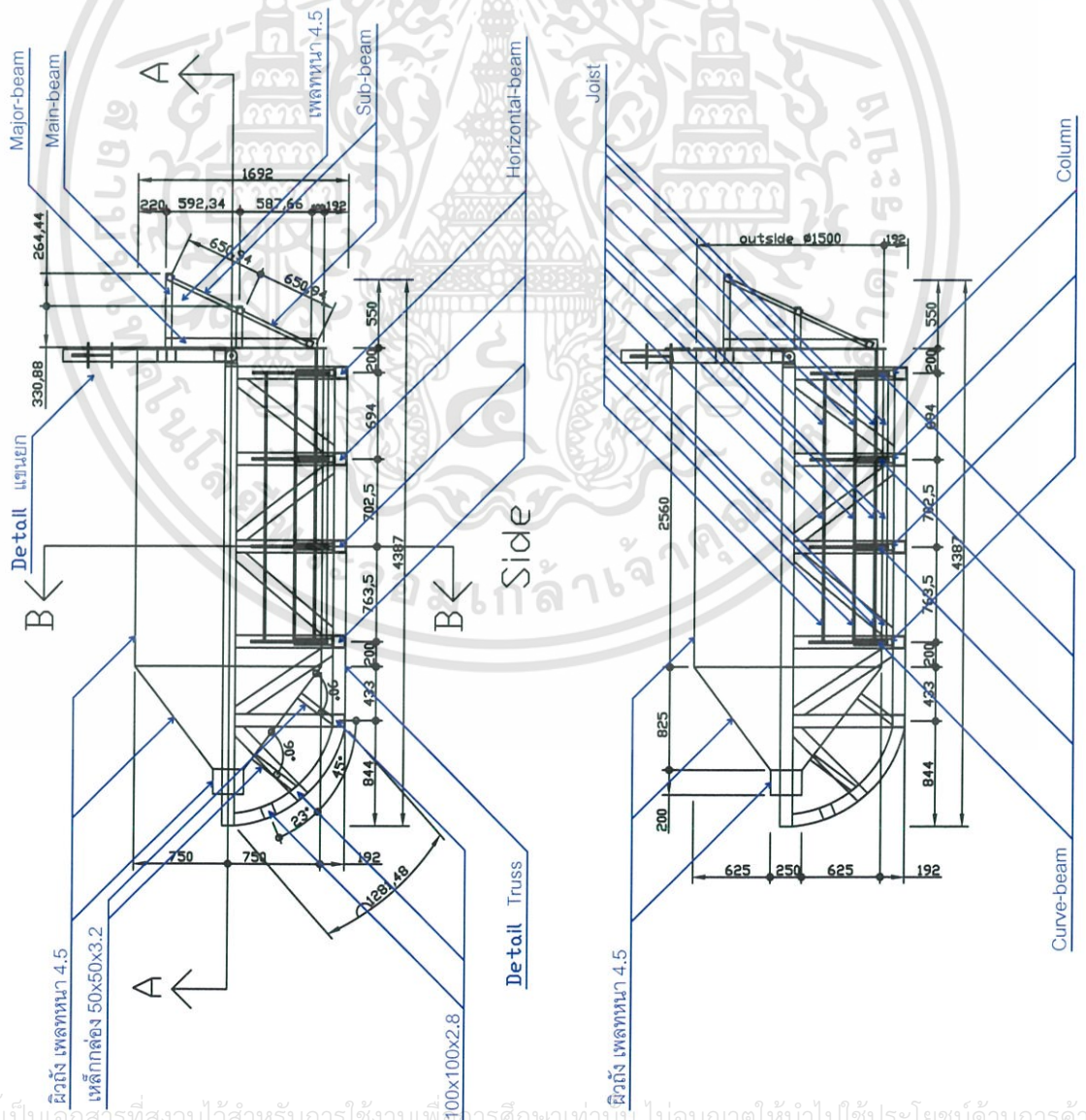
Summarize

* 1400 kg



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

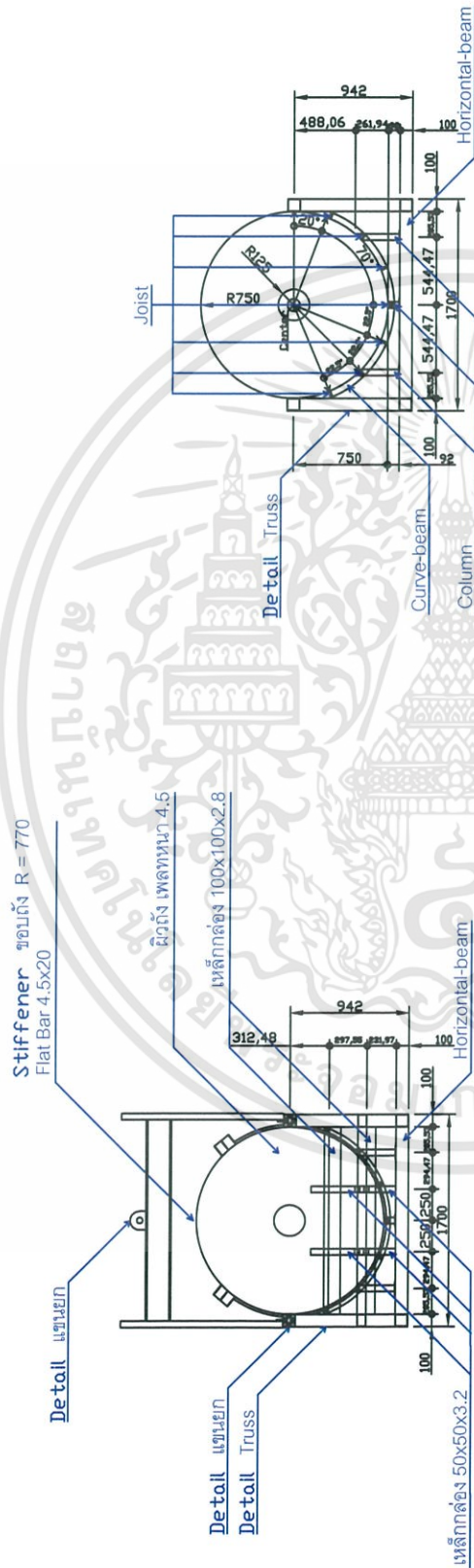




มาตราส่วน 1:50

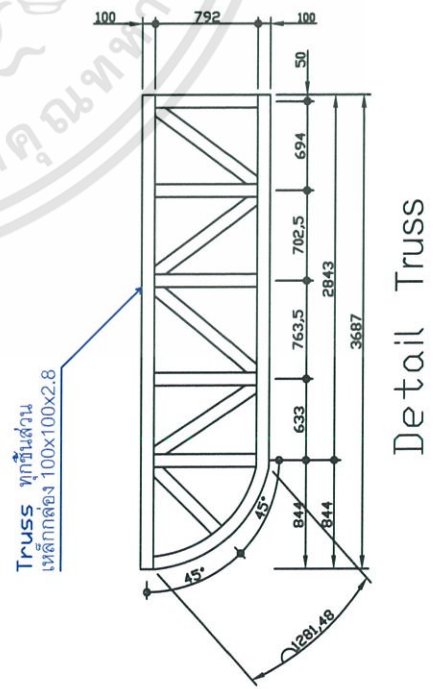
Detail	
ชื่อ	เหล็กที่ใช้
Sub-beam	เหล็กกล่อง 32x32x2.3
Main-beam	เหล็กกล่อง 50x50x2
Major-beam	เหล็กกล่อง 75x75x2.3
Joist	Flat Bar 15x40
Curve-beam	Flat Bar 16x50
Column	เหล็กกล่อง 50x50x3.2
Horizontal-beam	เหล็กกล่อง 100x100x6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

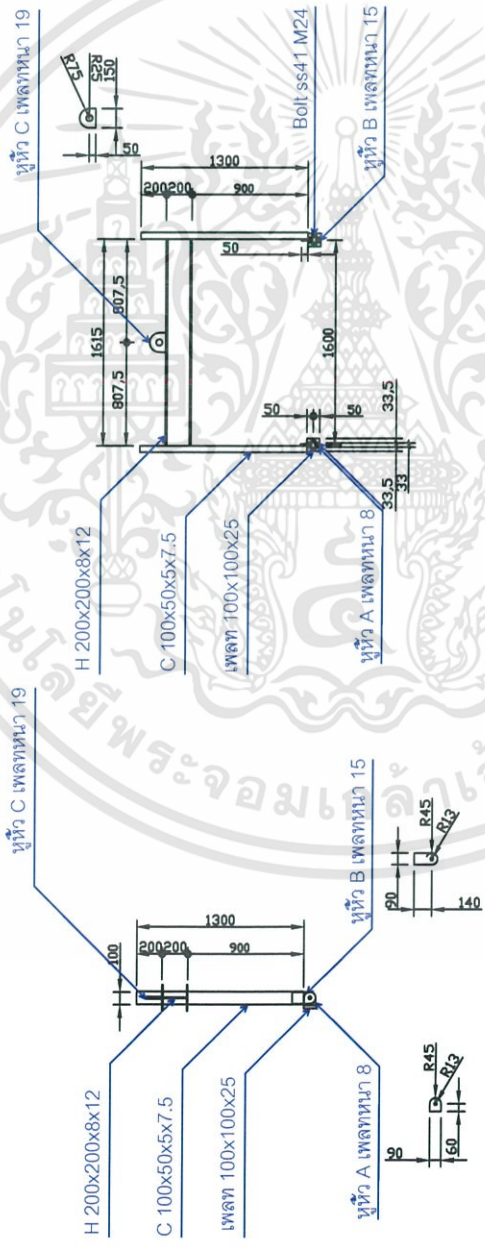


Section B
 มาตรฐาน 1:50

Detail	
ชื่อ	เหล็กที่ใช้
Sub-beam	เหล็กกล่อง 32x32x2.3
Main-beam	เหล็กกล่อง 50x50x2
Major-beam	เหล็กกล่อง 75x75x2.3
Joist	Flat Bar 15x40
Curve-beam	Flat Bar 16x50
Column	เหล็กกล่อง 50x50x3.2
Horizontal-beam	เหล็กกล่อง 100x100x6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มาตรฐาน 1:50

Detail แขนง

Detail	
ชื่อ	เหล็กที่ใช้
Sub-beam	เหล็กกลดอง 32x32x2.3
Main-beam	เหล็กกลดอง 50x50x2
Major-beam	เหล็กกลดอง 75x75x2.3
Joist	Flat Bar 15x40
Curve-beam	Flat Bar 16x50
Column	เหล็กกลดอง 50x50x3.2
Horizontal-beam	เหล็กกลดอง 100x100x6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SPECIFICATIONS

PRODUCT SPECIFICATIONS

(Structural Steel and Sheet Pile)

Type of Product	Classifications		Mechanical Properties							
			Yield Point N/mm ² (min.)		tensile Strength N/mm ²	Yield Ratio % (max.)	Elongation % (min.)			Impact J (Min.)
			Thickness			Thickness	Thickness			Thickness
			t ≤ 16	16 ≤ t ≤ 16			t ≥ 12	t ≤ 5	5 < t ≤ 16	
Structural Steel	TIS 1227 1996	SM400	245	235	400-510	-	23	18	22	27 ^A
		SM490	325	315	490-610	-	22	17	21	27 ^A
		SM520	365	355	520-640	-	19	15	19	27 ^A
		SS400	245	235	400-510	-	21	17	21	-
		SS490	285	275	490-610	-	19	15	19	-
		SS540	400	390	540 min	-	16	13	17	-
	JIS G3101 1995	SS400	245	235	400-510	-	21	17	21	-
		SS490	285	275	490-610	-	19	15	19	-
		SS540	400	390	540 min	-	16	13	17	-
	JIS G3106 1995	SM400 A	245	235	400-510	-	23	18	22	-
		SM400 B	245	235	400-510	-	23	18	22	27 ^A
		SM490 A	325	315	490-610	-	22	17	21	-
		SM490 B	325	315	490-610	-	22	17	21	27 ^A
		SM490 YA	365	355	490-610	-	19	15	19	-
		SM490 YB	365	355	490-610	-	19	15	19	27 ^A
	JIS G3136 1994	SN400 A	235	235	400-510	-	17	17	21	-
		SN400 B	235-335 ^G	235-355	400-510	80 ^H	18	18	22	27 ^A
		SN490 B	235-	325-445	490-610	80 ^H	17	17	21	27 ^A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

			445 ^G							
BS 4360 1986	43A	275	265	430-580	-	20	20	20	-	
	43B	275	265	430-580	-	20	20	20	27 ^B	
	43C	275	265	430-580	-	20	20	20	27 ^A	
	50A	355	345	490-640	-	18	18	18	-	
	50B	355	345	490-640	-	18	18	18	27 ^B	
	50C	355	345	490-640	-	18	18	18	27 ^A	
EN 10025 1993	S275JR	275	265	410-560	-	22	22	22	27 ^B	
	S355JR	355	345	490-630	-	22	22	22	27 ^B	
ASTM	1997	A36	250	400-550	-	20			-	
	1997	A572 Gr.42	290	415 min	-	20			-	
	1997	A572 Gr.50	345	450 min ^E	-	18			-	
	1998	A992	345-450	450 min	85 ^D	18			-	
DIN 17100	St 33	185	175	290	-	16			-	
	St 37-2	235	225	340-470	-	24			-	
	St 44-2	275	265	470-610	-	20			-	
	St 50-2	295	285	470-610	-	18			-	
	St 52-3	355	345	490-630	-	20			-	
		t < 11	11 ≤ t ≤ 40							
AS/NZS 3679.1 1996	250	260	250	410 min	-	22			-	
	250LO	260	250	410 min	-	22			-	
	350	360	340	480 min	-	20			-	
	350LO	360	340	480 min	-	20			-	
		t < 11	11 ≤ t ≤ 40	t > 17						
	300	320	300	280	440 min	-	22			-
	300LO	320	300	280	440 min	-	22			-
Sheet Pile	JIS A5528 1988,	SY295	295	490 min	-	17			-	
	TIS 1390- 1996	SY390	390	540 min	-	15			-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Remark

- Carbon Equivalent (%) = $C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$ (JIS Standard)
- Carbon Equivalent (%) = $C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ (AS,ASTM Standard)
- Chemical Composition on sensitivity of welding crack = $C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$
- Bend test on material grades SS400, SS490, SS540
- Additional chemical composition controls for material under grade A992 are as follows:
Ni (max) = 0.45 , Cr (max.) = 0.35 , Mo(max) = 0.15 and mn/S (min.) = 20
- * : Nitrogen control exclude.

▲ **SM 400 is suitable for welded structure . / เกรด SM400 เป็นเกรดที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างที่มีการเชื่อม**

- **SS 400 is suitable for general structure. / เกรด SS400 เป็นเกรดที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างทั่วไป**



SPECIFICATIONS

PRODUCT SPECIFICATIONS

(Structural Steel and Sheet Pile)

Classifications		Chemical Compositions (ladle analysis)										
		C (max.)	Si (max.)	Mn	P (max.)	S (max.)	Carbon Equivalent % (max.)	Sensitivity of welding crack % (max.)	Nb	V	N (max.)	Cu (min.)
TIS 1227 1996	SM400	0.20	0.35	0.60-1.40	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SM490	0.18	0.55	1.6 max	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SM520	0.20	0.55	1.6 max	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SS400	-	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-
	SS490	-	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-
	SS540	0.30	-	1.6 max	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-
JIS G3101 1995	SS400	-	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-
	SS490	-	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-
	SS540	0.30	-	1.6 max	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-
JIS G3106 1995	SM400A	0.23	-	2.5x C min.	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SM400B	0.20	0.35	0.60-1.40	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SM490A	0.20	0.55	1.6 max	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SM490B	0.18	0.55	1.6 max	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SM490YA	0.20	0.55	1.6 max	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-
	SM490	0.20	0.55	1.6	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0 YB			max									
JIS G3136 1994	SN400 A	0.24	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-	
	SN400 B	0.20	0.35	0.60 - 1.40	0.030	0.015	0.36	0.26	-	-	-	-	
	SN490 B	0.18	0.55	1.6 max	0.030	0.015	0.44	0.29	-	-	-	-	
BS 4360 1986	43A	0.25	0.50	1.6 max	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-	
	43B	0.21	0.50	1.5 max	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-	
	43C	0.18	0.50	1.5 max	0.050	0.050	-	-	-	-	-	-	
	50A	0.23	0.50	1.6 max	0.050	0.050	-	-	0.003 - 0.100	0.003 - 0.100	-	-	
	50B	0.2 ^c	0.50	1.50 ^c max	0.050	0.050	-	-	0.003 - 0.100	0.003 - 0.100	-	-	
	50C	0.2 ^c	0.50	1.50 ^c max	0.050	0.050	-	-	0.003 - 0.100	0.003 - 0.100	-	-	
EN 10025 1993	S275J R	0.21	-	1.5 max	0.045	0.045	-	-	-	-	0.009*	-	
	S355J R	0.24	0.55	1.6 max	0.045	0.045	-	-	-	-	0.009*	-	
AST M	199 7	A36	0.26	0.40	-	0.040	0.050	-	-	-	-	-	
	199 7	A572 Gr.42	0.21	0.40	1.35 F max	0.040	0.050	-	-	-	0.01- 0.015	-	-
	199 7	A572 Gr.50	0.23	0.40	1.35 F max	0.040	0.050	-	-	-	0.01- 0.015	-	-
	199 7	A992	0.23	0.10- 0.40	0.50 - 1.50	0.035	0.045	0.45	-	0.05 max	0.11 max	0.012	0.6ma x
DIN 17100	St 33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	St 37- 2	0.17	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	0.009*	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	St 44-2	0.21	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	0.009*	-
	St 50-2	-	-	-	0.050	0.050	-	-	-	-	0.009*	-
	St 52-3	0.2	-	-	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-
AS/NZS 3679.1 1996	250	0.25	0.40	-	0.040	0.040	0.43	-	-	-	-	-
	250LO	0.20	0.40	1.5 max	0.040	0.040	0.42	-	-	-	-	-
	350	0.22	0.50	1.6 max	0.040	0.040	0.45	-	-	-	-	-
	350LO	0.22	0.50	1.6 max	0.040	0.040	0.45	-	-	-	-	-
	300	0.22	0.50	1.6 max	0.040	0.040	0.44	-	-	-	-	-
	300LO	0.22	0.50	1.6 max	0.040	0.040	0.44	-	-	-	-	-
JIS A5528 1998 TIS 1390-1996	SY295	-	-	-	0.040	0.040	-	-	-	-	-	0.25
	SY390	-	-	-	0.040	0.040	-	-	-	-	-	0.25

- Remark**
- A : Impact test on material grades SM400,SM490, SM520,SM400B,SM490YB, SN400B,SN490B, 43C and 50C with thickness > 12 mm. at 0 °C
 - B : Impact test on material grades 43B, 50B, S275JR with thickness > 12mm. at 20 °C
 - C : It is permissible to vary the carbon and manganese contents (ladle analysis) for grades 50B and 50C on the basis of an increase of 0.06% manganese content for each decrease of 0.01% carbon or vice versa up to maximum manganese content of 1.60% and maximum carbon of 0.22% for grades 50B and 50C.
 - D : The yield ratio (max.) for all thickness of materials under grades A992 is 85%
 - E : For grades 50 steel of thickness 20mm and under , the tensile strength shall be a minimum of 485 N/mm².
 - F : A maximum of manganese of 1.50% is permissible , with an associated reduction of the carbon maximum of 0.03%
 - G : For the h section, when the t1 s 9mm or less, the upper limit of the yield point or proof stress shall not be applied.
 - H : For the H section , when the t1 is 9mm or less, the upper limit of the yield ratio shall be 85%

- Material under TIS compulsory standard are for domestic use only , while materials under other standards are for exportation.

▲ SM 400 is suitable for welded structure . / เกรด SM400 เป็นเกรดที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างที่มีการเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SS 400 is suitable for general structure. / เกรด SS400 เป็นเกรดที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างทั่วไป

TOLERANCES TIS1227 : 1996

TIS 1227-1996

(HOT ROLLED H - SECTIONS)

Dimension		Tolerance	Remark	
Depth (H)	H < 380	± 2.0		
	380 ≤ H < 580	± 3.0		
	≥ 580	± 4.0		
Width (B)	B < 95	± 2.0		
	95 ≤ B < 190	± 2.5		
	≥ 190	± 3.0		
Thickness (t ₁ , t ₂)	t ₁	t ₁ < 16		± 0.7
		16 ≤ t ₁ < 25		± 1.0
		25 ≤ t ₁ < 40		± 1.5
	t ₂	t ₂ < 16		± 1.0
		16 ≤ t ₂ < 25	± 1.5	
		25 ≤ t ₂ < 40	± 1.7	
Length (L)	L ≤ 7 m.	+ 40		
		0		
	L > 7 m.	40 + (no. of meter of L-7) × 5		
		0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Squareness (T)	H ≤ 300	B ≤ 150	≤ 1.5	
		B > 150	≤ 1.0% of B	
	H > 300	B ≤ 125	≤ 1.5	
		B > 125	≤ 1.2% of B	
Bend	H ≤ 300		≤ 0.15% of L	To be applied to bend such as sweep and camber
	H > 300		≤ 0.10% of L	
Eccentricity (S)	H ≤ 300, B ≤ 200		± 2.5	
	H > 300, B > 200		± 3.5	
Concavity of web (W)	H < 400		2.0	
	400 ≤ H < 600		2.5	
	H ≥ 600		3.0	
Squareness of cut end (e)	H ≤ 187.5		≤ 3.0 mm.	
	B ≤ 187.5		≤ 3.0 mm.	
	H > 187.5		≤ 1.6% of H	
	B > 187.5		≤ 1.6% of B	
Mass (kg/m.)	t < 10		± 5%	1. The maximum thickness shall apply. 2. These tolerances shall apply in the purchase of a single set of structural steel of the same size and thickness comprising not less than 10 pieces and a mass of not less than 1,000 kg.
	T ≥ 10		± 4%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TMT Manual

คู่มือหลัก



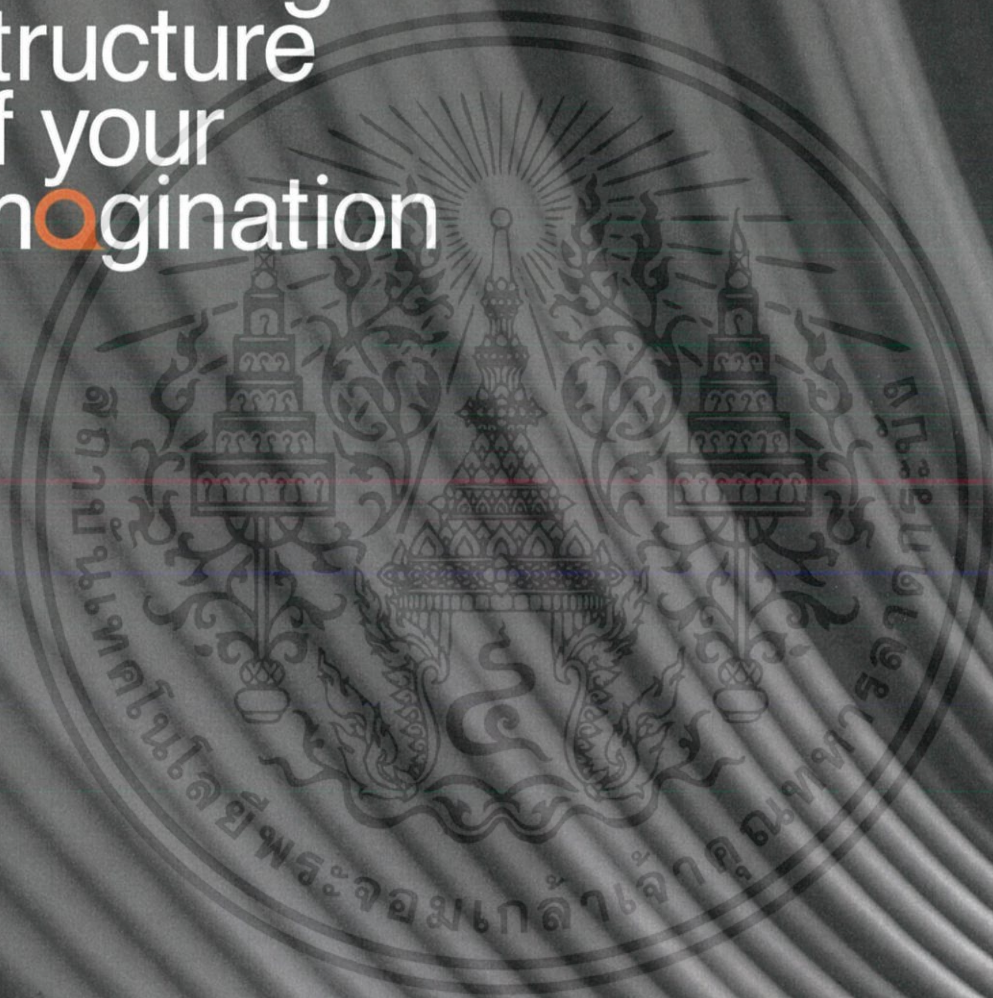
Providing structure
of your imagination



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Providing
structure
of your
imagination





วันนี้ ของบริษัท คำเหล็กไทย จำกัด (มหาชน) หรือ TMT ในฐานะผู้ดำเนินธุรกิจเหล็กครบวงจรรายใหญ่ที่สุดของประเทศ เราไม่ได้เป็นเพียงผู้จัดหาเหล็กหรือผู้ให้บริการเท่านั้น หากยังเป็นองค์กรที่เต็มไปด้วยศักยภาพและความคิดสร้างสรรค์ พร้อมนำความรู้ความชำนาญกว่า 30 ปี มารองรับและตอบสนองความต้องการของลูกค้า เป็นโครงสร้างที่แข็งแกร่งให้กับเศรษฐกิจและสังคมไทย และพร้อมเสมอที่จะทำให้ทุกจินตนาการเป็นจริง

TMT เราเป็นโครงสร้างให้กับทุกจินตนาการ

**Providing structure
of your imagination**

นอกจากนี้ยังมีบริการขนส่งและติดตั้งโครงสร้างเหล็กเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
บริการนี้ไม่ได้มีผลกำไรทางธุรกิจแต่มีเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Providing
structure
of your
imagination



Product List

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

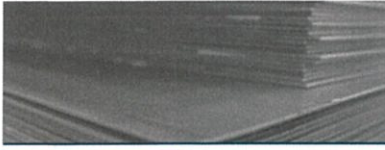


PLATE
Weight per Plate (kg.)

(TIS/JIS)

Grade : SS400, SS490, SS540, SM400A, SM490A, SM490YA, SPHC, SG295, A36, A572Gr50, A283C



Thickness (mm.)	Width x Length (ft. x ft.)											
	3x6 914x1829	4x8 1219x2438	4x10 1219x3048	4x16 1219x4877	4x20 1219x6096	5x10 1524x3048	5x20 1524x6096	5x30 1524x9144	5x40 1524x12192	6x20 1829x6096	6x30 1829x9144	6x40 1829x12192
1.2	16	28	35	56	70	44	88	131	175	105	158	210
1.5	20	35	44	70	88	55	110	164	219	131	197	263
1.6	21	37	47	75	93	58	117	175	234	140	210	280
1.8	24	42	53	84	105	66	131	197	263	158	237	315
2	27	47	59	93	117	73	146	219	292	175	263	350
2.3	30	54	67	108	134	84	168	252	336	202	302	403
2.5	33	58	73	117	146	91	183	274	365	219	329	438
2.8	37	65	82	131	164	102	204	307	409	245	368	491
3	40	70	88	140	175	110	219	329	438	263	394	526
3.2	42	75	93	149	187	117	233	350	467	280	420	560
3.5	46	82	102	164	204	128	255	383	511	307	460	613
4	53	93	117	187	234	146	292	438	584	350	526	701
4.5	59	105	131	200	263	164	328	492	657	394	591	788
5	66	117	146	234	292	183	365	548	730	438	657	875
6	79	140	175	280	350	219	438	657	876	526	788	1,051

7	92	163	204	327	409	255	510	766	1,022	613	919	1,226
8	105	187	233	373	467	292	583	876	1,167	700	1,050	1,402
9	118	210	263	420	525	328	656	985	1,313	788	1,182	1,577
10	131	233	292	467	583	365	729	1,094	1,460	876	1,313	1,752
11	144	257	321	513	642	401	802	1,204	1,606	964	1,444	1,927
12	158	280	350	560	700	438	875	1,313	1,752	1,051	1,576	2,102
12.7	167	296	370	593	741	463	926	1,390	1,854	1,113	1,667	2,225
13	171	303	379	607	758	474	948	1,422	1,898	1,138	1,708	2,277
14	184	327	408	653	817	510	1,021	1,532	2,044	1,226	1,839	2,453
15	197	350	438	700	875	547	1,094	1,642	2,190	1,314	1,971	2,628
16	210	373	467	747	934	584	1,167	1,751	2,336	1,402	2,102	2,803
17	223	397	496	794	992	620	1,240	1,860	2,482	1,489	2,233	2,978
18	236	420	525	840	1,050	656	1,313	1,970	2,626	1,577	2,365	3,153
19	249	444	554	887	1,109	693	1,386	2,080	2,774	1,664	2,495	3,329
20	263	467	584	934	1,167	730	1,459	2,189	2,920	1,752	2,628	3,504
21	276	490	613	980	1,226	766	1,532	2,298	3,066	1,839	2,759	3,679
22	289	513	642	1,027	1,283	802	1,604	2,409	3,212	1,927	2,890	3,854
23	302	537	671	1,073	1,342	839	1,678	2,518	3,358	2,015	3,022	4,029
24	315	560	700	1,120	1,400	875	1,750	2,628	3,504	2,102	3,153	4,204
25	328	583	729	1,167	1,458	912	1,823	2,737	3,650	2,190	3,285	4,380
26	341	607	758	1,213	1,517	948	1,896	2,847	3,796	2,278	3,416	4,555
27	354	630	788	1,260	1,575	985	1,969	2,955	3,942	2,365	3,548	4,730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า **PLATE**

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

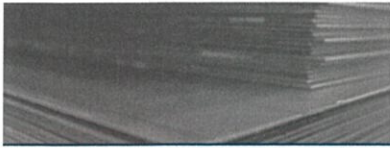


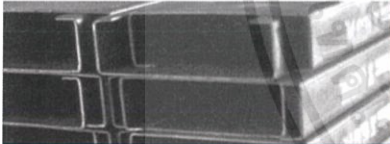
PLATE
Weight per Plate (kg.)

(TIS/JIS)

Grade : SS400, SS490, SS540, SM400A, SM490A, SM490YA, SPHC, SG295, A36, A572Gr50, A283C



Thickness (mm.)	Width x Length (ft. x ft.)											
	3x6 914x1829	4x8 1219x2438	4x10 1219x3048	4x16 1219x4877	4x20 1219x6096	5x10 1524x3048	5x20 1524x6096	5x30 1524x9144	5x40 1524x12192	6x20 1829x6096	6x30 1829x9144	6x40 1829x12192
28	368	653	817	1,307	1,634	1,021	2,402	3,066	4,088	2,453	3,679	4,906
29	381	677	846	1,354	1,692	1,058	2,115	3,175	4,234	2,540	3,810	5,081
30	394	700	875	1,400	1,750	1,094	2,188	3,285	4,380	2,628	3,942	5,252
32	420	747	934	1,494	1,867	1,167	2,334	3,502	4,672	2,803	4,204	5,606
34	446	794	992	1,587	1,984	1,240	2,480	3,723	4,964	2,978	4,467	5,957
36	473	840	1,050	1,680	2,100	1,312	2,625	3,942	5,251	3,154	4,730	6,302
38	499	887	1,108	1,773	2,217	1,386	2,771	4,168	5,548	3,329	4,993	6,652
40	525	933	1,167	1,867	2,334	1,459	2,917	4,377	5,834	3,504	5,250	7,002
45	591	1,050	1,313	2,100	2,626	1,642	3,282	4,924	6,570	3,942	5,913	7,877
50	656	1,168	1,460	2,336	2,920	1,825	3,650	5,475	7,300	4,380	6,570	8,760
60	788	1,401	1,752	2,803	3,504	2,190	4,380	6,570	8,760	5,256	7,884	10,512
70	919	1,635	2,044	3,270	4,088	2,555	5,110	7,665	10,220	6,132	9,198	12,264
80	1,051	1,868	2,336	3,737	4,672	2,920	5,840	8,760	11,680	7,008	10,512	14,016
90	1,183	2,102	2,628	4,205	5,256	3,285	6,570	9,855	13,140	7,884	11,826	15,768
100	1,314	2,336	2,920	4,672	5,840	3,650	7,300	10,950	14,600	8,760	13,140	17,520



LIP CHANNEL
Sizes and Properties
TIS/JIS Standards

(TIS/JIS)

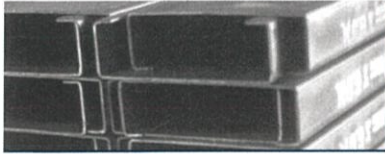
Grade : SSC400



Dimensions (mm.)		Sectional Area (cm ²)	Weight (kg./m.)	Center of Gravity (cm.)		Secondary Moment of Area (cm ⁴)		Radius of Gyration of Area (cm.)		Modulus of Section (cm ³)		Center of Shear (cm ²)	
HxAxC	t			C _x	C _y	I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y	S _x	S _y
60X30X10	1.6	2.072	1.63	0	1.06	11.6	2.56	2.37	1.11	3.88	1.32	2.5	0
	2.0	2.537	1.99	0	1.06	14.0	3.01	2.35	1.09	4.65	1.55	2.5	0
	2.3	2.872	2.25	0	1.06	15.6	3.32	2.33	1.07	5.20	1.71	2.5	0
70X40X25	1.6	3.032	2.38	0	1.80	22.0	8.00	2.69	1.62	6.29	3.64	4.4	0
75X35X15	2.3	3.677	2.89	0	1.29	31.0	6.58	2.91	1.34	8.28	2.98	3.1	0
75X45X15	1.6	2.952	2.32	0	1.72	27.1	8.71	3.03	1.72	7.24	3.13	4.1	0
	2.0	3.637	2.86	0	1.72	33.0	10.50	3.01	1.70	8.79	3.76	4.0	0
	2.3	4.137	3.25	0	1.72	37.1	11.8	3.00	1.69	9.90	4.24	4.0	0
90X45X20	1.6	3.352	2.63	0	1.73	42.6	10.5	3.56	1.77	9.46	5.80	4.2	0
	2.3	4.712	3.70	0	1.73	58.6	14.2	3.53	1.74	13.0	5.14	4.1	0
	3.2	6.367	5.00	0	1.72	76.9	18.3	3.48	1.69	17.1	6.57	4.1	0
100X50X20	1.6	3.672	2.88	0	1.87	58.4	14.0	3.99	1.95	11.7	4.47	4.5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIP CHANNEL



LIP CHANNEL
 Sizes and Properties
 TIS/JIS Standards

(TIS/JIS)
 Grade : SSC400

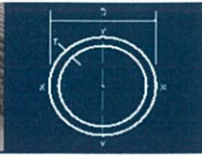
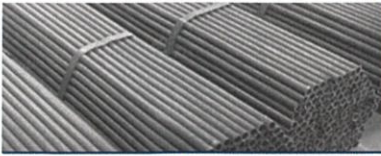


Dimensions (mm.)		Sectional Area (cm ²)	Weight (kg./m.)	Center of Gravity (cm.)		Secondary Moment of Area (cm ⁴)		Radius of Gyration of Area (cm.)		Modulus of Section (cm ³)		Center of Shear (cm ²)	
HxAxC	t			C _x	C _y	I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y	S _x	S _y
100X50X20	2.0	4.537	3.56	0	1.86	71.4	16.9	3.97	1.93	14.3	5.40	4.4	0
	2.3	5.172	4.06	0	1.86	80.7	19.0	3.95	1.92	16.1	6.06	4.4	0
	2.8	6.205	4.87	0	1.88	99.8	23.2	3.96	1.91	20.0	7.44	4.3	0
	3.2	7.007	5.50	0	1.86	107	24.5	3.90	1.87	21.3	7.81	4.4	0
	4.0	8.548	6.71	0	1.86	127	28.7	3.85	1.83	25.4	9.13	4.3	0
	4.5	9.469	7.43	0	1.86	139	30.9	3.82	1.81	27.7	9.82	4.3	0
120X40X20	3.2	7.007	5.50	0	1.32	144	15.3	4.53	1.48	24.0	5.71	3.4	0
120X60X20	2.3	6.092	4.78	0	2.13	140	31.3	4.79	2.27	23.3	8.10	5.1	0
	3.2	8.287	6.51	0	2.12	186	40.9	4.74	2.22	31.0	10.5	4.9	0
120X60X25	4.5	11.72	9.20	0	2.25	252	58.0	4.63	2.22	41.9	15.5	5.3	0
125X50X20	2.3	5.747	4.51	0	1.69	137	20.6	4.88	1.89	21.9	6.22	4.1	0
	3.2	7.807	6.13	0	1.68	181	26.6	4.82	1.85	29.0	8.02	4.0	0
	4.0	9.548	7.50	0	1.68	217	33.1	4.77	1.81	34.7	9.38	4.0	0
	4.5	10.59	8.32	0	1.68	238	33.5	4.74	1.78	38.0	10	4.0	0

150x50X20	2.3	6.322	4.96	0	1.55	210	21.9	5.77	1.86	28.0	6.33	3.8	0
	3.2	8.607	6.76	0	1.54	280	28.3	5.71	1.81	37.4	8.19	3.8	0
	4.5	11.72	9.20	0	1.54	368	35.7	5.60	1.75	49.0	10.5	3.7	0
150x65x20	2.3	7.012	5.50	0	2.12	248	41.1	5.94	2.42	33.0	9.37	5.2	0
	3.2	9.567	7.51	0	2.11	332	53.8	5.89	2.37	44.3	12.2	5.1	0
	4.0	11.75	9.22	0	2.11	401	63.7	5.84	2.33	53.5	14.5	5.0	0
150x75X20	3.2	10.21	8.01	0	2.51	366	76.4	5.99	2.74	48.9	15.3	5.1	0
	4.0	12.55	9.85	0	2.51	445	91.0	5.95	2.69	59.3	18.2	5.8	0
	4.5	13.97	11.00	0	2.50	489	99.2	5.92	2.66	65.2	19.8	6.0	0
150X75X25	3.2	10.53	8.27	0	2.66	375	83.6	5.97	2.82	50.0	17.3	6.4	0
	4.0	12.95	10.20	0	2.65	455	99.8	5.93	2.78	60.6	20.6	6.3	0
	4.5	14.42	11.30	0	2.65	501	109.0	5.90	2.75	66.9	22.5	6.3	0
200X75X20	3.2	11.81	9.27	0	2.19	716	84.1	7.79	2.67	71.6	15.8	5.4	0
	4.0	14.55	11.40	0	2.19	871	100	7.74	2.62	87.1	18.9	5.3	0
	4.5	16.22	12.70	0	2.19	963	109	7.71	2.60	96.3	20.6	5.3	0
200X75X25	3.2	12.13	9.52	0	2.33	736	92.3	7.70	2.76	73.6	17.8	5.7	0
	4.0	14.95	11.70	0	2.32	895	110	7.74	2.72	89.5	21.3	5.7	0
	4.5	16.67	13.10	0	2.32	990	121	7.61	2.69	99.0	23.3	5.6	0
250X75X25	4.5	18.92	14.90	0	2.07	1,690	129	9.44	2.62	135	23.8	5.1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

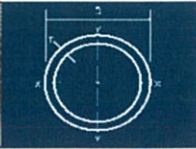
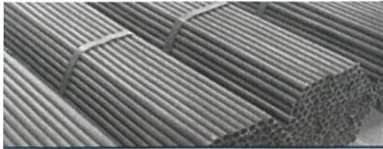


HOLLOW STEEL SECTIONS
For General Structural Purposes
Round Tubes

Nominal Dimensions (in.)	Outside Diameter (mm.)	Thickness (mm.)	Calculate Weight (kg./m.)	Informative Reference					
				Cross Sectional Area (cm ²)	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)	Modulus of Section (cm ³)	Radius of Gyration (cm.)		
DN	D	T	W	A	I	Z	i		
1/2 (15)	21.70	1.20	0.61	0.77	0.41	0.38	0.73		
		1.40	0.70	0.89	0.46	0.43	0.72		
		1.70	0.84	1.07	0.54	0.50	0.71		
		2.00	0.97	1.24	0.61	0.56	0.70		
		2.50	1.18	1.51	0.71	0.65	0.68		
3/4 (20)	27.20	1.20	0.77	0.98	0.83	0.61	0.92		
		1.40	0.89	1.13	0.95	0.70	0.91		
		1.70	1.07	1.36	1.11	0.82	0.90		
		2.00	1.24	1.58	1.26	0.93	0.89		
		2.30	1.41	1.80	1.41	1.03	0.88		
1 (25)	34.00	2.50	1.52	1.94	1.49	1.10	0.88		
		1.20	0.97	1.24	1.67	0.98	1.16		
		1.40	1.13	1.43	1.91	1.12	1.15		
		1.70	1.35	1.73	2.26	1.33	1.14		
		2.00	1.58	2.01	2.58	1.52	1.13		
		2.30	1.80	2.29	2.89	1.70	1.12		
		2.50	1.94	2.47	3.09	1.82	1.12		
		2.80	2.15	2.74	3.37	1.98	1.11		
		1 1/4 (32)	42.70	3.00	2.29	2.92	3.54	2.08	1.10
				3.20	2.43	3.10	3.71	2.18	1.09
1.20	1.23			1.56	3.37	1.58	1.47		
1.40	1.43			1.82	3.88	1.82	1.46		
1.70	1.72			2.19	4.61	2.16	1.45		
2.00	2.01			2.56	5.31	2.49	1.44		
2.30	2.29			2.92	5.97	2.80	1.43		
2.50	2.48			3.16	6.40	3.00	1.42		
2.80	2.76			3.51	7.02	3.29	1.41		
3.00	2.94			3.74	7.41	3.47	1.41		
1 1/2 (40)	48.60	3.20	3.12	3.97	7.80	3.65	1.40		
		1.20	1.40	1.79	5.02	2.07	1.68		
		1.40	1.63	2.08	5.79	2.38	1.67		
		1.70	1.97	2.50	6.90	2.84	1.66		
		2.00	2.30	2.93	7.96	3.28	1.65		
		2.30	2.63	3.35	8.99	3.70	1.64		
		2.50	2.84	3.62	9.65	3.97	1.63		
		2.80	3.16	4.03	10.60	4.36	1.62		
		3.00	3.37	4.30	11.22	4.62	1.62		
		3.20	3.58	4.56	11.82	4.86	1.61		
2 (50)	60.50	1.20	1.75	2.24	9.83	3.25	2.10		
		1.40	2.04	2.60	11.36	3.75	2.09		
		1.70	2.47	3.14	13.58	4.49	2.08		
		2.30	3.30	4.21	17.83	5.90	2.06		
		2.50	3.58	4.56	19.19	6.34	2.05		
		2.80	3.98	5.08	21.17	7.00	2.04		
		3.00	4.25	5.42	22.46	7.42	2.04		
		3.20	4.52	5.76	23.72	7.84	2.03		
		4.00	5.57	7.10	28.47	9.41	2.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOLLOW STEEL SECTIONS



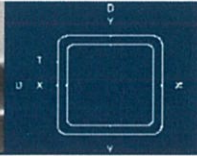
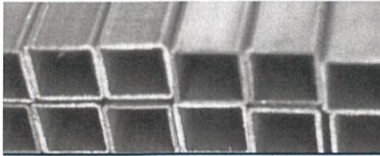
HOLLOW STEEL SECTIONS
For General Structural Purposes
Round Tubes

Nominal Dimensions (in.)	Outside Diameter (mm.)	Thickness (mm.)	Calculate Weight (kg./m.)	Informative Reference			
				Cross Sectional Area (cm ²)	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)	Modulus of Section (cm ³)	Radius of Gyration (cm.)
DN	D	T	W	A	I	Z	i
2 1/2 (65)	76.30	1.80	3.31	4.21	29.25	7.67	2.63
		2.00	3.66	4.67	32.24	8.45	2.63
		2.50	4.55	5.80	39.51	10.36	2.61
		2.80	5.08	6.47	43.72	11.46	2.60
		3.00	5.42	6.91	46.48	12.18	2.59
		3.20	5.77	7.35	49.18	12.89	2.59
3 (80)	89.10	4.00	7.13	9.09	59.55	15.61	2.56
		1.80	3.87	4.93	46.73	10.51	3.08
		2.00	4.29	5.46	51.57	11.60	3.07
		2.50	5.33	6.79	63.37	14.26	3.06
		2.80	5.95	7.57	70.26	15.81	3.05
		3.00	6.36	8.10	74.76	16.82	3.04
		3.20	6.76	8.62	79.21	17.82	3.03
3 1/2 (90)	101.60	4.00	8.38	10.67	96.34	21.67	3.00
		2.80	6.82	8.69	106.13	20.89	3.49
		3.00	7.29	9.29	113.04	22.25	3.49

4 (100)	114.30	3.20	7.77	9.89	119.85	23.59	3.48
		4.00	9.63	12.26	146.28	28.80	3.45
		5.00	11.91	15.17	177.47	34.93	3.42
		2.00	5.54	7.06	111.27	19.47	3.97
		2.50	6.89	8.78	137.26	24.02	3.95
		2.80	7.70	9.81	152.52	26.69	3.94
		3.00	8.23	10.49	162.55	28.44	3.94
		3.20	8.77	11.17	172.47	30.18	3.93
		4.00	10.88	13.86	211.07	36.93	3.90
5 (125)	139.80	4.50	12.19	15.52	234.32	41.00	3.89
		2.50	8.47	10.78	254.19	36.36	4.86
		2.80	9.46	12.05	282.85	40.47	4.84
		3.00	10.12	12.89	301.75	43.17	4.84
		3.20	10.78	13.73	320.48	45.85	4.83
		4.00	13.40	17.07	393.73	56.33	4.80
6 (150)	165.20	4.50	15.02	19.13	438.17	62.69	4.79
		6.00	19.80	25.22	565.53	80.90	4.74
		2.80	11.21	14.29	471.09	57.03	5.74
		3.00	12.00	15.29	502.90	60.88	5.74
		4.00	15.90	20.26	658.39	79.71	5.70
		4.50	17.83	22.72	733.94	88.85	5.68
8 (200)	216.30	5.00	19.75	25.16	808.05	97.83	5.67
		6.00	23.56	30.01	952.04	115.26	5.63
		3.50	18.37	23.40	1324.83	122.50	7.52
		4.00	20.94	26.68	1503.57	139.03	7.51
		4.50	23.50	29.94	1679.76	155.32	7.49
8 (200)	216.30	6.00	31.12	39.64	2193.22	202.79	7.44
		8.00	41.10	52.35	2843.53	262.92	7.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



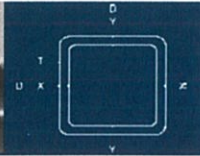
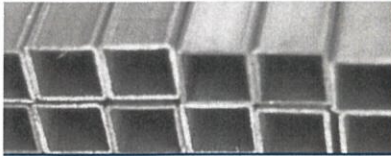
HOLLOW STEEL SECTIONS
For General Structural Purposes
Square Tubes

Side Length D x D		Thickness (mm.)	Calculate Weight (kg./m.)	Cross Sectional Area (cm ²)	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)	Modulus of Section (cm ³)	Radius of Gyration (cm.)
in.	mm.						
1/2 x 1/2	12 x 12	1.00	0.33	0.41	0.08	0.14	0.45
		1.20	0.38	0.48	0.09	0.16	0.44
		1.40	0.43	0.54	0.11	0.18	0.44
3/4 x 3/4	19 x 19	1.00	0.54	0.69	0.37	0.39	0.73
		1.20	0.64	0.82	0.42	0.44	0.72
		1.40	0.73	0.94	0.47	0.50	0.71
		1.70	0.87	1.10	0.54	0.57	0.70
		2.00	0.99	1.26	0.62	0.65	0.70
1 x 1	25 x 25	1.00	0.73	0.93	0.88	0.71	0.97
		1.20	0.87	1.11	1.02	0.82	0.96
		1.40	1.00	1.27	1.15	0.92	0.95
		1.70	1.19	1.51	1.34	1.07	0.94
		2.00	1.36	1.74	1.51	1.20	0.93
		2.30	1.53	1.95	1.67	1.33	0.92
		2.50	1.64	2.09	1.77	1.42	0.92
1 1/4 x 1 1/4	32 x 32	2.80	1.79	2.28	1.94	1.55	0.92
		1.00	0.95	1.21	1.92	1.20	1.26
		1.20	1.13	1.44	2.24	1.40	1.25

1 1/2 x 1 1/2	38 x 38	1.40	1.31	1.66	2.55	1.59	1.24
		1.70	1.56	1.99	2.97	1.86	1.22
		2.00	1.80	2.30	3.37	2.11	1.21
		2.30	2.04	2.60	3.74	2.34	1.20
		2.50	2.19	2.79	3.97	2.48	1.19
		2.80	2.41	3.07	4.31	2.70	1.19
		3.00	2.55	3.25	4.54	2.84	1.18
		3.20	2.69	3.42	4.76	2.98	1.18
		1.00	1.14	1.45	3.28	1.73	1.50
		1.20	1.36	1.73	3.85	2.03	1.49
		1.40	1.57	2.00	4.39	2.31	1.48
		1.70	1.88	2.39	5.16	2.72	1.47
		2.00	2.18	2.78	5.87	3.09	1.45
		2.30	2.47	3.15	6.54	3.44	1.44
		2.50	2.66	3.39	6.96	3.66	1.43
2 x 2	50 x 50	2.80	2.94	3.74	7.57	3.98	1.42
		3.00	3.12	3.97	7.96	4.19	1.42
		3.20	3.29	4.19	8.34	4.39	1.41
		1.20	1.81	2.31	9.06	3.62	1.98
		1.40	2.10	2.67	10.39	4.16	1.97
		1.70	2.52	3.21	12.30	4.92	1.96
		2.00	2.93	3.74	14.11	5.64	1.94
		2.30	3.34	4.25	15.82	6.33	1.93
		2.50	3.60	4.59	16.91	6.76	1.92
		2.80	3.99	5.08	18.47	7.39	1.91
3.00	4.25	5.41	19.47	7.79	1.90		
3.20	4.50	5.73	20.44	8.18	1.89		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



HOLLOW STEEL SECTIONS
For General Structural Purposes
Square Tubes

Side Length D x D		Thickness (mm.)	Calculate Weight (kg./m.)	Cross Sectional Area (cm ²)	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)	Modulus of Section (cm ³)	Radius of Gyration (cm.)
in.	mm.	T	W	A	I _x , I _y	Z _x , Z _y	i _x , i _y
2 3/8 x 2 3/8	60 x 60	2.30	4.06	5.17	28.23	9.41	2.34
		3.20	5.50	7.01	36.88	12.29	2.29
		4.00	6.71	8.55	43.70	14.57	2.26
3 x 3	75 x 75	1.50	3.42	4.35	38.87	10.36	2.99
		1.70	3.85	4.91	43.56	11.62	2.98
		2.00	4.50	5.74	50.38	13.44	2.96
		2.30	5.14	6.55	56.97	15.19	2.95
		2.50	5.56	7.09	61.22	16.33	2.94
		2.80	6.19	7.88	67.41	17.98	2.92
		3.00	6.60	8.41	71.41	19.04	2.91
		3.20	7.01	8.93	75.32	20.08	2.90
		4.00	8.59	10.95	90.04	24.01	2.87
		4.50	9.55	12.17	98.58	26.29	2.85
		6.00	12.27	15.63	121.94	32.52	2.79

4 x 4	100 x 100	1.70	5.19	6.61	105.74	21.15	4.00
		2.00	6.07	7.74	122.84	24.57	3.98
		2.30	6.95	8.85	139.49	27.90	3.97
		2.50	7.53	9.59	150.35	30.07	3.96
		2.80	8.39	10.68	166.26	33.25	3.94
		3.00	8.96	11.41	176.63	35.33	3.93
		3.20	9.52	12.13	186.81	37.36	3.92
		4.00	11.73	14.95	225.70	45.14	3.89
		4.50	13.08	16.67	248.59	49.72	3.86
		6.00	16.98	21.63	311.55	62.31	3.79
5 x 5	125 x 125	2.80	10.59	13.48	332.52	53.20	4.97
		3.00	11.31	14.41	353.87	56.62	4.96
		3.20	12.03	15.33	374.91	59.99	4.95
		4.50	16.62	21.17	504.42	80.71	4.88
		6.00	21.69	27.63	639.27	102.28	4.81
6 x 6	150 x 150	2.80	12.78	16.28	583.68	77.82	5.99
		3.00	13.67	17.41	621.89	82.92	5.98
		3.20	14.54	18.53	659.63	87.95	5.97
		4.50	20.15	25.67	894.18	119.22	5.90
		5.00	22.26	28.36	979.54	130.60	5.88
8 x 8	200 x 200	6.00	26.40	33.63	1142.59	152.35	5.83
		4.50	27.21	34.67	2187.99	218.80	7.94
		6.00	35.82	45.63	2826.04	282.60	7.87
		8.00	46.94	59.79	3611.14	361.11	7.77
		9.00	52.34	66.67	3977.50	397.75	7.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



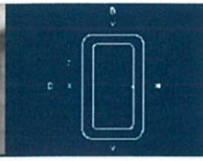
HOLLOW STEEL SECTIONS
For General Structural Purposes
Rectangular Tubes

Side Length DxB		Thickness (mm.)	Calculate Weight (kg./m.)	Informative Reference						
				Cross Sectional Area (cm ²)	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)		Modulus of Section (cm ³)		Radius of Gyration (cm.)	
in.	mm.	T	W	A	I _x	I _y	Z _x	Z _y	i _x	i _y
1 1/2 x 3/4	38 x 19	1.20	1.00	1.27	2.31	0.78	1.21	0.83	1.35	0.78
		1.40	1.15	1.47	2.61	0.89	1.37	0.93	1.33	0.78
		1.80	1.44	1.84	3.16	1.08	1.66	1.13	1.31	0.76
2 x 1	50 x 25	2.00	1.58	2.02	3.41	1.17	1.79	1.23	1.30	0.76
		1.00	1.13	1.43	4.68	1.60	1.87	1.28	1.81	1.06
		1.20	1.34	1.71	5.49	1.87	2.19	1.50	1.79	1.05
		1.40	1.55	1.97	6.26	2.13	2.50	1.70	1.78	1.04
		1.70	1.85	2.36	7.34	2.49	2.94	1.99	1.76	1.03
		2.00	2.15	2.74	8.34	2.83	3.34	2.26	1.75	1.02
		2.30	2.44	3.10	9.27	3.15	3.71	2.52	1.73	1.01
		2.50	2.62	3.34	9.85	3.36	3.94	2.69	1.72	1.00
		2.80	2.89	3.68	10.66	3.67	4.27	2.94	1.70	1.00
		3.00	3.07	3.91	11.18	3.88	4.47	3.11	1.69	1.00
3.20	3.24	4.13	11.67	4.10	4.67	3.28	1.68	1.00		

2 3/8 x 1 1/4	60 x 30	2.30	2.98	3.79	16.74	5.68	5.58	3.79	2.10	1.22
		3.20	3.99	5.09	21.38	7.33	7.13	4.89	2.05	1.20
3 x 1 1/2	75 x 38	1.20	2.05	2.62	19.53	6.86	5.21	3.61	2.73	1.62
		1.40	2.38	3.04	22.45	7.86	5.99	4.14	2.72	1.61
		1.70	2.87	3.65	26.66	9.31	7.11	4.90	2.70	1.60
		2.00	3.34	4.26	30.66	10.67	8.18	5.62	2.68	1.58
		2.30	3.81	4.85	34.47	11.97	9.19	6.30	2.67	1.57
		2.50	4.11	5.24	36.90	12.80	9.84	6.74	2.65	1.56
		2.80	4.56	5.81	40.39	14.00	10.77	7.37	2.64	1.55
		3.00	4.86	6.19	42.62	14.77	11.37	7.78	2.62	1.55
3.20	5.15	6.56	44.78	15.53	11.94	8.17	2.61	1.54		
3 x 1 3/4	75 x 45	2.30	4.06	5.17	38.73	17.58	10.33	7.81	2.74	1.84
		3.20	5.50	7.01	50.56	22.90	13.48	10.18	2.69	1.81
3 x 2	75 x 50	2.30	4.24	5.40	41.77	22.36	11.14	8.94	2.78	2.03
		3.20	5.75	7.33	54.68	29.22	14.58	11.69	2.73	2.00
4 x 2	100 x 50	1.20	2.75	3.51	46.92	16.20	9.38	6.48	3.66	2.15
		1.40	3.20	4.07	54.14	18.66	10.83	7.46	3.65	2.14
		1.70	3.85	4.91	64.67	22.22	12.93	8.89	3.63	2.13
		2.00	4.50	5.74	74.81	25.63	14.96	10.25	3.61	2.11
		2.30	5.14	6.55	84.60	28.91	16.92	11.56	3.59	2.10
2.50	5.56	7.09	90.92	31.02	18.18	12.41	3.58	2.09		

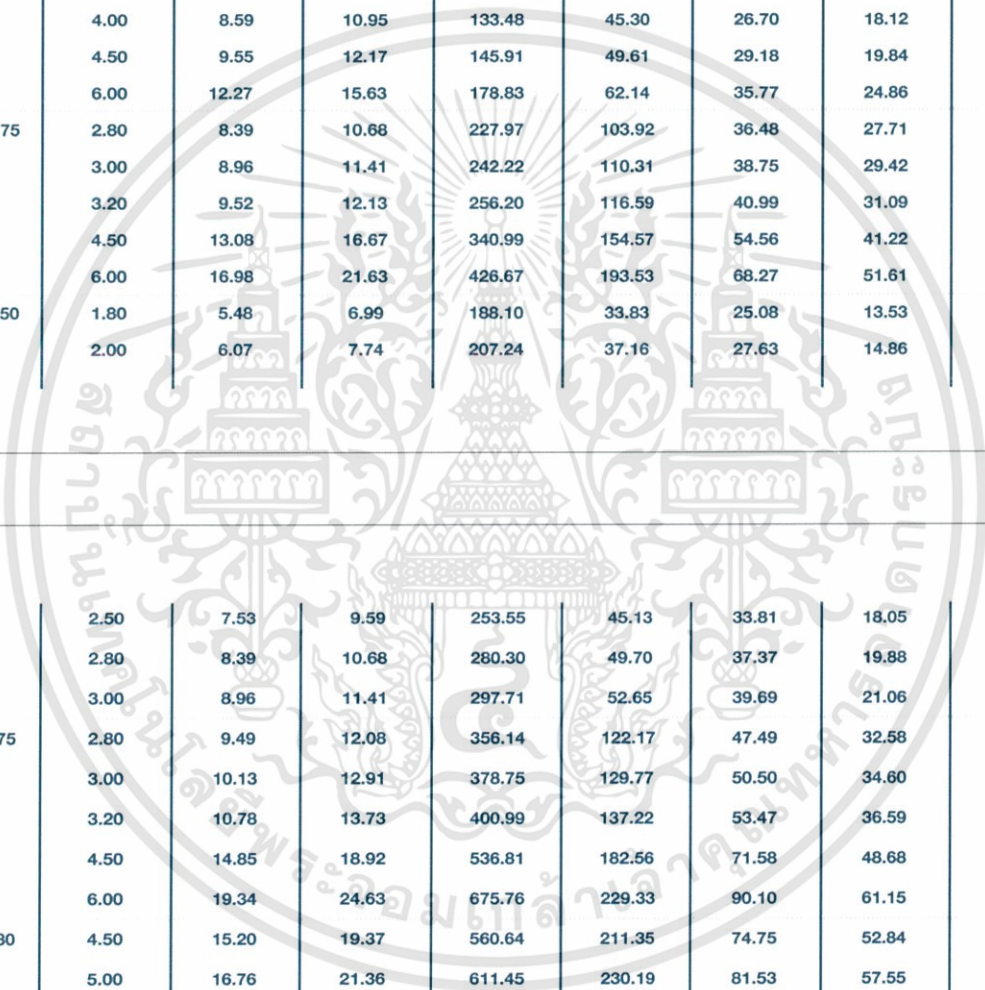
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



HOLLOW STEEL SECTIONS
For General Structural Purposes
Rectangular Tubes

Side Length DxB		Thickness (mm.)	Calculate Weight (kg./m.)	Informative Reference						
				Cross Sectional Area (cm ²)	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)		Modulus of Section (cm ³)		Radius of Gyration (cm.)	
in.	mm.	T	W	A	I _x	I _y	Z _x	Z _y	i _x	i _y
4 x 2	100 x 50	2.80	6.19	7.88	100.11	34.08	20.02	13.63	3.56	2.08
		3.00	6.60	8.41	106.04	36.06	21.21	14.42	3.55	2.07
		3.20	7.01	8.93	111.82	37.99	22.36	15.20	3.54	2.06
		4.00	8.59	10.95	133.48	45.30	26.70	18.12	3.49	2.03
		4.50	9.55	12.17	145.91	49.61	29.18	19.84	3.46	2.02
5 x 3	125 x 75	2.80	8.39	10.68	227.97	103.92	36.48	27.71	4.62	3.12
		3.00	8.96	11.41	242.22	110.31	38.75	29.42	4.61	3.11
		3.20	9.52	12.13	256.20	116.59	40.99	31.09	4.60	3.10
		4.50	13.08	16.67	340.99	154.57	54.56	41.22	4.52	3.05
		6.00	16.98	21.63	426.67	193.53	68.27	51.61	4.44	2.99
6 x 2	150 x 50	1.80	5.48	6.99	188.10	33.83	25.08	13.53	5.19	2.20
		2.00	6.07	7.74	207.24	37.16	27.63	14.86	5.18	2.19



6 x 3	150 x 75	2.50	7.53	9.59	253.55	45.13	33.81	18.05	5.14	2.17
		2.80	8.39	10.68	280.30	49.70	37.37	19.88	5.12	2.16
		3.00	8.96	11.41	297.71	52.65	39.69	21.06	5.11	2.15
		2.80	9.49	12.08	356.14	122.17	47.49	32.58	5.43	3.18
		3.00	10.13	12.91	378.75	129.77	50.50	34.60	5.42	3.17
6 x 3 1/4	150 x 80	3.20	10.78	13.73	400.99	137.22	53.47	36.59	5.40	3.16
		4.50	14.85	18.92	536.81	182.56	71.58	48.68	5.33	3.11
		6.00	19.34	24.63	675.76	229.33	90.10	61.15	5.24	3.05
		4.50	15.20	19.37	560.64	211.35	74.75	52.84	5.38	3.30
		5.00	16.76	21.36	611.45	230.19	81.53	57.55	5.35	3.28
6 x 4	150 x 100	6.00	19.81	25.23	706.88	265.86	94.25	66.46	5.29	3.25
		2.80	10.59	13.48	431.99	232.41	57.60	46.48	5.66	4.15
		3.20	12.03	15.33	487.20	261.80	64.96	52.36	5.64	4.13
		4.50	16.62	21.17	655.93	351.27	87.46	70.25	5.57	4.07
8 x 4	200 x 100	6.00	21.69	27.63	831.37	444.27	110.85	88.85	5.49	4.01
		2.80	12.78	16.28	866.28	298.57	86.63	59.71	7.29	4.28
		3.00	13.67	17.41	923.07	317.81	92.31	63.56	7.28	4.27
		3.20	14.54	18.53	979.19	336.78	97.92	67.36	7.27	4.26
		4.50	20.15	25.67	1327.88	453.95	132.79	90.79	7.19	4.21
		6.00	26.40	33.63	1696.60	576.99	169.66	115.40	7.10	4.14
		8.00	34.38	43.79	2135.73	724.79	213.57	144.96	6.98	4.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ROUND BARS

(TIS/JIS)
Grade : SR24



CHEMICAL COMPOSITION (%)

Grade	Carbon	Silicon	Manganese	Phosphorus	Sulphur
SR24	0.280	-	-	0.058	0.058

PHYSICAL PROPERTIES

Grade	Yield Strength not less than (kgf/mm ²)	Tensile Strength not less than (kgf/mm ²)	Elongation not less than (%)	Cold Bend Test	
				Bending Angle	Diameter of Mandrel
SR24	24	39	21	180°	1.5 times of diameter

NOMINAL SIZES AND UNIT WEIGHT

Designation	Designation Diameter (mm.)	Unit Weight (kg./m.)	Cross Sectional Area (cm ²)
RB6	6	0.222	0.283
RB8	8	0.395	0.503
RB9	9	0.499	0.636
RB10	10	0.616	0.785
RB12	12	0.888	1.131
RB15	15	1.387	1.767
RB19	19	2.226	2.835
RB22*	22	2.984	3.801
RB25	25	3.853	4.909

Special Order



DEFORMED BARS

(TIS/JIS)
Grade : SD30, SD40, SD50



CHEMICAL COMPOSITION (%)

Grade	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulphur	Carbon+Manganese 6
SD30	0.30	-	0.06	0.06	0.50
SD40	-	1.85	0.06	0.06	0.55
SD50	-	1.85	0.06	0.06	0.60

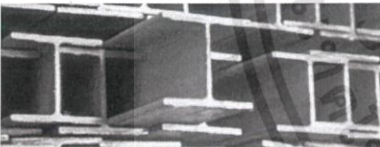
PHYSICAL PROPERTIES

Grade	Yield Strength not less than (kgf/mm ²)	Tensile Strength not less than (kgf/mm ²)	Elongation not less than (%)	Cold Bend Test	
				Bending Angle	Diameter of Mandrel
SD30	30	49	17	180°	3, 4 times of diameter
SD40	40	57	15	180°	5 times of diameter
SD50	50	63	13	90°	5, 6 times of diameter

NOMINAL SIZES AND UNIT WEIGHT

Designation	Designation Diameter (mm.)	Unit Weight (kg./m.)	Cross Sectional Area (cm ²)
DB10*	10	0.616	0.785
DB12	12	0.888	1.131
DB16	16	1.578	2.011
DB20	20	2.466	3.142
DB25	25	3.853	4.909
DB28	28	4.834	6.158
DB32	32	6.313	8.042

Special Order



H-SECTIONS

Sizes and Properties
TIS/JIS Standards

(TIS/JIS)
Grade : SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540



Nominal Size (mm.)	Weight (kg./m.)	Sectional Dimensions (mm.)					Sectional Area (cm ²)	Moment of Inertia (cm ⁴)		Radius of Gyration (cm.)		Modulus of Section (cm ³)	
		H	B	t ₁	t ₂	r		I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
100 x 50	9.3	100	50	5.0	7	8	11.85	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	17.2	100	100	6.0	8	10	21.9	383	134	4.2	2.47	77	27
125 x 125	23.8	125	125	6.5	9	10	30.31	847	293	5.3	3.11	136	47
150 x 75	14.0	150	75	5.0	7	8	17.85	666	50	6.1	1.66	89	13
150 x 100	21.1	148	100	6.0	9	11	26.84	1,020	151	6.2	2.37	138	30
150 x 150	31.5	150	150	7.0	10	11	40.14	1,640	563	6.4	3.75	219	75
175 x 175	40.2	175	175	7.5	11	12	51.21	2,880	984	7.5	4.38	330	112
200 x 100	21.3	200	100	5.5	8	11	27.16	1,840	134	8.2	2.22	184	27
200 x 150	30.6	194	150	6.0	9	13	39.01	2,690	507	8.3	3.61	277	68
200 x 200	49.9	200	200	8.0	12	13	63.53	4,720	1,600	8.6	5.02	472	160
250 x 125	29.6	250	125	6.0	9	12	37.66	4,050	294	10.4	2.79	324	47
250 x 175	44.1	244	175	7.0	11	16	56.24	6,120	984	10.4	4.18	502	113
250 x 250	72.4	250	250	9.0	14	16	92.18	10,800	3,650	10.8	6.29	867	292
300 x 150	36.7	300	150	6.5	9	13	46.78	7,210	508	12.4	3.29	481	68
300 x 200	56.8	294	200	8.0	12	18	72.38	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
300 x 300	94.0	300	300	10.0	15	18	119.80	20,400	6,750	13.1	7.51	1,360	450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BARS



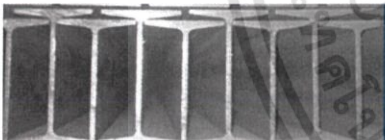
H-SECTIONS

Sizes and Properties
TIS/JIS Standards

(TIS/JIS)
Grade : SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540



Nominal Size (mm.)	Weight (kg./m.)	Sectional Dimensions (mm.)					Sectional Area (cm ²)	Moment of Inertia (cm ⁴)		Radius of Gyration (cm.)		Modulus of Section (cm ³)	
		H	B	t ₁	t ₂	r		I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
350 x 175	49.6	350	175	7.0	11	14	63.14	13,600	984	14.7	3.95	775	112
350 x 250	79.7	340	250	9.0	14	20	101.50	21,700	3,650	14.6	6.00	1,280	292
350 x 350	137.0	350	350	12.0	19	20	173.90	40,300	13,600	15.2	8.84	2,300	776
400 x 200	66.0	400	200	8.0	13	16	84.12	23,700	1,740	16.8	4.54	1,190	174
400 x 300	107.0	390	300	10.0	16	22	136.0	38,700	7,210	16.9	7.28	1,980	481
400 x 400	172.0	400	400	13.0	21	22	218.70	66,600	22,400	17.5	10.10	3,330	1,120
450 x 200	76.0	450	200	9.0	14	18	96.76	33,500	1,870	18.6	4.40	1,490	187
450 x 300	124.0	440	300	11.0	18	24	157.40	56,100	8,110	18.9	7.18	2,550	541
500 x 200	89.6	500	200	10.0	16	20	114.20	47,800	2,140	20.5	4.33	1,910	214
500 x 300	128.0	488	300	11.0	18	26	163.50	71,000	8,110	20.8	7.04	2,910	541
600 x 200	106.0	600	200	11.0	17	22	134.40	77,600	2,280	24.0	4.12	2,590	228
600 x 300	151.0	588	300	12.0	20	28	192.50	118,000	9,020	24.8	6.85	4,020	601
	175.0	594	302	14.0	23	28	222.40	137,000	10,600	24.9	6.90	4,620	701
700 x 300	185.0	700	300	13.0	24	28	235.50	201,000	10,800	29.3	6.78	5,760	722
800 x 300	210.0	800	300	14.0	26	28	267.40	292,000	11,700	33.0	6.62	7,290	782
900 x 300	243.0	900	300	16.0	28	28	309.80	411,000	12,600	36.4	6.39	9,140	843



I-SECTIONS

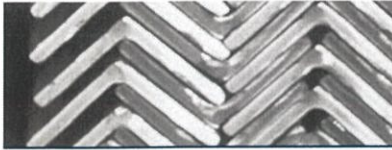
Sizes and Properties
TIS/JIS Standards

(TIS/JIS)
Grade : SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540



Standard Sectional Dimensions (mm.)					Sectional Area (cm ²)	Weight (kg./m.)	Moment of Inertia (cm ⁴)		Radius of Gyration (cm.)		Modulus of Section (cm ³)	
HxB	t ₁	t ₂	r ₁	r ₂			I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
150x75	5.5	9.5	9	4.5	21.83	17.1	819	57.5	6.12	1.62	109	15.3
200x100	7.0	10.0	10	5.0	33.06	26.0	2,170	138	8.11	2.05	217	27.7
200x150	9.0	16.0	15	7.5	64.16	50.4	4,460	753	8.34	3.43	446	100.0
250x125	7.5	12.5	12	6.0	48.79	38.3	5,180	337	10.30	2.63	414	53.9
	10.0	19.0	21	10.5	70.73	55.5	7,310	538	10.20	2.76	585	86.0
300x150	8.0	13.0	12	6.0	61.58	48.3	9,480	588	12.40	3.09	632	78.4
	10.0	18.5	19	9.5	83.47	65.5	12,700	886	12.30	3.26	849	118.0
	11.5	22.0	23	11.5	97.88	76.8	14,700	1,080	12.20	3.32	978	143.0
350x150	9.0	15.0	13	6.5	74.58	58.5	15,200	702	14.30	3.07	870	93.5
	12.0	24.0	25	12.5	111.1	87.2	22,400	1,180	14.20	3.26	1,280	158.0
400x150	10.0	18.0	17	8.5	91.73	72.0	24,100	864	16.20	3.07	1,200	115.0
	12.5	25.0	27	13.5	122.1	95.8	31,700	1,240	16.10	3.18	1,580	165.0
450x175	11.0	20.0	19	9.5	116.8	91.7	39,200	1,510	18.30	3.60	1,740	173.0
	13.0	26.0	27	13.5	146.1	115.0	48,800	2,020	18.30	3.72	2,170	231.0
600x190	13.0	25.0	25	12.5	169.4	133.0	98,400	2,460	24.10	3.81	3,280	259.0
	16.0	35.0	38	19.0	224.5	176.0	130,000	3,540	24.10	3.97	4,330	373.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



EQUAL ANGLE
 Sizes and Properties
 TIS/JIS Standards

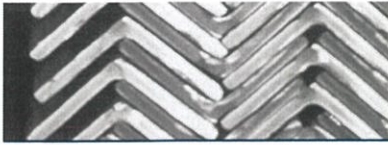
(TIS/JIS)
 Grade : SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540



Standard Sectional Dimensions (mm.)			Sectional Area (cm ²)	Weight (kg./m.)	Position of Center of Gravity (cm.)		Moment of Inertia (cm ⁴)				Radius of Gyration (cm.)				Modulus of Section (cm ³)		
AxB	t	r ₁			r ₂	C _x	C _y	I _x	I _y	Max I _x	Min I _y	i _x	i _y	Max i _x	Min i _y	Z _x	Z _y
25x25	3	4.0	2.0	1.427	1.12	0.719	0.719	0.797	0.797	1.26	0.332	0.747	0.747	0.94	0.483	0.448	0.448
	5	3.5	2.4	2.26	1.77	0.80	0.80	1.20	1.20	1.89	0.52	0.73	0.73	0.91	0.480	0.71	0.71
30x30	3	4.0	2.0	1.727	1.36	0.844	0.844	1.42	1.42	2.26	0.59	0.908	0.908	1.14	0.585	0.661	0.661
	5	5.0	2.4	2.78	2.18	0.92	0.92	2.16	2.16	3.41	0.92	0.88	0.88	1.11	0.570	1.04	1.04
40x40	3	4.5	2.0	2.336	1.83	1.09	1.09	3.53	3.53	5.60	1.46	1.23	1.23	1.55	0.790	1.21	1.21
	4	6	2.4	3.08	2.42	1.12	1.12	4.47	4.47	7.09	1.85	1.21	1.21	1.52	0.780	1.55	1.55
	5	4.5	3.0	3.755	2.95	1.17	1.17	5.42	5.42	8.59	2.25	1.20	1.20	1.51	0.774	1.91	1.91
	6	6.0	2.4	4.48	3.52	1.20	1.20	6.31	6.31	9.98	2.65	1.19	1.19	1.49	0.770	2.26	2.26
45x45	4	6.5	3.0	3.492	2.74	1.24	1.24	6.50	6.50	10.3	2.70	1.36	1.36	1.72	0.880	2.00	2.00
	5	6.5	3.0	4.302	3.38	1.28	1.28	7.91	7.91	12.5	3.29	1.36	1.36	1.71	0.874	2.46	2.46
50x50	3	7.0	2.4	2.96	2.33	1.31	1.31	6.86	6.86	10.8	2.88	1.52	1.52	1.91	0.990	1.86	1.86
	4	6.5	3.0	3.892	3.06	1.37	1.37	9.06	9.06	14.4	3.76	1.53	1.53	1.92	0.983	2.49	2.49
	5	6.5	3.0	4.802	3.77	1.41	1.41	11.1	11.1	17.5	4.58	1.52	1.52	1.91	0.976	3.08	3.08

60x60	6	6.5	4.5	5.644	4.43	1.44	1.44	12.6	12.6	20.0	5.23	1.50	1.50	1.88	0.963	3.55	3.55
	4	6.5	3.0	4.692	3.68	1.61	1.61	16.0	16.0	25.4	6.62	1.85	1.85	2.33	1.19	3.66	3.66
60x60	5	6.5	3.0	5.802	4.55	1.66	1.66	19.6	19.6	31.2	8.09	1.84	1.84	2.32	1.18	4.52	4.52
	65x65	5	8.5	3.0	6.367	5.00	1.77	1.77	25.3	25.3	40.1	10.5	1.99	1.99	2.51	1.28	5.35
65x65	6	8.5	4.0	7.527	5.91	1.81	1.81	29.4	29.4	46.6	12.2	1.98	1.98	2.49	1.27	6.26	6.26
	8	8.5	6.0	9.761	7.66	1.88	1.88	36.8	36.8	58.3	15.3	1.94	1.94	2.44	1.25	7.96	7.96
70x70	6	8.5	4.0	8.127	6.38	1.93	1.93	37.1	37.1	58.9	15.3	2.14	2.14	2.69	1.37	7.33	7.33
75x75	6	8.5	4.0	8.727	6.85	2.06	2.06	46.1	46.1	73.2	19.0	2.30	2.30	2.90	1.48	8.47	8.47
	9	8.5	6.0	12.69	9.96	2.17	2.17	64.4	64.4	102	26.7	2.25	2.25	2.84	1.45	12.1	12.1
	12	8.5	6.0	16.56	13.00	2.29	2.29	81.9	81.9	129	34.5	2.22	2.22	2.79	1.44	15.7	15.7
80x80	6	8.5	4.0	9.327	7.32	2.18	2.18	56.4	56.4	89.6	23.2	2.46	2.46	3.10	1.58	9.70	9.70
90x90	6	10	5.0	10.55	8.28	2.42	2.42	80.7	80.7	128	33.4	2.77	2.77	3.48	1.78	12.3	12.3
	7	10	5.0	12.22	9.59	2.46	2.46	93.0	93.0	148	38.3	2.76	2.76	3.48	1.77	14.2	14.2
	10	10	7.0	17.00	13.3	2.57	2.57	125	125	199	51.7	2.71	2.71	3.42	1.74	19.5	19.5
	12	11	4.8	20.30	15.9	2.66	2.66	148	148	234	61.7	2.70	2.70	3.40	1.75	23.3	23.3
	13	10	7.0	21.71	17.0	2.69	2.69	156	156	248	65.3	2.68	2.68	3.38	1.73	24.8	24.8
100x100	7	10	5.0	13.62	10.7	2.71	2.71	129	129	205	53.2	3.08	3.08	3.88	1.98	17.7	17.7
	10	10	7.0	19.0	14.9	2.82	2.82	175	175	278	72.0	3.04	3.04	3.83	1.95	24.4	24.4
	12	12	4.8	22.7	17.8	2.90	2.90	207	207	328	85.7	3.02	3.02	3.80	1.94	29.1	29.1
120x120	8	12	5.0	18.76	14.7	3.24	3.24	258	258	410	106	3.71	3.71	4.67	2.38	29.5	29.5
130x130	9	12	6.0	22.74	17.9	3.53	3.53	366	366	583	150	4.01	4.01	5.06	2.57	38.7	38.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

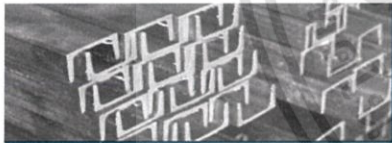


EQUAL ANGLE
 Sizes and Properties
 TIS/JIS Standards

(TIS/JIS)
 Grade : SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540



Standard Sectional Dimensions (mm.)				Sectional Area (cm ²)	Weight (kg./m.)	Position of Center of Gravity (cm.)		Moment of Inertia (cm ⁴)				Radius of Gyration (cm.)				Modulus of Section (cm ³)	
AxB	t	r ₁	r ₂			C _x	C _y	I _x	I _y	Max I _x	Min I _y	i _x	i _y	Max i _x	Min i _y	Z _x	Z _y
130x130	12	12	8.5	29.76	23.4	3.64	3.64	467	467	743	192	3.96	3.96	5.00	2.54	49.9	49.9
	15	12	8.5	36.75	28.8	3.76	3.76	568	568	902	234	3.93	3.93	4.95	2.53	61.5	61.5
150x150	12	14	7.0	34.77	27.3	4.14	4.14	740	740	1,180	304	4.61	4.61	5.82	2.96	68.1	68.1
	15	14	10	42.74	33.6	4.24	4.24	888	888	1,410	365	4.56	4.56	5.75	2.92	82.6	82.6
	19	14	10	53.38	41.9	4.40	4.40	1,090	1,090	1,370	451	4.52	4.52	5.69	2.91	103	103
175x175	12	15	11	40.52	31.8	4.73	4.73	1,170	1,170	1,860	480	5.38	5.38	6.78	3.44	91.8	91.8
	15	15	11	50.21	39.4	4.85	4.85	1,440	1,440	2,260	589	5.35	5.35	6.75	3.42	114	114
200x200	15	17	12	57.75	45.3	5.46	5.46	2,180	2,180	3,470	891	6.14	6.14	7.75	3.92	150	150
	20	17	12	76.00	59.7	5.67	5.67	2,820	2,820	4,490	1,160	6.09	6.09	7.68	3.90	197	197
	25	17	12	93.75	73.6	5.86	5.86	3,420	3,420	5,420	1,410	6.04	6.04	7.61	3.88	242	242
250x250	25	24	12	119.4	93.7	7.10	7.10	6,950	6,950	11,000	2,860	7.63	7.63	9.62	4.90	388	388
	35	24	18	162.6	128	7.45	7.45	9,110	9,110	14,400	3,790	7.49	7.49	9.42	4.83	519	519



CHANNEL
 Sizes and Properties
 TIS/JIS Standards

(TIS/JIS)
 Grade : SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540



Standard Sectional Dimensions (mm.)				Sectional Area (cm ²)	Weight (kg./m.)	Position of Center of Gravity (cm.)		Moment of Inertia (cm ⁴)		Radius of Gyration (cm.)		Modulus of Section (cm ³)		
HxB	t ₁	t ₂	r ₁			r ₂	C _x	C _y	I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
75x40	5.0	7.0	8	4.0	8.818	6.92	0	1.28	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100x50	5.0	7.5	8	4.0	11.92	9.36	0	1.54	188	26.0	3.97	1.48	37.6	7.52
125x65	6.0	8.0	8	4.0	17.11	13.40	0	1.90	424	61.8	4.98	1.90	67.8	13.40
150x75	6.5	10.0	10	5.0	23.71	18.60	0	2.28	861	117.0	6.03	2.22	115.0	22.40
150x75	9.0	12.5	15	7.5	30.59	24.00	0	2.31	1,050	147.0	5.86	2.19	140.0	28.30
180x75	7.0	10.5	11	5.5	27.20	21.40	0	2.13	1,380	131.0	7.12	2.19	153.0	24.30
200x80	7.5	11.0	12	6.0	31.33	24.60	0	2.21	1,950	168.0	7.88	2.32	195.0	29.10
200x90	8.0	13.5	14	7.0	38.65	30.30	0	2.74	2,490	277.0	8.02	2.68	249.0	44.20
250x90	9.0	13.0	14	7.0	44.07	34.60	0	2.40	4,180	294.0	9.74	2.58	334.0	44.50
	11.0	14.5	17	8.5	51.17	40.20	0	2.40	4,680	329.0	9.56	2.54	374.0	49.90
300x90	9.0	13.0	14	7.0	48.57	38.10	0	2.22	6,440	309.0	11.50	2.52	429.0	45.70
	10.0	15.5	19	9.5	55.74	43.80	0	2.34	7,410	360.0	11.50	2.54	494.0	54.10
	12.0	16.0	19	9.5	61.90	48.60	0	2.28	7,870	379.0	11.30	2.48	525.0	56.40
380x100	10.5	16.0	18	9.0	63.39	54.50	0	2.41	14,500	535.0	14.50	2.78	763.0	70.50
	13.0	16.5	18	9.0	78.96	62.00	0	2.33	15,600	565.0	14.10	2.67	823.0	73.60
	13.0	20.0	24	12.0	85.71	67.30	0	2.54	17,600	655.0	14.30	2.76	926.0	87.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 CHANEL
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCT SPECIFICATIONS

Classifications		Mechanical Properties						
		Yield Point N/mm ² (min.)		Tensile Strength N/mm ²	Yield Ratio % (max.)	Elongation % (min.)		
		Thickness			Thickness	Thickness		
		t ≤ 16	16 ≤ t ≤ 40	t ≥ 12	t ≤ 5	5 < t ≤ 16	t > 16	
TIS 1227	SM400	245	235	400 - 510	-	23	18	22
	SM490	325	315	490 - 610	-	22	17	21
	SM520	365	355	520 - 640	-	19	15	19
	SS400	245	235	400 - 510	-	21	17	21
	SS490	285	275	490 - 610	-	19	15	19
	SS540	400	390	540 min.	-	16	13	17
	JIS G3101	SS400	245	235	400 - 510	-	21	17
SS490		285	275	490 - 610	-	19	15	19
SS540		400	390	540 min.	-	16	13	17
JIS G3106	SM400A	245	235	400 - 510	-	23	18	22
	SM400B	245	235	400 - 510	-	23	18	22
	SM490A	325	315	490 - 610	-	22	17	21
	SM490B	325	315	490 - 610	-	22	17	21
	SM490YA	365	355	490 - 610	-	19	15	19
	SM490YB	365	355	490 - 610	-	19	15	19

						No.1 A Test Piece Flat Form		No.4 Test Piece Bar Form
						6 ≤ t ≤ 16	16 < t ≤ 50	t ≤ 40
JIS G3136	SN400A	235	235	400 - 510	-	17	21	23
	SN400B	235 - 355 ^a	235 - 355	400 - 510	80 ^H	18	22	24
	SN490B	325 - 445 ^a	325 - 445	490 - 610	80 ^H	17	21	23
JIS G3116	SG295	295	295	440 min.	-		26	
JIS G3131	SPHC	-	-	270 min.	-	27	29	31
EN10025	S275JR	275	265	410 - 560	-	23	22	21
	S355JR	355	345	470 - 630	-	22	21	20
ASTM	A36	250	250	400 - 550	-		20	
	A572 Gr42	290	290	415 min.	-		20	
	A572 Gr50	345	345	450 min ^E	-		18	
	A992	345 - 450	345	450 min.	85 ^D		18	
	A283C	205	205	380 - 515	-		22	
DIN 17100	St33	185	175	290	-		16	
	St37-2	235	225	340 - 470	-		24	
	St44-2	275	265	410 - 540	-		20	
	St50-2	295	285	470 - 610	-		18	
	St52-3	355	345	490 - 630	-		20	

Remark

- Carbon Equivalent (%) = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 (JIS Standard)
- Carbon Equivalent (%) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15 (AS, ASTM Standard)
- Chemical Composition on sensitivity of welding crack = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B
- Bend test on material grades SS400, SS490, SS540
- Additional chemical composition controls for material under grade A992 are as follows : Ni (max.) = 0.45, Cr (max.) = 0.35, Mo (max.) = 0.15 and Mn/S (min.) = 20
- *: Nitrogen control excluded

PRODUCT SPECIFICATIONS นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCT SPECIFICATIONS

Classifications		Chemical Compositions				
		C (max.)	Si (max.)	Mn	P (max.)	S (max.)
TIS 1227	SM400	0.20	0.35	0.60 - 1.40	0.035	0.035
	SM490	0.18	0.55	1.6 max.	0.035	0.035
	SM520	0.20	0.55	1.6 max.	0.035	0.035
	SS400	-	-	-	0.050	0.050
	SS490	-	-	-	0.050	0.050
	SS540	0.30	-	1.6 max.	0.040	0.040
JIS G3101	SS400	-	-	-	0.050	0.050
	SS490	-	-	-	0.050	0.050
	SS540	0.30	-	1.6 max.	0.040	0.040
JIS G3106	SM400A	0.23	-	2.5 x C min.	0.035	0.035
	SM400B	0.20	0.35	0.60 - 1.40	0.035	0.035
	SM490A	0.20	0.55	1.6 max.	0.035	0.035
	SM490B	0.18	0.55	1.6 max.	0.035	0.035
	SM490YA	0.20	0.55	1.6 max.	0.035	0.035
	SM490YB	0.20	0.55	1.6 max.	0.035	0.035
JIS G3136	SN400A	0.24	-	-	0.050	0.050
	SN400B	0.20	0.35	0.60 - 1.40	0.030	0.015
	SN490B	0.18	0.55	1.6 max.	0.030	0.015

JIS G3116	SG295	0.20	0.35	1.00 max.	0.040	0.040
JIS G3131	SPHC	0.15	-	0.6 max.	0.050	0.050
EN10025	S275JR	0.21	-	1.5 max.	0.400	0.400
	S355JR	0.24	0.55	1.6 max.	0.400	0.400
ASTM	A36	0.26	0.40	-	0.040	0.050
	A572 Gr42	0.21	0.40	1.35 ^F max.	0.040	0.050
	A572 Gr50	0.23	0.40	1.35 ^F max.	0.040	0.050
	A992	0.23	0.10-0.40	0.50-1.50	0.035	0.045
	A283C	0.24-0.29	0.15-0.30	0.90	0.035	0.040
DIN 17100	St33	-	-	-	-	-
	St37-2	0.17	-	-	0.050	0.050
	St44-2	0.21	-	-	0.050	0.050
	St50-2	-	-	-	0.050	0.050
	St52-3	0.20	-	-	0.040	0.040

Remark

A : Impact test on material grades SM400, SM490, SM520, SM400B, SM490B, SM490YB, SN400B, SN490B, 43C and 50C with thickness > 12 mm. at 0°C

B : Impact test on material grades 43B, 50B S275JR and S355JR with thickness > 12 mm. at 20°C

C : It is permissible to vary the carbon and manganese contents (Ladle analysis) for grade 50B and 50C on the basis of an increase of 0.6% manganese content for each decrease of 0.01% carbon or vice versa up to maximum manganese content of 1.60% and maximum carbon content of 0.22% for grades 50B and 50C

D : The yield ratio (max.) for all thickness of materials under grades A992 is 85%

E : For grades 50 steel of thickness 20 mm. and under, the tensile strength shall be a minimum of 485 N/mm²

F : A maximum of manganese of 1.50% is permissible, with an associated reduction of the carbon maximum of 0.03%

G : For the H section, when the t1 is 9 mm. or less, the upper limit of the yield point or proof stress shall not be applied

H : For the H section, when the t1 is 9 mm. or less, the upper limit of the yield ratio shall be 85%



บริษัท คำเหล็กไทย จำกัด (มหาชน)

179 อาคารบางกอกซิตี ทาวเวอร์ ชั้น 22
ถนนสาทรใต้ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร
กรุงเทพฯ 10120
โทร. 02 685 4000
แฟกซ์ 02 670 9090-2

โรงงานวังน้อย:

332-333 หมู่ 5 ถ.พหลโยธิน ต.ลำไทร
อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา 13170
โทร. 035 272 550 -2
แฟกซ์ 035 272 448

**THAI METAL TRADE
PUBLIC COMPANY LIMITED**

179 Bangkok City Tower 22nd Floor,
South Sathorn Rd., Thungmahamek,
Sathorn, Bangkok 10120 Thailand.
Tel : +66 2 685 4000
Fax : +66 2 670 9090-2

Wangnoi Factory:

332-333 Moo 5, Paholyothin Rd.,
Lamsai, Wangnoi, Ayutthaya 13170 Thailand.
Tel : +66 35 272 550-2
Fax : +66 35 272 448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ในวารสารใดทุกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



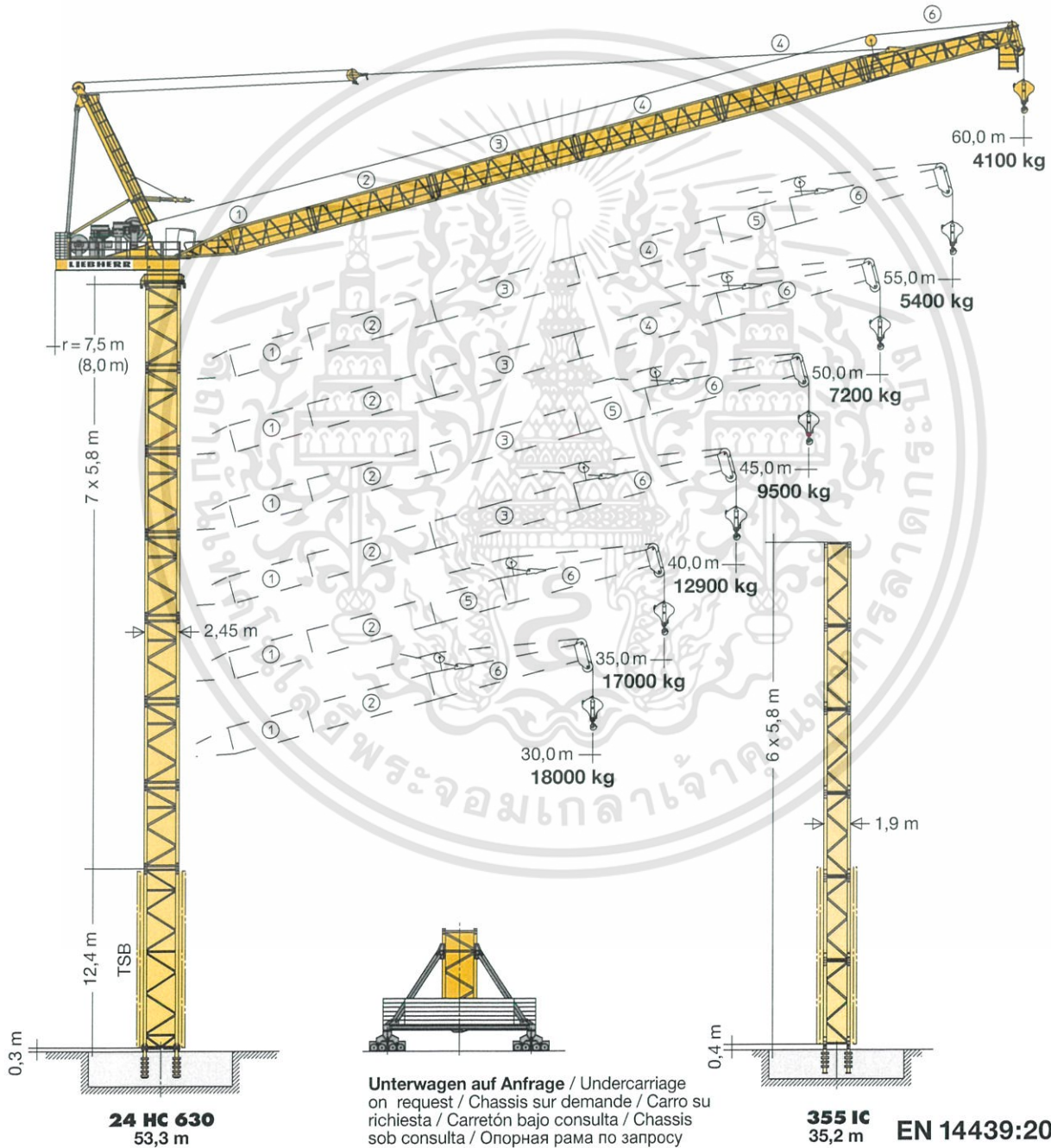
Turmdrehkran

Tower Crane / Grue à tour / Gru a torre / Grúa torre
Guindaste de torre / Башенный поворотный кран

357 HC-L 18/32 Litronic®

357 HC-L 12/24

357 HC-L 18/32



EN 14439:2009-C25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัด


LIEBHERR

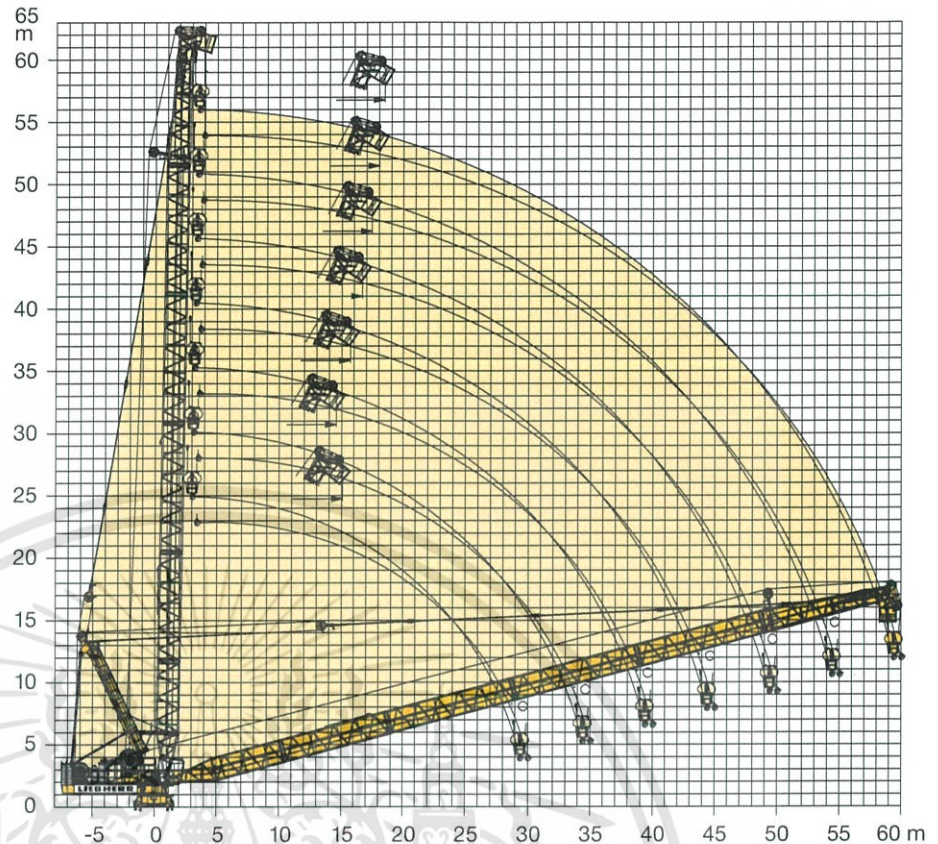
Ausladung und Hubhöhe

Radius and hoisting height / Portée et hauteur de levage / Sbraccio e altezza di sollevamento / Alcance y altura de elevación / Alcance e altura de elevação / Вылет и Высота подъема

Minimum Ausladung außer Betrieb

Minimum radius out of operation
Portée minimum hors service
Sbraccio minimo fuori servizio
Alcance mínimo fuera de servicio
Alcance mínimo fora de operação
Минимальный вылет вне работы

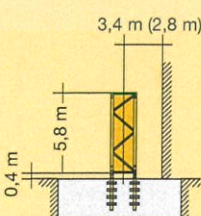
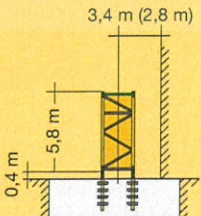
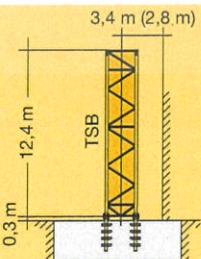
Ausleger (m) Jib / Flèche Braccio / Pluma Lança / Стрела	Außerbetriebsstellung (α°) Out-of-operation position Position hors service Posizione fuori servizio Posición externa de la empresa Posição fora de operação Положение вне работы
 355 IC 24 HC 630	α l (m) \varnothing (m)
60	75° 18,5 18,0
55	74° 18,0 17,6
50	73° 17,4 16,9
45	72° 16,7 16,2
40	71° 15,7 15,2
35	70° 14,6 14,1
30	65° 15,1 14,6




Turmhöhen

Tower heights / Hauteur de mât / Altezze torre / Alturas de torre / Alturas de torre / Высота башни

C 25	355 IC ^{RL}				24 HC 630						
	Ausleger / Jib / Flèche / Braccio / Pluma / Lança / Стрела										
	30,0 m / 35,0 m 40,0 m / 45,0 m	50,0 m 55,0 m	60,0 m	30,0 m 35,0 m	40,0 m 45,0 m	50,0 m 55,0 m	60,0 m	30,0 m 35,0 m	40,0 m 45,0 m	50,0 m 55,0 m	60,0 m
11	—	—	—	64,2 ¹⁾	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	58,4	58,4 ¹⁾	—	—	70,7 ¹⁾	—	—	—
9	—	—	—	52,6	52,6	52,6 ¹⁾	—	64,9	64,9 ¹⁾	—	—
8	46,8 ¹⁾	—	—	46,8	46,8	46,8	46,8 ¹⁾	59,1	59,1	59,1 ¹⁾	—
7	41,0	41,0 ¹⁾	—	41,0	41,0	41,0	41,0	53,3	53,3	53,3	53,3 ¹⁾
6	35,2	35,2	35,2 ¹⁾	35,2	35,2	35,2	35,2	47,5	47,5	47,5	47,5
5	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	41,7	41,7	41,7	41,7
4	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	35,9	35,9	35,9	35,9
3	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	30,1	30,1	30,1	30,1
2	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	24,3	24,3	24,3	24,3
1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	18,5	18,5	18,5	18,5
0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	12,7	12,7	12,7	12,7

		
---	---	---

¹⁾  ^{RL} Reduzierte Lastkurve / Reduced load curve / Courbe de charge réduite / Curva di carico ridotta / Curva de carga reducida
Curva de carga reduzida / Сокращенная кривая грузоподъемности

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหา

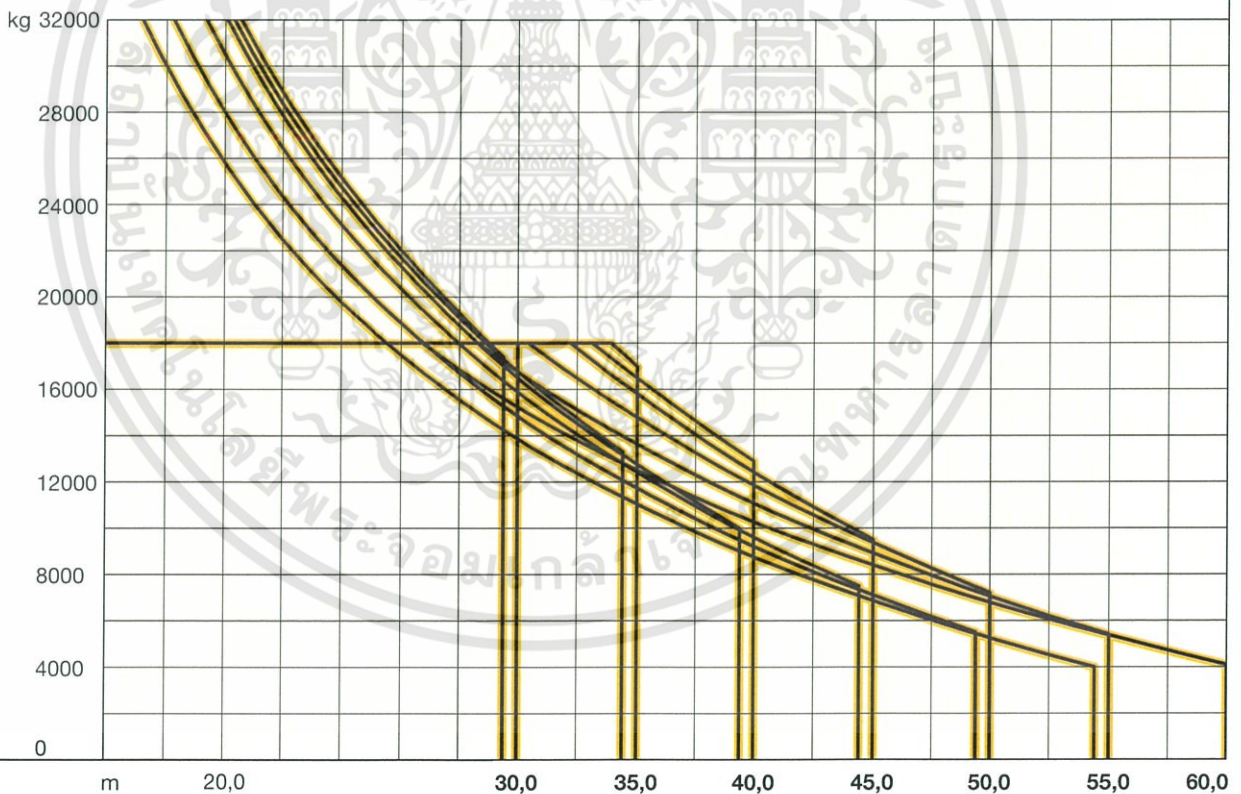
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ausladung und Tragfähigkeit

Radius and capacity / Portée et charge / Sbraccio e portata
Alcances y cargas / Alcance e capacidade de carga / Вылет и грузоподъемность

24 HC 630 

m	m/kg	m/kg																		
		15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0	37,5	40,0	42,5	45,0	47,5	50,0	52,5	55,0	57,5	60,0
60,0	☞ 3,5-25,9 18000	18000	18000	18000	18000	18000	16850	15230	13790	12500	11340	10270	9300	8400	7570	6790	6060	5380	4730	4100
55,0	☞ 3,5-28,3 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	16760	15110	13630	12300	11070	9960	8920	7960	7060	6220	5400		
	☜ 3,5-14,0 32000	29980	25790	22480	19770	17500	15550	13860	12370	11040	9850	8770	7780	6870	6040	5260	54,4 m 4000			
50,0	☞ 3,5-30,5 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	16480	14790	13260	11860	10570	9380	8270	7200					
	☜ 3,5-15,3 32000	32000	28000	24350	21360	18850	16710	14840	13190	11730	10410	9210	8120	7110	49,4 m 5500					
45,0	☞ 3,5-32,2 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	17750	15610	14040	12420	10930	9500							
	☜ 3,5-16,7 32000	32000	30500	26450	23130	20350	17960	15890	14060	12430	10960	9620	44,4 m 7500							
40,0	☞ 3,5-33,1 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	16480	14640	12900									
	☜ 3,5-17,6 32000	32000	32000	27850	24290	21290	18730	16500	14520	12750	39,4 m 10000									
35,0	☞ 3,5-33,9 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	17000										
	☜ 3,5-17,9 32000	32000	32000	28360	24740	21690	19080	16790	34,4 m 13300											
30,0	☞ 3,5-30,0 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000											
	☜ 3,5-18,2 32000	32000	32000	28850	25150	22010	29,4 m 17400													

















Tragfähigkeiten gültig bis 100 m Hubhöhe. Über 100 m Hubhöhe reduziert sich die Tragfähigkeit um das zusätzliche Seilgewicht. / Lifting capacities valid up to 100 m hoisting height. Over 100 m hoisting height, the lifting capacity is reduced by the additional rope weight. / Capacités de levage valables jusqu'à 100 m de hauteur sous crochet. Au-dessus de 100 m de hauteur sous crochet, la capacité de levage est réduite du poids de câble supplémentaire. / Portate valide fino a 100 d'altezze di sollevamento. Oltre i 100 m si riduce la portata causa il peso addizionale della fune. / Cargas válidas hasta altura de 100 m. Por encima de los 100 m se reduce la carga por el peso adicional del cable. / Cargas válidas ate à altura de 100 m. Para alem dos 100 m, reduz-se a carga pelo peso adicional do cabo. / Грузоподъемность действительна до 100 м высоты подъема. Свыше 100 м высоты подъема грузоподъемность сокращается на вес дополнительного каната.

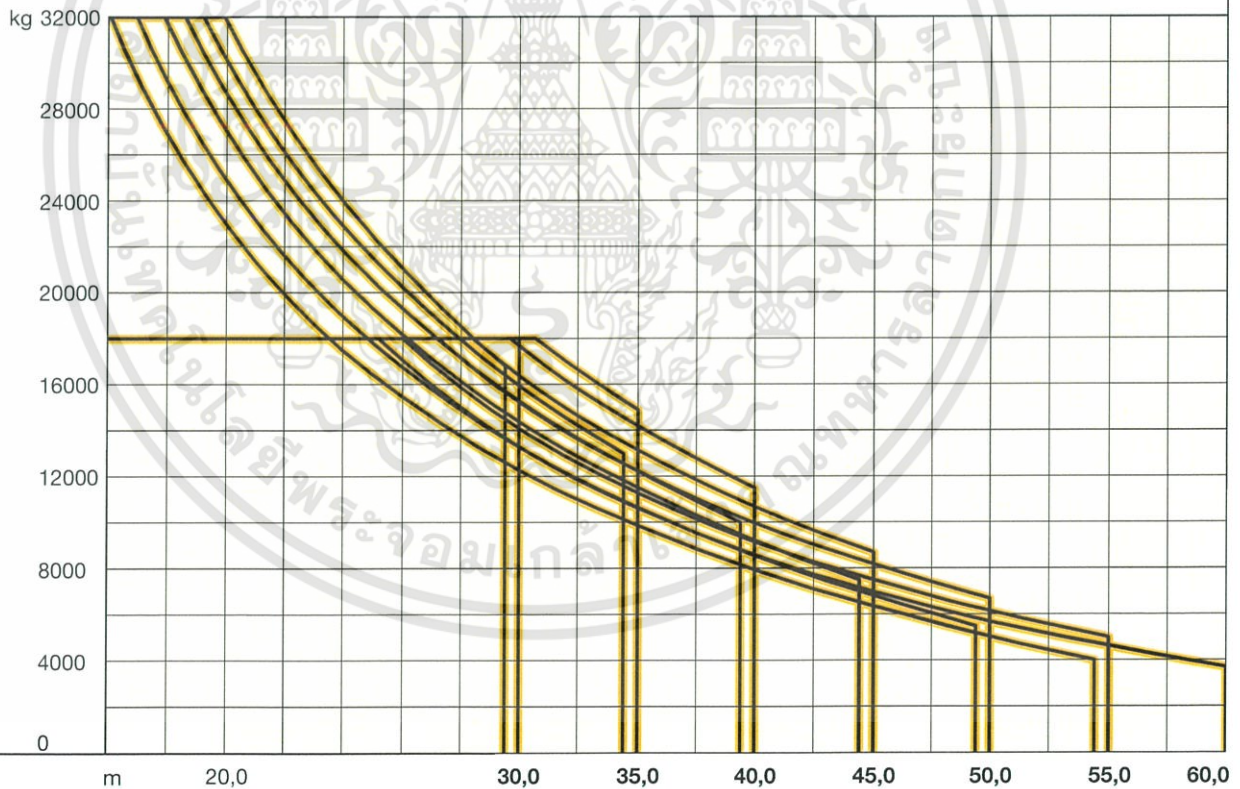
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ausladung und Tragfähigkeit

Radius and capacity / Portée et charge / Sbraccio e portata
Alcances y cargas / Alcance e capacidade de carga / Вылет и грузоподъемность




m		m/kg	Reduzierte Lastkurve / Reduced load curve / Courbe de charge réduite / Curva di carico ridotta / Curva de carga reducida / Curva de carga reduzida / Сокращенная кривая грузоподъемности																	355 IC 		
			15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0	37,5	40,0	42,5	45,0	47,5	50,0	52,5	55,0		57,5	60,0
60,0		3,4-24,0 18000	18000	18000	18000	18000	17060	15010	13300	11650	10610	9530	8580	7740	6980	6310	5690	5130	4620	4150	3700	
		3,4-25,0 18000	18000	18000	18000	18000	18000	15860	14080	12570	11280	10150	9160	8280	7490	6790	6140	5550	5000			
55,0		3,4-12,6 32000	26850	22960	19930	17490	15470	13750	12280	11000	9860	8850	7940	7110	6360	5670	5030	54,4 m 4000				
		3,4-26,5 18000	18000	18000	18000	18000	18000	17140	15240	13620	12240	11030	9970	9030	8180	7410	6700					
50,0		3,4-13,7 32000	29140	24900	21610	18950	16750	14890	13280	11880	10640	9540	8540	7640	6810	49,4 m 5500						
		3,4-28,0 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	16390	14640	13140	11840	10680	9650	8700							
45,0		3,4-14,8 32000	31640	27030	23450	20560	18160	16130	14390	12860	11510	10300	9210	44,4 m 7500								
		3,4-29,6 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	17670	15810	14200	12790	11500									
40,0		3,4-15,7 32000	32000	28670	24880	21830	19290	17140	15290	13660	12220	39,4 m 10000										
		3,4-30,7 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	16630	14900											
35,0		3,4-16,5 32000	32000	30110	26120	22890	20210	17940	15960	34,4 m 13000												
		3,4-30,0 18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000											
30,0		3,4-17,4 32000	32000	31810	27470	23970	21040	29,4 m 16800														






Tragfähigkeiten gültig bis 100 m Hubhöhe. Über 100 m Hubhöhe reduziert sich die Tragfähigkeit um das zusätzliche Seilgewicht. / Lifting capacities valid up to 100 m hoisting height. Over 100 m hoisting height, the lifting capacity is reduced by the additional rope weight. / Capacités de levage valables jusqu'à 100 m de hauteur sous crochet. Au-dessus de 100 m de hauteur sous crochet, la capacité de levage est réduite du poids de câble supplémentaire. / Portate valide fino a 100 d'altezze di sollevamento. Oltre i 100 m si riduce la portata causa il peso addizionale della fune. / Cargas válidas hasta altura de 100 m. Por encima de los 100 m se reduce la carga por el peso adicional del cable. / Cargas válidas até a altura de 100 m. Para além dos 100 m, reduz-se a carga pelo peso adicional do cabo. / Грузоподъемность действительна до 100 м высоты подъема. Свыше 100 м высоты подъема грузоподъемность сокращается на вес дополнительного каната.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

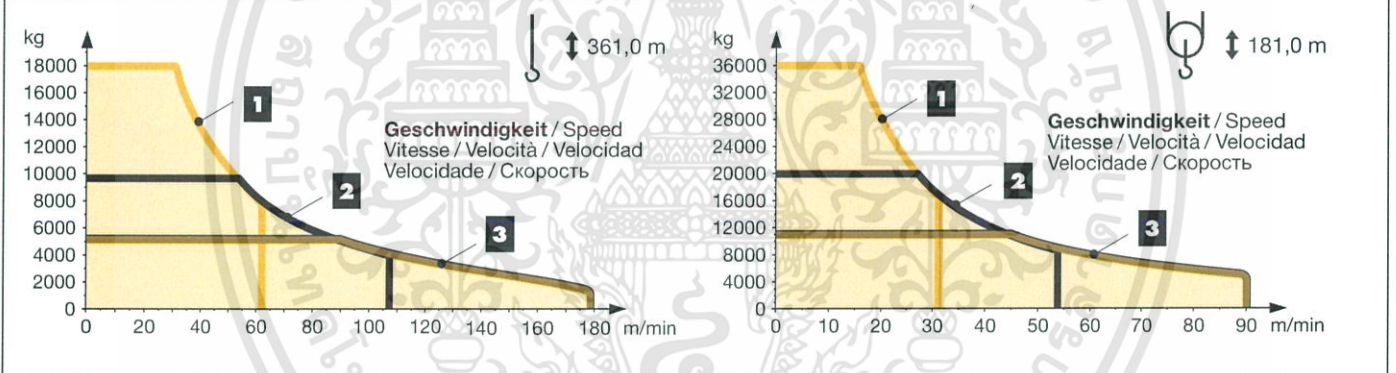
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




	U/min 0 ↔ 0,7 sl./min tr./min	2 x 7,5 kW FU
	1,7 min	110 kW FU
	Unterwagen auf Anfrage / Undercarriage on request / Chassis sur demande / Carro su richiesta / Carretón bajo consulta / Chassis sob consulta / Опорная рама по запросу	

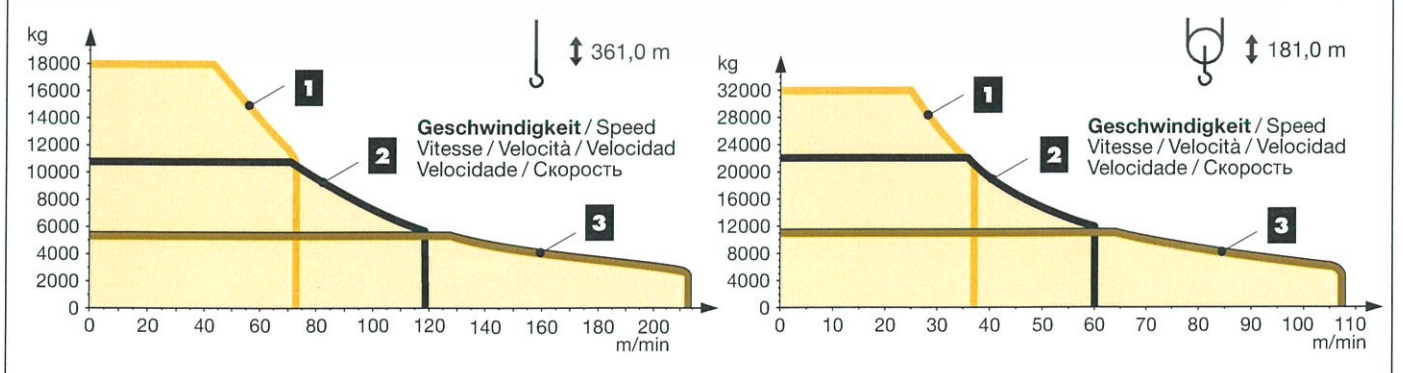
		110 kW FU	160 kW FU
		110 kW FU	110 kW FU
		212,0	265,0

kVA **reduzierbar bei zu geringer Netz-Anschlussleistung, siehe BAL.**
 kVA can be reduced in case of too little power of the mains, see instruction manual. / kVA peut être réduit en cas de trop faible puissance du réseau, voir manuel d'instruction. / kVA riducibili in caso di potenza di rete ridotta (si veda manuale uso e manutenzione) / kVA variable para potencia de red demasiado pequeña, ver Manual de instrucciones. kVA reduzível no caso de capacidade da rede elétrica muito baixa, ver manual de instruções. / Количество kBA может быть сокращено до минимальной общей потребляемой мощности, см. инструкцию по эксплуатации.

		↔ stufenlos / stepless / régl. continu / régl. progressive / sin escalones sem degraus / бесступенчатый			
110 kW FU WIW 300 VZ 402	max. 1101 m	kg	m/min	kg	m/min
	4 Lagen / Layers Couches / Avvolgimenti Camadas / Capas / Слоёв	1	18000 0 ↔ 31	1	32000 0 ↔ 17
		2	8100 0 ↔ 62	2	16700 0 ↔ 31
		3	9700 0 ↔ 54	3	20000 0 ↔ 27
		3	3900 0 ↔ 107	3	8700 0 ↔ 54
3	5100 0 ↔ 90	3	11000 0 ↔ 45		
3	1250 0 ↔ 179	3	4200 0 ↔ 90		



		↔ stufenlos / stepless / régl. continu / régl. progressive / sin escalones sem degraus / бесступенчатый			
160 kW FU WIW 320 VZ 401	max. 1101 m	kg	m/min	kg	m/min
	4 Lagen / Layers Couches / Avvolgimenti Camadas / Capas / Слоёв	1	18000 0 ↔ 44	1	32000 0 ↔ 25
		2	10500 0 ↔ 73	2	21000 0 ↔ 37
		3	10700 0 ↔ 72	3	22000 0 ↔ 36
		3	5800 0 ↔ 119	3	12000 0 ↔ 60
3	5300 0 ↔ 128	3	11000 0 ↔ 64		
3	2200 0 ↔ 213	3	5700 0 ↔ 107		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้













































		355 IC							
C 25		Ausleger / Jib / Flèche / Braccio / Pluma / Lança / Стрела							
n	30,0 m / 35,0 m 40,0 m / 45,0 m			50,0 m 55,0 m	60,0 m	30,0 m / 35,0 m 40,0 m / 45,0 m		50,0 m 55,0 m	60,0 m
	7	h	46,8	-	-	-	h	46,4	-
6		41,0	41,0	-	-		40,6	40,6	-
5		35,2	35,2	35,2	35,2		34,8	34,8	34,8
4		29,4	29,4	29,4	29,4		29,0	29,0	29,0
3		23,6	23,6	23,6	23,6		23,2	23,2	23,2
2		17,8	17,8	17,8	17,8		17,4	17,4	17,4
1		12,0	12,0	12,0	12,0		11,6	11,6	11,6
0	m	6,2	6,2	6,2	6,2	m	5,8	5,8	5,8

		24 HC 630												
C 25		Ausleger / Jib / Flèche / Braccio / Pluma / Lança / Стрела												
n	30,0 / 35,0 m				40,0 / 45,0 m	50,0 / 55,0 m	60,0 m	30,0 m				35,0 / 40,0 m	45,0 / 50,0 m	55,0 / 60,0 m
	10	h	-	-	-	-	-	-	h	69,6	-	-	-	-
9		64,2	-	-	-	-	-		63,8	63,8	-	-	-	
8		58,4	58,4	-	-	-	-		58,0	58,0	58,0	-	-	
7		52,6	52,6	52,6	-	-	-		52,2	52,2	52,2	52,2	-	
6		46,8	46,8	46,8	46,8	46,8	46,8		46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	
5		41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0		40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	
4		35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2		34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	
3		29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4		29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	
2		23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6		23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	
1		17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8		17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	
0	m	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	m	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	

²⁾ Min. Verankerungshöhe kann bei max. Turmhöhe bzw. bei Hakenhöhe > 100m abweichen. / Min. anchoring height may deviate at max. tower height resp. hook height > 100 m. / La hauteur d'ancrage min. peut différer en cas de hauteur de mât max. resp. en cas de hauteur sous crochet > 100m. / In caso dell'altezza max torre gancho, l'altezza min. di ancoraggio può differire di > 100m. / La altura mínima de arriostamiento puede variar con una altura máxima de torre, es decir para alturas bajo gancho > 100m. / Em uma torre, com uma altura do gancho > 100 m a altura mín. do ancoramento pode variar. / Мин. высота крепления к зданию может изменяться при макс. высоте башни или при высоте крюка более 100м.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kranoberteil		Upper part of crane / Partie supérieure de grue / Parte superiore della gru Parte superior grúa / Parte superior do guindaste / Верхняя часть крана		L (m)	B (m)	H (m)	kg ³⁾		
Pos. Anz. Item Qty. Rep. Qta. Voce Qta. Pos. Cant. Ref. Cant. Poz. Кол-во	1a 1	Drehkran-Auflage / Slewing ring support Pivot / Ralla / Corona de giro / Cremalheira Рама поворотного круга			2,90	2,47	2,15	4270	
	1b 4	Konsole / Bracket / Console Supporto / Soporte / Консоль			1,13	0,70	0,25	215	
	2 1	Drehbühne mit Drehkran und Drehwerken / Slewing platform with slewing ring and slewing gears / Plate-forme tournante avec couronne d'orientation et mécanismes d'orientation / Piattaforma girevole con ralla e gruppo di rotazione / Plataforma de giro con corona y mecanismos de giro / Plataforma de giratório completa / Поворотная платформа с поворотным кругом и механизмами поворота			2,95	2,27	1,85	7370	
	3 1	Getriebebühne / Gear platform / Plate-forme des mécanismes Piattaforma meccanismi / Plataforma de mecanismos / Plata-forma de mecanismos / Лебёдочная платформа			6,90	2,22	2,45	8700	
	4 1	Hubwerk / Hoist gear / Mécanisme de levage / Argano di sollevamento / Mecanismo de elevación / Mecanismo de elevação / Механизм подъёма			3,20	2,45	1,75	6200	
	4a 1	Hubwerk / Hoist gear / Mécanisme de levage / Argano di sollevamento / Mecanismo de elevación / Mecanismo de elevação / Механизм подъёма			3,50	2,65	2,05	6850	
	5 1	Einziehwerk mit Sekundärbremse / Luffing gear with secondary brake / Mécanisme de relevage avec frein secondaire / Argano di sollevamento braccio con freno ausiliario / Mecanismo de pluma batiente con freno secundario / Mecanismo de Lanea batente con freio auxiliar / Стрелоподъемный механизм с вторичным тормозом			2,80	2,20	1,60	4100	
	6 1	Fahrerhauspodest mit Kabine / Driver's cabin with platform Cabine de grutier avec plate-forme / Pedana gruista com cabina Plataforma con cabina / Plataforma com cabina / Площадка с кабиной			5,30	1,90	2,57	1650	
	7 3	Seitenpodest / Side platform / Plate-forme latérale / Pedana laterale Plataforma lateral / Plataforma lateral / Боковая площадка			5,50	1,10	1,85	250	
	8 1	Auslegerhaltebock / Jib retaining frame / Chevalet de retenue de flèche / Cavalletto tirante braccio / Caballete de soporte de pluma / Cavalete de suporte da lança / Кронштейн стрелы			11,97	2,30	1,50	5535	
	9 1	Ausleger-Anlenkstück / Jib heel section / Pied de flèche Sezione articolata braccio / Pluma tramo primero Base articulada de lança / Корневая секция стрелы			9,91	1,90	1,90	2550	
	10 1	Ausleger-Zwischenstück 8,78 m (Festpunkt) / Intermediate jib section (fixed point) / Élément intermédiaire de flèche (point fixe) / Sezione intermedia braccio (punto fisso) / Tramo intermedio pluma (punto fijo) / Peça suplementar da lança (punto fijo) / Промежуточная секция стрелы (Фиксированная точка)			8,95	1,90	2,10	2120	
	11 1	Ausleger-Zwischenstück 10,36 m (Festpunkt) / Intermediate jib section (fixed point) / Élément intermédiaire de flèche (point fixe) / Sezione intermedia braccio (punto fisso) / Tramo intermedio pluma (punto fijo) / Peça suplementar da lança (punto fijo) / Промежуточная секция стрелы (Фиксированная точка)			10,60	1,90	2,10	2250	
	12 1	Ausleger-Zwischenstück 10,36 m / Intermediate jib section / Élément intermédiaire de flèche / Sezione intermedia braccio / Tramo intermedio pluma Peça suplementar da lança / Промежуточная секция стрелы			10,60	1,90	1,90	1650	
	13 1	Ausleger-Zwischenstück 5,18 m / Intermediate jib section / Élément intermédiaire de flèche / Sezione intermedia braccio / Tramo intermedio pluma Peça suplementar da lança / Промежуточная секция стрелы			5,50	1,90	1,90	900	
	14 1	Ausleger-Kopfstück / Jib head section / Pointe de flèche / Punta braccio / Tramo punta de pluma Cabeça de lança / Концевая секция стрелы			11,10	2,00	2,10	3050	
	15 1	Unterflasche / Bottom hook block / Moufle inférieure / Bozzello inferiore / Polipasto inferior / Gincho inferior / Крюковая обойма			2,40	1,45	0,80	1550	
	16 1	Einziehfleifflache / Luffing rope pulley block / Tambour de relevage Bozzello di sollevamento braccio / Polipasto cable de retracción Gincho de cabo de retração / Замок стрелового каната			1,50	1,20	1,10	600	
Turm		Tower / Mât / Torre Torre / Torre / Башня							
	17 1	Grundturmstück / Base tower section / Mât de base Elemento di torre base / Tramo base / Peça de base de torre / Секция основания			24 HC 630 TSB-1242c	12,42	2,68	2,68	14461
	18 1	Turmstück / Tower section / Élément de mât Elemento di torre / Tramo torre / Torre Башенная секция			24 HC 630 TS-0580c	6,28	2,45	2,45	6480
Klettern am Gebäude		Climbing on the building / Télescopage à l'extérieur du bâtiment / Telescopaggio esterno all'edificio / Trepado exterior a edificio / Telescopagem exterior ao edificio / Нарастивание высоты крана, пристёгнутого к зданию							
	19 2	Führungsstück-Hälfte mit Podesten / Guide section with platform Cage télescopique avec plate-formes / Sezione guida con pedane Tramo guía con plataforma / Tramo guía com plataforma Половина направляющей секции с площадками				12,60	2,77	1,60	3500
	20 1	Hydraulikanlage und Klettereinrichtung / Hydraulic unit and climbing equipment / Système hydraulique et équipement de télescopage / Impianto idraulico e dispositivo di telescopaggio / Sistema hidráulico y equipo de trepado Sistema hidráulico e telescopagem / Гидроагрегат и обойма нарастивания				2,52	1,42	0,55	1760

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า




ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pos. Anz.
Item Qty.
Rep. Qta.
Voce Qta.
Pos. Cant.
Ref. Cant.
Поз. Кол-во

L (m) B (m) H (m) kg³⁾



Klettern im Gebäude

Climbing in the building / T elescopage dans le b atiment / Pure varianti di gru allungabili
Subida no edificio / Trepado dentro del edificio / Самоподъём крана в здании

21	1	Kletterturmst�uck (D-St.) / Climbing tower section El�ement de hissage de m�at / Elemento torre di telescopaggio Tramo de torre trepador / Tramo de telescopagem Секция самоподъема		380 IC 24 HC 630 - D1	6,28 6,30	1,90 2,45	2,81 2,45	9300 9600
	1			24 HC 630 - D2	6,30	2,45	2,45	9400
22	1	Hydraulikanlage und Klettertraverse / Hydraulic unit and climbing cross members / Syst�eme hydraulique avec traverses de t�elescopage Impianto idraulico e traverse di allungamento / Equipo hidr�aulico y travesa de trepado / Equipamento hidraulico e travessa de telescopagem Гидроагрегат и траверса наращивания		355 IC 24 HC 630	2,50 -	0,80 -	0,60 -	1500 3150
23	1	Einspannturmst�uck (B) / Anchoring tower section / El�ement de m�at d'encastrement / Elemento torre d'ancoraggio / Tramo de torre inferior de trepado / Tramo de telescopagem inferior / Упорная секция		355 IC 24 HC 630	6,28 6,30	1,90 2,45	1,90 2,45	6600 9300
24	6	F�uhrungsrahmen (H�alfte) / Guide frame (half) / Cadre de hissage (moiti�e) Telaio guida (met�a) / Bastidor guia (mitad) / Bastidor de guia (metade) Направляющая рама (половина)		355 IC 24 HC 630	3,55 3,05	0,78 0,95	0,48 0,65	2500 1700

Ballast

Ballast / Lest / Zavorra
Lastre / Lastro / Балласт

25	8	Stahlballast / Steel ballast / Lest en acier / Contrappeso di acciaio Lastres met�alicos / Lastro met�alico / Металлический балласт			4,50	0,90	0,20	4900
26	1	Stahlballast / Steel ballast / Lest en acier / Contrappeso di acciaio Lastres met�alicos / Lastro met�alico / Металлический балласт			4,50	0,90	0,12	2900

Kleinteile

Small parts / Accessoirs / Accessori
Accesorios / Acess orios / Мелкие детали

27	1	Seile, Kleinteile / Ropes, small parts / C�ables, accessoires / Funi, accessori Cables, accesorios / Cabos, acess�orios / Канаты, мелкие детали						4000
----	---	---	--	--	--	--	--	------

³⁾ Einzelgewichte. / Single weights. / Poids individuels. / Singoli pesi. / Tramo punta de pluma / Pesos de pe as componentes. / Индивидуальный вес.

Konstruktions anderungen vorbehalten! / Subject to alterations! / Sous r eserves de modifications! / Reservato il diritto di modifiche strutturali!
 sujeto a modificaciones! / Salvo modifica o da construa o! / Права на внесение конструкторских изменений сохраняются!

S amtliche Angaben erfolgen ohne Gew ahr. / This information is supplied without liability. / Ces renseignements sont sans garantie. / Tutte le indicazioni fornite senza garanzia. / Declinamos toda responsabilidad derivada de la informaci on proporcionada. / Declinamos qualquer responsabilidade quanto   informac o fornecida. / Все данные указаны без обязательств.

TCS-001049-LBC-01 • EN 14439:2009 – DIN 15018 – H1/B3 • BGL C.0.11.0357 • 04.16 / 7

Printed in Germany.

Liebherr-Werk Biberach GmbH
Postfach 1663, D-88396 Biberach an der Riss
☎ +49 73 51 41-0, Fax: +49 73 51 41 22 25
www.liebherr.com, E-Mail: info.lbc@liebherr.com

Liebherr Industrias Met alicas, S.A.
Poligono Industrial Agustinos, Apartado 4096, E-31014 Pamplona
☎ +34-948-29 70 00, Fax +34-948-29 70 29
www.liebherr.com, E-Mail: info.lim@liebherr.com

357 HC-L18/32 Litronic 8

ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นาย อภิวัชระ วีรบุรุษ รหัสนักศึกษา 58011411 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ประจำปีการศึกษา 2561 กับทางบริษัท นันทวัน จำกัด อยู่ตรง BTS สถานีราชดำริ ซึ่งเป็นบริษัทรับเหมาก่อสร้าง เป็นเวลา 4 เดือน โดยไซต์งานที่ไปคือ โครงการก่อสร้างสามย่าน มิตรทาวน์ ของบริษัท แผ่นดินทอง พร็อพเพอร์ตี้ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) หรือ โกลเด้นแลนด์ อยู่แยกสามย่าน แขวงปทุมวัน กรุงเทพมหานคร เป็นเวลา 2 เดือน และกลับมาที่สำนักงานใหญ่เป็นเวลาอีก 2 เดือน ในส่วนของงานของโครงการสหกิจศึกษาได้รับมอบหมายให้ศึกษาและออกแบบ Concrete bucket ขนาด 5 m³ จากปัญหาที่ Placing Boom ไม่สามารถทำงานเทคอนกรีตเสา CFT ได้ ผู้ศึกษาสังเกตเห็นถึงปัญหาจึงได้ทำการออกแบบให้ถูกต้องตามมาตรฐานการออกแบบ โครงสร้างเหล็กและสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยในโครงการจะจัดทำเป็นทฤษฎีที่ใช้ รายการคำนวณและแบบสำหรับประกอบชิ้นงานที่ได้เขียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว