ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD

โดย นายธวัชชัย นวลศิลปัญญา

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงษ์)

13 ตุลาคม 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสณฑ์ อุดมวรรัตน์)

_____ กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุคนธสุขกุล)

_____ กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญชา สุปรินายก)

_____ กรรมการ

(ดร.สาธร เพ่งผล)

คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD

นายธวัชชัย นวเลิศปัญญา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-19-0839-3

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ	:	นายธวัชชัย นวเลิศปัญญา
ชื่อวิทยานิพนธ์	:	คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD
สาขาวิชา	:	วิศวกรรมโยธา
		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสณฑ์ อุดมวรรัตน์
		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุคนธสุขกุล
ปีการศึกษา	:	2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อจัดทำคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD (Load and Resistance Factor Design) ตามเกณฑ์การออกแบบของ AISC และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในระบบ SI Units (International System of Units) ซึ่งมีหลักการออกแบบคือในสภาวะที่ส่วนโครงสร้างใกล้จะวิบัติ น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (Factored Load) จะต้องมีค่าไม่เกินกำลังที่ใช้ออกแบบ (Design Strength) โดยมุ่งเน้นให้ใช้งานสำหรับการคำนวณออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 และ Fe30 ที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย คู่มือการออกแบบที่จัดทำขึ้นนี้ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับ คุณสมบัติและขนาดเหล็กรูปพรรณ พื้นฐานการออกแบบวิธี LRFD ทฤษฎีการออกแบบส่วนโครงสร้างรับแรงดึง ส่วนโครงสร้างรับแรงอัดและคานเหล็กรูปพรรณ ตารางเหล็กรูปพรรณ ตาราง Design Stress for Compression Members ตาราง Design Axial Strength ตาราง Load Factor Design for Beam ผลการศึกษาพบว่าการคำนวณออกแบบโดยใช้คู่มือช่วยในการทำงาน ช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณ ใช้เวลาน้อยกว่าและทำให้การออกแบบโครงสร้างเหล็กมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 145 หน้า)

คำสำคัญ : โครงสร้างเหล็ก, LRFD

_____ _____ _____ _____อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Thawatchai Nawalerspunya

Thesis Title : Manual of Structural Steel Design by LRFD Method

Major Field : Civil Engineering

King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

Thesis Advisors : Assistant Professor Dr.Pison Udomworarat

Assistant Professor Dr.Piti Sukontasukkul

Academic Year : 2006

Abstract

The objectives of this research are to study and prepare Manual of Structural Steel Design by LRFD Method. This manual is designed according to AISC and Engineering Institute of Thailand's criteria by using the International System of Units. The principle of design is based on a consideration of nearly failure condition that factored load must not be greater than the design strength. This manual focuses on the design of structural steel class Fe24 and Fe30, manufactured by Thailand Industrial Standard. This manual covers the following contents; the properties and dimensions of structural steel shapes, the basic concepts of LRFD method, the theory of tension members, compression members, beam members, the table of structural steel shapes, the table of design stress for compression members, the table of design for axial strength, the table of load factor design for beam. The beneficial gain by using the calculation design manual is to reduce calculation steps considerably. As the result, calculation time will be less and provides the design of structural steel more efficiently.

(Total 145 pages)

Keywords : Structural Steel, LRFD, Load and Resistance Factor Design

_____ _Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสณฑ์ อุดมวรรัตน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุคนธสุขกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้แนวคิด คำแนะนำทางวิชาการและแนวทางในการดำเนินการวิจัยตลอดเวลาที่ทำงานวิจัยนี้ เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญชา สุปรินายก และ ดร.สาธร เพ่งผล ที่กรุณาให้เกียรติมาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้ให้ข้อแนะนำ ตลอดจนข้อคิดอันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งเป็นผู้ให้ทุนการศึกษา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบุคคลอีกหลายท่านรวมถึง เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และมิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิทยานิพนธ์นี้ย่อมเป็นผลมาจาก ความกรุณาของทุกท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ธวัชชัย นวเลิศปัญญา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 การออกแบบโดยวิธี LRFD	5
2.1 เหล็กโครงสร้าง	5
2.2 เหล็กรูปพรรณ	9
2.3 พื้นฐานการออกแบบโดยวิธี ASD	10
2.4 พื้นฐานการออกแบบโดยวิธี LRFD	10
2.5 โครงสร้างรับแรงดึง	13
2.6 โครงสร้างรับแรงอัด	19
2.7 คาน	25
2.8 โครงสร้างรับแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน	31
2.9 รอยต่อสลักเกลียว	34
2.10 รอยต่อโดยการเชื่อม	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	53
3.1 ทำตารางเหล็ก	53
3.2 ทำตาราง Design Stress for Compression Members	53
3.3 ทำตาราง Design Axial Strength	54
3.4 ทำตาราง Load Factor Design for Beam	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล	59
4.1 ตารางเหล็ก	59
4.2 ตาราง Design Stress for Compression Members	59
4.3 ตาราง Design Axial Strength	60
4.4 ตาราง Load Factor Design for Beam	60
4.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากสูตรตามทฤษฎีกับผลการคำนวณจากการประยุกต์ใช้คู่มือ	60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก ก	69
ตารางเหล็ก	70
ภาคผนวก ข	89
ตาราง Design Stress for Compression Members	90
ภาคผนวก ค	93
ตาราง Design Axial Strength	94
ภาคผนวก ง	133
ตาราง Load Factor Design for Beam	134
ภาคผนวก จ	139
Design Chart	140
ประวัติผู้วิจัย	145

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณสมบัติทางกลของเหล็กโครงสร้าง	8
2-2	พารามิเตอร์ของความกว้างต่อความหนาสำหรับรูปตัด I และ W	26
2-3	หน่วยแรงประลัยของอุปกรณ์ยึด	36
2-4	ขนาดของรูเจาะและระยะขอบต่ำสุด (มิลลิเมตร)	38
2-5	แรงดึงต่ำสุดที่ใช้ขันสลักเกลียว (kN)	39
2-6	หน่วยแรงดึงระบุ (Ft) สำหรับอุปกรณ์ยึดในรอยต่อรับแรงแบกทาน	43
2-7	กำลังที่ใช้ในการออกแบบของรอยเชื่อม	47
2-8	ขนาดน้อยสุดของรอยเชื่อมแบบทาบ	49
ก-1	คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดปีกกว้าง	70
ก-2	คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดตัว I	76
ก-3	คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดรางน้ำ	78
ก-4	คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดฉาก	80
ก-5	คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส	84
ก-6	คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	85
ก-7	คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปตัดกลม	86
ข-1	อัตราส่วนความชะลูดกับหน่วยแรงเค้นอัดของเหล็กชั้นคุณภาพ Fe24	90
ข-2	อัตราส่วนความชะลูดกับหน่วยแรงเค้นอัดของเหล็กชั้นคุณภาพ Fe30	91
ค-1	กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดปีกกว้าง	94
ค-2	กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส	102
ค-3	กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า	108
ค-4	กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดท่อกลม	112
ค-5	กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดฉาก	123
ง-1	ค่าตัวแปรหลักของการออกแบบคานเหล็กรูปตัดปีกกว้าง	134
ง-2	ค่าตัวแปรหลักของการออกแบบคานเหล็กรูปตัดตัว I	137

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก	6
2-2	รูปตัดเหล็กรูปพรรณ	9
2-3	การฉีกขาดแบบ Block Shear	14
2-4	การหาพื้นที่หน้าตัดสุทธิ	15
2-5	แสดงระยะ x และ L ของรอยต่อ	16
2-6	รอยต่อเชื่อมของแผ่นเหล็ก	17
2-7	ตัวคูณความยาวประสิทธิผลของเสา	20
2-8	Alignment Chart	21
2-9	ขีดจำกัดองค์อาคารรับแรงอัด, λ_r	23
2-10	ค่า Cb ของคานกรณีทั่วไป	28
2-11	การกระจายแรงเค้นเฉือนของเหล็กรูปพรรณ	31
2-12	ลักษณะของหมุดย้ำ	34
2-13	ลักษณะของสลักเกลียว	35
2-14	การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน	37
2-15	การวิบัติเนื่องจากแรงแบกทาน	37
2-16	แสดงระยะ Lc ของรอยต่อ	38
2-17	รอยต่อรับแรงเฉือนเยื้องศูนย์	41
2-18	รอยต่อแป้นหูช้างแบบ Tee Stub Bracket	42
2-19	การกระจายแรงของสลักเกลียวในรอยต่อ	43
2-20	ลักษณะของรอยเชื่อม	44
2-21	สัญลักษณ์ของรอยเชื่อม	45
2-22	ความหนาของรอยเชื่อมแบบบากร่อง	46
2-23	พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของรอยเชื่อมแบบทาบ	48
2-24	ลักษณะการเชื่อมอ้อมปลาย	49
2-25	รอยเชื่อมรับแรงเฉือนเยื้องศูนย์	50
2-26	รอยต่อเชื่อมระหว่างปลายคานกับเสา	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
จ-1	ขั้นตอนการออกแบบ Tension Members	140
จ-2	ขั้นตอนการออกแบบ Compression Members	141
จ-3	ขั้นตอนการออกแบบ Beams	142
จ-4	ขั้นตอนการออกแบบ Beam-Columns	143

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
A	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน
Ab	พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียว
Ab	พื้นที่หน้าตัดของ Cable หรือท่อเหล็ก
Ae	พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล
Ag	พื้นที่หน้าตัดรวม
Agt	พื้นที่หน้าตัดรวมรับแรงดึง
Agv	พื้นที่หน้าตัดรวมรับแรงเฉือน
An	พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
Ant	พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงดึง
Anv	พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงเฉือน
Apb	Projected Bearing Area
Asf	พื้นที่รับแรงเฉือนบนแนววิบัติ
Av	พื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือนของสลักเกลียว
Aw	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเอว
B_{eff}	ระยะขอบประสิทธิผล
B_1	ตัวคูณเพิ่มค่าโมเมนต์ดัด สำหรับโครงสร้างที่ไม่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง
B_2	ตัวคูณเพิ่มค่าโมเมนต์ดัด สำหรับโครงสร้างที่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง
Cb	สัมประสิทธิ์โมเมนต์ดัดขึ้นอยู่กับรูปแบบของโมเมนต์ดัดที่กระทำ
Cm	สัมประสิทธิ์ขยายค่าโมเมนต์ดัดในส่วนโครงสร้างคาน - เสา
Cw	ค่าคงที่การบิดเบี้ยวของหน้าตัด
D	น้ำหนักบรรทุกคงที่
E	โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก (200,000 MPa)
E	แรงแผ่นดินไหว
F_{BM}	กำลังที่ระบุไว้ของโลหะฐานที่จะทำการเชื่อม
Fcr	หน่วยแรงอัดวิกฤติ
Fe	หน่วยแรงที่ทำให้โก่งเดาะแบบอีลาสติก
Fr	หน่วยแรงอัดคงค้างบนแผ่นปีก

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Fu	ความเค้นดึงประลัยของเหล็ก
F_w	กำลังที่ระบุไว้ของลวดเชื่อม
Fy	ความเค้นที่จุดครากของเหล็ก
G	โมดูลัสการเฉือนของเหล็ก (77,200 MPa)
G	อัตราส่วนของสติฟเนสแฟคเตอร์ระหว่างเสาและคาน
H	แรงในแนวนอน
I	โมเมนต์อินเนอร์เชีย
Ic	โมเมนต์อินเนอร์เชียของเสา
Ig	โมเมนต์อินเนอร์เชียของคาน
Ip	โพลาร์โมเมนต์อินเนอร์เชีย
J	ค่าคงที่ต้านทานโมเมนต์บิดของหน้าตัด
K	ตัวคูณความยาวประสิทธิผล
L	น้ำหนักบรรทุกจร
L	ความยาวของรอยต่อในทิศทางขนานกับแนวแรง
L	ความยาวของส่วนโครงสร้าง
L	ความสูงระหว่างชั้น
Lb	ระยะที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้าง
Lc	ความยาวของเสา
Lc	ระยะตามแนวแรงจากขอบของรูเจาะถึงขอบของชิ้นส่วนหรือถึงขอบของรูเจาะที่อยู่ติดกัน
Lg	ความยาวของคาน
Lp	ขีดจำกัดของระยะที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้าง เพื่อให้หน้าตัดสามารถรับโมเมนต์ดัดได้ถึงค่าโมเมนต์ดัดพลาสติก
Lr	ขีดจำกัดของระยะที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้าง ที่จะเกิด LTB ในช่วงอินอิลาสติก
Lr	น้ำหนักบรรทุกจรจากหลักคา
Ma	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดที่ระยะ L/4 ของช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน
Mb	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดที่ระยะ L/2 ของช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Mc	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดที่ระยะ 3L/4 ของช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน
Mlt	โมเมนต์ดัดในองค์อาคารที่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง
Mmax	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดสูงสุดในช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน
Mn	กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุ
Mnt	โมเมนต์ดัดในองค์อาคารที่ไม่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง
Mnx	กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุรอบแกนหลัก
Mny	กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุรอบแกนรอง
Mp	โมเมนต์ดัดพลาสติก
Mr	ขีดจำกัดของโมเมนต์โก่งเดาะ เมื่อ $\lambda = \lambda r$ และ Cb = 1.0
Mu	โมเมนต์ดัดสูงสุด
Mux	โมเมนต์ดัดสูงสุดรอบแกนหลัก
Muy	โมเมนต์ดัดสูงสุดรอบแกนรอง
My	โมเมนต์ดัดที่จุดคราก
M_1	โมเมนต์ค่าน้อยที่ปลายองค์อาคารของช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยัน
M_2	โมเมนต์ค่ามากที่ปลายองค์อาคารของช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยัน
Ns	จำนวนระนาบที่มีการเลื่อน
P	Concentrated Load
Pc	แรงกระทำต่อสลักเกลียวเนื่องจากแรงเฉือน
Pcr	น้ำหนักวิกฤตของออยเลอร์
P_{e1}	แรงอัดตามแนวแกนที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะของออยเลอร์ ในองค์อาคารที่ไม่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง
P_{e2}	แรงอัดตามแนวแกนที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะของออยเลอร์ ในองค์อาคารที่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง
Pm	แรงกระทำต่อสลักเกลียวเนื่องจากโมเมนต์บิด
Pn	กำลังต้านทานตามแนวแกนระบุ
Pr	แรงลัพธ์ที่กระทำกับสลักเกลียว
Pu	แรงตามแนวแกนสูงสุด

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Q	ตัวคูณลดค่าสำหรับการโก่งเดาะเฉพาะที่
Qi	น้ำหนักบรรทุกใช้งาน
R	น้ำหนักบรรทุกจากน้ำฝน
R	แรงปฏิกริยาที่จุดรองรับ
Rn	กำลังต้านทานระบุ
S	โมดูลัสอิลาสติกของหน้าตัด
Sx	โมดูลัสอิลาสติกของหน้าตัดรอบแกนหลัก
Sy	โมดูลัสอิลาสติกของหน้าตัดรอบแกนรอง
Tb	แรงดึงต่ำสุดที่ใช้ขันสลักเกลียว
U	ตัวคูณลดค่าในการคำนวณพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล
V	แรงเฉือน
Vn	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ
Vu	แรงเฉือนสูงสุด
W	น้ำหนักบรรทุกจากแรงลม
X_1	ตัวคูณการโก่งเดาะของคาน
X_2	ตัวคูณการโก่งเดาะของคาน
Z	โมดูลัสพลาสติกของหน้าตัด
Zx	โมดูลัสพลาสติกของหน้าตัดรอบแกนหลัก
Zy	โมดูลัสพลาสติกของหน้าตัดรอบแกนรอง
a	ระยะระหว่างอุปกรณ์ยึดในองค์อาคารประกอบ
a	ระยะสั้นที่สุดวัดจากขอบรูของสลักถึงขอบขององค์อาคาร ในทิศทางขนานกับแนวแรง
b	ความกว้างของชิ้นส่วนรับแรงอัด
bf	ความกว้างของส่วนปีก
d	เส้นผ่าศูนย์กลางของสลัก
d	ความลึกทั้งหมดของหน้าตัด
e	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก
e	ระยะเยื้องศูนย์

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
f	หน่วยแรงดึงของเหล็ก
fv	หน่วยแรงเฉือนของสลักเกลียวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว
g	ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกันในแนวตั้งฉากกับแนวแรง
h	ระยะระหว่างผิวด้านในของส่วนปีก หักลบด้วยรัศมีมุมรอยต่อของแผ่นเอว
h	ระยะระหว่างจุดเซนทรอยด์ของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ ในแนวตั้งฉากกับแกนโก่งเดาะขององค์อาคาร
h	เส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะ
k	ระยะจากผิวนอกของส่วนปีกถึงขอบรัศมีมุมรอยต่อของแผ่นเอว
r	รัศมีไจเรชั่น
r_i	ค่าน้อยที่สุดของรัศมีไจเรชั่นของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ
r_{ib}	รัศมีไจเรชั่นของแต่ละชิ้นส่วนประกอบเทียบกับแกนเซนทรอยด์ ซึ่งขนานกับแกนโก่งเดาะขององค์อาคาร
s	ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกัน ในแนวขนานกับแนวแรง
t	ความหนาของชิ้นส่วน
tf	ความหนาของส่วนปีก
tw	ความหนาของแผ่นเอว
w	ขนาดของรอยเชื่อม
w	ระยะระหว่างรอยเชื่อม หรือ ความกว้างของแผ่นเหล็ก
w	Uniform Distributed Load
x	ระยะวัดตามแกนตั้งฉาก X
$\bar{x}$	ระยะเยื้องศูนย์ของรอยต่อ
y	ระยะวัดตามแกนตั้งฉาก Y
α	Separation Ratio สำหรับองค์อาคารประกอบ
Δ	ระยะโก่งตัวในแนวดิ่งของคาน
Δ_{oh}	ระยะโก่งตัวทางด้านข้างของชั้นที่พิจารณา
γ_i	ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
λ	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของชิ้นส่วน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
λ_c	พารามิเตอร์ความชะลูดของเสา
λ_c	พารามิเตอร์ความชะลูดเทียบเท่า
λ_p	ขีดจำกัดอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา สำหรับหน้าตัดอัดแน่น
λ_r	ขีดจำกัดอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา สำหรับหน้าตัดไม่อัดแน่น
$\varnothing$	ตัวคูณความต้านทาน
$\varnothing_b$	ตัวคูณความต้านทาน สำหรับแรงดัด
$\varnothing_c$	ตัวคูณความต้านทาน สำหรับแรงอัด
$\varnothing_{sf}$	ตัวคูณความต้านทาน สำหรับแรงเฉือนบนแนววิบัติ
$\varnothing_t$	ตัวคูณความต้านทาน สำหรับแรงดึง
$\varnothing_v$	ตัวคูณความต้านทาน สำหรับแรงเฉือน

บทที่ 1
บทนำ

งานก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน มีความต้องการโครงสร้างที่มีความยาวเสาสูงขึ้น ระยะระหว่างช่วงเสากว้างขึ้น รับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น อีกทั้งต้องการระยะเวลาก่อสร้างที่สั้นลง การใช้โครงสร้างเหล็กจึงเป็นทางเลือกทางหนึ่งของวิศวกรโครงสร้าง ที่สามารถตอบสนองความต้องการได้เกือบหมด

1.1 ความเป็นมา

หลักเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างเหล็กที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทย เป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบของมาตรฐาน AISC (American Institute of Steel Construction) มีอยู่ 2 วิธีคือ วิธี ASD (Allowable Stress Design) และวิธี LRFD (Load and Resistance Factor Design) วิธี ASD เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันมานาน ส่วนวิธี LRFD มีการเผยแพร่เมื่อไม่นานมานี้และเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น เนื่องจากให้ผลการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าและประหยัดกว่า

การออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD เป็นวิธีการออกแบบที่พิจารณาในสภาวะที่ส่วนโครงสร้างใกล้จะวิบัติ โดยมีการนำตัวคูณ มาใช้ปรับค่าทั้งน้ำหนักบรรทุกและความต้านทานของโครงสร้าง ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเรียกว่า Load Factor (γ) ส่วนตัวคูณความต้านทานเรียกว่า Resistance Factor ($\varnothing$) น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (Factored Load) จะต้องมีค่าไม่เกินกำลังที่ใช้ออกแบบ (Design Strength) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของกำลังต้านทานระบุ (Nominal Resistance) กับตัวคูณความต้านทาน เนื่องจากทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD มีการพิจารณาคำนึงถึงพฤติกรรมของโครงสร้างที่ค่อนข้างละเอียดมาก สูตรที่ใช้จึงค่อนข้างยาวและยุ่งยาก อีกทั้งคู่มือการออกแบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน คือ Manual of Steel Construction ตามมาตรฐาน AISC ก็มีอุปสรรคในการใช้งานเพราะเขียนหน่วยในระบบอังกฤษไม่สอดคล้องกับการระบุขนาดเหล็กรูปพรรณของประเทศไทย ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับวิศวกรโครงสร้าง ทำให้ต้องเสียเวลาในการคำนวณและยังก่อให้เกิดการคำนวณผิดพลาดได้ง่าย ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและจัดทำคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD ขึ้น โดยจัดทำคู่มือในระบบ SI Units (International System of Units) และทำการศึกษาเฉพาะโครงสร้างหลักของอาคาร คือ ส่วนโครงสร้างรับแรงดึง ส่วนโครงสร้างรับแรงอัดและ

คานเหล็กรูปพรรณเท่านั้น เพื่อเป็นประโยชน์แก่วิศวกรโครงสร้างให้สามารถออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาในโครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อ

1.2.1 ทำตารางเหล็กในระบบ SI Units

1.2.2 ทำตาราง Design Stress for Compression Members

1.2.3 ทำตาราง Design Axial Strength สำหรับใช้ออกแบบเสา

1.2.4 ทำตาราง Load Factor Design for Beam สำหรับใช้ออกแบบคาน

1.2.5 ทำคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD เฉพาะส่วนโครงสร้างรับแรงดึง, ส่วนโครงสร้างรับแรงอัด, คานเหล็กรูปพรรณและการทำรอยต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง

1.2.6 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้คู่มือในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของ เสาและคาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาในโครงการนี้ จะทำการศึกษาโดยเน้นถึงสาระสำคัญที่เกี่ยวกับการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของส่วนโครงสร้างรับแรงดึง ส่วนโครงสร้างรับแรงอัดและคานเหล็กรูปพรรณ โดยวิธี LRFD ดังนี้

1.3.1 ศึกษาหลักการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD

1.3.2 ศึกษาวิธีการออกแบบส่วนโครงสร้างรับแรงดึง

1.3.3 ศึกษาวิธีการออกแบบส่วนโครงสร้างรับแรงอัด

1.3.4 ศึกษาวิธีการออกแบบคานเหล็กรูปพรรณ

1.3.5 ศึกษารูปแบบการจัดทำตารางของ Manual of Steel Construction ตามมาตรฐาน AISC

1.4 ขั้นตอนของการวิจัย

เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ แนวทางการศึกษาอาจลำดับเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD

1.4.2 รวบรวมข้อมูล รูปตัดและขนาดเหล็กรูปพรรณที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของไทยและที่ผลิตตามมาตรฐาน JIS

1.4.3 จัดทำตารางเหล็กในระบบ SI Units

1.4.4 จัดทำตาราง Design Stress for Compression Members

1.4.5 จัดทำตาราง Design Axial Strength

1.4.6 จัดทำตาราง Load Factor Design for Beam

1.4.7 จัดทำคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD

1.4.8 นำเสนอผลการวิจัย สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ คือ มีคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD เฉพาะส่วนโครงสร้างรับแรงดึง ส่วนโครงสร้างรับแรงอัดและคานเหล็กรูปพรรณ ในระบบ SI Units เป็นเครื่องมือช่วยวิศวกรโครงสร้างให้ทำงานได้สะดวกและง่ายขึ้น

บทที่ 2
การออกแบบโดยวิธี LRFD

2.1 เหล็กโครงสร้าง

เป็นเหล็กกล้าที่ผลิตขึ้นจากส่วนผสมของแร่เหล็กกับคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ และมีธาตุอื่นบางชนิดผสมอยู่บ้าง เช่น ฟอสฟอรัส กำมะถัน ซิลิกอน แมงกานีส ทองแดง นิกเกิล วานาเดียม โครเมียม โคลัมเบียม โมลิบดินัม เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งได้แก่ เพิ่มกำลังรับแรงให้มีการเชื่อมต่อได้ดีขึ้น ทนต่อการผุกร่อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น หรือให้มีความเหนียวและยืดหยุ่นตัวได้มากขึ้น เป็นต้น

คุณสมบัติที่สำคัญทางวิศวกรรมของเหล็กโครงสร้างได้แก่ หน่วยแรงดึงที่จุดคราก หน่วยแรงดึงประลัย ตลอดจนความเหนียวหรือการยืดหดตัวก่อนเกิดการชำรุดเสียหาย ขึ้นกับปริมาณของคาร์บอนและความหนาของเหล็ก กล่าวคือ เหล็กที่มีปริมาณของคาร์บอนมากขึ้นและความหนาน้อยจะมีกำลังรับแรงดึงและความแข็งมากขึ้น แต่การยืดหดตัวจะลดลงหรือมีความเปราะมากขึ้น

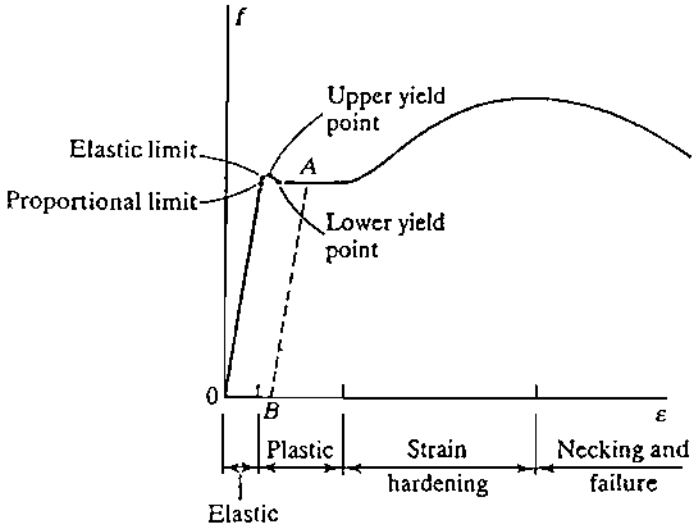
การพิจารณาหาคุณสมบัติการรับแรงดึงของเหล็กโครงสร้าง ได้จากการนำแท่งเหล็กที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด มาทดสอบรับแรงดึงด้วยเครื่องมือทดสอบหากำลังต้านทานของวัสดุ (Testing Machine) ถ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A และความยาวเดิมเท่ากับ L เมื่อมีแรงดึงกระทำเท่ากับ P ทำให้เหล็กเกิดการยืดตัวออกไปเท่ากับ ΔL ค่าหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวที่เกิดขึ้นคำนวณได้ตามลำดับดังนี้

$$\text{หน่วยแรงดึง} \quad f = \frac{P}{A} \tag{2-1}$$

และ

$$\text{หน่วยการยืดตัว} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \tag{2-2}$$

คุณสมบัติของเหล็กโครงสร้างพิจารณาได้จากพฤติกรรมการรับแรงดึงของเหล็ก โดยเขียนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึง (Stress) และหน่วยการยืดตัว (Strain) ตั้งแต่เหล็กเริ่มรับแรงกระทำจนกระทั่งสภาวะประลัยที่เหล็กเกิดการวิบัติ



ภาพที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

พฤติกรรมทั่วไปของเหล็กโครงสร้าง จะพบว่า ในช่วงแรกตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุด Proportional Limit หน่วยแรงดึงเป็นสัดส่วนตรงกับหน่วยการยืดตัวตามกฎของฮุค ในช่วงนี้เหล็กมีคุณสมบัติยืดหยุ่น ค่าความชันในช่วงนี้ เรียกว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ใช้สัญลักษณ์ E และถือว่าเป็นค่าคงที่ ค่า E สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้ากำลังสูงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 196 กิกะปาสคาล ถึง 206 กิกะปาสคาล การยืดตัวของเหล็กในช่วงยืดหยุ่นจะค่อนข้างน้อยและสามารถหดกลับมาที่ความยาวเดิมได้เมื่อเอาแรงที่กระทำออก ถ้าให้แรงดึงจนเลยจุด Proportional Limit การยืดตัวของเหล็กจะไม่เป็นไปตามกฎของฮุคและเหล็กจะเริ่มคราก (Yield) จึงเรียกหน่วยแรงดึงที่จุดนี้ว่า หน่วยแรงที่จุดครากของเหล็ก (Yield Strength ; Fy) เมื่อเลยจากจุดครากไปอีก หน่วยการยืดตัวจะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่หน่วยแรงดึงมีค่าเท่าเดิม การยืดตัวในช่วงนี้ถือว่าเป็นช่วง Plastic โดยปกติจะมีค่ามากกว่าการยืดตัวในช่วงยืดหยุ่นประมาณ 10 ถึง 12 เท่า ซึ่งแสดงถึงค่าความเหนียวของเหล็กโครงสร้างทั่วไป เมื่อเลยช่วง Plastic ไป เหล็กจะมีพฤติกรรมใหม่เรียกว่า Strain Hardening เป็นพฤติกรรมที่เหล็กแข็งตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปอีก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก ตามภาพที่แสดงข้างต้น จนกระทั่งถึงจุดที่เหล็กสามารถรับแรงดึงได้มากที่สุด เรียกหน่วยแรงดึงที่จุดนี้ว่า หน่วยแรงดึงประลัยของเหล็ก(Ultimate Tensile Strength ; Fu) และเมื่อพ้นจากจุดนี้ไปแล้ว หน่วยแรงดึงของเหล็กจะเริ่มลดลงและหน้าตัดของเหล็กก็เริ่มเกิดคอคอดขึ้น (Necking) จนกระทั่งเหล็กถูกดึงจนขาดออกจากกันในที่สุด

ถ้าทำการวัดความยาวพิกัด (Gage Length) ของเหล็กก่อนรับแรงดึง เป็นระยะ Lo และความยาวของเหล็กระหว่างจุดพิกัดขณะที่เหล็กขาดออกจากกัน เป็นระยะ Lf ก็สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็กได้ดังนี้

$$\text{Elongation ;} \quad e = \frac{Lf - Lo}{Lo} \times 100 \qquad (2\text{-}3)$$

สำหรับเหล็กที่มีกำลังจุดครากสูงมาก ตำแหน่งของจุดครากอาจไม่ปรากฏชัดเจน มาตรฐาน ASTM จึงให้พิจารณาหาหน่วยแรงดึงที่จุดคราก จากจุดที่หน่วยการยืดตัวเท่ากับ 0.002 นั่นคือ ตรงจุดที่หน่วยการยืดตัวเท่ากับ 0.002 ให้ลากเส้นขนานกับความชันขึ้นไปตัดกับเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดตัว จุดตัดที่ได้จะเป็นค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กนั้น ซึ่งเรียกว่าหน่วยแรงดึงพิสูจน์ที่ 0.2 %

ตามมาตรฐาน ASTM แบ่งประเภทของเหล็กโครงสร้างแบบรีดร้อนออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) เป็นเหล็กที่ใช้สำหรับโครงสร้างเหล็กทั่วไปที่สามารถทำรอยต่อโดยใช้ตัวยึดหรือโดยการเชื่อม มีปริมาณคาร์บอนสูงสุดไม่เกิน 1.70% ได้แก่ เหล็กชนิด ASTM A36 (มีปริมาณคาร์บอน 0.25 - 0.29% ขึ้นกับความหนาของเหล็ก) A53, A500, A501 และ A529 มีกำลังจุดครากประมาณ 248 เมกะปาสคาลและมีการยืดตัวประมาณ 20%

2. เหล็กกล้าประสมบาง - กำลังสูง (High Strength Low - Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน (ใช้ปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.23%) ที่มีโลหะอื่นประสม เช่น โครเมียม โคลัมเบียม โมลิบดินัม นิกเกิล วานาเดียม ซิลิกอนและทองแดง รวมกันในปริมาณไม่เกิน 5% ทำให้เหล็กประเภทนี้มีกำลังจุดครากสูงกว่าประเภทแรก (มีค่าประมาณ 345 เมกะปาสคาล) และมีบางชนิดที่ทนต่อการผุกร่อนสูงกว่าเหล็กประเภทแรก ได้แก่ เหล็กชนิด ASTM A242, A441, A572, A588, A606, A607 และ A618 ซึ่งมีการยืดตัวประมาณ 15 - 19%

3. เหล็กกล้าประสม - ชุบแข็ง (Heat - Treated Constructional Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าประสมบางที่ได้จากการชุบแข็ง (โดยการทำให้เย็นตัวลงทันทีหรือนำมาอบเพิ่มที่อุณหภูมิสูงแล้วปล่อยให้เย็นตัวตามธรรมชาติ) ทำให้มีกำลังจุดครากสูงขึ้นมาก ประมาณ 608 เมกะปาสคาล ถึง 677 เมกะปาสคาล แต่การยืดตัวประมาณ 17 - 18% ที่ความยาวพิกัดเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ทนต่อการผุกร่อนสูงกว่าเหล็กชนิด A36 ถึง 4 เท่า ได้แก่ เหล็กชนิด ASTM A514 เหล็กประเภทนี้เป็นเหล็กแผ่นไม่แสดงกำลังจุดครากที่ชัดเจน ต้องพิจารณาที่กำลังพิสูจน์ 0.2 %

เหล็กโครงสร้างที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบันคือ เหล็ก ASTM A36 ซึ่งมีกำลังจุดคราก ประมาณ 245 เมกะปาสคาล เนื่องจากเหล็กชนิด A36 สามารถรับน้ำหนัก หรือแรงที่กระทำได้ดี พอควรและไม่มีปัญหาในเรื่อง Stiffness ของส่วนโครงสร้างตามข้อกำหนดของ AISC แต่หากใช้เหล็กที่มีกำลังจุดครากสูงขึ้นราคาย่อมแพงขึ้น แม้ว่าขนาดของหน้าตัดจะเล็กลงบ้างก็ตาม แต่จะมีปัญหาในเรื่อง Stiffness ของส่วนโครงสร้างตามข้อกำหนดของ AISC ซึ่งในที่สุดก็อาจต้องใช้ขนาดหน้าตัดเท่ากับขนาดที่ต้องใช้ของเหล็กชนิด A36 ทำให้ไม่ประหยัดแต่อย่างใด

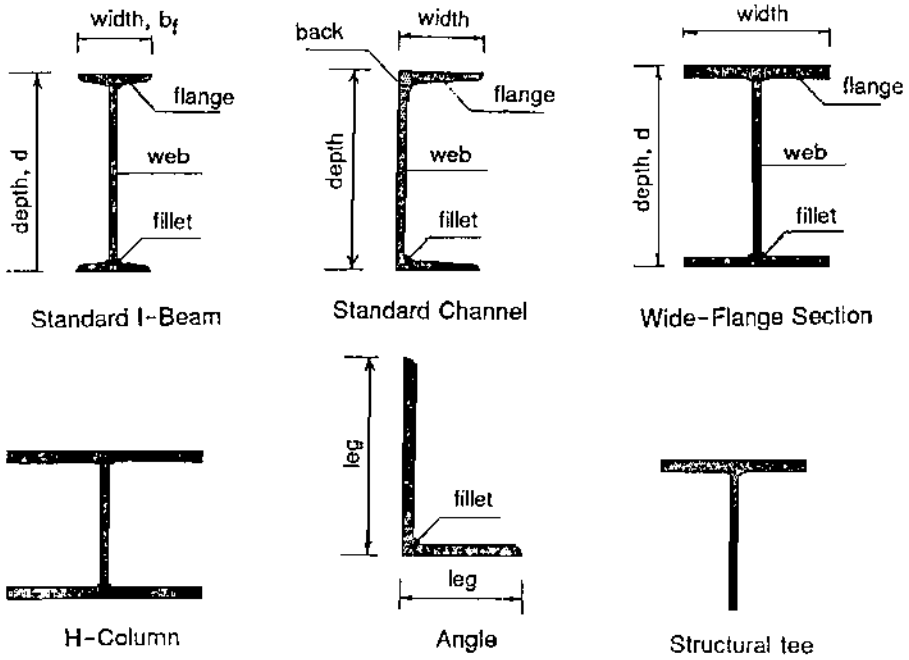
สำหรับประเทศไทยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ได้กำหนดเหล็กโครงสร้างไว้ 2 ชั้นคุณภาพ คือ Fe24 และ Fe30 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีกำลังจุดครากเท่ากับ 235 เมกะปาสคาล และ 294 เมกะปาสคาล, มีการยืดตัวไม่น้อยกว่า 21% และ 17% ตามลำดับ และมีกำลังต้านทานแรงดึงประลัยเท่ากับ 402 เมกะปาสคาล และ 490 เมกะปาสคาล ตามลำดับ โดยให้แสดงเครื่องหมายด้วยสีขาวและสีเขียว ตามลำดับ

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กโครงสร้าง

ประเภท และชนิดของเหล็ก	ความเค้นที่จุดคราก ไม่น้อยกว่า (เมกะปาสคาล)	ความเค้นดึงประลัย ไม่น้อยกว่า (เมกะปาสคาล)	การยืดตัว ไม่น้อยกว่า (เปอร์เซ็นต์)
เหล็กกล้าคาร์บอน			
A36	248	400 - 552	20
Fe24 (มอก.)	235	402	21
Fe30 (มอก.)	294	490	17
เหล็กกล้าประสมบาง - กำลังสูง			
A572 Gr 50	345	448	18
A992	345	448	18
เหล็กกล้าประสม - ชุบแข็ง			
A514	608	677 - 878	17
	677	745 - 878	18

2.2 เหล็กรูปพรรณ

เหล็กรูปพรรณเป็นเหล็กที่ผลิตสำเร็จรูป มีความยาวมาตรฐานท่อนละ 6.00 เมตร ได้จากการผลิตทั้งแบบรีดร้อน (Hot Rolled) และแบบรีดเย็น (Cold - Rolled) เหล็กรูปพรรณที่ขายในท้องตลาดนั้นมีหลายแบบและหลายขนาด มีรูปตัดต่างๆ กัน ตามภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 รูปตัดเหล็กรูปพรรณ

วิธีการระบุขนาดและชนิดของเหล็กรูปพรรณ สามารถกระทำได้โดยระบุขนาดและชนิดเหล็กรูปพรรณด้วยชื่อย่อ ซึ่งใช้กันเป็นมาตรฐานทั่วไป เช่น

W 250 x 29.6	หมายถึง	เหล็ก Wide - Flange ที่มีความลึก 250 มิลลิเมตร และมีน้ำหนัก 29.6 กิโลกรัม / เมตร
S 300 x 48.3	หมายถึง	เหล็ก Standard I - Beam ที่มีความลึก 300 มิลลิเมตร และมีน้ำหนัก 48.3 กิโลกรัม / เมตร
C 75 x 6.92	หมายถึง	เหล็ก Standard Channel ที่มีความลึก 75 มิลลิเมตร และมีน้ำหนัก 6.92 กิโลกรัม / เมตร
L 75 x 75 x 9	หมายถึง	เหล็ก Angle ชนิดขาเท่ากัน มีขายาว 75 มิลลิเมตร และมีความหนา 9 มิลลิเมตร

2.3 พื้นฐานการออกแบบโดยวิธี ASD

หลักการออกแบบโครงสร้างโดยวิธี ASD คือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงบนรูปตัดของโครงสร้าง เมื่อให้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ต้องมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้

นั่นคือ $f \leq F$ เมื่อ f = Actual Stress

และ F = Allowable Stress

น้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Working Load) คือ น้ำหนักหรือแรงกระทำต่างๆ ที่คาดว่าจะกระทำบนส่วนโครงสร้างได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load, D) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load, L) แรงลม (Wind Load, W) แรงแผ่นดินไหว (Earthquake Load, E) เป็นต้น ในการออกแบบต้องพิจารณาการจัดรวมน้ำหนักกับแรงกระทำต่างๆ เป็น 3 รูปแบบ คือ

1. น้ำหนักบรรทุกใช้งาน = D
2. น้ำหนักบรรทุกใช้งาน = D + L
3. น้ำหนักบรรทุกใช้งาน = 0.75 [D + L + (W หรือ E)]

น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่มีค่าสูงสุด ที่คำนวณได้จากการจัดรวมน้ำหนัก 3 รูปแบบข้างต้น จะถือเป็นน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่จะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบต่อไป

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง (Actual Stress) คือ ค่าหน่วยแรงที่ได้จากการหารค่าแรงตามแนวแกน, โมเมนต์ดัดหรือแรงบิดที่กระทำด้วยคุณสมบัติของรูปตัดองค์อาคาร

หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ (Allowable Stress) หรือเรียกว่า หน่วยแรงที่ยอมให้ คือ ค่าหน่วยแรงที่ได้จากการหารค่าความเค้นที่จุดคราก ด้วยค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ทั้งนี้ค่าความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับประเภทของส่วนโครงสร้าง เช่น ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ได้กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ชนิดต่างๆ เป็นค่าร้อยละของความเค้นที่จุดคราก เช่น หน่วยแรงดึง แรงอัด แรงดัด ให้ใช้ไม่เกินร้อยละ 60 ของกำลังที่จุดคราก และหน่วยแรงเฉือนให้ใช้ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังที่จุดคราก เป็นต้น อนึ่ง เมื่อมีแรงกระทำชั่วครั้งชั่วคราว เช่น แรงลม อาจทำการคำนวณออกแบบ โดยใช้วิธีเพิ่มค่าหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้อีกหนึ่งในสาม แทนการใช้ตัวคูณ 0.75 ของรูปแบบที่ 3 ก็ได้

2.4 พื้นฐานการออกแบบโดยวิธี LRFD

หลักการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD คือ ในสภาวะที่ส่วนโครงสร้างใกล้จะวิบัติ น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (Factored Load) จะต้องมีค่าไม่เกินกำลังที่ใช้ออกแบบ (Design Strength) นั่นคือ $\sum \gamma iQi \leq \varnothing Rn$

น้ำหนักบรรทุก (Load, Qi) นิยมแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

E = แรงแผ่นดินไหว (Earthquake Load)

L = น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

Lr = น้ำหนักบรรทุกจรจากหลังคา (Roof Live Load)

R = น้ำหนักบรรทุกจากน้ำฝน (Rain Load)

W = น้ำหนักบรรทุกจากแรงลม (Wind Load)

น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (Factored Load) คือค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคูณน้ำหนักหรือแรงกระทำใช้งานต่างๆ (Qi) ด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆ (γi) ในการออกแบบต้องพิจารณาการจัดรวมน้ำหนักกับแรงกระทำต่างๆ ($\sum \gamma iQi$) เพื่อให้ได้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่คาดว่าส่วนโครงสร้างนั้นจะต้องรับ โดยจัดเป็น 6 รูปแบบ คือ

1. Factored Load = 1.4 D
2. Factored Load = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (Lr หรือ R)
3. Factored Load = 1.2 D + (0.5L หรือ 0.8 W) + 1.6 (Lr หรือ R)
4. Factored Load = 1.2 D + 1.3 W + 0.5 L + 0.5 (Lr หรือ R)
5. Factored Load = 1.2 D $\pm$ 1.0 E + 0.5 L
6. Factored Load = 0.9 D $\pm$ (1.3 W หรือ 1.0 E)

ข้อยกเว้น ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกของ L ในรูปแบบที่ 3, 4, 5 ควรจะเท่ากับ 1.0 สำหรับโรงรถ บริเวณที่ใช้เป็นสถานที่ชุมนุมสาธารณะและบริเวณทั้งหมดที่น้ำหนักบรรทุกมีค่ามากกว่า 4800 ปาสคาล

Factored Load ที่มีค่าสูงสุดที่คำนวณได้จากการจัดรวมน้ำหนัก 6 รูปแบบข้างต้น จะถือเป็นน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วที่จะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบต่อไป

ตัวคูณความต้านทาน($\varnothing$) มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทขององค์อาคาร ตามมาตรฐาน AISC ได้กำหนดไว้ ดังนี้

$\varnothing$t = 0.90 สำหรับการครากของพื้นที่หน้าตัดรวม (Tensile Yielding)

$\varnothing$t = 0.75 สำหรับการแตกร้าวของพื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Tensile Fracture)

$\varnothing$c = 0.85 สำหรับการรับแรงอัด (Compression)

$\varnothing$b = 0.90 สำหรับการรับแรงดัด (Flexure)

$\varnothing$v = 0.90 สำหรับการครากของพื้นที่รับแรงเฉือน (Shear Yielding)

กำลังที่ใช้ออกแบบ (Design Strength) หรือกำลังต้านทานประลัย มีค่าเท่ากับผลคูณของกำลังต้านทานระบุที่คำนวณได้ตามทฤษฎี (Rn) กับตัวคูณความต้านทาน (∅) การลดค่ากำลังต้านทานระบุของส่วนโครงสร้างด้วยตัวคูณความต้านทานนี้ เป็นการสำรองกำลังต้านทานของส่วนโครงสร้างนั้นซึ่งขึ้นกับการควบคุมคุณภาพของงานก่อสร้าง

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) เป็นน้ำหนักของส่วนโครงสร้างเองที่นำมาประกอบรวมเป็นโครงอาคาร ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ เช่น

คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	23520	นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร
เหล็ก	76930	นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร
ไม้เนื้อแข็ง	6860-11760	นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร
อิฐ	18620	นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร
วัสดุมุงหลังคา	50-180	นิวตัน/ตารางเมตร
แปไม้	50	นิวตัน/ตารางเมตร
โครงหลังคาไม้	100-200	นิวตัน/ตารางเมตร
ฝ้าเพดาน	140-250	นิวตัน/ตารางเมตร
กำแพงก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น	1765	นิวตัน/ตารางเมตร
กำแพงก่ออิฐมอญเต็มแผ่น	3530	นิวตัน/ตารางเมตร
กำแพงคอนกรีตบล็อก	1000-2350	นิวตัน/ตารางเมตร
ฝาไม้ ไม้อัด รวมเคร่า	150	นิวตัน/ตารางเมตร
พื้นไม้ รวมตง	300	นิวตัน/ตารางเมตร

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ได้กำหนดให้ใช้น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับการออกแบบอาคารประเภทต่างๆ ซึ่งต้องไม่น้อยกว่าอัตราดังต่อไปนี้

หลังคา	490	นิวตัน/ตารางเมตร
กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	980	นิวตัน/ตารางเมตร
ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	1470	นิวตัน/ตารางเมตร
อาคารชุด หอพัก โรงแรม	1960	นิวตัน/ตารางเมตร
สำนักงาน ธนาคาร	2450	นิวตัน/ตารางเมตร
อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน	2940	นิวตัน/ตารางเมตร
ห้องโถง บันได ทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม โรงพยาบาล สำนักงานและธนาคาร	2940	นิวตัน/ตารางเมตร

ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร		
ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่ง	3920	นิวตัน/ตารางเมตร
ห้องโถง บันได ทางเดินของอาคารพาณิชย์		
มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	3920	นิวตัน/ตารางเมตร
คลังสินค้า พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม		
โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	4900	นิวตัน/ตารางเมตร
ห้องโถง บันได ทางเดินของห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ		
หอประชุม ภัตตาคาร และห้องสมุด	4900	นิวตัน/ตารางเมตร
ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	5880	นิวตัน/ตารางเมตร
ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่น	7840	นิวตัน/ตารางเมตร
แรงลมสำหรับส่วนของอาคาร		
ส่วนที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	490	นิวตัน/ตารางเมตร
ส่วนที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	784	นิวตัน/ตารางเมตร
ส่วนที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1176	นิวตัน/ตารางเมตร
ส่วนที่สูงกว่า 40 เมตร	1568	นิวตัน/ตารางเมตร

สำหรับการออกแบบในจังหวัดอื่นๆของประเทศไทย ผู้ออกแบบต้องพิจารณาจากประกาศของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย หรือข้อบัญญัติของท้องถิ่นนั้นๆ

2.5 โครงสร้างรับแรงดึง (Tension Members)

โครงสร้างรับแรงดึง หมายถึง องค์อาคารหน้าตัดสม่ำเสมอ รับแรงดึงตามแนวแกนที่กระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด พบได้ทั่วไปในชิ้นส่วนของโครงสะพาน โครงหลังคา หอสูง ค้ำยันระบบ Cable และในกรณีที่ใช้ Tie Rod การออกแบบหน้าตัดโครงสร้างรับแรงดึงไม่ต้องระวังเรื่องการโก่งเดาะ (Buckling) แต่ต้องพิจารณากำลังรอยต่อที่ปลายขององค์อาคาร

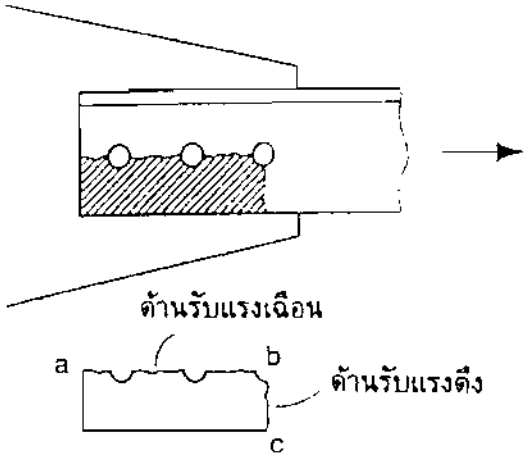
2.5.1 การวิบัติของโครงสร้างรับแรงดึง

การชำรุดเสียหายขององค์อาคารรับแรงดึง อาจเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การคราก (Yielding) เนื่องจากแรงดึงที่กระทำบนหน้าตัดรวม (Ag) มีค่าสูงมาก ทำให้เกิดความเค้นดึงเกินกว่ากำลังที่จุดครากของเหล็ก (Fy) องค์อาคารเกิดการยืดตัวออกไปมาก ทำให้โครงสร้างโดยรวมเสียรูปร่างไป

2. การฉีกขาด (Fracture) ตรงบริเวณที่มีการเจาะรู พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (An) ขององค์อาคารจะมีค่าน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดรวม (Ag) ถ้าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าความเค้นดึงประลัย (Fu) ของเหล็ก ชิ้นส่วนจะฉีกขาดออกจากกัน

การวิบัติในลักษณะการฉีกขาด อาจเกิดขึ้นจากการกระทำร่วมกันระหว่างแรงดึงและแรงเฉือน ที่เรียกว่า Block Shear โดยหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ตั้งฉากกับแนวแรงจะรับแรงดึง ส่วนหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ขนานกับแนวแรงจะรับแรงเฉือน



ภาพที่ 2-3 การฉีกขาดแบบ Block Shear

2.5.2 พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Net Section Area)

พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (An) ขององค์อาคาร หมายถึง ผลรวมของผลคูณของความหนาและความกว้างสุทธิของแต่ละส่วนของหน้าตัด ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

1. ในการคำนวณพื้นที่หน้าตัดสุทธิสำหรับแรงดึงและแรงเฉือน ความกว้างของรูเจาะสำหรับสลักเกลียวใช้เท่ากับขนาดระบุของสลักเกลียวบวกด้วย 2 มิลลิเมตร

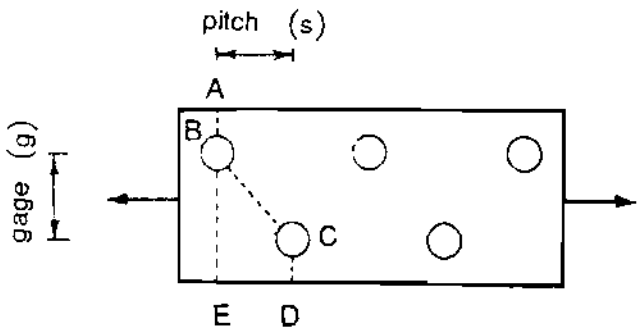
2. สำหรับรูเจาะที่เรียงกันเป็นแนวทแยงหรือเฉียงไปมา ความกว้างสุทธิของส่วนดังกล่าวคำนวณจาก ความกว้างรวมลบด้วยผลรวมของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะทั้งหมดในแนว แล้วบวกด้วยค่า $s^2/4g$ ของช่วงเอียงทั้งหมดทุกช่วง

โดย s = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกัน ในแนวขนานกับแนวแรง

g = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกัน ในแนวตั้งฉากกับแนวแรง

ในการคำนวณออกแบบ ผู้ออกแบบต้องพิจารณาหาความกว้างสุทธิหลายๆ แนว แล้วนำค่าน้อยที่สุดมาใช้คำนวณหากำลังรับแรงดึง

3. ระยะในแนวตั้งฉากกับแนวแรงระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะที่อยู่ติดกัน ในขาตรงข้ามกันของเหล็กฉาก จะเท่ากับผลรวมของระยะในแนวตั้งฉากกับแนวแรง จากสันของเหล็กฉากถึงศูนย์กลางรูเจาะทั้งสองด้านลบด้วยความหนาของเหล็กฉาก



ภาพที่ 2-4 การหาพื้นที่หน้าตัดสุทธิ

2.5.3 พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล (Effective Net Section Area)

เมื่อทำรอยต่อที่ปลายขององค์อาคารรับแรงดึง โดยใช้ตัวยึดหรือโดยการเชื่อม หากทำการยึดหรือเชื่อมเพียงบางส่วนของหน้าตัด เช่น ยึดต่อเหล็กฉากเดี่ยวที่ขาข้างใดข้างหนึ่งเพียงขาเดียว จะทำให้กำลังหรือประสิทธิภาพของการรับแรงดึงลดลง ตามมาตรฐาน AISC จึงกำหนดให้พิจารณาการรับแรงดึงจากพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล (Ae) ซึ่งเป็นพื้นที่หน้าตัดที่ถูกลดค่าลง จากผลของการต่อปลาย โดยอาศัยตัวคูณลดค่า (Reduction factor, U) ดังนี้

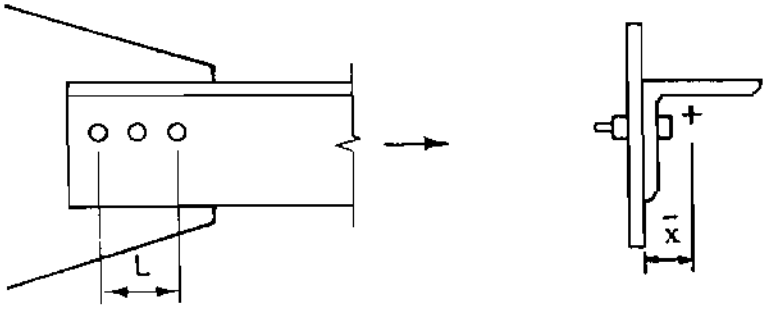
1. เมื่อต่อปลายโดยใช้ตัวยึด $Ae = U.An$
2. เมื่อต่อปลายโดยการเชื่อม $Ae = U.Ag$

และให้คำนวณตัวคูณลดค่า จากสมการ

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} < 0.90 \qquad (2\text{-}4)$$

โดย $\bar{x}$ = ระยะเยื้องศูนย์ของรอยต่อ

L = ความยาวของรอยต่อในทิศทางขนานกับแนวแรง



ภาพที่ 2-5 แสดงระยะ $\bar{x}$ และ L ของรอยต่อ

อย่างไรก็ดี มาตรฐาน AISC ก็ได้ให้ค่าของตัวคูณลดค่า (U) แทนการใช้สมการข้างต้นโดยมีเงื่อนไข ดังนี้

1. สำหรับเหล็กรูปพรรณหน้าตัด W, M หรือ S ที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดไม่น้อยกว่า 2 /3 และใช้สลักเกลียวยึดรอยต่อที่ปีกไม่น้อยกว่า 3 ตัวต่อแถว ในทิศทางของแรงกระทำ ให้ใช้ตัวคูณลดค่า, U = 0.90

2. สำหรับหน้าตัดอื่นๆ ที่ใช้สลักเกลียวยึดรอยต่อไม่น้อยกว่า 3 ตัวต่อแถว ในทิศทางของแรงกระทำ ให้ใช้ตัวคูณลดค่า, U = 0.85

3. สำหรับทุกๆหน้าตัดที่ใช้สลักเกลียวยึดรอยต่อ 2 ตัวต่อแถว ในทิศทางของแรงกระทำ ให้ใช้ตัวคูณลดค่า, U = 0.75

4. สำหรับเหล็กรูปพรรณหน้าตัด W, M หรือ S ที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดไม่น้อยกว่า 2 /3 และทำรอยต่อโดยการเชื่อมที่ปีกของหน้าตัด ให้ใช้ตัวคูณลดค่า, U = 0.90

5. สำหรับหน้าตัดอื่นๆ ที่ทำรอยต่อโดยการเชื่อม ให้ใช้ตัวคูณลดค่า, U = 0.85

6. สำหรับแผ่นเหล็ก ที่ทำรอยเชื่อม ในทิศทางของแรงกระทำ

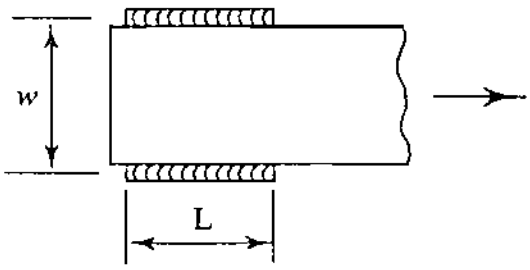
$U = 1.0$ สำหรับ $L > 2w$

$U = 0.87$ สำหรับ $1.5w \leq L < 2w$

$U = 0.75$ สำหรับ $w \leq L < 1.5\,w$

เมื่อ L = ความยาวของรอยเชื่อม

w = ระยะระหว่างรอยเชื่อม หรือ ความกว้างของแผ่นเหล็ก



ภาพที่ 2-6 รอยต่อเชื่อมของแผ่นเหล็ก

2.5.4 การออกแบบโครงสร้างรับแรงดึง

2.5.4.1 สำหรับองค์อาคารรับแรงดึงทั่วไป กำลังที่ใช้ออกแบบ ($\varnothing tPn$) ให้ใช้ค่าน้อยจากการพิจารณาสภาวะขีดจำกัดการครากของพื้นที่หน้าตัดรวม และการแตกร้าวของพื้นที่หน้าตัดสุทธิ

ก) สำหรับการครากของพื้นที่หน้าตัดรวม (Tensile Yielding)

$$\varnothing t = 0.90; \quad \varnothing tPn = \varnothing tAgFy \tag{2-5}$$

ข) สำหรับการแตกร้าวของพื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Tensile Fracture)

$$\varnothing t = 0.75; \quad \varnothing tPn = \varnothing tAeFu \tag{2-6}$$

2.5.4.2 สำหรับ Cable หรือ ท่อนเหล็กรับแรงดึง

$$\varnothing t = 0.75; (0.75Fu) \quad \varnothing tPn = \varnothing tAb \tag{2-7}$$

Ab = พื้นที่หน้าตัดของ Cable หรือ ท่อนเหล็ก

2.5.4.3 สำหรับข้อต่อแบบหมุนได้ในแผ่นเหล็ก หรือหมุดตาไก่ (Eyebars) ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของกำลังที่ใช้ออกแบบ ($\varnothing tPn$) ตามสภาวะของการวิบัติ ดังนี้

ก) สำหรับการครากของพื้นที่หน้าตัดรวม

$$\varnothing t = 0.90; \quad \varnothing tPn = \varnothing tAgFy \tag{2-8}$$

ข) สำหรับแรงแบกทานบนพื้นที่หน้าตัดสัมผัสของสลัก

$$\varnothing = 0.75; \quad \varnothing tPn = \varnothing Apb(1.8Fy) \tag{2-9}$$

ค) แรงดึงบนพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล

$$\varnothing t = 0.75; \quad \varnothing tPn = \varnothing t(2t)B_{eff}Fu \tag{2-10}$$

ง) แรงเฉือนบนพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล

$$\varnothing sf = 0.75; \quad \varnothing tPn = \varnothing sfAsf(0.6Fu) \tag{2-11}$$

ในที่นี้ Apb = Projected Bearing Area

Asf = 2t(a+d/2)

a = ระยะสั้นที่สุด วัดจากขอบรูของสลักถึงขอบขององค์อาคาร ในทิศทางขนานกับแนวแรง

B_{eff} = 2t+16 แต่ไม่เกินระยะจริงจากขอบรูเจาะถึงขอบของส่วนประกอบ โดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของสลัก

t = ความหนาของแผ่นเหล็ก

2.5.4.4 สำหรับองค์อาคารที่รับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน (Block Shear) ให้พิจารณาหากำลังที่ใช้ออกแบบ (ØtPn) จากข้อกำหนด ต่อไปนี้

เมื่อ FuAnt ≥ 0.6Fu Anv

$$\varnothing tPn = \varnothing t\left[0.6FyAgv + FuAnt\right] \leq \varnothing t\left[0.6FuAnv + FuAnt\right] \qquad (2\text{-}12)$$

เมื่อ FuAnt < 0.6Fu Anv

$$\varnothing tPn = \varnothing t\left[0.6FuAnv + FyAgt\right] \leq \varnothing t\left[0.6FuAnv + FuAnt\right] \qquad (2\text{-}13)$$

ในที่นี้ Øt = 0.75

Agt = พื้นที่หน้าตัดรวมรับแรงดึง (Gross Tension Area)

Agv = พื้นที่หน้าตัดรวมรับแรงเฉือน (Gross Shear Area)

Ant = พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงดึง (Net Tension Area)

Anv = พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงเฉือน (Net Shear Area)

2.5.5.5 อัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ตามมาตรฐาน AISC กำหนดอัตราส่วนความชะลูด สำหรับองค์อาคารรับแรงดึง ดังนี้

$$\text{ค่า} \quad \frac{KL}{r} \leq 300$$

เมื่อ K = ตัวคูณความยาวประสิทธิผล (มีค่าเท่ากับ 1.0)

L = ความยาวขององค์อาคารรับแรงดึง

r = รัศมีไจเรชั่นรอบแกนที่มีค่าน้อยที่สุด

สำหรับท่อนเหล็กกลม ให้ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่สุดเท่ากับ 15 มม.

2.6 โครงสร้างรับแรงอัด (Compression Members)

โครงสร้างรับแรงอัด หมายถึง องค์อาคารหน้าตัดสม่ำเสมอ รับแรงอัดตามแนวแกนที่กระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด ที่พบเห็นทั่วไป ได้แก่ เสาของอาคาร Top Chord ของโครงหลังคา หรือโครงสะพาน เป็นต้น

ข้อแตกต่างที่สำคัญของโครงสร้างรับแรงดึงกับโครงสร้างรับแรงอัด คือ

1. แรงดึงจะพยายามดึงโครงสร้างให้อยู่ในแนวตรงเสมอ แต่แรงอัดจะพยายามทำให้โครงสร้างนั้นเกิดการโก่งเดาะ (Buckling)

2. รูเจาะของตัวยึดในโครงสร้างรับแรงดึงจะลดพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงดึง แต่ในโครงสร้างรับแรงอัดจะถือว่าอุปกรณ์ยึดแทนที่รูเจาะเต็มทั้งหมด ในการคำนวณออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดจึงพิจารณาใช้พื้นที่หน้าตัดรวม (Ag)

2.6.1 พฤติกรรมการรับน้ำหนักและลักษณะของการวิบัติ

กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาและลักษณะของการวิบัติ จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ของเสาเป็นสำคัญ กล่าวคือ

เสาที่มีค่าอัตราส่วนความชะลูดน้อยหรือเสาสั้น (Short Column) จะสามารถรับน้ำหนักได้จนกระทั่งหน่วยแรงอัดบนหน้าตัดของเสามีค่าเท่ากับความเค้นที่จุดครากของเหล็ก การวิบัติของเสาสั้นจะเป็นลักษณะที่หน้าตัดของเสาถูกอัดจนบิดเบี้ยวและเสียรูปไป

เสาที่มีค่าอัตราส่วนความชะลูดปานกลาง (Intermediate Column) การวิบัติจะเป็นลักษณะของการโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก (Inelastic Buckling) คือมีหน่วยแรงอัดบนหน้าตัดของเสาบางส่วนสูงถึงค่าความเค้นที่จุดคราก แต่อีกบางส่วนของหน้าตัดหน่วยแรงอัดยังต่ำกว่าค่าความเค้นที่จุดคราก

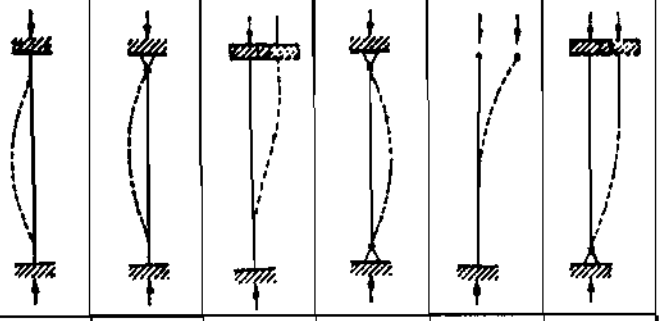
เสาที่มีค่าอัตราส่วนความชะลูดมาก (Long Column) การวิบัติจะเป็นลักษณะของการโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก (Elastic Buckling) คือหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของเสาในขณะที่เกิดการวิบัติจะมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงที่จุด Proportional Limit ของเหล็ก

สำหรับปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาลดน้อยลง ได้แก่ การโก่งตัวของเสาก่อนที่จะรับน้ำหนัก (Initial Curvature), หน่วยแรงอัดคงค้างจากการเย็นตัวไม่สม่ำเสมอเมื่อผลิตแบบรีดร้อน, อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของชิ้นส่วน ตลอดจนตำแหน่งของแรงอัดที่กระทำซึ่งทำให้เสาต้องรับแรงเยื้องศูนย์โดยบังเอิญ

2.6.2 ตัวคูณความยาวประสิทธิผล (K)

ตามมาตรฐาน AISC ได้ให้ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการใช้ตัวคูณความยาวประสิทธิผลที่ต้องพิจารณาในการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด โดยอาจเลือกใช้ค่าตัวคูณความยาวประสิทธิผล

ตามที่แสดงในภาพที่ 2-7 หรือจากการพิจารณาหาโดยละเอียดจาก Alignment Chart ดังแสดงในภาพที่ 2-8 ก็ได้

	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)	(ฉ)
ลักษณะการโค้งงอของเสา แสดงโดยเส้นประ						
ค่า K ตามทฤษฎี	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K ที่ใช้ในการออกแบบ	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
สัญลักษณ์ของการยึดปลาย		การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของปลายเสา		
		ไม่มี		ไม่มี		
		มี		ไม่มี		
		ไม่มี		มี		
		มี		มี		

ภาพที่ 2-7 ตัวคูณความยาวประสิทธิผลของเสา

มาตรฐาน AISC ได้แนะนำให้ใช้ค่า K = 1.0 สำหรับเสาในโครงข้อแข็งที่ไม่มีการเซทางข้าง เว้นแต่ได้ทำการวิเคราะห์แล้วว่า K มีค่าน้อยกว่า 1.0 และกำหนดให้ต้องวิเคราะห์หาค่าของ K สำหรับเสาในโครงข้อแข็งที่ยอมให้มีการเซทางข้าง แต่ทั้งนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.0

ภาพที่ 2-8 เป็น Alignment Chart ใช้หาค่าตัวคูณความยาวประสิทธิผล (K) ของเสาในโครงข้อแข็งทั้งที่มีการเซ (Unbraced Frame) และไม่มีการเซทางข้าง (Braced Frame) โดยมีค่าขึ้นอยู่กับค่า G ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลรวมของ Stiffness ของเสาต่อผลรวมของ Stiffness ของคานที่ปลายทั้งสองข้างของเสาที่พิจารณา ค่าตัวคูณความยาวประสิทธิผล (K) อ่านได้จากการลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างค่า G ของปลายเสาทั้งสองข้าง

ในที่นี้

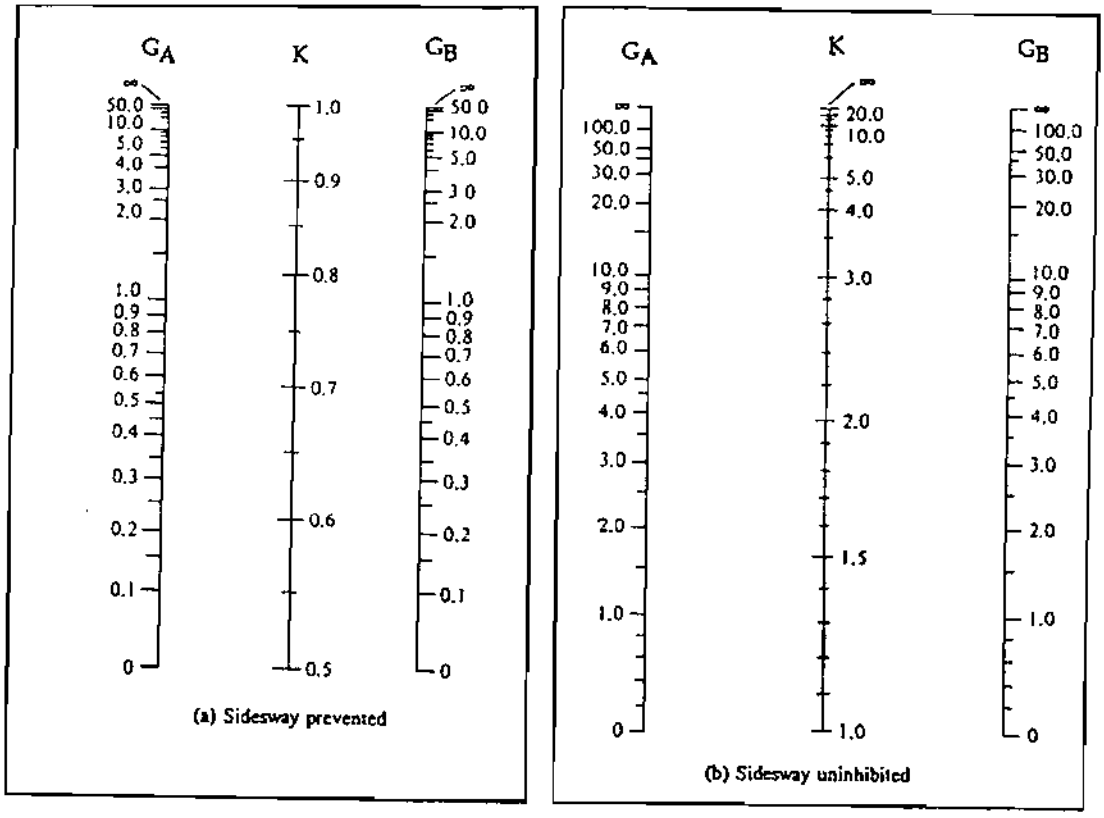
$$G = \frac{\sum Ic/Lc}{\sum Ig/Lg} \qquad (2\text{-}14)$$

โดยที่ Ic = โมเมนต์อินเนอร์เชียของเสา

Ig = โมเมนต์อินเนอร์เชียของคาน

Lc = ความยาวของเสา

Lg = ความยาวของคาน



ภาพที่ 2-8 Alignment Chart

ข้อควรปฏิบัติ เมื่อปลายเสาเป็นแบบยึดหมุน (Pinned Support) ให้ใช้ค่า G = 10 และเมื่อปลายเสาเป็นแบบยึดแน่น (Fixed Support) ให้ใช้ค่า G = 1.0

ในกรณีที่ทราบการยึดปลายคานด้านไกลที่แน่นอนให้คูณค่า Stiffness ของคานด้วยค่า ดังนี้

เมื่อโครงสร้างไม่มีการเซ :

ปลายคานด้านไกลเป็นแบบยึดหมุน คูณด้วย 1.5

ปลายคานด้านไกลเป็นแบบยึดแน่น คูณด้วย 2.0

เมื่อโครงสร้างมีการเซ

ปลายคานด้านไกลเป็นแบบยึดหมุน คูณด้วย 0.50

ปลายคานด้านไกลเป็นแบบยึดแน่น คูณด้วย 0.67

นอกจากนี้มาตรฐานAISC ยังได้ให้ข้อสังเกตไว้ว่า Alignment Chart ใช้ได้ในช่วง Elastic เท่านั้น ดังนั้นเมื่อจะนำไปใช้กับเสาในช่วง Inelastic จึงต้องปรับแก้ค่า G ด้วย Stiffness Reduction Factor (τ) เสียก่อน ซึ่งจะทำให้ค่า G ของแต่ละปลายเสามีค่าน้อยลง นั่นคือ

$$G_{inelastic} = \tau . G_{elastic} \tag{2-15}$$

โดยที่

$$\tau = \frac{Fcr_{inelastic}}{Fcr_{elastic}}$$

$$Fcr_{inelastic} = 0.658^{\lambda c^2} Fy$$

$$Fcr_{elastic} = \frac{0.877}{\lambda c^2} Fy$$

2.6.3 การโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local Stability)

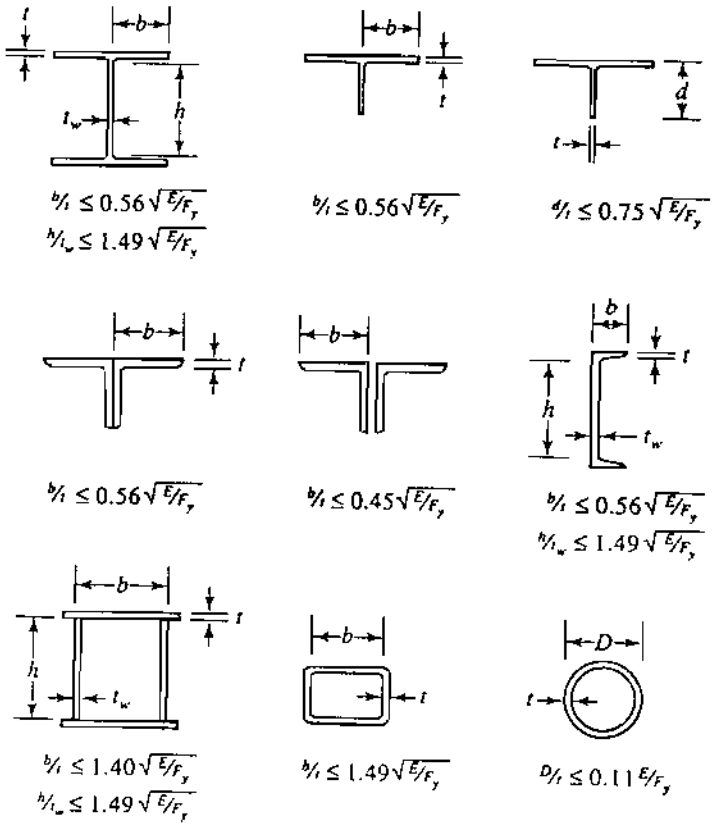
หน้าตัดเหล็กรูปพรรณแบ่งประเภทออกเป็น หน้าตัดอัดแน่น (Compact Section) หน้าตัดไม่อัดแน่น (Noncompact Section) และหน้าตัดชิ้นส่วนชะลูด (Slender)

หน้าตัดอัดแน่น ปีกของหน้าตัดจะต้องติดกับเอวอย่างต่อเนื่องและอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของชิ้นส่วนที่รับแรงอัดต้องไม่เกินค่า λp

หน้าตัดไม่อัดแน่น อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของชิ้นส่วนที่รับแรงอัด อันใดอันหนึ่งมีค่ามากกว่า λp แต่ไม่เกิน λr

หน้าตัดชิ้นส่วนชะลูด อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของชิ้นส่วนที่รับแรงอัด อันใดอันหนึ่งมีค่ามากกว่า λr

อย่างไรก็ตาม กำลังรับแรงอัดที่ใช้ออกแบบ ($\varnothing cPn$) ขององค์อาคารรับแรงอัดที่คำนวณตามมาตรฐาน AISC สามารถใช้ได้ครอบคลุมทั้งหน้าตัดอัดแน่น (Compact Section) และหน้าตัดไม่อัดแน่น (Noncompact Section) ด้วย สำหรับเหล็กรูปพรรณที่ผลิตจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปส่วนใหญ่ก็ได้ทำตามข้อกำหนดของหน้าตัดดังกล่าวแล้ว จึงไม่มีปัญหาเรื่องการโก่งเดาะเฉพาะที่ แต่ควรตรวจสอบทุกครั้งสำหรับหน้าตัดที่ประกอบขึ้นเอง (Built - up Section)



ภาพที่ 2-9 ขีดจำกัดองค์อาคารรับแรงอัด, λr

2.6.4 การออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด

2.6.4.1 กำลังที่ใช้ออกแบบ (ØcPn) สำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัด

$$Øc = 0.85\,; \quad ØcPn = Øc\,Ag\,Fcr \tag{2-16}$$

ก) สำหรับ $\lambda c \le 1.50$

$$Fcr = 0.658^{\lambda c^2}\,Fy \tag{2-17}$$

ข) สำหรับ $\lambda c > 1.50$

$$Fcr = \frac{0.877}{\lambda c^2}\,Fy \tag{2-18}$$

โดยที่ $\lambda c = \frac{KL}{\pi r}\sqrt{\frac{Fy}{E}}$

Ag = พื้นที่หน้าตัดรวมขององค์อาคาร

Fy = แรงเค้นที่จุดคราก

E = โมดูลัสความยืดหยุ่น

K = ตัวคูณความยาวประสิทธิผลของเสา

L = ความยาวช่วงเสาที่ไม่มีการค้ำยัน

r = รัศมีไจเรชั่นรอบแกนโก่งเดาะ (ค่าน้อยที่สุด)

2.6.4.2 กำลังที่ใช้ออกแบบ (∅cPn) สำหรับองค์อาคารหน้าตัดเหล็กฉากเดี่ยว

$$\varnothing c = 0.90\,; \quad \varnothing cPn = \varnothing cAgFcr \tag{2-19}$$

ก) สำหรับ $\lambda c\sqrt{Q} \le 1.50$

$$Fcr = Q(0.658^{Q\lambda c^2})Fy \tag{2-20}$$

ข) สำหรับ $\lambda c\sqrt{Q} > 1.50$

$$Fcr = \frac{0.877}{\lambda c^2}Fy \tag{2-21}$$

โดยที่ Q เป็นตัวคูณลดค่าสำหรับการโก่งเดาะเฉพาะที่ มีค่าดังนี้

เมื่อ $\frac{b}{t} \le 0.446\sqrt{\frac{E}{Fy}}$: $Q = 1.0$

เมื่อ $0.446\sqrt{\frac{E}{Fy}} < \frac{b}{t} \le 0.91\sqrt{\frac{E}{Fy}}$: $Q = 1.34 - 0.761\frac{b}{t}\sqrt{\frac{Fy}{E}}$

เมื่อ $\frac{b}{t} > 0.91\sqrt{\frac{E}{Fy}}$: $Q = \frac{0.534E}{Fy(\frac{b}{t})^2}$

2.6.4.3 กำลังที่ใช้ออกแบบ (∅cPn) สำหรับองค์อาคารประกอบ

องค์อาคารประกอบซึ่งประกอบด้วยเหล็กรูปพรรณตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป และมีค่าอัตราส่วนความชะลูดของช่วงระหว่างอุปกรณ์ยึดไม่เกินสามในสี่ขององค์อาคารประกอบ กำลังที่ใช้ออกแบบสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการในข้อ 1 ข้างต้น การเปลี่ยนรูปขององค์อาคารจะส่งผลให้เกิดแรงเฉือนขึ้นในอุปกรณ์ยึดจึงต้องทำการปรับเปลี่ยนบางส่วนคือ ให้ใช้ค่า (KL/r)m

แทนค่า KL/r ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

ก) สำหรับอุปกรณ์ยึดที่อยู่ช่วงใน ซึ่งใช้สลักเกลียวแบบขันแน่นพอดี (Snug Tight)

$$\left[\frac{KL}{r}\right]_m = \sqrt{\left[\frac{KL}{r}\right]_0^2 + \left[\frac{a}{r_i}\right]^2} \qquad (2\text{-}22)$$

ข) สำหรับอุปกรณ์ยึดที่อยู่ช่วงใน ซึ่งใช้การเชื่อมหรือสลักเกลียวแบบขันแน่นเต็มที่ (Fully Tight)

$$\left[\frac{KL}{r}\right]_m = \sqrt{\left[\frac{KL}{r}\right]_0^2 + 0.82\frac{\alpha^2}{\left(1+\alpha^2\right)}\left[\frac{a}{r_{ib}}\right]^2} \qquad (2\text{-}23)$$

โดยที่ $\left[\frac{KL}{r}\right]_0$ = Original Unmodified Slenderness Ratio

$\left[\frac{KL}{r}\right]_m$ = Modified Slenderness Ratio

a = ระยะระหว่างอุปกรณ์ยึด

r_i = ค่าน้อยที่สุดของรัศมีไจเรชั่นของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ

r_{ib} = รัศมีไจเรชั่นของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ เทียบกับแกนเซนทรอยด์ซึ่งขนานกับแกนโก่งเดาะขององค์อาคาร

α = Separation Ratio = $\frac{h}{2\ r_{ib}}$

h = ระยะระหว่างจุดเซนทรอยด์ของแต่ละชิ้นส่วนประกอบในแนวตั้งฉากกับแกนโก่งเดาะขององค์อาคาร

ทั้งนี้ องค์อาคารรับแรงอัดที่คำนวณตามมาตรฐานAISC จะต้องมีค่าอัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ไม่เกินกว่า 200

2.7 คาน (Beams)

คานเป็นองค์อาคารที่ทำหน้าที่รับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนคาน และน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนคานนี้ยังทำให้คานเกิดการโก่งตัวในแนวดิ่ง (Deflection) โดยทั่วไปแล้วการเลือกหน้าตัดคานเหล็กรูปพรรณเป็นรูปตัด Wide Flange หรือรูปตัด Standard I-Beam จะทำให้ได้หน้าตัดที่ประหยัดที่สุด สำหรับคานที่รับน้ำหนักไม่มากนัก เช่น แปรับกระเบื้องหลังคา อาจเลือกหน้าตัดเป็นเหล็กรูปรางน้ำ ก็ได้

2.7.1 พฤติกรรมการรับน้ำหนักและการวิบัติ

คานที่มีรูปตัดสมมาตรทั้งสองแกนและมีหน้าตัดอัดแน่น (Compact Section) มีการค้ำยันทางด้านข้าง (Lateral Support) อย่างเพียงพอจะไม่เกิดการบิดและโก่งตัวทางด้านข้าง สามารถรับโมเมนต์ดัดได้ถึงค่าสูงสุดที่หน้าตัดคานจะรับได้ เรียกว่า โมเมนต์ดัดพลาสติก (Plastic Moment ; Mp) ส่วนคานที่มีการค้ำยันทางด้านข้างไม่เพียงพอ คานจะรับโมเมนต์ดัดได้ไม่ถึงค่าโมเมนต์ดัดพลาสติก เพราะจะเกิดการโก่งเฉพาะที่ (Local Buckling) หรือเกิดการบิดและโก่งตัวทางด้านข้าง (Lateral Torsional Buckling) ทำให้คานรับโมเมนต์ดัดได้น้อยลง

การวิบัติในลักษณะเกิดการโก่งเฉพาะที่ ถ้าเกิดที่ปีกคานด้านรับแรงอัด เรียกว่า Flange Local Buckling (FLB) แต่ถ้าเกิดที่เหล็กแผ่นตั้งที่รับแรงอัด เรียกว่า Web Local Buckling (WLB) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความหนาของแต่ละชิ้นส่วน

การวิบัติในลักษณะเกิดการบิดตัวและโก่งตัวทางด้านข้าง เกิดขึ้นเมื่อคานไม่มีค้ำยันทางด้านข้างที่ปีกคานด้านรับแรงอัด หรือมีค้ำยันแต่ไม่เพียงพอ ปีกคานด้านที่รับแรงอัดจะทำหน้าที่เสมือนเสาเกิดการโก่งเคาะออกทางด้านข้าง ในขณะที่ปีกคานด้านที่รับแรงดึงถูกเหยียดตรง ตัวคานจึงถูกบิดเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำที่ปีกคานด้านรับแรงอัด พฤติกรรมที่เกิดการบิดและโก่งตัวทางด้านข้างของคาน เกิดขึ้นได้ทั้งในช่วง Elastic และ Inelastic ขึ้นอยู่กับระยะค้ำยันทางด้านข้างเป็นสำคัญ

2.7.2 การจำแนกประเภทหน้าตัด

มาตรฐานAISC จำแนกประเภทหน้าตัดเหล็กรูปพรรณ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความหนาของชิ้นส่วน (Width - Thickness Ratio ; λ) เป็นตัวกำหนด โดยมีค่า λp เป็นค่าพิกัดสูงสุดสำหรับหน้าตัดอัดแน่นและค่า λr เป็นพิกัดสูงสุดสำหรับหน้าตัดไม่อัดแน่น ดังนั้น

ถ้า $\lambda \leq \lambda p$ และปีกของหน้าตัดเชื่อมติดกับแผ่นเอวอย่างต่อเนื่อง ถือเป็นหน้าตัดอัดแน่น

ถ้า $\lambda p < \lambda \leq \lambda r$ ถือเป็นหน้าตัดไม่อัดแน่น

ถ้า $\lambda > \lambda r$ ถือเป็นหน้าตัดชิ้นส่วนชะลูด

การพิจารณาตามข้อกำหนดนี้ หากปรากฏว่ามีชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งไม่อัดแน่น ก็ให้ถือว่าเป็นหน้าตัดไม่อัดแน่น

ตารางที่ 2-2 พารามิเตอร์ของความกว้างต่อความหนาสำหรับรูปตัด I และ W

Element	λ	λp	λr
Flange	$\frac{bf}{2tf}$	$0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$	$0.83\sqrt{\frac{E}{Fy}}$
Web	$\frac{h}{tw}$	$3.76\sqrt{\frac{E}{Fy}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

ในที่นี้ bf, tf = ความกว้างและความหนาของปีกคาน ตามลำดับ

h = ระยะระหว่างผิวด้านในของปีก ลบด้วยรัศมีมุมทั้งสองด้าน

tw = ความหนาของแผ่นเอว

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก (200,000 MPa)

Fy = ความเค้นที่จุดครากของเหล็ก

2.7.3 การออกแบบคาน

2.7.3.1 คานหน้าตัดอัดแน่น (Compact Section)

กำลังที่ใช้ออกแบบ (ØbMn) ของคาน จะขึ้นอยู่กับระยะที่ไม่มีค้ำยันทางด้านข้าง (Unbraced Length ; Lb) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 โซน ดังนี้

ก) โซนที่ 1 $Lb \le Lp$ เรียกว่า Plastic Buckling

$$\varnothing bMn = \varnothing bMp \le \varnothing b(1.5\ My) \qquad (2\text{-}24)$$

โดยที่ $\varnothing b = 0.90$

$Mp = ZxFy$ = โมเมนต์ดัดพลาสติก

$My = SxFy$ = โมเมนต์ดัดที่จุดคราก

$$Lp = \frac{0.13 r_y E}{Mp}\sqrt{JA}$$ สำหรับเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก

$$Lp = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$ สำหรับเหล็กรูปตัด I และรูปตัดรางน้ำ

ข) โซนที่ 2 $Lp < Lb \le Lr$ เรียกว่า Inelastic LTB

$$\varnothing bMn = Cb\varnothing b\left[Mp-(Mp-Mr)\left(\frac{Lb-Lp}{Lr-Lp}\right)\right] \le \varnothing bMp \qquad (2\text{-}25)$$

โดยที่ $Mr = (Fy-Fr)Sx$

Fr = 69 MPa สำหรับเหล็กรูปพรรณรีดร้อน

= 114 MPa สำหรับหน้าตัดที่ประกอบโดยการเชื่อม

$$Lr = \frac{2 r_y E\sqrt{JA}}{Mr}$$ สำหรับเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก

$$Lr = \frac{r_y X_1}{(Fy-Fr)}\sqrt{1+\sqrt{1+X_2\,(Fy-Fr)^2}}$$ สำหรับเหล็กรูปตัด I และรูปรางน้ำ

$$X_1 = \frac{\pi}{Sx}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} \qquad X_2 = \frac{4\ Cw}{Iy}\left[\frac{Sx}{GJ}\right]^2$$

G = โมดูลัสการเฉือนของเหล็ก (77,200 MPa)

คำนวณค่า

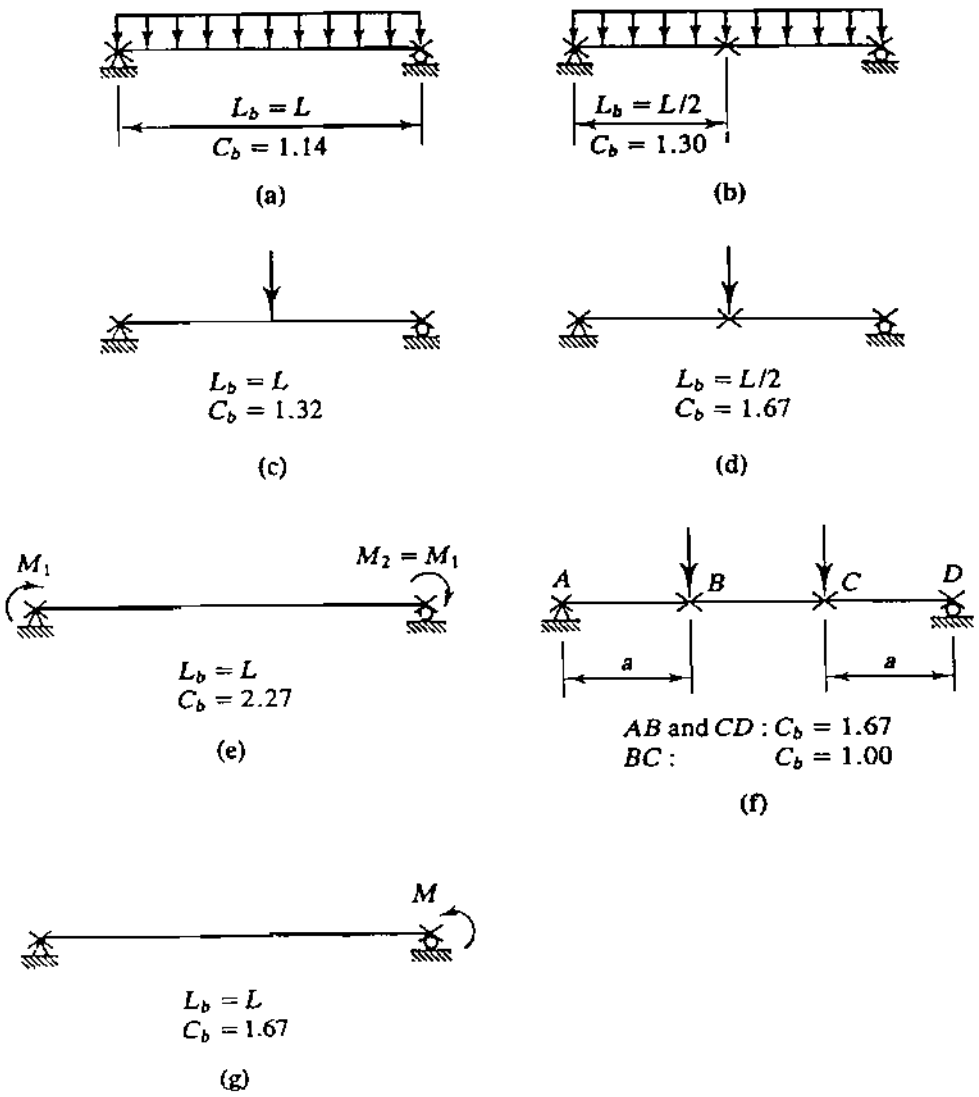
$$Cb = \frac{12.5M\,max}{2.5M\,max + 3Ma + 4Mb + 3Mc} \qquad (2\text{-}26)$$

Mmax = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดสูงสุดในช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน

Ma = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดที่ระยะ L/4 ของช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน

Mb = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดที่ระยะ L/2 ของช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน

Mc = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ดัดที่ระยะ 3L/4 ของช่วงระยะที่ไม่มีค้ำยัน



ภาพที่ 2-10 ค่า Cb ของคานกรณีทั่วไป

ค) โซนที่ 3 $Lb > Lr$ เรียกว่า Elastic LTB

สำหรับเหล็กรูปตัด I และรูปตัดรางน้ำ

$$\varnothing bMn = Cb\varnothing b\frac{\pi}{Lb}\sqrt{EIyGJ + \left[\frac{\pi E}{Lb}\right]^2 IyCw} \leq \varnothing bMp \qquad (2\text{-}27)$$

สำหรับเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก

$$\varnothing bMn = \frac{2CbE\sqrt{JA}}{Lb/r_y} \qquad (2\text{-}28)$$

2.7.3.2 คานหน้าตัดไม่อัดแน่น (Noncompact Section)

กำลังที่ใช้ออกแบบ ($\varnothing bMn$) ให้คำนวณตรวจสอบจากสภาวะขีดจำกัด 3 กรณี แล้วใช้ค่าน้อยที่สุด

ก) Flange Local Buckling (FLB)

ถ้า $\lambda \leq \lambda p$ จะไม่เกิด FLB

ถ้า $\lambda p < \lambda \leq \lambda r$ ปีกเป็นหน้าตัดไม่อัดแน่น

$$\varnothing bMn = \varnothing b\left[Mp - (Mp - Mr)\left(\frac{\lambda - \lambda p}{\lambda r - \lambda p}\right)\right] \leq \varnothing bMp \qquad (2\text{-}29)$$

โดยที่ $\lambda = \frac{bf}{2tf}$ $\quad \lambda r = 0.83\sqrt{\frac{E}{(Fy - Fr)}}$

$\lambda p = 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ $\quad Mr = (Fy - Fr)Sx$

ข) Web Local Buckling (WLB)

ถ้า $\lambda \leq \lambda p$ จะไม่เกิด WLB

ถ้า $\lambda p < \lambda \leq \lambda r$ แผ่นเอวเป็นหน้าตัดไม่อัดแน่น

$$\varnothing bMn = \varnothing b\left[Mp - (Mp - Mr)\left(\frac{\lambda - \lambda p}{\lambda r - \lambda p}\right)\right] \leq \varnothing bMp \qquad (2\text{-}30)$$

โดยที่ $\lambda = \frac{h}{tw}$ $\quad \lambda r = 5.70\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\lambda p = 3.76\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ $\quad Mr = FySx$

ค) Lateral - Torsional Buckling (LTB)

ถ้า $Lb \le Lp$ เรียกว่า Plastic Buckling

$$\varnothing bMn = \varnothing bMp \le \varnothing b(1.5My) \tag{2-31}$$

ถ้า $Lp < Lb \le Lr$ เรียกว่า Inelastic LTB

$$\varnothing bMn = Cb\varnothing b\left[Mp-(Mp-Mr)\left(\frac{Lb-Lp}{Lr-Lp}\right)\right] \le \varnothing bMp \tag{2-32}$$

ถ้า $Lb > Lr$ เรียกว่า Elastic LTB

$$\varnothing bMn = Cb\varnothing b\frac{\pi}{Lb}\sqrt{EIyGJ+\left[\frac{\pi E}{Lb}\right]^2 IyCw} \le \varnothing bMp \tag{2-33}$$

2.7.3.3 กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength)

คานสมมาตรแกนเดียวหรือสมมาตรสองแกน รวมถึงเหล็กรางน้ำ ที่ต้องรับแรงเฉือนในระนาบของแผ่นเอว โดยไม่มีการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังข้างคานที่แผ่นเอว กำลังที่ใช้ออกแบบ ($\varnothing vVn$) ของคาน จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วน $\frac{h}{tw}$ ดังเงื่อนไขและสมการที่กำหนดดังต่อไปนี้

ก) สำหรับ $\frac{h}{tw} \le 2.45\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$$\varnothing vVn = \varnothing vAw(0.6Fy) \tag{2-34}$$

ข) สำหรับ $2.45\sqrt{\frac{E}{Fy}} < \frac{h}{tw} \le 3.07\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$$\varnothing vVn = \varnothing vAw(0.6Fy)\left[\frac{2.45\sqrt{E/Fy}}{h/tw}\right] \tag{2-35}$$

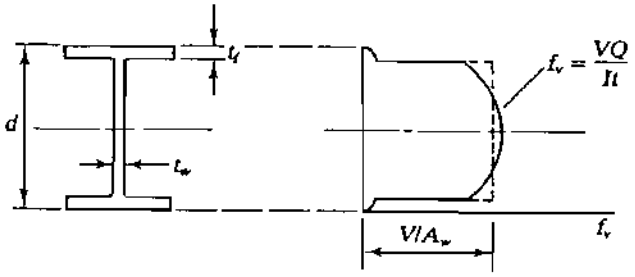
ค) สำหรับ $3.07\sqrt{\frac{E}{Fy}} < \frac{h}{tw} \le 260$

$$\varnothing vVn = \varnothing vAw\left[\frac{4.52\ E}{(h/tw)^2}\right] \tag{2-36}$$

โดยที่ $\varnothing v = 0.90$

$Aw = d.tw$

d = ความลึกทั้งหมดของหน้าตัด



ภาพที่ 2-11 การกระจายแรงเค้นเฉือนของเหล็กรูปพรรณ

2.8 โครงสร้างรับแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน (Beam - Columns)

ในสภาพจริงของโครงสร้าง จะมีแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดกระทำร่วมกันเสมอเช่น ชิ้นส่วนโครงข้อหมุน ที่สมมติให้มีเฉพาะแรงตามแนวแกนกระทำเพียงอย่างเดียว แต่ความจริงแล้ว ชิ้นส่วนจะต้องรับโมเมนต์ดัดซึ่งเกิดจากน้ำหนักตัวเองด้วย เพียงแต่เราถือว่าโมเมนต์ดัดที่กระทำ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลของแรงตามแนวแกนที่กระทำ จึงไม่ได้นำผลกระทบดังกล่าวมาพิจารณา

สำหรับในกรณีอื่นๆ ที่ต้องพิจารณา ทั้งผลที่เกิดจากแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน ได้แก่ เสาที่รับน้ำหนักเยื้องศูนย์ หรือเสาในโครงข้อแข็งที่ต้องรับแรงลม เป็นต้น ลักษณะการวิบัติ ขององค์อาคารประเภทนี้เกิดขึ้นได้สองลักษณะคือ หากแรงกระทำตามแนวแกนมีค่ามากจะเกิดการ วิบัติในลักษณะเสา แต่ถ้าหากโมเมนต์ดัดที่กระทำมีค่ามากก็จะเกิดการวิบัติในลักษณะคาน

2.8.1 ตัวคูณเพิ่มค่าโมเมนต์ดัด (Moment Amplification Factor)

โมเมนต์ดัดที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธี Elastic เรียกว่า First Order Moment ใช้สัญลักษณ์ Mnt สำหรับโครงสร้างที่ไม่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง และ Mlt สำหรับโครงสร้าง ที่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง ผลของโมเมนต์ดัดนี้ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งตัวหรือเซออก ทางด้านข้างในระนาบที่รับโมเมนต์ดัดขณะเดียวกันโครงสร้างต้องรับแรงตามแนวแกนด้วย จึงทำให้ โมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นอีก เท่ากับแรงตามแนวแกนคูณด้วยระยะเยื้องศูนย์ ค่าโมเมนต์ดัดส่วนที่เพิ่มขึ้น นี้เรียกว่า Second Order Moment ในการคำนวณจะให้ค่าในเทอมของตัวคูณเพิ่มค่าโมเมนต์ดัด (B_1) และ (B_2) คูณกับ First Order Moment และค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้นี้ จะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการ พิจารณาออกแบบต่อไป ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$Mu = B_1Mnt + B_2Mlt \qquad (2\text{-}37)$$

โดยที่ Mnt = โมเมนต์ดัดในองค์อาคารที่ไม่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง

Mlt = โมเมนต์ดัดในองค์อาคารที่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง

B_1 = ตัวคูณเพิ่มค่าโมเมนต์ดัด สำหรับโครงสร้างที่ไม่ยอมให้มีการเซทาง ด้านข้าง

B_2 = ตัวคูณเพิ่มค่าโมเมนต์ดัด สำหรับโครงสร้างที่ยอมให้มีการเซทางด้านข้าง

ก) Amplification Factor for The Moment in Braced Frames

$$B_1 = \frac{Cm}{[1 - Pu/Pe1]} \geq 1.0 \qquad (2\text{-}38)$$

โดยที่ $Pe1 = \dfrac{\pi^2 EA}{[KL/r]^2}$

Pu = แรงตามแนวแกนสูงสุดที่พิจารณาออกแบบ

ค่า Cm ขึ้นอยู่กับลักษณะแรงที่กระทำ กล่าวคือ

ถ้าไม่มีแรงกระทำทางด้านข้างระหว่างจุดรองรับ

$$Cm = 0.6 - 0.4\left[\frac{M1}{M2}\right]$$

$\dfrac{M1}{M2}$ คือ อัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ดัดค่าน้อยและโมเมนต์ดัดค่ามาก ที่ปลายขององค์อาคารมีค่าเป็นบวกเมื่อองค์อาคารเกิดการดัดกลับ และมีค่าเป็นลบเมื่อองค์อาคารเกิดการโค้งเดี่ยว

ถ้ามีแรงกระทำทางด้านข้างระหว่างจุดรองรับ

Cm = 0.85 เมื่อองค์อาคารยึดแน่นที่ปลายทั้งสองด้าน

Cm = 1.00 เมื่อองค์อาคารยึดหมุนที่ปลายทั้งสองด้าน

ข) Amplification Factor for The Moment in Unbraced Frames

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum Pu\left[\frac{\Delta oh}{\sum HL}\right]} \quad \text{หรือ} \quad B_2 = \frac{1}{1 - \left[\frac{\sum Pu}{\sum Pe2}\right]} \qquad (2\text{-}39)$$

โดยที่ $\sum Pu$ = ผลรวมของแรงตามแนวแกนของเสาทุกต้นในชั้นที่พิจารณา

Δoh = ระยะโก่งตัวทางด้านข้างของชั้นที่พิจารณา

$\sum H$ = ผลรวมของแรงในแนวนอนของทุกชั้นที่อยู่เหนือขึ้นไปจากชั้นที่พิจารณา

L = ความสูงของชั้นที่พิจารณา

$Pe2 = \dfrac{\pi^2 EA}{[KL/r]^2}$

$\sum Pe2$ = ผลรวมของน้ำหนักออยเลอร์ของเสาทุกต้นในชั้นที่พิจารณา

2.8.2 การออกแบบโครงสร้างรับแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน

ตามมาตรฐาน AISC ให้พิจารณาออกแบบองค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน ตามปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดในองค์อาคารที่รูปตัดสมมาตร ดังต่อไปนี้

สำหรับ $\frac{Pu}{\varnothing cPn} \geq 0.2$

$$\frac{Pu}{\varnothing cPn} + \frac{8}{9}\left[\frac{Mux}{\varnothing bMnx} + \frac{Muy}{\varnothing bMny}\right] \leq 1.0 \quad (2\text{-}40)$$

สำหรับ $\frac{Pu}{\varnothing cPn} < 0.2$

$$\frac{Pu}{2\varnothing cPn} + \left[\frac{Mux}{\varnothing bMnx} + \frac{Muy}{\varnothing bMny}\right] \leq 1.0 \quad (2\text{-}41)$$

โดยที่ Pu = แรงตามแนวแกนสูงสุดที่พิจารณาออกแบบ

$\varnothing cPn$ = กำลังที่ใช้ออกแบบแรงตามแนวแกน

Mux = โมเมนต์ดัดสูงสุดรอบแกนหลักที่พิจารณาออกแบบ

Muy = โมเมนต์ดัดสูงสุดรอบแกนรองที่พิจารณาออกแบบ

$\varnothing bMnx$ = กำลังที่ใช้ออกแบบโมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก

$\varnothing bMny$ = กำลังที่ใช้ออกแบบโมเมนต์ดัดรอบแกนรอง

การออกแบบโครงสร้างรับแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน จำเป็นต้องอาศัยวิธีการ Trial and Error เนื่องจากในสมการที่ใช้คำนวณมีตัวแปรหลายตัว Yura (1988) ได้เสนอแนะให้แปลงแรงตามแนวแกนสูงสุดที่กระทำและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำ ให้เป็นแรงตามแนวแกนเทียบเท่า (Equivalent Axial Load) โดยใช้สมการ

$$Pequiv = Pu + \frac{2Mux}{d} + \frac{7.5Muy}{b} \quad (2\text{-}42)$$

โดยที่ d = ความลึกของหน้าตัด

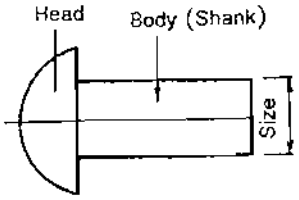
b = ความกว้างของหน้าตัด

จากนั้นจึงทำการออกแบบเสมือนหนึ่งว่าองค์อาคารรับแรงตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว ซึ่งวิธีนี้จะได้ขนาดหน้าตัดที่โตกว่าขนาดประหยัดเล็กน้อย จากข้อมูลนี้จะทำให้เราสามารถเลือกหน้าตัดที่ประหยัดตามที่ต้องการได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

2.9 รอยต่อสลักเกลียว

การก่อสร้างโครงสร้างเหล็กจำเป็นต้องนำชิ้นส่วนของแต่ละองค์อาคารมาต่อเข้าด้วยกัน หากรอยต่อไม่มั่นคงแข็งแรงพอจะมีผลให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้ จึงต้องทำการออกแบบรอยต่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอในการทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงระหว่างองค์อาคารที่นำมายึดต่อติดกันได้อย่างปลอดภัย อุปกรณ์ยึดที่ใช้ทำรอยต่อโครงสร้างเหล็กมี 2 ชนิด คือ หมุดย้ำ (Revet) และสลักเกลียว (Bolts) โดยสอดหมุดย้ำหรือสลักเกลียวผ่านรูเจาะที่เตรียมไว้แล้วย้ำปลายหมุดย้ำหรือขันน็อตที่ปลายสลักเกลียวให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนขององค์อาคารแยกออกจากกัน

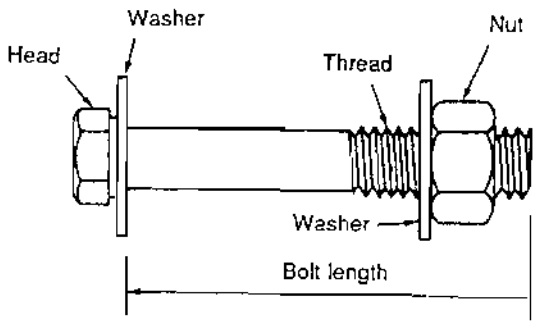
2.9.1 หมุดย้ำ (Revet)



ภาพที่ 2-12 ลักษณะของหมุดย้ำ

โดยทั่วไปหมุดย้ำจะประกอบด้วยส่วนหัว (Head) และส่วนตัว (Body) หัวของหมุดย้ำมีทั้งแบบหัวกลมและแบบหัวเหลี่ยม ส่วนตัวของหมุดย้ำจะมีหน้าตัดกลมและสามารถตัดได้ตามความยาวที่ต้องการ มาตรฐาน ASTM แบ่งหมุดย้ำออกเป็น 2 ชนิด คือ A502 Gr.1 ทำจากเหล็กคาร์บอนใช้ในงานทั่วไป และ A502 Gr.2&3 ทำจากเหล็กคาร์บอนผสมแมงกานีสจัดเป็นเหล็กประเภทกำลังสูง หมุดย้ำเหมาะที่จะใช้กับงานโครงสร้างเหล็กที่ต้องรับแรงสั่นสะเทือนมากๆ ซึ่งหากใช้สลักเกลียวจะเกิดการคลายเกลียวได้ง่าย แต่ถ้าใช้หมุดย้ำเป็นตัวยึดจะไม่หลุดออกและยังปลอดภัยจากการโจรกรรม เช่น โครงสร้างสะพาน เป็นต้น การใช้หมุดย้ำได้รับความนิยมในอดีตแต่ในปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้กันเนื่องจากมีขั้นตอนค่อนข้างยุ่งยากในการเตรียมและปฏิบัติงานในสนาม นอกจากนี้ยังสามารถใช้สลักเกลียวกำลังสูงแทนการใช้งานหมุดย้ำได้อีกทางหนึ่ง

2.9.2 สลักเกลียว (Bolts)



ภาพที่ 2-13 ลักษณะของสลักเกลียว

การทำรอยต่อโดยใช้สลักเกลียวเหมาะที่จะใช้กับงานโครงสร้างเหล็กทั่วๆ ไป โดยเฉพาะโครงสร้างที่อยู่ในสภาพนิ่งหรืออาจมีแรงสั่นสะเทือนเล็กน้อย ยิ่งถ้าเป็นโครงสร้างชั่วคราวจะใช้ได้สะดวกมากเพราะถอดประกอบและติดตั้งได้ง่าย รอยต่อที่ทำด้วยสลักเกลียวจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าหมุดย้ำและการเชื่อม ยกเว้นการใช้สลักเกลียวกำลังสูงที่มีกำลังรับแรงมากกว่าหมุดย้ำ สลักเกลียวที่ใช้ในงานโครงสร้างเหล็กแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สลักเกลียวธรรมดา (A307) รับแรงเฉือนกับแรงแบกทานได้น้อยกว่า หมุดย้ำเหมาะกับงานยึดต่อองค์อาคารโครงสร้างขนาดเล็กที่รับแรงหรือโมเมนต์ดัดค่อนข้างน้อย และสลักเกลียวกำลังสูง (A325 และ A490) นิยมใช้แทนหมุดย้ำในการทำรอยต่อที่ต้องรับแรงมากเป็นพิเศษ สามารถรับการสั่นสะเทือนและแรงกระทำซ้ำๆ ได้เช่นเดียวกับหมุดย้ำ

การขันแน่นของสลักเกลียวกำลังสูงทำได้ 2 แบบ คือ แบบขันแน่นพอดี (Snug Tight) โดยขันให้มีแรงดึงในตัวสลักเกลียวบ้างเล็กน้อย ใช้สำหรับสลักเกลียวกำลังสูง A325 ในรอยต่อแบบรับแรงแบกทานที่อนุญาตให้มีการขยับได้ และแบบขันแน่นเต็มที่ (Fully Tensioned) ให้ชิ้นส่วนยึดกันแน่นมาก โดยมีแรงดึงในสลักเกลียวประมาณร้อยละ 70 ของกำลังดึงประลัย ซึ่งรอยต่อจะไม่ขยับตัวเลยขณะใช้งาน

ตารางที่ 2-3 หน่วยแรงประลัยของอุปกรณ์ยึด

อุปกรณ์ยึด	กำลังรับแรงดึง		กำลังรับแรงเฉือน	
	ตัวคูณความต้านทาน	Fu (MPa)	ตัวคูณความต้านทาน	Fv (MPa)
สลักเกลียว A307	0.75	310	0.75	165
สลักเกลียว A325-N		620		330
สลักเกลียว A325-X		620		414
สลักเกลียว A490-N		780		414
สลักเกลียว A490-X		780		520
หมุดย้ำ A502 Gr.1		310		172
หมุดย้ำ A502 Gr.2&3		414		228
หมายเหตุ N หมายถึง เมื่อเกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน X หมายถึง เมื่อเกลียวไม่อยู่ในระนาบของแรงเฉือน				

2.9.3 รอยต่อแบบรับแรงแบกทาน (Bearing Connection)

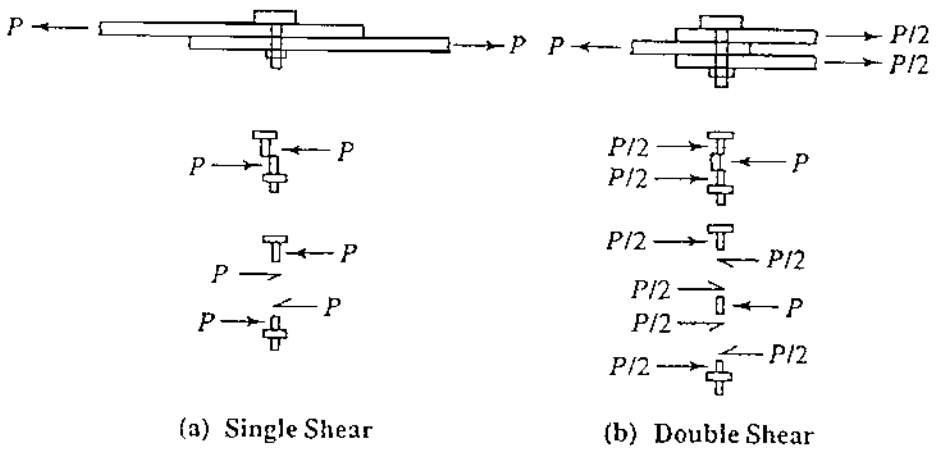
เป็นรอยต่อที่ยอมให้เกิดการขยับหรือเคลื่อนที่ได้ภายใต้แรงกระทำ ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างแผ่นเหล็ก สลักเกลียวจะทำหน้าที่รับแรงเฉือนและส่งถ่ายแรงแบกทานบนตัวสลักเกลียวไปยังผนังของรูเจาะ โดยสมมติให้สลักเกลียวรับแรงเฉือนเท่ากันทุกตัวแล้วกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอลงบนพื้นที่ภาพฉายที่ได้จากผลคูณของเส้นผ่าศูนย์กลางของสลักเกลียวกับความหนาของแผ่นเหล็ก กำลังต้านทานแรงแบกทานของรอยต่อ จะเท่ากับผลรวมของกำลังต้านทานแรงแบกทานของผนังรูเจาะทั้งหมด

กำลังของรอยต่อสลักเกลียว ให้ตรวจสอบจากสภาวะขีดจำกัด 4 กรณีดังต่อไปนี้

1. การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในสลักเกลียว (Shear Failure) เพราะว่าใช้สลักเกลียวขนาดเล็กเกินไปหรือใช้จำนวนน้อยเกินไป ทำให้สลักเกลียวไม่สามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ ระนาบการเฉือนอาจเป็นระนาบเดียว (Single Shear) หรือเป็นสองระนาบ (Double Shear) ขึ้นอยู่กับรูปแบบของรอยต่อ

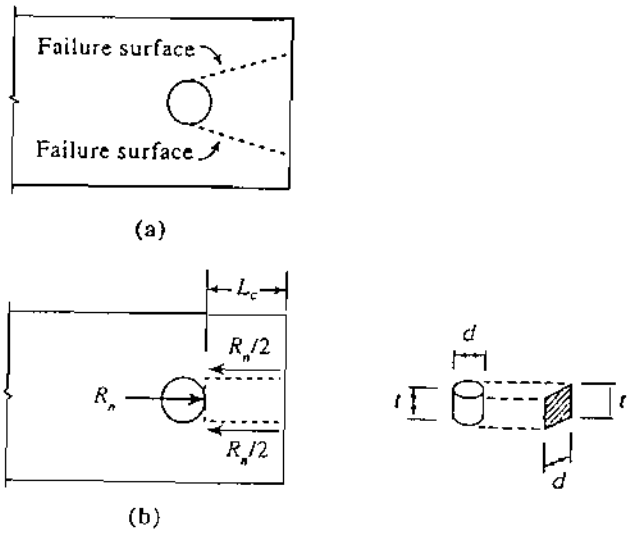
กำลังรับแรงเฉือน(Shear Strength)

$$\varnothing vPn = 0.75AvFv \qquad (2\text{-}43)$$

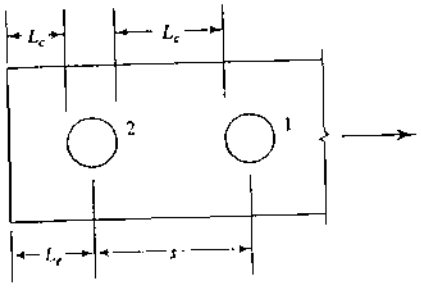


ภาพที่ 2-14 การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

2. การวิบัติเนื่องจากแรงแบกทานในรอยต่อ (Bearing Failure) เกิดขึ้นในสภาวะที่ผนังของรูเจาะรับแรงแบกทานจนกระทั่งแนวพื้นที่รับแรงแบกทานเกิดการแตกร้าว กำลังรับแรงแบกทานของรอยต่อจึงไม่ได้ขึ้นกับชนิดของสลักเกลียว แต่ขึ้นอยู่กับความหนาและระยะตามแนวแรงจากขอบของรูเจาะถึงขอบของชิ้นส่วนหรือถึงขอบของรูเจาะที่อยู่ติดกัน



ภาพที่ 2-15 การวิบัติเนื่องจากแรงแบกทาน



รูเจาะตัวริม, Lc = Le - h/2

รูเจาะตัวใน, Lc = s - h

s > 2.67 d (นิยมใช้ 3d)

h = เส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะ

ภาพที่ 2-16 แสดงระยะ Lc ของรอยต่อ

กำลังรับแรงแบกทานของรูเจาะ (Bearing Strength)

2.1 สำหรับรูเจาะแบบมาตรฐาน แบบใหญ่กว่ามาตรฐาน แบบร่องสั้นและแบบร่องยาว ซึ่งแนวของรูเจาะขนานกับทิศทางของแรงแบกทาน

ในกรณีที่คำนึงถึงการเสียรูปรอบๆรูเจาะเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

$$\varnothing Pn = 0.75[1.2tLcFu] \leq 0.75[2.4tdFu] \quad (2\text{-}44)$$

ในกรณีที่ไม่คำนึงการเสียรูปรอบๆรูเจาะเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

$$\varnothing Pn = 0.75[1.5tLcFu] \leq 0.75[3.0tdFu] \quad (2\text{-}45)$$

2.2 สำหรับรูเจาะแบบร่องยาว ซึ่งแนวของรูเจาะตั้งฉากกับทิศทางของแรง

$$\varnothing Pn = 0.75[1.0tLcFu] \leq 0.75[2.0tdFu] \quad (2\text{-}46)$$

ตารางที่ 2-4 ขนาดของรูเจาะและระยะขอบต่ำสุด (มิลลิเมตร)

สลักเกลียว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ (h)				ระยะขอบต่ำสุด(Le)	
	แบบมาตรฐาน	แบบใหญ่กว่ามาตรฐาน	แบบร่องสั้น	แบบร่องยาว	ตัดขอบด้วยวิธีเฉือน	ขอบเหล็กรูปพรรณ หรือตัดขอบด้วยก๊าซ
M16	18	20	18x22	18x40	28	22
M20	22	24	22x26	22x50	34	26
M22	24	28	24x30	24x55	38	28
M24	27	30	27x32	27x60	42	30
M27	30	35	30x37	30x67	48	34
M30	33	38	33x40	33x75	52	38
M36	39	44	39x46	39x90	64	46
>36	d+3	d+8	(d+3)x(d+10)	(d+3)x(2.5d)	1.75d	1.25d

3. การวิบัติเนื่องจากแรงดึงของชิ้นส่วน (Tension Failure) โดยพิจารณาจากสภาวะขีดจำกัดการครากของพื้นที่หน้าตัดรวมและการแตกร้าวของพื้นที่หน้าตัดสุทธิ

กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)

3.1 สำหรับการครากของพื้นที่หน้าตัดรวม

$$\varnothing tPn = 0.9AgFy \tag{2-47}$$

3.2 สำหรับการแตกร้าวของพื้นที่หน้าตัดสุทธิ

$$\varnothing tPn = 0.75AeFu \tag{2-48}$$

4. การวิบัติเนื่องจากแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน(Block Shear Failure)

กำลังรับแรงดึงร่วมกับแรงเฉือน(Block Shear Strength)

เมื่อ $FuAnt \geq 0.6FuAnv$

$$\varnothing tPn = 0.75[0.6FyAgv + FuAnt] \leq 0.75[0.6FuAnv + FuAnt] \tag{2-49}$$

เมื่อ $FuAnt < 0.6FuAnv$

$$\varnothing tPn = 0.75[0.6FuAnv + FyAgt] \leq 0.75[0.6FuAnv + FuAnt] \tag{2-50}$$

2.9.4 รอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ (Slip Critical Connection)

การใช้สลักเกลียวกำลังสูงแบบขันแน่นเต็มที่ (Fully Tensioned) จะทำให้รอยต่อไม่มีการขยับตัวหรือไม่เคลื่อนที่ภายใต้แรงกระทำ ชิ้นส่วนที่นำมาต่อกันยึดกันแน่นมาก การส่งถ่ายแรงจากองค์อาคารหนึ่งไปยังอีกองค์อาคารหนึ่งจะอาศัยแรงเสียดทานระหว่างผิวที่สัมผัสกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อแรงที่ส่งถ่ายระหว่างองค์อาคารมีค่าสูงกว่าแรงเสียดทาน รอยต่อก็จะขยับตัวและมีพฤติกรรมเป็นรอยต่อแบบรับแรงแบกทาน จึงทำให้การออกแบบรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติต้องตรวจสอบกำลังเช่นเดียวกับรอยต่อแบบรับแรงแบกทานและทำการตรวจสอบกำลังต้านทานการเลื่อนเพิ่มเติม

ตารางที่ 2-5 แรงดึงต่ำสุดที่ใช้ขันสลักเกลียว (kN)

ขนาดของสลักเกลียว (มม.)	สลักเกลียว A325	สลักเกลียว A490
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595
หมายเหตุ แรงดึงในสลักเกลียวเท่ากับร้อยละ 70 ของกำลังดึงประลัยของสลักเกลียว		

กำลังต้านทานการเลื่อนของสลักเกลียวแต่ละตัว ($\varnothing r_{str}$) จะต้องไม่น้อยกว่าแรงที่เกิดขึ้นต่อสลักเกลียวแต่ละตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มค่าแล้ว

$$\varnothing r_{str} = \varnothing[1.13\mu TbNs] \tag{2-51}$$

โดย Tb = แรงดึงต่ำสุดที่ใช้ขันสลักเกลียว (ตารางที่ 2-5)

Ns = จำนวนระนาบที่มีการเลื่อน

μ = ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การเลื่อน สำหรับพื้นผิวตามข้อกำหนด Class A, B หรือ C หรืออาจหาได้จากการทดสอบ

1. สำหรับพื้นผิว Class A (พื้นผิวเหล็กที่ปราศจากเกร็ดเหล็กและไม่ได้ทาสี หรือพื้นผิวที่ทำความสะอาดโดยใช้วิธีขัดพ่นและเคลือบตามมาตรฐาน Class A)

$$\mu = 0.33$$

2. สำหรับพื้นผิว Class B (พื้นผิวเหล็กที่ทำความสะอาดโดยใช้วิธีขัดพ่นและไม่ได้ทาสีหรือพื้นผิวเหล็กที่ทำความสะอาดโดยใช้วิธีขัดพ่นและเคลือบตามมาตรฐาน Class B)

$$\mu = 0.50$$

3. สำหรับพื้นผิว Class C (พื้นผิวเหล็กที่เคลือบแบบชุบร้อนด้วยสังกะสีและพื้นผิวขรุขระ)

$$\mu = 0.35$$

$\varnothing$ = ตัวคูณความต้านทาน

1. สำหรับรูเจาะมาตรฐาน

$$\varnothing = 1.00$$

2. สำหรับรูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐานและแบบร่องสั้น

$$\varnothing = 0.85$$

3. สำหรับรูเจาะแบบร่องยาวโดยแนวยาวของร่องตั้งฉากกับทิศทางของแรง

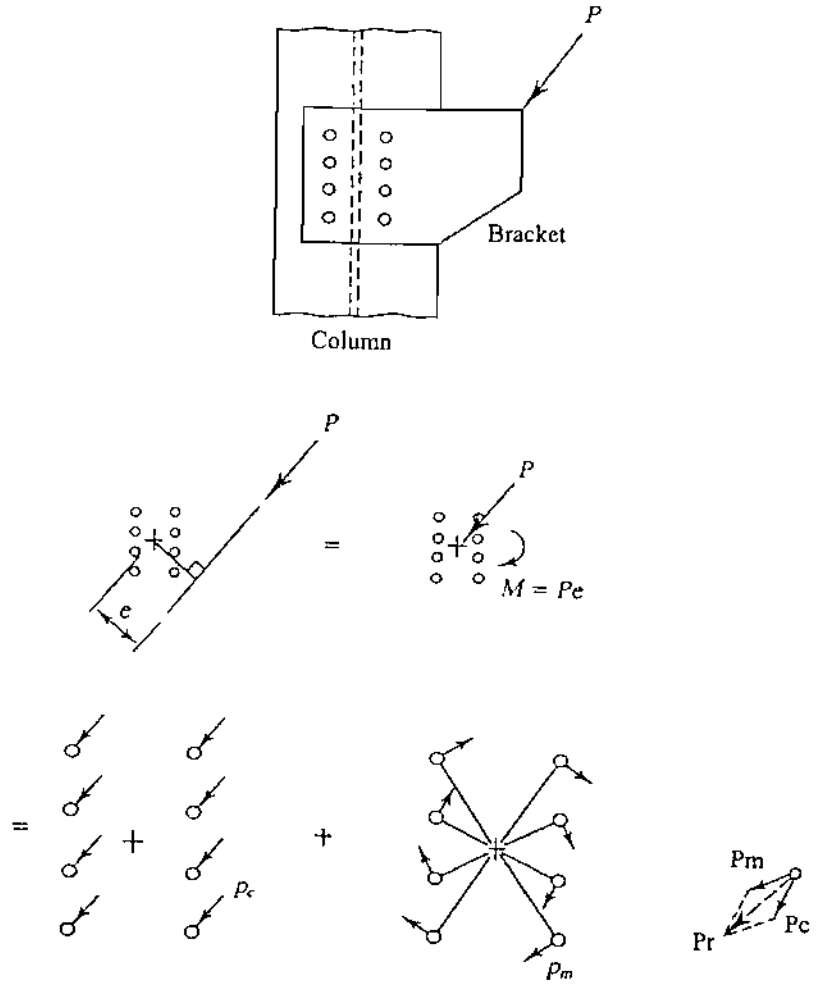
$$\varnothing = 0.70$$

4. สำหรับรูเจาะแบบร่องยาวโดยแนวยาวของร่องขนานกับทิศทางของแรง

$$\varnothing = 0.60$$

2.9.5 รอยต่อรับแรงเฉือนเยื้องศูนย์ (Eccentric Shear Connection)

การทำรอยต่อแป้นหูช้างทาบติดกับปีกเสา ดังแสดงในภาพที่ 2-17 แรงหรือน้ำหนักที่กระทำไม่ผ่านจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ จากรูปมีแรงเยื้องศูนย์ P กระทำห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อเป็นระยะ e ทำให้รอยต่อนี้มีพฤติกรรมเปรียบเสมือนว่าถูกกระทำด้วยแรงเฉือน P และโมเมนต์บิด M = Pe กระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ



ภาพที่ 2-17 รอยต่อรับแรงเฉือนเยื้องศูนย์

เมื่อพิจารณาผลอันเกิดจากแรงเฉือน P และโมเมนต์บิด M ที่กระทำต่อสลักเกลียวแต่ละตัวในรอยต่อ จะได้ว่า

แรงกระทำเนื่องจากแรงเฉือน $$Pc = \frac{P}{n} \qquad (2\text{-}52)$$

แรงกระทำเนื่องจากโมเมนต์บิด $$Pm = \frac{Md}{\sum d^2} \qquad (2\text{-}53)$$

เมื่อ n = จำนวนสลักเกลียว

d = ระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อถึงสลักเกลียวตัวที่ทำการพิจารณา

$\sum d^2$ = ผลรวมกำลังสองของระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อถึงสลักเกลียวทุกตัว

ถ้าให้ x และ y เป็นระยะในแนวราบและแนวตั้ง วัดจากจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อถึงสลักเกลียวตัวที่ทำการพิจารณา ซึ่งมีแรง Pc กระทำเนื่องจากแรงเฉือนและมีแรง Pm กระทำเนื่องจากโมเมนต์บิด

แตกแรง Pc ให้อยู่ในแนวราบและแนวตั้ง

$$Pcx = \frac{P_H}{n} \quad \text{and} \quad Pcy = \frac{P_V}{n} \tag{2-54}$$

แตกแรง Pm ให้อยู่ในแนวราบและแนวตั้ง

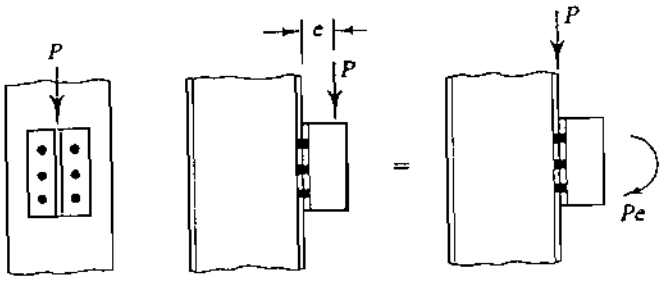
$$Pmx = \frac{My}{\sum(x^2+y^2)} \quad \text{and} \quad Pmy = \frac{Mx}{\sum(x^2+y^2)} \tag{2-55}$$

ค่าของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อสลักเกลียว หาได้โดยวิธีรวมแรงแบบเวคเตอร์

$$Pr = \sqrt{(Pcx+Pmx)^2+(Pcy+Pmy)^2} \tag{2-56}$$

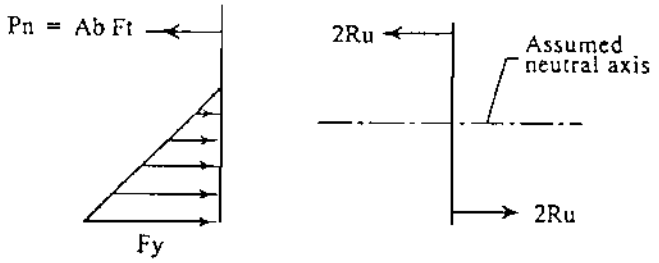
2.9.6 รอยต่อรับแรงเฉือนและแรงดึงเยื้องศูนย์ (Eccentric Shear and Tension Connection)

รอยต่อแป้นหูช้างแบบ Tee Stub Bracket ที่ใช้เป็นจุดต่อระหว่างปลายคานกับเสา ดังแสดงในภาพที่ 2-18 แรงเยื้องศูนย์ P กระทำห่างจากระนาบของรอยต่อเป็นระยะ e ทำให้สลักเกลียวในรอยต่อต้องรับทั้งแรงเฉือน P และโมเมนต์บิดตั้งฉาก M = Pe ในการวิเคราะห์จะสมมติให้สลักเกลียวทุกตัวรับแรงเฉือน P เท่าๆ กัน ส่วนผลของโมเมนต์บิดตั้งฉาก M สลักเกลียวด้านบนจะทำหน้าที่รับแรงดึงในขณะที่สลักเกลียวด้านล่างจะทำหน้าที่รับแรงอัด



ภาพที่ 2-18 รอยต่อแป้นหูช้างแบบ Tee Stub Bracket

ในกรณีของสลักเกลียวกำลังสูงติดตั้งแบบขันแน่นเต็มที่ เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนกระทั่งแรงดึงด้านบนมีค่ามากกว่าแรงอัดในสลักเกลียวเนื่องจากการขันแน่น รอยต่อจะเริ่มแยกออกจากกัน ถ้าเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นอีกจนถึงจุดที่หน่วยแรงดึงของสลักเกลียวเข้าใกล้หน่วยแรงดึงระบุ (Ft) หน่วยแรงอัดที่บริเวณด้านล่างของรอยต่อก็จะมีค่าเข้าใกล้หน่วยแรงที่จุดครากของวัสดุ



ภาพที่ 2-19 การกระจายแรงของสลักเกลียวในรอยต่อ

โดยอาศัยสมมติฐานว่า ในสภาวะใกล้วิบัติสลักเกลียวทุกตัวจะรับแรงจนถึงค่าแรงต้านทานสูงสุด (Ru) และแกนสะเทินผ่านจุดศูนย์ถ่วงของรอยต่อ สลักเกลียวที่อยู่เหนือแกนสะเทินทำหน้าที่รับแรงดึงส่วนสลักเกลียวที่อยู่ใต้แกนสะเทินจะรับแรงอัด ค่าแรงต้านทานสูงสุด (Ru) ที่เกิดขึ้นในสลักเกลียว สามารถหาค่าได้จากเงื่อนไขการสมดุลย์ของโมเมนต์ต้านทานรอบแกนสะเทินเท่ากับโมเมนต์บิดตั้งฉากที่กระทำ สำหรับค่าหน่วยแรงดึงระบุ (Ft) ของสลักเกลียวที่ต้องรับแรงเฉือนและแรงดึงพร้อมกัน มาตรฐาน AISC ได้กำหนดให้ใช้ค่าประมาณของสมการ Interaction

ตารางที่ 2-6 หน่วยแรงดึงระบุ(Ft) สำหรับอุปกรณ์ยึดในรอยต่อรับแรงแบกทาน

ชนิดของอุปกรณ์ยึด	เกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน	เกลียวไม่อยู่ในระนาบของแรงเฉือน
สลักเกลียว A307	171 - 2.5fv < 310	
สลักเกลียว A325	807 - 2.5fv < 621	807 - 2.0fv < 621
สลักเกลียว A490	1010 - 2.5fv < 779	1010 - 2.0fv < 779
หมุดย้ำ A502 Gr.1	407 - 2.4fv < 310	
หมุดย้ำ A502 Gr.2	538 - 2.4fv < 414	

2.10 รอยต่อโดยการเชื่อม

วิธีการทำรอยต่อโครงสร้างเหล็กที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบันคือ การทำรอยต่อโดยการเชื่อม ซึ่งเป็นวิธีการต่อชิ้นส่วนโลหะเข้าด้วยกันโดยใช้ความร้อนเผาโลหะตรงบริเวณที่จะต่อให้ละลายและหลอมติดเป็นเนื้อเดียวกันโดยมีลวดเชื่อมเป็นตัวประสาน ข้อดีของรอยต่อโดยการเชื่อมคือ ติดตั้งสะดวก ประหยัด รอยต่อเป็นเนื้อเดียวกันและมีการยึดรั้งสูง แต่ก็มีข้อเสียคือเป็นรอยต่อถาวรไม่สามารถถอดออกแล้วนำไปประกอบใหม่ได้ รอยเชื่อมเป็นจุดอ่อนให้เกิดสนิมได้ง่ายเพราะสารที่เคลือบถูกทำลายไปในระหว่างการเชื่อม อีกทั้งการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมก็ทำได้ค่อนข้างยาก

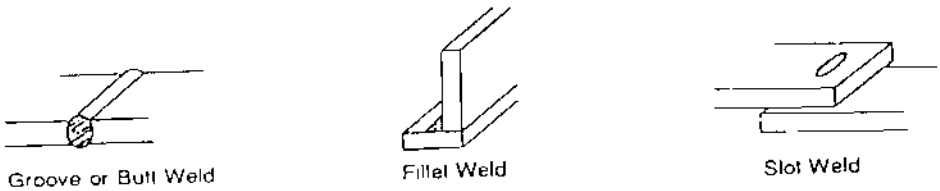
2.10.1 วิธีการเชื่อม

วิธีการเชื่อมชิ้นส่วนองค์อาคารโครงสร้างเหล็กให้ยึดติดกัน มีอยู่ 2 วิธี ดังนี้

1. การเชื่อมด้วยแก๊ส (Gas Welding) เป็นวิธีการเชื่อมที่ใช้แก๊สเป็นตัวทำให้เกิดเปลวไฟที่มีความร้อนสูงถึง 6300°F มีผลทำให้ลวดเชื่อมและชิ้นส่วนโลหะเกิดการละลายหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน วิธีนี้เหมาะที่จะใช้เชื่อมโลหะแผ่นบางในงานทั่วไป อุปกรณ์ที่ใช้ราคาไม่แพง การบำรุงรักษาน้อย เคลื่อนย้ายได้สะดวก ในบางครั้งอาจใช้เปลวไฟตัดโลหะก็ได้

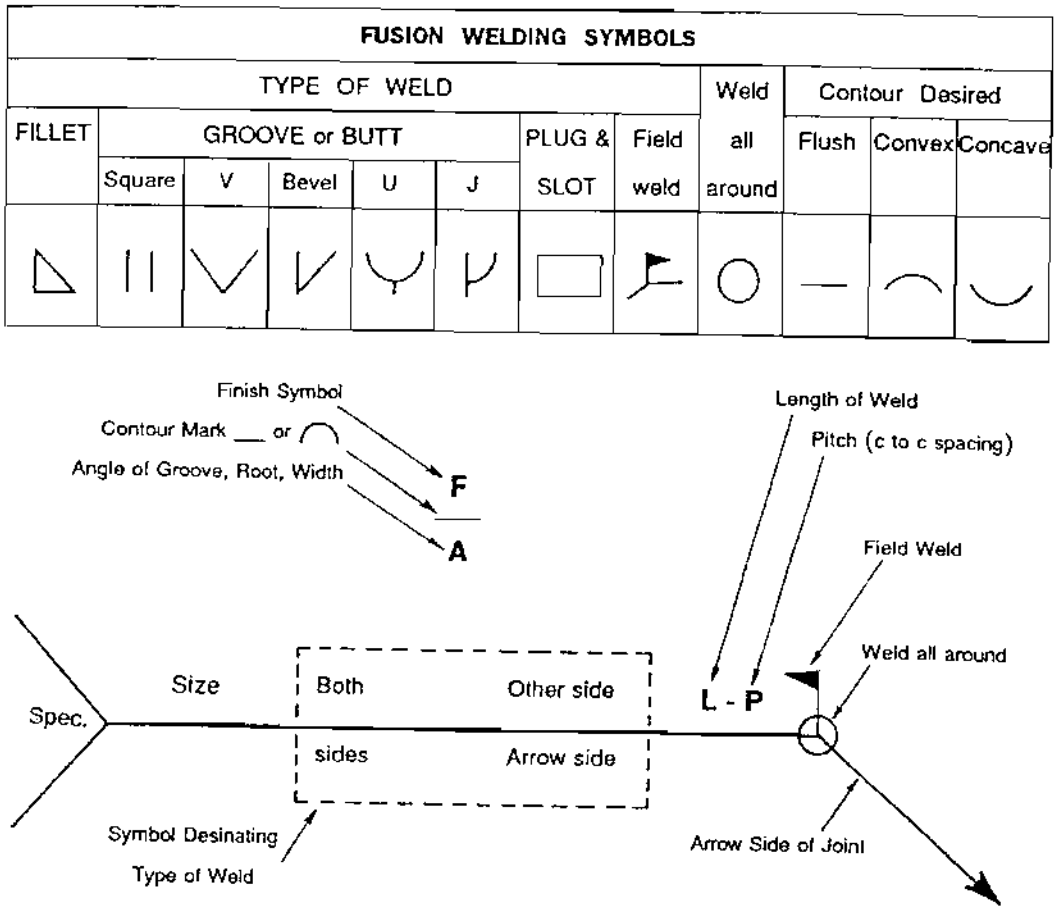
2. การเชื่อมด้วยไฟฟ้า (Arc Welding) เป็นวิธีการเชื่อมที่ใช้ไฟฟ้าเป็นตัวให้ความร้อนกับลวดเชื่อมซึ่งให้ความร้อนระหว่าง 6000 - 10000°F ทำให้เกิดการหลอมละลายสูงกว่าการใช้แก๊ส เหมาะสำหรับใช้ในงานเชื่อมเหล็กโครงสร้าง รอยต่อสามารถรับกำลังได้สูงกว่า การเชื่อมด้วยไฟฟ้ายังแบ่งออกได้หลายแบบ เช่น แบบ Shielded Metal Arc Welding (SMAW) ซึ่งเหมาะสำหรับการเชื่อมด้วยมือในสนามและแบบ Submerged Arc Welding (SAW) ที่ใช้สำหรับการเชื่อมแบบอัตโนมัติในโรงงาน เป็นต้น

ในงานด้านวิศวกรรมโยธา การทำรอยเชื่อมระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถจำแนกตามลักษณะของรอยเชื่อมออกเป็น 3 แบบที่สำคัญคือ รอยเชื่อมแบบบากร่อง (Groove or Butt Weld), รอยเชื่อมแบบทาบ (Fillet Weld)และรอยเชื่อมแบบอุดร่อง (Slot Weld)



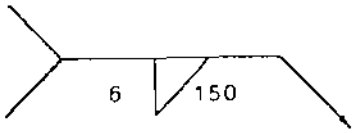
ภาพที่ 2-20 ลักษณะของรอยเชื่อม

2.10.2 สัญลักษณ์ของรอยเชื่อม (Welding Symbols)

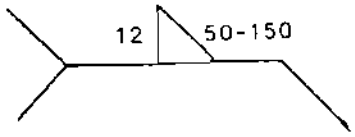


ภาพที่ 2-21 สัญลักษณ์ของรอยเชื่อม

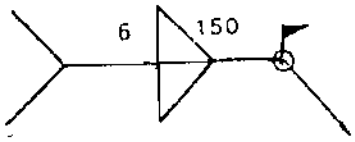
การใช้สัญลักษณ์ของรอยเชื่อมก็เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดรอยเชื่อมลงในแบบก่อสร้างให้เป็นสากล ใช้สื่อให้ทราบถึงแบบของรอยเชื่อม ขนาดและความยาวของการเชื่อม ตำแหน่งที่จะเชื่อม ตลอดจนวิธีการเชื่อมที่ต้องการ ดังตัวอย่างเช่น



การเชื่อมแบบทาบทางด้านใกล้ ขนาดของการเชื่อม 6 มม. เชื่อมยาว 150 มม.



การเชื่อมแบบทาบทางด้านไกล ขนาดของการเชื่อม 12 มม. เชื่อมยาว 50 มม. เว้นระยะ 150 มม. วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของรอยเชื่อม



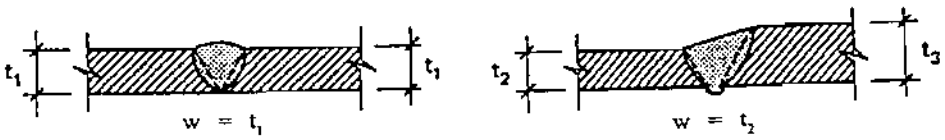
การเชื่อมแบบทาบทั้งสองด้านในสนามรอบจุดที่แสดงไว้ ขนาดของการเชื่อม 6 มม. เชื่อมยาว 15 มม.

2.10.3 รอยเชื่อมแบบบากร่อง (Groove or Butt Weld)

เป็นการนำเอาปลายกับปลายของชิ้นส่วนมาชนกันแล้วเชื่อม รอยเชื่อมจะอยู่ในร่องบากระหว่างชิ้นส่วน ขนาดของรอยเชื่อมแบบบากร่องจะเท่ากับความของชิ้นส่วนที่นำมาต่อกัน ในกรณีที่ชิ้นส่วนมีความหนาไม่เท่ากัน ขนาดของรอยเชื่อมจะเท่ากับความหนาของชิ้นส่วนที่บางกว่า เนื่องจากการเชื่อมต้องใช้ลวดเชื่อมเป็นตัวประสานในการต่อชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน ชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้จึงมีผลต่อกำลังของรอยเชื่อม ซึ่งจะต้องศึกษาและเลือกใช้ชนิดของลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับกำลังต้านทานของชิ้นส่วนโครงสร้างด้วย เช่น

ลวดเชื่อม E60 (F_{EXX} = 414 MPa) ใช้กับเหล็กที่มีกำลังจุดครากไม่เกิน 288 MPa

ลวดเชื่อม E70 (F_{EXX} = 480 MPa) ใช้กับเหล็กที่มีกำลังจุดครากไม่เกิน 377 MPa



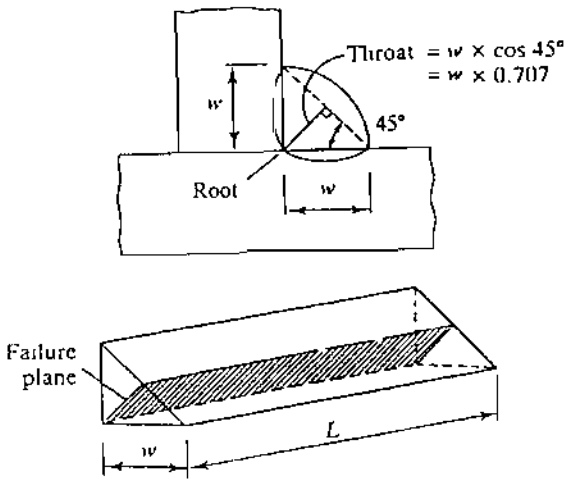
ภาพที่ 2-22 ความหนาของรอยเชื่อมแบบบากร่อง

ตารางที่ 2-7 กำลังที่ใช้ในการออกแบบของรอยเชื่อม

ประเภทของรอยเชื่อมและหน่วยแรง	วัสดุ	ตัวคูณความต้านทาน	กำลังที่ระบุไว้ F_{BM} หรือ F_w	ข้อกำหนดสำหรับโลหะลวดเชื่อม
รอยเชื่อมแบบบากร่องทะลุตลอด				
แรงดึงตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	โลหะฐาน	0.90	Fy	ใช้โลหะลวดเชื่อมที่คู่กัน
แรงอัดตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	โลหะฐาน	0.90	Fy	ใช้โลหะลวดเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่าโลหะลวดเชื่อมที่คู่กันได้
แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแกนของแนวเชื่อม				
แรงเฉือนบนพื้นที่ประสิทธิผล	โลหะฐาน รอยเชื่อม	0.90 0.80	0.60 Fy 0.60 F_{EXX}	
รอยเชื่อมแบบบากร่องไม่ทะลุตลอด				
แรงอัดตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	โลหะฐาน	0.90	Fy	ใช้โลหะลวดเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่าโลหะลวดเชื่อมที่คู่กันได้
แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแกนของแนวเชื่อม				
แรงเฉือนขนานกับแกนของแนวเชื่อม	โลหะฐาน รอยเชื่อม	 0.75	 0.60 F_{EXX}	
แรงดึงตั้งฉากกับพื้นที่ประสิทธิผล	โลหะฐาน รอยเชื่อม	0.90 0.80	Fy 0.60 F_{EXX}	
รอยเชื่อมแบบทาบ				
แรงเฉือนบนพื้นที่ประสิทธิผล	โลหะฐาน รอยเชื่อม	0.90 0.75	0.60 Fy 0.60 F_{EXX}	ใช้โลหะลวดเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่าโลหะลวดเชื่อมที่คู่กันได้
แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแกนของแนวเชื่อม	โลหะฐาน	0.90	Fy	
รอยเชื่อมแบบอุดร่อง				
แรงเฉือนขนานกับผิวสัมผัสระหว่างองค์อาคาร (บนพื้นที่ประสิทธิผล)	โลหะฐาน รอยเชื่อม	0.75	0.60 F_{EXX}	ใช้โลหะลวดเชื่อมระดับกำลังเท่ากับหรือน้อยกว่าโลหะลวดเชื่อมที่คู่กันได้

2.10.4 รอยเชื่อมแบบทาบ(Fillet Weld)

เป็นการนำเอาปลายกับปลายของชิ้นส่วนมาซ้อนกับแล้วเชื่อม อาจเชื่อมด้านเดียวหรือสองด้านหรือโดยรอบก็ได้ รอยเชื่อมจะทำหน้าที่รับแรงเค้นเฉือนเท่านั้นไม่ว่าแรงหรือน้ำหนักบรรทุกจะกระทำในทิศทางใดก็ตาม รอยเชื่อมแบบทาบจะมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ความหนาของรอยเชื่อมเท่ากับ w ระนาบการวิบัติของรอยเชื่อมแบบทาบจะเกิดขึ้นในแนวระยะ Throat ซึ่งเป็นระนาบที่มีพื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือนน้อยที่สุด



ภาพที่ 2-23 พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของรอยเชื่อมแบบทาบ

Throat คือความหนาประสิทธิผลของรอยเชื่อม มีค่าเท่ากับ 0.707 w ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของรอยเชื่อมจึงมีค่าเท่ากับ 0.707 wL และกำลังรับแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบ (Design Strength) ของรอยเชื่อมแบบทาบ คือ

$$\varnothing vPn = 0.75\left[0.707wLF_w\right] \qquad (2\text{-}57)$$

โดย w = ขนาดของรอยเชื่อมหรือความหนาของรอยเชื่อม

L = ความยาวของรอยเชื่อม

F_w = กำลังที่ระบุไว้ของลวดเชื่อม (ตารางที่ 2-7)

มาตรฐาน AISC ได้ให้ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับรอยเชื่อมแบบทาบ ดังนี้

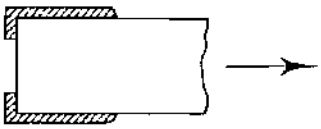
1. ความยาวของรอยเชื่อมต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนารอยเชื่อมและในการเชื่อมตามแนวแรงที่ปลายของแผ่นเหล็กแบนรับแรงดึง ความยาวของรอยเชื่อมแต่ละด้านต้องไม่น้อยกว่าระยะตั้งฉากระหว่างรอยเชื่อม

2. ความยาวน้อยสุดของรอยเชื่อม ต้องไม่ต่ำกว่าขนาดที่แสดงไว้ในตารางที่ 2-8

3. ความหนามากสุดของรอยเชื่อม สำหรับชิ้นส่วนที่หนาไม่เกิน 6 มม. ความหนาของรอยเชื่อมเท่ากับความหนาของชิ้นส่วน ถ้าชิ้นส่วนมีความหนามากกว่า 6 มม. ความหนาของรอยเชื่อมจะเท่ากับความหนาของชิ้นส่วนลบด้วย 2 มม. ทั้งนี้ความหนาของรอยเชื่อมต้องไม่เกินความหนาของชิ้นส่วนที่บางกว่า

4. ระยะทาบกันของรอยเชื่อม ต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของความหนาของชิ้นส่วนที่บางกว่าที่นำมาต่อกันและต้องไม่น้อยกว่า 25 มม.

5. ควรมีการเชื่อมอ้อมปลายยาวไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความหนารอยเชื่อม



ภาพที่ 2-24 ลักษณะการเชื่อมอ้อมปลาย

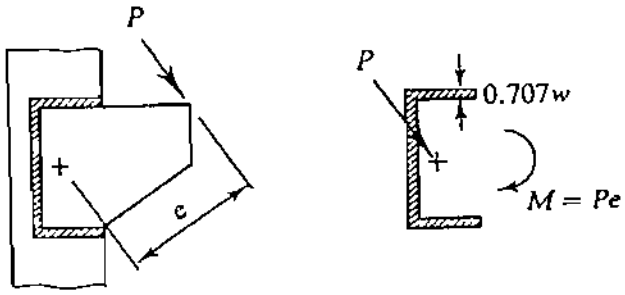
แรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมแบบทาบ จะสมมติให้หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อมแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของรอยเชื่อม ในกรณีที่องค์อาคารที่นำมาต่อปลายเป็นหน้าตัดไม่สมมาตร เช่น การนำเหล็กฉากมาเชื่อมแบบทาบทางด้านข้างติดกับแผ่นเหล็ก จะต้องทำการจัดระยะรอยเชื่อมให้แนวจุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อมอยู่ในแนวเดียวกับแนวแกนศูนย์ถ่วงของเหล็กฉาก เพื่อไม่ให้เกิดแรงเยื้องศูนย์ขึ้นในรอยต่อ

ตารางที่ 2-8 ขนาดน้อยสุดของรอยเชื่อมแบบทาบ

ความหนาของชิ้นส่วนที่หนากว่า	ความหนาน้อยสุดของรอยเชื่อม
ไม่เกิน 6 มม.	3 มม.
มากกว่า 6 มม. ถึง 13 มม.	5 มม.
มากกว่า 13 มม. ถึง 19 มม.	6 มม.
มากกว่า 19 มม.	8 มม.

2.10.5 รอยเชื่อมรับแรงเฉือนเยื้องศูนย์ (Eccentric Shear Welded Connection)

แรงหรือน้ำหนักที่กระทำเยื้องศูนย์ในระนาบของรอยเชื่อม จะทำให้เกิดทั้งแรงเฉือน P และโมเมนต์บิด M = Pe กระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของรอยเชื่อม ระนาบการวิบัติของรอยเชื่อมเกิดขึ้นในแนวที่รอยเชื่อมมีความหนาประสิทธิผลน้อยที่สุด เรียกว่า ระยะ Throat และรอยเชื่อมทั้งหมดจะรับแรงเค้นเฉือนเนื่องจากแรง P เท่าๆกัน ส่วนแรงเค้นเฉือนเนื่องจากโมเมนต์บิด M ก็สามารถคำนวณได้จากสูตรแรงบิด

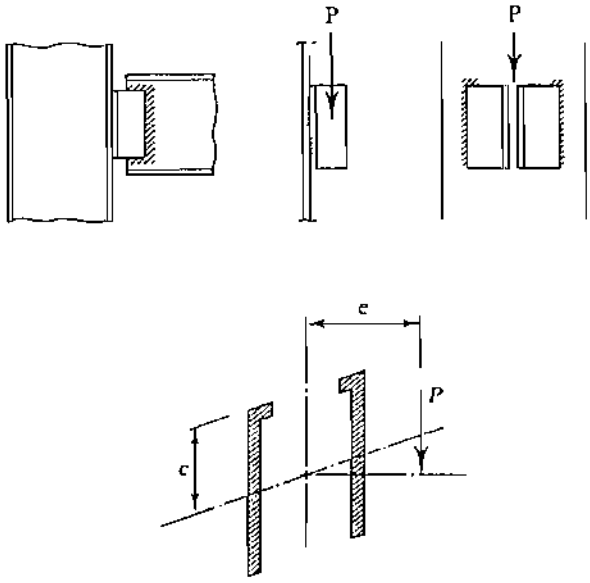


ภาพที่ 2-25 รอยเชื่อมรับแรงเฉือนเยื้องศูนย์

ถ้าให้ระยะ Throat เท่ากับหนึ่งหน่วย (Unit Throat Dimension) และ L เป็นความยาวทั้งหมดของรอยเชื่อม จะได้ว่า

2.10.6 รอยเชื่อมรับแรงเฉือนและแรงดึงเยื้องศูนย์

รอยต่อระหว่างปลายคานกับเสา ดังแสดงในภาพที่ 2-26 โดยทำการเชื่อมขาเหล็กฉากข้างหนึ่งกับแผ่นเอวของคานและเชื่อมขาเหล็กฉากอีกข้างหนึ่งกับแผ่นปีกของเสา มีผลให้แรง P กระทำเยื้องศูนย์กับระนาบแผ่นปีกเสาเป็นระยะ e ซึ่งกระจายได้เป็นแรงเฉือน P กระทำตรงศูนย์กลางของระนาบแผ่นปีกเสาและโมเมนต์ดัด M = Pe กระทำตั้งฉากกับระนาบแผ่นปีกเสา รอยเชื่อมทั้งหมดบนระนาบแผ่นปีกเสาจะรับแรงเค้นเฉือนเนื่องจากแรง P เท่าๆ กัน ส่วนโมเมนต์ดัด M จะทำให้เกิดแรงดึงในรอยเชื่อมที่อยู่เหนือแกนสะเทินและเกิดแรงอัดในรอยเชื่อมที่อยู่ใต้แกนสะเทิน



ภาพที่ 2-26 รอยต่อเชื่อมระหว่างปลายคานกับเสา

ถ้าให้ระยะ Throat เท่ากับหนึ่งหน่วย (Unit Throat Dimension) และ L เป็นความยาวทั้งหมดของรอยเชื่อม จะได้ว่า

แรงเค้นเฉือนเนื่องจากแรง P $$fv = \frac{P}{L} \quad (2\text{-}63)$$

แรงเค้นดึงเนื่องจากโมเมนต์ดัด $$ft = \frac{Mc}{I} \quad (2\text{-}64)$$

ค่าแรงเค้นรวมที่เกิดขึ้น หาได้โดยวิธีรวมแรงแบบเวคเตอร์

$$fr = \sqrt{fv^2 + ft^2} \quad (2\text{-}65)$$

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ทำตารางเหล็ก

โดยการนำข้อมูลรูปตัดและขนาดของเหล็กรูปพรรณ ที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย กับที่ผลิตตามมาตรฐาน JIS ซึ่งใช้หน่วยเป็นระบบเมตริก มาทำการแปลงหน่วยให้เป็นระบบ SI Units จากนั้นก็เอาข้อมูลทั้งหมดมาจัดทำเป็นตารางเหล็ก สำหรับใช้ประกอบการออกแบบในระบบ SI Units ข้อมูลของตารางเหล็กที่จัดทำขึ้นจะประกอบด้วย ขนาดระบุของหน้าตัด พื้นที่หน้าตัด มิติต่างๆ ของหน้าตัด มวลต่อหน่วยความยาว เกณฑ์หน้าตัดอัดแน่น คุณสมบัติรับแรงดัดและค่าคงที่การบิด

3.2 ทำตาราง Design Stress for Compression Members

เป็นการทำตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าอัตราส่วนความชะลูดของเสา (KL/r) กับค่าหน่วยแรงเค้นอัด (Fcr) สำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัดตามมาตรฐาน AISC ตั้งแต่ค่า KL/r = 1.0 จนถึง KL/ r = 200 โดยครอบคลุมทั้งเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 (มอก) และ Fe30 (มอก) สูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

สำหรับค่า $\lambda c \leq 1.50$;

$$Fcr = (0.658^{\lambda c^2})Fy \quad \text{เมื่อ} \quad \lambda c = \frac{KL}{r}.\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

สำหรับค่า $\lambda c > 1.50$;

$$Fcr = \frac{0.877}{\lambda c^2}Fy$$

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

$$\lambda c = \frac{KL}{r}.\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{235}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $\frac{KL}{r} = 137.47$

ช่วงที่ 1 $1 \leq \frac{KL}{r} \leq 137$

$$\varnothing cFcr = 0.85(235)(0.658^{\lambda c^2}) \quad MPa$$

ช่วงที่ 2 $138 \leq \frac{KL}{r} \leq 200$

$$\varnothing cFcr = 0.85(235)(0.877)/\lambda c^2 \quad MPa$$

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30

$$\lambda c = \frac{KL}{r}.\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $\frac{KL}{r} = 122.91$

ช่วงที่ 1 $1 \leq \frac{KL}{r} \leq 122$

$$\varnothing cFcr = 0.85(294)(0.658^{\lambda c^2}) \quad MPa$$

ช่วงที่ 2 $123 \leq \frac{KL}{r} \leq 200$

$$\varnothing cFcr = 0.85(294)(0.877)/\lambda c^2 \quad MPa$$

3.3 ทำตาราง Design axial strength

กำลังที่ใช้ออกแบบ($\varnothing cPn$)ของเสา สำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัดตามมาตรฐาน AISC สามารถใช้ได้ครอบคลุมทั้งหน้าตัดอัดแน่นและหน้าตัดไม่อัดแน่น ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานการผลิตเหล็กรูปพรรณที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป เมื่อพิจารณาเหล็กรูปพรรณหน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่ง ค่ารัศมีไจเรชั่นจะมีค่าคงที่ ทำให้ค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของเสาแปรผันตามค่าความยาวประสิทธิผลของเสาเพียงอย่างเดียว จากข้อสรุปนี้จึงจัดทำเป็นตาราง Design Axial Strength ของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณแต่ละขนาด ทุกช่วงความยาวประมาณ 0.25 - 1.00 เมตร จนถึงความยาวที่ขีดจำกัดของค่าอัตราส่วนความชะลูด คือ $KL/r = 200$ โดยครอบคลุมทั้งเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 และ Fe30 มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$\varnothing cPn = 0.85AgFcr \quad \text{และ} \quad \lambda c = KL.\frac{1}{\pi r}\sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

สำหรับค่า $\lambda c \le 1.50$;

$$Fcr = (0.658^{\lambda c^2})Fy$$

สำหรับค่า $\lambda c > 1.50$;

$$Fcr = \frac{0.877}{\lambda c^2}Fy$$

3.3.1 เสาหน้าตัด W 100x9.3 kg/m , $A = 1185\ mm^2$, $r_y = 11.2$ mm

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

Flange Ratio :

$$\lambda r = 0.56\sqrt{\frac{200000}{235}} = 16.34 > \frac{bf}{2tf}$$

Web Ratio :

$$\lambda r = 1.49\sqrt{\frac{200000}{235}} = 43.47 > \frac{h}{tw}$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(11.2)\pi}\sqrt{\frac{235}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $KL = 1539.71$ mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 1500$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(1185)(0.235)(0.658^{\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $1750 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(1185)(0.235)(0.877)/\lambda c^2$ kN

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30

Flange Ratio :

$$\lambda r = 0.56\sqrt{\frac{200000}{294}} = 14.61 > \frac{bf}{2tf}$$

Web Ratio :

$$\lambda r = 1.49\sqrt{\frac{200000}{294}} = 38.86 > \frac{h}{tw}$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(11.2)\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $KL = 1376.58$ mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 1250$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(1185)(0.294)(0.658^{\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $1500 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(1185)(0.294)(0.877)/\lambda c^2$ kN

3.3.2 เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวง 25x25x1.2 mm , $A = 100\ mm^2$, $r_y = 9.7$ mm

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา :

$$\lambda r = 1.49\sqrt{\frac{200000}{235}} = 43.47 > \frac{b}{t}$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(9.7)\pi}\sqrt{\frac{235}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $KL = 1333.50$ mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 1250$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(100)(0.235)(0.658^{\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $1750 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(100)(0.235)(0.877)/\lambda c^2$ kN

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา :

$$\lambda r = 1.49\sqrt{\frac{200000}{294}} = 38.86 > \frac{b}{t}$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(9.7)\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $KL = 1192.21$ mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 1000$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(100)(0.294)(0.658^{\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $1500 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(100)(0.294)(0.877)/\lambda c^2$ kN

3.3.3 เสาหน้าตัดกลมกลวง$\varnothing$ 15x2.0 mm , $A = 121\ mm^2$, $r_y = 6.8$ mm

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา :

$$\lambda r = 0.11\left[\frac{200000}{235}\right] = 93.62 > \frac{D}{t}$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(6.8)\pi}\sqrt{\frac{235}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $KL = 934.83$ mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 750$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(121)(0.235)(0.658^{\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $1000 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(121)(0.235)(0.877)/\lambda c^2$ kN

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา :

$$\lambda r = 0.11\left[\frac{200000}{294}\right] = 74.83 > \frac{D}{t}$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(6.8)\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c = 1.50$, $KL = 835.78$ mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 750$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(121)(0.294)(0.658^{\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $1000 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.85(121)(0.294)(0.877)/\lambda c^2$ kN

3.3.4 เสาหน้าตัด L 25x25x3.0 mm , $A = 142.7\ mm^2$, $r_z = 4.83$ mm

$$\varnothing cPn = 0.9AgFcr$$

สำหรับค่า $\lambda c\sqrt{Q} \le 1.50$; $Fcr = Q(0.658^{Q\lambda c^2})Fy$

สำหรับค่า $\lambda c\sqrt{Q} > 1.50$; $Fcr = \frac{0.877}{\lambda c^2}Fy$

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา :

$$\frac{b}{t} = 8.33 < 0.446\sqrt{\frac{200000}{235}} = 13.01$$

ตัวคูณลดค่าการโก่งเดาะเฉพาะที่ :

$$Q = 1.00$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(4.83)\pi}\sqrt{\frac{235}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c\sqrt{Q} = 1.50$, KL= 664.00 mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 500$ mm

$\varnothing cPn = 0.9(142.7)(0.235)Q(0.658^{Q\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $750 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.9(142.7)(0.235)(0.877)/\lambda c^2$ kN

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา :

$$\frac{b}{t} = 8.33 < 0.446\sqrt{\frac{200000}{294}} = 11.63$$

ตัวคูณลดค่าการโก่งเดาะเฉพาะที่ :

$$Q = 1.00$$

$$\lambda c = KL.\frac{1}{(4.83)\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}}$$

แทนค่า $\lambda c\sqrt{Q} = 1.50$, KL= 593.65 mm

ช่วงที่ 1 $0 \le KL \le 500$ mm

$\varnothing cPn = 0.9(142.7)(0.294)Q(0.658^{Q\lambda c^2})$ kN

ช่วงที่ 2 $750 \le KL \le r_y(200)$ mm

$\varnothing cPn = 0.9(142.7)(0.294)(0.877)/\lambda c^2$ kN

3.4 ทำตาราง Load Factor Design for Beam

เป็นการสร้างตารางเพื่อแสดงค่าตัวแปรหลัก ที่มีผลต่อกำลังที่ใช้ออกแบบ (ØbMn) ของคานภายใต้ขีดจำกัดระยะค้ำยันทางด้านข้าง Lb ≤ Lr ทั้งหน้าตัดอัดแน่นและหน้าตัดไม่อัดแน่น จัดทำขึ้นเฉพาะรูปตัดคานเหล็กรูปพรรณที่สำคัญคือ W– Shape กับ S– Shape เท่านั้น จัดทำตารางเรียงลำดับขนาดหน้าตัดตามค่าโมดูลัสพลาสติกรอบแกน X ของหน้าตัด มีค่าตัวแปรหลักที่จัดทำไว้ในตารางประกอบด้วยค่า ØbMp , ØbMr , Lp , Lr และ BF โดยครอบคลุมทั้งเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 และ Fe30 มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\varnothing bMn = Cb[\varnothing bMp - BF(Lb - Lp)] \le \varnothing bMp$$

สำหรับหน้าตัดอัดแน่น (Compact Section)

$$\varnothing bMp = 0.9ZxFy$$

$$\varnothing bMr = 0.9Sx(Fy - Fr)$$

$$BF = \frac{0.9(Mp - Mr)}{Lr - Lp}$$

สำหรับหน้าตัดไม่อัดแน่น (Noncompact Section)

$$Mp = ZxFy$$

$$\varnothing bMp = 0.9\left[Mp-(Mp-Mr)\left(\frac{\lambda-\lambda p}{\lambda r-\lambda p}\right)\right]$$

$$\varnothing bMr = 0.9Sx(Fy-Fr)$$

$$BF = \frac{0.9(Mp-Mr)}{Lr-Lp}$$

3.4.1 คานหน้าตัดอัดแน่น W 100x9.3 kg/m , A = 1185 mm^2

$Sx = 375x10^2\ mm^3$, $Iy = 148x10^3\ mm^4$, $r_y = 11.2$ mm

$Zx = 418x10^2\ mm^3$, $J = 15.31x10^3\ mm^4$, $Cw = 0.32x10^9\ mm^6$

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

Flange Ratio :

$$\lambda p = 0.38\sqrt{\frac{200000}{235}} = 11.09 > \frac{bf}{2tf}$$

Web Ratio :

$$\lambda p = 3.76\sqrt{\frac{200000}{235}} = 109.69 > \frac{h}{tw}$$

$$Lp = \frac{1.76r_y}{10^3}\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 0.575\ m$$

$$X_1 = \frac{\pi}{Sx}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} = 31353$$

$$X_2 = \frac{4Cw}{Iy}\left[\frac{Sx}{GJ}\right]^2 = 8.7061x10^{-6}$$

$$Lr = \frac{r_y x_1}{10^3(Fy-Fr)}\sqrt{1+\sqrt{1+x_2(Fy-Fr)^2}}$$

$$= 3.075\ m$$

$$\varnothing bMr = \frac{0.9Sx(Fy-Fr)}{10^6} = 5.60\ kN.m$$

$$\varnothing bMp = \frac{0.9ZxFy}{10^6} = 8.84\ kN.m$$

$$BF = \frac{(\varnothing bMp-\varnothing bMr)}{Lr-Lp} = 1.30\ kN$$

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30

Flange Ratio :

$$\lambda p = 0.38\sqrt{\frac{200000}{294}} = 9.91 > \frac{bf}{2tf}$$

Web Ratio :

$$\lambda p = 3.76\sqrt{\frac{200000}{294}} = 98.07 > \frac{h}{tw}$$

$$Lp = \frac{1.76r_y}{10^3}\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 0.514\ m$$

$$X_1 = \frac{\pi}{Sx}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} = 31353$$

$$X_2 = \frac{4Cw}{Iy}\left[\frac{Sx}{GJ}\right]^2 = 8.7061x10^{-6}$$

$$Lr = \frac{r_y x_1}{10^3(Fy-Fr)}\sqrt{1+\sqrt{1+x_2(Fy-Fr)^2}}$$

$$= 2.315\ m$$

$$\varnothing bMr = \frac{0.9Sx(Fy-Fr)}{10^6} = 7.59\ kN.m$$

$$\varnothing bMp = \frac{0.9ZxFy}{10^6} = 11.06\ kN.m$$

$$BF = \frac{(\varnothing bMp-\varnothing bMr)}{Lr-Lp} = 1.92\ kN$$

3.4.2 คานหน้าตัดไม่อัดแน่น W 250x64.4 kg/m , $A = 8206\ mm^2$

$Sx = 7200x10^2\ mm^3$, $Iy = 29400x10^3\ mm^4$, $r_y = 59.8\ mm$

$Zx = 7814x10^2\ mm^3$, $J = 326.98x10^3\ mm^4$, $Cw = 398.19x10^9\ mm^6$

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

Flange Ratio :

$$\lambda p = 0.38\sqrt{\frac{200000}{235}} = 11.09$$

$$\lambda r = 0.83\sqrt{\frac{200000}{235}} = 24.12$$

เป็นกรณี $\lambda p < \frac{bf}{2tf} < \lambda r$, $\frac{bf}{2tf} = 11.50$

Web Ratio :

$$\lambda p = 3.76\sqrt{\frac{200000}{235}} = 109.69 > \frac{h}{tw}$$

$$Lp = \frac{1.76r_y}{10^3}\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 3.070\ m$$

$$X_1 = \frac{\pi}{Sx}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} = 19859$$

$$X_2 = \frac{4Cw}{Iy}\left[\frac{Sx}{GJ}\right]^2 = 4.4075x10^{-5}$$

$$Lr = \frac{r_y x_1}{10^3(Fy-Fr)}\sqrt{1+\sqrt{1+x_2(Fy-Fr)^2}}$$

$$= 11.284\ m$$

$$\varnothing bMr = \frac{0.9Sx(Fy-Fr)}{10^6} = 107.57\ kN.m$$

$$Mp = \frac{ZxFy}{10^6} = 183.63\ kN.m$$

$$\varnothing bMp = 0.9Mp-[0.9Mp-\varnothing bMr]\left[\frac{11.50-\lambda p}{\lambda r-\lambda p}\right]$$

$$= 163.46\ kN.m$$

$$BF = \frac{(\varnothing bMp-\varnothing bMr)}{Lr-Lp} = 6.80\ kN$$

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30

Flange Ratio :

$$\lambda p = 0.38\sqrt{\frac{200000}{294}} = 9.91$$

$$\lambda r = 0.83\sqrt{\frac{200000}{294}} = 21.65$$

เป็นกรณี $\lambda p < \frac{bf}{2tf} < \lambda r$, $\frac{bf}{2tf} = 11.50$

Web Ratio :

$$\lambda p = 3.76\sqrt{\frac{200000}{294}} = 98.07 > \frac{h}{tw}$$

$$Lp = \frac{1.76r_y}{10^3}\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 2.745\ m$$

$$X_1 = \frac{\pi}{Sx}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} = 19859$$

$$X_2 = \frac{4Cw}{Iy}\left[\frac{Sx}{GJ}\right]^2 = 4.4075x10^{-5}$$

$$Lr = \frac{r_y x_1}{10^3(Fy-Fr)}\sqrt{1+\sqrt{1+x_2(Fy-Fr)^2}}$$

$$= 8.828\ m$$

$$\varnothing bMr = \frac{0.9Sx(Fy-Fr)}{10^6} = 145.80\ kN.m$$

$$Mp = \frac{ZxFy}{10^6} = 229.73\ kN.m$$

$$\varnothing bMp = 0.9Mp-[0.9Mp-\varnothing bMr]\left[\frac{11.50-\lambda p}{\lambda r-\lambda p}\right]$$

$$= 198.50\ kN.m$$

$$BF = \frac{(\varnothing bMp-\varnothing bMr)}{Lr-Lp} = 8.66\ kN$$

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ในการศึกษาเพื่อจัดทำคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD สำหรับการใช้งานในประเทศไทย เริ่มจากการทำตารางเหล็กในระบบ SI Units แล้วนำข้อมูลจากตารางเหล็กที่จัดทำขึ้นไปคำนวณค่าของตารางช่วยออกแบบ ได้แก่ ตาราง Design Stress for Compression Members, ตาราง Design Axial Strength และตาราง Load Factor Design for Beam แล้วทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง ผลการคำนวณออกแบบโดยใช้สูตรตามทฤษฎีกับผลการคำนวณออกแบบโดยการประยุกต์ใช้คู่มือ

4.1 ตารางเหล็ก

ตารางเหล็กในภาคผนวก ก แสดงข้อมูลขนาดและคุณสมบัติหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณในระบบ SI Units ที่แปลงหน่วยมาจากข้อมูลระบบเมตริกของหน่วยงานและบริษัทที่จำหน่ายเหล็กรูปพรรณในประเทศไทย เช่น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, บริษัทค้าเหล็กไทย จำกัด, บริษัทไทรอัมพ์สตีล จำกัด, บริษัทแปซิฟิกไพพ์ จำกัด, บริษัทไทยยนต์แทรกเตอร์ จำกัด, บริษัทไทยทิวป์ จำกัด, บริษัทอินเตอร์เม็ททอล จำกัด เป็นต้น รูปตัดของเหล็กรูปพรรณในตารางเหล็กที่รวบรวมจัดทำขึ้นนี้ประกอบด้วยเหล็กรูปพรรณ W-Shapes, S-Shapes, Channels, Angles, Square Tube, Rectangular Tube และ Round Pipe

4.2 ตาราง Design Stress for Compression Members

ค่าหน่วยแรงเค้นอัดของเสา สำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัดตามมาตรฐาน AISC ของหน้าตัดอัดแน่นและหน้าตัดไม่อัดแน่นสามารถอ่านค่าได้จากตารางนี้ โดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาและคำนวณจากสูตรตามทฤษฎี ซึ่งได้แสดงค่าไว้ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชะลูดของเสา (KL/r) กับหน่วยแรงเค้นอัด (Fcr) ตั้งแต่ค่า KL/r = 1.0 จนถึง KL/r = 200 ครอบคลุมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทั้งเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 และ Fe30 รายละเอียดของตาราง Design Stress for Compression Members แสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.3 ตาราง Design Axial Strength

เป็นตารางช่วยออกแบบที่ใช้ได้กับเหล็กรูปพรรณทั้งหน้าตัดอัดแน่น และหน้าตัดไม่อัดแน่น รูปตัด W-Shapes, Square Tube, Rectangular Tube, Round Pipe และ Single Angle โดยแสดงค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของเสา (ØcPn) แปรผันตามความยาวประสิทธิผล (KL) ทุกช่วงความยาวประมาณ 0.25 - 1.00 เมตร จนถึงความยาวที่ขีดจำกัดของค่าอัตราส่วนความชะลูดคือ KL/r = 200 ครอบคลุมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทั้งเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 และ Fe30 รายละเอียดของตาราง Design Axial Strength แสดงไว้ในภาคผนวก ค

4.4 ตาราง Load Factor Design for Beam

เป็นตารางช่วยออกแบบที่แสดงค่าตัวแปรหลัก ที่มีผลกับค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของคานภายใต้ขีดจำกัดระยะค้ำยันทางด้านข้าง $Lb \le Lr$ ใช้ได้ทั้งหน้าตัดอัดแน่นและหน้าตัดไม่อัดแน่น จัดทำเป็นตารางเรียงลำดับขนาดหน้าตัด ตามค่าโมดูลัสพลาสติกรอบแกน X เฉพาะหน้าตัดคานเหล็กรูปพรรณที่สำคัญคือ W-Shapes และ S-Shapes เท่านั้น มีค่าตัวแปรหลักที่ได้จัดทำไว้ในตารางนี้ประกอบด้วยค่า ØbMp , ØbMr , Lp , Lr และ BF ครอบคลุมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทั้งเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 และ Fe30 ทำให้สามารถคำนวณค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของคานได้อย่างรวดเร็วจากสมการ $ØbMn = Cb[ØbMp - BF(Lb - Lp)] \le ØbMp$ รายละเอียดของตาราง Load Factor Design for Beam แสดงไว้ในภาคผนวก ง

4.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากสูตรตามทฤษฎีกับผลการคำนวณจากการประยุกต์ใช้คู่มือ

4.5.1 การใช้ตาราง Design Stress for Compression Members

จงคำนวณค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของเสา W 250x44.1 kg/m ยาว 5.00 เมตร ทำการติดตั้งใช้งานในลักษณะปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน ใช้เหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe30 (มอก.) ข้อมูลจากตารางเหล็ก : $Ag = 5624\ mm^2$, $r_x = 104.0\ mm$, $r_y = 41.8\ mm$

4.5.1.1 โดยใช้สูตรตามทฤษฎี

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{1.0(5000)}{41.8} = 119.62 < 200 \qquad \text{(OK)}$$

$$\lambda c = \frac{KL}{r\pi}\sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

$$= \frac{119.62}{\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}} = 1.460 < 1.50$$

$$Fcr = 0.658^{\lambda c^2} Fy$$

$$= 0.658^{(1.460)^2}(294) = 120.47 \quad MPa$$

$$\varnothing cPn = 0.85AgFcr$$

$$= 0.85(5624)(120.47) = 575,894 \quad N$$

4.5.1.2 โดยการประยุกต์ใช้คู่มือ

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{1.0(5000)}{41.8} = 119.62 < 200$$

จากตาราง Design Stress for Compression Members, เหล็กชั้นคุณภาพ Fe30 (มอก.) หาค่า $\varnothing cFcr$ ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเส้นตรง ระหว่างค่า KL/r = 119 กับ KL/r = 120

$$\varnothing cFcr = 103.37 + 0.62(101.84 - 103.37)$$

$$= 102.42 \quad MPa$$

$$\varnothing cPn = Ag.\varnothing cFcr$$

$$= 5624(102.42) = 576,010 \quad N$$

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณทั้งสองวิธีพบว่า มีผลต่างของคำตอบเท่ากับ 116 N. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเพียง 0.02 % จึงถือว่าข้อมูลของตาราง Design Stress for Compression Members ที่จัดทำขึ้นนี้ให้ค่าที่แม่นยำและง่ายต่อการใช้งาน

4.5.2 การใช้ตาราง Design Axial Strength

จงออกแบบเสาเหล็กรูปพรรณ W-Shapes ให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานตามแนวแกน D = 150 kN และ L = 250 kN เสายาว 6.00 เมตร ค่าตัวคูณความยาวประสิทธิผล K_x = 1.20, และ K_y = 0.75 ใช้เหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe30 (มอก.)

4.5.2.1 โดยใช้สูตรตามทฤษฎี

$$Pu = 1.2(150)+1.6(250) = 580 \quad kN$$

คำนวณออกแบบเบื้องต้นโดยสมมติค่า $\frac{KL}{r} = 100$

$$\lambda c = \frac{KL}{r\pi}\sqrt{\frac{Fy}{E}} = \frac{100}{\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}} = 1.220 < 1.50$$

$$Fcr = 0.658^{\lambda c^2} Fy = 0.658^{(1.220)^2}(294) = 157.69 \quad MPa$$

$$Areq = \frac{Pu}{0.85Fcr} = \frac{580000}{0.85(157.69)} = 4327 \quad mm^2$$

ลองเลือกหน้าตัด W175x40.2 kg/m , A = 5121 mm^2 , r_x = 75.0 mm , r_y = 43.8 mm

$$\frac{bf}{2tf} = 8.0 \quad \text{and} \quad \frac{h}{tw} = 17.2$$

ส่วนปีก $\lambda r = 0.56\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 0.56\sqrt{\frac{200000}{294}} = 14.61 > \frac{bf}{2tf}$

แผ่นเอว $\lambda r = 1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 1.49\sqrt{\frac{200000}{294}} = 38.86 > \frac{h}{tw}$

$$\frac{K_xL}{r_x} = \frac{1.20(6000)}{75.0} = 96.0000$$

$$\frac{K_yL}{r_y} = \frac{0.75(6000)}{43.8} = 102.7397 \quad \text{(controls for this shape)}$$

$$\lambda c = \frac{102.7397}{\pi}\sqrt{\frac{294}{200000}} = 1.2539 < 1.50$$

$$Fcr = 0.658^{\lambda c^2} Fy = 0.658^{(1.2539)^2}(294) = 152.25 \text{ MPa}$$

$$\varnothing cPn = 0.85AgFcr$$

$$= 0.85(5121)(0.15225) = 663 \text{ kN} > Pu$$

4.5.2.2 โดยการประยุกต์ใช้คู่มือ

$$Pu = 1.2(150)+1.6(250) = 580 \text{ kN}$$

$$K_xL = 1.20(6.00) = 7.20 \text{ m}$$

$$K_yL = 0.75(6.00) = 4.50 \text{ m}$$

ใช้ตาราง Design Axial Strength ของเหล็กรูปพรรณหน้าตัด W-Shapes โดยพิจารณาที่ความยาวประสิทธิผล K, L = 4.50 เมตร พบว่าหน้าตัด W 175x40.2 kg/m มีค่า $\varnothing cPn$ = 663 kN > Pu

ตรวจสอบ อัตราส่วน $\frac{r_x}{r_y} = \frac{75.0}{43.8} = 1.712$

$$\text{Equivalent } K_xL = \frac{7.20}{1.712} = 4.21 \text{ m} < K_yL = 4.50 \text{ m} \quad \text{(controls)}$$

จากรายการคำนวณที่แสดงไว้ทั้งสองวิธีข้างต้นเป็นข้อพิสูจน์ให้เห็นว่า วิธีออกแบบโดยใช้สูตรตามทฤษฎีจำเป็นต้องอาศัยการ Trial and Error เพื่อให้ได้หน้าตัดที่เหมาะสม ทำให้ผู้ออกแบบต้องทำรายการคำนวณหลายครั้งและใช้เวลามาก ส่วนวิธีออกแบบโดยการประยุกต์ใช้คู่มือ ผู้ออกแบบเพียงแต่รู้ค่าความยาวประสิทธิผลของเสาก็สามารถนำไปเปิดตาราง อ่านค่ากำลังที่ใช้ออกแบบแล้วเลือกหน้าตัดที่เหมาะสมได้ทันที

4.5.3 การใช้ตาราง Load Factor Design for Beam

จงออกแบบคานเหล็กรูปพรรณหน้าตัด W-Shapes ชั้นคุณภาพ Fe24 (มอก.) ให้รับโมเมนต์ดัดที่เพิ่มค่าแล้ว 300 kN.m คานมีระยะค้ำยันทางด้านข้างที่ปีกรับแรงอัดเท่ากับ 4.00 เมตร และค่า Cb = 1.04

4.5.3.1 โดยใช้สูตรตามทฤษฎี

$$Zx = \frac{Mu}{0.9Fy}$$

$$= \frac{300x10^6}{0.9(235)} = 14184.40x10^2 \ mm^3$$

ลองเลือกหน้าตัด W 300 x 94.0 kg/m , Lb = 4000 mm

$A = 11980 \ mm^2$, $Sx = 136x10^4 \ mm^3$

$Iy = 675x10^5 \ mm^4$, $r_y = 75.1 \ mm$

$Zx = 14648x10^2 \ mm^3$, $J = 770x10^3 \ mm^4$

$Cw = 1370.67x10^9 \ mm^6$, $Ix = 204x10^6 \ mm^4$

$\frac{bf}{2tf} = 10.0$ and $\frac{h}{tw} = 23.4$

ส่วนปีก (Flange) $\lambda p = 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 0.38\sqrt{\frac{200000}{235}} = 11.09 > \frac{bf}{2tf}$

แผ่นเอว (Web) $\lambda p = 3.76\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 3.76\sqrt{\frac{200000}{235}} = 109.69 > \frac{h}{tw}$

แสดงว่า เป็นคานหน้าตัดอัดแน่น (Shape is Compact)

$$Lp = 1.76r_y\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 1.76(75.1)\sqrt{\frac{200000}{235}} = 3856 \ mm$$

$$X_1 = \frac{\pi}{Sx}\sqrt{\frac{EGJA}{2}}$$

$$= \frac{\pi}{136x10^4}\sqrt{\frac{200000(77200)(770x10^3)(11980)}{2}} = 19494$$

$$X_2 = \frac{4Cw}{Iy}\left[\frac{Sx}{GJ}\right]^2$$

$$= \frac{4(1370.67x10^9)}{675x10^5}\left[\frac{136x10^4}{77200(770x10^3)}\right]^2 = 4.2516x10^{-5}$$

$$Lr = \frac{r_y X_1}{(Fy-Fr)}\sqrt{1+\sqrt{1+X_2(Fy-Fr)^2}}$$

$$= \frac{75.1(19494)}{(235-69)}\sqrt{1+\sqrt{1+(4.2516x10^{-5})(235-69)^2}} = 13870 \ mm$$

เนื่องจาก $Lp < Lb < Lr$ เป็นกรณี Inelastic LTB

$$Mp = ZxFy$$

$$= 1464800(235) = 344.23x10^6 \text{ N.mm} = 344.23 \text{ kN.m}$$

$$Mr = (Fy - Fr)\,Sx$$

$$= (235-69)(136x10^4) = 225.76x10^6 \text{ N.mm} = 225.76 \text{ kN.m}$$

$$Mn = Cb\left[Mp-(Mp-Mr)\left(\frac{Lb-Lp}{Lr-Lp}\right)\right] \le Mp$$

$$= 1.04\left[344.23-(344.23-225.76)\left(\frac{4000-3856}{13870-3856}\right)\right]$$

$$= 356.23 \text{ kN.m} > Mp$$

ใช้ $\varnothing bMn = \varnothing bMp = 0.9(344.23) = 309.81$ kN.m > Mu

4.5.3.2 โดยการประยุกต์ใช้คู่มือ

$$Zx = \frac{Mu}{0.9Fy} = \frac{300x10^6}{0.9(235)} = 14184.40x10^2 \text{ mm}^3$$

ใช้ตาราง Load Factor Design for Beam เลือกหน้าตัด W 300 x 94.0 kg/m , Fy = 235 MPa :

$$\varnothing bMp = 309.81 \text{ kN.m}$$

$$\varnothing bMr = 203.18 \text{ kN.m}$$

$$Lp = 3.856 \text{ m}$$

$$Lr = 13.870 \text{ m}$$

$$BF = 10.65 \text{ kN}$$

$$\varnothing bMn = Cb\left[\varnothing bMp - BF(Lb-Lp)\right] \le \varnothing bMp$$

$$= 1.04\left[309.81-10.65(4.00-3.856)\right]$$

$$= 320.61 \text{ kN.m} > \varnothing bMp$$

ใช้ $\varnothing bMn = \varnothing bMp = 309.81$ kN.m > Mu

ผลการเปรียบเทียบพบว่าทั้งสองวิธีให้ผลการคำนวณตรงกัน วิธีออกแบบโดยใช้สูตรตามทฤษฎีต้องทำรายการคำนวณค่อนข้างยาวและยุ่งยากมีโอกาสผิดพลาดทางตัวเลขได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้การออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD ยังไม่ได้รับความนิยมมากเท่าที่ควรในปัจจุบัน ส่วนวิธีออกแบบโดยการประยุกต์ใช้คู่มือมีสูตรคำนวณที่ง่ายและสั้นมาก ทำให้สามารถเลือกหน้าตัดขนาดประหยัดตามที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์หลักคือ ต้องการจัดทำคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD ในระบบ SI Units เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบหน้าตัดเหล็กรูปพรรณตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย โดยทำการศึกษาและจัดทำเป็นตารางช่วยออกแบบ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานคำนวณออกแบบโครงสร้างหลักของอาคารได้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลรูปตัด ขนาดและคุณสมบัติหน้าตัดเหล็กรูปพรรณของหน่วยงานและบริษัทต่างๆที่เป็นผู้จำหน่ายเหล็กรูปพรรณในประเทศไทย แล้วนำข้อมูลที่รวบรวมได้นี้มาแปลงหน่วยและเรียบเรียงพิมพ์เป็นตารางเหล็กในระบบ SI Units ประกอบด้วยเหล็กรูปพรรณรูปตัดปีกกว้าง, รูปตัดตัว I, รูปตัดรางน้ำ, รูปตัดฉาก, ท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส, ท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าและท่อเหล็กรูปตัดกลม

ตาราง Design Stress for Compression Members เป็นตารางช่วยที่ใช้ตรวจสอบค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของเสา สำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัดตามมาตรฐาน AISC ของหน้าตัดอัดแน่นและหน้าตัดไม่อัดแน่น ผู้ออกแบบเพียงแต่รู้ค่าอัตราส่วนความชะลูดของเสาก็สามารถอ่านค่าหน่วยแรงเค้นอัดที่ลดค่าแล้วของเสาต้นนั้นจากตารางนี้ได้ทันที สำหรับงานออกแบบเสาเหล็กรูปพรรณก็มีตารางช่วยออกแบบ Design Axial Strength ที่แสดงค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของแต่ละหน้าตัดเสาแปรผันตามค่าความยาวประสิทธิผลรอบแกนที่แข็งแรงน้อยสุดทุกช่วงความยาวประมาณ 0.25 - 1.00 เมตร ประกอบด้วยเสารูปตัดปีกกว้าง, รูปตัดท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, รูปตัดท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า, รูปตัดท่อกลมและรูปตัดฉาก ทำให้ผู้ออกแบบสามารถอ่านค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของเสาแต่ละหน้าตัดจากตารางแล้วเลือกหน้าตัดที่เหมาะสมได้ทันที ส่วนปัญหาความยุ่งยากของการออกแบบคานเหล็กรูปพรรณหน้าตัดอัดแน่นและหน้าตัดไม่อัดแน่น ภายใต้ขีดจำกัดระยะค้ำยันทางด้านข้าง $Lb \leq Lr$ ก็ได้ถูกตอบสนองด้วยตารางช่วยออกแบบ Load Factor Design for Beam ที่จัดทำขึ้นซึ่งได้แสดงค่าตัวแปรหลักที่มีผลกับกำลังที่ใช้ออกแบบของหน้าตัดคานเหล็กรูปพรรณที่สำคัญ คือ คานรูปตัด W และคานรูปตัด I ครอบคลุมทั้งเหล็กรูปพรรณชั้นคุณภาพ Fe24 (มอก.) และFe30 (มอก.) ผู้ออกแบบสามารถคำนวณค่ากำลังที่ใช้ออกแบบของคานได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยข้อมูลของตารางนี้

จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณออกแบบ โดยใช้สูตรตามทฤษฎีกับผลการคำนวณออกแบบโดยการประยุกต์ใช้คู่มือพบว่าทั้งสองวิธีให้ผลการคำนวณตรงกัน แต่วิธีออกแบบโดยการประยุกต์ใช้คู่มือช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณ ใช้เวลาน้อยกว่าเดิมประมาณ 7-8 เท่า ช่วยให้นักศึกษาหรือวิศวกรจบใหม่ที่ไม่มีประสบการณ์งานออกแบบ สามารถเลือกหน้าตัดโครงสร้างเหล็กที่เหมาะสมได้รวดเร็วขึ้น โดยไม่ต้องเสียเวลา Trial Section หลายๆ ครั้ง ทำให้งานออกแบบมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD ที่จัดทำขึ้นครั้งนี้ยังไม่ครอบคลุมเนื้อหาของงานโครงสร้างเหล็กทั้งหมด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการหาวิธีทำตารางช่วยออกแบบสำหรับการคำนวณกำลังขององค์อาคารวัสดุผสม (Composite Members) และการออกแบบรอยต่อ (Connections Design) และแม้ว่าการคำนวณด้วยคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD จะไม่สะดวกรวดเร็วเท่ากับการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างเหล็ก แต่การจัดหาโปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้งานก็มีข้อจำกัดคือราคาแพง ดังนั้น ถ้าพิจารณาด้านราคาประกอบด้วยการใช้คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD ก็เหมาะกับวิศวกรโครงสร้างที่ประกอบอาชีพส่วนตัว รวมทั้งสามารถใช้ประกอบการเรียนการสอนของนักศึกษาและอาจารย์ได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

นรินทร์ เนาวประทีป และ พรสวัสดิ์ เพชรแดง. กฎหมายก่อสร้าง. กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2537.

วินิต ช่อวิเชียร. การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพมหานคร : สัมพันธ์พาณิชย์, 2539.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก. กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2546.

สุจริต กูณธนกุลวงศ์ และ ทักษิณ เทพชาตรี. การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพมหานคร : เอเชียเพรส, 2531.

สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์. การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539.

A-TEAM Advertising co., ltd. ทำเนียบวัสดุก่อสร้าง เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร : ส.ดวงกมล, 2537.

Tee Group of Engineers. ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกร. กรุงเทพมหานคร : อักษรพิทยา, 2526.

ภาษาอังกฤษ

American Institute of Steel Construction. Manual of Steel Construction Load and Resistance Factor Design. Chicago: American Institute of Steel Construction, Inc. 1998.

David A. Fanella, et al. Steel Design for Engineers and Architects. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

William T. Segui. LRFD Steel Design. Pacifio Grore: Brooks Cole, 2003.

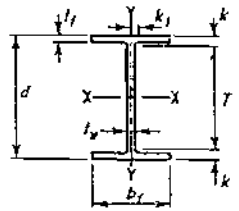
ภาคผนวก ก

ตารางเหล็ก

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดปีกกว้าง

WIDE FLANGE SHAPES

W SHAPES
Properties



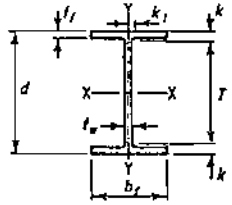
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance T	Distance k	Distance k1	Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus Zx	Plastic Modulus Zy	Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f					$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{h}{t_w}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	x 10^2	x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^6
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m			mm.^{4}	mm.^{3}	mm	mm.^{4}	mm.^{3}	mm	mm.^{3}	mm.^{3}	mm^4	mm^6
w 100x9.3	1185	100	50	5.0	7.0	70	15	10.5	9.3	3.6	14.0	1870	375	39.8	148	59	11.2	418	93	15.31	0 32
x17.2	2190	100	100	6.0	8.0	64	18	13.0	17.2	6.3	10.7	3830	765	41.8	1340	267	24.7	842	408	40 76	2.82
w 125x13.2	1684	125	60	6.0	8.0	91	17	12.0	13 2	3.8	15.2	4130	661	49.5	292	97	13.2	740	154	28.90	0.99
x23.8	3031	125	125	6.5	9.0	87	19	13.3	23.8	6.9	13.4	8470	1360	52.9	2930	470	31.1	1491	714	71.37	9.86
w 150x14	1785	150	75	5.0	7.0	120	15	10.5	14.0	5.4	24.0	6660	888	61.1	495	132	16.6	982	205	23.11	2.52
x21.1	2684	150	100	6.0	9.0	110	20	14.0	21.1	5.6	18.3	10200	1380	61.7	1510	301	23.7	1530	462	58.75	7.46
x31 5	4014	150	150	7.0	10.0	108	21	14.5	31.5	7.5	15.4	16400	2190	63.9	5630	751	37.5	2396	1141	116.01	27.56
w 175x18 1	2304	175	90	5.0	8.0	141	17	11.5	18.1	5.6	28.2	12100	1390	72.6	975	217	20.6	1518	334	37.68	6.78
x40.2	5121	175	175	7.5	11.0	129	23	15.8	40.2	8.0	17.2	28800	3300	75.0	9840	1120	43.8	3596	1706	178.35	66.07
w 200x18.2	2318	198	99	4.5	7.0	162	18	13.3	18.2	7.1	36.0	15800	1600	82.6	1140	230	22.1	1705	352	28.44	10 32
x21.3	2716	200	100	5.5	8.0	162	19	13.8	21.3	6.3	29.5	18400	1840	82.4	1340	268	22.2	2002	414	44.78	12.29
x30.6	3901	194	150	6.0	9.0	150	22	16.0	30.6	8.3	25.0	26900	2770	83.0	5070	676	36.1	2962	1028	86.22	43.32
x49.9	6353	200	200	8.0	12.0	150	25	17.0	49.9	8.3	18.8	47200	4720	86.2	16000	1600	50.2	5132	2428	262.49	141.38

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

WIDE FLANGE SHAPES

W SHAPES
Properties



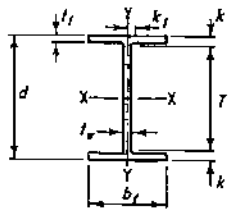
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance			Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus		Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f	T	k	k1		$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{h}{t_w}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	Zx x 10^2	Zy x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.			mm^4	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm^3	mm.^{3}	mm.^{4}	mm^6
w 200x56.2	7153	200	204	12.0	12.0	150	25	19.0	56.2	8.5	12.5	49800	4980	83.5	17000	1670	48.8	5532	2560	343.30	150.03
x65.7	8369	208	202	10.0	16.0	150	29	18.0	65.7	6.3	15.0	65300	6280	88.3	22000	2180	51.3	6980	3308	615.59	202.57
w 250x25.7	3268	248	124	5.0	8.0	208	20	14.3	25.7	7.8	41.6	35400	2850	104.0	2550	411	27.9	3054	630	52.33	36.61
x29.6	3766	250	125	6.0	9.0	208	21	15.0	29.6	6.9	34.7	40500	3240	104.0	2940	470	27.9	3519	724	78.10	42.54
x44.1	5624	244	175	7.0	11.0	190	27	19.5	44.1	8.0	27.1	61200	5020	104.0	9840	1130	41.8	5348	1712	181.92	133.35
x64.4	8206	244	252	11.0	11.0	190	27	21.5	64.4	11.5	17.3	87900	7200	103.0	29400	2330	59.8	7814	3560	326.98	398.19
x66.5	8470	248	249	8.0	13.0	190	29	20.0	66.5	9.6	23.8	99300	8010	108.0	33500	2690	62.9	8593	4066	404.81	461.81
x72.4	9218	250	250	9.0	14.0	190	30	20.5	72.4	8.9	21.1	108000	8670	108.0	36500	2920	62.9	9369	4420	514.68	507.65
x82.2	10470	250	255	14.0	14.0	190	30	23.0	82.2	9.1	13.6	115000	9190	105.0	38800	3040	60.9	10150	4661	682.34	538.72
w 300x32	4080	298	149	5.5	8.0	256	21	15.8	32.0	9.3	46.5	63200	4240	124.0	4420	593	32.9	4550	909	66.94	92.73
x36.7	4678	300	150	6.5	9.0	256	22	16.3	36.7	8.3	39.4	72100	4810	124.0	5080	677	32.9	5221	1042	99.54	107.17
x56.8	7238	294	200	8.0	12.0	234	30	22.0	56.8	8.3	29.3	113000	7710	125.0	16000	1600	47.1	8226	2443	278.53	318.10
x65.4	8236	298	201	9.0	14.0	234	32	23	65.4	7.2	26.0	133000	8930	126.0	19000	1890	47.7	9632	2883	436.71	382.07

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

WIDE FLANGE SHAPES

W SHAPES
Properties



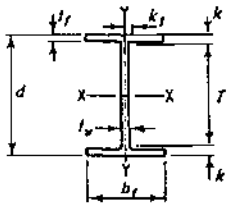
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance			Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus		Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f	T	k	k1		$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{h}{t_w}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	Zx x 10^2	Zy x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.			mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{3}	mm.^{3}	mm.^{4}	mm.^{6}
w 300x84.5	10770	294	302	12.0	12.0	234	30	24.0	84.5	12.6	19.5	169000	11500	125.0	55200	3650	71.6	12407	5569	510.34	1095.19
x87	11080	298	299	9.0	14.0	234	32	22.5	87.0	10.7	26.0	188000	12700	130.0	62400	4170	75.1	13528	6313	615.98	1257.67
x94	11980	300	300	10.0	15.0	234	33	23.0	94.0	10.0	23.4	204000	13600	131.0	67500	4500	75.1	14648	6818	770.00	1370.67
x106	13480	300	305	15.0	15.0	234	33	25.5	106.0	10.2	15.6	215000	14400	126.0	71000	4660	72.6	15773	7129	1006.88	1440.35
w 350x41.4	5268	346	174	6.0	9.0	300	23	17.0	41.4	9.7	50.0	111000	6410	145.0	7920	910	38.8	6891	1392	108.83	224.36
x49.6	6314	350	175	7.0	11.0	300	25	17.5	49.6	8.0	42.9	136000	7750	147.0	9840	1120	39.5	8408	1725	194.04	282.29
x106	13530	338	351	13.0	13.0	272	33	26.5	106.0	13.5	20.9	282000	16700	144.0	93800	5340	83.3	17993	8140	752.11	2474.12
x115	14600	344	348	10.0	16.0	272	36	25.0	115.0	10.9	27.2	333000	19400	151.0	112000	6460	87.8	20697	9766	1059.61	3022.69
x131	16660	344	354	16.0	16.0	272	36	28.0	131.0	11.1	17.0	353000	20500	146.0	118000	6690	84.3	22472	10225	1414.49	3181.75
x137	17390	350	350	12.0	19.0	272	39	26.0	137.0	9.2	22.7	403000	23000	152.0	136000	7760	88.4	24932	11750	1791.09	3718.80
x156	19840	350	357	19.0	19.0	272	39	29.5	156.0	9.4	14.3	428000	24500	147.0	144000	8090	85.3	27076	12389	2389.22	3946.42
x159	20200	356	352	14.0	22.0	272	42	27.0	159.0	8.0	19.4	476000	26700	153.0	160000	9090	89.0	29272	13782	2804.23	4459.97
w 400x56.6	7216	396	199	7.0	11.0	342	27	20	56.6	9.0	48.9	200000	10100	167.0	14500	1450	44.8	10875	2224	220.60	535.38

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

WIDE FLANGE SHAPES

W SHAPES
Properties



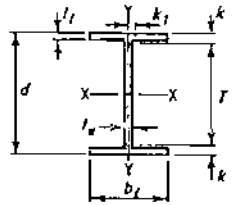
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance			Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus		Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f	T	k	k1		$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{d}{t_w}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	Zx x 10^2	Zy x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm	mm.	kg./m.			mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{3}	mm.^{3}	mm^4	mm.^{6}
w 400x66	8412	400	200	8.0	13.0	342	29	20.0	66.0	7.7	42.8	237000	11900	168.0	17400	1740	45.4	12860	2660	358.98	649.00
x94.3	12010	386	299	9.0	14.0	314	36	26.5	94.3	10.7	34.9	337000	17400	167.0	62400	4180	78.1	18456	6331	637.37	2157.83
x107	13600	390	300	10.0	16.0	314	38	27	107.0	9.4	31.4	387000	19800	169.0	72100	4810	72.8	21156	7290	943.87	2517.77
x140	17850	388	402	15.0	15.0	314	37	29.5	140.0	13.4	20.9	490000	25200	166.0	163000	8090	95.4	27298	12322	1324.13	5649.06
x147	18680	394	398	11.0	18.0	314	40	27.5	147.0	11.1	28.5	561000	28500	173.0	189000	9510	101.0	30461	14365	1714.24	6684.77
x168	21440	394	405	18.0	18.0	314	40	31.0	168.0	11.3	17.4	597000	30300	167.0	200000	9850	96.5	33178	15052	2305.58	7043.72
x172	21870	400	400	13.0	21.0	314	43	28.5	172.0	9.5	24.2	666000	33300	175.0	224000	11200	101.0	36001	16951	2747.15	8043.90
x197	25070	400	408	21.0	21.0	314	43	32.5	197.0	9.7	15.0	709000	35400	168.0	238000	11700	97.5	39201	17873	3688.97	8536.25
x200	25490	406	403	16.0	24.0	314	46	30.0	200.0	8.4	19.6	780000	38400	175.0	262000	13000	101.0	42074	19718	4235.61	9550.85
x232	29540	414	405	18.0	28.0	314	50	31.0	232.0	7.2	17.4	928000	44800	177.0	310000	15300	102.0	49540	23253	6677.42	11547.46
x283	36070	428	407	20.0	35.0	314	57	32.0	283.0	5.8	15.7	1190000	55700	182.0	394000	19300	104.0	62391	29347	12681.42	15185.36
w 450x66.2	8430	446	199	8.0	12.0	386	30	22.0	66.2	8.3	48.3	287000	12900	185.0	15800	1590	43.3	13926	2444	303.32	742.18
x76	9676	450	200	9.0	14.0	386	32	22.5	76.0	7.1	42.9	335000	14900	186.0	18700	1870	44.0	16215	2885	471.81	887.11

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

WIDE FLANGE SHAPES

W SHAPES
Properties



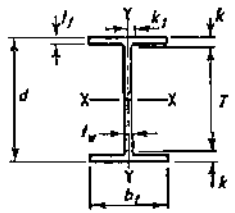
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance			Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus		Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f	T	k	kt		$\frac{bf}{2tf}$	$\frac{h}{tw}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	Zx x 10^2	Zy x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm^2	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.			$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	$mm.^3$	$mm.^3$	$mm.^4$	$mm.^6$
w 500x79.5	10130	496	199	9.0	14.0	428	34	24.5	79.5	7.1	47.6	419000	16900	203.0	18400	1850	42.7	18357	2867	481.16	1068.00
x89.6	11420	500	200	10.0	16.0	428	36	25.0	89.6	6.3	42.8	478000	19100	205.0	21400	2140	43.3	20964	3317	707.47	1249.37
x114	14550	482	300	11.0	15.0	400	41	31.5	114.0	10.0	36.4	604000	25000	204.0	67600	4510	68.2	26633	6887	882.19	3680.25
x128	16350	488	300	11.0	18.0	400	44	31.5	128.0	8.3	36.4	710000	29100	208.0	81100	5410	70.4	30998	8237	1374.92	4473.23
w 600x94.6	12050	596	199	10.0	15.0	522	37	27.0	94.6	6.6	52.2	687000	23100	239.0	19800	1990	40.5	25352	3112	641.42	1662.61
x106	13440	600	200	11.0	17.0	522	39	27.5	106.0	5.9	47.5	776000	25900	240.0	22800	2280	41.2	28632	3571	913.72	1926.04
x120	15250	606	201	12.0	20.0	522	42	28.0	120.0	5.0	43.5	904000	29800	243.0	27200	2710	42.2	33168	4244	1409.54	2323.82
x134	16770	612	202	13.0	23.0	522	45	28.5	134.0	4.4	40.2	1030000	33800	246.0	31800	3140	43.1	37777	4932	2069.83	2740.32
x137	17450	582	300	12.0	17.0	492	45	34.0	137.0	8.8	41.0	1030000	35300	243.0	76700	5110	66.3	37824	7847	1308.04	6105.18
x151	19250	588	300	12.0	20.0	492	48	34.0	151.0	7.5	41.0	1180000	40200	248.0	90200	6010	68.5	43089	9197	1927.17	7259.04
x175	22240	594	302	14.0	23.0	492	51	35.0	175.0	6.6	35.1	1370000	46200	249.0	106000	7010	69.0	50172	10757	2971.9	8606.16
w 700x166	21150	692	300	13.0	20.0	596	48	34.5	166.0	7.5	45.8	1720000	49800	286.0	90200	6020	65.3	54136	9275	2092.13	10160.64
x185	23550	700	300	13.0	24.0	596	52	34.5	185.0	6.3	45.8	2010000	57600	293.0	108000	7220	67.8	62488	11075	3259.86	12338.35

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

WIDE FLANGE SHAPES

W SHAPES
Properties



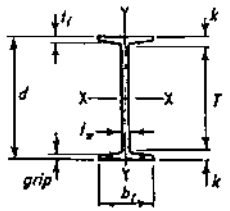
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance			Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus Zx	Plastic Modulus Zy	Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f	T	k	k1		$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{h}{t_w}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	x 10^2	x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.			mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{3}	mm.^{3}	mm.^{4}	mm.^{6}
w 700x215	27360	708	302	15.0	28.0	596	56	35.5	215.0	5.4	39.7	2370000	67000	294.0	129000	8530	68.6	73442	13135	5184.67	14858.86
w 800x191	24340	792	300	14.0	22.0	692	50	35.0	191.0	6.8	49.4	2540000	64100	323.0	99300	6620	63.9	70403	10267	2833.89	14674.28
x210	26740	800	300	14.0	26.0	692	54	35.0	210.0	5.8	49.4	2912000	72900	330.0	117000	7820	66.2	79955	12067	4223.15	17522.97
x241	30760	808	302	16.0	30.0	692	58	36.0	241.0	5.0	43.3	3390000	84000	332.0	138000	9150	67 0	92867	14159	6498.23	20839.63
w 900x213	27090	890	299	15.0	23.0	788	51	35.5	213.0	6.5	52.5	3450000	77600	357.0	103000	6880	61 6	86336	10756	3400.66	19256.10
x243	30980	900	300	16.0	28.0	788	56	36.0	243.0	5.4	49.3	4110000	91400	364.0	126000	8430	63.9	101741	13140	5580.97	23952.10
x286	36400	912	302	18.0	34.0	788	62	37.0	286.0	4.4	43.8	4980000	109000	370.0	157000	10400	65.6	122208	16188	9620.04	30079.98

ตารางที่ ก-2 คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดตัว I

STANDARD BEAM SHAPES

S SHAPES
Properties



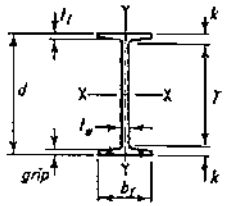
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance T	Distance k	Distance k1	Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus Zx	Plastic Modulus Zy	Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f					$\frac{bf}{2tf}$	$\frac{h}{tw}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	x 10^2	x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.			mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{3}	mm.^{3}	mm.^{4}	mm.^{6}
S 100x12.9	1643	100	75	5.0	8.0	70	15.0	9.5	12.9	4.7	14.0	2810	562	41.4	473	126	17.0	640	230	29.43	1.08
S 125x16.1	2045	125	75	5.5	9.5	88	18 5	11.8	16.1	3.9	16.0	5380	860	51.3	575	153	16.8	977	275	49.27	1.99
S 150x17.1	2183	150	75	5.5	9.5	113	18.5	11.8	17.1	3.9	20.5	8190	1090	61.2	575	153	16.2	1237	277	50.66	2 95
x36.2	4615	150	125	8.5	14.0	96	27.0	17.3	36.2	4.5	11.3	17600	2350	61.8	3850	616	28.9	2696	1116	256.51	19.00
S 180x23.6	3006	180	100	8.0	10.0	140	20.0	13.0	23.6	5.0	23.3	16700	1860	74.5	1380	275	21.4	2084	514	78.91	10.99
S 200x26	3306	200	100	7.0	10.0	160	20.0	13.5	26.0	5.0	22.9	21700	2170	81.1	1380	277	20.5	2467	522	88.39	13.52
x50.4	6416	200	150	9.0	16.0	138	31.0	19.5	50.4	4.7	15.3	44600	4460	83.4	7530	100	34.3	5051	1834	454.31	69.52
S 250x38.3	4879	250	125	7.5	12.5	201	24.5	15.8	38.3	5.0	26.8	51800	4140	103.0	3370	539	26.3	4660	1008	196.16	52.37
x55.5	7073	250	125	10.0	19.0	170	40.0	26.0	55.5	3.3	17.0	73100	5850	102.0	5380	860	27.6	6610	1537	648.58	73.00
S 300x48.3	6158	300	150	8.0	13.0	250	25.0	16.0	48.3	5.8	31.3	94800	6320	124.0	5880	784	30.9	7098	1506	268.68	138.85
x65.5	8347	300	150	10.0	18.5	225	37.5	24.0	65 5	4.1	22.5	127000	8490	123.0	8860	1180	32.6	9541	2147	727.00	186.22
x76.8	9788	300	150	11.5	22.0	210	45.0	28.8	76.8	3.4	18.3	147000	9780	122.0	10800	1430	33.2	11058	2560	1205 73	212 64

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

STANDARD BEAM SHAPES

S SHAPES
Properties



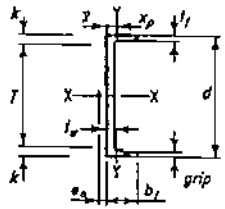
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance			Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus		Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f	T	k	k1		$\frac{bf}{2tf}$	$\frac{h}{tw}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	Zx x 10^2	Zy x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm	mm.	mm.	kg./m.			mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{3}	mm.^{3}	mm.^{4}	mm.^{6}
S 350x58.5	7458	350	150	9.0	15.0	294	28.0	17.5	58.5	5.0	32.7	152000	8700	143.0	7020	935	30.7	9842	1752	418.91	216.05
x87.2	11110	350	150	12.0	24.0	252	49.0	31.0	87.2	3.1	21.0	224000	12800	142.0	11800	1580	32.6	14472	2809	1570.18	317.34
S 400x72	9173	400	150	10.0	18.0	330	35.0	22.0	72.0	4.2	33.0	241000	12000	162.0	8640	1150	30.7	13626	2116	710.53	333.65
x95.8	12210	400	150	12.5	25.0	296	52.0	33.3	95.8	3.0	23.7	317000	15800	161.0	12400	1650	31.8	17891	2949	1806.64	435.13
S 450x91.7	11680	450	175	11.0	20.0	372	39.0	24.5	91.7	4.4	33.8	392000	17400	183.0	15100	1730	36.0	19673	3187	1124.11	750.35
x115	14610	450	175	13.0	26.0	344	53.0	33.5	115.0	3.4	26.5	488000	21700	183.0	20200	2310	37.2	24440	4149	2361.04	931.74
S 600x133	16940	600	190	13.0	25.0	500	50.0	31.5	133.0	3.8	38.5	984000	32800	241.0	24600	2590	38.1	37144	4745	2400.26	2128.01
x176	22450	600	190	16.0	35.0	454	73.0	46.0	176.0	2.7	28.4	1300000	43300	241.0	35400	3730	39.7	48809	6657	6202.25	2806.52

ตารางที่ ก-3 คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดรางน้ำ

CHANNEL SHAPES

CHANNELS
Properties



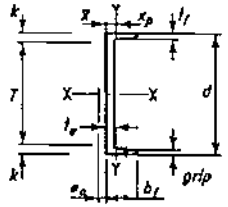
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance T	Distance k	Distance $\bar{x}$	Weight	Compact Section Criteria $\frac{b_f}{t_f}$	Compact Section Criteria $\frac{h}{t_w}$	Elastic Properties Axis X - X I x 10^3	Axis X - X S x 10^2	Axis X - X r	Axis Y - Y I x 10^3	Axis Y - Y S x 10^2	Axis Y - Y r	Plastic Modulus Zx x 10^2	Plastic Modulus Zy x 10^2	Torsional Constant J x 10^3	Warping Constant Cw x 10^9
	A	d	b_f	tw	t_f																
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.			mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{3}	mm.^{3}	mm.^{4}	mm.^{6}
C 75x6.92	882	75	40	5.0	7.0	45	15.0	12.8	6.92	5.7	9.0	753	201	29.2	122	45	11.7	237	94	11.98	0.11
C 100x9.36	1192	100	50	5.0	7.5	69	15.5	15.4	9.36	6.7	13.8	1880	376	39.7	260	75	14.8	437	161	17.92	0.44
C 125x13.4	1711	125	65	6.0	8.0	93	16.0	19.0	13.40	8.1	15.5	4240	678	49.8	618	134	19.0	787	297	30.61	1.71
C 150x18.6	2371	150	75	6.5	10.0	110	20.0	22.8	18.60	7.5	16.9	8610	1150	60.3	1170	224	22.2	1325	485	62.82	4.60
x24	3059	150	75	9.0	12.5	95	27.5	23.1	24.00	6.0	10.6	10500	1400	58.6	1470	283	21.9	1641	601	131.07	5.41
C 180x21.4	2720	180	75	7.0	10.5	137	21.5	21.3	21.40	7.1	19.6	13800	1530	71.2	1310	243	21.9	1777	528	77.26	7.47
C 200x24.6	3133	200	80	7.5	11.0	154	23.0	22.1	24.60	7.3	20.5	19500	1950	78.8	1680	291	23.2	2257	636	97.56	12.04
x30.3	3865	200	90	8.0	13.5	145	27.5	27.4	30.30	6.7	18.1	24900	2490	80.2	2770	442	26.8	2865	943	179.45	19.03
C 250x34.6	4407	250	90	9.0	13.0	196	27.0	24.0	34.60	6.9	21.8	41800	3340	97.4	2940	445	25.8	3902	974	189.41	32.84
x40.2	5117	250	90	11.0	14.5	187	31.5	24.0	40.20	6.2	17.0	46800	3740	95.6	3290	499	25 4	4416	1080	287.40	36.02

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

CHANNEL SHAPES

CHANNELS
Properties



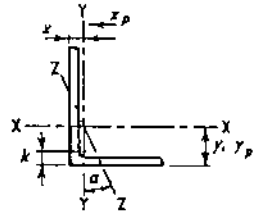
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Area	Depth	Flange Width	Thickness Web	Thickness Flange	Distance			Weight	Compact Section Criteria		Elastic Properties Axis X - X			Elastic Properties Axis Y - Y			Plastic Modulus		Torsional Constant	Warping Constant
	A	d	b_f	tw	t_f	T	k	$\bar{x}$		$\frac{b_f}{t_f}$	$\frac{h_r}{t_w}$	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	Zx x 10^2	Zy x 10^2	J x 10^3	Cw x 10^9
	mm.^{2}	mm.	mm.	mm.	mm	mm.	mm.	mm.	kg./m.			mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{3}	mm.^{3}	mm^4	mm.^{6}
C 300x38.1	4857	300	90	9.0	13.0	246	27.0	22.2	38.10	6.9	27.3	64400	4290	115.0	3090	457	25.2	5047	991	201.56	51.24
x43.8	5574	300	90	10.0	15.5	231	34.5	23.4	43.80	5.8	23.1	74100	4940	115.0	3600	541	25.4	5778	1176	318.27	57.59
x48.6	6190	300	90	12.0	16.0	230	35.0	22.8	48.60	5.6	19.2	78700	5250	113.0	3790	564	24.8	6244	1210	409.34	60.27
C 380x54.5	6939	380	100	10.5	16.0	312	34.0	24.1	54.50	6.3	29.7	145000	7630	145.0	5350	705	27.8	9003	1513	413.53	141.83
x62	7896	380	100	13.0	16.5	311	34.5	23.3	62.00	6.1	23.9	156000	8230	141.0	5650	736	26.7	9911	1571	565.68	149.54
x67.3	8571	380	100	13.0	20.0	292	44.0	25.4	67.30	5.0	22.5	176000	9260	143.0	6550	878	27.6	10957	1886	796.97	166.23

ตารางที่ ก-4 คุณสมบัติของเหล็กรูปตัดฉาก

ANGLE SHAPES

ANGLES
Equal legs and unequal legs
Properties for designing



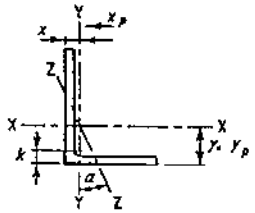
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Thickness		Area	weight	Distance		Elastic properties							
							Axis X - X			Axis Y - Y			Axis Z - Z	
	t	k	A		x	y	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	r	tanα
	mm.	mm.	mm.^{2}	kg./m.	mm	mm	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.^{4}	mm.^{3}	mm.	mm.	
L 25x25x3	3.0	7.0	142.7	1.12	7.19	7.19	7.97	4.48	7.47	7.97	4.48	7.47	4.83	1.000
L 30x30x3	3.0	7.0	172.7	1.36	8.44	8.44	14.20	6.61	9.08	14.20	6.61	9.08	5.85	1.000
L 40x40x3	3.0	7.5	233.6	1.83	10.90	10.90	35.30	12.10	12.30	35.30	12.10	12.30	7.90	1.000
x5	5.0	9.5	375.5	2.95	11.70	11.70	54.20	19.10	12.00	54.20	19.10	12.00	7.74	1.000
L 45x45x4	4.0	10.5	349.2	2.74	12.40	12.40	65.00	20.00	13.60	65.00	20.00	13.60	8.80	1.000
x5	5.0	11.5	430.2	3.38	12.80	12.80	79.10	24.60	13.60	79.10	24.60	13.60	8.74	1.000
L 50x50x4	4.0	10.5	389.2	3.06	13.70	13.70	90.60	24.90	15.30	90.60	24.90	15.30	9.83	1.000
x5	5.0	11.5	480.2	3.77	14.10	14.10	111.00	30.80	15.20	111.00	30.80	15.20	9.76	1.000
x6	6.0	12.5	564.4	4.43	14.40	14.40	126.00	35.50	15.00	126.00	35.50	15.00	9.63	1.000
L 60x60x4	4.0	10.5	469.2	3.68	16.10	16.10	160.00	36.60	18.50	160.00	36.60	18.50	11.90	1.000
x5	5.0	11.5	580.2	4.55	16.60	16.60	196.00	45.20	18.40	196.00	45.20	18.40	11.80	1.000

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

ANGLE SHAPES

ANGLES
Equal legs and unequal legs
Properties for designing



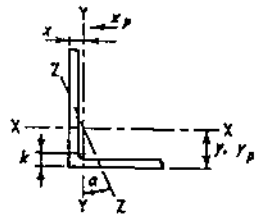
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Thickness		Area	weight	Distance		Elastic properties							
							Axis X - X			Axis Y - Y			Axis Z - Z	
	t	k	A		x	y	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	r	tan α
	mm.	mm.	$mm.^2$	kg./m.	mm.	mm.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	mm.	
L 65x65x5	5.0	13.5	636.7	5.00	17.7	17.7	253	53.5	19.9	253	53.5	19.9	12.8	1.000
x6	6.0	14.5	752.7	5.91	18.1	18.1	294	62.6	19.8	294	62.6	19.8	12.7	1.000
x8	8.0	16.5	976.1	7.66	18.8	18.8	368	79.6	19.4	368	79.6	19.4	12.5	1.000
L 70x70x6	6.0	14.5	812.7	6.38	19.3	19.3	371	73.3	21.4	371	73.3	21.4	13.7	1.000
L 75x75x6	6.0	14.5	872.7	6.85	20.6	20.6	461	84.7	23.0	461	84.7	23.0	14.8	1.000
x9	9.0	17.5	1269.0	9.96	21.7	21.7	644	121.0	22.5	644	121.0	22.5	14.5	1.000
x12	12.0	20.5	1656.0	13.00	22.9	22.9	819	157.0	22.2	819	157.0	22.2	14.4	1.000
L 80x80x6	6.0	14.5	932.7	7.32	21.8	21.8	564	97.0	24.6	564	97.0	24.6	15.8	1.000
L 90x75x9	9.0	17.5	1404.0	11.00	20.0	27.5	1090	174.0	27.8	681	124.0	22.0	15.6	0.676
L 90x90x6	6.0	16.0	1055.0	8.28	24.2	24.2	807	123.0	27.7	807	123.0	27.7	17.8	1.000
x7	7.0	17.0	1222.0	9.59	24.6	24.6	930	142.0	27.6	930	142.0	27.6	17.7	1.000
x10	10.0	20.0	1700.0	13.30	25.7	25.7	1250	195.0	27.1	1250	195.0	27.1	17.4	1.000
x13	13.0	23.0	2171.0	17.00	26.9	26.9	1560	248.0	26.8	1560	248.0	26.8	17.3	1.000

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

ANGLE SHAPES

ANGLES
Equal legs and unequal legs
Properties for designing



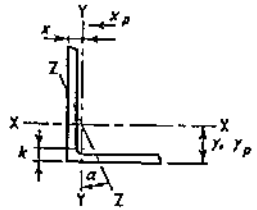
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Thickness		Area	weight	Distance		Elastic properties							
							Axis X - X			Axis Y - Y			Axis Z - Z	
	t	k	A		x	y	$I \times 10^3$	$S \times 10^2$	r	$I \times 10^3$	$S \times 10^2$	r	r	tanα
	mm.	mm.	$mm.^2$	kg /m.	mm.	mm.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	mm.	
L 100x75x7	7.0	17.0	1187	9.32	18.3	30.6	1180	170	31.5	569	100	21.9	16.1	0.548
x10	10.0	20.0	1650	13.00	19.4	31.7	1590	233	31.1	761	137	21.5	15.8	0.543
L 100x100x7	7.0	17.0	1362	10.70	27.1	27.1	1290	177	30.8	1290	177	30.8	19.8	1.000
x10	10.0	20.0	1900	14.90	28.2	28.2	1750	244	30.4	1750	244	30.4	19.5	1.000
x13	13.0	23.0	2431	19.10	29.4	29.4	2200	311	30.0	2200	311	30.0	19.4	1.000
L 120x120x8	8.0	20.0	1876	14.70	32.4	32.4	2580	295	37.1	2580	295	37.1	23.8	1.000
L 125x75x7	7.0	17.0	1362	10.70	16.4	41.0	2190	261	40.1	604	103	21.1	16.4	0.362
x10	10.0	20.0	1900	14.90	17.5	42.2	2990	361	39.6	808	141	20.6	16.1	0.357
x13	13.0	23.0	2431	19.10	18.7	43.5	3760	461	39.3	1010	179	20.4	16.0	0.352
L 125x90x10	10.0	20.0	2050	16.10	22.2	39.5	3180	372	39.4	1380	203	25.9	19.3	0.505
x13	13.0	23.0	2626	20.60	23.4	40.7	4010	475	39.1	1730	259	25.7	19.1	0.501
L 130x130x9	9.0	21.0	2274	17.90	35.3	35.3	3660	387	40.1	3660	387	40.1	25.7	1.000
x12	12.0	24.0	2976	23.40	36.4	36.4	4670	499	39.6	4670	499	39.6	25.4	1.000

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

ANGLE SHAPES

ANGLES
Equal legs and unequal legs
Properties for designing



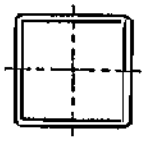
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Designation	Thickness		Area	weight	Distance		Elastic properties							
							Axis X - X			Axis Y - Y			Axis Z - Z	
	t	k	A		x	y	I x 10^3	S x 10^2	r	I x 10^3	S x 10^2	r	r	tanα
	mm	mm	$mm.^2$	kg./m.	mm.	mm.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	mm^4	$mm.^3$	mm.	mm.	
L 150x90x9	9.0	21.0	2094	16.40	19.9	49.5	4850	482	48.1	1330	190	25.2	19.6	0.361
x12	12.0	24.0	2736	21.50	21.0	50.7	6190	623	47.6	1670	243	24.7	19.3	0.357
L 150x100x9	9.0	21.0	2184	17.10	23.0	47.6	5020	491	47.9	1810	235	28.8	21.8	0.439
x12	12.0	24.0	2856	22.40	24.1	48.8	6420	634	47.4	2280	301	28.3	21.5	0.435
x15	15.0	27.0	3525	27.70	25.3	50.0	7820	782	47.1	2760	370	28.0	21.4	0.431
L 150x150x12	12.0	26.0	3477	27.30	41.4	41.4	7400	681	46.1	7400	681	46.1	29.6	1.000
x15	15.0	29.0	4274	33.60	42.4	42.4	8880	826	45.6	8880	826	45.6	29.2	1.000
L 175x175x12	12.0	27.0	4052	31.80	47.3	47.3	11700	918	53.8	11700	918	53.8	34.3	1.000
x15	15.0	30.0	5021	39.40	48.5	48.5	14400	1140	53.5	14400	1140	53.5	34.2	1.000
L 200x200x15	15.0	32.0	5775	45.30	54.6	54.6	21800	1500	61.4	21800	1500	61.4	39.3	1.000
x20	20.0	37.0	7600	59.70	56.7	56.7	28200	1970	60.9	28200	1970	60.9	39.0	1.000
x25	25.0	42.0	9375	73.60	58.6	58.6	34200	2420	60.4	34200	2420	60.4	38.8	1.000
L 250x250x25	25.0	49.0	11940	93.70	71.0	71.0	69500	3880	76.3	69500	3880	76.3	49.0	1.000

ตารางที่ ก-5 คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

SQUARE TUBE SHAPES

STRUCTURAL TUBING
Square
Dimensions and properties



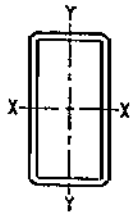
มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Dimension	Thickness	Area	weight	Elastic Properties					
				Axis X - X			Axis Y - Y		
	t	A		$I \times 10^3$	$S \times 10^2$	r	$I \times 10^3$	$S \times 10^2$	r
	mm	$mm.^2$	kg./m.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.
25x25	1.2	100	0.87	9.5	7.6	9.7	9.5	7.6	9.7
	1.6	136	1.15	12.3	9.8	9.5	12.3	9.8	9.5
	2.0	172	1 37	14.6	11.7	9.2	14.6	11.7	9.2
38x38	1 2	163	1 34	36.0	19.4	14.9	36.0	19.4	14.9
	1.6	215	1 72	46.0	24.9	14.6	46.0	24.9	14 6
	2.0	279	2.31	59.3	31.2	14.6	59.3	31 2	14.6
50x50	1 6	303	2 40	117.0	46.8	19.6	117.0	46.8	19.6
	2.0	370	2 91	139.0	55.7	19.4	139.0	55.7	19.4
	2.3	425	3 34	159.0	63.4	19.3	159.0	63.4	19.3
	3.2	569	4.47	201.0	80.5	18.8	201.0	80.5	18.8
75x75	2 3	655	5.19	571.0	152.0	29.5	571.0	152.0	29.5
	3.2	893	7.13	755.0	201.0	29.1	755.0	201.0	29.1
100x100	2.3	885	6.99	1400.0	279.0	39.7	1400.0	279.0	39.7
	3.2	1207	9 58	1860.0	372.5	39.2	1860.0	372.5	39.2
	4.0	1488	11.65	2245.0	449.5	38.9	2245.0	449.5	38.9
	4.5	1667	13.10	2490 0	499.0	38.7	2490.0	499.0	38.7
125x125	3.2	1533	12.00	3760 0	601.0	49.5	3760.0	601.0	49.5
	4 5	2117	16 60	5060 0	809.0	48.9	5060.0	809.0	48.9
	5 0	2336	18 30	5530 0	884 0	48.6	5530.0	884.0	48.6
	6 0	2763	21 70	6410.0	1030.0	48.2	6410.0	1030.0	48.2
150x150	4 5	2567	20 10	8960 0	1200.0	59.1	8960.0	1200.0	59.1
	5 0	2810	22 10	9700.0	1290 0	58.7	9700.0	1290 0	58.7
	6 0	3347	26 30	11360 0	1510 0	58 3	11360.0	1510 0	58 3

ตารางที่ ก-6 คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

RECTANGULAR TUBE SHAPES

STRUCTURAL TUBING
Rectangular
Dimensions and properties



มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Dimension	Thickness	Area	weight	Elastic Properties					
				Axis X - X			Axis Y - Y		
	t	A		$I \times 10^3$	$S \times 10^2$	r	$I \times 10^3$	$S \times 10^2$	r
	mm.	$mm.^2$	kg./m.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.
50x25	1.2	169	1.34	55.1	22.1	18.0	18.7	15.0	10.5
	1.6	222	1.78	69.8	27.9	17.7	23.7	19.0	10.3
	1.8	247	2.01	75.8	30.3	17.5	25.9	20.7	10.2
	2.0	270	2.18	81.7	32.7	17.4	27.6	22.0	10.1
	2.3	310	2.44	93.1	37.2	17.3	31.0	24.8	10.0
75x38	1.6	346	2.75	254.6	67.9	27.1	89.0	46.8	16.0
	2.0	425	3.43	305.7	81.5	26.8	107.1	56.4	15.8
	2.3	485	3.81	346.0	92 3	26.7	120.0	63.0	15.7
	3.2	656	5.15	450.0	120.0	26.2	154.0	80.9	15.3
75x45	1.6	367	2.88	284.0	75.6	27.8	129.0	57.5	18.8
	2 3	517	4.06	389.0	104.0	27.4	176.0	78.2	18.4
	3.2	701	5.50	508.0	135.0	26.9	228.0	101.0	18.0
100x50	2.0	570	4.52	741.0	148.0	36.1	255.0	102.0	21.1
	2.3	655	5.17	848.0	170.0	36.0	290.0	116.0	21.0
	3.0	833	6.67	1050.0	209.0	35.4	356.0	142.0	20.7
	3.2	889	7.06	1110.0	222.5	35.3	377.0	151.0	20.6
125x75	2.3	885	6.95	1920.0	306.0	46.5	875.0	233 0	31.4
	3.2	1213	9.52	2570.0	411.0	46.0	1170.0	311.0	31.0
	4.0	1495	11.70	3110.0	497.0	45.6	1410.0	375 0	30.7

ตารางที่ ก-7 คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปตัดกลม

ROUND PIPE SHAPES

PIPE
Dimensions and properties

มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Dimensions				Weight	Elastic Properties			
Nominal Diameter	Outside Diameter	Inside Diameter	Wall Thickness		Area	Moment of Inertia	Modulus of Section	Radius of Gyration
mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.	$mm.^2$	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.
15	21.2	17 2	2.0	0.96	121	5619	530	6.8
20	26.7	22.7	2 0	1.24	155	11913	892	8.8
	26.7	22.1	2.3	1.40	176	13237	992	8.7
25	33.5	29.5	2 0	1.56	198	24647	1471	11.2
	33 5	28.9	2.3	1.80	226	27581	1647	11.0
40	48.1	43 5	2 3	2.63	331	86992	3617	16.2
	48.1	42.5	2.8	3.16	399	102605	4266	16.0
	48.3	41.9	3.2	3.56	454	115856	4797	16.0
50	59.9	55.3	2.3	3 30	416	172881	5772	20.4
	60.2	54.2	3.0	4.24	539	221086	7345	20.3
	60.2	53.8	3.2	4.52	573	233454	7756	20 2
	60.2	52.2	4.0	5.58	707	280235	9310	19 9
65	75.6	70.0	2 8	5.07	641	424868	11240	25.7
	75.6	69 2	3.2	5.71	728	477829	12641	25.6
	76.0	68.0	4 0	7.11	905	588106	15476	25 5
80	88 3	82.7	2 8	5 96	752	687989	15583	30.2
	88.3	81.9	3.2	6 72	856	775554	17566	30.1
	88.8	80.8	4.0	8.38	1066	960002	21622	30.0
90	101.6	95.2	3 2	7 77	990	1198544	23593	34.8
	101.6	93.6	4.0	9.63	1227	1462843	28796	34.5
	101.6	91.6	5 0	11 90	1518	1774691	34935	34 2

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

ROUND PIPE SHAPES

PIPE
Dimensions and properties

มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Dimensions				Weight	Elastic Properties			
Nominal Diameter	Outside Diameter	Inside Diameter	Wall Thickness		Area	Moment of Inertia	Modulus of Section	Radius of Gyration
mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.	$mm.^2$	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.
100	113.5	107.1	3.2	8.77	1109	1687724	29740	39.0
	113.5	106.3	3.6	9.75	1243	1878542	33102	38.9
	114.1	105.1	4.5	12.20	1550	2330425	40849	38.8
	114.1	102.9	5.6	15.00	1910	2816386	49367	38.4
125	139.7	132.5	3.6	12.10	1540	3566483	51059	48.1
	139.7	131.7	4.0	13.40	1706	3928586	56243	48.0
	139.7	130.7	4.5	15.00	1912	4372028	62592	47.8
	139.7	127.7	6.0	19.80	2521	5642593	80782	47.3
150	165.2	156.2	4.5	17.80	2273	7339392	88855	56.8
	165.2	155.2	5.0	19.80	2517	8080531	97827	56.7
	165.2	153.2	6.0	23.60	3002	9520426	115259	56.3
	165.2	151.2	7.0	27.30	3480	10905020	132022	56.0
175	190.7	181.7	4.5	20.70	2632	11414704	119714	65.9
	190.7	180.7	5.0	22.90	2917	12582877	131965	65.7
	190.7	178.7	6.0	27.30	3482	14861735	155865	65.3
	190.7	176.7	7.0	31.70	4040	17065349	178976	65.0
200	216.3	207.3	4.5	23.50	2994	16797548	155317	74.9
	216.3	204.3	6.0	31.10	3964	21932188	202794	74.4
	216.3	202.3	7.0	36.10	4603	25231946	233305	74.0
	216.3	200.3	8.0	41.10	5235	28435276	262924	73.7
250	267.4	255.4	6.0	38.70	4927	42107191	314938	92.4
	267.4	253.4	7.0	45.00	5727	48572921	363298	92.1
	267.4	251.4	8.0	51.20	6519	54887354	410526	91.8
	267.4	249.4	9.0	57.40	7306	61052870	456641	91.4

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

ROUND PIPE SHAPES

PIPE
Dimensions and properties

มาตรฐาน TIS. และ JIS.

Dimensions				Weight	Elastic Properties			
Nominal Diameter	Outside Diameter	Inside Diameter	Wall Thickness		Area	Moment of Inertia	Modulus of Section	Radius of Gyration
mm.	mm.	mm.	mm.	kg./m.	$mm.^2$	$mm.^4$	$mm.^3$	mm.
300	318.5	306.5	6.0	46.20	5891	71931796	451691	110.5
	318.5	304.5	7.0	53.80	6850	83128696	522001	110.2
	318.5	302.5	8.0	61.30	7804	94107128	590940	109.8
	318.5	300.5	9.0	68.70	8751	104869953	658524	109.5
350	355.6	343.0	6.3	54.30	6913	105471975	593206	123.5
	355.6	339.6	8.0	68.60	8736	132013635	742484	122.9
	355.6	337.6	9.0	76.90	9800	147258520	828226	122.6
	355.6	331.6	12.0	102.00	12950	191394574	1076460	121.6
400	406.4	388.4	9.0	88.20	11240	221926062	1092156	140.5
	406.4	382.4	12 0	117.00	14870	289369891	1424064	139.5
	406.4	374.4	16.0	154.00	19620	374487893	1842952	138.2
	406.4	368.4	19.0	182.00	23120	434845888	2139990	137.1
450	457.2	439.2	9.0	99.50	12670	318341065	1392568	158.5
	457.2	433.2	12.0	132.00	16780	416122927	1820310	157.5
	457.2	425.2	16.0	174.00	22180	540327152	2363636	156.1
	457.2	419.2	19.0	205.00	26160	628993207	2751501	155.1
500	508.0	490.0	9.0	111.00	14110	439283528	1729463	176.4
	508.0	484.0	12.0	147.00	18700	575360343	2265198	175.4
	508.0	480.0	14.0	171.00	21730	663310801	2611460	174.7
	508.0	476.0	16.0	194.00	24730	749089767	2949172	174.0
	508 0	470.0	19.0	229.00	29190	873765425	3440021	173 0

ภาคผนวก ข

ตาราง Design Stress for Compression Members

ตารางที่ ข-1 อัตราส่วนความชะลูดกับหน่วยแรงเค้นอัดของเหล็กชั้นคุณภาพ Fe24

ตาราง Design Stress for Compression members

เหล็กชั้นคุณภาพ Fe 24 (มอก.) , ϕc = 0.85

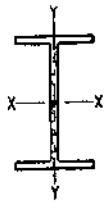
$\frac{KL}{r}$	$\phi cFcr$ (MPa)	$\frac{KL}{r}$	$\phi cFcr$ (MPa)	$\frac{KL}{r}$	$\phi cFcr$ (MPa)	$\frac{KL}{r}$	$\phi cFcr$ (MPa)	$\frac{KL}{r}$	$\phi cFcr$ (MPa)
1	199.74	41	183.70	81	144.05	121	96.30	161	56.77
2	199.71	42	182.94	82	142.88	122	95.15	162	56.07
3	199.66	43	182.17	83	141.71	123	93.99	163	55.38
4	199.59	44	181.38	84	140.54	124	92.84	164	54.71
5	199.50	45	180.58	85	139.36	125	91.70	165	54.05
6	199.39	46	179.76	86	138.18	126	90.56	166	53.40
7	199.26	47	178.93	87	136.99	127	89.42	167	52.76
8	199.11	48	178.08	88	135.80	128	88.29	168	52.14
9	198.95	49	177.23	89	134.61	129	87.17	169	51.52
10	198.76	50	176.35	90	133.41	130	86.05	170	50.92
11	198.55	51	175.47	91	132.21	131	84.94	171	50.32
12	198.32	52	174.57	92	131.01	132	83.83	172	49.74
13	198.07	53	173.66	93	129.81	133	82.73	173	49.17
14	197.81	54	172.74	94	128.61	134	81.64	174	48.60
15	197.52	55	171.80	95	127.40	135	80.55	175	48.05
16	197.22	56	170.85	96	126.20	136	79.47	176	47.50
17	196.89	57	169.89	97	124.99	137	78.40	177	46.97
18	196.55	58	168.92	98	123.78	138	77.27	178	46.44
19	196.19	59	167.94	99	122.57	139	76.16	179	45.92
20	195.81	60	166.95	100	121.36	140	75.07	180	45.42

ภาคผนวก ค

ตาราง Design Axial Strength

ตารางที่ ค-1 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดปีกกว้าง

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

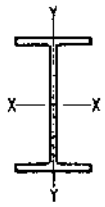
Designation		W 100				W 125				W 150			
kg./m.		9.3		17.2		13.2		23.8		14.0		21.1	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	237	296	437	547	336	421	605	757	357	446	536	671
	0.25	231	287	435	544	330	412	603	754	353	440	533	666
	0.50	214	262	429	533	313	385	598	745	341	422	524	652
	0.75	189	224	418	517	286	344	588	730	322	393	510	630
	1.00	159	180	403	494	253	294	575	710	298	356	491	600
	1.25	127	136	385	467	215	241	559	685	269	313	467	564
	1.50	97	97	364	435	177	188	539	655	237	268	439	523
	1.75	71	71	341	400	140	141	517	622	205	223	409	477
	2.00	55	55	316	364	108	108	493	585	173	180	376	430
	2.25			289	326	85	85	466	547	143	143	342	382
	2.50			263	289	69	69	439	506	116	116	308	335
	2.75			236	253			410	465	96	96	274	290
	3.00			210	218			381	424	80	80	241	246
	3.25			185	186			351	383	69	69	210	210
	3.50			160	160			322	344			181	181
	3.75			140	140			293	306			158	158
	4.00			123	123			266	270			139	139
	4.25			109	109			239	239			123	123
	4.50			97	97			213	213			110	110
	4.75			87	87			191	191				
	5.00							173	173				
	5.25							157	157				
	5.50							143	143				
	5.75							130	130				
	6.00							120	120				

Properties

A (mm.^{2})	1185	2190	1684	3031	1785	2684
Ix (mm.^{4})	1870000	3830000	4130000	8470000	6660000	10200000
Iy (mm.^{4})	148000	1340000	292000	2930000	495000	1510000
ry (mm.)	11.2	24.7	13.2	31.1	16.6	23.7

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

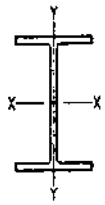
Designation		W 150		W 175				W 200					
kg./m.		31.5		18.1		40.2		18.2		21.3		30.6	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	802	1003	460	576	1023	1280	463	579	543	679	779	975
	1.25	759	936	383	458	982	1216	395	475	463	557	734	905
	1.50	740	908	353	414	965	1190	368	435	432	511	715	875
	1.75	719	876	321	367	945	1159	339	392	398	461	693	842
	2.00	696	840	288	320	922	1124	308	348	362	409	669	805
	2.25	670	801	254	274	897	1086	276	304	325	358	642	765
	2.50	643	760	221	230	870	1045	245	261	288	308	614	723
	2.75	613	717	189	190	840	1001	214	220	253	260	584	679
	3.00	583	673	160	160	810	955	185	185	218	219	552	634
	3.25	551	628	136	136	777	908	158	158	186	186	520	588
	3.50	519	583	117	117	744	859	136	136	161	161	488	543
	3.75	487	538	102	102	710	810	118	118	140	140	455	498
	4.00	455	494	90	90	675	761	104	104	123	123	423	453
	4.25	423	450			640	712	92	92	109	109	391	411
	4.50	391	409			605	663					359	369
	4.75	360	368			569	615					329	332
	5.00	331	332			534	568					299	299
	5.25	301	301			500	523					271	271
	5.50	275	275			466	478					247	247
	5.75	251	251			433	437					226	226
	6.00	231	231			402	402					208	208
	6.50	197	197			342	342					177	177
	7.00	170	170			295	295					153	153
	7.50	148	148			257	257						
	8.00					226	226						

Properties

A ($mm.^2$)	4014	2304	5121	2318	2716	3901
Ix ($mm.^4$)	16400000	12100000	28800000	15800000	18400000	26900000
Iy ($mm.^4$)	5630000	975000	9840000	1140000	1340000	5070000
ry (mm.)	37.5	20.6	43.8	22.1	22.2	36.1

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

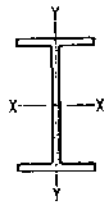
Designation		W 200						W 250					
kg./m.		49.9		56.2		65.7		29.6		44.1		64.4	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	1269	1588	1429	1788	1672	2091	752	941	1123	1405	1639	2051
	1.25	1230	1527	1383	1716	1623	2015	681	830	1074	1329	1604	1996
	1.50	1214	1502	1363	1685	1602	1983	651	786	1054	1297	1589	1972
	1.75	1194	1472	1340	1650	1578	1945	618	736	1029	1260	1571	1944
	2.00	1173	1438	1314	1610	1550	1902	582	683	1002	1219	1550	1913
	2.25	1148	1401	1285	1566	1519	1855	544	627	972	1173	1528	1877
	2.50	1121	1360	1254	1518	1485	1804	504	571	940	1125	1502	1839
	2.75	1093	1317	1220	1466	1449	1748	464	514	905	1073	1475	1797
	3.00	1062	1271	1184	1412	1410	1690	423	458	869	1019	1446	1753
	3.25	1030	1223	1145	1356	1369	1628	383	404	831	964	1415	1706
	3.50	996	1173	1106	1297	1326	1565	343	352	792	908	1382	1656
	3.75	961	1121	1065	1237	1281	1499	306	307	752	851	1347	1605
	4.00	925	1069	1022	1176	1235	1432	270	270	712	794	1312	1552
	4.50	850	962	935	1052	1139	1295	213	213	631	682	1236	1441
	5.00	774	855	847	929	1041	1157	173	173	551	576	1157	1326
	5.50	698	751	759	810	943	1022	143	143	474	478	1075	1210
	6.00	623	652	673	696	846	891			402	402	993	1095
	6.50	550	558	590	593	751	767			342	342	910	982
	7.00	481	481	512	512	661	661			295	295	828	873
	7.50	419	419	446	446	576	576			257	257	749	768
	8.00	368	368	392	392	506	506			226	226	672	675
	8.50	326	326	347	347	449	449					598	598
	9.00	291	291	309	309	400	400					533	533
	9.50	261	261	278	278	359	359					478	478
	10.00	236	236			324	324					432	432

Properties

A (mm.^{2})	6353	7153	8369	3766	5624	8206
Ix (mm.^{4})	47200000	49800000	65300000	40500000	61200000	87900000
Iy (mm.^{4})	16000000	17000000	22000000	2940000	9840000	29400000
ry (mm.)	50.2	48.8	51.3	27.9	41.8	59.8

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

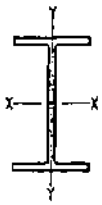
Designation		W 250						W 300					
kg./m.		66.5		72.4		82.2		56.8		65.4		84.5	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	1692	2117	1841	2304	2091	2616	1446	1809	1645	2058	2151	2691
	2.25	1587	1954	1728	2127	1954	2403	1290	1569	1472	1792	2048	2531
	2.50	1564	1918	1702	2088	1923	2356	1256	1517	1435	1734	2025	2494
	2.75	1538	1879	1674	2045	1889	2304	1220	1462	1394	1673	1999	2455
	3.00	1511	1837	1644	1999	1853	2249	1181	1405	1351	1608	1971	2412
	3.25	1481	1792	1612	1950	1815	2191	1140	1344	1305	1541	1941	2367
	3.50	1450	1745	1578	1899	1774	2130	1098	1282	1258	1471	1910	2319
	3.75	1417	1696	1542	1846	1731	2066	1054	1218	1209	1400	1876	2268
	4.00	1383	1645	1505	1790	1687	1999	1009	1154	1159	1328	1841	2216
	4.50	1311	1538	1427	1674	1593	1862	917	1024	1056	1182	1767	2104
	5.00	1235	1427	1344	1554	1495	1719	825	896	952	1038	1687	1986
	5.50	1156	1314	1258	1430	1393	1574	733	773	848	899	1603	1863
	6.00	1075	1200	1170	1306	1289	1429	644	656	748	766	1516	1737
	6.50	994	1068	1081	1184	1186	1286	559	559	652	653	1427	1610
	7.00	913	978	993	1064	1083	1148	482	482	563	563	1336	1483
	7.50	833	872	907	949	982	1016	420	420	490	490	1245	1358
	8.00	756	770	822	839	885	893	369	369	431	431	1155	1236
	8.50	681	682	741	743	791	791	327	327	382	382	1066	1118
	9.00	609	609	663	663	705	705	292	292	340	340	979	1003
	9.50	546	546	595	595	633	633			306	306	895	900
	10.00	493	493	537	537	571	571					812	812
	10.50	447	447	487	487	518	518					737	737
	11.00	408	408	444	444	472	472					671	671
	11.50	373	373	406	406	432	432					614	614
	12.00	342	342	373	373	397	397					564	564

Properties

A (mm.^{2})	8470	9218	10470	7238	8236	10770
Ix (mm.^{4})	99300000	108000000	115000000	113000000	133000000	169000000
Iy (mm.^{4})	33500000	36500000	38800000	16000000	19000000	55200000
ry (mm.)	62.9	62.9	60.9	47.1	47.7	71.6

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Fe 24 . Fy = 235 MPa
Fe 30 . Fy = 294 MPa



COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

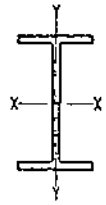
Designation		W 300						W 350					
kg./m.		87.0		94.0		106.0		106.0		115.0		131.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	2213	2769	2393	2994	2693	3369	2703	3381	2916	3649	3328	4163
	2.50	2094	2584	2264	2794	2538	3129	2584	3197	2801	3469	3185	3941
	3.00	2044	2507	2210	2710	2473	3028	2533	3119	2752	3392	3124	3847
	3.50	1986	2418	2148	2615	2398	2914	2475	3029	2694	3304	3054	3739
	4.00	1921	2320	2078	2509	2315	2788	2409	2928	2630	3206	2975	3618
	4.50	1851	2214	2001	2393	2223	2651	2337	2819	2559	3097	2887	3486
	5.00	1775	2100	1919	2271	2126	2506	2258	2701	2481	2981	2793	3343
	5.50	1694	1982	1832	2143	2023	2355	2175	2577	2398	2857	2692	3193
	6.00	1610	1860	1741	2011	1916	2201	2087	2447	2311	2727	2585	3036
	6.50	1524	1736	1648	1877	1806	2044	1995	2313	2219	2593	2475	2874
	7.00	1436	1611	1552	1742	1694	1887	1901	2177	2125	2455	2360	2709
	7.50	1346	1487	1456	1608	1582	1732	1804	2040	2027	2315	2243	2542
	8.00	1257	1365	1359	1476	1470	1580	1707	1903	1928	2174	2125	2375
	8.50	1169	1246	1264	1347	1360	1433	1609	1767	1828	2034	2005	2209
	9.00	1082	1131	1170	1223	1252	1291	1511	1633	1728	1895	1886	2046
	9.50	997	1019	1078	1102	1147	1158	1414	1503	1627	1759	1767	1886
	10.00	915	920	989	994	1045	1045	1318	1377	1528	1625	1651	1732
	10.50	834	834	902	902	948	948	1224	1253	1430	1496	1536	1580
	11.00	760	760	822	822	864	864	1133	1142	1334	1369	1425	1440
	11.50	695	695	752	752	791	791	1045	1045	1240	1252	1317	1317
	12.00	639	639	690	690	726	726	959	959	1150	1150	1210	1210
	12.50	589	589	636	636	669	669	884	884	1060	1060	1115	1115
	13.00	544	544	588	588	619	619	817	817	980	980	1031	1031
	13.50	505	505	546	546	574	574	758	758	909	909	956	956
	14.00	469	469	507	507	533	533	705	705	845	845	889	889

Properties

A (mm.^{2})	11080	11980	13480	13530	14600	16660
Ix (mm.^{4})	188000000	204000000	215000000	282000000	333000000	353000000
Iy (mm.^{4})	62400000	67500000	71000000	93800000	112000000	118000000
ry (mm.)	75.1	75.1	72.6	83.3	87.8	84.3

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

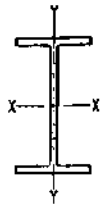
Designation		W 350						W 400					
kg./m.		137.0		156.0		159.0		94.3		107.0		140.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	3474	4346	3963	4958	4035	5048	2399	3001	2717	3399	3566	4461
	2.50	3338	4134	3797	4700	3879	4806	2280	2816	2562	3158	3446	4274
	3.00	3280	4045	3726	4590	3813	4703	2229	2738	2496	3057	3394	4194
	3.50	3213	3941	3644	4464	3736	4584	2171	2648	2421	2943	3334	4102
	4.00	3137	3825	3552	4323	3649	4451	2105	2549	2337	2816	3266	3998
	4.50	3053	3698	3450	4168	3552	4304	2033	2440	2246	2678	3191	3883
	5.00	2962	3560	3339	4002	3448	4146	1956	2325	2148	2533	3109	3759
	5.50	2864	3414	3222	3826	3336	3979	1874	2203	2044	2381	3021	3626
	6.00	2761	3261	3097	3642	3217	3803	1788	2077	1937	2225	2928	3486
	6.50	2653	3102	2967	3452	3093	3620	1699	1949	1826	2068	2829	3340
	7.00	2542	2940	2833	3258	2965	3433	1608	1819	1714	1910	2727	3189
	7.50	2427	2775	2696	3062	2832	3242	1515	1689	1601	1754	2620	3034
	8.00	2310	2608	2557	2865	2698	3050	1422	1560	1488	1601	2512	2878
	8.50	2191	2442	2416	2670	2561	2859	1330	1434	1377	1453	2401	2719
	9.00	2072	2277	2276	2477	2424	2668	1238	1312	1268	1309	2288	2561
	9.50	1954	2115	2136	2288	2287	2481	1148	1193	1163	1175	2175	2404
	10.00	1836	1957	1998	2105	2151	2298	1060	1078	1061	1061	2062	2249
	10.50	1720	1803	1863	1927	2017	2120	975	978	962	962	1950	2096
	11.00	1606	1653	1730	1756	1885	1946	891	891	877	877	1838	1947
	11.50	1495	1512	1602	1606	1756	1780	815	815	802	802	1728	1803
	12.00	1387	1389	1475	1475	1631	1635	749	749	737	737	1621	1660
	12.50	1280	1280	1359	1359	1507	1507	690	690	679	679	1516	1530
	13.00	1183	1183	1257	1257	1393	1393	638	638	628	628	1413	1414
	13.50	1097	1097	1166	1166	1292	1292	591	591	582	582	1312	1312
	14.00	1020	1020	1084	1084	1201	1201	550	550	541	541	1220	1220

Properties

A ($mm.^2$)	17390	19840	20200	12010	13600	17850
Ix ($mm.^4$)	403000000	428000000	476000000	337000000	387000000	490000000
Iy ($mm.^4$)	136000000	144000000	160000000	62400000	72100000	163000000
ry (mm.)	88.4	85.3	89.0	78.1	72.8	95.4

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

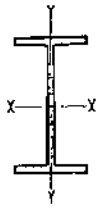
Designation		W 400									
kg./m.		147.0		168.0		172.0		197.0		200.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	3731	4668	4283	5358	4369	5465	5008	6265	5092	6370
	2.50	3619	4493	4142	5138	4237	5261	4846	6013	4939	6131
	3.00	3571	4418	4081	5045	4181	5173	4777	5906	4873	6029
	3.50	3515	4331	4011	4936	4115	5071	4696	5781	4796	5910
	4.00	3451	4233	3931	4814	4040	4956	4605	5641	4709	5777
	4.50	3380	4125	3843	4679	3957	4829	4503	5486	4612	5628
	5.00	3302	4007	3746	4532	3866	4691	4393	5318	4506	5467
	5.50	3219	3880	3643	4376	3768	4543	4273	5138	4392	5295
	6.00	3130	3746	3532	4210	3664	4386	4147	4948	4271	5112
	6.50	3036	3606	3416	4038	3554	4222	4013	4749	4142	4920
	7.00	2937	3460	3295	3860	3439	4051	3873	4543	4008	4722
	7.50	2835	3310	3170	3677	3319	3875	3729	4332	3868	4517
	8.00	2730	3157	3041	3491	3196	3696	3581	4118	3725	4308
	8.50	2622	3002	2909	3303	3069	3514	3429	3901	3578	4096
	9.00	2512	2846	2776	3115	2941	3331	3275	3683	3428	3883
	9.50	2401	2689	2642	2928	2811	3148	3120	3466	3276	3670
	10.00	2289	2534	2508	2743	2680	2966	2965	3252	3124	3457
	10.50	2178	2380	2374	2561	2549	2786	2810	3040	2971	3247
	11.00	2066	2228	2241	2383	2419	2609	2656	2833	2819	3041
	11.50	1956	2080	2110	2211	2290	2436	2504	2632	2669	2839
	12.00	1847	1936	1982	2040	2162	2267	2354	2435	2520	2642
	13.00	1634	1659	1734	1738	1913	1942	2065	2075	2230	2264
	14.00	1431	1431	1499	1499	1675	1675	1789	1789	1952	1952
	15.00	1246	1246	1306	1306	1459	1459	1559	1559	1701	1701
	16.00	1095	1095	1148	1148	1282	1282	1370	1370	1495	1495

Properties					
A ($mm.^2$)	18680	21440	21870	25070	25490
I_x ($mm.^4$)	561000000	597000000	666000000	709000000	780000000
I_y ($mm.^4$)	189000000	200000000	224000000	238000000	262000000
ry (mm.)	101.0	96.5	101.0	97.5	101.0

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa	
Fe 30 , Fy = 294 MPa	

COLUMNS
W shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)



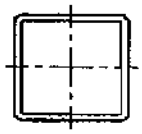
Designation		W 400				W 500				W 600	
kg./m.		232.0		283.0		114.0		128.0		175.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	5901	7382	7205	9014	2906	3636	3266	4086	4442	5558
	2.50	5727	7111	7000	8695	2718	3344	3067	3777	4161	5121
	3.00	5652	6994	6912	8558	2639	3223	2983	3649	4043	4940
	3.50	5564	6860	6810	8399	2549	3085	2887	3502	3908	4734
	4.00	5465	6707	6693	8220	2449	2934	2781	3341	3757	4507
	4.50	5355	6539	6563	8021	2340	2772	2664	3167	3594	4263
	5.00	5235	6355	6421	7804	2223	2601	2540	2983	3420	4006
	5.50	5105	6158	6268	7572	2102	2424	2409	2793	3237	3740
	6.00	4966	5950	6104	7325	1976	2244	2274	2598	3048	3469
	6.50	4820	5731	5931	7066	1848	2064	2136	2402	2855	3196
	7.00	4666	5504	5749	6796	1719	1885	1995	2206	2660	2926
	7.50	4507	5270	5560	6518	1591	1711	1855	2014	2466	2661
	8.00	4343	5031	5365	6233	1464	1542	1716	1827	2274	2404
	8.50	4175	4788	5165	5944	1340	1378	1580	1647	2086	2156
	9.00	4003	4544	4961	5651	1220	1229	1447	1472	1903	1924
	9.50	3830	4299	4754	5358	1103	1103	1318	1321	1726	1726
	10.00	3655	4055	4545	5065	996	996	1192	1192	1558	1558
	10.50	3480	3813	4336	4775	903	903	1082	1082	1413	1413
	11.00	3305	3575	4126	4488	823	823	985	985	1288	1288
	11.50	3132	3342	3918	4206	753	753	902	902	1178	1178
	12.00	2961	3115	3711	3931	692	692	828	828	1082	1082
	13.00	2626	2676	3307	3397	589	589	706	706	922	922
	14.00	2308	2307	2921	2929			608	608		
	15.00	2010	2010	2551	2551						
	16.00	1767	1767	2242	2242						

Properties

A ($mm.^2$)	29540	36070	14550	16350	22240
Ix ($mm.^4$)	928000000	1190000000	604000000	710000000	137000000
Iy ($mm.^4$)	310000000	394000000	67600000	81100000	106000000
ry (mm.)	102.0	104.0	68.2	70.4	69.0

ตารางที่ ค-2 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Fy = 235 MPa

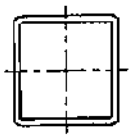


COLUMNS
Square tube shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal size		25x25			38x38			50x50	
Thickness		1.2	1.6	2.0	1.2	1.6	2.0	1.6	2.0
kg./m.		0.87	1.15	1.37	1.34	1.72	2.31	2.40	2.91
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	20	27	34	33	43	56	61	74
	0.25	19	26	33	32	42	55	60	73
	0.50	17	24	30	31	41	53	59	72
	0.75	15	20	25	29	38	49	56	69
	1.00	12	16	19	26	34	44	53	65
	1.25	9	11	14	23	30	39	49	60
	1.50	6	8	10	20	25	33	45	55
	1.75	5	6	7	16	21	27	41	49
	2.00				13	17	22	36	44
	2.25				11	13	17	31	38
	2.50				9	11	14	27	32
	2.75				7	9	12	23	27
	3.00							19	23
	3.25							16	19
	3.50							14	17
	3.75							12	15
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								
	5.25								
	5.50								
	5.75								
	6.00								
Properties									
A ($mm.^2$)		100	136	172	163	215	279	303	370
Ix ($mm.^4$)		9500	12300	14600	36000	46000	59300	117000	139000
Iy ($mm.^4$)		9500	12300	14600	36000	46000	59300	117000	139000
ry (mm.)		9.7	9.5	9.2	14.9	14.6	14.6	19.6	19.4

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

Fy = 235 MPa

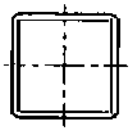


COLUMNS
Square tube shapes
Design axial strength in kN ($\varnothing$ = 0.85)

Nominal size		50x50		75x75		100x100			
Thickness		2.3	3.2	2.3	3.2	2.3	3.2	4.0	4.5
kg./m.		3.34	4.47	5.19	7.13	6.99	9.58	11.65	13.10
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	85	114	131	178	177	241	297	333
	0.25	84	113	130	178	176	241	297	332
	0.50	82	110	129	176	175	239	295	330
	0.75	79	105	127	173	174	237	292	327
	1.00	74	99	124	168	171	233	288	322
	1.25	69	91	120	163	168	229	282	316
	1.50	63	83	115	156	165	224	276	309
	1.75	56	74	110	149	160	218	269	301
	2.00	50	65	104	141	156	212	261	291
	2.25	43	56	98	132	151	205	252	281
	2.50	37	47	91	123	145	197	242	270
	2.75	31	39	85	114	139	189	232	259
	3.00	26	33	78	105	133	180	221	247
	3.25	22	28	71	96	127	171	210	234
	3.50	19	24	65	87	120	162	199	222
	3.75	17	21	58	78	113	153	187	209
	4.00			52	70	107	144	175	196
	4.25			46	62	100	134	164	183
	4.50			41	55	93	125	153	170
	4.75			37	49	87	116	141	157
	5.00			34	45	80	107	130	145
	5.25			30	40	74	99	120	133
	5.50			28	37	68	90	110	121
	5.75			25	34	62	83	100	111
	6.00					57	76	92	102
Properties									
A (mm.^{2})		425	569	655	893	885	1207	1488	1667
Ix (mm.^{4})		159000	201000	571000	755000	1400000	1860000	2245000	2490000
Iy (mm.^{4})		159000	201000	571000	755000	1400000	1860000	2245000	2490000
ry (mm.)		19.3	18.8	29.5	29.1	39.7	39.2	38.9	38.7

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

Fy = 235 MPa

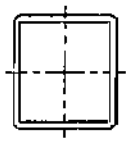


COLUMNS
Square tube shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal size		125x125				150x150		
Thickness		3.2	4.5	5.0	6.0	4.5	5.0	6.0
kg./m.		12.00	16.60	18.30	21.70	20.10	22.10	26.30
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	306	423	467	552	513	561	669
	1.25	297	409	451	534	501	549	653
	1.50	293	404	445	526	497	543	647
	1.75	288	397	437	517	491	537	639
	2.00	282	389	429	507	484	530	630
	2.25	276	381	419	495	477	522	621
	2.50	270	371	409	483	469	513	610
	2.75	263	361	398	469	460	503	598
	3.00	255	351	386	455	451	493	586
	3.25	247	339	373	440	441	482	573
	3.50	239	328	360	424	431	470	559
	3.75	230	315	347	408	420	458	544
	4.00	221	303	333	392	408	445	529
	4.50	203	277	304	357	384	419	497
	5.00	184	251	275	323	359	391	463
	5.50	166	225	246	288	333	362	429
	6.00	147	200	218	255	307	333	394
	6.50	130	175	191	223	281	305	360
	7.00	113	152	166	193	255	276	326
	7.50	98	132	144	168	230	249	293
	8.00	86	116	127	148	206	222	262
	8.50	77	103	112	131	183	197	232
	9.00	68	92	100	117	163	176	207
	9.50	61	83	90	105	146	158	185
	10.00					132	142	167
Properties								
A (mm.^{2})		1533	2117	2336	2763	2567	2810	3347
Ix (mm.^{4})		3760000	5060000	5530000	6410000	8960000	9700000	11360000
Iy (mm.^{4})		3760000	5060000	5530000	6410000	8960000	9700000	11360000
ry (mm.)		49.5	48.9	48.6	48.2	59.1	58.7	58.3

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

Fy = 294 MPa

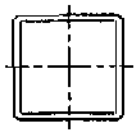


COLUMNS
Square tube shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal size		25x25			38x38			50x50	
Thickness		1.2	1.6	2.0	1.2	1.6	2.0	1.6	2.0
kg./m.		0.87	1.15	1.37	1.34	1.72	2.31	2.40	2.91
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	25	34	43	41	54	70	76	92
	0.25	24	33	41	40	53	68	75	92
	0.50	21	29	36	38	50	65	73	89
	0.75	17	23	28	35	46	59	69	84
	1.00	13	17	21	31	40	52	64	78
	1.25	9	12	14	26	34	44	59	71
	1.50	6	8	10	22	28	36	53	64
	1.75	5	6	7	17	22	28	46	56
	2.00				13	17	22	40	48
	2.25				11	13	17	33	40
	2.50				9	11	14	27	33
	2.75				7	9	12	23	27
	3.00							19	23
	3.25							16	19
	3.50							14	17
	3.75							12	15
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								
	5.25								
	5.50								
	5.75								
	6.00								
Properties									
A (mm.^{2})		100	136	172	163	215	279	303	370
Ix (mm.^{4})		9500	12300	14600	36000	46000	59300	117000	139000
Iy (mm.^{4})		9500	12300	14600	36000	46000	59300	117000	139000
ry (mm.)		9.7	9.5	9.2	14.9	14.6	14.6	19.6	19.4

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

Fy = 294 MPa

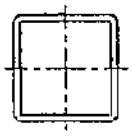


COLUMNS
Square tube shapes
Design axial strength in kN ($\varnothing$ = 0.85)

Nominal size		50x50		75x75		100x100		
Thickness		2.3	3.2	2.3	3.2	3.2	4.0	4.5
kg./m.		3.34	4.47	5.19	7.13	9.58	11.65	13.10
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	106	142	164	223	302	372	417
	0.25	105	141	163	222	301	371	416
	0.50	102	136	161	219	299	368	412
	0.75	97	129	157	214	295	363	407
	1.00	90	119	152	207	290	357	400
	1.25	82	108	146	199	283	349	390
	1.50	73	96	139	189	275	339	379
	1.75	64	83	131	178	266	328	367
	2.00	54	70	123	166	256	315	353
	2.25	46	58	114	154	246	302	337
	2.50	37	47	105	141	234	287	321
	2.75	31	39	95	128	222	272	304
	3.00	26	33	86	115	209	257	286
	3.25	22	28	77	103	197	241	268
	3.50	19	24	68	91	184	224	250
	3.75	17	21	60	79	170	208	232
	4.00			52	70	158	192	214
	4.25			46	62	145	177	196
	4.50			41	55	133	161	179
	4.75			37	49	121	147	163
	5.00			34	45	109	133	147
	5.25			30	40	99	120	133
	5.50			28	37	90	110	121
	5.75			25	34	83	100	111
	6.00					76	92	102
Properties								
A (mm.^{2})		425	569	655	893	1207	1488	1667
Ix (mm.^{4})		159000	201000	571000	755000	1860000	2245000	2490000
Iy (mm.^{4})		159000	201000	571000	755000	1860000	2245000	2490000
ry (mm.)		19.3	18.8	29.5	29.1	39.2	38.9	38.7

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

Fy = 294 MPa

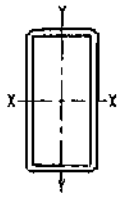


COLUMNS
Square tube shapes
Design axial strength in kN ($\varnothing$ = 0.85)

Nominal size		125x125				150x150		
Thickness		3.2	4.5	5.0	6.0	4.5	5.0	6.0
kg./m.		12.00	16.60	18.30	21.70	20.10	22.10	26.30
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	383	529	584	690	641	702	836
	1.25	368	508	560	662	624	683	813
	1.50	362	499	550	650	616	674	803
	1.75	354	488	538	636	607	664	791
	2.00	346	477	525	620	597	653	777
	2.25	337	464	511	603	586	641	762
	2.50	327	449	495	584	574	627	746
	2.75	316	434	478	564	560	612	728
	3.00	305	418	460	542	546	597	709
	3.25	293	402	442	520	531	580	689
	3.50	281	384	422	497	516	563	668
	3.75	268	367	403	473	499	544	646
	4.00	255	349	383	449	482	526	624
	4.50	229	312	342	401	447	487	577
	5.00	203	276	302	353	411	447	529
	5.50	177	240	263	307	374	406	480
	6.00	153	207	226	262	337	366	432
	6.50	131	176	192	224	302	327	385
	7.00	113	152	166	193	268	289	340
	7.50	98	132	144	168	235	253	298
	8.00	86	116	127	148	206	223	262
	8.50	77	103	112	131	183	197	232
	9.00	68	92	100	117	163	176	207
	9.50	61	83	90	105	146	158	185
	10.00					132	142	167
Properties								
A ($mm.^2$)		1533	2117	2336	2763	2567	2810	3347
Ix ($mm.^4$)		3760000	5060000	5530000	6410000	8960000	9700000	11360000
Iy ($mm.^4$)		3760000	5060000	5530000	6410000	8960000	9700000	11360000
ry (mm.)		49.5	48.9	48.6	48.2	59.1	58.7	58.3

ตารางที่ ค-3 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า

Fy = 235 MPa

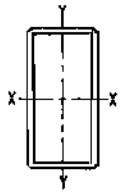


COLUMNS
Rectangular tube shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal size		50x25					75x38		
Thickness		1.2	1.6	1.8	2.0	2.3	2.0	2.3	3.2
kg./m.		1.34	1.78	2.01	2.18	2.44	3.43	3.81	5.15
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	34	44	49	54	62	85	97	131
	0.25	33	43	48	52	60	84	96	129
	0.50	30	39	44	48	55	81	92	124
	0.75	26	34	38	41	47	76	86	116
	1.00	21	28	31	33	38	70	79	106
	1.25	17	21	23	25	28	62	71	94
	1.50	12	15	17	18	20	54	61	81
	1.75	9	11	12	13	15	46	52	68
	2.00	7	9	9	10	11	38	43	56
	2.25						31	35	45
	2.50						25	28	36
	2.75						21	23	30
	3.00						17	20	25
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								
	5.25								
	5.50								
	5.75								
	6.00								
Properties									
A (mm.^{2})		169	222	247	270	310	425	485	656
Ix (mm.^{4})		55100	69800	75800	81700	93100	305700	346000	450000
Iy (mm.^{4})		18700	23700	25900	27600	31000	107100	120000	154000
ry (mm.)		10.5	10.3	10.2	10.1	10.0	15.8	15.7	15.3

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

Fy = 235 MPa

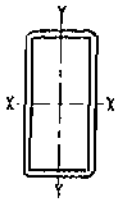


COLUMNS
Rectangular tube shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal size		75x45		100x50			125x75	
Thickness		2.3	3.2	2.3	3.0	3.2	3.2	4.0
kg./m.		4.06	5.50	5.17	6.67	7.06	9.52	11.70
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	103	140	131	166	178	242	299
	0.25	102	139	130	165	176	242	298
	0.50	100	135	127	162	172	239	295
	0.75	95	128	123	156	166	235	290
	1.00	89	120	117	148	158	230	283
	1.25	82	110	110	139	148	223	275
	1.50	74	99	101	128	136	216	265
	1.75	66	87	93	117	124	207	254
	2.00	57	76	83	104	111	197	242
	2.25	49	64	74	92	98	186	229
	2.50	41	53	65	80	85	175	215
	2.75	34	44	56	69	73	164	200
	3.00	29	37	47	58	62	152	186
	3.25	24	32	40	50	53	140	171
	3.50	21	27	35	43	45	128	156
	3.75			30	37	39	117	142
	4.00			27	33	35	106	128
	4.25						95	115
	4.50						85	102
	4.75						76	92
	5.00						69	83
	5.25						62	75
	5.50						57	69
	5.75						52	63
	6.00						48	58
Properties								
A (mm.^{2})		517	701	655	833	889	1213	1495
Ix (mm.^{4})		389000	508000	848000	1050000	1110000	2570000	3110000
Iy (mm.^{4})		176000	228000	290000	356000	377000	1170000	1410000
ry (mm.)		18.4	18.0	21.0	20.7	20.6	31.0	30.7

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

Fy = 294 MPa

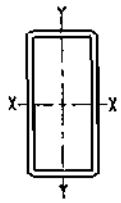


COLUMNS
Rectangular tube shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal size		50x25				75x38		
Thickness		1.6	1.8	2.0	2.3	2.0	2.3	3.2
kg./m.		1.78	2.01	2.18	2.44	3.43	3.81	5.15
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	55	62	67	77	106	121	164
	0.25	53	59	65	75	105	119	161
	0.50	48	53	58	66	100	114	153
	0.75	40	44	48	55	92	105	141
	1.00	31	34	37	42	83	94	126
	1.25	22	24	26	29	72	82	108
	1.50	15	17	18	20	61	69	90
	1.75	11	12	13	15	49	56	73
	2.00	9	9	10	11	39	44	56
	2.25					31	35	45
	2.50					25	28	36
	2.75					21	23	30
	3.00					17	20	25
	3.25							
	3.50							
	3.75							
	4.00							
	4.25							
	4.50							
	4.75							
	5.00							
	5.25							
	5.50							
	5.75							
	6.00							
Properties								
A (mm.^{2})		222	247	270	310	425	485	656
Ix (mm.^{4})		69800	75800	81700	93100	305700	346000	450000
Iy (mm.^{4})		23700	25900	27600	31000	107100	120000	154000
ry (mm.)		10.3	10.2	10.1	10.0	15.8	15.7	15.3

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

Fy = 294 MPa



COLUMNS
Rectangular tube shapes
Design axial strength in kN ($\varnothing$ = 0.85)

Nominal size		75x45		100x50		125x75	
Thickness		2.3	3.2	3.0	3.2	3.2	4.0
kg./m.		4.06	5.50	6.67	7.06	9.52	11.70
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	129	175	208	222	303	374
	0.25	128	173	206	220	302	372
	0.50	123	167	201	214	298	367
	0.75	116	157	192	205	292	360
	1.00	107	145	180	192	284	350
	1.25	97	130	166	177	274	337
	1.50	85	114	150	160	262	322
	1.75	74	97	133	142	249	305
	2.00	62	81	116	123	234	287
	2.25	51	66	100	106	218	267
	2.50	41	53	84	89	202	247
	2.75	34	44	69	73	186	227
	3.00	29	37	58	62	169	206
	3.25	24	32	50	53	153	186
	3.50	21	27	43	45	137	166
	3.75			37	39	122	147
	4.00			33	35	107	130
	4.25					95	115
	4.50					85	102
	4.75					76	92
	5.00					69	83
	5.25					62	75
	5.50					57	69
	5.75					52	63
	6.00					48	58
Properties							
A (mm.^{2})		517	701	833	889	1213	1495
Ix (mm.^{4})		389000	508000	1050000	1110000	2570000	3110000
Iy (mm.^{4})		176000	228000	356000	377000	1170000	1410000
ry (mm.)		18.4	18.0	20.7	20.6	31.0	30.7

ตารางที่ ค-4 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดท่อกลม

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		15		20				25				40	
Thickness		2.0		2.0		2.3		2.0		2.3		2.3	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	24	30	31	39	35	44	40	49	45	56	66	83
	0.25	23	28	30	37	34	42	39	48	44	55	65	81
	0.50	18	22	26	32	30	36	36	44	41	50	63	78
	0.75	13	14	22	25	24	28	32	37	36	42	59	72
	1.00	8	8	16	17	18	19	27	30	30	34	55	65
	1.25	5	5	11	11	13	13	21	23	24	25	49	57
	1.50			8	8	9	9	16	16	18	18	43	48
	1.75			6	6			12	12	13	13	37	40
	2.00							9	9	10	10	31	32
	2.25											25	25
	2.50											20	20
	2.75											17	17
	3.00											14	14
	3.25												
	3.50												
	3.75												
	4.00												
	4.25												
	4.50												
	4.75												
	5.00												
	5.25												
	5.50												
	5.75												
	6.00												

Properties

A (mm.^{2})	121	155	176	198	226	331
Ix (mm.^{4})	5619	11913	13237	24647	27581	86992
Iy (mm.^{4})	5619	11913	13237	24647	27581	86992
ry (mm.)	6.8	8.8	8.7	11.2	11.0	16.2

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

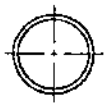
Nominal dia.		40				50							
Thickness		2.8		3.2		2.3		3.0		3.2		4.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	80	100	91	113	83	104	108	135	114	143	141	177
	0.25	79	98	90	112	82	103	107	133	114	142	140	175
	0.50	76	94	86	107	81	100	104	130	111	138	137	170
	0.75	71	87	81	99	78	96	101	124	107	131	132	162
	1.00	66	78	75	89	74	89	95	116	101	123	125	151
	1.25	59	68	67	78	69	82	89	106	95	113	116	138
	1.50	51	58	59	66	63	74	82	96	87	102	106	124
	1.75	44	47	50	54	58	66	74	85	79	90	96	109
	2.00	37	38	42	43	51	57	66	74	70	78	85	94
	2.25	30	30	34	34	45	49	58	63	62	66	75	80
	2.50	24	24	27	27	39	41	51	52	53	55	64	66
	2.75	20	20	23	23	34	34	43	43	45	45	54	54
	3.00	17	17	19	19	28	28	36	36	38	38	46	46
	3.25					24	24	31	31	33	33	39	39
	3.50					21	21	27	27	28	28	34	34
	3.75					18	18	23	23	24	24	29	29
	4.00					16	16	20	20	22	22		
	4.25												
	4.50												
	4.75												
	5.00												
	5.25												
	5.50												
	5.75												
	6.00												

Properties

A (mm.^{2})	399	454	416	539	573	707
Ix (mm.^{4})	102605	115856	172881	221086	233454	280235
Iy (mm.^{4})	102605	115856	172881	221086	233454	280235
ry (mm.)	16.0	16.0	20.4	20.3	20.2	19.9

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		65						80					
Thickness		2.8		3.2		4.0		2.8		3.2		4.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	128	160	145	182	181	226	150	188	171	214	213	266
	0.25	127	159	145	181	180	225	150	187	170	213	212	265
	0.50	126	156	143	178	177	221	148	185	169	210	210	262
	0.75	123	152	139	172	173	214	146	181	166	206	206	256
	1.00	119	146	135	165	167	205	142	176	162	200	201	249
	1.25	114	138	129	157	160	195	138	169	157	192	195	239
	1.50	108	130	123	147	152	182	133	161	151	183	188	228
	1.75	102	120	115	136	143	169	127	152	144	173	180	215
	2.00	95	110	107	124	133	154	121	143	137	162	171	202
	2.25	87	99	99	112	123	139	114	133	129	151	161	188
	2.50	80	89	90	100	112	124	107	123	121	139	151	173
	2.75	72	78	82	89	101	110	99	112	113	127	140	158
	3.00	65	69	73	77	91	95	92	102	104	115	129	143
	3.25	58	59	65	66	80	82	84	91	96	103	119	128
	3.50	51	51	57	57	71	71	77	81	87	92	108	114
	3.75	44	44	50	50	62	62	70	72	79	81	98	100
	4.00	39	39	44	44	54	54	63	63	71	71	88	88
	4.25	34	34	39	39	48	48	56	56	63	63	78	78
	4.50	31	31	35	35	43	43	50	50	56	56	70	70
	4.75	28	28	31	31	38	38	45	45	51	51	63	63
	5.00	25	25	28	28	35	35	40	40	46	46	56	56
	5.25							37	37	41	41	51	51
	5.50							33	33	38	38	47	47
	5.75							31	31	35	35	43	43
	6.00							28	28	32	32	39	39

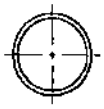
Properties

A (mm.^{2})	641	728	905	752	856	1066
Ix (mm.^{4})	424868	477829	588106	687989	775554	960002
Iy (mm.^{4})	424868	477829	588106	687989	775554	960002
ry (mm.)	25.7	25.6	25.5	30.2	30.1	30.0

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa

Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		90						100					
Thickness		3.2		4.0		5.0		3.2		3.6		4.5	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	198	247	245	307	303	379	222	277	248	311	310	387
	0.25	197	247	244	306	302	378	221	276	248	310	309	386
	0.50	196	244	243	303	300	374	220	274	246	307	307	383
	0.75	193	240	239	298	296	368	217	271	244	304	304	378
	1.00	190	235	235	291	291	360	214	266	240	298	300	372
	1.25	185	228	230	283	284	349	210	260	236	291	294	363
	1.50	180	220	223	273	276	336	206	253	231	283	287	353
	1.75	174	211	216	261	266	322	200	244	224	274	280	341
	2.00	168	201	207	249	256	307	194	235	218	263	271	328
	2.25	161	191	198	235	244	290	188	225	210	252	262	314
	2.50	153	179	189	221	232	272	181	215	202	240	252	299
	2.75	145	168	179	206	220	254	173	203	194	227	241	283
	3.00	137	156	168	191	207	235	165	192	185	214	230	267
	3.25	128	144	158	176	193	216	157	180	175	201	218	250
	3.50	119	132	147	161	180	197	148	168	166	188	206	233
	3.75	111	120	136	147	167	179	140	156	156	174	194	216
	4.00	102	109	125	133	153	162	131	144	147	161	182	200
	4.25	94	98	115	119	140	145	123	132	137	148	170	183
	4.50	86	87	105	106	128	129	114	121	127	135	158	167
	4.75	78	78	95	95	116	116	106	110	118	123	147	152
	5.00	71	71	86	86	105	105	98	99	109	111	135	137
	5.25	64	64	78	78	95	95	90	90	100	100	124	125
	5.50	58	58	71	71	86	86	82	82	91	91	114	114
	5.75	53	53	65	65	79	79	75	75	84	84	104	104
	6.00	49	49	60	60	73	73	69	69	77	77	95	95

Properties

A (mm.^{2})	990	1227	1518	1109	1243	1550
Ix (mm.^{4})	1198544	1462843	1774691	1687724	1878542	2330425
Iy (mm.^{4})	1198544	1462843	1774691	1687724	1878542	2330425
ry (mm.)	34 8	34.5	34.2	39.0	38.9	38.8

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		100		125								150	
Thickness		5.6		3.6		4.0		4.5		6.0		4.5	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	382	477	308	385	341	426	382	478	504	630	454	568
	1.25	362	447	297	369	329	409	369	458	486	603	443	551
	1.50	354	434	293	362	325	401	364	449	479	592	439	544
	1.75	344	419	288	354	319	392	357	440	470	578	433	535
	2.00	333	403	282	346	313	383	350	428	461	564	427	526
	2.25	322	385	276	336	305	372	342	416	450	547	420	515
	2.50	309	366	269	325	298	360	333	403	438	529	412	503
	2.75	295	347	261	314	289	347	324	389	426	510	404	491
	3.00	281	326	253	302	280	334	314	374	412	490	395	477
	3.25	267	305	245	290	271	320	303	358	398	469	386	463
	3.50	252	284	236	277	261	306	292	342	383	448	376	448
	3.75	237	263	227	263	251	291	281	326	368	426	365	433
	4.00	222	243	218	250	241	277	269	309	353	403	355	417
	4.25	207	222	208	237	231	262	258	292	337	381	344	401
	4.50	192	203	199	223	220	246	246	275	321	358	332	384
	4.75	178	184	189	210	209	232	233	258	305	336	320	367
	5.00	164	166	180	196	198	217	221	242	289	314	309	350
	5.25	150	150	170	183	188	202	209	225	273	292	297	333
	5.50	137	137	160	170	177	188	197	209	257	271	285	317
	5.75	125	125	151	158	167	174	186	194	241	251	272	300
	6.00	115	115	142	146	156	161	174	179	226	231	260	283
	6.50	98	98	124	124	137	137	152	152	197	196	236	251
	7.00	85	85	107	107	118	118	131	131	169	169	213	220
	7.50	74	74	93	93	103	103	114	114	148	148	190	192
	8.00			82	82	90	90	100	100	130	130	169	169

Properties

A (mm.^{2})	1910	1540	1706	1912	2521	2273
Ix (mm.^{4})	2816386	3566483	3928586	4372028	5642593	7339392
Iy (mm.^{4})	2816386	3566483	3928586	4372028	5642593	7339392
ry (mm.)	38.4	48.1	48.0	47.8	47.3	56.8

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		150						175					
Thickness		5.0		6.0		7.0		4.5		5.0		6.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	503	629	600	750	695	870	526	658	583	729	696	870
	1.25	491	610	585	727	678	843	516	643	572	713	683	850
	1.50	486	602	579	718	671	832	512	637	568	706	677	842
	1.75	479	593	571	706	662	818	508	629	562	697	671	832
	2.00	473	582	563	693	652	803	502	621	556	688	664	821
	2.25	465	570	554	679	641	786	496	612	550	678	656	808
	2.50	456	557	544	663	629	768	489	601	542	666	647	794
	2.75	447	543	532	647	616	748	482	590	534	654	637	779
	3.00	437	528	521	628	603	727	474	578	525	640	626	763
	3.25	427	513	508	609	588	705	466	565	516	626	615	746
	3.50	416	496	495	590	572	682	457	552	506	611	603	727
	3.75	404	479	481	569	556	658	447	538	495	595	590	708
	4.00	392	461	466	548	539	633	438	523	484	579	577	689
	4.50	367	425	436	504	504	581	417	492	461	544	549	647
	5.00	341	387	405	459	467	529	395	459	437	508	519	604
	5.50	315	350	373	414	430	477	372	426	411	471	488	559
	6.00	288	313	340	370	392	425	348	392	385	433	457	514
	6.50	261	277	309	327	355	375	324	359	358	396	425	469
	7.00	235	243	278	286	319	328	300	326	331	359	392	425
	7.50	210	212	248	249	284	285	276	293	304	324	360	382
	8.00	186	186	219	219	251	251	252	262	278	289	329	341
	8.50	165	165	194	194	222	222	229	233	253	256	299	302
	9.00	147	147	173	173	198	198	208	208	229	229	270	270
	9.50	132	132	155	155	178	178	186	186	205	205	242	242
	10.00	119	119	140	140	161	161	168	168	185	185	218	218

Properties

A (mm.^{2})	2517	3002	3480	2632	2917	3482
Ix (mm.^{4})	8080531	9520426	10905020	11414704	12582877	14861735
Iy (mm.^{4})	8080531	9520426	10905020	11414704	12582877	14861735
ry (mm.)	56.7	56.3	56.0	65.9	65.7	65.3

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		175		200								250	
Thickness		7.0		4.5		6.0		7.0		8.0		6.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	807	1010	598	748	792	991	919	1150	1046	1308	984	1231
	2.25	760	937	572	707	757	936	878	1086	998	1234	956	1187
	2.50	750	921	566	698	748	923	869	1071	987	1218	949	1176
	2.75	738	903	559	688	740	910	858	1055	976	1199	942	1165
	3.00	726	884	552	677	730	895	847	1038	963	1180	934	1153
	3.25	712	864	544	665	720	880	835	1020	949	1159	925	1140
	3.50	698	843	536	653	709	863	822	1001	935	1137	916	1126
	3.75	684	820	528	640	698	846	809	980	919	1113	907	1111
	4.00	668	797	519	626	686	827	795	959	903	1089	896	1095
	4.50	636	749	500	597	660	789	765	913	868	1037	874	1062
	5.00	601	698	479	567	632	748	732	865	831	982	851	1026
	5.50	565	646	457	535	603	705	698	815	792	924	825	987
	6.00	528	594	434	502	573	660	663	764	752	865	798	947
	6.50	490	541	411	468	541	616	626	711	710	806	769	904
	7.00	453	490	387	434	509	570	589	658	667	745	739	861
	7.50	416	440	363	400	477	526	551	606	624	686	709	817
	8.00	379	392	339	367	445	482	514	555	581	628	677	772
	8.50	344	348	315	335	413	439	476	505	539	571	646	727
	9.00	310	310	291	304	382	398	440	457	497	516	613	682
	9.50	278	278	268	274	351	358	404	411	457	464	581	637
	10.00	251	251	246	247	322	323	370	371	418	418	549	593
	10.50	228	228	224	224	293	293	336	336	380	380	517	550
	11.00	208	208	204	204	267	267	307	307	346	346	486	509
	11.50	190	190	187	187	244	244	280	280	316	316	455	468
	12.00	174	174	172	172	224	224	258	258	291	291	425	430

Properties

A ($mm.^2$)	4040	2994	3964	4603	5235	4927
Ix ($mm.^4$)	17065349	16797548	21932188	25231946	28435276	42107191
Iy ($mm.^4$)	17065349	16797548	21932188	25231946	28435276	42107191
ry (mm.)	65.0	74.9	74.4	74.0	73.7	92.4

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

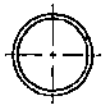
Nominal dia.		250						300					
Thickness		7.0		8.0		9.0		6.0		7.0		8.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	1144	1431	1302	1629	1459	1826	1177	1472	1368	1712	1559	1950
	2.50	1103	1367	1255	1555	1406	1743	1147	1426	1334	1658	1519	1888
	3.00	1085	1340	1235	1524	1383	1707	1134	1406	1319	1635	1502	1862
	3.50	1065	1308	1211	1488	1357	1666	1119	1383	1301	1607	1482	1831
	4.00	1041	1272	1185	1447	1327	1620	1102	1357	1281	1577	1459	1795
	4.50	1016	1233	1155	1402	1293	1570	1083	1328	1259	1543	1434	1756
	5.00	988	1191	1123	1354	1257	1515	1063	1296	1235	1506	1406	1714
	5.50	958	1146	1089	1302	1218	1457	1040	1261	1209	1466	1376	1668
	6.00	926	1098	1052	1248	1177	1396	1016	1225	1180	1423	1343	1619
	6.50	893	1049	1014	1192	1134	1332	990	1187	1151	1378	1309	1567
	7.00	858	998	975	1134	1090	1267	963	1146	1119	1331	1273	1514
	7.50	822	947	934	1075	1043	1200	935	1105	1086	1282	1235	1458
	8.00	785	894	892	1015	996	1132	906	1062	1052	1232	1197	1401
	8.50	748	842	849	955	948	1065	876	1018	1017	1181	1156	1342
	9.00	711	789	807	895	900	998	846	974	981	1129	1115	1283
	9.50	673	737	764	836	852	931	814	929	945	1077	1074	1223
	10.00	636	686	721	777	804	866	782	884	908	1025	1031	1163
	10.50	599	637	679	721	756	802	750	838	870	972	988	1103
	11.00	562	588	637	666	709	740	718	794	833	920	945	1043
	11.50	526	541	596	611	663	679	686	749	795	868	902	984
	12.00	491	496	556	561	618	624	654	706	758	817	860	926
	12.50	457	457	517	517	575	575	622	663	721	768	817	869
	13.00	423	423	478	478	531	531	590	621	684	719	775	814
	13.50	392	392	444	444	493	493	559	581	648	672	734	760
	14.00	365	365	412	412	458	458	529	540	612	625	693	706

Properties

A (mm.^{2})	5727	6519	7306	5891	6850	7804
Ix (mm.^{4})	48572921	54887354	61052870	71931796	83128696	94107128
Iy (mm.^{4})	48572921	54887354	61052870	71931796	83128696	94107128
ry (mm.)	92.1	91.8	91.4	110.5	110.2	109.8

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		300		350								400	
Thickness		9.0		6.3		8.0		9.0		12.0		9.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	1748	2187	1381	1728	1745	2183	1958	2449	2587	3236	2245	2809
	2.50	1703	2117	1353	1684	1709	2128	1917	2386	2533	3152	2210	2754
	3.00	1684	2087	1341	1665	1694	2104	1900	2359	2509	3116	2195	2730
	3.50	1661	2052	1327	1643	1676	2075	1880	2328	2482	3073	2177	2702
	4.00	1636	2012	1311	1618	1655	2044	1856	2292	2451	3025	2156	2670
	4.50	1607	1968	1292	1590	1632	2008	1830	2252	2416	2971	2133	2635
	5.00	1576	1920	1273	1560	1607	1969	1802	2208	2378	2912	2108	2596
	5.50	1542	1869	1251	1527	1579	1927	1771	2160	2336	2849	2080	2553
	6.00	1505	1814	1228	1491	1550	1882	1737	2109	2291	2780	2050	2507
	6.50	1467	1756	1203	1454	1518	1834	1702	2055	2243	2708	2018	2458
	7.00	1426	1695	1177	1414	1485	1783	1664	1999	2193	2632	1984	2406
	7.50	1384	1632	1149	1373	1449	1731	1625	1939	2140	2553	1948	2352
	8.00	1340	1568	1120	1330	1413	1676	1583	1878	2085	2471	1910	2295
	8.50	1295	1502	1091	1286	1375	1620	1541	1815	2028	2386	1871	2236
	9.00	1248	1435	1060	1241	1336	1563	1497	1750	1969	2300	1830	2175
	9.50	1201	1368	1028	1195	1296	1504	1451	1684	1908	2212	1788	2112
	10.00	1154	1300	996	1148	1255	1445	1405	1618	1847	2123	1744	2048
	10.50	1108	1233	963	1101	1213	1385	1358	1550	1784	2033	1700	1983
	11.00	1057	1166	930	1054	1171	1325	1311	1483	1721	1943	1654	1917
	11.50	1009	1100	896	1006	1128	1265	1263	1415	1657	1853	1608	1850
	12.00	961	1034	863	959	1085	1205	1214	1348	1592	1764	1561	1783
	13.00	866	908	795	866	999	1087	1118	1215	1464	1587	1465	1647
	14.00	774	788	728	775	914	972	1022	1086	1336	1416	1369	1513
	15.00	686	686	662	689	831	863	928	963	1212	1252	1272	1380
	16.00	603	603	598	606	750	758	838	847	1092	1101	1177	1251

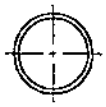
Properties

A (mm.^{2})	8751	6913	8736	9800	12950	11240
Ix (mm.^{4})	104869953	105471975	132013635	147258520	191394574	221926062
Iy (mm.^{4})	104869953	105471975	132013635	147258520	191394574	221926062
ry (mm.)	109.5	123.5	122.9	122.6	121.6	140.5

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa

Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		400						450					
Thickness		12.0		16.0		19.0		9.0		12.0		16.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	2970	3716	3919	4903	4618	5778	2531	3166	3352	4193	4430	5543
	2.50	2923	3642	3856	4804	4542	5659	2500	3118	3310	4128	4374	5455
	3.00	2903	3610	3828	4761	4509	5608	2486	3096	3292	4100	4350	5417
	3.50	2879	3573	3796	4711	4471	5548	2470	3071	3270	4066	4321	5372
	4.00	2851	3530	3759	4654	4426	5479	2452	3043	3246	4028	4288	5320
	4.50	2820	3483	3717	4589	4377	5402	2431	3011	3218	3985	4251	5263
	5.00	2786	3430	3672	4519	4322	5318	2408	2976	3188	3938	4210	5199
	5.50	2749	3373	3622	4442	4262	5226	2383	2937	3154	3886	4165	5130
	6.00	2709	3311	3568	4359	4198	5127	2356	2896	3118	3831	4116	5055
	6.50	2666	3246	3510	4271	4129	5022	2327	2851	3079	3771	4064	4975
	7.00	2620	3176	3449	4178	4056	4911	2296	2804	3038	3707	4008	4890
	7.50	2572	3103	3384	4081	3978	4794	2264	2754	2994	3641	3949	4800
	8.00	2521	3027	3316	3979	3898	4673	2229	2701	2947	3570	3887	4706
	8.50	2469	2948	3246	3873	3813	4547	2193	2647	2899	3497	3822	4607
	9.00	2414	2867	3173	3764	3726	4417	2155	2590	2848	3421	3754	4505
	9.50	2357	2783	3097	3652	3636	4283	2116	2531	2796	3342	3684	4400
	10.00	2299	2697	3019	3538	3543	4147	2075	2470	2742	3261	3611	4292
	10.50	2240	2610	2939	3421	3448	4008	2034	2408	2686	3179	3536	4181
	11.00	2179	2522	2858	3303	3351	3868	1991	2345	2629	3094	3459	4067
	11.50	2117	2433	2775	3184	3252	3726	1947	2280	2570	3008	3381	3952
	12.00	2054	2343	2692	3064	3153	3584	1902	2215	2510	2920	3300	3835
	13.00	1927	2163	2522	2824	2951	3299	1810	2082	2387	2742	3136	3597
	14.00	1798	1983	2350	2586	2747	3016	1716	1947	2261	2562	2967	3357
	15.00	1670	1807	2179	2352	2543	2739	1620	1812	2133	2382	2797	3117
	16.00	1542	1637	2010	2126	2343	2472	1523	1677	2004	2204	2625	2879

Properties

A ($mm.^2$)	14870	19620	23120	12670	16780	22180
Ix ($mm.^4$)	289369891	374487893	434845888	318341065	416122927	540327152
Iy ($mm.^4$)	289369891	374487893	434845888	318341065	416122927	540327152
ry (mm.)	139.5	138.2	137.1	158.5	157.5	156.1

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

COLUMNS
Round pipe shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.85)

Nominal dia.		450		500									
Thickness		19.0		9.0		12.0		14.0		16.0		19.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, ry	0	5225	6537	2818	3526	3735	4673	4341	5430	4940	6180	5831	7295
	2.50	5158	6432	2790	3482	3698	4614	4297	5361	4889	6101	5770	7200
	3.00	5129	6387	2778	3463	3681	4589	4277	5331	4867	6067	5744	7159
	3.50	5095	6333	2764	3441	3662	4559	4255	5296	4841	6026	5713	7111
	4.00	5055	6272	2747	3415	3640	4524	4229	5256	4811	5980	5677	7055
	4.50	5011	6203	2729	3386	3615	4485	4199	5210	4778	5928	5637	6993
	5.00	4962	6127	2708	3354	3587	4442	4167	5160	4741	5870	5593	6924
	5.50	4908	6044	2685	3319	3557	4395	4131	5105	4700	5807	5544	6849
	6.00	4850	5955	2661	3281	3524	4344	4093	5045	4656	5738	5491	6768
	6.50	4788	5859	2634	3240	3488	4290	4051	4981	4608	5665	5435	6680
	7.00	4721	5758	2606	3196	3450	4231	4007	4913	4557	5587	5374	6587
	7.50	4651	5651	2576	3150	3410	4170	3960	4841	4503	5504	5309	6488
	8.00	4577	5538	2544	3102	3368	4105	3910	4765	4446	5417	5241	6384
	8.50	4499	5421	2511	3051	3323	4037	3858	4685	4386	5326	5170	6275
	9.00	4418	5300	2476	2998	3276	3966	3803	4602	4323	5231	5095	6162
	9.50	4334	5174	2439	2943	3227	3892	3746	4516	4258	5132	5017	6044
	10.00	4248	5045	2401	2886	3177	3816	3687	4427	4190	5030	4936	5923
	10.50	4159	4913	2362	2827	3124	3738	3626	4335	4120	4925	4853	5798
	11.00	4067	4778	2322	2767	3071	3657	3562	4241	4048	4817	4767	5669
	11.50	3973	4640	2281	2705	3015	3575	3498	4145	3974	4707	4678	5538
	12.00	3878	4501	2238	2642	2958	3490	3431	4047	3897	4594	4588	5404
	13.00	3682	4219	2150	2513	2841	3318	3294	3845	3740	4364	4401	5130
	14.00	3482	3934	2059	2381	2719	3141	3152	3639	3578	4128	4207	4850
	15.00	3279	3649	1966	2247	2595	2962	3006	3430	3411	3889	4009	4565
	16.00	3075	3367	1871	2111	2467	2782	2858	3219	3241	3648	3807	4280

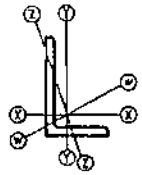
Properties

A ($mm.^2$)	26160	14110	18700	21730	24730	29190
Ix ($mm.^4$)	628993207	439283528	575360343	663310801	749089767	873765425
Iy ($mm.^4$)	628993207	439283528	575360343	663310801	749089767	873765425
ry (mm.)	155.1	176.4	175.4	174.7	174.0	173.0

ตารางที่ ค-5 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กรูปตัดฉาก

Fe 24 , Fy = 235 MPa

Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

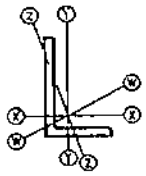
Nominal size	25x25		30x30		40x40				45x45			
Thickness	3.0		3.0		3.0		5.0		4.0		5.0	
Fy	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz												
0	30	38	37	46	49	59	79	99	74	92	91	114
0.25	26	32	33	41	47	55	75	93	71	88	87	108
0.50	18	19	25	29	40	46	65	77	63	76	77	93
0.75	9	9	16	16	31	34	50	55	51	59	63	72
1.00			9	9	22	23	35	35	39	41	47	50
1.25					15	15	22	22	27	27	33	33
1.50					10	10	16	16	19	19	23	23
1.75									14	14		
2.00												
2.25												
2.50												
2.75												
3.00												
3.25												
3.50												
3.75												
4.00												
4.25												
4.50												
4.75												
5.00												
5.25												
5.50												
5.75												
6.00												

Properties

A ($mm.^2$)	142.7	172.7	233.6	375.5	349.2	430.2
Ix ($mm.^4$)	7970	14200	35300	54200	65000	79100
Iy ($mm.^4$)	7970	14200	35300	54200	65000	79100
rz (mm.)	4.83	5.85	7.90	7.74	8.80	8.74

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

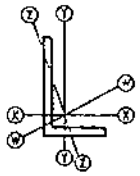
Nominal size		50x50						60x60				65x65	
Thickness		4.0		5.0		6.0		4.0		5.0		5.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz	0	82	100	102	127	119	149	94	112	123	152	135	162
	0.25	80	97	98	122	115	143	92	109	120	148	132	158
	0.50	72	86	89	108	104	126	87	101	112	136	125	148
	0.75	62	70	76	88	88	102	78	90	100	118	113	132
	1.00	49	54	60	66	70	76	67	75	86	98	99	112
	1.25	37	38	45	46	52	52	56	60	70	76	84	91
	1.50	26	26	32	32	36	36	44	46	55	56	68	71
	1.75	19	19	23	23	27	27	34	34	41	41	53	53
	2.00							26	26	31	31	41	41
	2.25							20	20	25	25	32	32
	2.50											26	26
	2.75												
	3.00												
	3.25												
	3.50												
	3.75												
	4.00												
	4.25												
	4.50												
	4.75												
	5.00												
	5.25												
	5.50												
	5.75												
	6.00												

Properties

A (mm.^{2})	389.2	480.2	564.4	469.4	580.2	636.7
Ix (mm.^{4})	90600	111000	126000	160000	196000	253000
Iy (mm.^{4})	90600	111000	126000	160000	196000	253000
rz (mm.)	9.83	9.76	9.63	11.90	11.80	12.80

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

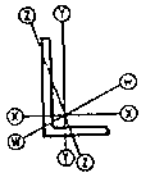
Nominal size	65x65				70x70		75x75					
Thickness	6.0		8.0		6.0		6.0		9.0		12.0	
Fy	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz												
0	159	199	206	258	172	215	185	225	268	336	350	438
0.25	156	194	202	252	169	211	182	221	264	330	345	430
0.50	147	181	191	234	161	198	174	210	253	312	330	406
0.75	134	160	173	206	148	178	162	193	235	284	306	370
1.00	117	135	150	173	132	154	147	171	212	250	275	324
1.25	98	109	125	138	114	128	129	146	185	211	241	274
1.50	79	83	101	105	95	102	111	121	157	172	204	223
1.75	62	62	77	77	76	78	92	96	130	135	168	175
2.00	47	47	59	59	59	59	74	74	104	104	134	134
2.25	37	37	47	47	47	47	59	59	82	82	106	106
2.50	30	30	38	38	38	38	48	48	67	67	86	86
2.75							39	39	55	55	71	71
3.00												
3.25												
3.50												
3.75												
4.00												
4.25												
4.50												
4.75												
5.00												
5.25												
5.50												
5.75												
6.00												

Properties

A (mm.^{2})	752.7	976.1	812.7	872.7	1269.0	1656.0
Ix (mm.^{4})	294000	368000	371000	461000	644000	819000
Iy (mm.^{4})	294000	368000	371000	461000	644000	819000
rz (mm.)	12.7	12.5	13.7	14.8	14.5	14.4

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

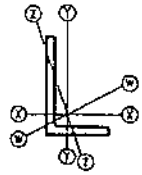
Nominal size		80x80		90x75		90x90							
Thickness		6.0		9.0		6.0		7.0		10.0		13.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz	0	196	235	297	371	212	252	258	312	360	450	459	574
	0.25	193	231	293	366	210	249	256	308	356	444	454	567
	0.50	186	221	282	348	204	241	248	297	345	427	440	545
	0.75	175	205	265	322	195	228	236	280	328	401	418	511
	1.00	161	185	242	288	182	211	220	257	305	366	389	466
	1.25	144	162	216	249	168	191	202	231	278	326	354	415
	1.50	125	137	187	209	151	169	181	203	248	283	316	360
	1.75	107	113	159	170	134	146	159	173	217	239	276	304
	2.00	89	91	131	133	117	124	137	145	186	197	236	250
	2.25	72	72	105	105	99	103	116	118	156	158	198	200
	2.50	58	58	85	85	83	83	95	95	128	128	162	162
	2.75	48	48	70	70	69	69	79	79	106	106	134	134
	3.00	40	40	59	59	58	58	66	66	89	89	112	112
	3.25					49	49	56	56	76	76	96	96
	3.50					43	43	49	49				
	3.75												
	4.00												
	4.25												
	4.50												
	4.75												
	5.00												
	5.25												
	5.50												
	5.75												
	6.00												

Properties

A (mm.^{2})	932.7	1404.0	1055.0	1222.0	1700.0	2171.0
Ix (mm.^{4})	564000	1090000	807000	930000	1250000	1560000
Iy (mm.^{4})	564000	681000	807000	930000	1250000	1560000
rz (mm.)	15.8	15.6	17.8	17.7	17.4	17.3

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa

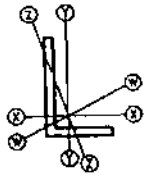


COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

Nominal size	100x75				100x100						120x120	
Thickness	7.0		10.0		7.0		10.0		13.0		8.0	
Fy	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz												
0	243	290	349	437	279	333	402	503	514	643	376	448
0.25	240	286	345	430	277	330	399	498	510	637	374	445
0.50	232	274	332	410	270	321	389	483	497	617	369	437
0.75	219	256	312	379	260	306	373	458	477	586	359	424
1.00	202	232	286	340	246	287	352	427	450	545	346	406
1.25	182	205	255	296	230	265	327	389	418	497	330	384
1.50	160	176	223	249	211	239	299	348	382	443	312	358
1.75	137	147	189	203	191	212	269	304	343	387	292	330
2.00	115	119	157	160	170	185	238	261	303	332	270	301
2.25	95	95	127	127	150	158	207	219	263	278	247	271
2.50	77	77	103	103	129	133	177	180	225	228	223	241
2.75	63	63	85	85	110	110	149	149	188	188	200	211
3.00	53	53	71	71	92	92	125	125	158	158	178	183
3.25					79	79	107	107	135	135	156	157
3.50					68	68	92	92	116	116	135	135
3.75					59	59	80	80	101	101	118	118
4.00											103	103
4.25											92	92
4.50											82	82
4.75											73	73
5.00												
5.25												
5.50												
5.75												
6.00												
Properties												
A (mm.^{2})	1187		1650		1362		1900		2431		1876	
Ix (mm.^{4})	1180000		1590000		1290000		1750000		2200000		2580000	
Iy (mm.^{4})	569000		761000		1290000		1750000		2200000		2580000	
rz (mm.)	16.1		15.8		19.8		19.5		19.4		23.8	

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

Nominal size		125X75						125X90			
Thickness		7.0		10.0		13.0		10.0		13.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz	0	252	295	402	490	514	643	434	529	555	695
	0.25	249	292	397	483	508	634	430	524	551	687
	0.50	242	281	383	462	490	605	419	508	537	666
	0.75	230	265	361	430	461	561	402	483	514	631
	1.00	214	244	332	388	423	504	379	449	484	586
	1.25	196	219	298	340	379	440	352	410	449	532
	1.50	175	193	261	289	332	372	321	366	408	473
	1.75	153	165	223	239	283	305	288	321	366	412
	2.00	132	138	186	192	236	242	254	275	322	351
	2.25	111	113	152	152	192	192	220	232	278	293
	2.50	91	91	123	123	155	155	188	190	237	239
	2.75	75	75	101	101	128	128	157	157	197	197
	3.00	63	63	85	85	108	108	132	132	166	166
	3.25	54	54					113	113	141	141
	3.50							97	97	122	122
	3.75							85	85	106	106
	4.00										
	4.25										
	4.50										
	4.75										
	5.00										
	5.25										
	5.50										
	5.75										
	6.00										

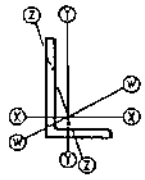
Properties

A (mm.^{2})	1362	1900	2431	2050	2626
Ix (mm.^{4})	2190000	2990000	3760000	3180000	4010000
Iy (mm.^{4})	604000	808000	1010000	1380000	1730000
rz (mm.)	16.4	16.1	16.0	19.3	19.1

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa

Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

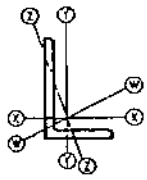
Nominal size		130x130				150x90				150x100	
Thickness		9.0		12.0		9.0		12.0		9.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz	0	463	553	629	787	401	473	579	706	418	493
	0.25	461	550	626	783	398	469	574	699	416	490
	0.50	455	541	617	769	389	457	560	678	408	480
	0.75	445	526	603	746	375	438	537	644	396	463
	1.00	431	507	583	715	356	412	506	600	380	441
	1.25	414	483	558	677	334	381	470	547	361	414
	1.50	393	455	529	634	308	346	428	489	338	383
	1.75	371	424	497	586	280	309	384	428	313	350
	2.00	346	391	462	535	251	272	339	368	286	315
	2.25	321	356	426	483	221	235	294	309	259	280
	2.50	294	321	388	430	192	199	251	254	231	245
	2.75	267	287	351	379	165	166	210	210	204	212
	3.00	241	253	314	330	139	139	176	176	178	180
	3.25	215	221	278	283	119	119	150	150	153	153
	3.50	190	191	244	244	102	102	130	130	132	132
	3.75	166	166	213	213	89	89	113	113	115	115
	4.00	146	146	187	187					101	101
	4.25	130	130	166	166					90	90
	4.50	116	116	148	148						
	4.75	104	104	133	133						
	5.00	94	94	120	120						
	5.25										
	5.50										
	5.75										
	6.00										

Properties

A (mm.^{2})	2274	2976	2094	2736	2184
Ix (mm.^{4})	3660000	4670000	4850000	6190000	5020000
Iy (mm.^{4})	3660000	4670000	1330000	1670000	1810000
rz (mm.)	25.7	25.4	19.6	19.3	21.8

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa
Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

Nominal size		150x100				150x150				175x175	
Thickness		12.0		15.0		12.0		15.0		12.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz	0	604	737	746	933	735	897	904	1131	822	980
	0.25	600	731	740	925	733	893	901	1126	820	978
	0.50	588	713	726	902	725	882	891	1110	814	969
	0.75	569	684	701	864	712	863	875	1085	804	954
	1.00	542	646	669	814	695	837	853	1051	790	934
	1.25	510	600	629	754	673	805	825	1009	772	909
	1.50	474	548	584	687	647	768	793	959	750	879
	1.75	434	493	534	615	618	725	756	904	726	845
	2.00	392	436	482	541	586	680	716	844	699	808
	2.25	350	379	430	468	551	631	672	781	669	767
	2.50	308	324	378	398	515	582	627	716	638	724
	2.75	267	272	327	333	478	531	581	651	605	680
	3.00	229	229	279	279	441	481	534	586	570	634
	3.25	195	195	238	238	403	431	488	522	535	588
	3.50	168	168	205	205	366	383	442	462	500	542
	3.75	146	146	179	179	331	338	397	404	464	496
	4.00	129	129	157	157	296	297	355	355	429	452
	4.25	114	114	139	139	263	263	314	314	395	409
	4.50					234	234	280	280	361	367
	4.75					210	210	252	252	329	329
	5.00					190	190	227	227	297	297
	5.25					172	172	206	206	269	269
	5.50					157	157	188	188	246	246
	5.75					144	144	172	172	225	225
	6.00									206	206

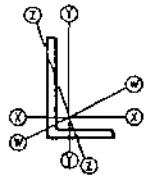
Properties

A (mm.^{2})	2856	3525	3477	4274	4052
Ix (mm.^{4})	6420000	7820000	7400000	8880000	11700000
Iy (mm.^{4})	2280000	2760000	7400000	8880000	11700000
rz (mm.)	21.5	21.4	29.6	29.2	34.3

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

Fe 24 , Fy = 235 MPa

Fe 30 , Fy = 294 MPa



COLUMNS
Single angle shapes
Design axial strength in kN (∅ = 0.90)

Nominal size		175x175		200x200						250x250	
Thickness		15.0		15.0		20.0		25.0		25.0	
Fy		235	294	235	294	235	294	235	294	235	294
Effective length KL (m.) with respect to least radius of gyration, rz	0	1062	1328	1212	1453	1607	2011	1983	2481	2525	3159
	0.25	1059	1324	1209	1450	1604	2006	1979	2474	2522	3154
	0.50	1051	1310	1202	1439	1594	1990	1966	2455	2512	3139
	0.75	1037	1289	1190	1422	1578	1965	1946	2424	2496	3114
	1.00	1018	1259	1174	1398	1556	1930	1918	2380	2473	3078
	1.25	994	1222	1153	1369	1527	1886	1883	2325	2445	3034
	1.50	965	1178	1128	1333	1493	1834	1841	2260	2410	2980
	1.75	932	1128	1099	1292	1454	1774	1792	2185	2370	2918
	2.00	896	1073	1066	1246	1410	1707	1737	2102	2324	2848
	2.25	856	1014	1031	1197	1362	1634	1677	2011	2273	2770
	2.50	814	952	992	1143	1310	1557	1612	1915	2218	2686
	2.75	769	888	951	1087	1255	1475	1544	1814	2159	2596
	3.00	724	822	909	1029	1197	1391	1472	1709	2095	2501
	3.25	677	757	864	969	1137	1304	1398	1602	2028	2402
	3.50	630	691	819	908	1076	1217	1322	1494	1958	2299
	3.75	583	628	773	847	1014	1130	1245	1386	1886	2193
	4.00	537	566	726	786	952	1044	1168	1279	1812	2085
	4.25	492	507	680	726	889	959	1091	1174	1736	1977
	4.50	448	452	634	668	828	877	1014	1072	1659	1867
	4.75	406	406	589	611	768	798	940	975	1581	1759
	5.00	366	366	544	556	709	720	867	880	1503	1651
	5.25	332	332	502	504	652	653	796	798	1425	1545
	5.50	302	302	459	459	595	595	727	727	1348	1440
	5.75	277	277	420	420	545	545	665	665	1272	1339
	6.00	254	254	386	386	500	500	611	611	1196	1241

Properties

A ($mm.^2$)	5021	5775	7600	9375	11940
Ix ($mm.^4$)	14400000	21800000	28200000	34200000	69500000
Iy ($mm.^4$)	14400000	21800000	28200000	34200000	69500000
rz (mm.)	34.2	39.3	39.0	38.8	49.0

ภาคผนวก ง

ตาราง Load Factor Design for Beam

ตารางที่ ง-1 ค่าตัวแปรหลักของการออกแบบคานเหล็กรูปตัดปีกกว้าง

ตาราง Load factor design for beams

W shapes (∅b = 0.90)

Fy = 235 MPa.					Zx	Shape	Fy = 294 MPa.				
BF	Lr	Lp	∅bMr	∅bMp	($X10^3$)		∅bMp	∅bMr	Lp	Lr	BF
kN.	m.	m.	kN.m	kN.m	$mm.^3$		kN.m	kN.m	m.	m.	kN.
1.30	**3.075**	**0.575**	**5.60**	**8.84**	**418**	**W100x9.30**	**11.06**	**7.59**	**0.514**	**2.315**	**1.92**
2.12	3.399	0.678	9.88	15.65	740	W125x13.2	19.58	13.39	0.606	2.573	3.15
1.06	**7.292**	**1.268**	**11.43**	**17.81**	**842**	**W100x17.2**	**22.28**	**15.49**	**1.134**	**5.448**	**1.57**
3.22	3.186	0.852	13.27	20.77	982	W150x14.0	25.98	17.98	0.762	2.502	4.60
1.72	**8.119**	**1.597**	**20.32**	**31.53**	**1491**	**W125x23.8**	**39.45**	**27.54**	**1.428**	**6.106**	**2.55**
4.22	3.744	1.058	20.77	32.11	1518	W175x18.1	40.17	28.15	0.946	2.960	5.97
2.84	**5.351**	**1.217**	**20.62**	**32.36**	**1530**	**W150x21.1**	**40.48**	**27.95**	**1.088**	**4.088**	**4.18**
5.15	3.494	1.135	23.90	36.06	1705	W200x18.2	45.11	32.40	1.014	2.845	6.95
5.56	3.810	1.140	27.49	42.34	2002	W200x21.3	52.97	37.26	1.019	3.055	7.72
2.53	**9.009**	**1.925**	**32.72**	**50.68**	**2396**	**W150x31.5**	**63.40**	**44.35**	**1.721**	**6.818**	**3.74**
4.64	6.436	1.854	41.38	62.65	2962	W200x30.6	78.37	56.09	1.657	5.078	6.51
7.82	4.246	1.433	42.58	64.59	3054	W250x25.7	80.81	57.71	1.281	3.488	10.46
8 47	4.506	1.433	48.41	74.43	3519	W250x29.6	93.11	65.61	1.281	3.658	11.57
3.51	**9.879**	**2.249**	**49.30**	**76.06**	**3596**	**W175x40.2**	**95.15**	**66.83**	**2.011**	**7.519**	**5.14**
10.57	4.801	1.689	63.35	96.23	4550	W300x32.0	120.39	85.86	1.510	3.992	13.91
4.62	**10.800**	**2.577**	**70.52**	**108.54**	**5132**	**W200x49.9**	**135.79**	**95.58**	**2.304**	**8.261**	**6.75**
11.59	5.018	1.689	71.86	110.42	5221	W300x36.7	138.15	97.40	1.510	4.134	15.53
7.42	**7.285**	**2.146**	**75.00**	**113.11**	**5348**	**W250x44.1**	**141.51**	**101.66**	**1.919**	**5.774**	**10.34**
4.55	**11.865**	**2.506**	**74.40**	**117.00**	**5532**	**W200x56.2**	**146.38**	**100.85**	**2.240**	**8.990**	**6.75**
13.89	5.589	1.992	95.77	145.74	6891	W350x41.4	182.34	129.80	1.781	4.659	18.26
4.70	**14.078**	**2.634**	**93.82**	**147.63**	**6980**	**W200x65.7**	**184.69**	**127.17**	**2.355**	**10.550**	**7.02**
6.80	11.284	3.070	107.57	163.46	7814	*W250x64.4*	198.50	145.80	2.745	8.828	8.66
10 85	7.839	2.418	115.19	173.98	8226	W300x56.8	217.66	156.13	2.162	6.282	14.94
15 66	5.989	2.028	115.79	177.83	8408	W350x49.6	222.48	156.94	1.813	4.927	21.05

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

ตาราง Load factor design for beams

W shapes (∅b = 0.90)

Fy = 235 MPa.					Zx	Shape	Fy = 294 MPa.				
BF	Lr	Lp	∅bMr	∅bMp	($\times 10^2$)		∅bMp	∅bMr	Lp	Lr	BF
kN.	m.	m.	kN.m	kN.m	$mm.^3$		kN.m	kN.m	m.	m.	kN.
7.18	11.879	3.230	119.67	181.74	8593	W250x66.5	227.37	162.20	2.887	9.241	10.26
7.29	12.644	3.230	129.53	198.15	9369	W250x72.4	247.90	175.57	2.887	9.751	10.54
11.45	8.587	2.449	133.41	203.72	9632	W300x65.4	254.86	180.83	2.190	6.766	16.18
7.22	13.848	3.127	137.30	214.67	10150	W250x82.2	268.57	186.10	2.796	10.561	10.62
18.73	6.523	2.300	150.89	230.01	10875	W400x56.6	287.75	204.53	2.057	5.417	24.77
8.99	12.594	3.676	171.81	251.98	12407	*W300x84.5*	306.43	232.88	3.287	9.975	11.00
20.57	6.910	2.331	177.79	271.99	12860	W400x66.0	340.28	240.98	2.084	5.672	27.68
10.41	13.118	3.856	189.74	286.12	13528	W300x87.0*	351.17	257.18	3.447	10.342	13.63
24.57	6.366	2.223	192.73	294.53	13926	W450x66.2	368.48	261.23	1.988	5.295	32.43
10.65	13.870	3.856	203.18	309.81	14648	W300x94.0*	386.73	275.40	3.447	10.840	15.06
10.60	14.907	3.728	215.14	333.60	15773	W300x106*	414.25	291.60	3.333	11.512	14.99
26.88	6.736	2.259	222.61	342.95	16215	W450x76.0	429.05	301.73	2.020	5.545	36.11
10.88	14.113	4.277	249.50	356.48	17993	*W350x106*	433.92	338.18	3.824	11.261	12.87
32.20	6.409	2.192	252.49	388.25	18357	W500x79.5	485.73	342.23	1.960	5.315	42.77
16.23	12.043	4.010	259.96	390.34	18456	W400x94.3*	479.19	352.35	3.585	9.783	20.47
13.84	15.194	4.508	289.84	437.74	20697	W350x115*	534.59	392.85	4.030	11.998	17.79
34.85	6.758	2.223	285.35	443.39	20964	W500x89.6	554.71	386.78	1.988	5.552	47.12
18.54	11.918	3.738	295.81	447.45	21156	W400x107	559.79	400.95	3.342	9.553	25.57
14.03	16.366	4.328	306.27	475.15	22472	*W350x131*	576.42	415.13	3.870	12.749	18.16
14.39	17.306	4.539	343.62	527.31	24932	W350x137	659.70	465.75	4.058	13.396	20.77
47.95	6.064	2.079	345.11	536.19	25352	W600x94.6	670.81	467.78	1.859	5.062	63.40
27.93	10.297	3.502	373.50	563.29	26633	W500x114*	703.19	506.25	3.131	8.463	36.93

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

ตาราง Load factor design for beams

W shapes (∅b = 0.90)

Fy = 235 MPa.					Zx	Shape	Fy = 294 MPa.				
BF	Lr	Lp	∅bMr	∅bMp	($X10^3$)		∅bMp	∅bMr	Lp	Lr	BF
kN.	m.	m.	kN.m	kN.m	$mm.^3$		kN.m	kN.m	m.	m.	kN.
14.27	**18.857**	**4.380**	**366.03**	**572.66**	**27076**	**W350x156**	**716.43**	**496.13**	**3.916**	**14.427**	**20.96**
14.57	16.259	4.898	376.49	541.99	27298	*W400x140*	659.28	510.30	4.379	12.960	17.36
51.72	6.342	2.115	386.95	605.57	28632	W600x106	757.60	524.48	1.891	5.255	69.30
14.63	**19.617**	**4.570**	**398.90**	**619.10**	**29272**	**W350x159**	**774.54**	**540.68**	**4.085**	**14.962**	**21.50**
18.10	17.249	5.186	425.79	644.08	30461	*W400x147*	782.80	577.13	4.636	13.651	22.81
29.68	11.056	3.615	434.75	655.61	30998	W500x128	820.21	589.28	3.232	8.972	40.23
55.74	6.765	2.167	445.21	701.50	33168	W600x120	877.63	603.45	1.937	5.544	76.01
18.15	**18.459**	**4.955**	**452.68**	**697.73**	**33178**	***W400x168***	**846.60**	**613.58**	**4.430**	**14.409**	**23.35**
18.87	19.174	5.186	497.50	761.42	36001	W400x172	952.59	674.33	4.636	14.906	27.09
59.35	7.167	2.213	504.97	798.98	37777	W600x134	999.58	684.45	1.978	5.806	82.34
41.81	9.924	3.404	527.38	799.98	37824	W600x137	1000.82	714.83	3.043	8.201	55.46
18.79	**20.981**	**5.006**	**528.88**	**829.10**	**39201**	**W400x197**	**1037.26**	**716.85**	**4.476**	**16.106**	**27.55**
19.33	21.540	5.186	573.70	889.87	42074	W400x200	1113.28	777.60	4.636	16.496	28.31
44.21	10.546	3.517	600.59	911.33	43089	W600x151	1140.13	814.05	3.144	8.628	59.47
19.52	**24.624**	**5.237**	**669.31**	**1047.77**	**49540**	**W400x232**	**1310.83**	**907.20**	**4.682**	**18.620**	**28.96**
47.60	11.334	3.543	690.23	1061.14	50172	W600x175	1327.55	935.55	3.167	9.145	65.58
62.06	9.814	3.353	744.01	1144.98	54136	W700x166	1432.44	1008.45	2.998	8.123	82.72
52.58	**14.610**	**5.340**	**832.16**	**1319.57**	**62391**	**W400x283**	**1650.87**	**1127.93**	**4.774**	**12.125**	**71.14**
65.59	10.511	3.481	860.54	1321.62	62488	W700x185	1653.43	1166.40	3.112	8.602	88.72
83.98	9.608	3.281	957.65	1489.02	70403	W800x191	1862.86	1298.03	2.933	7.976	112.01
70.53	**11.353**	**3.522**	**1000.98**	**1553.30**	**73442**	**W700x215**	**1943.28**	**1356.75**	**3.149**	**9.155**	**97.65**
88.48	10.202	3.399	1089.13	1691.05	79955	W800x210	2115.61	1476.23	3.039	8.388	119.52
109.07	9.275	3.163	1159.34	1826.01	86336	W900x213	2284.45	1571.40	2.828	7.729	145.48
95.03	**10.903**	**3.440**	**1254.96**	**1964.14**	**92867**	**W800x241**	**2457.26**	**1701.00**	**3.076**	**8.852**	**130.92**
118.06	9.941	3.281	1365.52	2151.82	101741	W900x243	2692.07	1850.85	2.933	8.195	159.86
127.84	10.848	3.368	1628.46	2584.70	122208	W900x286	3233.62	2207.25	3.011	8.802	177.23

ตารางที่ ง-2 ค่าตัวแปรหลักของการออกแบบคานเหล็กรูปตัดตัว I

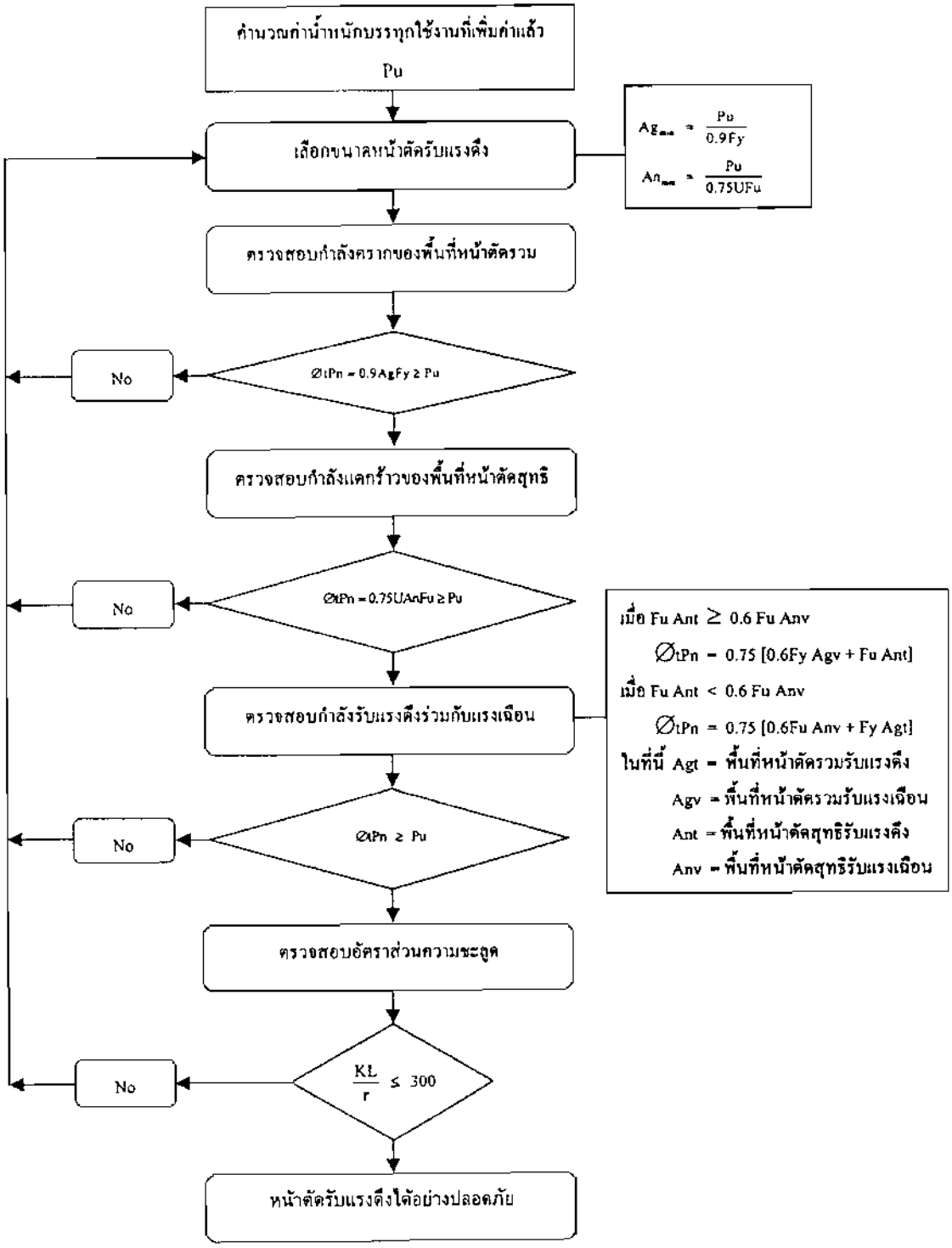
ตาราง Load factor design for beams

S shapes (∅b = 0.90)

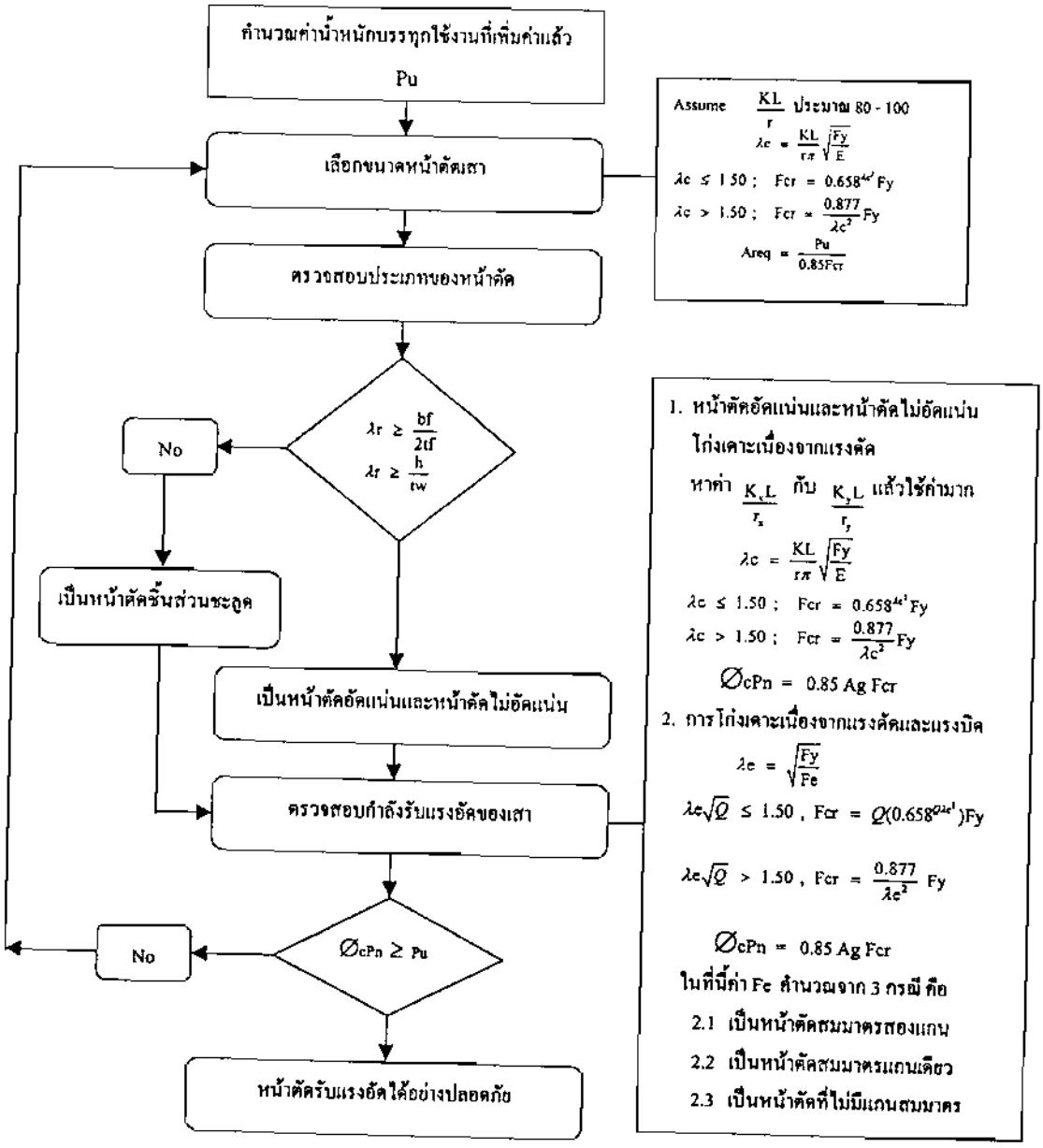
Fy = 235 MPa.					Zx	Shape	Fy = 294 MPa.				
BF	Lr	Lp	∅bMr	∅bMp	($\times 10^2$)		∅bMp	∅bMr	Lp	Lr	BF
kN.	m.	m.	kN.m	kN.m	$mm.^3$		kN.m	kN.m	m.	m.	kN.
1.23	**5.037**	**0.873**	**8.40**	**13.54**	**640**	**S100x12.9**	**16.93**	**11.38**	**0.780**	**3.768**	**1.86**
2.03	4.717	0.863	12.85	20.66	977	S125x16.1	25.85	17.42	0.771	3.540	3.05
3.27	3.855	0.832	16.28	26.16	1237	S150x17.1	32.73	22.07	0.744	2.936	4.86
4.77	4.515	1.099	27.79	44.08	2084	S180x23.6	55.14	37.67	0.982	3.493	6.96
6.28	4.200	1.053	32.42	52.18	2467	S200x26.0	65.28	43.94	0.941	3.276	9.14
2.56	**10.043**	**1.484**	**35.11**	**57.02**	**2696**	**S150x36.2**	**71.34**	**47.59**	**1.327**	**7.465**	**3.87**
9.59	5.177	1.350	61.85	98.56	4660	S250x38.3	123.30	83.84	1.207	4.057	13.85
4.91	**9.955**	**1.761**	**66.63**	**106.83**	**5051**	**S200x50.4**	**133.65**	**90.32**	**1.575**	**7.454**	**7.37**
8.35	7.695	1.417	87.40	139.80	6610	S250x55.5	174.90	118.46	1.267	5.778	12.51
13.94	5.581	1.587	94.42	150.12	7098	S300x48.3	187.81	127.98	1.418	4.454	19.71
13.00	7.439	1.674	126.84	201.79	9541	S300x65.5	252.45	171.92	1.496	5.691	19.20
19.70	5.545	1.576	129.98	208.16	9842	S350x58.5	260.42	176.18	1.409	4.427	27.92
12.17	**8.915**	**1.705**	**146.11**	**233.88**	**11058**	**S300x76.8**	**292.59**	**198.05**	**1.524**	**6.711**	**18.23**
26.49	5.688	1.576	179.28	288.19	13626	S400x72.0	360.54	243.00	1.409	4.517	37.82
17.58	**8.208**	**1.674**	**191.23**	**306.08**	**14472**	**S350x87.2**	**382.93**	**259.20**	**1.496**	**6.215**	**26.22**
24.63	7.412	1.633	236.05	378.39	17891	S400x95.8	473.40	319.95	1.460	5.661	36.53
32.97	6.584	1.848	259.96	416.08	19673	S450x91.7	520.55	352.35	1.653	5.240	46.88
31.39	8.050	1.910	324.20	516.91	24440	S450x115	646.68	439.43	1.708	6.206	46.07
61.75	6.743	1.956	490.03	785.60	37144	S600x133	982.83	664.20	1.749	5.412	86.98
58.33	8.645	2.038	646.90	1032.31	48809	S600x176	1291.49	876.83	1.822	6.664	85.65

ภาคผนวก จ

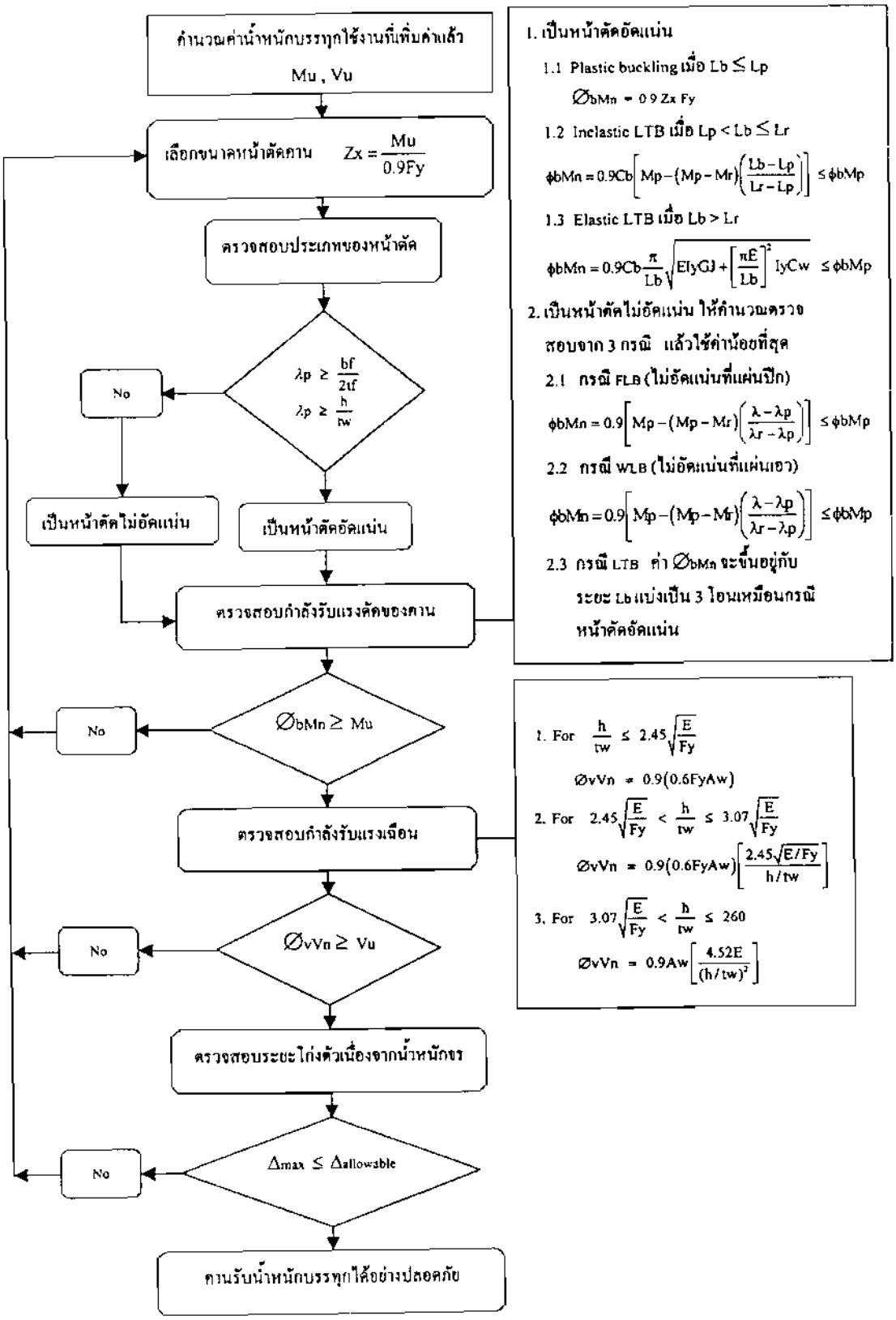
Design Chart



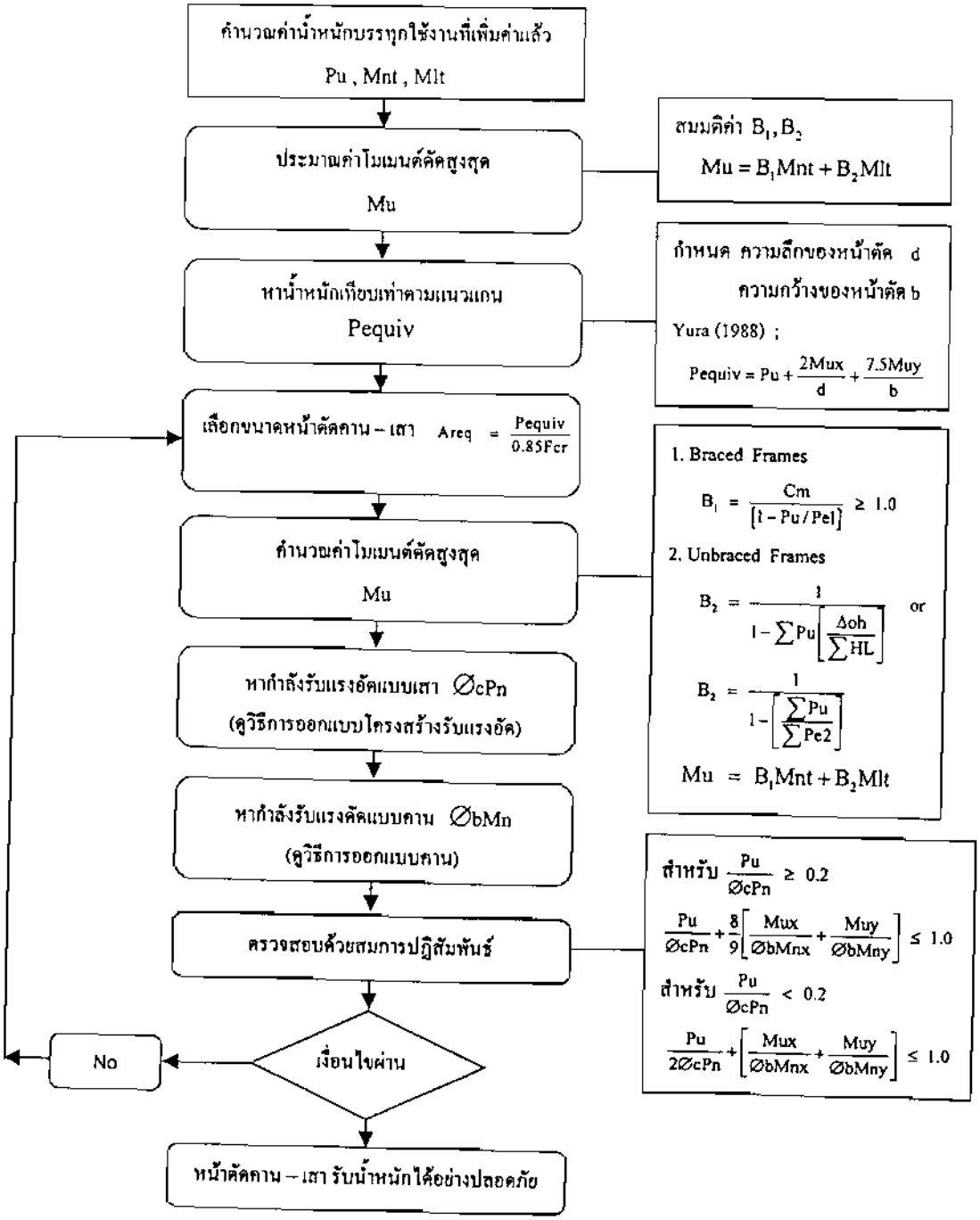
ภาพที่ จ-1 ขั้นตอนการออกแบบ Tension Members



ภาพที่ จ-2 ขั้นตอนการออกแบบ Compression Members



ภาพที่ จ-3 ขั้นตอนการออกแบบ Beams



ตารางที่ จ-4 ขั้นตอนการออกแบบ Beam-Columns

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายธวัชชัย นวเลิศปัญญา

ชื่อวิทยานิพนธ์ : คู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธี LRFD

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ประวัติ

สถานที่ติดต่อ กองนโยบายและแผน สำนักงานอธิการบดีเทเวศร์ เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2532

ประวัติการทำงาน ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่งอาจารย์ ระดับ 7 ปฏิบัติหน้าที่หัวหน้างานวิศวกรรม กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร