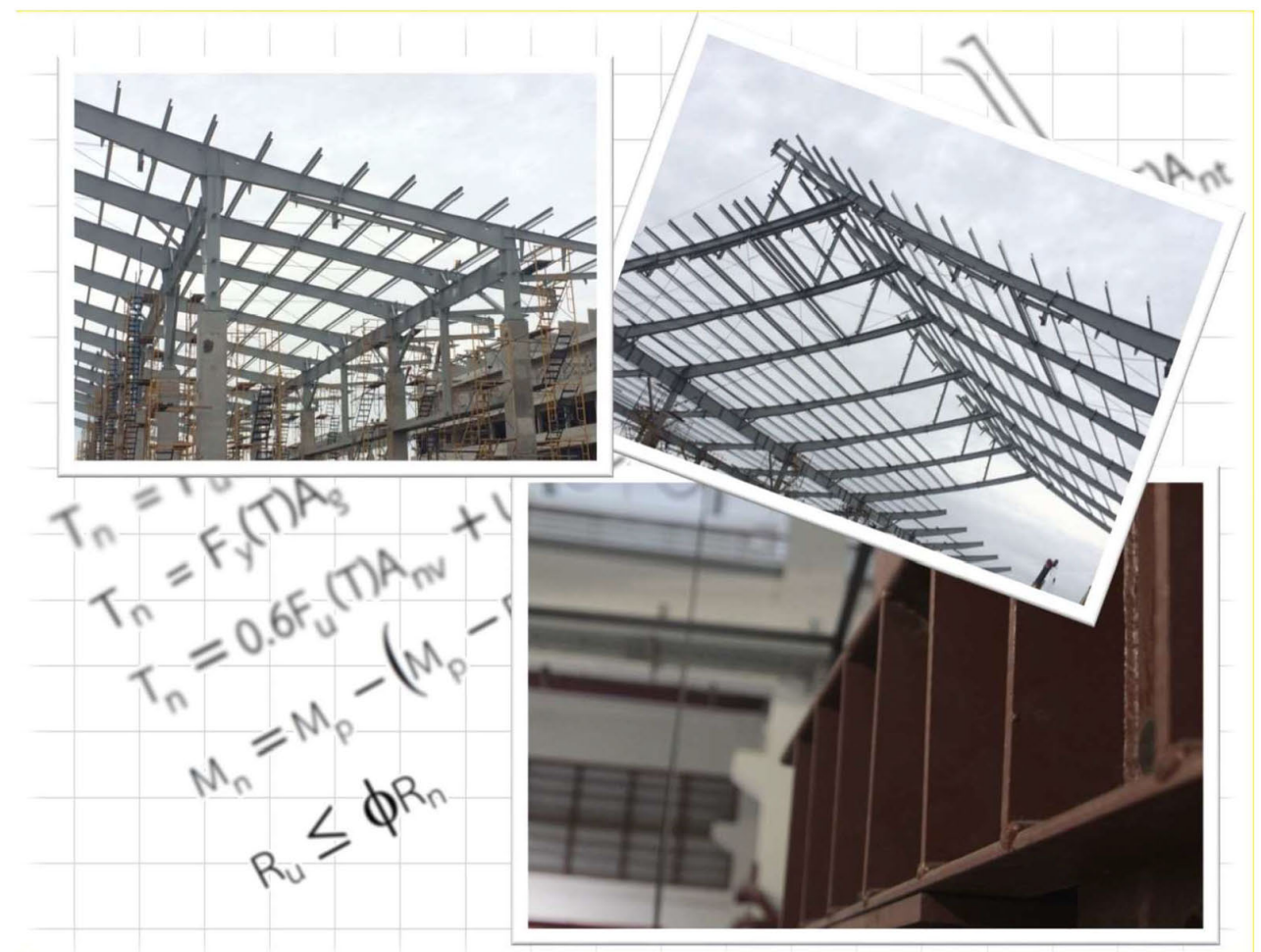




สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระรามที่ 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4363 โทรสาร 0-2299-4366

คู่มือการออกแบบอาคารเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย



คู่มือการออกแบบอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณ

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

กรมโยธาธิการและผังเมือง
คู่มือการออกแบบอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณ

ISBN 978-974-458-597-4
สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2558
โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระราม 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

คณะผู้จัดทำคู่มือการออกแบบอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณ

ที่ปรึกษาโครงการ

นายอดิสร มโนมัยธำรงกุล

ผู้จัดการโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ

บุคลากรหลัก

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ตระกูล อร่ามรักษ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีป ชัยสมภพ
3. รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์
4. รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โชติโกไร
5. รองศาสตราจารย์ ดร.อัศววัชร เล่นวาริ
6. รองศาสตราจารย์ ดร.อภินิติ โชติสังกาศ
7. ดร.รังสรรค์ วงศ์จิรัฏฐ

บุคลากรสนับสนุน

1. นายอนุรักษ์ เทพภรณ์
2. นายสิทธิพันธ์ แก้วสว่าง
3. นางสาวพลอยเครือ แจ่มวิถิเลิศ
4. นางสาวสิรินัดดา บุญเป็ง

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา
เรื่อง คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

ประธานกรรมการ

นายสินีทธิ์ บุญสิทธิ์

ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

คณะกรรมการ

ดร.เสถียร เจริญเหรียญ

ผู้อำนวยการสำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

รักษาการในตำแหน่งวิศวกรใหญ่

นายอนวัช บุรพาชน

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

นายวิบูลย์ ลีพัฒนานกิจ

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

นายกนก สุจริตสัจชัย

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

รักษาการในตำแหน่งวิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

นายพรชัย สังข์ศรี

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

นางสาวสุรีย์ ประเสริฐสุด

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

นายสมโชค เล่งวงศ์

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

ดร.ทยากร จันทรางศุ

วิศวกรโยธาชำนาญการ

รักษาการในตำแหน่งวิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

กรรมการและเลขานุการ

ดร.ธนิต ใจสะอาด

วิศวกรโยธาชำนาญการ

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นายวิโชติ กันภัย

วิศวกรโยธาชำนาญการ

นายธีรภัทร สุนทรชื่น

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

ผู้ทรงคุณวุฒิในการจัดทำคู่มือการออกแบบอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณ

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี
2. รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ
3. รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์
4. นายธนา แก้วกระจ่าง
5. นายสมญู เอนะเกษตร

คำนำ

ปัจจุบัน การออกแบบอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณมีการอ้างอิงมาตรฐานที่แตกต่างกัน เช่น การอ้างอิงมาตรฐานการออกแบบอาคารหลักรูปพรรณของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือการอ้างอิงมาตรฐานต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง โดยขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ รวมถึงข้อกำหนดของเจ้าของงาน ดังนั้นเพื่อเป็นการกำหนดมาตรฐานในการออกแบบ และการก่อสร้างอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณสำหรับประเทศไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร จึงร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ปรึกษาโครงการจัดทำมาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณ ทำการศึกษา และจัดทำมาตรฐานสำหรับการออกแบบและการก่อสร้างอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณขึ้น และเพื่อให้ผู้ออกแบบ สามารถปฏิบัติตามมาตรฐานที่จัดทำขึ้นนี้ได้อย่างถูกต้อง กรมโยธาธิการและผังเมือง จึงได้จัดทำคู่มือ การออกแบบอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณขึ้น เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ของกรมฯ อีกทั้งเพื่อให้การออกแบบอาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

กรมโยธาธิการและผังเมือง หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการนำคู่มือการออกแบบอาคารหลักโครงสร้าง รูปพรรณไปใช้ในทางปฏิบัติ จะช่วยให้อาคารหลักโครงสร้างรูปพรรณมีความมั่นคงแข็งแรงตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเพิ่มมากยิ่งขึ้น



(นายมนทล สุตประเสริฐ)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายและแสดงแนวทางการออกแบบที่สอดคล้องกับมาตรฐานมาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณของกรมโยธาธิการและผังเมืองที่ได้จัดทำขึ้น โดยในคู่มือจะมีเนื้อหาประกอบด้วยข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด การออกแบบองค์อาคารรับแรงเฉือน การออกแบบองค์อาคารรับแรงรวม และโมเมนต์บิด การออกแบบข้อต่อและรอยต่อ การออกแบบสำหรับการใช้งานได้ดี และในส่วนสุดท้ายจะเป็นตัวอย่างการคำนวณออกแบบองค์อาคารตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยเนื้อหาการออกแบบครอบคลุมการออกแบบด้วยวิธีตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกและความต้านทาน (Load and Resistance Factor Design, LRFD) และการออกแบบด้วยวิธีกำลังที่ยอมให้ (Allowable Strength Design, ASD) ซึ่งอ้างอิงมาตรฐาน Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-10) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ฉบับปี คศ. 2010 เป็นหลัก และครอบคลุมการออกแบบอาคารสาธารณะซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถเข้าใช้สอยได้ อาคารสถานที่ราชการ และอาคารเพื่อการพักอาศัย ที่สร้างขึ้นจากเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก 1227-2558 ซึ่งประกอบไปด้วยหน้าตัดรูปตัวเอช หน้าตัดรูปตัวไอ หน้าตัดรูปรางน้ำ หน้าตัดรูปตัวที และเหล็กฉาก และมาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก 107-2533 ซึ่งประกอบด้วยหน้าตัดรูปท่อกลม หน้าตัดรูปท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส และหน้าตัดรูปท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร (มยผ 1107-61) โดยคู่มือฉบับนี้สามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์ขั้นพื้นฐานในการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณได้ แต่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาถึงมาตรฐานอื่นๆ ในส่วนที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย เช่น มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ (มยผ. 8304-61) มาตรฐานความคงทนของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (มยผ. 1333-61) หรือมาตรฐานประกอบอาคารออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ เพื่อดำเนินการสันนิษฐานของแผ่นดินไหว (มยผ. 1340-61) เป็นต้น

ในฐานะหัวหน้าโครงการจัดทำมาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ผมใคร่ขอขอบคุณคณะที่ปรึกษาทุกท่านที่ได้ร่วมกันดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วง และขอขอบคุณคณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิที่กรมโยธาธิการและผังเมืองแต่งตั้ง ประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ คุณธนา แก้วกระจ่าง และคุณสยามภู เฮนะเกษตร ที่ได้ให้คำชี้แนะในการจัดทำคู่มือฉบับนี้



(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หัวหน้าโครงการฯ

สารบัญ

สารบัญ	i
สารบัญรูป	iv
สารบัญตาราง.....	v
บทที่ 1 ทัวไป.....	1
1.1 ขอบเขต	1
1.2 นิยาม	1
1.3 มาตรฐานอ้างอิง.....	7
1.4 วัสดุ.....	7
บทที่ 2 ข้อกำหนดการออกแบบ.....	8
2.1 ทัวไป.....	8
2.2 น้ำหนักบรรทุก ตัวคูณ และการจัดกลุ่ม	8
2.3 พื้นฐานการออกแบบ.....	8
2.4 คุณสมบัติหน้าตัดองค์อาคาร.....	8
2.5 การออกแบบเพื่อเสถียรภาพ.....	8
บทที่ 3 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง.....	12
3.1 อัตราส่วนความชะลุด.....	12
3.2 กำลังรับแรงดึง	12
3.3 พื้นที่หน้าตัดสุทธิ และพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล	12
3.4 ขั้นตอนการออกแบบ	14
3.5 องค์อาคารประกอบ	17
บทที่ 4 การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด	18
4.1 ทัวไป.....	18
4.2 ความยาวประสิทธิผล.....	18
4.3 ขั้นตอนการออกแบบ	18
4.4 กำลังรับแรงอัดสำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากการดัด.....	22
4.5 กำลังรับแรงอัดสำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากการดัด และการบิด	22
4.6 กำลังรับแรงอัดของเหล็กฉากเดี่ยว.....	23
4.7 องค์อาคารประกอบ	23
4.8 องค์อาคารที่มีหน้าตัดชิ้นส่วนชะลุด	24
บทที่ 5 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด	26
5.1 ข้อกำหนดทัวไป	28

5.2 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนอัดแน่น และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนหลัก	28
5.3 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนที่มีแผ่นเอวอัดแน่น และปีกไม่อัดแน่น หรือชะลุด ดัดรอบแกนหลัก	30
5.4 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H อื่นๆ ที่มีแผ่นเอวอัดแน่นหรือไม่อัดแน่น ดัดรอบแกนหลัก	31
5.5 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกน และสมมาตรแกนเดียว ที่มีแผ่นเอวชะลุด ดัดรอบแกนหลัก	35
5.6 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนรอง	37
5.7 องค์อาคารหน้าตัดรูปท่อนสี่เหลี่ยมจัตุรัส ท่อสี่เหลี่ยม และรูปกล่อง	38
5.8 องค์อาคารหน้าตัดรูปท่อกกลม	39
5.9 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว T และหน้าตัดเหล็กลักษณะรับแรงกระทำในระนาบของแกนสมมาตร	40
5.10 องค์อาคารหน้าตัดเหล็กลักษณะเดียว	42
5.11 องค์อาคารหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยม และกลม (Rectangular and Round Bars)	45
5.12 องค์อาคารหน้าตัดไม่สมมาตร	46
5.13 สัดส่วนของคานและคานขนาดใหญ่ (Girder)	47
บทที่ 6 การออกแบบองค์อาคารรับแรงเฉือน	51
6.1 ข้อกำหนดทั่วไป	51
6.2 องค์อาคารที่มีการเสริม และไม่มีการเสริมกำลังที่แผ่นเอว	51
6.3 แรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)	54
6.4 เหล็กลักษณะเดียว	56
6.5 องค์อาคารหน้าตัดรูปท่อนสี่เหลี่ยม และหน้าตัดรูปกล่อง	56
6.6 องค์อาคารหน้าตัดรูปท่อกกลม	57
6.7 แรงเฉือนในแนวแกนรองของหน้าตัดสมมาตรแกนเดียว และสองแกน	57
6.8 คานและคานขนาดใหญ่ที่มีช่องเปิดที่แผ่นเอว	58
บทที่ 7 การออกแบบองค์อาคารรับแรงรวมและโมเมนต์บิด	59
7.1 องค์อาคารสมมาตรแกนเดียว หรือสองแกน รับแรงดัด และแรงตามแนวแกน	59
7.2 องค์อาคารไม่สมมาตร และองค์อาคารอื่นๆ รับแรงดัด และแรงตามแนวแกน	62
7.3 องค์อาคารรับโมเมนต์บิด และองค์อาคารที่รับแรงร่วม ระหว่างโมเมนต์บิด แรงดัด แรงเฉือนและ/หรือแรงตามแนวแกน	64
7.4 การฉีกขาดของปีกที่มีรูเจาะ รับแรงดึง	67
บทที่ 8 การออกแบบข้อต่อและรอยต่อ	69
8.1 ทั่วไป	69
8.2 รอยเชื่อม	69
8.3 สลักเกลียวกำลังสูง	69

บทที่ 9 การออกแบบสำหรับการใช้งานได้ดี.....	72
9.1 ข้อกำหนดทั่วไป	72
9.2 โค้งหลังเต่า (Camber).....	72
9.3 การโก่งตัว	72
9.4 การเคลื่อนตัวทางข้าง (Drift).....	72
9.5 การสั่นสะเทือน	73
9.6 การเคลื่อนที่จากการชักนำของแรงลม	73
9.7 การยึดตัว และการหลุดตัว	73
9.8 การเคลื่อนตัวของจุดต่อ	73
บทที่ 10 ตัวอย่างการออกแบบ.....	74
10.1 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง.....	75
10.2 การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด	80
10.3 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด	90
10.4 การออกแบบองค์อาคารรับแรงเฉือน	119
10.5 การออกแบบองค์อาคารรับแรงรวมและโมเมนต์บิด.....	133
10.6 การออกแบบรอยต่อ	142
ภาคผนวก ก	152
ภาคผนวก ข	162

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ตัวอย่างการวิบัติแบบเฉือนออก	16
รูปที่ 2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ตัวลด U_{bs}	16
รูปที่ 3 Alignment Charts สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล.....	19

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 (ก) อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุดของชิ้นส่วนรับแรงอัดเนื่องจากแรงอัดตามแนวแกน.....	9
ตารางที่ 1 (ข) อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุดของชิ้นส่วนรับแรงอัดเนื่องจากโมเมนต์ดัด.....	10
ตารางที่ 2 (ก) เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะระบุและขนาดรูเจาะระบุ.....	13
ตารางที่ 2 (ข) ตัวคูณเชียร์แลก (Shear Lag Factor, U) ที่รอยต่อขององค์อาคารรับแรงดึง.....	13
ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล.....	19
ตารางที่ 4 หน่วยแรงอัดวิกฤต (F_{cr}).....	20
ตารางที่ 5 คุณสมบัติหน้าตัดด้านการบิด	21
ตารางที่ 6 ค่าตัวคูณลดสำหรับชิ้นส่วนชะลุดปลายยื่น (Q_s) สำหรับเหล็ก SM 400	24
ตารางที่ 7 ค่าความกว้างประสิทธิผล (b_e)	25
ตารางที่ 8 ตารางกำหนดหัวข้อสำหรับบทที่ 5	27
ตารางที่ 9 แรงดึงก่อน (Pretension) ต่ำสุดในสลักเกลียว.....	69
ตารางที่ 10 กำลังที่ใช้ออกแบบของอุปกรณ์ยึด	70
ตารางที่ 11 หน่วยแรงดึงระบุ สำหรับอุปกรณ์ยึดในรอยต่อรับแรงแบกทาน.....	70
ตารางที่ 12 ระยะขอบต่ำสุดของชิ้นส่วนที่ต่อ	71
ตารางที่ 13 ความหนาครอบประสิทธิผลต่ำสุด ของรอยเชื่อมแบบบากร่องไม่ทะลุตลอด.....	71
ตารางที่ 14 ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อมแบบพอก.....	71

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
A_e	พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ (มิลลิเมตร ²) (หัวข้อ 3.2)
A_e	ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพของพื้นที่ภาคตัดขวางโดยใช้ความกว้างประสิทธิภาพลดค่า b_e (มิลลิเมตร ²) (หัวข้อ 4.8)
A_{fc}	พื้นที่หน้าตัดของปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร ²)
A_{fg}	พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของปีกรับแรงดึง (มิลลิเมตร ²)
A_{fn}	พื้นที่หน้าตัดสุทธิของปีกรับแรงดึง (มิลลิเมตร ²)
A_{ft}	พื้นที่หน้าตัดของปีกรับแรงดึง (มิลลิเมตร ²)
A_g	พื้นที่หน้าตัดรวมขององค์อาคาร (มิลลิเมตร ²)
A_{gv}	พื้นที่หน้าตัดรวมรับแรงเฉือน (มิลลิเมตร ²)
A_n	พื้นที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคาร (มิลลิเมตร ²)
A_{nt}	พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงดึง (มิลลิเมตร ²)
A_{nv}	พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงเฉือน (มิลลิเมตร ²)
A_w	พื้นที่ของแผ่นเอว มีค่าเท่ากับผลคูณของความหนาของแผ่นเอว (dt_w) (มิลลิเมตร ²)
B	ความกว้างทั้งหมดของหน้าตัดรูปท่อนสี่เหลี่ยม โดยวัดตั้งฉากกับระนาบของรอยต่อ (มิลลิเมตร)
C	ค่าคงที่การบิดของหน้าตัดรูปท่อน
C_b	ตัวคูณปรับแก้การโก่งเดาะทางข้างและการดัด สำหรับโมเมนต์ที่มีค่าไม่คงที่ตลอดความยาวคาน
C_v	สัมประสิทธิ์แรงเฉือนของแผ่นเอว
C_w	ค่าคงที่ของการบิดเบี้ยว (มิลลิเมตร ⁶)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของหน้าตัดรูปท่อนกลม (มิลลิเมตร)
E	อีลาสติคโมดูลัสของเหล็ก มีค่าเท่ากับ 200,000 เมกะปาสคาล
F_{ca}	หน่วยแรงตามแนวแกนที่ใช้ได้ที่จุดที่พิจารณา (เมกะปาสคาล)
F_{cbw}, F_{cbz}	หน่วยแรงดัดที่ใช้ได้ที่จุดที่พิจารณา (เมกะปาสคาล)
F_{cr}	หน่วยแรงวิกฤติ (เมกะปาสคาล)
F_{cry}	หน่วยแรงวิกฤติรอบแกนสมมาตรแกน y (เมกะปาสคาล)
F_{crz}	หน่วยแรงโก่งเดาะแบบบิดวิกฤติ (เมกะปาสคาล)
F_e	หน่วยแรงโก่งเดาะแบบอีลาสติก (เมกะปาสคาล)
F_{ex}	หน่วยแรงโก่งเดาะดัดแบบอีลาสติกรอบแกนประธานหลัก (เมกะปาสคาล)
F_{ey}	หน่วยแรงโก่งเดาะดัดแบบอีลาสติกรอบแกนประธานรอง (เมกะปาสคาล)
F_{ez}	หน่วยแรงโก่งเดาะบิดแบบอีลาสติก (เมกะปาสคาล)

สัญลักษณ์

คำอธิบาย

F_L	ขนาดของหน่วยแรงดัดในปีกรับแรงอัด ที่การโก่งเดาะเฉพาะที่หรือการโก่งเดาะทางข้าง และการดัด ได้รับผลกระทบจากการคราก (เมกะปาสคาล)
F_n	หน่วยแรงระบุ (เมกะปาสคาล)
F_u	กำลังรับแรงดึงระบุต่ำสุด (เมกะปาสคาล)
F_y	หน่วยแรงครากระบุต่ำสุดของชนิดของเหล็กที่ใช้ (เมกะปาสคาล)
F_{yst}	หน่วยแรงครากระบุต่ำสุดของแผ่นเสริมกำลัง (เมกะปาสคาล)
F_{yw}	หน่วยแรงครากระบุต่ำสุดของแผ่นเอว (เมกะปาสคาล)
G	โมดูลัสเฉือนแบบอีลาสติกของเหล็ก = 77,200 เมกะปาสคาล
H	ค่าคงที่การดัด
I_{st}	โมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นเสริมกำลังทางขวางรอบแกนที่กึ่งกลางของแผ่นเอวสำหรับกรณีที่ใช้แผ่นเสริมกำลังแบบคู่ หรือรอบแกนที่ผิวของแผ่นเอวด้านที่แผ่นเสริมกำลังสัมผัสสำหรับกรณีที่ใช้แผ่นเสริมกำลังแบบเดี่ยว (มิลลิเมตร ⁴)
I_{st1}	โมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นเสริมกำลังทางขวางต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการพัฒนากำลังต้านทานการโก่งเดาะแบบเฉือนของแผ่นเอวตามหัวข้อ 6.2.2 (มิลลิเมตร ⁴)
I_{st2}	โมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นเสริมกำลังทางขวางต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการพัฒนากำลังต้านทานการโก่งเดาะแบบเฉือนของแผ่นเอวได้เต็มที่รวมกับกำลังต้านทานจาก Tension Field ของแผ่นเอว $V_r = V_{c2}$ (มิลลิเมตร ⁴)
I_x, I_y	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนประธาน (มิลลิเมตร ⁴)
I_{yc}	โมเมนต์ความเฉื่อยของปีกรับแรงอัด รอบแกน y (มิลลิเมตร ⁴)
I_z	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนประธานรอง (มิลลิเมตร ⁴)
J	ค่าคงที่การบิด (มิลลิเมตร ⁴)
K	ตัวคูณความยาวประสิทธิผล
K_x	ตัวคูณความยาวประสิทธิผลสำหรับการโก่งเดาะแบบดัดรอบแกน x
K_y	ตัวคูณความยาวประสิทธิผลสำหรับการโก่งเดาะแบบดัดรอบแกน y
K_z	ตัวคูณความยาวประสิทธิผลสำหรับการโก่งเดาะแบบบิด
L	ความยาวขององค์อาคาร (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 7.3.1)
L	ความยาวปราศจากค้ำยันทางข้างขององค์อาคาร (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 4.2)
L	ความยาวขององค์อาคารระหว่างจุดข้อต่อของชิ้นส่วนโครงหลัก (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 4.6)
L_b	ระยะระหว่างจุดค้ำยันเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ด้านข้างของปีกรับแรงอัด หรือเพื่อป้องกันการบิดของหน้าตัด (มิลลิเมตร)
L_m	ขีดจำกัดของระยะที่ปราศจากค้ำยัน เพื่อให้เกิดการกระจายโมเมนต์ต่อมิลลิเมตร
L_p	ขีดจำกัดของระยะที่ปราศจากค้ำยัน สำหรับสภาวะขีดจำกัดการคราก (มิลลิเมตร)

สัญลักษณ์

คำอธิบาย

L_r	ขีดจำกัดของระยะที่ปราศจากการค้ำยัน สำหรับสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด แบบไม่อีลาสติก (มิลลิเมตร)
L_y	ระยะจากจุดที่แรงเฉือนสูงสุดจนถึงแรงเฉือนเท่ากับศูนย์ (มิลลิเมตร)
M_A	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่ระยะ $1/4$ ของช่วงที่ไม่มีค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_B	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่แนวกึ่งกลางของช่วงที่ไม่มีค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_C	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่ระยะ $3/4$ ของช่วงที่ไม่มีค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_{cx}, M_{cy}	กำลังรับแรงดัดที่ใช้ได้ หาได้จากบทที่ 5 (นิวตัน-มิลลิเมตร) (หัวข้อ 7.1.1)
M_{cx}	กำลังรับแรงดัดและแรงบิดสำหรับการดัดบนแกนหลักที่ใช้ได้ หาได้จากบทที่ 5 และใช้ค่า $C_b = 1.0$ (นิวตัน-มิลลิเมตร) (หัวข้อ 7.1.3)
M_{cx}	กำลังรับแรงดัดรอบแกน x ที่ใช้ได้ สำหรับสภาวะขีดจำกัดการฉีกขาดจากแรงดึงในปีก (นิวตัน-มิลลิเมตร) (หัวข้อ 7.4)
M_p	ค่าโมเมนต์การโก่งเดาะทางข้างและการบิดอีลาสติก (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_{max}	ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่มากที่สุดในช่วงที่ปราศจากการค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_n	กำลังรับแรงดัดระบุ (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_p	โมเมนต์ดัดพลาสติก (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_r	กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยหาจากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_{rx}, M_{ry}	กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ (นิวตัน-มิลลิเมตร) (หัวข้อ 7.1.1)
M_{rx}	กำลังรับแรงดัดที่ต้องการที่ตำแหน่งรูเจาะ มีค่าเป็นบวกเมื่อเกิดแรงดึงบนปีกที่พิจารณา มีค่าเป็นลบเมื่อเกิดแรงอัด (นิวตัน-มิลลิเมตร) (หัวข้อ 7.4)
M_y	โมเมนต์ที่จุดครากที่ผิวนอกสุด (นิวตัน-มิลลิเมตร) (ตารางที่ 1)
M_y	โมเมนต์ที่จุดครากรอบแกนที่ดัด (นิวตัน-มิลลิเมตร) (หัวข้อ 5.10.1)
M_{yc}	โมเมนต์ที่จุดครากที่ผิวนอกสุดในปีกรับแรงอัด (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_{yt}	โมเมนต์ที่จุดครากที่ผิวนอกสุดในปีกรับแรงดึง (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_1	ค่าโมเมนต์ที่ปลายที่ระยะปราศจากการค้ำยันที่น้อยกว่า (นิวตัน-มิลลิเมตร)
M_2	ค่าโมเมนต์ที่ปลายที่ระยะปราศจากการค้ำยันที่มากกว่า (นิวตัน-มิลลิเมตร)
P_c	กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ใช้ได้ (นิวตัน)
P_{cy}	กำลังรับแรงอัดนอกกระนาบการดัดที่ใช้ได้ (นิวตัน)
P_{ey}	น้ำหนักโก่งเดาะวิกฤติแบบอีลาสติกสำหรับการโก่งเดาะรอบแกนรอง (นิวตัน)
P_n	กำลังรับแรงตามแนวแกนระบุ (แรงดึงหรือแรงอัด) (นิวตัน) (หัวข้อ 3.2)
P_n	กำลังรับแรงอัดระบุ (นิวตัน) (หัวข้อ 4.1)
P_r	กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ หาได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD (นิวตัน) (หัวข้อ 7.1.1)

สัญลักษณ์

คำอธิบาย

P_r	กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการขององค์อาคารที่ตำแหน่งรูเจาะ มีค่าเป็นบวก เมื่อเกิดแรงดึง มีค่าเป็นลบเมื่อเกิดแรงอัด (นิวตัน) (หัวข้อ 7.4)
P_u	กำลังตามแนวแกนที่ต้องการ (แรงดึงหรือแรงอัด) (นิวตัน)
Q	ตัวคูณลดค่าสุทธิที่พิจารณาขึ้นส่วนชะลูดรับแรงอัดทั้งหมด
Q_a	ตัวคูณลดค่าสำหรับขึ้นส่วนชะลูดปลายยึด
Q_s	ตัวคูณลดค่าสำหรับขึ้นส่วนชะลูดปลายยื่น
R_a	กำลังที่ต้องการ โดยใช้การรมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ ASD
R_n	กำลังระบุ ในบทที่ 2 ถึง 9
R_{pc}	ตัวคูณสภาพความเป็นพลาสติกของแผ่นเอว
R_{pg}	ตัวคูณลดค่ากำลังรับแรงดัด
R_{pt}	ตัวคูณสภาพความเป็นพลาสติกของแผ่นเอว สำหรับสภาวะขีดจำกัดการครากของปีกรับแรงดึง
R_u	กำลังที่ต้องการ โดยใช้การรมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD
S	โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติก (มิลลิเมตร ³)
S_c	โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกด้านปลายขารับแรงอัดรอบแกนที่ดัด (มิลลิเมตร ³)
S_e	โมดูลัสหน้าตัดประสิทธิภาพรอบแกนหลัก (มิลลิเมตร ³)
S_{min}	ค่าต่ำสุดของโมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกเทียบกับแกนที่ดัด (มิลลิเมตร ³)
S_{xc}, S_{xt}	โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกสำหรับปีกรับแรงอัด และรับแรงดึงตามลำดับ (มิลลิเมตร ³)
S_x	โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกรอบแกน x (มิลลิเมตร ³)
S_y	โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกรอบแกน y สำหรับหน้าตัดรูปร่างน้ำให้ใช้ค่าโมดูลัสหน้าตัดที่น้อยสุด (มิลลิเมตร ³)
T_c	กำลังรับโมเมนต์บิดที่ใช้ได้ (นิวตัน-มิลลิเมตร)
T_n	กำลังรับโมเมนต์บิดระบุ (นิวตัน-มิลลิเมตร)
T_r	กำลังรับโมเมนต์บิดที่ต้องการ หาได้จากการรมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)
U	ตัวคูณ Shear Lag
V_c	กำลังเฉือนที่ใช้ได้ (นิวตัน)
V_{c1}	ค่าที่ต่ำกว่าของกำลังรับแรงเฉือนที่ใช้ได้ ของช่วงแผ่นเอวข้างเคียง โดยใช้ V_n จาก ข้อ 6.2.1 (นิวตัน)
V_{c2}	ค่าที่ต่ำกว่าของกำลังรับแรงเฉือนที่ใช้ได้ ของช่วงแผ่นเอวข้างเคียง โดยใช้ V_n จาก ข้อ 6.3.2 (นิวตัน)
V_n	กำลังรับแรงเฉือนระบุ (นิวตัน)
V_r	กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการที่สูงกว่า ของช่วงแผ่นเอวข้างเคียง โดยใช้การรมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD (นิวตัน) (หัวข้อ 6.3.3)

สัญลักษณ์

คำอธิบาย

V_r	กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ หาได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD (นิวตัน) (หัวข้อ 7.3.2)
Z	โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกนที่ตัด (มิลลิเมตร ³)
Z_x	โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกน x (มิลลิเมตร ³)
Z_y	โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกน y (มิลลิเมตร ³)
a_w	อัตราส่วนระหว่างสองเท่าของพื้นที่แผ่นเอวที่รับแรงอัดที่เกิดจากโมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก เพียงอย่างเดียวต่อพื้นที่ปีกที่รับแรงอัด
b	ความกว้างเต็มของขาที่รับแรงอัด (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 5.10.3)
b	สำหรับปีกขององค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H มีค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างเต็มปีก b_f สำหรับปีก ขององค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ มีค่าเท่ากับความกว้างเต็มปีกกระบอก (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 5.6.2)
b	ความกว้างของชิ้นส่วนรับแรงอัดปลายยึด; ความกว้างของชิ้นส่วนรับแรงอัดปลายยื่น (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 2.4)
b	ความกว้างของขาที่ต้านทานแรงเฉือน (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 6.4)
b_e	ความกว้างประสิทธิภาพลดค่า (มิลลิเมตร)
b_f	ความกว้างของปีก (มิลลิเมตร)
b_{fc}	ความกว้างของปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร)
b_{ft}	ความกว้างของปีกรับแรงดึง (มิลลิเมตร)
d	ความลึกกระบอกของหน้าตัด (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 2.4)
d	ความลึกของหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยม (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 5.11.2)
f_{ra}	หน่วยแรงตามแนวแกนที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา หาได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD (เมกะปาสคาล)
f_{rbw}, f_{rbz}	หน่วยแรงดัดที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา หาได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD (เมกะปาสคาล)
g	ระยะทางขวางระหว่างจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางแนวเชื่อม (มิลลิเมตร)
h	ความกว้างของชิ้นส่วนปลายยึดรับแรงอัด (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 2.4)
h	ความสูงของชิ้นส่วนรับแรงเฉือน (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 6.2.1 (ข))
h_c	สองเท่าของระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดต่อไปนี้ ผิวด้านในของปีกที่รับแรงอัดด้วยส่วนพอก หรือรัศมีมุมสำหรับเหล็กรีดร้อน แนวของตัวยึดที่ใกล้ที่สุดที่ปีกรับแรงอัด หรือผิวในของปีก ที่รับแรงอัดเมื่อใช้การเชื่อมสำหรับหน้าตัดประกอบ (มิลลิเมตร)
h_o	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของปีก (มิลลิเมตร)
h_p	สองเท่าของระยะจากแกนสะเทินพลาสติกถึงแนวของตัวยึดที่ใกล้ที่สุดที่ปีกรับแรงอัด หรือผิว ในของปีกที่รับแรงอัดเมื่อใช้การเชื่อม (มิลลิเมตร)
k_c	สัมประสิทธิ์ของชิ้นส่วนชะลุดปลายยื่น
k_v	สัมประสิทธิ์การโก่งเดาะจากแรงเฉือนของแผ่นเอว

สัญลักษณ์

คำอธิบาย

r	รัศมีใจเรชัน (มิลลิเมตร)
r_i	รัศมีใจเรชันต่ำสุดของแต่ละชิ้นส่วน (มิลลิเมตร)
\bar{r}_0	รัศมีใจเรชันเชิงมุมรองจุดศูนย์กลางแรงเฉือน (มิลลิเมตร)
r_t	รัศมีใจเรชันของชิ้นส่วนปีกในปีกที่รับแรงอัดจากการดัดบวกด้วย $1/3$ ของพื้นที่แผ่นเอวที่รับแรงอัดที่เกิดจากโมเมนต์ดัดรอบแกนหลักเพียงอย่างเดียว (มิลลิเมตร)
r_{ts}	รัศมีใจเรชันประสิทธิผล (มิลลิเมตร)
r_x	รัศมีใจเรชันรอบแกน x (มิลลิเมตร)
r_y	รัศมีใจเรชันรอบแกน y (มิลลิเมตร)
r_z	รัศมีใจเรชันรอบแกนประธานแกนรอง (มิลลิเมตร)
t	ความหนาของชิ้นส่วน (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 4.8)
t	ความหนาของผนัง (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 4.8)
t	ความหนาของขาเหล็กฉาก (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 5.10.2)
t	ความกว้างของหน้าตัดต้นรูปสี่เหลี่ยมที่ขนานกับแกนที่ดัด (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 5.11.2)
t	ความหนาออกแบบของผนัง สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปท่อ (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 2.4)
t_f	ความหนาของปีก (มิลลิเมตร)
t_{fc}	ความหนาของปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร)
t_w	ความหนาของแผ่นเอว (มิลลิเมตร)
w	ความกว้างของแผ่นประกบ (มิลลิเมตร) (หัวข้อ 5.13.3)
w	สัญลักษณ์ตัวห้อยแสดงการดัดบนแกนประธานหลัก (หัวข้อ 7.2)
w	ความกว้างของแผ่น (มิลลิเมตร) (ตารางที่ 2 (ข))
x	สัญลักษณ์ตัวห้อยแสดงการดัดบนแกนหลัก
x_o, y_o	พิกัดของจุดศูนย์กลางแรงเฉือนเทียบกับจุดศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
\bar{x}	ระยะเยื้องศูนย์กลางของรอยต่อ (มิลลิเมตร)
y	สัญลักษณ์ตัวห้อยแสดงการดัดบนแกนรอง
z	สัญลักษณ์ตัวห้อยแสดงการดัดบนแกนประธานรอง
β_w	คุณสมบัติของหน้าตัดของเหล็กฉากขาไม่เท่ากัน มีค่าเป็นบวกเมื่อขาเหล็กฉากด้านสั้นรับแรงอัด มีค่าเป็นลบเมื่อขาเหล็กฉากด้านยาวรับแรงอัด
λ	ตัวแปรความชะลูด
λ_p	ขีดจำกัดความชะลูดสำหรับชิ้นส่วนอัดแน่น
λ_{pf}	ขีดจำกัดความชะลูดสำหรับปีกอัดแน่น
λ_{pw}	ขีดจำกัดความชะลูดสำหรับแผ่นเอวอัดแน่น
λ_r	ขีดจำกัดความชะลูดสำหรับชิ้นส่วนไม่อัดแน่น

สัญลักษณ์

คำอธิบาย

λ_{rf}	ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับปีกไม่อัดแน่น
λ_{rw}	ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับแผ่นเอวไม่อัดแน่น
μ	ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การเลื่อนสำหรับผิวชั้น A หรือ B ตามความเหมาะสม หรือกำหนดโดยผู้ทดสอบ
ϕ	ตัวคูณความต้านทาน ระบุในบทที่ 2 ถึง 8
ϕ_b	ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดัด
ϕ_c	ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงอัด
ϕ_T	ตัวคูณความต้านทานสำหรับโมเมนต์บิด
ϕ_t	ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดึง
ϕ_v	ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงเฉือน
Ω	ค่าความปลอดภัย ระบุในบทที่ 2 ถึง 8
Ω_b	ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงดัด
Ω_c	ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงอัด
Ω_{sf}	ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงเฉือนบนแนวการฉีกขาด
Ω_T	ค่าความปลอดภัยสำหรับโมเมนต์บิด
Ω_t	ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงดึง
Ω_v	ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงเฉือน
ρ_{st}	ค่าที่มากกว่าของ F_{yw}/F_{yst} และ 1.0

บทที่ 1 ทั่วไป

1.1 ขอบเขต

คู่มือการออกแบบมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงข้อกำหนด และตัวอย่างการคำนวณออกแบบของอาคารเหล็ก โครงสร้างตามมาตรฐานโครงสร้างเหล็กรูปพรรณของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยยกเว้นการคำนวณ ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว สภาพแวดล้อมจากอัคคีภัยและความคงทนของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ครบคลุมการออกแบบวิธีกำลังที่ยอมให้ (Allowable Strength Design, ASD) และวิธีน้ำหนักบรรทุกและตัว ความต้านทาน (Load and Resistance Factor Design, LRFD)

1.2 นิยาม

“การเคลื่อนตัวทางข้าง (Drift)” หมายความว่า การเซ หรือการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคารอันเป็นผลมา จากแรงลม หรือแผ่นดินไหว

“การโก่งเดาะ (Buckling)” หมายความว่า สภาวะขีดจำกัดของการเปลี่ยนรูปอย่างทันทีทันใดของโครงสร้าง หรือของชิ้นส่วนภายใต้แรงกระทำวิกฤติ

“การโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local Buckling)” หมายความว่า การโก่งเดาะที่เกิดขึ้นเฉพาะจุดที่ปิก หรือแผ่นเอว รับแรงอัด

“การโก่งเดาะเฉือน (Shear Buckling)” หมายความว่า รูปแบบการโก่งเดาะที่ชิ้นส่วนแผ่น เช่น แผ่นเอวของ คาน เสียรูปภายใต้แรงเฉือนที่กระทำในระนาบของแผ่นเพียงอย่างเดียว

“การโก่งเดาะแบบดัด (Flexural Buckling)” หมายความว่า รูปแบบการโก่งเดาะที่องค์อาคารรับแรงอัด โก่งตัวทางข้างโดยไม่มีการบิด หรือการเสียรูปของหน้าตัด

“การโก่งเดาะแบบดัดและบิด (Flexural-Torsional Buckling)” หมายความว่า รูปแบบการโก่งเดาะที่ องค์อาคารรับแรงอัดโก่งตัวทางข้างและบิดพร้อมกันโดยไม่มีการเสียรูปของหน้าตัด

“การโก่งเดาะทางข้างและการบิด (Lateral-Torsional Buckling)” หมายความว่า รูปแบบการโก่งเดาะ ขององค์อาคารรับแรงดัดที่ประกอบด้วยการโก่งตัวออกนอกระนาบของการดัด และการบิดรอบจุดศูนย์กลาง แรงเฉือนของหน้าตัดร่วมกัน

“การโก่งเดาะทางด้านข้าง (Lateral Buckling)” หมายความว่า รูปแบบการโก่งเดาะรอบแกนรองของ หน้าตัดขององค์อาคารรับแรงดัด

“การโก่งเดาะบิด (Torsional Buckling)” หมายความว่า รูปแบบการโก่งเดาะที่องค์อาคารรับแรงอัด บิดรอบแกนจุดศูนย์กลางแรงเฉือน

“การใช้งานได้ดี (Serviceability)” หมายความว่า สภาวะขององค์อาคารที่มีประโยชน์ใช้สอย รูปร่าง ความง่ายในการบำรุงรักษาความทนทาน ความสะดวกสบายในการใช้งาน เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของอาคาร ในสภาวะใช้งานปกติ

“การขันแน่นพอดี (Snug Tight)” หมายความว่า การขันสลักเกลียวโดยความแน่นที่ได้จากการกระแทก เล็กน้อยจากประแจแบบกระแทก Impact Wrench หรือขันด้วยแรงเต็มที่ของผู้ประกอบชิ้นงานด้วยประแจ แบบธรรมดา

“การคราก (Yielding)” หมายความว่า สภาวะขีดจำกัดการเสียรูปแบบอินีลาสติกที่เกิดขึ้นเมื่อถึงหน่วยแรงคราก

“การคราก (โมเมนต์คราก) (Yielding (Yield Moment))” หมายความว่า การครากที่ผิวนอกสุดของหน้าตัดขององค์อาคารเมื่อโมเมนต์ดัดถึงโมเมนต์คราก

“การคราก (โมเมนต์พลาสติก) (Yielding (Plastic Moment))” หมายความว่า การครากทั่วทั้งหน้าตัดขององค์อาคารเมื่อโมเมนต์ดัดถึงค่าพลาสติกโมเมนต์

“การบาก (Cope)” หมายความว่า การตัดปีกขององค์อาคารโครงสร้างออก เพื่อให้สอดคล้องกับรูปร่างขององค์อาคารที่มาต่อ

“ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ ASD (ASD Load Combination)” หมายความว่า ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกตามกฎหมาย หรือมาตรฐานการออกแบบ สำหรับการออกแบบโดยวิธีกำลังที่ยอมให้ (ASD)

“ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD (LRFD Load Combination)” หมายความว่า ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกตามกฎหมาย หรือมาตรฐานการออกแบบ สำหรับการออกแบบโดยวิธีน้ำหนักบรรทุก และตัวคูณความต้านทาน (LRFD)

“การวิเคราะห์โดยวิธีพลาสติก (Plastic Analysis)” หมายความว่า การหาผลกระทบของน้ำหนัก (แรง โมเมนต์ ความเค้น และอื่นๆ) ที่มีต่อองค์อาคารและจุดต่อ โดยมีสมมติฐานว่ามี Rigid-Plastic Behavior ทั้งนี้จะต้องมีการพิจารณาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนรูปลำดับสอง (Secondary Effects)

“การวิเคราะห์โดยวิธีอีลาสติก (Elastic Analysis)” หมายความว่า การหาผลกระทบของน้ำหนัก (แรง โมเมนต์ ความเค้น และอื่นๆ) ที่มีต่อองค์อาคารและจุดต่อ โดยมีสมมติฐานว่าหลังจากน้ำหนักที่กระทำต่อวัสดุออกแล้ววัสดุจะไม่มี การเปลี่ยนรูปที่เป็นผลจากน้ำหนักดังกล่าวหลงเหลืออยู่

“การออกแบบโดยวิธีกำลังที่ยอมให้ (Allowable Strength Design, ASD)” หมายความว่า วิธีการเทียบสัดส่วนของชิ้นส่วนโครงสร้างโดยที่ กำลังที่ยอมให้เท่ากับหรือมากกว่ากำลังที่ต้องการของชิ้นส่วนภายใต้แรงกระทำจากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ ASD

“การออกแบบโดยวิธีน้ำหนักบรรทุกและตัวคูณความต้านทาน (Load and Resistance Factor Design, LRFD)” หมายความว่า วิธีการเทียบสัดส่วนของชิ้นส่วนโครงสร้างโดยที่ กำลังออกแบบเท่ากับ หรือมากกว่ากำลังที่ต้องการของชิ้นส่วนภายใต้แรงกระทำจากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD

“กำลังโก่งเดาะ (Buckling Strength)” หมายความว่า กำลังสำหรับสภาวะขีดจำกัดความไม่มีเสถียรภาพ

“กำลังฉีกขาด (Rupture Strength)” หมายความว่า กำลังที่จำกัดด้วยการแตก หรือฉีกขององค์อาคาร หรือชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อ

“กำลังที่ใช้ได้ (Available Strength)” หมายความว่า กำลังออกแบบ หรือกำลังที่ยอมให้

“กำลังที่ต้องการ (Required Strength)” หมายความว่า แรง หน่วยแรง หรือการเสียรูปแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง ที่หาได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยใช้การรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ LRFD หรือ ASD หรือที่ระบุในมาตรฐาน

“กำลังที่ยอมให้ (Allowable Strength)” หมายความว่า กำลังระบุหารด้วยสัดส่วนความปลอดภัย R_n/Ω_n

“กำลังระบุ (Nominal Strength)” หมายความว่า ความสามารถของโครงสร้าง หรือส่วนประกอบในการต้านทานต่อผลกระทบอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุก สามารถหาได้จากการคำนวณโดยใช้ กำลังของวัสดุขนาดและสมการที่ได้มาจากกฎทางกลศาสตร์ หรือจากการทดสอบในสนามหรือจากการทดสอบโดยแบบจำลอง

“กำลังรับแรงดึง (ของวัสดุ) (Tensile Strength (of Material))” หมายความว่า หน่วยแรงดึงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้

“กำลังรับแรงดึง (ขององค์อาคาร) (Tensile Strength (of Member))” หมายความว่า แรงดึงสูงสุดที่องค์อาคารสามารถรับได้

“กำลังรับแรงดึงระบุต่ำสุด (Specified Minimum Tensile Strength)” หมายความว่า ชีตจำกัดล่างของกำลังรับแรงดึงระบุของวัสดุ ที่ระบุในมาตรฐาน

“กำลังออกแบบ (Design Strength)” หมายความว่า ตัวคูณความต้านทานคูณกับกำลังระบุ ϕR_n

“แกนทางเรขาคณิต (Geometric Axis)” หมายความว่า แกนที่ขนานกับแผ่นเอว ปีก หรือขาของเหล็กลูก

“แกนรอง (Weak Axis)” หมายความว่า แกนประธานรองที่ผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด

“แกนหลัก (Strong Axis)” หมายความว่า แกนประธานหลักที่ผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด

“ความไม่มีเสถียรภาพของโครง (Frame Instability)” หมายความว่า สภาวะที่โครงเกิดการเปลี่ยนรูปโดยมีการโก่งตัวทางด้านข้างเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของน้ำหนักแบบโมโนโทนิก (Monotonic) จนกระทั่งค่าน้ำหนักสูงสุดทำให้ถึงสภาวะขีดจำกัดของความมีเสถียรภาพ โดยหลังจากนี้แล้วโครงจะเกิดการโก่งตัวต่อไปอีกแม้จะไม่มีการเพิ่มน้ำหนักที่กระทำ

“ความกว้างเรียบ (Flat Width)” หมายความว่า ความกว้างของหน้าตัดรูปท่อนสี่เหลี่ยมลบด้วยสองเท่าของรัศมีมุมด้านนอก ในกรณีที่ไม่มีทราบริศมีมุม อาจคำนวณได้จากความกว้างทั้งหมดลบด้วยสามเท่าของความหนา

“ความต้านทาน (Resistance)” หมายความว่า ความสามารถของโครงสร้าง หรือส่วนประกอบในการต้านทานผลกระทบที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก สามารถหาได้จากการคำนวณโดยใช้กำลังของวัสดุ ขนาด และสมการที่ได้มาจากกฎทางกลศาสตร์ หรือจากการทดสอบในสนาม หรือจากการทดสอบโดยแบบจำลอง ความต้านทานจะประกอบด้วยสภาวะขีดจำกัดในด้านกำลัง และการใช้งาน

“ความยาวที่ปราศจากการค้ำยัน (Unbraced Length)” หมายความว่า ระยะระหว่างจุดที่มีการค้ำยันขององค์อาคาร วัดจากจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วงขององค์อาคารที่ใช้เป็นค้ำยัน

“ความยาวประสิทธิภาพ (Effective Length)” หมายความว่า ความยาวของเสาที่ทำให้เสามีกำลังเท่ากับการวิเคราะห์โดยกำหนดให้เสามีปลายยึดหมุนทั้งสองปลาย

“ความหนาผนังออกแบบ (Design Wall Thickness)” หมายความว่า ความหนาของผนังหน้าตัดรูปท่อนใช้สำหรับการคำนวณคุณสมบัติของหน้าตัด

“คาน (Beam)” หมายความว่า องค์อาคารที่หน้าที่หลัก คือ การรับน้ำหนักที่กระทำตามขวางกับแกนตามยาว

“คานแผ่นเหล็กประกอบ (Composite Beam)” หมายความว่า คานขนาดใหญ่ที่ประกอบขึ้นจากเหล็กแผ่นปกติจะมีความชะลุดของแผ่นเอวและปีกสูงกว่าคานธรรมดา

“คานขนาดใหญ่ (Girder)” หมายความว่า ดู คาน

“ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิภาพ (Effective Length Factor)” หมายความว่า อัตราส่วนระหว่างความยาวประสิทธิภาพต่อความยาวที่ไม่มีการค้ำยันขององค์อาคาร

“ค้ำยันทางข้าง (Lateral Bracing)” หมายความว่า ชิ้นส่วนหรือระบบที่ออกแบบสำหรับการป้องกันการโก่งเดาะทางข้าง หรือการโก่งเดาะทางข้างและการบิดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

“โค้งเดี่ยว (Single Curvature)” หมายความว่า รูปร่างการเปลี่ยนรูปขององค์อาคารที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งราบเรียบไม่มีการดัดกลับ อาจพิจารณาได้จากรูปคลื่นของไซน์ครึ่งลูก (Half-Sine Wave)

“โค้งคู่ (Double Curvature)” หมายความว่า การเสียรูปของคานที่มีจุดดัดกลับหนึ่งจุด หรือมากกว่าในช่วงคาน

“โค้งดัดกลับ (Reverse Curvature)” หมายความว่า ดู โค้งคู่

“ช่องเปิดเพื่อให้เข้าเชื่อมถึง (Weld Access Hole)” หมายความว่า ช่องเจาะในแผ่นเอวที่ปลายคาน เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อระหว่างปีกของคานที่เจาะ และชิ้นส่วนต่อได้สะดวก

“ชิ้นส่วนปลายยึด (Stiffened Element)” หมายความว่า ชิ้นส่วนรับแรงอัดแบนราบที่มีการเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนนอกกระนาบตลอดปลายทั้งสองด้าน และขนานกับทิศทางของแรงกระทำ

“ชิ้นส่วนปลายยื่น (Unstiffened Element)” หมายความว่า ชิ้นส่วนรับแรงอัดแบนราบที่มีการเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนนอกกระนาบตลอดปลายเพียงด้านเดียว และขนานกับทิศทางของแรงกระทำ

“ตัวคูณความต้านทาน (Resistance Factor)” หมายความว่า ตัวคูณที่รวมผลของความเปราะบางที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ของกำลังระบุจากกำลังจริง และรูปแบบและผลของการวิบัติ

“ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor)” หมายความว่า ตัวคูณที่รวมผลของความเปราะบางของน้ำหนักระบุจากน้ำหนักบรรทุกจริง และผลจากความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ที่แปลงน้ำหนักบรรทุกเป็นผลของน้ำหนักบรรทุก เพราะความน่าจะเป็นที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดจะกระทำพร้อมกันมากกว่า 1 ชนิด

“น้ำหนักใช้งาน (Service Load)” หมายความว่า น้ำหนักที่พิจารณาในสภาวะขีดจำกัดการใช้งานได้ดี

“น้ำหนักบรรทุก (Load)” หมายความว่า แรง หรือการกระทำที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักอันนอกเหนือจากน้ำหนักโครงสร้างถาวร การทรุดตัว และระยะการยัดรีดที่เปลี่ยนไป

“น้ำหนักบรรทุกปรับค่า (Factored Load)” หมายความว่า ผลคูณระหว่างน้ำหนักบรรทุกระบุกับตัวคูณน้ำหนักบรรทุก

“น้ำหนักบรรทุกระบุ (Nominal Load)” หมายความว่า ขนาดของน้ำหนักบรรทุกที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่นำมาใช้

“น้ำหนักออกแบบ (Design Load)” หมายความว่า น้ำหนักที่กระทำ หาได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกแบบ LRFD หรือ แบบ ASD

“ปีก (Flange)” หมายความว่า แผ่นเหล็ก หรือส่วนที่เป็นแถบอยู่ในแนวราบ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคาน

“แผ่นเสริมกำลัง (Stiffener)” หมายความว่า ชิ้นส่วนโครงสร้างซึ่งปกติจะเป็นเหล็กฉาก หรือแผ่นเหล็กยึดติดกับองค์อาคาร เพื่อกระจายน้ำหนัก ส่งถ่ายแรงเฉือน หรือป้องกันการโก่งเดาะ

“แผ่นเหล็กเสริมกำลังทางขวาง (Transverse Stiffener)” หมายความว่า แผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ยึดติดกับแผ่นเอวของคานในทิศทางตั้งฉากกับปีก เพื่อช่วยรับแรงเฉือนหรือกระจายแรงกระทำแบบจุด

“แผ่นเอว (Web)” หมายความว่า องค์ประกอบในคาน หรือคานหลัก โดยเป็นแผ่นเหล็กหรือแถบที่อยู่แนวตั้ง

“แผ่นประกบหรือแผ่นประกบ (Cover Plate)” หมายความว่า แผ่นเหล็กทาบ ใช้ในการต่อคานเหล็ก หรือใช้เสริมเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับแรงของปีกคาน

“แผ่นประกบ (Gusset Plate)” หมายความว่า ชิ้นส่วนแผ่นเชื่อมต่อชิ้นส่วนโครงหลัก หรือเชื่อมค้ำยันหรือชิ้นส่วนรับแรงตามแนวแกนไปยังคาน หรือเสา

“พื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ (Effective Area)” หมายความว่า พื้นที่หน้าตัดที่มีผลในการรับแรง มีค่าลดลงจากพื้นที่หน้าตัดสุทธิเนื่องจากสภาพของแรงและการเชื่อมต่อ

“พื้นที่หน้าตัดรวม (Gross Area)” หมายความว่า พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารที่ไม่หักพื้นที่ของรูเจาะ

“พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Net Area)” หมายความว่า พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารที่หักพื้นที่ของรูเจาะตามวิธีคำนวณที่กำหนด

“โมดูลัสหน้าตัดประสิทธิภาพ (Effective Section Modulus)” หมายความว่า โมดูลัสหน้าตัดที่ลดลงที่พิจารณาผลของการโก่งเดาะของชิ้นส่วนเซลลูรับแรงอัด

“โมเมนต์ดัดพลาสติก, โมเมนต์พลาสติก (Plastic Moment)” หมายความว่า ความต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดที่เกิดมีการครากทั้งหมด

“โมเมนต์คราก (Yield Moment)” หมายความว่า ในองค์อาคารภายใต้การดัด คือค่าโมเมนต์ที่ทำให้ผิวนอกสุดขององค์อาคารถึงหน่วยแรงคราก

“โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิภาพ (Effective Moment of Inertia)” หมายความว่า โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดขององค์อาคารที่ยังเป็นอีลาสติกอยู่แม้ว่าหน้าตัดบางส่วนอยู่ในช่วงพลาสติก มักเกิดกับองค์อาคารที่มีหน่วยแรงคงค้างร่วมกับหน่วยแรงกระทำ โมเมนต์ความเฉื่อยขึ้นกับความกว้างประสิทธิภาพขององค์อาคารที่เกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ และโมเมนต์ความเฉื่อยจะใช้ในการออกแบบองค์อาคารเชิงประกอบบางส่วน

“รอยเชื่อมแบบแต้ม (Tack Weld)” หมายความว่า รอยเชื่อมชั่วคราวที่ใช้ยึดชิ้นส่วนให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และจะละลายรวมกับโลหะเชื่อมของรอยเชื่อมถาวร

“รอยเชื่อมแบบบากร่อง (Groove Weld)” หมายความว่า รอยเชื่อมตรงรอยบากระหว่างชิ้นส่วนที่นำมาเชื่อมต่อ

“รอยเชื่อมแบบพอก (Fillet Weld)” หมายความว่า รอยเชื่อมที่มีหน้าตัดคล้ายรูปสามเหลี่ยม เชื่อมต่อระหว่างผิวขององค์อาคารที่ทำมุมตั้งฉากกันโดยประมาณ ในรอยต่อทาบ รอยต่อรูปตัว T หรือรอยต่อที่มุม

“รอยเชื่อมแบบอุดร่อง (Slot Weld)” หมายความว่า รอยเชื่อมในรูเจาะแบบร่อง

“รอยเชื่อมแบบอุดรู (Plug Weld)” หมายความว่า รอยเชื่อมในรูกลมเพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่เจาะรูกับชิ้นส่วนต่อ

“รอยเลื่อน (Slip)” หมายความว่า สำหรับรอยต่อโดยใช้สลักเกลียว หมายถึง สภาวะขีดจำกัดที่การเคลื่อนที่มีสัมพัทธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่ต่อก่อนที่จะเกิดกำลังที่ใช้ได้ของรอยต่อ

“รอยต่อ (Connection)” หมายความว่า การรวมกันของชิ้นส่วนทางโครงสร้างและจุดต่อ สำหรับส่งผ่านแรงระหว่างองค์อาคาร 2 ชิ้น หรือมากกว่า

“รอยต่อแบบเลื่อนวิกฤต (Slip-Critical Connection)” หมายความว่า รอยต่อแบบสลักเกลียวที่ออกแบบให้ต้านทานการเคลื่อนที่โดยแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของรอยต่อภายใต้แรงบีบจากสลักเกลียว

“รอยต่อแบบขันแน่นก่อน (Pretensioned Joint)” หมายความว่า รอยต่อโดยใช้สลักเกลียวกำลังสูง ขันจนได้แรงไม่น้อยกว่าค่าแรงตึงขั้นต่ำระบุ

“รอยต่อประเภทรับแรงแบกทาน (Bearing-Type Connection)” หมายความว่า รอยต่อแบบสลักเกลียวโดยที่แรงเฉือนส่งผ่านด้วยแรงแบกทานของสลักเกลียวบนชิ้นส่วนรอยต่อ

“รูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐาน (Oversized Hole)” หมายความว่า รูเจาะแบบใหญ่กว่ามาตรฐาน

“รูเจาะมาตรฐาน (Standard Hole)” หมายความว่า รูเจาะมาตรฐาน

“แรงกระทำเชิงแรงตึง (Tension Field Action)” หมายความว่า พฤติกรรมของแผงเอว (Web Panel) ของคานแผ่นเหล็กประกอบ ภายใต้แรงเฉือน ที่ก่อให้เกิดหน่วยแรงตึงแนวทแยงที่เอว และเกิดแรงอัดที่แผ่นเสริมกำลังทางขวาง ซึ่งพฤติกรรมนี้คล้ายกับโครงข้อหมุนแบบแพรท (Pratt Truss)

“แรงกระทำซ้ำ (Repeated Load)” หมายความว่า การกระทำซ้ำๆ ของแรงกับองค์อาคาร หรือโครงสร้าง จนอาจทำให้เกิดการล้าตัว

“แรงเฉือนตามแนวนอน (Horizontal Shear)” หมายความว่า แรงเฉือนที่อยู่ในระนาบแนวนอนของคาน ที่ส่งผลให้ชั้นในคานเกิดการเลื่อนไถลออกจากกัน เช่น แผ่นพื้นคอนกรีตในคานเชิงประกอบกับส่วนที่เป็น คานเหล็กมีแนวโน้มที่จะเลื่อนไถลออกจากกัน

“วิธีหมุนถอนแป้นเกลียว (Turn-of-Nut Method)” หมายความว่า วิธีการซึ่งการให้แรงตึงก่อน (Pre-Tension) ในสลักเกลียวกำลังสูง ถูกควบคุมโดยรอบการหมุนของประแจ สามารถคำนวณได้ก่อนโดย พิจารณาจากจุดที่สลักเกลียวถูกขันให้แน่นพอดี

“สติฟเนส (Stiffness)” หมายความว่า ความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปขององค์อาคารหรือโครงสร้าง วัดจาก อัตราส่วนระหว่างแรงกระทำต่อการเปลี่ยนตำแหน่งเนื่องจากแรงกระทำดังกล่าว

“สติฟเนสประสิทธิผล (Effective Stiffness)” หมายความว่า สติฟเนสขององค์อาคารที่คำนวณโดยใช้ค่า โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผลของหน้าตัด

“สภาวะขีดจำกัด (Limit State)” หมายความว่า สภาพที่โครงสร้างหรือส่วนประกอบอยู่ในสภาวะที่ ไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน และเห็นว่าไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้ หรืออยู่ในสภาพ ไม่ปลอดภัย

“สภาวะขีดจำกัดการใช้งาน (Serviceability Limit State)” หมายความว่า สภาพจำกัดที่มีผลต่อ ความสามารถของโครงสร้างในการรักษารูปร่างภายนอก การบำรุงรักษา ความทนทาน ความสะดวกสบายต่อ ผู้ใช้งานและการใช้เครื่องจักรกลในสภาพการใช้งานปกติไว้ได้

“สภาวะขีดจำกัดกำลัง (Strength Limit State)” หมายความว่า สภาพการรับน้ำหนักสูงสุดที่โครงสร้าง ยังคงความปลอดภัย โดยถึงจุดน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่โครงสร้างสามารถรับได้

“เสา (Column)” หมายความว่า ชิ้นส่วนโครงสร้างแนวตั้งที่ทำหน้าที่ต้านทานแรงอัดตามแนวแกนเป็นหลัก

“หน่วยแรง (Stress)” หมายความว่า แรงต่อหน่วยพื้นที่ ที่เกิดจากแรงตามแนวแกน โมเมนต์ดัด แรงเฉือน หรือแรงบิด

“หน่วยแรงครากะบุต่ำสุด (Specified Minimum Yield Stress)” หมายความว่า ขีดจำกัดล่างของหน่วย แรงครากะบุของวัสดุ ที่ระบุในมาตรฐาน

“หน่วยแรงที่ใช้ได้ (Available Stress)” หมายความว่า หน่วยแรงออกแบบ หรือหน่วยแรงที่ยอมให้

“หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress)” หมายความว่า กำลังที่ยอมให้หารด้วยคุณสมบัติหน้าตัดที่เหมาะสม เช่น โมดูลัสของหน้าตัด หรือ พื้นที่หน้าตัด

“หน้าตัดไม่อัดแน่น (Noncompact Section)” หมายความว่า หน้าตัดไม่อัดแน่นจะสามารถเกิดหน่วยแรง ครากบนชิ้นส่วนที่รับแรงอัดก่อนเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ แต่ไม่สามารถต้านทานการโก่งเดาะแบบไม่เป็นอีลา สติกที่ระดับความเครียดอันก่อให้เกิดการกระจายหน่วยแรงแบบพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์

“หน้าตัดชิ้นส่วนชะลูด (Slender-Element Section)” หมายความว่า หน้าตัดขององค์อาคารซึ่งจะเกิดการ โก่งเดาะเฉพาะที่ในช่วงอีลาสติก

“หน้าตัดรูปท่อ (Hollow Section)” หมายความว่า หน้าตัดเหล็กโครงสร้างกลวงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือกลม ผลิตตามมาตรฐานการผลิตท่อ

“หน้าตัดอัดแน่น (Compact Section)” หมายความว่า หน้าตัดอัดแน่นจะสามารถเกิดการกระจายของหน่วยแรงแบบพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ และมีความสามารถในการหมุนมีค่าประมาณสาม ก่อนที่จะเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่

“องค์อาคารประกอบ (Built-Up Member)” หมายความว่า องค์อาคารซึ่งประกอบด้วยองค์อาคารโลหะขนาดต่างๆ ที่ยึดติดกันโดยการเชื่อม การใช้สลักเกลียว หรือหมุดย้ำ

“อัตราส่วนชะลูด (Slenderness Ratio)” หมายความว่า อัตราส่วนระหว่างความยาวประสิทธิผลของเสาต่อรัศมีไจเรชันของเสาโดยค่าทั้งคู่เป็นค่าจากแกนดัดเดียวกัน

“อุปกรณ์ยึด (Fastener)” หมายความว่า อุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดต่อหรือเชื่อมต่อ เช่น สลักเกลียว หรือหมุดย้ำ

1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- 1.3.1 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (มอก. 1227-2558)”, 2558.
- 1.3.2 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง (มอก. 107-2533)”, 2533.
- 1.3.3 กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร (มยพ. 1107)”, 2561.
- 1.3.4 กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานความคงทนของอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (มยพ. 1333)”, 2561.
- 1.3.5 กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงสร้างเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (มยพ. 1561 – มยพ. 1565)”, 2551.
- 1.3.6 American Institute of Steel Construction (AISC), “Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-10)”, 2010.
- 1.3.7 American Institute of Steel Construction (AISC), “Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges (AISC 303-10)”, 2010.
- 1.3.8 American Welding Society (AWS), “Structural Welding Code – Steel (ANSI/AWS D1.1/D1.1M)”, 2010.
- 1.3.9 Research Council on Structural Connections (RCSC), “Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts”, 2009.

1.4 วัสดุ

เหล็กโครงสร้างใช้ในคู่มือการออกแบบ เป็นไปตามมาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (มอก 1227-58) หรือมาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง (มอก 107-33) ของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม หรือตามมาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร (มยพ 1103-61) ของกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทที่ 2

ข้อกำหนดการออกแบบ

2.1 ทัวไป

ข้อกำหนดการออกแบบโดยทั่วไปนอกเหนือจากระบุในคู่มือการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมืองที่เกี่ยวข้อง

2.2 น้ำหนักบรรทุก ตัวคูณ และการจัดกลุ่ม

เป็นไปตามกฎกระทรวง และมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมืองที่เกี่ยวข้อง

2.3 พื้นฐานการออกแบบ

การออกแบบต้องกระทำตามข้อกำหนดของวิธีกำลังที่ยอมให้หรือวิธีตัวคูณน้ำหนักบรรทุกและกำลังต้านทาน กำลังที่ต้องการขององค์อาคารโครงสร้างและรอยต่อองค์อาคารคำนวณได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกโดยอาจใช้วิธีอิลาสติก อินอิลาสติก หรือพลาสติก อย่างใดอย่างหนึ่ง การออกแบบรอยต่อค่าของแรงและการเปลี่ยนรูปร่างต้องเป็นไปตามสมมติฐานการวิเคราะห์โครงสร้าง ประเภทของรอยต่อแบ่งออกได้เป็น แบบง่าย แบบยึดแน่น และแบบกึ่งยึดแน่น

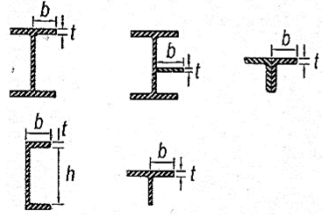
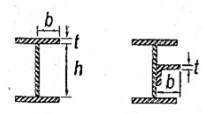
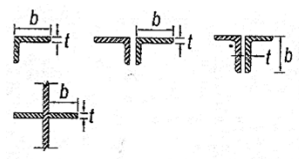

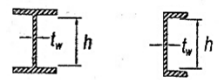

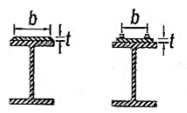
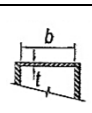

2.4 คุณสมบัติหน้าตัดองค์อาคาร

หน้าตัดองค์อาคารแบ่งออกเป็น หน้าตัดอัดแน่น หน้าตัดไม่อัดแน่น หรือหน้าตัดชิ้นส่วนชะลุดโดยใช้อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาตามระบุในตารางที่ 1 หน้าตัดชิ้นส่วนชะลุด คือ หน้าตัดที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความหนามากกว่า λ_r

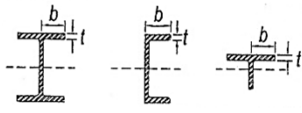
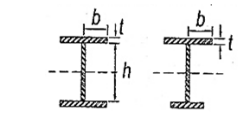
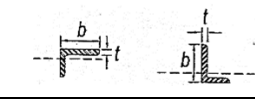
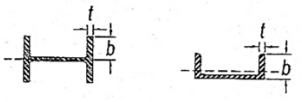

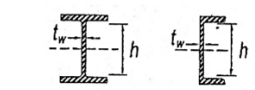
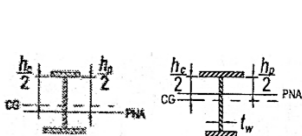
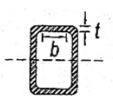
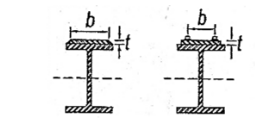
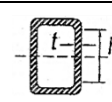
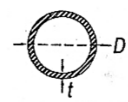
2.5 การออกแบบเพื่อเสถียรภาพ

การออกแบบต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของระบบโครงสร้างทั้งหมด และเสถียรภาพของชิ้นส่วนย่อย การวิเคราะห์โครงสร้างเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างเพื่อตรวจสอบเสถียรภาพกรณีที่เป็นให้พิจารณาผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง และแรงกระทำด้านข้าง รวมถึงพฤติกรรมอินอิลาสติกของชิ้นส่วนย่อย ชิ้นส่วนไม่เป็นเส้นตรง และผลของโมเมนต์อันดับสอง เนื่องจากผลลัพธ์ของ $P - \Delta$

ตารางที่ 1 (ก) อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุดของชิ้นส่วนรับแรงอัด
เนื่องจากแรงอัดตามแนวแกน
(ข้อ 2.4)

กรณี	ประเภทของชิ้นส่วน	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุด λ_r ไม่อัดแน่น/ชะลุด	ตัวอย่าง
ชิ้นส่วนปลายยื่น	1 ปีกของหน้าตัดรูปตัว H แผ่นเหล็กที่ยื่นออกมาจากหน้าตัดรูปตัว H ขาที่ยื่นออกมาจากเหล็กฉากคู่แนบติดกันอย่างต่อเนื่อง ปีกของรูปตัว C และ T	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2 ปีกของหน้าตัดประกอบรูปตัว H ขาที่ยื่นออกมาจากหน้าตัดประกอบรูปตัว H	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ ^[a]	
	3 ขาของเหล็กฉากเดี่ยว ขาของเหล็กฉากคู่ที่ไม่แนบติดกัน ชิ้นส่วนปลายยื่นอื่นๆ	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4 ขาของเหล็กรูปตัว T	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
ชิ้นส่วนปลายยึด	5 เหวของรูปตัว H สมมาตรสองแกน และรูปตัว C	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6 ผนังของท่อกลางรูปตัดสี่เหลี่ยมความหนาคงที่	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7 ปีกของแผ่นเหล็กประกบ และแผ่นเหล็กคั่นกลางระหว่างแนวของหมุดยึดหรือแนวเชื่อม	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8 ชิ้นส่วนปลายยึดอื่นๆ	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9 ผนังของท่อกกลม	D/t	$0.11E/F_y$	

ตารางที่ 1 (ข) อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาสูงสุดของชิ้นส่วนรับแรงอัดเนื่องจากโมเมนต์ดัด
(ข้อ 2.4)

	กรณี	ประเภทของชิ้นส่วน	อัตราส่วน ความ กว้างต่อ ความหนา	อัตราส่วน ความกว้างต่อความหนาสูงสุด		ตัวอย่าง
				λ_p	λ_r	
ชิ้นส่วนปลายยื่น	10	ปีกของคานรูปพรรณรูป ตัว H รูปตัว C และรูปตัว T	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	ปีกของคานประกอบรูป ตัว H สมมาตรแกนเดียว และสองแกน	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \begin{matrix} [a] \\ [b] \end{matrix}$	
	12	ขาของเหล็กฉากเดี่ยว	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	ปีกของคานรูปพรรณรูป ตัว H และรูปตัว C รับ โมเมนต์รอบแกนรอง	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	ขาของเหล็กรูปตัว T	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
ชิ้นส่วนปลายยึด	15	เอวของรูปตัว H สมมาตร สองแกน และรูปตัว C	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	เอวของรูปตัว H สมมาตร แกนเดียว	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_r$ [c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	ปีกของท่อกลวงรูปตัด สี่เหลี่ยมความหนาคงที่	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	ปีกของแผ่นเหล็กประกบ และแผ่นเหล็กคั่นกลาง ระหว่างแนวของหมุดยึด หรือแนวเชื่อม	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	เอวของท่อกลวงรูปตัด สี่เหลี่ยม	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	ผนังของท่อกลม	D/t	$0.07E/F_y$	$0.31E/F_y$	

หมายเหตุ [a] $k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$ และ $0.35 \leq k_c \leq 0.76$

[b] $F_L = 0.75F_y$ สำหรับเอวขึ้นส่วนประกอบรูปตัว H หน้าตัดอัดแน่น และไม่อัดแน่น
รับโมเมนต์รอบแกนหลัก

[c] M_y คือค่าโมเมนต์เมื่อหน้าตัดเริ่มคราก และ M_p คือค่าโมเมนต์พลาสติก

บทที่ 3

การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง

3.1 อัตราส่วนความชะลุด

อัตราส่วนความชะลุดสำหรับองค์อาคารรับแรงดึงไม่ควรมีค่ามากกว่า 300 ยกเว้นองค์อาคารเหล็กกลมรับแรงดึง และยึดแฉวน

3.2 กำลังรับแรงดึง

การรับแรงดึงขององค์อาคาร คำนวณได้จากการวิบัติ 2 กรณี ค่ากำลังรับแรงดึงที่น้อยกว่าจะเป็นค่าที่ใช้ออกแบบ

ก) การวิบัติเนื่องจากการครากบนพื้นที่หน้าตัดรวม

$$P_n = F_y A_g \quad (1)$$

โดยที่ P_n = กำลังรับแรงดึงระบุ (นิวตัน)
 F_y = หน่วยแรงดึงคราก (เมกะปาสคาล)
 A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม (มิลลิเมตร²)

ข) การวิบัติเนื่องจากการขาดบนพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล

$$P_n = F_u A_e \quad (2)$$

โดยที่ F_u = หน่วยแรงดึงประลัย (เมกะปาสคาล)
 A_e = พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (มิลลิเมตร²) (ดูตารางที่ 2)

3.3 พื้นที่หน้าตัดสุทธิ และพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล

3.3.1 พื้นที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคาร ที่มีรูเจาะเนื่องจากการใช้สลักเกลียว หรือหมุดย้ำที่รอยต่อ

พื้นที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง หมายถึง พื้นที่รูเจาะซึ่งเป็นผลคูณระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะจากสมการ (2) กับความหนาขององค์อาคาร

$$D = d + 2 \quad (3)$$

โดยที่ D = เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ (มิลลิเมตร)
 d = เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะระบุ (มิลลิเมตร) (ดูตารางที่ 2 ก))

กรณีองค์อาคารมีรูเจาะแบบเอียงให้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดวิกฤติ โดยคำนึงถึงผลของการจัดรูเจาะแบบเอียง

ตารางที่ 2 (ก) เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะระบุ (มม.) และขนาดรูเจาะระบุ (มม. x มม.)
(ข้อ 3.3.1)

สลักเกลียว	ประเภทของรูเจาะ			
	แบบมาตรฐาน (เส้นผ่านศูนย์กลาง)	แบบใหญ่กว่ามาตรฐาน (เส้นผ่านศูนย์กลาง)	แบบร่องสั้น (กว้าง x ยาว)	แบบร่องยาว (กว้าง x ยาว)
M12	14	16	14 x 18	14 x 32
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27	30	27 x 32	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
≥ M36	Ø+3	Ø+8	(b+3) x (t+10)	(b+3) x 2.5b

หมายเหตุ Ø = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด (มิลลิเมตร)

3.3.2 พื้นที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารที่ไม่มีรูเจาะเนื่องจากการใช้รอยเชื่อมที่รอยต่อ

พื้นที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดรวม

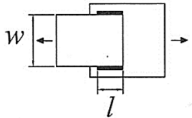
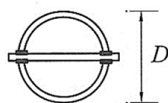
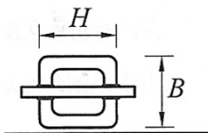
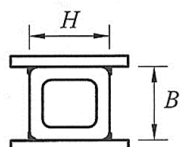
3.3.3 พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ

พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ A_e มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่าง shear lag factor หรือตัวคูณ U จากตารางที่ 2 (ข) กับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ

ตารางที่ 2 (ข) ตัวคูณเชียร์แล็ก (Shear Lag Factor, U) ที่รอยต่อขององค์อาคารรับแรงดึง
(ข้อ 3.3.3)

กรณี	รายละเอียด	ตัวคูณ U	ตัวอย่าง
1	แรงดึงส่งถ่ายโดยตรงไปยังทุกชิ้นส่วนของหน้าตัดผ่านตัวยึดหรือการเชื่อม (ยกเว้นกรณี 4, 5 และ 6)	$U = 1.0$	-
2	ยกเว้นแผ่นเหล็ก และเหล็กท่อ เมื่อแรงดึงส่งถ่ายไปยังบางชิ้นส่วนของหน้าตัดผ่านตัวยึดหรือการเชื่อมตามยาว (สำหรับหน้าตัด W, M, S และ HP สามารถใช้กรณี 7 แทนได้)	$U = 1 - \bar{x}/l$	

ตารางที่ 2 (ข) (ต่อ) ตัวคูณเชียร์แล็ก (Shear Lag Factor, U) ที่รอยต่อขององค์อาคารรับแรงดึง
(ข้อ 3.3.3)

กรณี	รายละเอียด		ตัวคูณ U	ตัวอย่าง
3	เมื่อแรงดึงส่งถ่ายไปยังบางชิ้นส่วนของหน้าตัดผ่าน การเชื่อมตามขวาง		$U = 1.0$ และ $A_n =$ พื้นที่ของ ชิ้นส่วนที่ต่อโดยตรง	-
4	แผ่นเหล็กที่แรงดึงส่งถ่ายผ่านการเชื่อมตามยาว เท่านั้น		$l \geq 2w : U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w : U = 0.87$ $1.5w > l \geq w : U = 0.75$	
5	เหล็กท่อกกลมที่มีแผ่นเหล็กประกบกับเดี่ยวนาน จุดศูนย์กลาง		$l \geq 1.3D : U = 1.0$ $D > l \geq 1.3D : U = 1 - \bar{X}/l$ และ $\bar{X} = D/\pi$	
6	เหล็กท่อกว้างเหลี่ยม	มีแผ่นเหล็กประกบ เดี่ยวนานจุดศูนย์กลาง	$l \geq H : U = 1 - \bar{X}/l$ และ $\bar{X} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
		มีแผ่นเหล็กประกบ 2 ข้าง	$l \geq H : U = 1 - \bar{X}/l$ และ $\bar{X} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	W, M, S หรือ HP หรือ T ที่ ตัดมาจากหน้าตัดเหล่านี้ (ถ้า U จากกรณี 2 เป็นค่าที่ มากกว่าสามารถนำไปใช้ได้)	ปีกมีการยึดต่อด้วยตัว ยึด 3 ตัวหรือมากกว่า ต่อ 1 แถวในทิศทาง ของแรง	$b_f \geq 2d / 3 : U = 0.90$ $b_f < 2d / 3 : U = 0.85$	-
		เอวมีการยึดต่อด้วย ตัวยึด 4 ตัวหรือ มากกว่าในทิศทาง ของแรง	$U = 0.70$	-
8	เหล็กฉากเดี่ยว (ถ้า U จาก กรณี 2 เป็นค่าที่มากกว่า สามารถนำไปใช้ได้)	มีตัวยึด 4 ตัว หรือ มากกว่าต่อ 1 แถวใน ทิศทางของแรง	$U = 0.80$	-
		มีตัวยึด 3 ตัว ต่อ 1 แถวในทิศทางของ แรง	$U = 0.60$	-

3.4 ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบของอาคารรับแรงดิ่งมีดังนี้

- ก) เลือกชนิดรูปตัดเหล็กgrupพรรณ เช่น เหล็กฉาก เหล็กทรงน้ำ และประเภทของค้ำอาคาร ได้แก่ องค์กรอาคารเดี่ยวหรือประกอบ
- ข) เลือกประเภทและขนาดของตัวยึด ได้แก่ สลักเกลียว หรือเชื่อม
- ค) คำนวณพื้นที่หน้าตัดสุทธิ และพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ
- ง) คำนวณกำลังรับแรงดิ่งตามหัวข้อ 3.2 จากการวิบัติ 2 กรณี และเปรียบเทียบกับแรงดิ่งใช้งานจริง และแรงดิ่งประลัยโดยตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกทุกตามกฎกระทรวง

วิธี ASD $\Omega_t = 1.67$ กรณีวิบัติเนื่องจากการคราก

$\Omega_t = 2.00$ กรณีวิบัติเนื่องจากการขาด

วิธี LRFD $\phi_t = 0.90$ กรณีวิบัติเนื่องจากการคราก

$\phi_t = 0.75$ กรณีวิบัติเนื่องจากการขาด

- จ) ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลุด ต้องไม่มากกว่า 300
- ฉ) กรณีที่ทราบจำนวนสลักเกลียว และตำแหน่งรูเจาะหรือความยาว และตำแหน่งรอยเชื่อม ให้ตรวจสอบการวิบัติเนื่องจากการเฉือนออก ตามสมการ (4)

$$T_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (4)$$

โดยที่ $\Omega_t = 2.00$ วิธี ASD

$\phi_t = 0.75$ วิธี LRFD

A_{nv} = พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงเฉือน (มิลลิเมตร²)

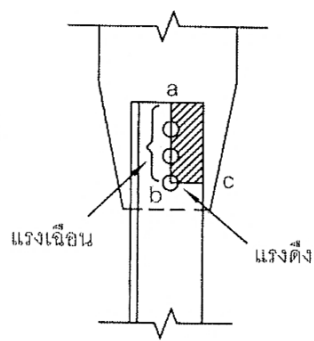
A_{nt} = พื้นที่หน้าตัดสุทธิรับแรงดิ่ง (มิลลิเมตร²)

A_{gv} = พื้นที่หน้าตัดรวมรับแรงเฉือน (มิลลิเมตร²)

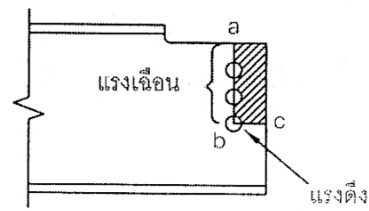
U_{bs} = สัมประสิทธิ์ตัวลด

= 1.0 เมื่อหน่วยแรงดิ่งมีค่าสม่ำเสมอ

= 1.0 เมื่อหน่วยแรงดิ่งมีค่าไม่สม่ำเสมอ



ก) เหล็กฉากรับแรงดึง

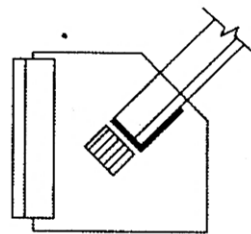


ข) คานรับแรงเฉือน

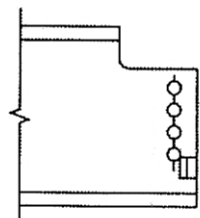
รูปที่ 1 ตัวอย่างการวิบัติแบบเฉือนออก

ที่มา : ทักษิณ และคณะ

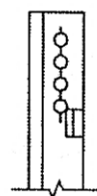
(ข้อ 3.4)



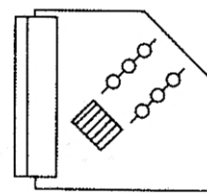
เหล็กฉากแบบเชื่อม



รอยต่อปลายคาน
ชนิดมีตัวยึดแถวเดียว

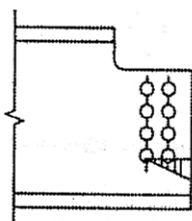


ปลายเหล็กฉาก



แผ่นเหล็กประกบ

ก. กรณีค่า $U_{bs} = 1.0$



รอยต่อปลายคานชนิดมีตัวยึดหลายแถว

ข. กรณีค่า $U_{bs} = 0.5$

รูปที่ 2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ตัวลด U_{bs}

ที่มา : ทักษิณ และคณะ

(ข้อ 3.4)

3.5 องค์อาคารประกอบ (Built-Up Section)

ในการออกแบบองค์อาคารประกอบ ความยาว ความกว้าง ความหนาของแผ่นเหล็กยึดขวาง รวมทั้งระยะห่างตามยาวของอุปกรณ์ยึดระหว่างชิ้นส่วนย่อย สามารถดูรายละเอียดได้จากมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.)

บทที่ 4

การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด

4.1 ทัวไป

บทนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาว ซึ่งรับแรงอัดตามแนวแกนผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด กำลังรับแรงอัดที่ใช้ออกแบบ $\phi_c P_n$ และกำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ P_n / Ω_c ขององค์อาคารรับแรงอัดคำนวณได้จากการโก่งเดาะแบบ FB, TB หรือ FTB ที่เป็นสาเหตุการวิบัติ

โดยที่ P_n = กำลังรับแรงอัดระบุจากสาเหตุของการโก่งเดาะ
 $\phi_c = 0.9$ (LRFD)
 $\Omega_c = 1.67$ (ASD)
FB = การโก่งเดาะจากการดัด
TB = การโก่งเดาะจากการบิด
FTB = การโก่งเดาะจากการดัด และการบิด

รูปตัดขององค์อาคารรับแรงอัด หรือเสารับแรงอัด ได้แก่ เหล็กรูปตัว H เหล็กกลวงรูปตัดกลม และสี่เหลี่ยม เหล็กรูปตัว C เหล็กรูปตัว T เหล็กฉากเดี่ยว และเหล็กฉากคู่

4.2 ความยาวประสิทธิผล

อัตราส่วนความชะลุดขององค์อาคาร (KL/r) ใช้ในการออกแบบไม่ควรเกิน 200 โดยคำนวณจากอัตราส่วนของความยาวประสิทธิผลที่ปราศจากค้ำยันด้านข้างหารด้วยรัศมีไจเรชัน

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล

(ตารางที่ 3 กรณีไม่เป็นโครงข้อแข็ง)

(รูปที่ 3 กรณีเป็นโครงข้อแข็ง ดูรายละเอียดในมาตรฐาน ว.ส.ท.)

L = ความยาวปราศจากค้ำยันขององค์อาคาร (มิลลิเมตร)

r = รัศมีไจเรชัน (มิลลิเมตร)

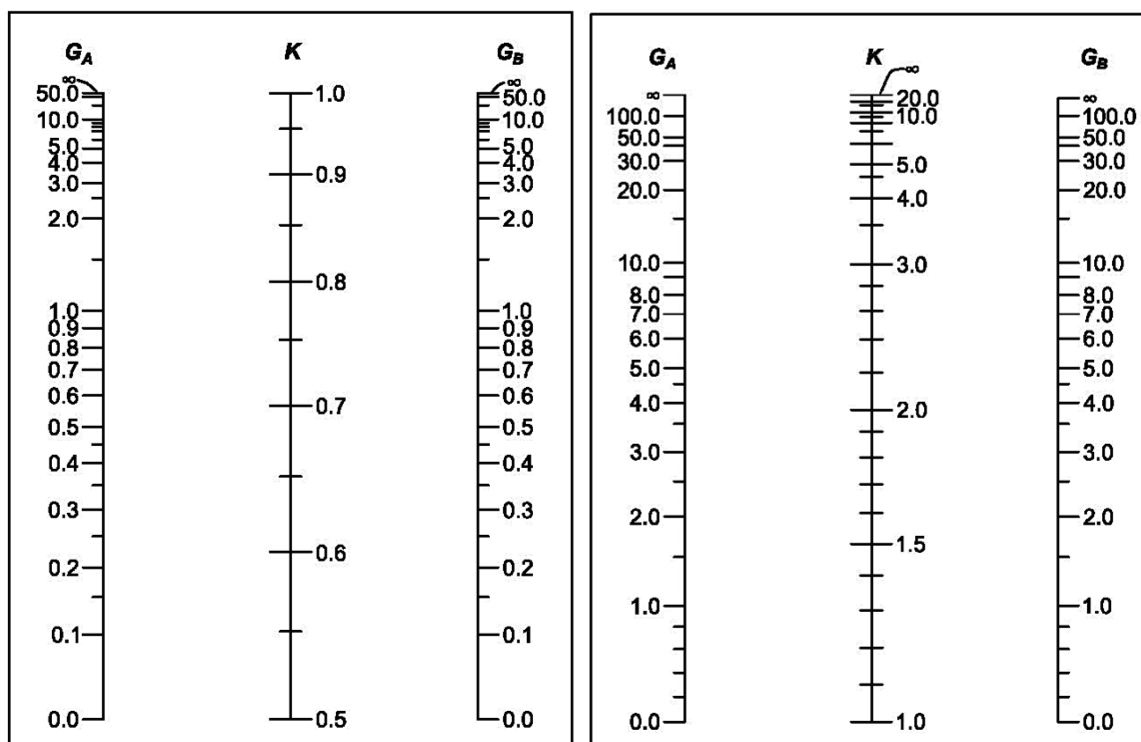
4.3 ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดมีดังนี้

- ก) เลือกชนิดรูปตัดเหล็กรูปพรรณ เช่น เหล็กฉาก เหล็กทรงน้ำ เหล็กรูปตัว H และประเภทขององค์อาคารเป็นองค์อาคารเดี่ยว หรือองค์อาคารประกอบ
- ข) คำนวณค่าความยาวประสิทธิผล ต้องมีค่าไม่มากกว่า 200
- ค) คำนวณกำลังรับแรงอัด โดยพิจารณาประเภทขององค์อาคารตามสาเหตุการโก่งเดาะ และประเภทความชะลุด และคำนวณหน่วยแรงอัดวิกฤต F_{cr} ตามสูตรตามหัวข้อ 4.4 หรือใช้ค่าจากตารางที่ 4
- ง) เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด กับแรงอัดใช้งานจริงหรือแรงอัดประลัย

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล
(ข้อ 4.2)

	ก.	ข.	ค.	ง.	จ.	ฉ.
ลักษณะการโก่งเดาะ ของเสาแสดงโดยเส้นประ						
ค่า K (ทฤษฎี)	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K (ออกแบบ)	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
สัญลักษณ์ของการยึดปลาย	 	การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของปลายเสา		
		ไม่มี		ไม่มี		
		มี		ไม่มี		
		ไม่มี		มี		
		มี		มี		



ก. ไม่มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง

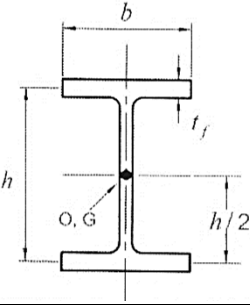
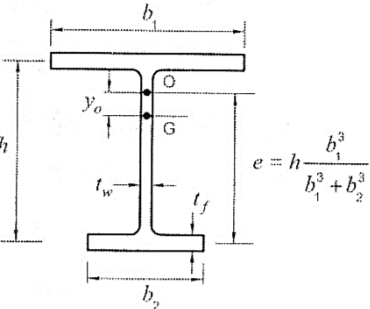
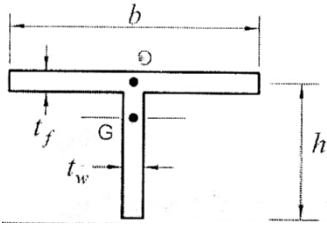
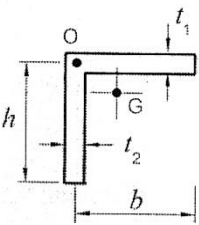
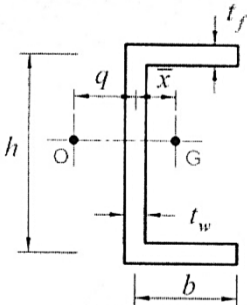
ข. มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง

รูปที่ 3 Alignment Charts สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล
(ข้อ 4.2)

ตารางที่ 4 หน่วยแรงอัดวิกฤต (F_{cr}) (เมกะปาสคาล) ($E = 2 \times 10^5$ เมกะปาสคาล,
 $F_y = 245$ เมกะปาสคาล)
 (ข้อ 4.3)

KL/r	F_{cr}	KL/r	F_{cr}	KL/r	F_{cr}	KL/r	F_{cr}	KL/r	F_{cr}
1	245	41	224	81	174	121	114	161	66
2	244	42	223	82	172	122	113	162	66
3	244	43	222	83	171	123	111	163	65
4	244	44	221	84	169	124	110	164	64
5	244	45	220	85	168	125	108	165	63
6	244	46	219	86	166	126	107	166	62
7	244	47	218	87	165	127	106	167	62
8	244	48	217	88	163	128	104	168	61
9	244	49	216	89	162	129	103	169	60
10	243	50	215	90	160	130	101	170	59
11	243	51	214	91	159	131	100	171	59
12	243	52	212	92	157	132	99	172	58
13	242	53	211	93	156	133	97	173	57
14	242	54	210	94	154	134	96	174	57
15	242	55	209	95	153	135	95	175	56
16	241	56	208	96	151	136	93	176	55
17	241	57	206	97	150	137	92	177	55
18	240	58	205	98	148	138	90	178	54
19	240	59	204	99	147	139	89	179	54
20	240	60	203	100	145	140	88	180	53
21	239	61	201	101	144	141	87	181	52
22	238	62	200	102	142	142	85	182	52
23	238	63	199	103	141	143	84	183	51
24	237	64	198	104	139	144	83	184	51
25	237	65	196	105	138	145	82	185	50
26	236	66	195	106	136	146	81	186	50
27	235	67	194	107	135	147	80	187	49
28	235	68	192	108	133	148	79	188	49
29	234	69	191	109	132	149	78	189	48
30	233	70	189	110	130	150	76	190	48
31	233	71	188	111	129	151	75	191	47
32	232	72	187	112	127	152	74	192	47
33	231	73	185	113	126	153	74	193	46
34	230	74	184	114	124	154	73	194	46
35	229	75	182	115	123	155	72	195	45
36	229	76	181	116	121	156	71	196	45
37	228	77	180	117	120	157	70	197	44
38	227	78	178	118	118	158	69	198	44
39	226	79	177	119	117	159	68	199	43
40	225	80	175	120	116	160	67	200	43

ตารางที่ 5 คุณสมบัติหน้าตัดด้านการบิด
(ข้อ 4.3)

<p>O = จุดศูนย์กลางการเฉือน (shear center), J = ค่าคงที่เนื่องจากการบิด, C_w = ค่าคงที่การบิดเบี้ยว G = จุดศูนย์กลางถ่วงของหน้าตัด, I_{ps} = โมเมนต์อินเนอร์เซียเทียบกับจุดศูนย์กลางการเฉือน</p>	
	$J = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{I_f h^2}{2} = \frac{t_f b^3 h^2}{24} = \frac{h^2 I_y}{4}$ $I_{ps} = I_x + I_y$
	$J = \frac{1}{3} (b_1 t_f^3 + b_2 t_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{I_f h^2}{12} \left[\frac{b_1^3 b_2^3}{b_1^3 + b_2^3} \right]$ $I_{ps} = I_x + I_y + Ay_0^2$
	$J = \frac{1}{3} (bt_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{1}{36} \left(\frac{b^3 t_f^3}{4} + h^3 t_w^3 \right) \approx 0 \text{ เมื่อ } t \text{ มีค่าน้อย}$
	$J = \frac{1}{3} (bt_1^3 + ht_2^3)$ $C_w = \frac{1}{36} (b^3 t_1^3 + h^3 t_2^3) \approx 0 \text{ เมื่อ } t \text{ มีค่าน้อย}$
	$J = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{t_f b^3 h^2}{12} \left[\frac{3bt_f + 2ht_w}{6bt_f + ht_w} \right] = \frac{h^2}{4} (I_y + Ax^2 - qx\bar{A})$ $q = \frac{3b^2 t_f}{6bt_f + ht_w}$

ที่มา : ทักซิณ และคณะ

4.4 กำลังรับแรงอัดสำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากการดัด

หัวข้อนี้ใช้คำนวณออกแบบหน้าตัดชิ้นส่วนไม่ชะลุดวมถึงหน้าตัดประกอบรูปตัว H เหล็กกลวงรูปตัดกลม และสี่เหลี่ยมที่ไม่ชะลุด โดยที่ค่าหน่วยแรงอัดขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความชะลุด KL/r และใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

$$\text{วิธี ASD} \quad P_w \leq P_n / \Omega_c \quad (5)$$

$$\text{วิธี LRFD} \quad P_u \leq \phi_c P_n \quad (6)$$

โดยที่ P_n = กำลังรับแรงอัดระบุ = $F_{cr} A_g$ (นิวตัน)
 F_{cr} = หน่วยแรงอัดวิกฤต (เมกะปาสคาล)
 A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม (มิลลิเมตร²)

ค่า F_{cr} พิจารณาจากสภาวะการวิบัติ 2 รูปแบบ คือ

4.4.1 การวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก

$$KL/r > 4.71 \sqrt{E/F_y} \quad \text{หรือ} \quad F_y/F_e > 2.25$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \leq F_y$$

4.4.2 การวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก

$$KL/r \leq 4.71 \sqrt{E/F_y} \quad \text{หรือ} \quad F_y/F_e \leq 2.25$$

$$F_{cr} = (0.658)^{F_y/F_e} F_y$$

$$\text{โดยที่} \quad F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 \quad (\text{เมกะปาสคาล})$$

$$KL/r \leq 200$$

4.5 กำลังรับแรงอัดสำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากการดัด และการบิด

หัวข้อนี้ใช้คำนวณออกแบบหน้าตัดชิ้นส่วนไม่ชะลุดมีแกนสมมาตรแกนเดียว และเกิดการโก่งเดาะเนื่องจากการดัดและการบิด ได้แก่ หน้าตัดมีความสมมาตรรอบแกน y หน่วยแรงอัดอีลาสติกเกิดจากการดัดรอบแกน y และการบิดรอบแกน z ร่วมกัน และมีค่าตามสมการ

$$F_{crz} = \frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \quad (7)$$

โดยที่ F_{cry} = หน่วยแรงอัดวิกฤตเนื่องจากการดัดรอบแกน y

$$F_{cry} = GJ / A_g \bar{r}_0^2 \text{ (เมกะปาสคาล)}$$

$$H = 1 - \left(x_0^2 + y_0^2 \right) / \bar{r}_0^2$$

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \left(I_x + I_y \right) / A_g$$

หน่วยแรงอัดวิกฤตที่แท้จริง F_{cr} คือค่าที่น้อยกว่าระหว่าง F_{crx} กับ F_{cry} โดยที่ F_{crx} เป็นหน่วยแรงอัดวิกฤตเนื่องจากการดัดรอบแกน x คำนวณจากหัวข้อ 4.3

โดยที่ $F_e = F_{ex} = \pi^2 E (K_x L / r_x)^2$ (เมกะปาสคาล)

4.6 กำลังรับแรงอัดของเหล็กฉากเดี่ยว

หัวข้อนี้ใช้คำนวณออกแบบชิ้นส่วนไม่ชะลุดของเหล็กฉากเดี่ยวขาเท่ากันและไม่เท่ากันที่ยึดต่อผ่านขาที่ยาวกว่าในโครงถักกระนาบปลายยึดต่อโดยการเชื่อมหรือสลักเกลียวอย่างน้อย 2 ตัว กำลังรับแรงอัดให้คำนวณจากค่าอัตราส่วนความชะลุดประสิทธิผลดังนี้

$$KL/r = 72 + 0.75 (L/r_x) \text{ เมื่อ } 0 < L/r_x \leq 80$$

$$KL/r = 32 + 1.25 (L/r_x) \text{ เมื่อ } 80 < L/r_x \leq 200$$

4.7 องค์อาคารประกอบ

กำลังรับแรงอัดขององค์อาคารประกอบยึดต่อด้วยสลักเกลียวหรือรอยเชื่อมและไม่มีหน้าตัดชิ้นส่วนชะลุดให้คำนวณตามหัวข้อ 4.4 และ 4.5 โดยใช้อัตราส่วนความชะลุด $(KL/r)_m$ แทน KL/r_y กรณีชิ้นส่วนย่อยวางห่างกันและมีตัวยึดเป็นช่วงๆ

4.7.1 กรณีสลักเกลียวแบบขันแน่นพอดี

$$(KL/r)_m = \sqrt{(KL/r)_0^2 + (a/r_i)^2}$$

4.7.2 กรณีสลักเกลียวขันแน่นเต็มที่หรือเชื่อม

$$(a/r_i) \leq 40 \quad (KL/r)_m = (KL/r)_0$$

$$(a/r_i) > 40 \quad (KL/r)_m = \sqrt{(KL/r)_0^2 + (K_i a/r_i)^2}$$

โดยที่ $(KL/r)_0$ = อัตราส่วนความชะลุดในทิศทางที่ต้องการ

$(KL/r)_m$ = อัตราส่วนความชะลุดแปลงค่า

r_i = ค่ารัศมีจําเริญน้อยที่สุดของแต่ละชิ้นส่วน

a = ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ยึด

$K = 0.50, 0.75, 0.86$ ตามลักษณะการประกอบ

4.8 องค์อาคารที่มีหน้าตัดชิ้นส่วนขะลุค

กำลังรับแรงอัดระบุให้ใช้ค่าต่ำสุดที่ได้จากขีดจำกัดของการโก่งเดาะแบบ FB, TB หรือ FTB หน่วยแรงอัดวิกฤติให้ใช้หัวข้อ 4.4 แต่ต้องคูณด้วยตัวคูณลดค่า Q โดยขึ้นอยู่กับชิ้นส่วนหน้าตัดแบบปลายยื่น และแบบปลายยึดตามตารางที่ 6 โดยคำนวณจากสมการ

$$Q = Q_a Q_s \quad (8)$$

โดยที่ Q_a = ตัวคูณลดสำหรับชิ้นส่วนขะลุคปลายยึด = A_e/A_g
 Q_s = ตัวคูณลดสำหรับชิ้นส่วนขะลุคปลายยื่นตามตารางที่ 6
 A_e = พื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ (มิลลิเมตร²) = $A_g - \sum (b-b_e)t$
 b = ความกว้าง (มิลลิเมตร)
 b_e = ความกว้างประสิทธิภาพ (มิลลิเมตร) (ตารางที่ 7)
 t = ความหนา (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 6 ค่าตัวคูณลดสำหรับชิ้นส่วนขะลุคปลายยื่น (Q_s) สำหรับเหล็ก SM 400 (ข้อ 4.8)

ชิ้นส่วน	b/t	Q_s
เหล็กฉากเดี่ยว	$12.9 < \frac{b}{t} < 26$	$1.340 - 0.027 \left(\frac{b}{t} \right)$
	$\frac{b}{t} \geq 26$	$433 \left(\frac{b}{t} \right)^2$
ปีกเหล็กฉาก และแผ่นเหล็กบางที่ยื่นจากคานหรือเสาหรือองค์อาคารรับแรงอัดอื่นๆ ที่เป็นเหล็กรูปพรรณ	$16 < \frac{b}{t} < 29.4$	$1.415 - 0.026 \left(\frac{b}{t} \right)$
	$\frac{b}{t} \geq 29.4$	$563 \left(\frac{b}{t} \right)^2$
ปีกเหล็กฉาก และแผ่นเหล็กบางที่ยื่นจากเสาหรือองค์อาคารรับแรงอัดอื่นๆ ที่เป็นองค์อาคารประกอบ	$18.3\sqrt{k_c} < \frac{b}{t} < 33.4\sqrt{k_c}$	$1.415 - 0.23 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{1}{k_c}}$
	$\frac{b}{t} \geq 33.4\sqrt{k_c}$	$735k_c \left(\frac{b}{t} \right)^2$
เอวของตัวที	$21.4 < \frac{d}{t} < 29.4$	$1.908 - 0.043 \left(\frac{d}{t} \right)$
	$\frac{d}{t} \geq 29.4$	$563 \left(\frac{d}{t} \right)^2$

หมายเหตุ * สำหรับหน้าตัดรูปตัว H : $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$, $0.35 < k_c < 0.763$, $h = d - 2k$
 สำหรับหน้าตัดอื่น : $k_c = 0.763$
 + d = ความลึกกระบอก (nominal depth)

ตารางที่ 7 ค่าความกว้างประสิทธิภาพ (b_e)
 (ข้อ 4.8)

ชิ้นส่วน	b_e
- ปีกของเสากลางรูปดัดสี่เหลี่ยมที่มีความหนาสม่ำเสมอ $(b/t) > 1.40\sqrt{E/f}$ *	$1.92t\sqrt{E/f}\left[1 - \frac{0.38}{(b/t)}\sqrt{E/f}\right] \leq b$
- ชิ้นส่วนรับแรงอัดทั่วไป $(b/t) \geq 1.49\sqrt{E/f}$ **	$1.92t\sqrt{E/f}\left[1 - \frac{0.38}{(b/t)}\sqrt{E/f}\right] \leq b$
- เหล็กกลางรูปดัดกลม $0.11E/F_y < D/t \leq 0.45E/F_y$	$Q = Q_a = \frac{0.038E}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3}$

หมายเหตุ * D = เส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก (เซนติเมตร), t = ความหนา (เซนติเมตร)
 * $f = P_n/A_e$ หรือ อาจใช้ $f = F_y$
 ** $f = F_{cr}$ เมื่อ $Q = 1.0$

บทที่ 5

การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด





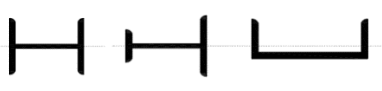





บทนี้ใช้สำหรับองค์อาคารภายใต้การดัดแบบธรรมดารอบแกนประธาน การดัดแบบธรรมดา คือ การที่องค์อาคารรับแรงในระนาบที่ขนานกับแกนประธาน และผ่านจุดศูนย์กลางแรงเฉือน หรือชิ้นส่วนมีการยึดเพื่อต้านทานการบิดที่จุดที่แรงกระทำ และที่ฐานรองรับ

บทนี้ แบ่งหัวข้อออกเป็น

- 5.1 ข้อกำหนดทั่วไป
- 5.2 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนอัดแน่น และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนหลัก
- 5.3 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนที่มีแผ่นเอวอัดแน่น และปีกไม่อัดแน่นหรือชะลุด ดัดรอบแกนหลัก
- 5.4 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H อื่นๆ ที่มีแผ่นเอวอัดแน่นหรือไม่อัดแน่น ดัดรอบแกนหลัก
- 5.5 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนและสมมาตรแกนเดียว ที่มีแผ่นเอวชะลุด ดัดรอบแกนหลัก
- 5.6 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนรอง
- 5.7 องค์อาคารหน้าตัดรูปท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ท่อสี่เหลี่ยม และรูปกล่อง
- 5.8 องค์อาคารหน้าตัดรูปท่อกลม
- 5.9 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว T และหน้าตัดเหล็กฉากคู่รับแรงกระทำในระนาบของแกนสมมาตร
- 5.10 องค์อาคารหน้าตัดเหล็กฉากเดี่ยว
- 5.11 องค์อาคารหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยม และกลม
- 5.12 องค์อาคารหน้าตัดไม่สมมาตร
- 5.13 สัดส่วนของคาน และคานขนาดใหญ่ (Girder)

สำหรับแนวทางในการพิจารณาหัวข้อที่เหมาะสมในบทนี้ อาจพิจารณาจากตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางกำหนดหัวข้อสำหรับบทที่ 5
(ข้อ 5.2 – 5.12)

ตารางกำหนดหัวข้อสำหรับบทที่ 5				
หัวข้อใน บทที่ 5	หน้าตัด	ความชะลุด ของปีก	ความชะลุด ของแผ่นเอว	สภาวะ ขีดจำกัด
5.2		C	C	Y, LTB
5.3		NC, S	C	LTB, FLB
5.4		C, NC, S	C, NC	Y, LTB, FLB, TFY
5.5		C, NC, S	S	Y, LTB, FLB, TFY
5.6		C, NC, S	N/A	Y, FLB
5.7		C, NC, S	C, NC	Y, FLB, WLB
5.8		N/A	N/A	Y, LB
5.9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, FLB
5.10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
5.11		N/A	N/A	Y, LTB
5.12	องค์อาคารหน้าตัดไม่สมมาตร ยกเว้นหน้าตัดเหล็กรูปฉากเดียว	N/A	N/A	ทุกสภาวะ ขีดจำกัด
<div> <div> Y = การคราก LTB = การโก่งเดาะทางข้างและการบิด FLB = การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก WLB = การโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอว TFY = การครากของปีกรับแรงดึง N/A = ไม่ระบุ </div> <div> LLB = การโก่งเดาะเฉพาะที่ของขา LB = การโก่งเดาะเฉพาะที่ C = อัดแน่น NC = ไม่อัดแน่น S = ชะลุด </div> </div>				

5.1 ข้อกำหนดทั่วไป

กำลังรับแรงดัดออกแบบ ($\phi_b M_n$) และกำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ (M_n/Ω_b) หาได้จาก

- 1) สำหรับทุกข้อกำหนดในบทนี้

$$\phi_b = 0.9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

และกำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) หาได้จากหัวข้อ 5.2 ถึง 5.13

- 2) ข้อกำหนดในบทนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าจตุรกรับของคานมีการยึดรั้งเพื่อป้องกันการหมุนรอบแกนตามแนวยาวของคาน
- 3) สำหรับองค์อาคารหน้าตัดสมมาตรแกนเดียวภายใต้การโก่งแบบโค้งเดียว และองค์อาคารหน้าตัดสมมาตรสองแกนทั้งหมด

ค่า C_b หรือค่าตัวคูณปรับค่าการโก่งเดาะทางข้างและการบิดสำหรับโมเมนต์ไดอะแกรมแบบไม่คงที่ตลอดแนวนาน เมื่อมีการค้ำยันที่ปลายทั้งสองข้างของคาน หาได้จาก

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (9)$$

โดย M_{\max} = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่มากที่สุดในช่วงที่ไม่มีค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
 M_A = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่ระยะ 1/4 ของช่วงที่ไม่มีค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
 M_B = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่กึ่งกลางของช่วงที่ไม่มีค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)
 M_C = ค่าสัมบูรณ์ของโมเมนต์ที่ระยะ 3/4 ของช่วงที่ไม่มีค้ำยัน (นิวตัน-มิลลิเมตร)

สำหรับคานยื่น หรือส่วนยื่นที่ปลายอิสระของคานไม่มีการค้ำยัน ค่า $C_b = 1.0$

- 4) สำหรับองค์อาคารหน้าตัดสมมาตรแกนเดียวภายใต้การโก่งแบบโค้งดัดกลับ ค่ากำลังการโก่งเดาะทางข้างและการบิดให้ตรวจสอบที่ปีกทั้งสองข้าง ค่ากำลังดัดที่ใช้ได้จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับค่าโมเมนต์สูงสุดที่ต้องการที่ทำให้เกิดแรงอัดในปีกที่พิจารณา

5.2 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนอัดแน่น และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนหลัก

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกน และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนหลัก และมีแผ่นเอว และปีกที่อัดแน่นตามที่นิยามไว้ในหัวข้อ 2.4 สำหรับการดัด

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำกว่าของค่าที่ได้จากสถานะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์พลาสติก) และสถานะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

5.2.1 การคราก

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (10)$$

โดย F_y = หน่วยแรงครากต่ำสุดที่กำหนดตามชนิดของเหล็กที่ใช้ (เมกะปาสคาล)
 Z_x = โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกน x (มิลลิเมตร³)

5.2.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

- ก) เมื่อ $L_b \leq L_p$ ไม่ต้องพิจารณาภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด
 ข) เมื่อ $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (11)$$

- ค) เมื่อ $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (12)$$

โดย L_b = ระยะระหว่างจุดที่ค้ำยันเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ด้านข้างของปีกรับแรงอัด หรือ ระยะระหว่างจุดที่ค้ำยันเพื่อป้องกันการบิดของหน้าตัด (มิลลิเมตร)

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (13)$$

โดย E = อีลาสติกโมดูลัสของเหล็ก (200,000 เมกะปาสคาล)
 J = ค่าคงที่การบิด (มิลลิเมตร⁴)
 S_x = โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกกรอบแกน x (มิลลิเมตร³)
 h_o = ระยะระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของปีก (มิลลิเมตร)

ขีดจำกัดความยาว L_p และ L_r หาได้จาก

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (14)$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o} \right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \right)^2}} \quad (15)$$

โดย

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (16)$$

และสัมประสิทธิ์ c หาได้จาก

ก) สำหรับหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกน: $c = 1$ (17ก)

ข) สำหรับหน้าตัดรูปรางน้ำ: $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$ (17ข)

5.3 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนที่มีแผ่นเอวอัดแน่น และปีกไม่อัดแน่น หรือชะลูด ดัดรอบแกนหลัก

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกน ดัดรอบแกนหลัก มีแผ่นเอวอัดแน่น และมีปีกไม่อัดแน่นหรือชะลูดตามที่นิยามไว้ในหัวข้อ 2.4 สำหรับการดัด

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำกว่าของค่าที่ได้จากสมภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้าง และการบิดและสมภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด

5.3.1 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

สำหรับการโก่งเดาะทางข้างและการบิด ให้ดูหัวข้อ 5.2.2

5.3.2 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด

ก) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกไม่อัดแน่น

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (18)$$

ข) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกชะลูด

$$M_n = \frac{0.9E_k S_x}{\lambda^2} \quad (19)$$

โดย $\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p \text{ ขีดจำกัดความชะลูดสำหรับปีกอัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))}$$

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ ชัดจำกัดความชะลูดสำหรับปีกไม่อัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ และมีค่าไม่น้อยกว่า 0.35 หรือมากกว่า 0.76 สำหรับการคำนวณ}$$

h = ระยะตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.4 (มิลลิเมตร)

5.4 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H อื่นๆ ที่มีแผ่นเอวอัดแน่นหรือไม่อัดแน่น ดัดรอบแกนหลัก

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกน ดัดรอบแกนหลัก มีแผ่นเอวไม่อัดแน่น และองค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรแกนเดียว ที่มีแผ่นเอวยึดอยู่ที่กึ่งกลางความกว้างของปีก ดัดรอบแกนหลัก มีแผ่นเอวอัดแน่นหรือไม่อัดแน่น ตามที่นิยามไว้ในหัวข้อ 2.4 สำหรับการตัด

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำสุดของค่าที่ได้จากสมภาวะชัดจำกัดการครากของปีกรับแรงอัด การโก่งเดาะทางข้างและการบิด การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด และการครากของปีกรับแรงดึง

5.4.1 การครากของปีกรับแรงอัด

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y S_{xc} \quad (20)$$

โดย M_{yc} = โมเมนต์ที่จุดครากในปีกรับแรงอัด (นิวตัน-มิลลิเมตร)

5.4.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

ก) เมื่อ $L_b \leq L_p$ ไม่ต้องพิจารณาสมภาวะชัดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

ข) เมื่อ $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_y S_{xc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc} \quad (21)$$

ค) เมื่อ $L_b > L_r$

$$M_n = F_y S_{xc} \leq R_{pc} M_{yc} \quad (22)$$

โดย

$$M_{yc} = F_y S_{xc} \quad (23)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{S_{xc} h_o} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \quad (24)$$

สำหรับ $\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23$ ให้ใช้ J เท่ากับศูนย์

โดย I_{yc} = โมเมนต์ความเฉื่อยของปีกรับแรงอัด รอบแกน y (มิลลิเมตร⁴)

หน่วยแรง F_L หาได้จาก

$$(1) \text{ เมื่อ } \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.70$$

$$F_L = 0.70F_y \quad (25ก)$$

$$(2) \text{ เมื่อ } \frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.70$$

$$F_L = F_y \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.5F_y \quad (25ข)$$

ขีดจำกัดของระยะที่ปราศจากการค้ำยันด้านข้าง สำหรับสภาวะขีดจำกัดการคราก L_p หาได้จาก

$$L_p = 1.1r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (26)$$

ขีดจำกัดของระยะที่ปราศจากการค้ำยัน สำหรับสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิดแบบอินอีลาสติก (inelastic) L_r หาได้จาก

$$L_r = 1.95r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc}h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_{xc}h_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{F_L}{E}\right)^2}} \quad (27)$$

ตัวคูณสภาพความเป็นพลาสติกของแผ่นเอว (web plastification factor) R_{pc} หาได้จาก

$$(1) \text{ เมื่อ } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23$$

$$ก) \text{ เมื่อ } \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$$

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (28ก)$$

ข) เมื่อ $\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (28ข)$$

(2) เมื่อ $\frac{l_{yc}}{l_y} \leq 0.23$

$$R_{pc} = 1.0 \quad (29)$$

โดย

$$M_p = F_y Z_x \leq 1.6 F_y S_{xc}$$

$S_{xc}, S_{xt} =$ โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติก สำหรับปีกรับแรงอัด และปีกรับแรงดึงตามลำดับ (มิลลิเมตร³)

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$\lambda_{pw} = \lambda_p$, ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับแผ่นเอวอัดแน่น (ดูตารางที่ 1 ข))

$\lambda_{rw} = \lambda_r$, ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับแผ่นเอวไม่อัดแน่น (ดูตารางที่ 1 ข))

$h_c =$ สองเท่าของระยะจากจุดศูนย์กลางวงของหน้าตัดถึงจุดต่อไปนี้ ผิวด้านในของปีกที่รับแรงอัดลบด้วยส่วนพอกหรือรัศมีมุมสำหรับหน้าตัดรีดร้อน หรือแนวของตัวยึดที่ใกล้ที่สุดของปีกรับแรงอัด หรือผิวในของปีกที่รับแรงอัดเมื่อใช้การเชื่อม สำหรับหน้าตัดประกอบ (มิลลิเมตร)

รัศมีไจเรชันประสิทธิผลสำหรับการโก่งเดาะทางข้างและการบิด r_t หาได้จาก

(1) สำหรับหน้าตัดรูปตัว H ที่มีปีกรับแรงอัดรูปสี่เหลี่ยม

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(\frac{h_o}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_o d} \right)}} \quad (30)$$

โดย

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \quad (31)$$

b_{fc} = ความกว้างของปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร)

t_{fc} = ความหนาของปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร)

(2) สำหรับหน้าตัดรูปตัว H ที่มีเหล็กกรูปร่างน้ำครอบ (channel cap) หรือ แผ่นประกบ (cover plate) ยึดติดด้านปีกรับแรงอัด

r_t = รัศมีจเรชันของชิ้นส่วนปีกในปีกที่รับแรงอัดจากการดัดบวกด้วย 1/3 ของพื้นที่แผ่นเอวที่รับแรงอัดที่เกิดจากโมเมนต์ดัดรอบแกนหลักเพียงอย่างเดียว (มิลลิเมตร)

a_w = อัตราส่วนระหว่างสองเท่าพื้นที่แผ่นเอวที่รับแรงอัดที่เกิดจากโมเมนต์ดัดรอบแกนหลักเพียงอย่างเดียวต่อพื้นที่ของชิ้นส่วนปีกที่รับแรงอัด

5.4.3 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด

ก) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่

ข) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกไม่อัดแน่น

$$M_n = R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (32)$$

ค) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกชะลุด

$$M_n = \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda^2} \quad (33)$$

โดย F_L กำหนดไว้ในสมการที่ (25ก) และ (25ข)

R_{pc} คือ ตัวคูณสภาพความเป็นพลาสติกของแผ่นเอว (web plastification factor) หาได้จากสมการ (28ก) และ (28ข)

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ และมีค่าไม่น้อยกว่า 0.35 หรือมากกว่า 0.76 สำหรับการคำนวณ

$$\lambda = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับปีกอัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับปีกไม่อัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))

5.4.4 การครากของปีกรับแรงดึง

ก) เมื่อ $S_{xt} \geq S_{xc}$ ไม่ต้องพิจารณาภาวะขีดจำกัดการครากของปีกรับแรงดึง

ข) เมื่อ $S_{xt} < S_{xc}$

$$M_n = R_{pt} M_{yt} \quad (34)$$

โดย

$$M_{yt} = F_y S_{xt}$$

ตัวคูณสภาพความเป็นพลาสติกของแผ่นเอว (web plastification factor) สำหรับสภาวะขีดจำกัดการครากของปีกรับแรงดึง R_{pt} หาได้จาก

$$(1) \text{ เมื่อ } \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$$

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}} \quad (35ก)$$

$$(2) \text{ เมื่อ } \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$$

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yt}} \quad (35ข)$$

โดย

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$$\lambda_{pw} = \lambda_p, \text{ ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับแผ่นเอวอัดแน่น (ดูตารางที่ 1 ข)}$$

$$\lambda_{rw} = \lambda_r, \text{ ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับแผ่นเอวไม่อัดแน่น (ดูตารางที่ 1 ข)}$$

5.5 องค์การหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกน และสมมาตรแกนเดียว ที่มีแผ่นเอวชะลุด ดัดรอบแกนหลัก

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์การหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรแกนเดียว และสองแกน ที่มีแผ่นเอวชะลุด และยึดอยู่ที่กึ่งกลางความกว้างของปีก ดัดรอบแกนหลัก ตามที่นิยามไว้ในหัวข้อ 2.4 สำหรับการดัด

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำสุดของค่าที่ได้จากสภาวะขีดจำกัดการครากของปีกรับแรงอัด การโก่งเดาะทางข้างและการบิด การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด และการครากของปีกรับแรงดึง

5.5.1 การครากของปีกรับแรงอัด

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} \quad (36)$$

5.5.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (37)$$

ก) เมื่อ $L_b \leq L_p$ ไม่ต้องพิจารณาสถานะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

ข) เมื่อ $L_p < L_b \leq L_r$

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y \quad (38)$$

ค) เมื่อ $L_b > L_r$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \leq F_y \quad (39)$$

โดย

L_p = กำหนดในสมการที่ (26)

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} \quad (40)$$

R_{pg} ตัวคูณลดค่ากำลังรับแรงดัด หาได้จาก

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1,200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0 \quad (41)$$

โดย

a_w = กำหนดในสมการที่ (31) และมีค่าไม่เกิน 10

r_t = รัศมีไจเรชันประสิทธิภาพสำหรับการโก่งเดาะทางข้าง ที่กำหนดในหัวข้อ 5.4

5.5.3 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (42)$$

ก) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาสถานะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด

ข) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกไม่อัดแน่น

$$F_{cr} = \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (43)$$

ค) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกชะลูด

$$F_{cr} = \frac{0.9Ek_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \quad (44)$$

โดย

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ และมีค่าไม่น้อยกว่า } 0.35 \text{ หรือมากกว่า } 0.76 \text{ สำหรับการคำนวณ}$$

$$\lambda = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p \text{ ชิดจำกัดความชะลูดสำหรับปีกอัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))}$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r \text{ ชิดจำกัดความชะลูดสำหรับปีกไม่อัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))}$$

5.5.4 การครากของปีกรับแรงดึง

ก) เมื่อ $S_{xt} \geq S_{xc}$ ไม่ต้องพิจารณาภาวะชิดจำกัดการครากของปีกรับแรงดึง

ข) เมื่อ $S_{xt} < S_{xc}$

$$M_n = F_y S_{xt} \quad (45)$$

5.6 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนรอง

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ดัดรอบแกนรอง

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำกว่าของค่าที่ได้จากสถานะชิดจำกัดการคราก (พลาสติกโมเมนต์) และการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

5.6.1 การคราก

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \quad (46)$$

5.6.2 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ก) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาภาวะชิดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ข) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกไม่อัดแน่น

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (47)$$

ค) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกชะลูด

$$M_n = F_{cr} S_y \quad (48)$$

โดย

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b}{t_f}\right)^2}$$

$$\lambda = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ ชีตจำกัดความชะลูดสำหรับปีกอัดแน่น ดูตารางที่ 1(ข)

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ ชีตจำกัดความชะลูดสำหรับปีกไม่อัดแน่น ดูตารางที่ 1(ข)

b = สำหรับปีกขององค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างเต็มแผ่นของปีก สำหรับปีกขององค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ มีค่าเท่ากับความกว้างเต็มแผ่นระบของปีก (มิลลิเมตร)

t_f = ความหนาของปีก (มิลลิเมตร)

S_y = โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกรอบแกน y (มิลลิเมตร³) สำหรับหน้าตัดรูปรางน้ำ ให้ใช้ค่าโมดูลัสหน้าตัดที่น้อยที่สุด

5.7 องค์อาคารหน้าตัดรูปทอสีเหลี่ยมจัตุรัส ทอสีเหลี่ยม และรูปกล่อง

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปทอสีเหลี่ยมจัตุรัส ทอสีเหลี่ยม และหน้าตัดรูปกล่องสมมาตรสองแกน ดัดรอบแกนสมมาตรแกนใดแกนหนึ่ง มีแผ่นเอวอัดแน่นหรือไม่อัดแน่น และมีปีกอัดแน่นหรือไม่อัดแน่น หรือชะลูด ตามที่นิยามไว้ในหัวข้อ 2.4 สำหรับการดัด

ค่ากำลังรับแรงดัดระบ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำสุดของค่าที่ได้จากสภาวะขีดจำกัดการคราก (พลาสติกโมเมนต์) การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก และการโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอวภายใต้การดัดเพียงอย่างเดียว

5.7.1 การคราก

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (49)$$

โดย Z = โมดูลัสหน้าตัดพลาสติกกรอบแกนที่ดัด (มิลลิเมตร³)

5.7.2 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ข) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกไม่อัดแน่น

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(3.57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right) \leq M_p \quad (50)$$

ค) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกชะลูด

$$M_n = F_y S_e \quad (51)$$

โดย S_e = โมดูลัสหน้าตัดประสิทธิภาพ หาได้จากความกว้างประสิทธิภาพ b_e ของปีกรับแรงอัด โดย

$$b_e = 1.92 t_f \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.38}{b/t_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \quad (52)$$

5.7.3 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอว

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอว

ข) สำหรับหน้าตัดที่มีแผ่นเอวไม่อัดแน่น

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(0.305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \leq M_p \quad (53)$$

5.8 องค์อาคารหน้าตัดรูปทอกลม

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปทอกลม ที่มีอัตราส่วน D/t น้อยกว่า $\frac{0.45E}{F_y}$

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำกว่าของค่าที่ได้จากสมภาวะขีดจำกัดการคราก (พลาสติกโมเมนต์) และการโก่งเดาะเฉพาะที่

5.8.1 การคราก

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (54)$$

5.8.2 การโก่งเดาะเฉพาะที่

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาสมภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ข) สำหรับหน้าตัดไม่อัดแน่น

$$M_n = \left(\frac{0.021E}{\left(\frac{D}{t} \right)} + F_y \right) S \quad (55)$$

ค) สำหรับหน้าตัดที่มีผนังขลุค

$$M_n = F_{cr} S \quad (56)$$

โดย

$$F_{cr} = \frac{0.33E}{\left(\frac{D}{t}\right)} \quad (57)$$

S = โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติก (มิลลิเมตร³)

t = ความหนาของผนัง (มิลลิเมตร)

5.9 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว T และหน้าตัดเหล็กฉากคู่รับแรงกระทำในระนาบของแกนสมมาตร

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปตัว T และหน้าตัดเหล็กฉากคู่ รับแรงกระทำในระนาบของแกนสมมาตร

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำสุดของค่าที่ได้จากสภาวะขีดจำกัดการคราก (พลาสติกโมเมนต์) การโก่งเดาะทางข้างและการบิด การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก และการโก่งเดาะเฉพาะที่ของขาตัวที่

5.9.1 การคราก

$$M_n = M_p \quad (58)$$

โดย

ก) สำหรับการเกิดแรงดัดที่ส่วนขา

$$M_p = F_y Z_x \leq 1.6 M_y \quad (59)$$

ข) สำหรับการเกิดแรงดัดที่ส่วนขา

$$M_p = F_y Z_x \leq M_y \quad (60)$$

5.9.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{E I_y G J}}{L_b} \left(B + \sqrt{1 + B^2} \right) \quad (61)$$

โดย

$$B = \pm 2.3 \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (62)$$

B มีค่าเป็นบวก เมื่อขาตัวที่รับแรงดึง และมีค่าเป็นลบ เมื่อขาตัวที่รับแรงอัด ถ้าปลายของขาตัวที่รับแรงอัดที่ตำแหน่งใดๆ ในระยะที่ปราศจากค้ำยัน ให้ใช้ค่า B เป็นลบ

5.9.3 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกตัวที่

ก) สำหรับหน้าตัดที่ปีกอัดแน่นภายใต้การดัดแบบอัด ไม่ต้องพิจารณาภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ข) สำหรับหน้าตัดที่ปีกไม่อัดแน่นภายใต้การดัดแบบอัด

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \leq 1.6M_y \quad (63)$$

ค) สำหรับหน้าตัดที่ปีกชะลุดภายใต้การดัดแบบอัด

$$M_n = \frac{0.7ES_{xc}}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2} \quad (64)$$

โดย

S_{xc} = โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกด้านปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร³)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับปีกอัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ ขีดจำกัดความชะลุดสำหรับปีกไม่อัดแน่น (ดูตารางที่ 1(ข))

5.9.4 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของขาตัวที่ภายใต้การดัดแบบอัด

$$M_n = F_{cr} S_x \quad (65)$$

โดย

S_x = โมดูลัสหน้าตัดอีลาสติก (มิลลิเมตร³)

หน่วยแรงวิกฤติ F_{cr} หาได้จาก

$$\text{ก) เมื่อ } \frac{d}{t_w} \leq 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = F_y \quad (66)$$

$$\text{ข) เมื่อ } 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} \leq 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = \left[2.55 - 1.84 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] F_y \quad (67)$$

$$\text{ค) เมื่อ } \frac{d}{t_w} > 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{d}{t_w} \right)^2} \quad (68)$$

5.10 องค์อาคารหน้าตัดเหล็กลักษณะเดี่ยว

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดเหล็กลักษณะเดี่ยว ที่มีและไม่มีมียึดรั้งด้านข้างต่อเนื่องตลอดความยาวคาน

หน้าตัดเหล็กลักษณะเดี่ยวที่มีการยึดรั้งทางข้างและการบิด (Lateral-Torsional Restraint) ต่อเนื่องตลอดความยาวคาน ยอมให้ออกแบบบนพื้นฐานของการดัดบนแกนเรขาคณิต x และ y หน้าตัดเหล็กลักษณะเดี่ยวที่ไม่มีมียึดรั้งทางข้างและการบิด (Lateral-Torsional Restraint) ต่อเนื่องตลอดความยาวคาน ให้ออกแบบบนพื้นฐานของการดัดบนแกนประธาน (Principal Axis) ยกเว้นส่วนที่ยอมให้ออกแบบบนพื้นฐานของการดัดบนแกนเรขาคณิต x และ y

ถ้าผลลัพธ์ของโมเมนต์มีองค์ประกอบอยู่บนแกนประธานทั้งสองแกน และมีหรือไม่มีแรงตามแนวแกน หรือกรณีผลลัพธ์ของโมเมนต์อยู่บนแกนประธานแกนหนึ่ง และมีแรงตามแนวแกนร่วมด้วย อัตราส่วนของหน่วยแรงรวมให้หาจากหัวข้อ 7.2

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำสุดของค่าที่ได้จากสมภาวะขีดจำกัดการคราก (พลาสติกโมเมนต์) การโก่งเดาะทางข้างและการบิด และการโก่งเดาะเฉพาะที่ของขา

5.10.1 การคราก

$$M_n = 1.5M_y \quad (69)$$

โดย

M_y = โมเมนต์ที่จุดครากรอบแกนที่ดัด (นิวตัน-มิลลิเมตร)

5.10.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

สำหรับหน้าตัดเหล็กฉากเดี่ยวที่ไม่มีการยึดรั้งด้านข้างและการบิด (Lateral-Torsional Restraint) ตลอดความยาวคาน

ก) เมื่อ $M_e \leq M_y$

$$M_n = \left(0.92 - \frac{0.17M_e}{M_y} \right) M_e \quad (70)$$

ข) เมื่อ $M_e > M_y$

$$M_n = \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \right) M_y \leq 1.5M_y \quad (71)$$

โดย

M_e = ค่าโมเมนต์อีลาสติการโก่งเดาะทางข้างและการบิด หาได้จาก

(1) สำหรับการดัดรอบแกนประธานหลักของหน้าตัดเหล็กฉากขาเท่ากัน

$$M_e = \frac{0.46Eb^2t^2C_b}{L_b} \quad (72)$$

(2) สำหรับการดัดรอบแกนประธานหลักของหน้าตัดเหล็กฉากขาไม่เท่ากัน

$$M_e = \frac{4.9EI_zC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{\beta_w^2 + 0.052 \left(\frac{L_b t}{r_z} \right)^2} + \beta_w \right) \quad (73)$$

โดย

C_b = คำนวณได้จากสมการที่ (9) โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.5

L_b = ระยะปราศจากการค้ำยันทางด้านข้างขององค์อาคาร (มิลลิเมตร)

I_z = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนประธานรอง (มิลลิเมตร⁴)

r_z = รัศมีจโรจันรอบแกนประธานรอง (มิลลิเมตร)

t = ความหนาของขาเหล็กฉาก (มิลลิเมตร)

β_w = คุณสมบัติของหน้าตัดเหล็กฉากขาไม่เท่ากัน มีค่าเป็นบวกเมื่อขาเหล็กฉากด้านสั้นรับแรงอัด และมีค่าเป็นลบเมื่อขาเหล็กฉากด้านยาวรับแรงอัด ถ้าขาเหล็กฉากด้านยาวรับแรงอัดที่ตำแหน่งใดๆ ในระยะที่ปราศจากการค้ำยันขององค์อาคาร ให้ใช้ค่า β_w เป็นลบ

(3) สำหรับการตัดรอบแกนเรขาคณิต (Geometric Axes) แกนใดแกนหนึ่ง ของหน้าตัด เหล็กฉากขาเท่ากันที่ไม่มีแรงอัดตามแนวแกน

ก) และไม่มีแรงยึดรั้งทางข้างและการบิด

1) และแรงอัดสูงสุดเกิดที่ปลายของขา (Toe)

$$M_e = \frac{0.66Eb^4tC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{1 + 0.78 \left(\frac{L_b t}{b^2} \right)^2} - 1 \right) \quad (74ก)$$

2) และแรงดึงสูงสุดเกิดที่ปลายของขา (Toe)

$$M_e = \frac{0.66Eb^4tC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{1 + 0.78 \left(\frac{L_b t}{b^2} \right)^2} + 1 \right) \quad (74ข)$$

M_y มีค่าเท่ากับ 0.80 คูณโมเมนต์ที่จุดคราก โดยคำนวณจากโมดูลัสหน้าตัดบนแกนเรขาคณิต

โดย

b = ความกว้างเต็มของขาที่รับแรงอัด (มิลลิเมตร)

ข) และมีการยึดรั้งทางข้างและการบิดที่จุดที่ค่าโมเมนต์มีค่าสูงสุดจุดเดียว

M_e มีค่าเท่ากับ 1.25 คูณ M_e ที่คำนวณได้จากสมการที่ (74ก) หรือ (74ข)

M_y มีค่าเท่ากับโมเมนต์ที่จุดคราก โดยคำนวณจากโมดูลัสหน้าตัดบนแกนเรขาคณิต

5.10.3 การโก่งเดาะเฉพาะที่ของขา

สภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของขาเหล็กฉาก พิจารณาเมื่อปลายของขา (toe of the leg) เหล็กฉากรับแรงอัด

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของขา

ข) สำหรับหน้าตัดที่ขาไม่อัดแน่น

$$M_n = F_y S_c \left(2.43 - 1.72 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \quad (75)$$

ค) สำหรับหน้าตัดที่ขาชะลูด

$$M_n = F_{cr} S_c \quad (76)$$

โดย

$$F_{cr} = \frac{0.71E}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (77)$$

S_c = โมเมนต์หน้าตัดอีลาสติกของปลายขารับแรงอัดเทียบกับแกนที่ตัด (มิลลิเมตร³)
สำหรับการดัดรอบแกนเรขาคณิตของหน้าตัดเหล็กลักษณะเท่ากัน ที่ไม่มีการยึดรั้ง
ทางข้างและการบิด S_c ให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.8 คูณโมเมนต์หน้าตัดรอบแกนเรขาคณิต

5.11 องค์อาคารหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยม และกลม (Rectangular and Round Bars)

หัวข้อนี้ใช้สำหรับหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยมดัดรอบแกนเรขาคณิตแกนใดแกนหนึ่ง และหน้าตัดตันกลม

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำกว่าของค่าที่ได้จากสมภาวะขีดจำกัดการคราก (พลาสติกโมเมนต์)
และการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

5.11.1 การคราก

สำหรับหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยมที่มีค่า $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08E}{F_y}$ ดัดรอบแกนหลัก หน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยม
ดัดรอบแกนรอง และหน้าตัดตันกลม

$$M_n = M_p = F_y Z \leq 1.6M_y \quad (78)$$

5.11.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

ก) สำหรับหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยมที่มีค่า $\frac{0.08E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1.9E}{F_y}$ ดัดรอบแกนหลัก

$$M_n = C_b \left[1.52 - 0.274 \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p \quad (79)$$

ข) สำหรับหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยมที่มีค่า $\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9E}{F_y}$ ดัดรอบแกนหลัก

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (80)$$

โดย

$$F_{cr} = \frac{1.9EC_b}{\frac{L_b d}{t^2}} \quad (81)$$

L_b = ระยะระหว่างจุดที่มีการค้ำยันเพื่อต้านทานการโก่งตัวทางด้านข้างของบริเวณที่รับแรงอัดหรือระยะระหว่างจุดที่มีการค้ำยันเพื่อป้องกันการบิดตัวของหน้าตัด (มิลลิเมตร)

d = ความลึกของหน้าตัดต้นรูปสี่เหลี่ยม (มิลลิเมตร)

t = ความกว้างของหน้าตัดต้นรูปสี่เหลี่ยมที่ขนานกับแกนที่ตัด (มิลลิเมตร)

ค) สำหรับหน้าตัดตันกลม หรือหน้าตัดต้นรูปสี่เหลี่ยมดัดรอบแกนรอง ไม่ต้องพิจารณาสถานะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

5.12 องค์อาคารหน้าตัดไม่สมมาตร

หัวข้อนี้ใช้สำหรับองค์อาคารหน้าตัดไม่สมมาตรทุกหน้าตัด ยกเว้นเหล็กฉากเดี่ยว

ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) เป็นค่าที่ต่ำสุดของค่าที่ได้จากสถานะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์ที่จุดคราก) การโก่งเดาะทางข้างและการบิด และการโก่งเดาะเฉพาะที่ โดย

$$M_n = F_n S_{min} \quad (81)$$

โดย

S_{min} = ค่าต่ำสุดของโมดูลัสหน้าตัดอีลาสติกเทียบกับแกนที่ตัด (มิลลิเมตร³)

5.12.1 การคราก

$$F_n = F_y \quad (82)$$

5.12.2 การโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$F_n = F_{cr} \leq F_y \quad (83)$$

โดย

F_{cr} = หน่วยแรงการโก่งเดาะทางข้างและการบิดของหน้าตัดที่ได้จากการวิเคราะห์ (เมกะปาสกาล)

5.12.3 การโก่งเดาะเฉพาะที่

$$F_n = F_{cr} \leq F_y \quad (84)$$

โดย

F_{cr} = หน่วยแรงการโก่งเดาะเฉพาะที่ของหน้าตัดที่ได้จากการวิเคราะห์ (เมกะปาสคาล)

5.13 สัดส่วนของคานและคานขนาดใหญ่ (Girder)

5.13.1 การลดกำลังขององค์อาคารที่มีรูปในปีกรับแรงดิ่ง

หัวข้อนี้ใช้สำหรับคานหน้าตัดรีดร้อน หรือหน้าตัดประกอบ และคานประกอบจากแผ่นเหล็กประกบ (Cover-Plate Beams) ที่มีรูปที่เป็นสัดส่วนบนพื้นฐานของกำลังรับแรงดัดของพื้นที่หน้าตัดรวม (Gross Section)

นอกเหนือไปจากสมภาวะขีดจำกัดที่ระบุในหัวข้ออื่นๆ ในบทนี้ ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) ยังถูกจำกัดด้วยสมภาวะขีดจำกัดแรงดิ่งประลัยของปีกรับแรงดิ่ง

ก) เมื่อ $F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg}$ ไม่ต้องพิจารณาสมภาวะขีดจำกัดแรงดิ่งประลัย

ข) เมื่อ $F_u A_{fn} < Y_t F_y A_{fg}$ ค่ากำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) ที่ตำแหน่งรูเจาะของปีกรับแรงดิ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน

$$M_n = \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_x \quad (85)$$

โดย

A_{fg} = พื้นที่หน้าตัดรวม (Gross Area) ของปีกรับแรงดิ่ง (มิลลิเมตร²)

A_{fn} = พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Net Area) ของปีกรับแรงดิ่ง (มิลลิเมตร²)

Y_t = 1.0 สำหรับ $F_y/F_u \leq 0.80$

= 1.1 สำหรับกรณีอื่นๆ

5.13.2 ขีดจำกัดสัดส่วนสำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H

องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรแกนเดียว จะต้องสอดคล้องกับขีดจำกัด

$$0.1 \leq \frac{l_{yc}}{l_y} \leq 0.9 \quad (86)$$

นอกจากนี้องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H ที่มีแผ่นเอวจะลุดยังจะต้องสอดคล้องกับขีดจำกัด

ก) เมื่อ $\frac{a}{h} \leq 1.5$

$$\left(\frac{h}{t_w} \right)_{\max} = 12.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (87)$$

ข) เมื่อ $\frac{a}{h} > 1.5$

$$\left(\frac{h}{t_w} \right)_{\max} = \left(\frac{0.40E}{F_y} \right) \quad (88)$$

โดย

a = ระยะระหว่างผิวของแผ่นเสริมกำลังทางขวาง (Clear Distance Between Transverse Stiffeners) (มิลลิเมตร)

สำหรับคานขนาดใหญ่ที่ไม่มีการเสริมกำลัง ค่า h/t_w ต้องมีค่าไม่เกิน 260 และอัตราส่วนของพื้นที่แผ่นเอวต่อพื้นที่ปีกรับแรงอัดจะต้องไม่เกิน 10

5.13.3 แผ่นประกบ (Cover Plate)

ปีกของคาน หรือคานขนาดใหญ่ที่ประกอบจากการเชื่อมอาจมีความหนา หรือความกว้างที่แปรผันจากการต่อหน้าแผ่นเพลทต่อเนื่องกันไป หรือจากการใช้แผ่นประกบ (Cover Plate)

พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของแผ่นประกบ (Cover Plate) ของคานขนาดใหญ่ที่ยึดด้วยสลักเกลียว จะต้องไม่เกิน 70% ของพื้นที่ปีกทั้งหมด

การต่อด้วยสลักเกลียวกำลังสูงหรือการเชื่อมปีกเข้ากับแผ่นเอว หรือแผ่นประกบเข้ากับปีกจะต้องมีสัดส่วนที่สามารถต้านทานแรงเฉือนแนวราบทั้งหมดที่เกิดจากแรงดัดบนคานขนาดใหญ่ การกระจายตัวตามแนวยาวของสลักเกลียวดังกล่าว หรือความยาวของรอยเชื่อมในแต่ละช่วงจะต้องเป็นสัดส่วนตามขนาดของแรงเฉือน (Intensity of The Shear)

อย่างไรก็ตาม ระยะห่างตามแนวยาวจะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่มากที่สุดที่ระบุสำหรับองค์อาคารรับแรงดึง หรือแรงอัดของหน้าตัดประกอบ สลักเกลียวหรือรอยเชื่อมที่ยึดปีกเข้ากับแผ่นเอวจะต้องมีสัดส่วนที่สามารถส่งผ่านแรงกระทำใดๆที่กระทำโดยตรงต่อปีกไปยังแผ่นเอวได้ ยกเว้นข้อกำหนดที่กำหนดให้ถ่ายแรงดังกล่าวด้วยแรงแบกทานโดยตรง

แผ่นประกบที่ยาวไม่ตลอดช่วงจะต้องยาวเลยจุดยุติทางทฤษฎี และส่วนที่ยื่นเลยจะต้องยึดเข้ากับคาน หรือคานขนาดใหญ่ ด้วยสลักเกลียวกำลังสูง โดยวิธีรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ หรือ

การเชื่อมแบบพอก การยึดจะต้องเพียงพอที่จะรองรับกำลังสำหรับรอยต่อแบบเชื่อมพอก หรือ รอยต่อที่ใช้สลักเกลียวกำลังสูงในรอยต่อแบบเลื่อนวิกฤติ หรือจากแรงกระทำซ้ำ ที่จะทำให้ แผ่นประกบมีกำลังรับแรงดัดเพียงพอ ที่จุดยุติทางทฤษฎี

สำหรับการยึดแผ่นประกบด้วยการเชื่อม รอยเชื่อมที่เชื่อมระหว่างจุดสิ้นสุดของ แผ่น ประกบเข้ากับคานหรือคานขนาดใหญ่จะต้องมีความต่อเนื่องที่ปลายทั้งสองด้านของแผ่นเหล็ก ประกบ เป็นระยะ a' และจะต้องเพียงพอที่จะพัฒนากำลังที่ใช้ได้ของส่วนของแผ่นเหล็กประกบ ที่ต่อกับคานหรือคานขนาดใหญ่ ที่ระยะ a' จากปลายของแผ่นเหล็กประกบ โดย

- ก) เมื่อมีรอยเชื่อมต่อเนื่องขนาดเท่ากับ หรือมากกว่าสามในสี่ของความหนาแผ่นเหล็กเพลท ตลอดปลายของแผ่นเหล็กเพลท

$$a' = w \quad (89)$$

โดย

w = ความกว้างของแผ่นประกบ (มิลลิเมตร)

- ข) เมื่อมีรอยเชื่อมต่อเนื่องขนาดเล็กกว่าสามในสี่ของความหนาแผ่นเหล็กเพลท ตลอดปลาย ของแผ่นเหล็กเพลท

$$a' = 1.5w \quad (90)$$

- ค) เมื่อไม่มีรอยเชื่อมตลอดปลายของแผ่นเหล็กเพลท

$$a' = 2w \quad (91)$$

5.13.4 คานหน้าตัดประกอบ (Built-Up Beams)

องค์อาคารรับแรงดัดที่เกิดจากการประกอบคาน หรือหน้าตัดรูปร่างน้ำสองชั้นหรือ มากกว่าที่วางข้างกัน (Side-by-Side) จะต้องเชื่อมต่อกันโดยเป็นไปตามข้อกำหนดของมิติที่ ต้องการสำหรับองค์อาคารประกอบ เมื่อมีการส่งผ่านแรงกระทำแบบจุดจากคานหนึ่งไปยังอีก คานหนึ่งหรือกระจายแรงระหว่างคานจะต้องมีแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ที่มีสติฟเนสเพียงพอที่จะถ่ายแรง และยึดด้วยสลักเกลียวหรือการเชื่อมระหว่างคาน

5.13.5 กระจายโมเมนต์ตามคานสำหรับการกระจายโมเมนต์ต่อ (Moment Redistribution)

สำหรับการกระจายโมเมนต์ต่อในคาน ระยะปราศจากการค้ำยันด้านข้าง L_b ของปีกรับ แรงอัดตำแหน่งถัดจากปลายที่มีการกระจายโมเมนต์ต่อ จะต้องมีความไม่เกิน L_m โดยหาได้จาก

- ก) สำหรับคานหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรแกนเดียวหรือสองแกน ที่มีปีกรับแรงอัดเท่ากับหรือ ใหญ่กว่าปีกรับแรงดึง รับแรงกระทำในระนาบของแผ่นเอว

$$L_m = \left[0.12 + 0.076 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (92)$$

ข) สำหรับหน้าตัดต้นรูปสี่เหลี่ยม และคานหน้าตัดสมมาตรรูปกล่อง ดัดรอบแกนหลัก

$$L_m = \left[0.17 + 0.10 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \geq 0.10 \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (93)$$

โดย

F_y = หน่วยแรงครากต่ำสุดระบุของปิกรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)

M_1 = ค่าโมเมนต์ที่ปลายของระยะปราศจากค้ำยัน ที่น้อยกว่า (นิวตัน-มิลลิเมตร)

M_2 = ค่าโมเมนต์ที่ปลายของระยะปราศจากค้ำยัน ที่มากกว่า (นิวตัน-มิลลิเมตร)

r_y = รัศมีจายเรชันรอบแกน y (มิลลิเมตร)

(M_1/M_2) มีค่าเป็นบวก เมื่อโมเมนต์ทำให้เกิดโค้งดัดกลับ และมีค่าเป็นลบ เมื่อเกิดโค้งเดียว

ไม่มีขีดจำกัดสำหรับค่า L_b ขององค์อาคารหน้าตัดกลม หรือหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือคานใดๆ ที่ดัดรอบแกนรอง

บทที่ 6

การออกแบบองค์อาคารรับแรงเฉือน

บทนี้พิจารณาแผ่นเอวขององค์อาคารสมมาตรแกนเดียวและสองแกนรับแรงเฉือนในระนาบของแผ่นเอว เหล็กฉากเดี่ยว และหน้าตัดรูปท้อ และแรงเฉือนในแกนรองของหน้าตัดสมมาตรแกนเดียวและสองแกน

บทนี้ แบ่งหัวข้อออกเป็น

- 6.1 ข้อกำหนดทั่วไป
- 6.2 องค์อาคารที่มีการเสริมและไม่มีการเสริมกำลังที่แผ่นเอว
- 6.3 แรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)
- 6.4 เหล็กฉากเดี่ยว
- 6.5 องค์อาคารหน้าตัดรูปท้อสี่เหลี่ยม และหน้าตัดรูปกล่อง
- 6.6 หน้าตัดรูปท้อกลม
- 6.7 แรงเฉือนในแนวแกนรองของหน้าตัดสมมาตรแกนเดียว และสองแกน
- 6.8 คาน และคานขนาดใหญ่ที่มีช่องเปิดที่แผ่นเอว

6.1 ข้อกำหนดทั่วไป

กำลังรับแรงเฉือนในบทนี้มีสองวิธี วิธีที่หนึ่งในหัวข้อ 6.2 ไม่พิจารณากำลังหลังจากการโก่งเดาะขององค์อาคาร (แรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)) และวิธีที่สองในหัวข้อ 6.3 ซึ่งพิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)

กำลังรับแรงเฉือนออกแบบ $\phi_v V_n$ และ กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ V_n/Ω_v หาได้จาก

สำหรับทุกหัวข้อในบทนี้ ยกเว้นหัวข้อ 6.2.1(ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

6.2 องค์อาคารที่มีการเสริมและไม่มีการเสริมกำลังที่แผ่นเอว

6.2.1 กำลังรับแรงเฉือน

หัวข้อนี้ใช้สำหรับแผ่นเอวขององค์อาคารหน้าตัดสมมาตรแกนเดียวและสองแกน และองค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ รับแรงเฉือนในระนาบของแผ่นเอว

ค่ากำลังรับแรงเฉือนระบุ V_n ของแผ่นเอวที่มีและไม่มีการเสริมกำลังที่แผ่นเอว หาได้จากสมภาวะขีดจำกัดการครากจากแรงเฉือน และสมภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะจากแรงเฉือน

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \qquad (94)$$

ก) สำหรับแผ่นเอวขององค์อาคารหน้าตัดรีดร้อนรูปตัว H ที่มีค่า $h/t_w \leq 2.24\sqrt{E/F_y}$

$$\phi_v = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_v = 1.50 \text{ (ASD)}$$

และ

$$C_v = 1.0 \quad (95)$$

ข) สำหรับแผ่นเอวของหน้าตัดสมมาตรแกนเดียว สมมาตรสองแกน และหน้าตัดรูปร่างอื่นๆ ยกเว้นหน้าตัดรูปท่อกกลม รับแรงเฉือนในระนาบของแผ่นเอว ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนของแผ่นเอว C_v หาได้จาก

$$(1) \text{ เมื่อ } h/t_w \leq 1.10\sqrt{k_v E/F_y}$$

$$C_v = 1.0 \quad (96)$$

$$(2) \text{ เมื่อ } 1.10\sqrt{k_v E/F_y} < h/t_w \leq 1.37\sqrt{k_v E/F_y}$$

$$C_v = \frac{1.10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w} \quad (97)$$

$$(3) \text{ เมื่อ } h/t_w > 1.37\sqrt{k_v E/F_y}$$

$$C_v = \frac{1.51k_v E}{(h/t_w)^2 F_y} \quad (98)$$

โดย

A_w = พื้นที่ของแผ่นเอว มีค่าเท่ากับผลคูณของความหนาของแผ่นเอว dt_w (มิลลิเมตร²)

h = สำหรับหน้าตัดรีดร้อน มีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างผิวด้านในของปีกหักลบด้วยส่วนพอกหรือรัศมีมุม (มิลลิเมตร)

= สำหรับหน้าตัดประกอบยึดด้วยการเชื่อม มีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างผิวด้านในของปีก (มิลลิเมตร)

= สำหรับหน้าตัดประกอบยึดด้วยสลักเกลียว มีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างแนวของตัวยึด (มิลลิเมตร)

= สำหรับหน้าตัดรูปตัวที มีค่าเท่ากับควมลึกทั้งหมด (มิลลิเมตร)

t_w = ความหนาของแผ่นเอว (มิลลิเมตร)

สัมประสิทธิ์การโก่งเดาะจากแรงเฉือนของแผ่นเอว (Web Plate Shear Buckling Coefficient) k_v หาได้จาก

(1) สำหรับแผ่นเอวที่ไม่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง และ $h/t_w < 260$

$$k_v = 5$$

ยกเว้นหาของหน้าตัดรูปตัวที ใช้ค่า $k_v = 1.2$

(2) สำหรับแผ่นเอวที่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (99)$$

$$= 5 \text{ เมื่อ } a/h > 3.0 \text{ หรือ } a/h > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2$$

โดย

a = ระยะระหว่างผิวด้านในของแผ่นเสริมกำลังทางขวาง (มิลลิเมตร)

6.2.2 แผ่นเสริมกำลังทางขวาง

ไม่จำเป็นต้องมีแผ่นเสริมกำลังทางขวางในกรณี $h/t_w \leq 2.46\sqrt{E/F_y}$ หรือกรณีกำลังรับแรงเฉือนที่ใช้ได้ที่ได้จาก หัวข้อ 6.2.1 โดยใช้ $k_v = 5$ มีค่ามากกว่ากำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ

โมเมนต์ความเฉื่อย I_{st} ของแผ่นเสริมกำลังทางขวางเพื่อให้เกิดกำลังรับแรงเฉือนที่ใช้ได้ของแผ่นเอว ตามหัวข้อ 6.2.1 รอบแกนที่กึ่งกลางของแผ่นเอวสำหรับกรณีที่ใช้แผ่นเสริมกำลังแบบคู่หรือรอบแกนที่ผิวของแผ่นเอวด้านที่แผ่นเสริมกำลังสัมผัสสำหรับกรณีที่ใช้แผ่นเสริมกำลังแบบเดี่ยว จะต้องมีความ

$$I_{st} \geq bt_w^3 j \quad (100)$$

โดย

$$j = \frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0.5 \quad (101)$$

และ b คือ ค่าที่น้อยกว่าของค่ามิติ a และ h

อนุญาตให้แผ่นเสริมกำลังทางขวางไม่จำเป็นต้องชนปีกรับแรงดึง สำหรับกรณีที่ไม่มีแรงแบกทานจากแรงกระทำแบบจุดหรือแรงปฏิกิริยา รอยเชื่อมระหว่างแผ่นเสริมกำลังทางขวางกับแผ่นเอว จะต้องหยุดที่ระยะไม่น้อยกว่าสี่เท่าแต่ไม่เกินหกเท่าของความหนาของแผ่นเอว นับจากฐานรอยเชื่อมของปีกและแผ่นเอว (Toe of Web-to-Flange Weld) กรณีใช้แผ่นเสริมกำลังแผ่นเดียว แผ่นเสริมกำลังจะต้องยึดเข้ากับปีกรับแรงอัด ในกรณีที่แผ่นสไลด์เหลื่อม เพื่อดำเนินงานแรงยกขึ้นเนื่องจากการบิดตัวในปีกที่อาจเกิดขึ้น

ระยะห่างระหว่างสลักเกลียวของสลักเกลียวที่ใช้ยึดระหว่างแผ่นเสริมกำลังและแผ่นเอวของคานขนาดใหญ่ จะต้องไม่เกิน 305 มิลลิเมตร จากจุดศูนย์กลาง หากใช้การเชื่อมพอกเป็นช่วงๆ ระยะห่างระหว่างขอบของรอยเชื่อม (Clear Distance) จะต้องไม่เกิน 16 เท่าของความหนาแผ่นเอว หรือไม่เกิน 250 มิลลิเมตร

6.3 แรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)

6.3.1 ขีดจำกัดของการใช้แรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)

อนุญาตให้คิดผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action) สำหรับองค์อาคารที่มีปีกที่แผ่นเอวมีการรองรับทั้งสี่ด้านด้วยปีก หรือแผ่นเสริมกำลัง และไม่อนุญาตให้คิดผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action) ในกรณี

ก) สำหรับแผงริมของทุกองค์อาคารที่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง

ข) เมื่อ a/h เกิน 3.0 หรือ $[260/(h/t_w)]^2$

ค) เมื่อ $2A_w/(A_{fc} + A_{ft}) > 2.5$ หรือ

ง) เมื่อ h/b_{fc} หรือ $h/b_{ft} > 6.0$

โดย

A_{fc} = พื้นที่ของปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร²)

A_{ft} = พื้นที่ของปีกรับแรงดึง (มิลลิเมตร²)

b_{fc} = ความกว้างของปีกรับแรงอัด (มิลลิเมตร)

b_{ft} = ความกว้างของปีกรับแรงดึง (มิลลิเมตร)

สำหรับกรณีดังกล่าว ค่ากำลังรับแรงเฉือนระบุ V_n หาได้จากข้อกำหนดข้อ 6.2

6.3.2 กำลังรับแรงเฉือนที่พิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)

สำหรับกรณีที่สามารถพิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action) ร่วมด้วยได้ ตามข้อกำหนดในข้อ 6.3.1 ค่ากำลังรับแรงเฉือนระบุ V_n ที่รวมผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action) ตามสภาวะขีดจำกัดการครากของแรงดึง (Tension Field) โดย

$$ก) \text{ เมื่อ } h/t_w \leq 1.10\sqrt{k_v E/F_y}$$

$$V_n = 0.6F_y A_w \quad (102)$$

$$ข) \text{ เมื่อ } h/t_w > 1.10\sqrt{k_v E/F_y}$$

$$V_n = 0.6F_y A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \quad (103)$$

โดย

k_v และ C_v ตามที่กำหนดในหัวข้อ 6.2.1

6.3.3 แผ่นเสริมกำลังทางขวาง (Transverse Stiffener)

แผ่นเสริมกำลังทางขวาง ภายใต้แรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action) จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตามหัวข้อ 6.2.2 และตามข้อจำกัดดังนี้

$$1) \quad (b/t)_{st} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yst}}} \quad (104)$$

$$2) \quad I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \left[\frac{V_r - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}} \right] \quad (105)$$

โดย

$(b/t)_{st}$ = สัดส่วนความกว้างต่อความหนาของแผ่นเสริมกำลัง

F_{yst} = หน่วยแรงครากต่ำสุดระบุ ของวัสดุแผ่นเสริมกำลัง (เมกะปาสคาล)

I_{st} = โมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นเสริมกำลังทางขวาง รอบแกนที่กึ่งกลางของแผ่นเอว สำหรับกรณีที่ใช้แผ่นเสริมกำลังแบบคู่ หรือรอบแกนที่ผิวของแผ่นเอวด้านที่แผ่นเสริมกำลังสัมผัสสำหรับกรณีที่ใช้แผ่นเสริมกำลังแบบเดี่ยว (มิลลิเมตร⁴)

I_{st1} = โมเมนต์ความเฉื่อยต่ำสุดของแผ่นเสริมกำลังทางขวาง ที่ต้องการเพื่อให้เกิดกำลังต้านทานการโก่งเดาะแบบเฉือนของแผ่นเอวตามหัวข้อ 6.2.2 (มิลลิเมตร⁴)

I_{st2} = โมเมนต์ความเฉื่อยต่ำสุดของแผ่นเสริมกำลังทางขวาง ที่ต้องการเพื่อให้เกิดกำลังต้านทานการโก่งเดาะแบบเฉือนของแผ่นเอวเต็มแผ่นร่วมกับกำลังต้านทานจาก Tension Field ของแผ่นเอว $V_r = V_{c2}$ (มิลลิเมตร⁴)

$$= \frac{h^4 \rho_{st}^{1.3} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5}}{40} \quad (106)$$

- V_r = กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการที่สูงกว่าของช่วงแผ่นเอวข้างเคียง โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD หรือ ASD (นิวตัน)
- V_{c1} = ค่าที่ต่ำกว่าของกำลังรับแรงเฉือนที่ใช้ได้ (Available Shear Strength) ของช่วง แผ่นเอวข้างเคียง โดยใช้ V_n จาก หัวข้อ 6.2.1 (นิวตัน)
- V_{c2} = ค่าที่ต่ำกว่าของกำลังรับแรงเฉือนที่ใช้ได้ (Available Shear Strength) ของช่วง แผ่นเอวข้างเคียง โดยใช้ V_n จาก หัวข้อ 6.3.2 (นิวตัน)
- ρ_{st} = ค่าที่สูงกว่าของ F_{yw}/F_{yst} และ 1.0
- F_{yw} = หน่วยแรงครากต่ำสุดระบุ ของวัสดุแผ่นเอว (เมกะปาสคาล)

6.4 เหล็กฉากเดี่ยว

ค่ากำลังรับแรงเฉือนระบุ V_n ของขาของเหล็กฉากเดี่ยวหาได้จากสมการ 94 และหัวข้อ 6.2.1x โดย $A_w = bt$

โดย

- b = ความกว้างของขาที่ต้านทานแรงเฉือน (มิลลิเมตร)
- t = ความหนาของขาเหล็กฉาก (มิลลิเมตร)
- $h/t_w = b/t$
- $k_v = 1.2$

6.5 องค์อาคารหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม และหน้าตัดรูปกล่อง

ค่ากำลังรับแรงเฉือนระบุ V_n ขององค์อาคารหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม และหน้าตัดรูปกล่อง หาได้จากข้อกำหนด หัวข้อ 6.2.1 โดย $A_w = 2ht$

โดย

- h = ความกว้างที่ต้านทานแรงเฉือน มีค่าเท่ากับระยะระหว่างผิวด้านในของปีกลบคาร์ซีมีนุภายในของแต่ละข้าง (มิลลิเมตร)
- t = ความหนาออกแบบของผนัง เท่ากับ 0.93 คูณความหนาผนังระบุ สำหรับหน้าตัดรูปทอที่เชื่อมด้วยวิธี Electric Resistance Welding (ERW) และเท่ากับความหนาระบุ สำหรับหน้าตัดรูปทอที่เชื่อมด้วยวิธี Submerged-Arc Welding (SAW) (มิลลิเมตร)
- $t_w = t$ (มิลลิเมตร)
- $k_v = 5$

ถ้าไม่รู้คาร์ซีมีนุ ค่า h ให้ใช้เท่ากับระยะระหว่างผิวด้านนอกที่สัมพันธ์กัน ลบด้วย 3 เท่าของความหนา

6.6 องค์อาคารหน้าตัดรูปทอกลม

ค่ากำลังรับแรงเฉือนระบุ V_n ขององค์อาคารหน้าตัดรูปทอกลม สำหรับสถานะขีดจำกัดการครากจากแรงเฉือน และการโก่งเดาะจากแรงเฉือน หาได้จาก

$$V_n = F_{cr} A_g / 2 \quad (107)$$

โดย

F_{cr} คือ ค่าที่มากกว่าของ

$$F_{cr} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^4}} \quad (108ก)$$

และ

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (108ข)$$

แต่ไม่เกิน $0.6F_y$

A_g = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดขององค์อาคาร (มิลลิเมตร²)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (มิลลิเมตร)

L_v = ระยะจากจุดที่แรงเฉือนสูงสุดจนถึงแรงเฉือนเท่ากับศูนย์ (มิลลิเมตร)

t = ความหนาออกแบบของผนัง เท่ากับ 0.93 คูณความหนาผนังระบุ สำหรับหน้าตัดรูปทอที่เชื่อมด้วยวิธี Electric Resistance Welding (ERW) และเท่ากับความหนาระบุ สำหรับหน้าตัดรูปทอที่เชื่อมด้วยวิธี Submerged-Arc Welding (SAW) (มิลลิเมตร)

6.7 แรงเฉือนในแนวแกนรองของหน้าตัดสมมาตรแกนเดียว และสองแกน

สำหรับหน้าตัดสมมาตรแกนเดียวและสองแกน รับน้ำหนักในแกนรองโดยปราศจากแรงบิด (Torsion) ค่ากำลังรับแรงเฉือนระบุ V_n สำหรับชิ้นส่วนรับแรงเฉือนแต่ละชิ้น หาได้จากสมการ 94 และหัวข้อ 6.2.1ข โดย $A_w = b_f t_f$, $h/t_w = b/t_f$, $k_v = 1.2$ และ

b = สำหรับปีกขององค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H เท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างเต็มปีก b_f
สำหรับปีกของหน้าตัดรูปรางน้ำ เท่ากับขนาดความกว้างระบุเต็มของปีก (มิลลิเมตร)

6.8 คานและคานขนาดใหญ่ที่มีช่องเปิดที่แผ่นเอว

ให้พิจารณาผลของช่องเปิดที่แผ่นเอวทั้งหมดต่อกำลังรับแรงเฉือนของคานเหล็ก และคานวัสดุผสม (Composite Beam) จะต้องมีการเสริมกำลังให้เพียงพอเมื่อกำลังที่ต้องการมากกว่ากำลังที่ใช้ได้ขององค์อาคารบริเวณช่องเปิด

บทที่ 7

การออกแบบองค์อาคารรับแรงรวมและโมเมนต์บิด

ในบทนี้ พิจารณาองค์อาคารรับแรงตามแนวแกน และแรงดัดรอบแกนเดียวหรือสองแกน มีหรือไม่มีโมเมนต์บิด และองค์อาคารที่มีเฉพาะโมเมนต์บิดเพียงอย่างเดียว

ในบทนี้ จัดเรียงหัวข้อดังนี้

- 7.1 องค์อาคารสมมาตรแกนเดียวและสองแกน รับแรงดัดและแรงตามแนวแกน
- 7.2 องค์อาคารไม่สมมาตรและองค์อาคารอื่นๆ รับแรงดัดและแรงตามแนวแกน
- 7.3 องค์อาคารรับโมเมนต์บิด และองค์อาคารที่รับแรงรวม ระหว่างโมเมนต์บิด แรงดัด แรงเฉือน และ/หรือแรงตามแนวแกน
- 7.4 การฉีกขาดของปีกที่มีรูเจาะรับแรงดึง

7.1 องค์อาคารสมมาตรแกนเดียวและสองแกน รับแรงดัดและแรงตามแนวแกน

7.1.1 องค์อาคารสมมาตรแกนเดียวและสองแกน รับแรงดัดและแรงอัด

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงอัด ขององค์อาคารสมมาตรสองแกน หรือองค์อาคารสมมาตรแกนเดียวที่มีค่า $0.1 \leq (I_{yc}/I_y) \leq 0.9$ ยึดรั้งให้ดัดรอบแกนทางเรขาคณิต (x และ/หรือ y) หาได้จากสมการที่ (109ก) และ (109ข) โดย I_{yc} คือค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของปีกรับแรงอัดรอบแกน y (มิลลิเมตร⁴)

ก) เมื่อ $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (109ก)$$

ข) เมื่อ $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (109ข)$$

โดย

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD หรือ ASD (นิวตัน)

P_c = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ใช้ได้ (นิวตัน)

M_r = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

M_c = กำลังรับแรงดัดที่ใช้ได้ (นิวตัน-มิลลิเมตร)

x = ตัวห้อยแสดงสัญลักษณ์การดัดบนแกนหลักขององค์อาคาร

y = ตัวห้อยแสดงสัญลักษณ์การดัดบนแกนรองขององค์อาคาร

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี LRFD

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน)

$P_c = \phi_c P_n$ = กำลังรับแรงตามแนวแกนออกแบบ หาได้จากบทที่ 4 (นิวตัน)

M_r = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

$M_c = \phi_b M_n$ = กำลังรับแรงดัดออกแบบ หาได้จากบทที่ 5 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

ϕ_c = ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงอัด = 0.90

ϕ_b = ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดัด = 0.90

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี ASD

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน)

$P_c = P_n / \Omega_c$ = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 4 (นิวตัน)

M_r = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

$M_c = M_n / \Omega_b$ = กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 5 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

Ω_c = ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงอัด = 1.67

Ω_b = ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงดัด = 1.67

7.1.2 องค์อาคารสมมาตรแกนเดียวและสองแกน รับแรงดัดและแรงดึง

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงดึง ในองค์อาคารสมมาตรแกนเดียวและสองแกน ยึดรั้งให้ดัดรอบแกนเรขาคณิต (x และ/หรือ y) หาได้จากสมการที่ (109ก) และ (109ข)

โดย

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี LRFD

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน)

$P_c = \phi_t P_n$ = กำลังรับแรงตามแนวแกนออกแบบ หาได้จากบทที่ 3 (นิวตัน)

M_r = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

$M_c = \phi_b M_n$ = กำลังรับแรงดัดออกแบบ หาได้จากบทที่ 5 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

ϕ_t = ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดึง (ดูบทที่ 3)

ϕ_b = ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดัด = 0.90

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี ASD

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน)

$P_c = P_r/\Omega_t =$ กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 3 (นิวตัน)

M_r = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

$M_c = M_r/\Omega_b =$ กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 5 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

Ω_t = ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงดึง (ดูบทที่ 3)

Ω_b = ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงดัด = 1.67

สำหรับองค์อาคารสมมาตรสองแกน ค่า C_b ในบทที่ 5 อาจจะคูณด้วย $\sqrt{1 + \frac{\alpha P_r}{P_{ey}}}$ สำหรับ

กรณีแรงดึงตามแนวแกนกระทำพร้อมกับแรงดัด

โดย

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_b^2}$$

และ

$$\alpha = 1.0 \text{ (LRFD);}$$

$$\alpha = 1.6 \text{ (ASD)}$$

อนุญาตให้ใช้การวิเคราะห์ที่ละเอียดกว่าของปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงดึงแทนการใช้สมการ (109ก) และ (109ข) ได้

7.1.3 องค์อาคารหน้าตัดรีดรีดร้อนสมมาตรสองแกนอัดแน่น รับแรงดัดแกนเดียวและแรงอัด

สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรีดรีดร้อนสมมาตรสองแกนอัดแน่น ที่ $(KL)_z \leq (KL)_y$ รับแรงดัด และแรงอัด โดยโมเมนต์อยู่บนแกนหลักเป็นหลัก อนุญาตให้พิจารณาสถานะขีดจำกัดทั้งสองแบบ คือ ความไม่มีเสถียรภาพในระนาบ และการโก่งเดาะออกนอกกระนาบหรือการโก่งเดาะทางข้าง และการบิด แยกออกจากกันได้ แทนที่จะพิจารณาร่วมกันตามที่ระบุในหัวข้อ 7.1.1

สำหรับองค์อาคารที่ $M_{ry}/M_{cy} \geq 0.05$ ให้ใช้ข้อกำหนดตามหัวข้อ 7.1.1

ก) สำหรับสถานะขีดจำกัดความไม่มีเสถียรภาพในระนาบ ให้ใช้สมการที่ (109) โดย P_c , M_{rx} และ M_{cx} หาจากกระนาบที่เกิดการดัด

ข) สำหรับสถานะขีดจำกัดการโก่งเดาะออกนอกกระนาบ และการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left(1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left(\frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (110)$$

โดย

P_{cy} = กำลังรับแรงอัดนอกระนาบการดัดที่ใช้ได้ (นิวตัน)

C_b = ตัวคูณปรับแก้การโก่งเดาะทางข้างและการบิด หาได้จากหัวข้อ 5.1

M_{cx} = กำลังรับแรงทางข้างและการบิดที่ใช้ได้ สำหรับการดัดรอบแกนหลัก หาได้จากบทที่ 5 โดยใช้ $C_b = 1.0$ (นิวตัน-มิลลิเมตร)

7.2 องค์อาคารไม่สมมาตร และองค์อาคารอื่นๆ รับแรงดัดและแรงตามแนวแกน

หัวข้อนี้พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงตามแนวแกนของหน้าตัดที่ไม่ครอบคลุมในหัวข้อ 7.1 อนุญาตให้ใช้ข้อกำหนดในหัวข้อนี้สำหรับหน้าตัดใดๆ แทนข้อกำหนดในหัวข้อ 7.1 ได้

$$\left| \frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1.0 \quad (111)$$

โดย

f_{ra} = หน่วยแรงตามแนวแกนที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD หรือ ASD (เมกะปาสคาล)

F_{ca} = หน่วยแรงตามแนวแกนที่ใช้ได้ที่จุดที่พิจารณา (เมกะปาสคาล)

f_{rbw}, f_{rbz} = หน่วยแรงดัดที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD หรือ ASD (เมกะปาสคาล)

F_{cbw}, F_{cbz} = หน่วยแรงดัดที่ใช้ได้ที่จุดที่พิจารณา (เมกะปาสคาล)

w = ตัวห้อยแสดงสัญลักษณ์การดัดรอบแกนประธานหลัก

z = ตัวห้อยแสดงสัญลักษณ์การดัดรอบแกนประธานรอง

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี LRFD

f_{ra} = หน่วยแรงตามแนวแกนที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (เมกะปาสคาล)

$F_{ca} = \phi_c F_{cr}$ = หน่วยแรงตามแนวแกนออกแบบ หาได้จากบทที่ 4 สำหรับแรงอัด หรือบทที่ 3 สำหรับแรงดึง (เมกะปาสคาล)

f_{rbw}, f_{rbz} = หน่วยแรงดัดที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD หรือ ASD (เมกะปาสคาล)

$$F_{cbw} F_{cbz} = \frac{\phi_b M_n}{S} = \text{หน่วยแรงดัดออกแบบ หาได้จากบทที่ 5 (เมกะปาสคาล) โดยใช้โมดูลัส}$$

หน้าตัดในตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจงในหน้าตัด และให้พิจารณาเครื่องหมายของหน่วยแรง

ด้วย

$$\phi_c = \text{ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงอัด} = 0.90$$

$$\phi_t = \text{ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดึง (ดูบทที่ 3)}$$

$$\phi_b = \text{ตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดัด} = 0.90$$

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี ASD

$$f_{ra} = \text{หน่วยแรงตามแนวแกนที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกตาม ASD (เมกะปาสคาล)}$$

$$F_{ca} = \frac{F_{cr}}{\Omega_c} = \text{หน่วยแรงตามแนวแกนที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 4 สำหรับแรงอัด หรือบทที่ 3}$$

สำหรับแรงดึง (เมกะปาสคาล)

$$f_{rbw}, f_{rbz} = \text{หน่วยแรงดัดที่ต้องการที่จุดที่พิจารณา โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกตาม LRFD หรือ ASD (เมกะปาสคาล)}$$

$$F_{cbw}, F_{cbz} = \frac{M_n}{\Omega_b S} = \text{หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 5 (เมกะปาสคาล) โดยใช้โมดูลัส}$$

หน้าตัดในตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจงในหน้าตัด และให้พิจารณาเครื่องหมายของหน่วยแรง

ด้วย

$$\Omega_c = \text{ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงอัด} = 1.67$$

$$\Omega_t = \text{ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงดึง ดูบทที่ 3}$$

$$\Omega_b = \text{ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงดัด} = 1.67$$

สมการที่ (111) ให้คำนวณโดยใช้แกนดัดประธาน โดยพิจารณาเครื่องหมายของหน่วยแรงดัดที่จุดวิกฤติ ต่างๆ บนหน้าตัด พจน์ของแรงดัดอาจจะบวกหรือลบจากพจน์แรงตามแนวแกนตามความเหมาะสม เมื่อแรง ตามแนวแกนเป็นแรงอัด ให้พิจารณาผลพหุคูณร่วมด้วยตามข้อกำหนดบทที่ 2

อนุญาตให้ใช้การวิเคราะห์ที่ละเอียดกว่าของปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงดึงแทนการใช้สมการที่ (111) ได้

7.3 องค์อาคารรับโมเมนต์บิด และองค์อาคารที่รับแรงร่วมระหว่างโมเมนต์บิด แรงดัด แรงเฉือนและ/หรือแรงตามแนวแกน

7.3.1 หน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม และหน้าตัดรูปทอกลม รับโมเมนต์บิด

กำลังรับโมเมนต์บิดออกแบบ $\phi_T T_n$ และกำลังรับโมเมนต์บิดที่ยอมให้ T_n/Ω_T สำหรับหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม และหน้าตัดรูปทอกลม รับโมเมนต์บิด ตามสมภาวะขีดจำกัดของการครากแบบบิด และการโก่งเดาะแบบบิด หาได้จาก

$$\phi_T = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_T = 1.67 \text{ (ASD)}$$
$$T_n = F_{cr} C \quad (112)$$

โดย

C คือ ค่าคงที่การบิดสำหรับหน้าตัดรูปทอ

หน่วยแรงวิกฤติ F_{cr} หาได้จาก

ก) สำหรับหน้าตัดรูปทอกลม F_{cr} เป็นค่าที่มากกว่าของ

$$(1) \quad F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{\frac{5}{4}}}} \quad (113ก)$$

และ

$$(2) \quad F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (113ข)$$

แต่ไม่เกิน $0.6F_y$

โดย

L = ความยาวขององค์อาคาร (มิลลิเมตร)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (มิลลิเมตร)

ข) สำหรับหน้าตัดรูปท้อสี่เหลี่ยม

$$1) \text{ เมื่อ } \frac{h}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$
$$F_{cr} = 0.6F_y \quad (114)$$

$$2) \text{ เมื่อ } 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$
$$F_{cr} = \frac{0.6F_y (2.45 \sqrt{E/F_y})}{(h/t)} \quad (115)$$

$$3) \text{ เมื่อ } 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260$$
$$F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{(h/t)^2} \quad (116)$$

โดย

- h = ความกว้างแบนราบ (Flat Width) ของด้านที่ยาวกว่า มีค่าเท่ากับ ระยะผิวด้านในถึงผิวด้านใน (Clear Distance) ลบด้วยรัศมีมุมโค้งด้านในทั้งสองด้าน หรือเท่ากับระยะผิวนอกถึงผิวนอกลบด้วยสามเท่าของความหนาท้อ (มิลลิเมตร)
- t = ความหนาผนังออกแบบ มีค่าเท่ากับ 0.93 คูณความหนาระบุสำหรับหน้าตัดรูปท้อที่เชื่อมด้วยวิธี Electric Resistance Welding (ERW) หรือเท่ากับความหนาระบุสำหรับหน้าตัดรูปท้อที่เชื่อมด้วยวิธี Submerged-Arc Welding (SAW) (มิลลิเมตร)

7.3.2 หน้าตัดรูปท้อรับแรงรวมระหว่างโมเมนต์บิด แรงเฉือน แรงดัด และแรงตามแนวแกน

เมื่อกำลังรับโมเมนต์บิดที่ต้องการ T_r มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20% ของกำลังรับโมเมนต์บิดที่ใช้ได้ T_c ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิด แรงเฉือน แรงดัด และ/หรือ แรงตามแนวแกน ของหน้าตัดรูปท้อ ให้หาจากหัวข้อ 7.1 และไม่ต้องคิดผลของโมเมนต์บิด เมื่อ T_r มีค่ามากกว่า 20% ของ T_c ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิด แรงเฉือน แรงดัด และ/หรือ แรงตามแนวแกน ที่จุดที่พิจารณา จะถูกจำกัดด้วย

$$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0 \quad (117)$$

โดย

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี LRFD

P_r = กำลังตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน)

P_c = ϕP_n = กำลังรับแรงดึงหรือแรงอัดออกแบบ หาได้จากบทที่ 3 หรือ 4 (นิวตัน)

M_r = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

M_c = $\phi_b M_n$ = กำลังรับแรงดัดออกแบบ หาได้จากบทที่ 5 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

V_r = กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน)

V_c = $\phi_v V_n$ = กำลังรับแรงเฉือนออกแบบ หาได้จากบทที่ 6 (นิวตัน)

T_r = กำลังรับโมเมนต์บิดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

T_c = $\phi_T T_n$ = กำลังรับโมเมนต์บิดออกแบบ หาได้จากหัวข้อ 7.3.1 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี ASD

P_r = กำลังตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน)

P_c = P_n / Ω = กำลังรับแรงดึงหรือแรงอัดที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 3 หรือ 4 (นิวตัน)

M_r = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

M_c = M_n / Ω_b = กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 5 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

V_r = กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน)

V_c = V_n / Ω_v = กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ หาได้จากบทที่ 6 (นิวตัน)

T_r = กำลังรับโมเมนต์บิดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

T_c = T_n / Ω_T = กำลังรับโมเมนต์บิดที่ยอมให้ หาได้จากหัวข้อ 7.3.1 (นิวตัน-มิลลิเมตร)

7.3.3 องค์อาคารที่ไม่ใช่หน้าตัดรูปท้อ รับโมเมนต์บิด และรับหน่วยแรงรวม

กำลังรับโมเมนต์บิดที่ใช้ได้ขององค์อาคารที่ไม่ใช่หน้าตัดรูปท้อ เป็นค่าที่ต่ำสุดของค่าที่ได้จากสภาวะขีดจำกัดการครากภายใต้หน่วยแรงตั้งฉาก สภาวะขีดจำกัดการครากจากแรงเฉือนภายใต้หน่วยแรงเฉือน หรือสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะ โดยหาได้จาก

$$\phi_T = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_T = 1.67 \text{ (ASD)}$$

ก) สำหรับสภาวะขีดจำกัดการครากภายใต้หน่วยแรงตึงฉาก

$$F_n = F_y \quad (118)$$

ข) สำหรับสภาวะขีดจำกัดการครากจากแรงเฉือนภายใต้หน่วยแรงเฉือน

$$F_n = 0.6F_y \quad (119)$$

ค) สำหรับสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะ

$$F_n = F_{cr} \quad (120)$$

โดย

F_{cr} = หน่วยแรงโก่งเดาะของหน้าตัด หาได้จากการวิเคราะห์ (เมกะปาสคาล)

7.4 การนิยามของปีกที่มีรูเจาะรับแรงดึง

ที่ตำแหน่งรูเจาะสำหรับสลักเกลียว ในปีกที่รับแรงดึงสำหรับกรณีการรับแรงรวมระหว่างแรงตามแนวแกนและแรงดัดในแกนหลัก กำลังรับแรงดึงแตกร้าของปีกจะถูกจำกัดด้วยสมการ 121 และจะต้องทำการตรวจสอบแต่ละปีกที่รับแรงดึงจากแรงตามแนวแกนและแรงดัดแยกจากกัน

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0 \quad (121)$$

โดย

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการขององค์อาคารที่ตำแหน่งของรูเจาะสำหรับสลักเกลียว มีค่าบวกเมื่อเป็นแรงดึง และมีค่าลบเมื่อเป็นแรงอัด (นิวตัน)

P_c = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ใช้ได้สำหรับสภาวะขีดจำกัดการแตกร้าดึงของหน้าตัดสุทธิ ที่ตำแหน่งของรูเจาะสำหรับสลักเกลียว (นิวตัน)

M_{rx} = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ ที่ตำแหน่งของรูเจาะสำหรับสลักเกลียว มีค่าบวกเมื่อเป็นแรงดึงในปีกที่พิจารณา และมีค่าลบเมื่อเป็นแรงอัด (นิวตัน-มิลลิเมตร)

M_{cx} = กำลังรับแรงดัดที่ใช้ได้รอบแกน x สำหรับสภาวะขีดจำกัดการแตกร้าดึงของปีก หาได้จากหัวข้อ 5.13.1 หากไม่สามารถใช้สภาวะขีดจำกัดการแตกร้าดึงของปีก ให้ใช้โมเมนต์ดัดพลาสติก M_p โดยไม่คิดพื้นที่ของรูเจาะสำหรับสลักเกลียว (นิวตัน-มิลลิเมตร)

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี LRFD

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน)

$P_c = \phi_t P_n$ = กำลังรับแรงตามแนวแกนออกแบบ สำหรับสภาวะขีดจำกัดการแตกร้าดึงของหน้าตัดสุทธิ (นิวตัน)

M_{rx} = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม LRFD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

$M_{cx} = \phi_b M_n$ = กำลังรับแรงดัดออกแบบ หาได้จากหัวข้อ 5.13.1 หรือ โมเมนต์ดัดพลาสติก M_p โดยไม่คิดพื้นที่ของรูเจาะสำหรับสลักเกลียว (นิวตัน-มิลลิเมตร)

ϕ_t = ตัวคูณความต้านทานสำหรับการแตกร้าวดึง = 0.75

ϕ_b = ตัวคูณความต้านทานสำหรับการดัด = 0.90

สำหรับการออกแบบด้วยวิธี ASD

P_r = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน)

$P_c = P_n / \Omega_t$ = กำลังรับแรงตามแนวแกนที่ยอมให้ สำหรับสภาวะขีดจำกัดการแตกร้าวดึงของหน้าตัดสุทธิ (นิวตัน)

M_{rx} = กำลังรับแรงดัดที่ต้องการ โดยใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกตาม ASD (นิวตัน-มิลลิเมตร)

$M_{cx} = M_n / \Omega_b$ = กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้ หาได้จากหัวข้อ 5.13.1 หรือ โมเมนต์ดัดพลาสติก M_p โดยไม่คิดผลของรูเจาะสำหรับสลักเกลียว (นิวตัน-มิลลิเมตร)

Ω_t = ค่าความปลอดภัยสำหรับการแตกร้าวดึง = 2.00

Ω_b = ค่าความปลอดภัยสำหรับการดัด = 1.67

บทที่ 8

การออกแบบข้อต่อและรอยต่อ

8.1 ทัวไป

บทนี้ใช้สำหรับออกแบบข้อต่อ หรือรอยต่อขององค์อาคารโดยอุปกรณ์ยึดเป็นรอยเชื่อมหรือสลักเกลียว กำลังสูง ข้อต่อแบ่งออกได้เป็นสองประเภทได้แก่ ข้อต่อแบบง่ายรับแรงเฉือนหรือแรงปฏิกิริยาโดยเกิดมูมหมุน กับข้อต่อแบบรับแรงเฉือน และโมเมนต์ โดยเกิดการยึดรั้งแบบข้อแข็ง กำลังที่ใช้ออกแบบ ϕR_n และกำลังที่ยอมให้ R_n/Ω ของข้อต่อ หรือรอยต่อ ต้องมากกว่ากำลังที่ต้องการที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

8.2 รอยเชื่อม

ข้อกำหนดของการออกแบบรอยเชื่อมให้ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. โดยรอยเชื่อมแบ่งออกได้ 3 ประเภท ได้แก่ รอยเชื่อมแบบบากร่อง รอยเชื่อมแบบพอก และรอยเชื่อมแบบอุดรูและอุดร่อง กำลังที่ใช้ออกแบบ ϕR_n และกำลังที่ยอมให้ R_n/Ω ของรอยเชื่อมให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าของกำลังวัสดุรองรับคำนวณจากสถานะขีดจำกัดของการวิบัติจากแรงดึง และจากแรงเฉือนรวมทั้งกำลังของวัสดุเชื่อม

8.3 สลักเกลียวกำลังสูง

ข้อกำหนดของการออกแบบรอยต่อที่ใช้สลักเกลียวกำลังสูงเป็นตัวยึดให้ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. กำลังของสลักเกลียวกำลังสูงให้ใช้มาตรฐาน ASTM การติดตั้งสลักเกลียวกระทำได้ 2 แบบ คือ แบบขันแน่นพอดี และแบบมีแรงดึงก่อน รอยต่อที่ใช้สลักเกลียวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อแบบรับแรงแบกทาน และรอยต่อแบบเลื่อนวิฤติ รูเจาะระบุของสลักเกลียว แบ่งออกเป็นรูเจาะมาตรฐาน รูเจาะขนาดใหญ่ รูเจาะร่องสั้น และรูเจาะร่องยาว โดยมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดของสลักเกลียว

กำลังรับแรงดึงประลัยหรือแรงเฉือนประลัย ϕR_n และกำลังรับแรงดึง หรือแรงเฉือนที่ยอมให้ R_n/Ω ของสลักเกลียวหรือรอยต่อ คำนวณได้จากสถานะขีดจำกัดของการวิบัติแบบแรงดึงอย่างเดียว แรงเฉือนอย่างเดียว หรือผลรวมของแรงดึงกับแรงเฉือน โดยลักษณะการวิบัติขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อ

ตารางที่ 9 แรงดึงก่อน (Pretension) ต่ำสุดในสลักเกลียว (กิโลนิวตัน)

(ข้อ 8.3)

ขนาดของสลักเกลียว (มิลลิเมตร)	สลักเกลียวตามมาตรฐาน A325	สลักเกลียวตามมาตรฐาน A490
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

ตารางที่ 10 กำลังที่ใช้ออกแบบของอุปกรณ์ยึด
(ข้อ 8.3)

ชนิดของอุปกรณ์ยึด	กำลังรับแรงดึง	กำลังรับแรงเฉือนในรอยต่อ แบบรับแรงแบกทาน
	กำลังระบุ (เมกะปาสคาล)	กำลังระบุ (เมกะปาสคาล)
สลักเกลียว A307	310	165
สลักเกลียว A325 เมื่อเกลียวอยู่ใน ระนาบของแรงเฉือน	620	330
สลักเกลียว A325 เมื่อเกลียวไม่อยู่ใน ระนาบของแรงเฉือน	620	414
สลักเกลียว A490 เมื่อเกลียวอยู่ใน ระนาบของแรงเฉือน	780	414
สลักเกลียว A490 เมื่อเกลียวไม่อยู่ใน ระนาบของแรงเฉือน	780	520

ตารางที่ 11 หน่วยแรงดึงระบุ (เมกะปาสคาล) สำหรับอุปกรณ์ยึดในรอยต่อรับแรงแบกทาน
(ข้อ 8.3)

ชนิดของอุปกรณ์ยึด	เกลียวอยู่ในระนาบของแรงเฉือน	เกลียวไม่อยู่ในระนาบของแรง เฉือน
สลักเกลียว A307	$171 - 2.5f_v = 310$	
สลักเกลียว A325	$807 - 2.5f_v \leq 621$	$807 - 2.0f_v \leq 621$
สลักเกลียว A490	$1010 - 2.5f_v \leq 779$	$1010 - 2.0f_v \leq 779$
ส่วนที่มีเกลียว และสลักเกลียว A449 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 38 มิลลิเมตร	$0.98F_u - 2.5f_v \leq 0.75F_u$	$0.98F_u - 2.5f_v \leq 0.75F_u$
หมุดย้ำ A502 Gr.1	$407 - 2.4f_v \leq 310$	
หมุดย้ำ A502 Gr.2	$538 - 2.4f_v \leq 414$	

ตารางที่ 12 ระยะขอบต่ำสุดของชิ้นส่วนที่ต่อ (มิลลิเมตร)
(ข้อ 8.3)

เส้นผ่านศูนย์กลางระบุของ สลักเกลียว หรือหมุดย้ำ	ขอบซึ่งตัดด้วยวิธีเฉือน	ขอบรีดของแผ่นเหล็ก เหล็กรูปพรรณ หรือเหล็กเส้น ขอบซึ่งตัดโดยก๊าซ หรือเลื่อย
16	28	22
20	34	26
22	38	28
24	42	30
27	48	34
30	52	38
36	64	46
มากกว่า 36	1.75d	1.25d

ตารางที่ 13 ความหนาของประสิทธิผลต่ำสุด ของรอยเชื่อมแบบบากร่องไม่ทะลุตลอด
(ข้อ 8.2)

ความหนาของวัสดุที่นำมาเชื่อมต่อชิ้นที่บางกว่า (มิลลิเมตร)	ความหนาของประสิทธิผลต่ำสุด (มิลลิเมตร)
น้อยกว่า หรือเท่ากับ 6	3
มากกว่า 6 ถึง 13	5
มากกว่า 13 ถึง 19	6
มากกว่า 19 ถึง 38	8
มากกว่า 38 ถึง 57	10
มากกว่า 57 ถึง 150	13
มากกว่า 150	16

ตารางที่ 14 ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อมแบบพอก
(ข้อ 8.2)

ความหนาของวัสดุที่นำมาเชื่อมต่อชิ้นที่บางกว่า (มิลลิเมตร)	ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อมแบบพอก (มิลลิเมตร)
น้อยกว่า หรือเท่ากับ 6	3
มากกว่า 6 ถึง 13	5
มากกว่า 13 ถึง 19	6
มากกว่า 19	8

บทที่ 9

การออกแบบสำหรับการใช้งานได้ดี

ในบทนี้ พิจารณาข้อกำหนดการออกแบบสำหรับการใช้งานได้ดี

ในบทนี้ จัดเรียงหัวข้อดังนี้

- 9.1 ข้อกำหนดทั่วไป
- 9.2 โค้งหลังเต่า (Camber)
- 9.3 การโก่งตัว
- 9.4 การเคลื่อนตัวทางข้าง (Drift)
- 9.5 การสั่นสะเทือน
- 9.6 การเคลื่อนที่จากการชักนำของแรงลม
- 9.7 การยึดตัว และการหลุดตัว
- 9.8 การเคลื่อนตัวของจุดต่อ

9.1 ข้อกำหนดทั่วไป

สภาวะการใช้งานได้ดี คือ สภาวะของอาคารซึ่งประกอบด้วย ภาพลักษณ์ ความสามารถในการบำรุงรักษา ความทนทาน และความสะดวกสบายของผู้ใช้งาน เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในสภาวะใช้งานปกติ ค่าขีดจำกัดของพฤติกรรมของโครงสร้างสำหรับการใช้งานได้ดี เช่น ค่าการโก่งตัวสูงสุด จะต้องเลือกใช้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานของโครงสร้าง การประเมินความสามารถในการใช้งานได้ดี จะต้องใช้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสม สำหรับสภาวะขีดจำกัดการใช้งานได้ดีที่พิจารณา

9.2 โค้งหลังเต่า (Camber)

ถ้าต้องการให้มีการยกโค้งหลังเต่าเพื่อให้ได้ตำแหน่งและระดับที่ต้องการของโครงสร้าง จะต้องมีการระบุขนาด ทิศทาง และตำแหน่งของโค้งหลังเต่าในแบบวิศวกรรมโครงสร้าง

9.3 การโก่งตัว

การโก่งตัวขององค์อาคารทางโครงสร้าง หรือของระบบโครงสร้างภายใต้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับการใช้งานที่เหมาะสม จะต้องไม่ทำให้โครงสร้างสูญเสียสภาพการใช้งานได้ดี

9.4 การเคลื่อนตัวทางข้าง (Drift)

ให้พิจารณาการเคลื่อนตัวทางข้างของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานเพื่อพิจารณาการใช้งานได้ดี รวมถึงความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของผนังกันภายในและวัสดุหุ้มภายนอก การเคลื่อนตัวด้านข้างภายใต้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกทุกแบบกำลังจะต้องไม่ก่อให้เกิดการปะทะกับโครงสร้างที่อยู่ข้างเคียง หรือมีค่าไม่เกินค่าขีดจำกัดการเคลื่อนตัวทางข้างที่ระบุโดยข้อกำหนดหรือมาตรฐานสำหรับอาคารที่เกี่ยวข้อง

9.5 การสั่นสะเทือน

จะต้องมีการพิจารณาถึงผลของการสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกสะทกสวายของผู้ใช้งานและรูปแบบการใช้งานของโครงสร้าง แหล่งกำเนิดของการสั่นสะเทือนที่จะต้องพิจารณา ได้แก่ น้ำหนักของผู้สัญจร การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร และแหล่งอื่นๆ ที่มีผลต่อโครงสร้าง

9.6 การเคลื่อนที่จากการชักนำของแรงลม

จะต้องมีการพิจารณาถึงผลของการเคลื่อนที่จากการชักนำของแรงลมต่อความรู้สึกสะทกสวายของผู้ใช้งาน

9.7 การยึดตัว และการหลุดตัว

ต้องพิจารณาถึงผลของการยึดตัวและการหลุดตัวของอาคารจากผลของอุณหภูมิ ความเสียหายของผิวคานนอกอาคารอาจเป็นสาเหตุให้น้ำซึมผ่านและเป็นสาเหตุของการผุกร่อนได้

9.8 การเลื้อนตัวของจุดต่อ

ให้รวมผลของการเลื้อนตัวของจุดต่อในการออกแบบ ในกรณีที่มีการเลื้อนตัวของจุดต่อแบบสลักเกลียวอาจก่อให้เกิดการเสียรูปที่กระทบการใช้งานได้ดี หากเป็นไปได้ ควรออกแบบจุดต่อแบบไม่เกิดการเลื้อนตัว

บทที่ 10

ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างการออกแบบครอบคลุมหัวข้อดังต่อไปนี้

- 10.1 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง
- 10.2 การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด
- 10.3 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด
- 10.4 การออกแบบองค์อาคารรับแรงเฉือน
- 10.5 การออกแบบองค์อาคารรับแรงรวมและโมเมนต์บิด

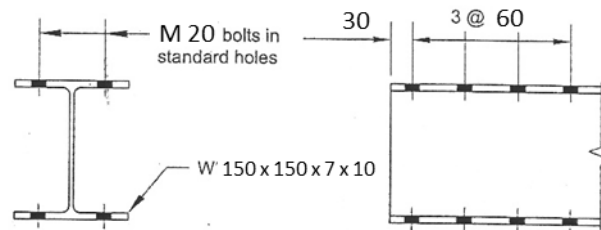
หากไม่ระบุเป็นอย่างอื่น กำหนดให้ใช้คุณสมบัติของวัสดุในตัวอย่างการออกแบบ ดังนี้

- เหล็กชั้นคุณภาพ SS400 หรือ SM400 ตามมาตรฐาน มอก. 1227-2558
- หน่วยแรงดึงที่จุดคราก = 245 เมกะปาสคาล
- กำลังรับแรงดึงประลัย = 400 เมกะปาสคาล
- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น = 200 จิกกะปาสคาล
- เหล็กชั้นคุณภาพ HS41 ตามมาตรฐาน มอก. 107-2533
- หน่วยแรงดึงที่จุดคราก = 235 เมกะปาสคาล
- กำลังรับแรงดึงประลัย = 402 เมกะปาสคาล
- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น = 200 จิกกะปาสคาล

10.1 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง

ตัวอย่าง 10.1.1 องค์อาคารรูปตัด H รับแรงดึง

จงตรวจสอบกำลังรับแรงดึงของ H 150 x 150 x 7 x 10 ความยาว 5 เมตร รับแรงดึงใช้งานตามแนวแกน 500 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 200 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 300 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM 400 ปลายองค์อาคารยึดด้วยสลักเกลียวขนาด 20 มม. จำนวน 16 ตัว สมมติไม่เกิดการวิบัติในสลักเกลียว และแผ่นเหล็กประกบกับ



คุณสมบัติของ H 150 x 150 x 7 x 10 ตามมาตรฐาน มอก.

H = 150 มม. B = 150 มม. $A_g = 4014 \text{ มม.}^2$ $r_y = 37.5 \text{ มม.}$

แรงดึงใช้งาน $P_w = 500 \text{ กิโลนิวตัน}$

แรงดึงประลัย $P_u = (1.4)(200) + (1.7)(300) = 790 \text{ กิโลนิวตัน}$

เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะระบุของสลักเกลียว M20 = 22 มม.

เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ = 22 + 2 = 24 มม.

พื้นที่หน้าตัดสุทธิ $A_n = 4014 - (4)(24)(10) = 3054 \text{ มม.}^2$

ตัวคูณเชิร้ร้ร้ร้ U จากตารางที่ 3 กรณี 2 และกรณี 7

กรณี 2 ค่า $\bar{x} = 12.7 \text{ มม.}$, $l = 180 \text{ มม.}$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{12.7}{180} = 0.93$$

กรณี 7 $b_f = B = 150 \text{ มม.}$

$$2d/3 = (2)(150)/3 = 100 \text{ มม.}$$

$$b_f > 2d/3 ; U = 0.90$$

พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ $A_e = (0.93)(3054) = 2840 \text{ มม.}^2$

กำลังรับแรงดึงครากระบุ $P_n = F_y A_g = (245)(4014)/1000 = 983.4 \text{ กิโลนิวตัน}$

กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ $P_n = F_u A_e = (400)(2840)/1000 = 1136 \text{ กิโลนิวตัน}$

วิธี ASD กำลังรับแรงดึง = $983.4/1.67 = 589 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

หรือ กำลังรับแรงดึง = $1136/2.0 = 568 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(983.4) = 885 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

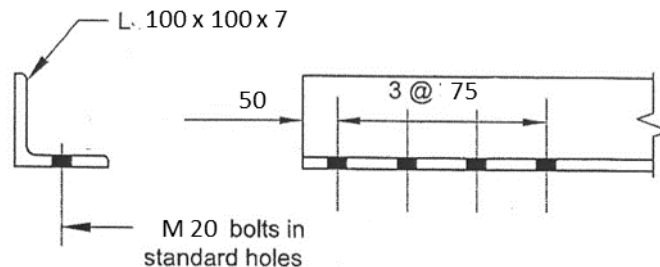
หรือ กำลังประลัย = $(0.75)(1136) = 852 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

อัตราส่วนความข้ลู่ = $5000/37.5 = 133 < 300$

รูปตัด H 150 x 150 x 7 x 10 สามารถรับแรงดึง 500 กิโลนิวตัน ได้

ตัวอย่าง 10.1.2 องค์อาคารรูปตัดเหล็กฉากเดี่ยวรับแรงดึง

จงตรวจสอบกำลังรับแรงดึงของ L 100 x 100 x 7 ความยาว 4 เมตร รับแรงดึงใช้งานตามแนวนอน 200 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 140 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 60 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM 400 ปลายองค์อาคารยึดด้วยสลักเกลียวขนาด 20 มม. จำนวน 4 ตัว สมมติไม่เกิดการวิบัติในสลักเกลียว



คุณสมบัติเหล็กฉาก L 100 x 100 x 7

$$A_g = 1362 \text{ มม.}^2 \quad C_x = C_y = 27.1 \text{ มม.} \quad r_x = r_y = 30.8 \text{ มม.}$$

$$\text{แรงดึงใช้งาน } P_w = 200 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{แรงดึงประลัย } P_u = (1.4)(140) + (1.7)(60) = 298 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะระบุของสลักเกลียว M20} = 22 \text{ มม.}$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ} = 22 + 2 = 24 \text{ มม.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิ } A_n = 1362 - (24)(7) = 1194 \text{ มม.}^2$$

ตัวคูณเชิยร์แลก U จากตารางที่ 3 กรณี 2 และกรณี 8

$$\text{กรณี 2} \quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{(27.1)}{225} = 0.88$$

$$\text{กรณี 8} \quad U = 0.80$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ } A_e = (0.88)(1194) = 1050 \text{ มม.}^2$$

$$\text{กำลังรับแรงดึงครากระบุ } P_n = F_y A_g = (245)(1362)/1000 = 334 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ } P_n = F_u A_e = (400)(1050)/1000 = 420 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{วิธี ASD} \quad \text{กำลังรับแรงดึง} = 334/1.67 = 200 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$$

$$\text{หรือ กำลังรับแรงดึง} = 420/2.0 = 210 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$$

$$\text{วิธี LRFD} \quad \text{กำลังประลัย} = (0.9)(334) = 300 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$$

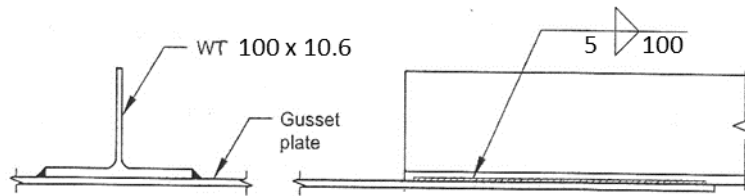
$$\text{หรือ กำลังประลัย} = (0.75)(420) = 315 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$$

$$\text{อัตราส่วนความชะลูด} = 4000/30.8 = 130 < 300$$

รูปตัด L 100 x 100 x 7 สามารถรับแรงดึง 200 กิโลนิวตัน ได้

ตัวอย่าง 10.1.3 องค์อาคารรูปตัด WT รับแรงดึง

จงตรวจสอบกำลังรับแรงดึงของ WT 100 x 10.6 ความยาว 4 เมตร รับแรงดึงใช้งานตามแนวนอน 200 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 140 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 60 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM400 ปลายองค์อาคารยึดด้วยรอยเชื่อมแบบพอกติดกับแผ่นเหล็กประกบ สมมติไม่เกิดการวิบัติที่รอยเชื่อมและแผ่นประกบ



คุณสมบัติเหล็กรูปตัด WT 100 x 10.6 (ตัดจาก H 200 x 100 x 5.5 x 8)

น้ำหนัก 10.6 กก./ม. B = 100 มม. $A_g = 1358 \text{ มม.}^2$ $r_y = 22.2 \text{ มม.}$ $C_x = 22.9 \text{ มม.}$

แรงดึงใช้งาน $P_w = 200$ กิโลนิวตัน

แรงดึงประลัย $P_u = (1.4)(140) + (1.7)(60) = 298$ กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดสุทธิ $A_n = A_g = 1358 \text{ มม.}^2$

ตัวคูณเซียร์แลก U จากตารางที่ 3 กรณี 2

$$\text{กรณี 2} \quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{(22.9)}{100} = 0.77$$

พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ $A_e = (0.77)(1358) = 1045 \text{ มม.}^2$

กำลังรับแรงดึงครากระบุ $P_n = (245)(1358)/1000 = 334$ กิโลนิวตัน

กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ $P_n = (400)(1045)/1000 = 418$ กิโลนิวตัน

วิธี ASD กำลังรับแรงดึง = $334/1.67 = 200$ กิโลนิวตัน $> P_w$

หรือ กำลังรับแรงดึง = $418/2.0 = 209$ กิโลนิวตัน $> P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(334) = 300$ กิโลนิวตัน $> P_u$

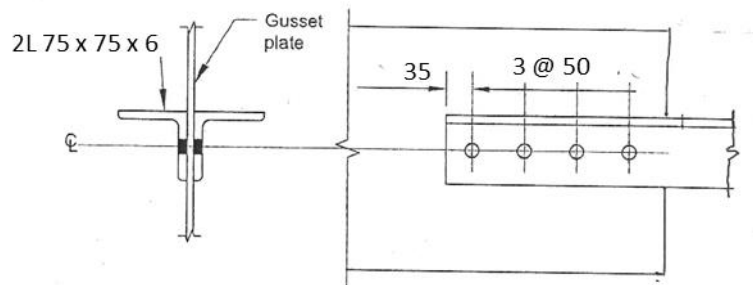
หรือ กำลังประลัย = $(0.75)(418) = 313$ กิโลนิวตัน $> P_u$

อัตราส่วนความชะลุด = $4000/22.2 = 180 < 300$

รูปตัด WT 100 x 10.6 สามารถรับแรงดึง 200 กิโลนิวตัน ได้

ตัวอย่าง 10.1.4 องค์อาคารเหล็กฉากคู่รับแรงดึง

จงตรวจสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กฉากคู่ 2L 75 x 75 x 6 ความยาว 4 เมตร รับแรงดึงใช้งานตามแนวนอน 200 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 140 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 60 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM400 ปลายองค์อาคารยึดด้วยสลักเกลียวขนาด 16 มม. จำนวน 4 ตัว ติดกับแผ่นเหล็กประกบ สมมติไม่เกิดการวิบัติในสลักเกลียวและแผ่นเหล็กประกบ



คุณสมบัติเหล็กฉาก L 75 x 75 x 6

$$A_g = 873 \text{ มม.}^2 \quad C_x = C_y = 20.6 \text{ มม.} \quad I_x = I_y = 46.1 \times 10^4 \text{ มม.}^4 \quad r_x = r_y = 23.0 \text{ มม.}$$

เหล็กฉากคู่ $A_g = 1746 \text{ มม.}^2 \quad r_x = 23 \text{ มม.}$

แรงดึงใช้งาน $P_w = 200 \text{ กิโลนิวตัน}$

แรงดึงประลัย $P_u = (1.4)(140) + (1.7)(60) = 298 \text{ กิโลนิวตัน}$

เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะระบุของสลักเกลียว M16 = 18 มม.

เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ = $18 + 2 = 20 \text{ มม.}$

พื้นที่หน้าตัดสุทธิ $A_n = 1746 - (20)(6)(2) = 1506 \text{ มม.}^2$

ตัวคูณเซียร์แลก U จากตารางที่ 3 กรณี 2

$$\text{กรณี 2} \quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{(20.6)}{150} = 0.86$$

พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ $A_e = (0.86)(1506) = 1295 \text{ มม.}^2$

กำลังรับแรงดึงครากระบุ $P_n = (245)(1746)/1000 = 427 \text{ กิโลนิวตัน}$

กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ $P_n = (400)(1295)/1000 = 518 \text{ กิโลนิวตัน}$

วิธี ASD กำลังรับแรงดึง = $427/1.67 = 256 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

หรือ กำลังรับแรงดึง = $518/2.0 = 259 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(427) = 384 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

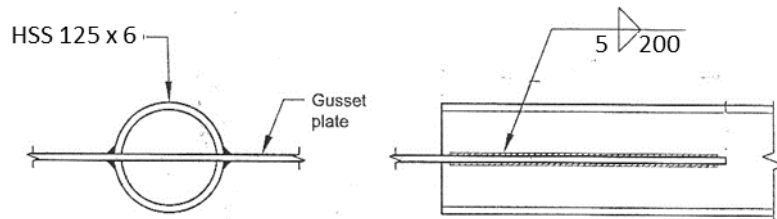
หรือ กำลังประลัย = $(0.75)(518) = 388 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

อัตราส่วนความชะลุด = $4000/23.0 = 174 < 300$

รูปตัด 2L 75 x 75 x 6 สามารถรับแรงดึง 200 กิโลนิวตัน ได้

ตัวอย่าง 10.1.5 องค์อาคารเหล็กที่อกลมรับแรงดึง

จงตรวจสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อกลม HSS ขนาด 125 x 6 ความยาว 6 เมตร รับแรงดึงใช้งานตาม
แนวแกน 300 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 200 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 100 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ
LRFD กำหนดเหล็ก SM400 ปลายองค์อาคารยึดด้วยรอยเชื่อมแบบพอกติดกับแผ่นเหล็กประกบหนา 12 มม.
สมมติไม่เกิดการวิบัติที่รอยเชื่อม และแผ่นเหล็กประกบ



คุณสมบัติเหล็กที่อกลม 125 x 6

$$A_g = 2522 \text{ มม.}^2 \quad r = 47.4 \text{ มม.} \quad D = 139.8 \text{ มม.}$$

$$\text{แรงดึงใช้งาน } P_w = 300 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{แรงดึงประลัย } P_u = (1.4)(200) + (1.7)(100) = 450 \text{ กิโลนิวตัน}$$

สมมติให้รอยต่อมีช่องว่างระหว่างเหล็กที่อกกับแผ่นเหล็กประกบ 2 มม. จะได้พื้นที่หน้าตัดสุทธิ A_n

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - 2(t_p + 2)t \\ &= 2522 - (2)(12 + 2)(6) = 2354 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$

ตัวคูณเชิยร์แลก U จากตารางที่ 3 กรณี 5

$$l = 200 \text{ มม.} > (1.3)(139.8) = 181 \text{ มม.}$$

$$U = 1.0$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล } A_e = (1.0)(2354) = 2354 \text{ มม.}^2$$

$$\text{กำลังรับแรงดึงครากระบุ } P_n = (245)(2522)/1000 = 618 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ } P_n = (400)(2354)/1000 = 942 \text{ กิโลนิวตัน}$$

วิธี ASD กำลังรับแรงดึง = $618/1.67 = 370$ กิโลนิวตัน $> P_w$

หรือ กำลังรับแรงดึง = $942/2.0 = 471$ กิโลนิวตัน $> P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(618) = 556$ กิโลนิวตัน $> P_u$

หรือ กำลังประลัย = $(0.75)(942) = 706$ กิโลนิวตัน $> P_u$

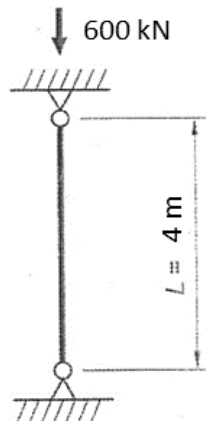
$$\text{อัตราส่วนความชะลูด} = 6000/47.4 = 126 < 300$$

รูปตัดที่อกลม 125 x 6 สามารถรับแรงดึง 300 กิโลนิวตัน ได้

10.2 การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด

ตัวอย่าง 10.2.1 องค์อาคารรูปตัด H ไม่มีค้ำยันด้านข้าง

จงตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของเสารูปตัด H 200 x 200 x 8 x 12 ความยาว 4 เมตร รับแรงอัดตามแนวนแกน 600 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 300 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 300 กิโลนิวตัน) ปลายบน และล่างของเสาเป็น จุดรองรับแบบธรรมดา ไม่มีค้ำยันด้านข้างตลอดความยาวกำหนดเหล็ก SM 400 วิธีคำนวณ ASD และ LRFD



คุณสมบัติของเหล็ก H 200 x 200 x 8 x 12

$$A_g = 6353 \text{ มม.}^2 \quad r_x = 86 \text{ มม.} \quad r_y = 50.2 \text{ มม.}$$

$$\text{แรงอัดใช้งาน } P_w = 600 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{แรงอัดประลัย } P_u = (1.4)(300) + (1.7)(300) = 930 \text{ กิโลนิวตัน}$$

ปลายบน และล่างของเสาเป็นจุดรองรับแบบธรรมดา $K = 1.0$

$$\text{อัตราส่วนความชะลูด} = (1.0)(4000)/50.2 = 79.7 < 200$$

$$F_e = \pi^2 E / (79.7)^2 = 310.7 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$F_y / F_e = 245 / 310.7 = 0.79 < 2.25$$

$$F_{cr} = (0.658)^{0.79} (245) = 176 \text{ เมกะปาสคาล}$$

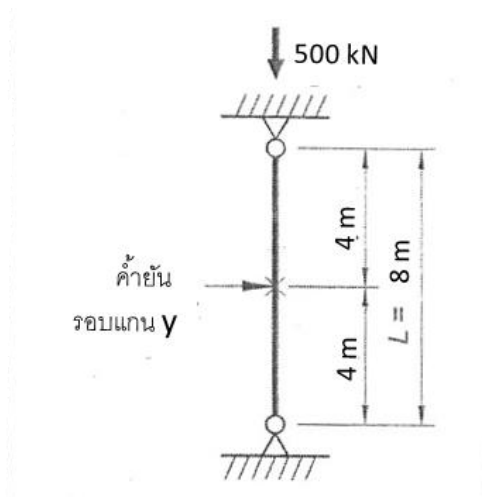
$$P_n = (176)(6353) / 1000 = 1118 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{วิธี ASD} \quad \text{กำลังรับแรงอัด} = (1118) / 1.67 = 669.6 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$$

$$\text{วิธี LRFD} \quad \text{กำลังประลัย} = (0.9)(1118) = 1006 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$$

ตัวอย่าง 10.2.2 องค์อาคารรูปตัด H มีค้ำยันด้านข้าง

จงตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของเสารูปตัด H $200 \times 200 \times 8 \times 12$ ความยาว 8 เมตร รับแรงอัดตามแนวนแกน 500 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 300 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 200 กิโลนิวตัน)) ปลายบนและล่างของเสาเป็นจุดรองรับแบบธรรมดา เสามีค้ำยันด้านที่กึ่งกลางเสาตั้งฉากแกนรองกำหนดเหล็ก SM 400 วิธีคำนวณ ASD และ LRFD



คุณสมบัติของเหล็ก H $200 \times 200 \times 8 \times 12$

$A_g = 6353 \text{ มม.}^2$ $r_x = 86 \text{ มม.}$ $r_y = 50.2 \text{ มม.}$

แรงอัดใช้งาน $P_w = 500$ กิโลนิวตัน

แรงอัดประลัย $P_u = (1.4)(300) + (1.7)(200) = 860$ กิโลนิวตัน

ปลายบน และล่างของเสาเป็นจุดรองรับแบบธรรมดา $K = 1.0$

อัตราส่วนความชะลุด $KL_x/r_x = (1)(8000)/86 = 93.0$

$KL_y/r_y = (1)(4000)/50.2 = 79.6$

$F_e = \pi^2 E / (93)^2 = 228.2$ เมกะปาสคาล

$F_y / F_e = (245) / (228.2) = 1.07 < 2.25$

$F_{cr} = (0.658)^{1.07} (245) = 156.5$ เมกะปาสคาล

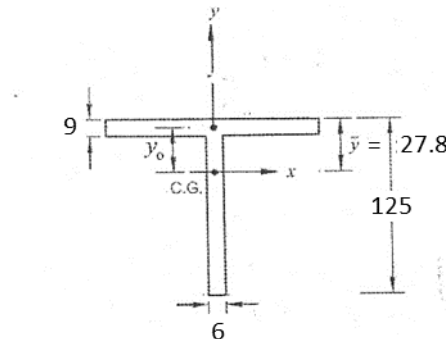
$P_n = (156.5)(6353) / 1000 = 995$ กิโลนิวตัน

วิธี ASD กำลังรับแรงอัด $= (995) / 1.67 = 595$ กิโลนิวตัน $> P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย $= (0.9)(995) = 895$ กิโลนิวตัน $> P_u$

ตัวอย่าง 10.2.3 องค์อาคารรูปตัด WT โกงเดาะเนื่องจากการตัด และการบิด

จงตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของ WT 125 x 125 ความยาว 3 เมตร ปลายสองข้างเป็นจุดรองรับแบบธรรมดา ไม่มีค้ำยันด้านข้างและไม่มีชิ้นส่วนชะลุด กำหนดเหล็ก SM400 วิธี ASD และ LRFD



คุณสมบัติเหล็กรูปตัด WT 125 x 125 (ตัดจาก H 250 x 125 x 6 x 9)

น้ำหนัก 14.80 กก./ม B = 125 มม $A_g = 1883 \text{ มม.}^2$ $C_x = 27.8 \text{ มม.}$

$I_x = 248 \times 10^4 \text{ มม.}^4$ $I_y = 147 \times 10^4 \text{ มม.}^4$ $r_x = 36.3 \text{ มม.}$ $r_y = 27.9 \text{ มม.}$

$J = 3.91 \times 10^4 \text{ มม.}^4$ $C_w = 20.39 \times 10^6 \text{ มม.}^6$

$y_0 = 27.8 - 4.5 = 23.3 \text{ มม.}$

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + (I_x + I_y)/A = 543 + 2097 = 2640 \text{ มม.}^2$$

$$H = 1 - (x_0^2 + y_0^2)/\bar{r}_0^2 = 0.79$$

$G = 0.38 E = 0.76 \times 10^5$ เมกะปาสคาล

การโก่งเดาะเนื่องจากการดัดรอบแกน x

$$KL/r_x = (1)(3000)/36.3 = 82.6$$

$$F_{crx} = 172 \text{ เมกะปาสคาล}$$

การโก่งเดาะเนื่องจากการดัดรอบแกน y

$$KL/r_y = (1)(3000)/27.9 = 107.5$$

$$F_{cry} = 134.5 \text{ เมกะปาสคาล}$$

การโก่งเดาะเนื่องจากการบิดรอบแกน z

หน้าตัดมีแกนสมมาตรหนึ่งแกน (รอบแกน y)

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_0^2} = \frac{(0.76)(10^5)(3.91)(10^4)}{(1883)(2640)} = 597.7 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$\begin{aligned} F_{cryz} &= \left[\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right] \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \\ &= \left[\frac{134.5 + 597.7}{(2)(0.79)} \right] \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4(134.5)(597.7)(0.79)}{(134.5 + 597.7)^2}} \right] \\ &= (463.4)(1 - \sqrt{0.52}) \end{aligned}$$

$$= 127.2 \text{ เมกะปาสคาล} < F_{cry} = 134.5 \text{ เมกะปาสคาล}$$

องค์อาคารเกิดการโก่งเดาะเนื่องจากการตัด และการบิด

$$F_{cr} = 127.2 \text{ เมกะปาสคาล}$$

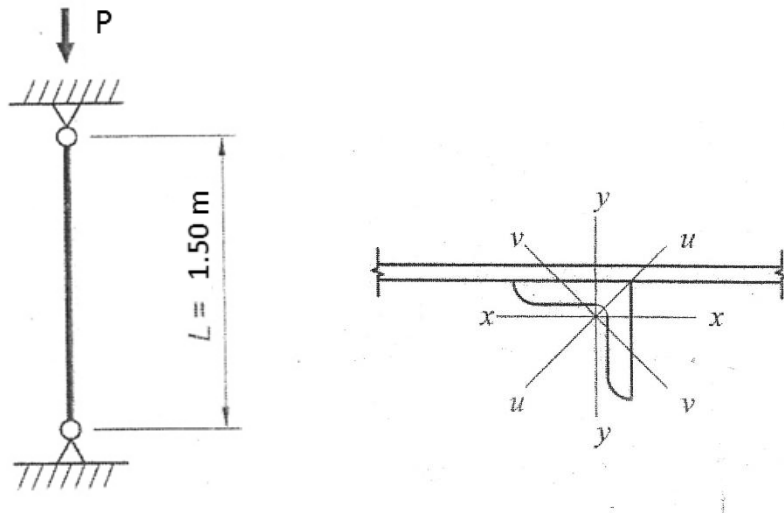
$$P_n = (1272)(1883)/1000 = 239.5 \text{ กิโลนิวตัน}$$

วิธี ASD กำลังรับแรงอัด = $239.5/1.67 = 143.4$ กิโลนิวตัน

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(239.5) = 215.5$ กิโลนิวตัน

ตัวอย่าง 10.2.4 องค์อาคารเหล็กฉากเดี่ยวรับแรงอัด

จงตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของ L 75 x 75 x 6 ใช้สำหรับองค์อาคารในโครงถักกระนาบ ความยาว 1.50 เมตร ยึดปลายสองข้างโดยการเชื่อมที่ขาข้างเดียวกับแผ่นเหล็กประกบที่ข้อต่อกำหนดเหล็ก SM 400 วิธี ASD และ LRFD เพื่อรับแรงอัดตามแนวแกนใช้งาน 50 กิโลนิวตัน และแรงอัดประลัย 79 กิโลนิวตัน



คุณสมบัติของเหล็ก L 75 x 75 x 6

$A_g = 873 \text{ มม.}^2$ $C_x = C_y = 20.6 \text{ มม.}$ $r_x = r_y = 23.0 \text{ มม.}$

$r_u = 29.0 \text{ มม.}$ $r_v = 14.8 \text{ มม.}$

อัตราส่วนความชะลุดประสิทธิภาพ

$$L/r_x = 1500/23.0 = 65.2 < 80$$

$$KL/r_x = 72 + 0.75 (L/r_x) = 72 + 0.75(65.2) = 121 < 200$$

$$F_{cr} = 114.5 \text{ เมกะปาสคาล}$$

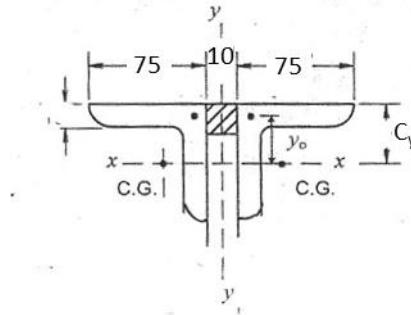
$$P_n = (114.5)(873)/1000 = 100 \text{ กิโลนิวตัน}$$

วิธี ASD กำลังรับแรงอัด = $100/1.67 = 59.9 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w = 50 \text{ กิโลนิวตัน}$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(100) = 90.0 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u = 79 \text{ กิโลนิวตัน}$

ตัวอย่าง 10.2.5 องค์อาคารเหล็กฉากคู่รับแรงอัด

จงตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของของเหล็กฉากคู่ 2L 75 x 75 x 6 ความยาว 4 เมตร ใช้สำหรับองค์อาคารในโครงถักระนาบ เหล็กฉากคู่เชื่อมติดกันโดยแผ่นเหล็กหนา 10 มม. คั่นทุกระยะ 80 ซม. กำหนดเหล็ก SM400 วิธี ASD และ LRFD เพื่อรับแรงอัดตามแนวแกนใช้งาน 50 กิโลนิวตัน และแรงอัดประลัย 79 กิโลนิวตัน



คุณสมบัติเหล็กฉาก L 75 x 75 x 6

$$A_g = 873 \text{ มม.}^2 \quad C_x = C_y = 20.6 \text{ มม.} \quad r_x = r_y = 23.0 \text{ มม.}$$

$$r_u = 29.0 \text{ มม.} \quad r_v = 14.8 \text{ มม.}$$

$$I_x = I_y = 46.1 \times 10^4 \text{ มม.}^4 \quad b/t = 12.5 < \lambda_r$$

$$J = 1.04 \times 10^4 \text{ มม.}^4 \quad C_w = 4.479 \times 10^6 \text{ มม.}^6$$

คุณสมบัติเหล็กฉากคู่ (องค์อาคารประกอบ)

$$A_g = 1746 \text{ มม.}^2 \quad J = 2.08 \times 10^4 \text{ มม.}^4 \quad C_w = 8.96 \times 10^6 \text{ มม.}^6$$

$$r_x = 23.0 \text{ มม.} \quad I_x = 92.2 \times 10^4 \text{ มม.}^4$$

$$I_y = 2(I_y + Ad^2) = (2)(46.1)(10^4) + (2)(873)(25.6)^2 = 206 \times 10^4 \text{ มม.}^4$$

$$r_y = \sqrt{I_y / A_g} = 34.3 \text{ มม.}$$

$$y_0 = 20.6 - 3 = 17.6 \text{ มม.}$$

$$\bar{r}_0^2 = y_0^2 + (I_x + I_y) / A_g = 310 + 1707 = 2017 \text{ มม.}^2$$

$$H = 1 - y_0^2 / \bar{r}_0^2 = 0.85$$

กรณีองค์อาคารประกอบวางห่างกันยึดติดเป็นช่วงต้องใช้อัตราส่วนความชะลุด $(KL/r)_m$ แทน KL/r_y โดยขึ้นอยู่กับค่า a/r_i มากหรือน้อยกว่า 40

$$a = 800 \text{ มม.} \quad r_i = r_v = 14.8 \text{ มม.}$$

$$a/r_i = 54.0 > 40$$

$$(KL/r)_m = \sqrt{(KL/r_0)^2 + (K_i a / r_i)^2}$$

$$(KL/r)_0 = KL/r_y = 174$$

$$K_i a / r_i = (0.86)(800) / 14.8 = 46.5$$

$$(KL/r)_m = 180$$

ตรวจสอบ $(K_i a / r_i) < 3/4$ ของค่าที่มากกว่า $(KL/r)_m$ หรือ KL/r_x

$$46.5 < (3/4)(180) = 135 \text{ ผ่าน}$$

ตรวจสอบการโก่งเดาะเนื่องจากการตัดและการบิด

$KL/r_x = 173.9$, $F_{crx} = 57.3$ เมกะปาสคาล

$KL/r_y = 180$, $F_{cry} = 53.4$ เมกะปาสคาล

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_0^2} = \frac{(0.76)(10^5)(2.08)(10^4)}{(1746)(2017)} = 448.2 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$F_{cryz} = \left[\frac{53.4 + 448.2}{(2)(0.85)} \right] \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(4)(53.4)(448.2)(0.85)}{(53.4 + 448.2)^2}} \right]$$
$$= (295)(1 - \sqrt{0.676})$$
$$= 52.3 \text{ เมกะปาสคาล} < F_{crx}$$

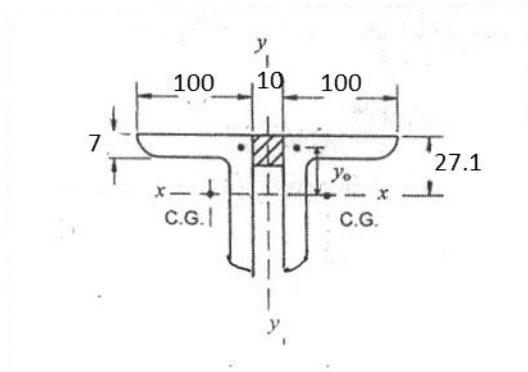
$$P_n = (52.3)(1746)/1000 = 91.3 \text{ กิโลนิวตัน}$$

วิธี ASD กำลังรับแรงอัด $= 91.3/1.67 = 54.7$ กิโลนิวตัน $> P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย $= (0.9)(91.3) = 82.1$ กิโลนิวตัน $> P_u$

ตัวอย่าง 10.2.6 องค์อาคารชิ้นส่วนชะลูดรับแรงอัด

จงตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของเหล็กฉากคู่ 2L 100 x 100 x 7 ความยาว 4 เมตร ใช้สำหรับองค์อาคารในโครงถักกระนาบ เหล็กฉากคู่เชื่อมติดกันโดยแผ่นเหล็กหนา 10 มม. คั่นทุกระยะ 80 ซม. กำหนดเหล็ก SM400 วิธี ASD และ LRFD เพื่อรับแรงอัดตามแนวแกนใช้งาน 120 กิโลนิวตัน และแรงอัดประลัย 186 กิโลนิวตัน



คุณสมบัติเหล็กฉาก L 100 x 100 x 7

$$A_g = 1363 \text{ มม.}^2 \quad C_x = C_y = 27.1 \text{ มม.} \quad r_x = r_y = 30.8 \text{ มม.}$$

$$r_u = 38.8 \text{ มม.} \quad r_v = 19.8 \text{ มม.}$$

$$I_x = I_y = 206 \times 10^4 \text{ มม.}^4 \quad b/t = 14.3 > \lambda_r$$

$$J = 2.21 \times 10^4 \text{ มม.}^4 \quad C_w = 17.12 \times 10^6 \text{ มม.}^6$$

คุณสมบัติเหล็กฉากคู่ (องค์อาคารประกอบ)

$$A_g = 2724 \text{ มม.}^2 \quad J = 4.42 \times 10^4 \text{ มม.}^4 \quad C_w = 34.24 \times 10^6 \text{ มม.}^6$$

$$r_x = 30.8 \text{ มม.} \quad I_x = 412 \times 10^4 \text{ มม.}^4$$

$$I_y = 2(I_y + Ad^2) = (2)(206)(10^4) + (2)(1362)(32.1)^2 = 692 \times 10^4 \text{ มม.}^4$$

$$r_y = \sqrt{I_y / A_g} = 50.4 \text{ มม.}$$

$$y_0 = 27.1 - 3.5 = 23.6 \text{ มม.}$$

$$\bar{r}_0^2 = y_0^2 + (I_x + I_y) / A_g = 557 + 4055 = 4612 \text{ มม.}^2$$

$$H = 1 - y_0^2 / \bar{r}_0^2 = 0.88$$

$$\lambda = b/t = 100/7 = 14.3 > \lambda_r = 12.9$$

องค์อาคารเหล็กฉากคู่ประกอบด้วยชิ้นส่วนชะลูด ดังนั้นกำลังรับแรงอัดต้องคำนวณจากขีดจำกัดของ การ
โก่งเดาะเนื่องจากการดัด การบิด และการบิด-ดัด เพื่อหา F_{cr}

คำนวณตัวคูณลด Q เพื่อลดค่า F_{cr}

$$Q = Q_s Q_a$$

$$\text{เหล็กฉาก } 12.9 < b/t < 26, Q_s = 1.340 - 0.027(b/t)$$

$$Q_s = 1.340 - 0.027(14.3) = 0.954$$

$$Q_a = 1.0 \text{ (ไม่มีการยึดรั้ง)}$$

$$Q = (0.954)(1.0) = 0.954$$

กรณีองค์อาคารประกอบวางห่างกันยึดติดเป็นช่วงต้องใช้อัตราส่วนความชะลุด $(KL/r)_m$ แทน KL/r_y โดยขึ้นอยู่กับค่า a/r_i มาก หรือน้อยกว่า 40

$$a = 800 \text{ มม. } r_i = r_y = 19.8 \text{ มม.}$$

$$a/r_i = 800/19.8 = 40.4 > 40$$

$$(KL/r)_m = \sqrt{(KL/r_0)^2 + (K_i a/r_i)^2}$$

$$(KL/r)_0 = KL/r_y = 130$$

$$K_i a/r_i = (0.86)(800)/19.8 = 34.7$$

$$(KL/r)_m = 134.5$$

ตรวจสอบ $(K_i a/r_i) < 3/4$ ของค่าที่มากกว่า $(KL/r)_m$ หรือ KL/r_x

$$34.7 < (3/4)(134.5) = 101 \text{ ผ่าน}$$

ตรวจสอบการโก่งเดาะเนื่องจากการดัดและการบิด

$$KL/r_x = 130, F_{crx} = 101.8 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$KL/r_y = 134.5, F_{cry} = 96 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_0^2} = \frac{(0.76)(10^5)(4.42)(10^4)}{(2724)(4612)} = 267 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$F_{cryz} = \left[\frac{96 + 267}{(2)(0.88)} \right] \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(4)(96)(267)(0.88)}{(96 + 267)^2}} \right]$$

$$= (206)(1 - \sqrt{0.32})$$

$$= 90.3 \text{ เมกะปาสคาล} < F_{crx}$$

หน่วยแรงอัด F_{cr} คำนวณหาได้โดยการแทนค่า F_y ด้วย QF_y

$$F_e = 90.3 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$\frac{QF_y}{F_e} = \frac{(0.954)(245)}{90.3} = 2.59 > 2.25$$

$$F_{cr} = (0.877) F_e = 79.2 \text{ เมกะปาสคาล}$$

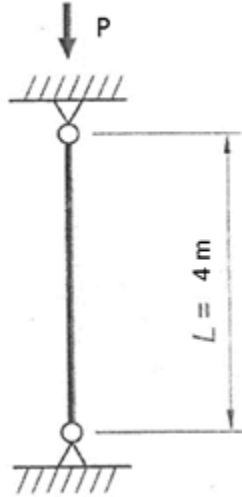
$$P_n = (792)(2724)/1000 = 215.7 \text{ กิโลนิวตัน}$$

วิธี ASD กำลังรับแรงอัด = $215.7/1.67 = 129 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(215.7) = 194 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

ตัวอย่าง 10.2.7 องค์กรอาคารเหล็กท่อกลมรับแรงอัด

จงตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของของเหล็กท่อกลม HSS ขนาด 125 x 6 ความยาว 4 เมตร ใช้สำหรับ
องค์กรอาคารในโครงถักระนาบ กำหนดเหล็ก SM400 วิธี ASD และ LRFD เพื่อรับแรงอัดตามแนวกานใช้งาน
200 กิโลนิวตัน และแรงอัดประลัย 324 กิโลนิวตัน



คุณสมบัติของเหล็กท่อกลม 125 x 6

$$A_g = 2522 \text{ มม.}^2 \quad r = 47.4 \text{ มม.} \quad D = 139.8 \text{ มม.} \quad t = 6 \text{ มม.}$$

$$\lambda = D/t = 23.30 < \lambda_r = 0.11E/F_y = 90$$

$$KL/r = (1)(4000)/47.4 = 84.4 < 200$$

$$F_e = \pi^2 E / (84.4)^2 = 277 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$F_y / F_e = 245 / 277 = 0.88 < 2.25$$

$$F_{cr} = (0.658)^{0.88} (245) = 170 \text{ เมกะปาสคาล}$$

$$P_n = (170)(2522) / 1000 = 427.5 \text{ กิโลนิวตัน}$$

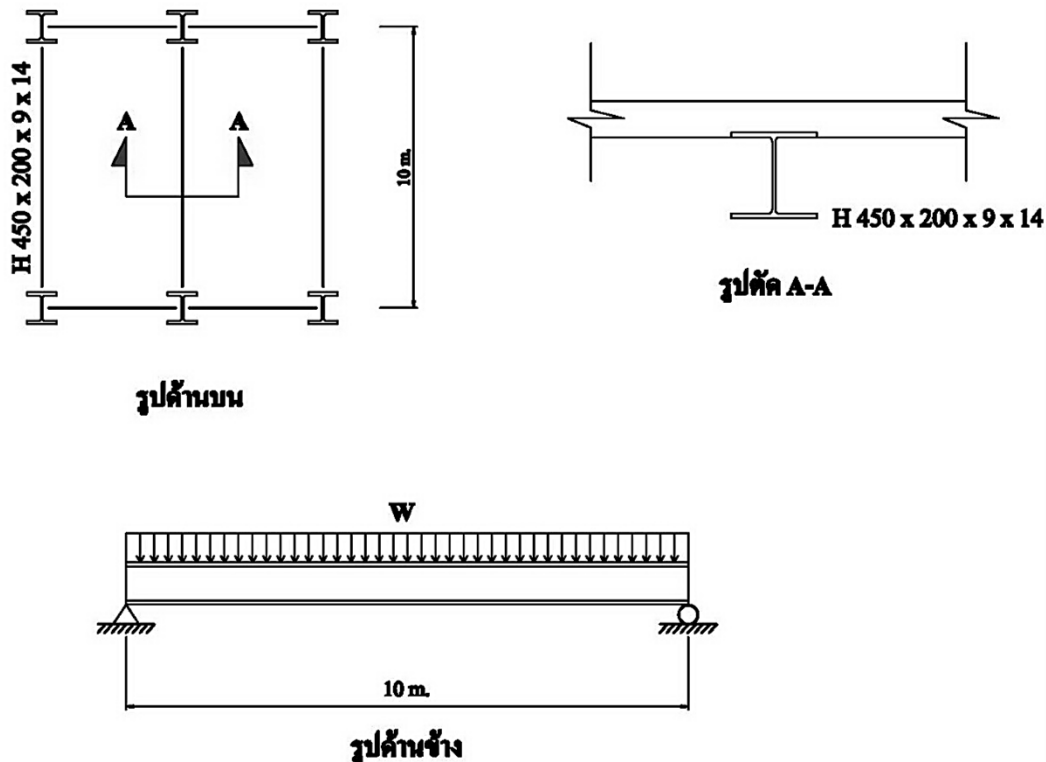
วิธี ASD กำลังรับแรงอัด = $427.5 / 1.67 = 256 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(427.5) = 385 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

10.3 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด

ตัวอย่าง 10.3.1 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนอัดแน่น ดัดรอบแกนหลัก

ให้ตรวจสอบกำลังรับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปตัว H ขนาด $450 \times 200 \times 9 \times 14$ ยาว 10 เมตร บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอบนระยะที่ทำให้เกิดการดัดบนแกนหลัก และมีค้ำยันตลอดความยาวช่วง เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 200×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 310×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร



องค์อาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = \frac{200/2}{14} = 7.14$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 10.86$$

$$\frac{b}{t} < \lambda_p \quad \text{ปีกอัดแน่น}$$

อัตราส่วนความชะลุดของแผ่นเอว

$$h = H - 2(t_2 + r) = 450 - 2(14 + 18) = 386$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{386}{9} = 42.89$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 107.43$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{แผ่นเอวอัดแน่น}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

- 1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์พลาสติก)

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z_x \\ &= 245 \times 1621 \times 10^3 \\ M_n &= 397.1 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

- 2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

ก. คานมีการค้ำยันตลอดความยาวช่วง ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดนี้

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าที่น้อยกว่าของสภาวะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์พลาสติก) และสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$M_n = 397.1 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

LRFD

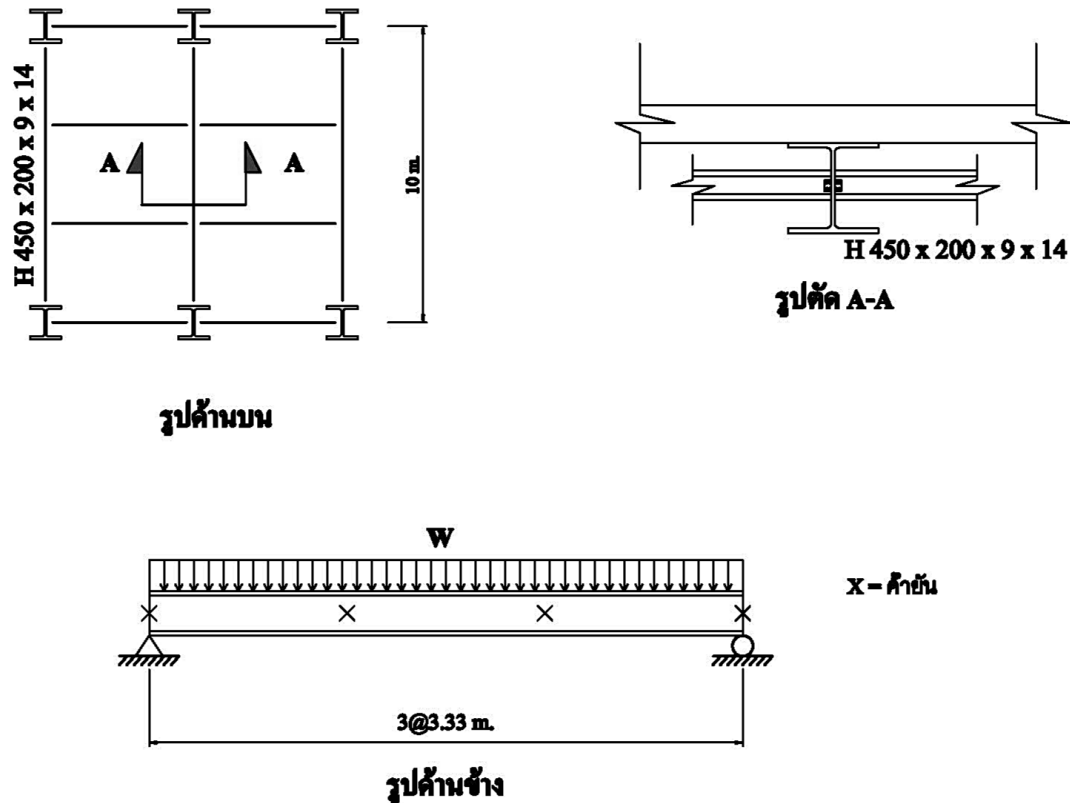
ASD

$$\begin{aligned} \phi_b M_n &= 0.90 \times 397.1 \times 10^6 \\ &= 357.4 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_n}{\Omega_b} &= \frac{397.1 \times 10^6}{1.67} \\ &= 237.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.3.2 องค์กรอาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนอัดแน่น ดักรอบแกนหลัก

ให้หากล้างรับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปตัว H ขนาด $450 \times 200 \times 9 \times 14$ ยาว 10 เมตร บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอบนระนาบที่ทำให้เกิดการดัดบนแกนหลัก และมีค้ำยันที่จุดปลายทั้งสองด้าน และที่ระยะหนึ่งในสามและสองในสาม เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 200×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 310×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร



องค์กรอาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

- 1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์พลาสติก)
จากข้อ 10.3.1 ได้

$$M_n = 397.1 \times 10^6 \text{ นิวตัน – มิลลิเมตร}$$

- 2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด
ระยะปราศจากการค้ำยันด้านข้าง (L_b)

$$L_b = 3333 \text{ มิลลิเมตร}$$

ขีดจำกัดระยะปราศจากการค้ำยันด้านข้างสำหรับสภาวะขีดจำกัดการคราก (L_p)

$$\begin{aligned} L_p &= 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1.76 \times 44 \times \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} \\ &= 2213 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ขีดจำกัดระยะปราศจากการค้ำยันด้านข้างสำหรับสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้าง และการดัดแบบไม่อีลาสติก (L_r)

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}}$$

โดยที่

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

$$\begin{aligned} r_{ts}^2 &= \frac{\sqrt{1870 \times 10^4 \times 0.89 \times 10^{12}}}{1490 \times 10^3} \\ &= 2738 \end{aligned}$$

$$r_{ts} = 52.3 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$h_0 = 450 - \frac{14}{2} - \frac{14}{2} = 436 \text{ มิลลิเมตร}$$

สำหรับหน้าตัดสมมาตรสองแกน

$$c = 1$$

$$\text{จะได้ } L_r = 1.95 \times 52.3 \times \frac{200 \times 10^3}{0.7 \times 245} \times$$

$$\sqrt{\frac{47.2 \times 10^4 \times 1}{1490 \times 10^3 \times 436} + \sqrt{\left(\frac{47.2 \times 10^4 \times 1}{1490 \times 10^3 \times 436}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 245}{200 \times 10^3}\right)^2}}$$

$$= 6,591 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$L_p < L_b < L_r$$

ตัวปรับแก้การโก่งเดาะทางด้นข้างและการบิด

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

ค่า C_b ที่ระยะปราศจากการค้ำยันช่วงนอก

ค่าเปอร์เซ็นต์โมเมนต์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับค่าโมเมนต์สูงสุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$M_{\max} = 0.889 \quad M_A = 0.306 \quad M_B = 0.556 \quad M_C = 0.750$$

$$C_b = \frac{12.5 \times 0.889}{2.5 \times 0.889 + 3 \times 0.306 + 4 \times 0.556 + 3 \times 0.750}$$

$$C_b = 1.46$$

ค่า C_b ที่ระยะปราศจากการค้ำยันช่วงใน

ค่าเปอร์เซ็นต์โมเมนต์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับค่าโมเมนต์สูงสุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$M_{\max} = 1.000 \quad M_A = 0.972 \quad M_B = 1.000 \quad M_C = 0.972$$

$$C_b = \frac{12.5 \times 1.000}{2.5 \times 1.000 + 3 \times 0.972 + 4 \times 1.000 + 3 \times 0.972}$$

$$C_b = 1.01$$

ช่วงในต้องการค่ากำลังที่สูงกว่า และมีค่า C_b ต่ำกว่า เป็นตัวควบคุม

กรณี $L_p < L_b < L_r$ จะได้

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$= 1.01 \left[397.1 \times 10^6 - \left(397.1 \times 10^6 - 0.7 \times 245 \times 1490 \times 10^3 \right) \left(\frac{3333 - 2213}{6591 - 2213} \right) \right] \leq$$

$$397.1 \times 10^6$$

$$M_n = 364.5 \times 10^6 < 397.1 \times 10^6$$

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าที่น้อยกว่าของสถานะขีดจำกัดการคราก และสถานะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$M_n = 364.5 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

LRFD

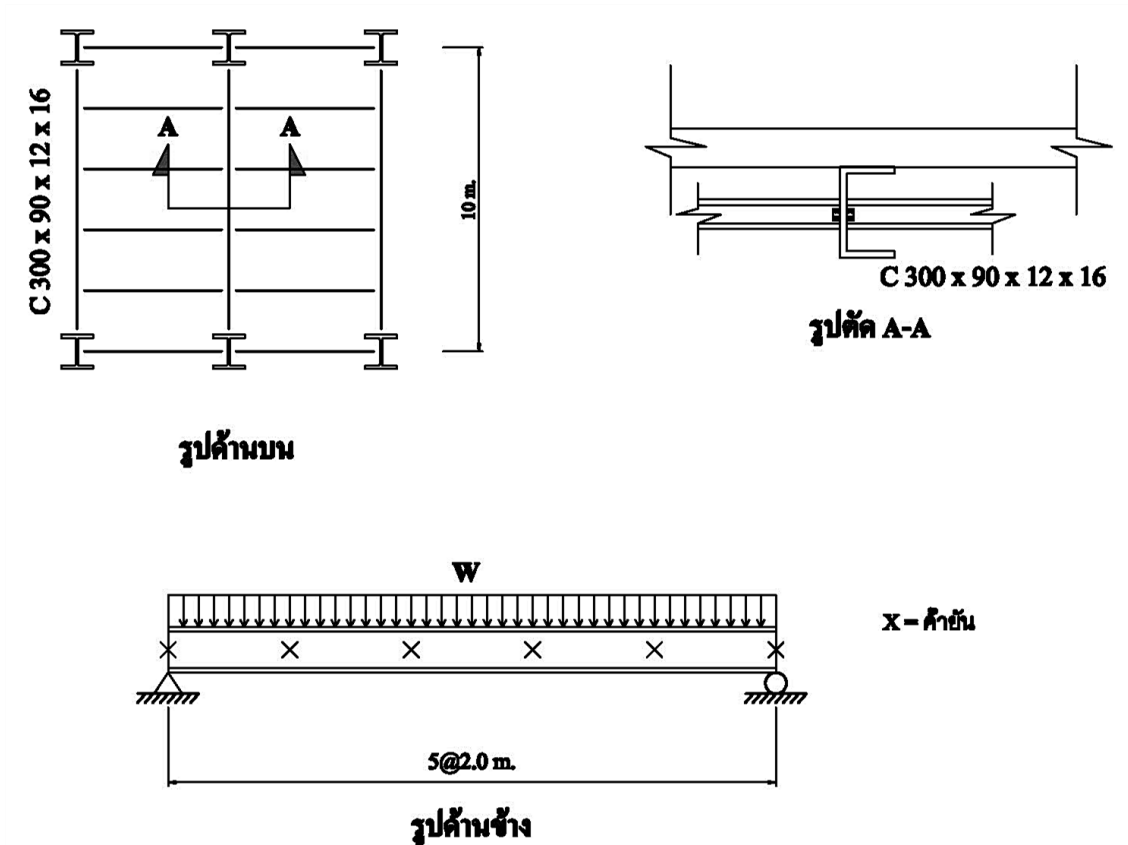
$$\begin{aligned}\phi_b M_n &= 0.90 \times 364.5 \times 10^6 \\ &= 328.1 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}\end{aligned}$$

ASD

$$\begin{aligned}\frac{M_n}{\Omega_b} &= \frac{364.5 \times 10^6}{1.67} \\ &= 218.3 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.3.3 องค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ ตัดรอบแกนหลัก

ให้หาค่ารับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปรางน้ำ ขนาด C 300 X 90 X 12 X 16 ยาว 10 เมตร บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอบนระยะที่ทำให้เกิดแรงดัดบนแกนหลัก และมีค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้าน และที่ทุกๆ ระยะหนึ่งในห้าของความยาวช่วง เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 80×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 124×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร



องค์อาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = \frac{90}{16} = 5.63$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 10.86$$

$$\frac{b}{t} < \lambda_p \quad \text{ปีกอัดแน่น}$$

อัตราส่วนความชะลูดของแผ่นเอว

$$h = H - 2(t_2 + r) = 300 - 2(16 + 19) = 230$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{230}{12} = 19.17$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 107.43$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{แผ่นเอวอัดแน่น}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

- 1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์พลาสติก)

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$\begin{aligned} M_n &= 245 \times 624 \times 10^3 \\ &= 152.9 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

- 2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด
ระยะปราศจากการค้ำยันด้านข้าง (L_p)

$$L_b = 2,000 \text{ มิลลิเมตร}$$

ขีดจำกัดระยะปราศจากการค้ำยันด้านข้างสำหรับสภาวะขีดจำกัดการคราก (L_p)

$$\begin{aligned} L_p &= 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1.76 \times 24.8 \times \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} \end{aligned}$$

$$L_p = 1247 \text{ มิลลิเมตร}$$

ขีดจำกัดระยะปราศจากการค้ำยันด้านข้างสำหรับสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการดัด
แบบไม่อีลาสติก (L_r)

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

โดยที่

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{379 \times 10^4 \times 60273 \times 10^6}}{525 \times 10^3}$$

$$r_{ts} = 30.17 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$h_0 = 300 - \frac{16}{2} - \frac{16}{2} = 284 \text{ มิลลิเมตร}$$

สำหรับหน้าตัดรูปรางน้ำ

$$\begin{aligned} c &= \frac{h_0}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \\ &= \frac{284}{2} \sqrt{\frac{379 \times 10^4}{60273 \times 10^6}} \\ c &= 1.126 \end{aligned}$$

แทนค่าคุณสมบัติหน้าตัดลงในสมการ ได้

$$\begin{aligned} L_r &= 1.95 \times 30.17 \times \frac{200 \times 10^3}{0.7 \times 245} \times \\ &\quad \sqrt{\frac{39.3 \times 10^4 \times 1.126}{525 \times 10^3 \times 284} + \sqrt{\left(\frac{39.3 \times 10^4 \times 1.126}{525 \times 10^3 \times 284}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 245}{200 \times 10^3}\right)^2}} \end{aligned}$$

$$L_r = 5607 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$L_p < L_b < L_r$$

ค่าปรับแก้การโก่งเดาะทางด้านข้าง และการบิด

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

ค่า C_b ที่ระยะปราศจากการค้ำยันช่วงต่างๆ มีดังนี้

ช่วง (เมตร.)	M_{\max}	M_A	M_B	M_C	C_b
0 - 2	0.640	0.190	0.360	0.510	1.56
2 - 4	0.960	0.750	0.840	0.910	1.12
4 - 6	1.000	0.990	1.000	0.990	1.00

ช่วงในต้องการค่ากำลังที่สูงกว่า และมีค่า C_b ต่ำกว่า เป็นตัวควบคุม

กำลังรับแรงดัดระบุ

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$= 1.0 \left[152.9 \times 10^6 - \left(152.9 \times 10^6 - 0.7 \times 245 \times 525 \times 10^3 \right) \left(\frac{2000 - 1247}{5607 - 1247} \right) \right] \leq 152.9 \times 10^6$$

$$M_n = 142.0 \times 10^6 < 152.9 \times 10^6$$

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าที่น้อยกว่าของสถานะขีดจำกัดการคราก และสถานะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$M_n = 142.0 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

LRFD

$$\phi_b M_n = 0.90 \times 142.0 \times 10^6$$

$$= 127.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

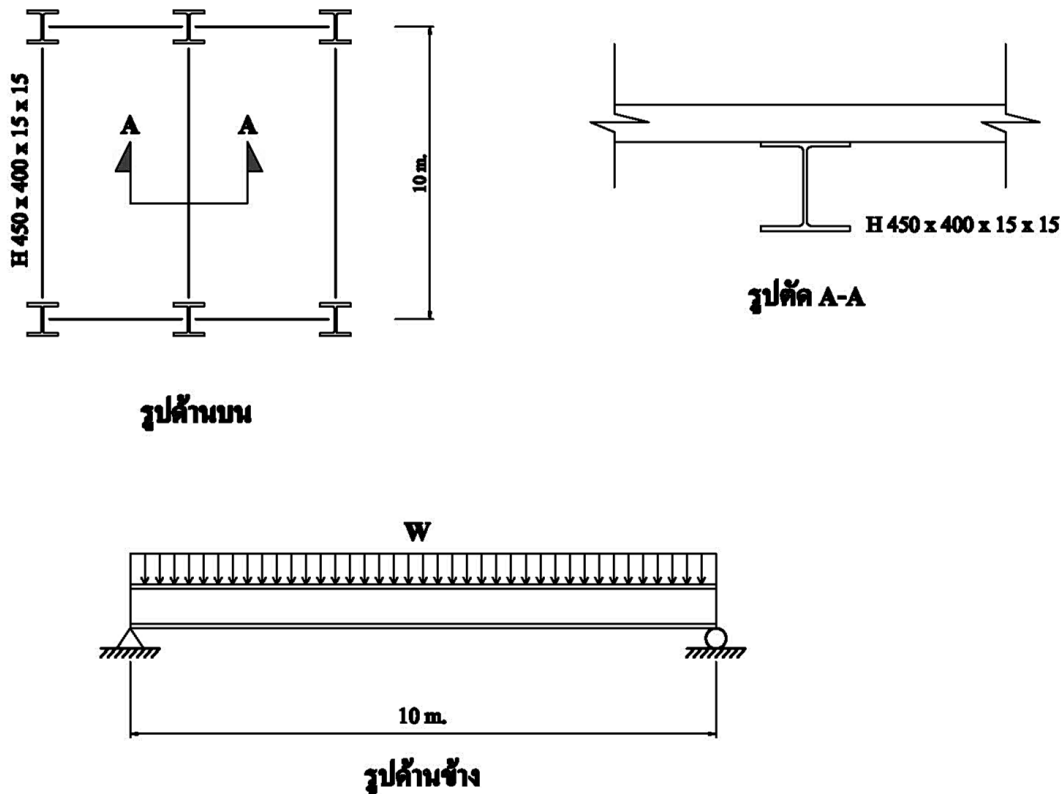
ASD

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{142.0 \times 10^6}{1.67}$$

$$= 85.0 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

ตัวอย่าง 10.3.4 องค์กรอาคารหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกนที่มีแผ่นเอวอัดแน่น และปีกไม่อัดแน่น ดัดรอบแกนหลัก

ให้หากำลังรับแรงดัดของคานหน้าตัดปีกกว้าง ขนาด H 400 X 400 X 15 X 15 ยาว 10 เมตร บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอบนระยะที่ทำให้เกิดการดัดบนแกนหลัก และมีค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้าน เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 350×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 542.5×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร (หน้าตัดนี้ไม่อยู่ใน มอก.)



องค์กรอาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = \frac{201}{15} = 13.4$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 10.86$$

$$\frac{b}{t} > \lambda_p$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.0 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 28.57$$

$$\frac{b}{t} < \lambda_r$$

$$\lambda_p < \frac{b}{t} < \lambda_r \text{ ปีกไม่อัดแน่น}$$

อัตราส่วนความชะลุดของแผ่นเอว

$$h = 388 - 2(15+22) = 314$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{15} = 20.93$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 107.43$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{แผ่นเอวอัดแน่น}$$

หน้าตัด H 400 X 400 X 15 X 15 มีแผ่นเอวอัดแน่น และปีกไม่อัดแน่น

กำลังรับแรงดัดระบุ

- 1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$L_b = 10,000 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 95.4 \times \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}}$$

$$L_p = 4797 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

สำหรับหน้าตัดรูปตัว H สมมาตรสองแกน และมีปีกรูปสี่เหลี่ยม

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4}$$

และ

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2S_x}$$

$$h_0 = 388 - \frac{15}{2} - \frac{15}{2} = 373 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{16300 \times 10^4 \times 373}{2 \times 2520 \times 10^3}$$

$$r_{ts} = 109.8 \text{ มิลลิเมตร}$$

หน้าตัดสมมาตรสองแกนรูปตัว H

$$c = 1$$

$$L_r = 1.95 \times 109.8 \times \frac{200 \times 10^3}{0.7 \times 245} \times$$

$$\sqrt{\frac{132 \times 10^4 \times 1}{2520 \times 10^3 \times 373}} + \sqrt{\left(\frac{132 \times 10^4 \times 1}{2520 \times 10^3 \times 373}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 245}{200 \times 10^3}\right)^2}$$

$$L_r = 15869 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$L_p < L_b < L_r$$

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n)

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

ค่าปรับแก้การโก่งเดาะทางด้านข้างและการบิด C_b ของระยะปราศจากการค้ำยัน $L_b = 10$ เมตร

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

โดยที่

$$M_{\max} = 1.00$$

$$M_A = 0.75$$

$$M_B = 1.00$$

$$M_C = 0.75$$

$$C_b = 1.14$$

$$M_p = F_y Z_x = 245 \times 2730 \times 10^3$$

$$M_p = 668.9 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

แทนค่าในสมการได้

$$M_n = 1.14 \left[668.9 \times 10^6 - \left(668.9 \times 10^6 - 0.7 \times 245 \times 2520 \times 10^3 \right) \left(\frac{10000 - 4797}{15869 - 4797} \right) \right]$$

$$\leq 668.9 \times 10^6$$

$$M_n = 635.7 \times 10^6 < 668.9 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด

ก) สำหรับหน้าตัดที่ปีกไม่อัดแน่น

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

โดยที่

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{402}{2 \times 15} = 13.4$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p = 10.86$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r = 28.57$$

แทนค่าในสมการได้

$$M_n = 668.9 \times 10^6 - (668.9 \times 10^6 - 0.7 \times 245 \times 2520 \times 10^3) \left(\frac{13.40 - 10.86}{28.57 - 10.86} \right)$$

$$= 634.9 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าที่ต่ำกว่าของค่าสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด และการสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีกรับแรงอัด

$$M_n = 634.9 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

LRFD

$$\phi_b M_n = 0.90 \times 634.9 \times 10^6$$

$$= 571.4 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

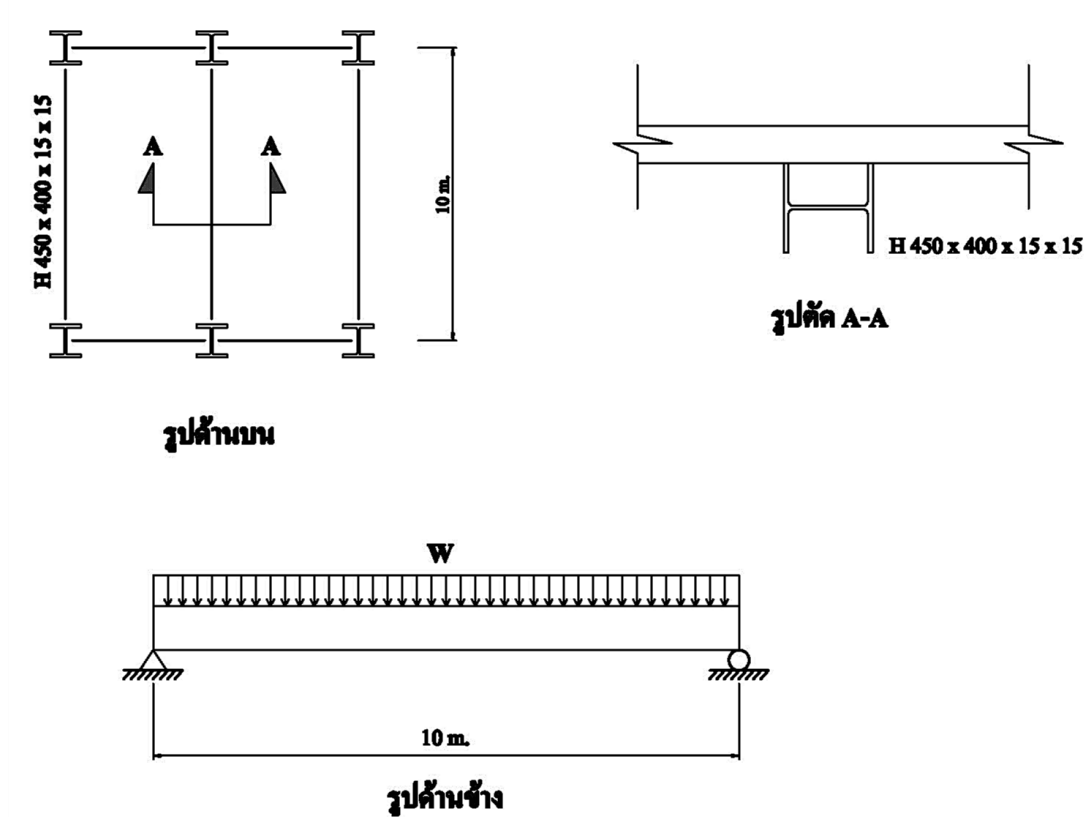
ASD

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{634.9 \times 10^6}{1.67}$$

$$= 380.2 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

ตัวอย่าง 10.3.5 องค์กรอาคารหน้าตัดรูปตัว H ตัดรอบแกนรอง

ให้หาค่ากำลังรับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปตัว H ขนาด $450 \times 400 \times 15 \times 15$ ยาว 10 เมตร. บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอบนระนาบที่ทำให้เกิดการดัดบนแกนรอง และมีค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้าน เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 150×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 232.5×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร (หน้าตัดนี้ ไม่อยู่ใน มอก.)



องค์กรอาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

จากข้อ 10.3.4

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = 13.4$$

$$\lambda_p = 10.86$$

$$\lambda_r = 28.57$$

$$\lambda_p < \frac{b}{t} < \lambda_r \text{ ปีกไม่อัดแน่น}$$

อัตราส่วนความชะลูดของแผ่นเอว

$$h = 314$$

$$\frac{h}{t_w} = 20.93$$

$$\lambda_p = 107.43$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{แผ่นเอวอัดแน่น}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \\ &= 245 \times 1232 \times 10^3 \leq 1.6 \times 245 \times 809 \times 10^3 \\ &= 301.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} < 317.1 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ข) สำหรับหน้าตัดที่ปีกไม่อัดแน่น

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = \frac{201}{15} = 13.4$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p = 10.86$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r = 28.57$$

แทนค่าในสมการได้

$$M_n = 301.8 \times 10^6 - (301.8 \times 10^6 - 0.7 \times 245 \times 809 \times 10^3) \left(\frac{13.40 - 10.86}{28.57 - 10.86} \right)$$

$$M_n = 278.4 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าที่น้อยกว่าของสภาวะขีดจำกัดการคราก และสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

$$M_n = 278.4 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

LRFD

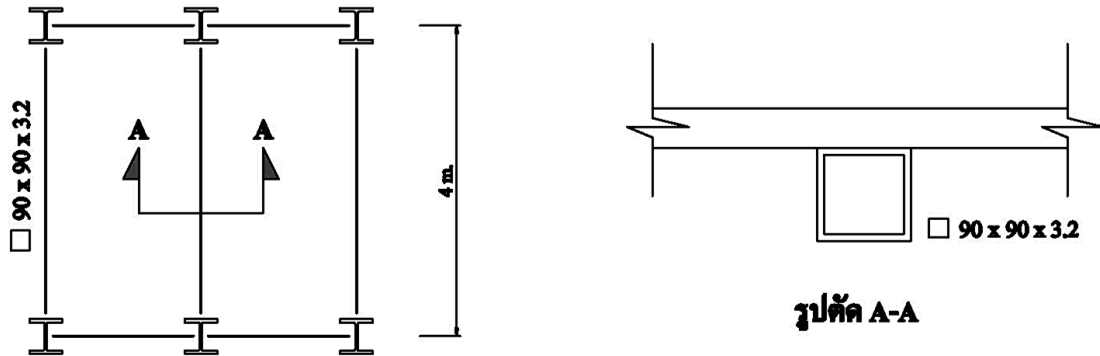
$$\begin{aligned}\phi_b M_n &= 0.90 \times 278.4 \times 10^6 \\ &= 250.6 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}\end{aligned}$$

ASD

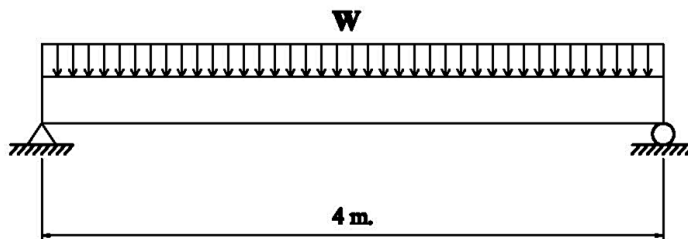
$$\begin{aligned}\frac{M_n}{\Omega_b} &= \frac{278.4 \times 10^6}{1.67} \\ &= 166.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.3.6 องค์กรอาคารหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ให้หาค่ารับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม ขนาด 90 X 90 X 3.2 ยาว 4 เมตร. บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอบนระยะที่ทำให้เกิดการดัดบนแกนหลัก และมีค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้าน เหล็กชั้นคุณภาพ HS 41 เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 4.0×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 6.2×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร



รูปด้านบน



รูปด้านข้าง

องค์กรอาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = \frac{(B - 3t)}{t} = \frac{(90 - 3 \times 3.2)}{3.2} = 25.13$$

$$\lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} = 32.7$$

$$\frac{b}{t} < \lambda_p \quad \text{ปีกอัดแน่น}$$

อัตราส่วนความชะลูดของแผ่นเอว

$$\frac{h}{t} = \frac{(H - 3t)}{t} = \frac{(90 - 3 \times 3.2)}{3.2} = 25.13$$

$$\lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.42 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} = 70.6$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{แผ่นเอวอัดแน่น}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z \\ &= 235 \times 33.6 \times 10^3 \\ M_n &= 7.90 \times 10^6 \quad \text{นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น - ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดนี้

3) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอว

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น - ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดนี้

กำลังรับแรงดัดระบุ คือค่าที่ต่ำที่สุดจากสภาวะขีดจำกัดการคราก สภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก และสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอว

$$M_n = 7.90 \times 10^6 \quad \text{นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

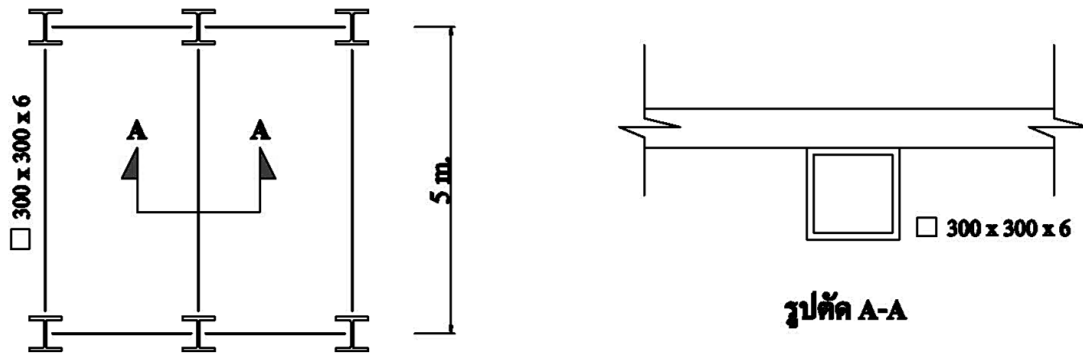
กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

$$\begin{aligned} \text{LRFD} \\ \phi_b M_n &= 0.90 \times 7.90 \times 10^6 \\ &= 7.11 \times 10^6 \quad \text{นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

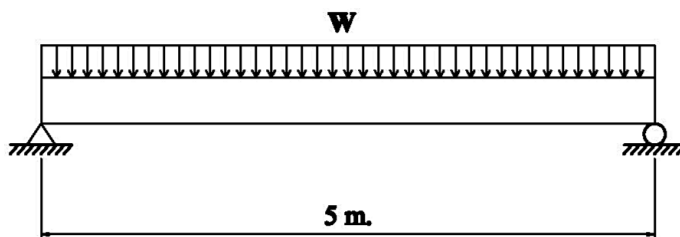
$$\begin{aligned} \text{ASD} \\ \frac{M_n}{\Omega_b} &= \frac{7.90 \times 10^6}{1.67} \\ &= 4.73 \times 10^6 \quad \text{นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.3.7 องค์อาคารหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ให้หาคำลึงรับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม ขนาด 300 X 300 X 6 ยาว 5 เมตร. บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอบนระยะที่ทำให้เกิดการดัดบนแกนหลัก และมีค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้าน เหล็กชั้นคุณภาพ HS 41 เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 80×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 124×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร



รูปด้านบน



รูปด้านข้าง

องค์อาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = \frac{(B - 3t)}{t} = \frac{(300 - 3 \times 6)}{6} = 47$$

$$\lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} = 32.7$$

$$\lambda_p = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.40 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} = 40.8$$

$$\frac{b}{t} > \lambda_r \quad \text{ปีกชะลูด}$$

อัตราส่วนความชะลูดของแผ่นเอว

$$\frac{h}{t} = \frac{(H - 3t)}{t} = \frac{(300 - 3 \times 6)}{6} = 47$$

$$\lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.42 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} = 70.6$$

$$\frac{h}{t} < \lambda_p \quad \text{แผ่นเอวอัดแน่น}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z \\ &= 235 \times 744 \times 10^3 \\ M_n &= 174.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

$$M_n = F_y S_e$$

โดยที่

S_e = โมเมนต์หน้าตัดประสิทธิภาพ หาได้จากความกว้างประสิทธิภาพ b_e ของปีกรับแรงอัด

$$b_e = 1.92 t_f \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.38}{\frac{b}{t_f}} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b$$

$$b = 300 - 3 \times 6 = 282 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\begin{aligned} b_e &= 1.92 \times 6 \times \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} \left[1 - \frac{0.38}{\frac{282}{6}} \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} \right] \leq 282 \\ &= 256.8 < 282 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ความกว้างที่หักออก} = b - b_e = 282 - 256.8 = 25.2 \text{ มิลลิเมตร}$$

โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล

$$\begin{aligned} I_e &= 9960 \times 10^4 - 2 \left[\frac{1}{12} \times 25.2 \times 6^3 + 25.2 \times 6 \times (150 - 3)^2 \right] \\ &= 93.06 \times 10^6 \text{ มิลลิเมตร}^4 \\ S_e &= \frac{I_e}{\frac{d}{2}} = \frac{93.06 \times 10^6}{\left(\frac{300}{2}\right)} \\ &= 0.620 \times 10^6 \text{ มิลลิเมตร}^3 \end{aligned}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

$$\begin{aligned} M_n &= F_y S_e \\ &= 235 \times 0.620 \times 10^6 \\ &= 145.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

3) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอว

ก) สำหรับหน้าตัดที่มีแผ่นเอวอัดแน่น – ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดนี้

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าต่ำสุดจากสภาวะขีดจำกัดการคราก สภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก และสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของแผ่นเอว

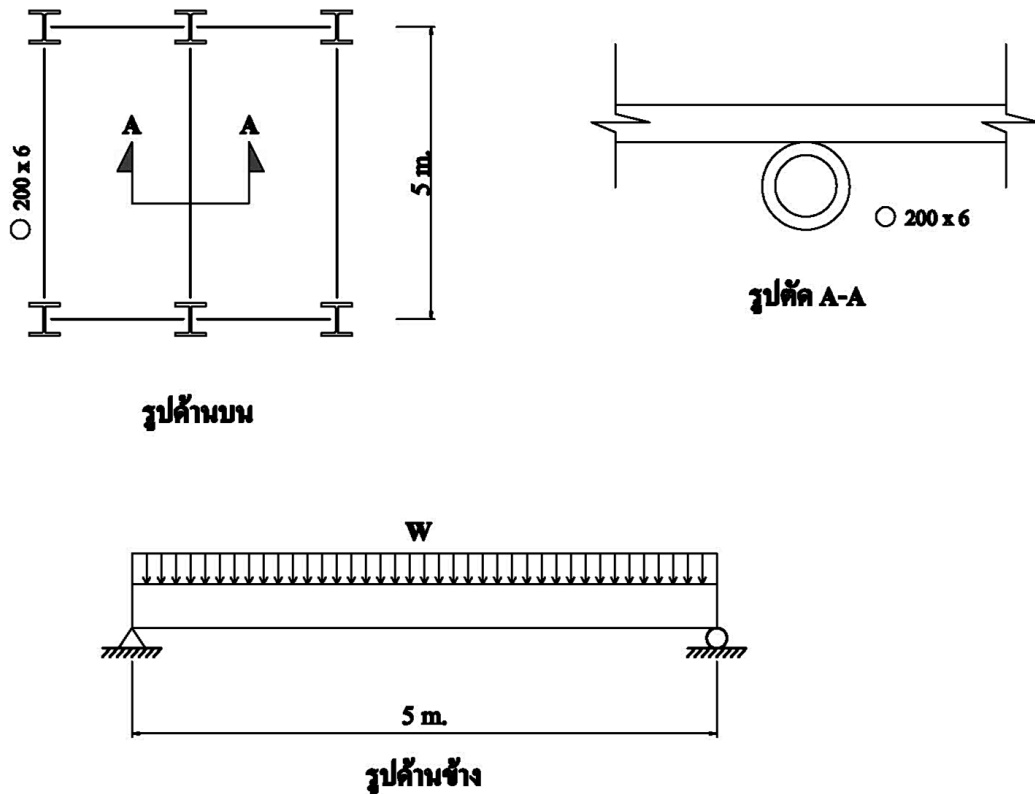
$$M_n = 145.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

LRFD	ASD
$\phi_b M_n = 0.90 \times 145.7 \times 10^6$	$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{145.7 \times 10^6}{1.67}$
$= 131.1 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$	$= 87.2 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$

ตัวอย่าง 10.3.8 องค์กรอาคารหน้าตัดรูปท่อกกลม

ให้หาค่าลึงรับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปท่อกกลม ขนาด 200 X 6.0 ยาว 5 เมตร. บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอ และมีการค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้าน เหล็กชั้นคุณภาพ HS 41 เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 30×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 46.5×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร



องค์กรอาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูด

$$\frac{D}{t} = \frac{216.3}{6} = 36.05$$

$$0.45 \frac{E}{F_y} = 0.45 \times \frac{200 \times 10^3}{235} = 383.0$$

$$\frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y} \text{ สามารถใช้คู่มือนี้ออกแบบได้}$$

$$\lambda_p = 0.07 \frac{E}{F_y} = 0.07 \times \frac{200 \times 10^3}{235} = 59.57$$

$$\frac{D}{t} < \lambda_p \quad \text{หน้าตัดอัดแน่น}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z \\ &= 235 \times 258 \times 10^3 \\ &= 60.63 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น – ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดนี้

กำลังรับแรงดัดระบุ คือค่าที่ต่ำที่สุดจากสภาวะขีดจำกัดการคราก สภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่

$$M_n = 60.63 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

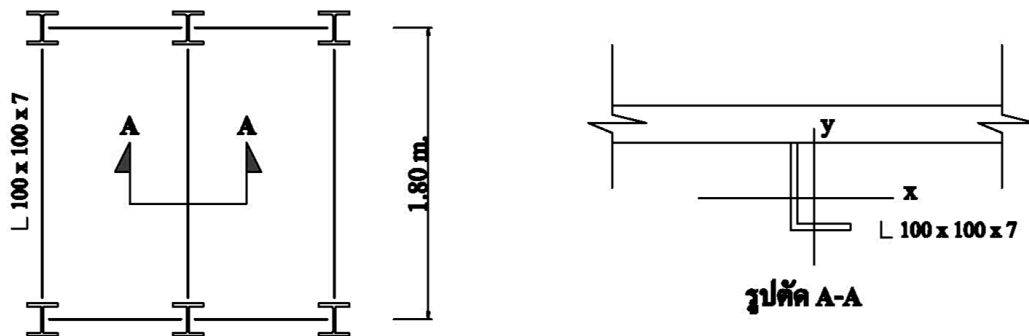
กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

$$\begin{aligned} \text{LRFD} \\ \phi_b M_n &= 0.90 \times 60.63 \times 10^6 \\ &= 54.57 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

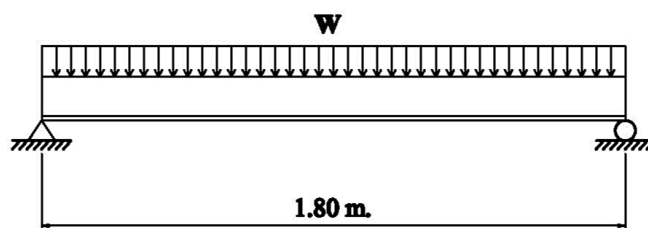
$$\begin{aligned} \text{ASD} \\ \frac{M_n}{\Omega_b} &= \frac{60.3 \times 10^6}{1.67} \\ &= 36.31 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.3.9 องค์กรอาคารหน้าตัดเหล็กฉากเดี่ยว

ให้หาค่ารับแรงดัดของคานหน้าตัดรูปเหล็กฉากขาเท่ากัน ขนาด L 100 X 100 X 7 ยาว 1.8 เมตร บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอแนวดิ่ง มีค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้าน (สมมติให้เกิดการดัดรอบแกน X-X และไม่มีการยึดรั้งต้านทานการโก่งทางข้างและการบิด และกำหนดให้ขาของเหล็กฉากชี้ขึ้นและปลายขารับแรงอัด เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 2.50×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 3.875×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร



รูปคานบน



รูปคานข้าง

องค์กรอาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = \frac{100}{7} = 14.29$$

$$\lambda_p = 0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.54 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 15.43$$

$$\frac{b}{t} < \lambda_p \quad \text{ขาเหล็กฉากอัดแน่น}$$

กำลังรับแรงดัดระบุ

1) สภาวะขีดจำกัดการคราก

$$\begin{aligned}M_n &= 1.5M_y \\&= 1.5F_y S_x \\&= 1.5 \times 245 \times 17.70 \times 10^3 \\&= 6.50 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}\end{aligned}$$

2) สภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

ค่าปรับแก้การโก่งเดาะทางด้านข้างและการบิด C_b ของระยะปราศจากการค้ำยัน $L_b = 1800$ มิลลิเมตร

$$C_b = 1.14$$

สำหรับเหล็กฉากเดี่ยวที่ไม่มีการยึดรั้งด้านทวนการโก่งทางข้างและการบิดตลอดความยาวช่วง

M_e = ค่าโมเมนต์โก่งเดาะทางข้างและการบิดแบบอัสติติก

สำหรับการโก่งรอบแกนทางเรขาคณิต ของเหล็กฉากขาเท่ากัน และไม่มีแรงตามแนวแกน และไม่มี
การยึดรั้งด้านทวนการโก่งทางข้างและการบิด

เมื่อเกิดแรงอัดสูงสุดที่ปลายขา

$$\begin{aligned}M_e &= \frac{0.66Eb^4 t C_b}{L_b^2} \left(\sqrt{1 + 0.78 \left(\frac{L_b t}{b^2} \right)^2} - 1 \right) \\M_e &= \frac{0.66 \times 200 \times 10^3 \times 100^4 \times 7 \times 1.14}{1800^2} \left(\sqrt{1 + 0.78 \left(\frac{1800 \times 7}{100^2} \right)^2} - 1 \right)\end{aligned}$$

$$= 16.13 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

$$M_y = 0.8F_y S_x = 0.8 \times 245 \times 17.70 \times 10^3$$

$$= 3.47 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

$$M_e = 16.13 \times 10^6 > M_y = 3.47 \times 10^6$$

1) เมื่อ $M_e > M_y$

$$M_n = \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \right) M_y \leq 1.5M_y$$

$$\begin{aligned}
&= \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{3.47 \times 10^6}{16.13 \times 10^6}} \right) 3.47 \times 10^6 \leq 1.5 \times 3.47 \times 10^6 \\
&= 4.78 \times 10^6 \leq 5.20 \times 10^6 \\
M_n &= 4.78 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}
\end{aligned}$$

3) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของขาตัวที่

ก) สำหรับหน้าตัดอัดแน่น – ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดนี้

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าที่ต่ำสุดของสภาวะขีดจำกัดการคราก สภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด และสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของขาตัวที่

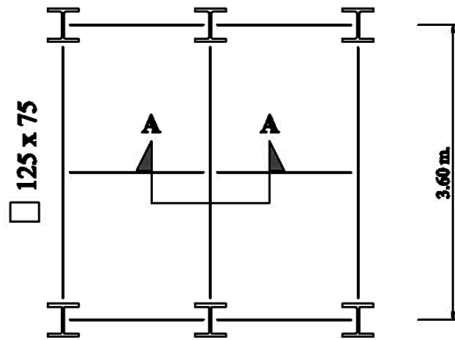
$$M_n = 4.78 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

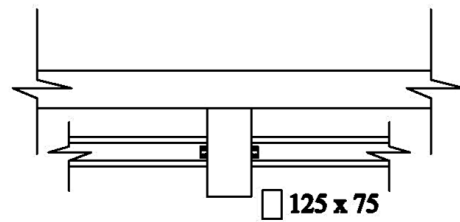
LRFD	ASD
$\phi_b M_n = 0.90 \times 4.78 \times 10^6$ $= 4.30 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$	$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{4.78 \times 10^6}{1.67}$ $= 2.86 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$

ตัวอย่าง 10.3.10 องค์อาคารหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยม

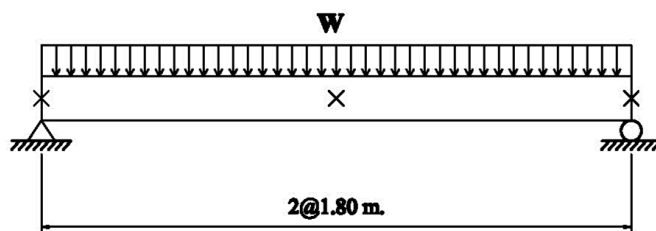
ให้หาคำลึงรับแรงดัดของคานเหล็กหน้าตัดตันรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 75 มิลลิเมตร สูง 125 มิลลิเมตร ยาว 3.60 เมตร บนฐานรองรับแบบธรรมดา รับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอแนวดิ่ง มีค้ำยันที่ปลายทั้งสองด้านและที่กลางคาน และโก่งรอบแกนหลัก เพื่อรับโมเมนต์ใช้งาน 40×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร และโมเมนต์ประลัย 62×10^6 นิวตัน – มิลลิเมตร (หน้าตัดนี้ ไม่มีโน มอก.)



รูปคานบน



รูปตัด A-A



รูปคานข้าง

องค์อาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

คำลึงรับแรงดัดระบุ

1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก

$$\frac{L_b d}{t^2} = \frac{1800 \times 125}{75^2} = 40$$

$$\frac{0.08E}{F_y} = \frac{0.08 \times 200 \times 10^3}{245} = 65.3$$

$$\frac{L_b d}{t^2} < \frac{0.08E}{F_y}$$

สำหรับกรณี $\frac{L_b d}{t^2} < \frac{0.08E}{F_y}$ และมีการดัดรอบแกนหลัก

$$M_n = M_p = F_y Z \leq 1.6 M_y = 1.6 F_y S_x$$

$$= 245 \times 293 \times 10^3 \leq 1.6 \times 245 \times 195 \times 10^3$$

$$M_n = 71.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร} < 76.4 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

$$M_n = 71.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

กรณี $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08E}{F_y}$ ไม่ต้องพิจารณาสภาวะขีดจำกัดนี้

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n) คือค่าที่ต่ำกว่าของสภาวะขีดจำกัดการคราก และสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$$M_n = 71.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

กำลังรับแรงดัดที่ยอมให้

LRFD

$$\phi_b M_n = 0.90 \times 71.8 \times 10^6$$

$$= 64.6 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

ASD

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{71.8 \times 10^6}{1.67}$$

$$= 43.0 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร}$$

10.4 การออกแบบองค์อาคารรับแรงเฉือน

ตัวอย่าง 10.4.1 องค์อาคารหน้าตัดรูปตัว H

ให้หากล้างรับแรงเฉือนของคานเหล็กรูปพรรณรีดร้อนหน้าตัดรูปตัว H ขนาด $450 \times 200 \times 9 \times 14$ รับแรงเฉือนในระนาบของแผ่นเอว เพื่อรับแรงเฉือนใช้งาน 350×10^3 นิวตัน และแรงเฉือนประลัย 542.5×10^3 นิวตัน

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

1) กล้างรับแรงเฉือน

$$h = 450 - 2(14 + 18) = 386$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{386}{9} = 42.89$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 64$$

ก) สำหรับแผ่นเอวของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณรีดร้อนรูปตัว H ที่มีค่า $\frac{h}{t_w} < 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

ใช้

$$\phi_v = 1.00 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.50 \text{ (ASD)}$$

และ

$$C_v = 1.0$$

กล้างรับแรงเฉือนระบุ

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

$$A_w = dt_w = 450 \times 9 = 4050 \text{ มิลลิเมตร}^2$$

$$V_n = 0.6 \times 245 \times 4050 \times 1.0$$

$$= 595.4 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

LRFD

$$\begin{aligned}\phi_v V_n &= 1.00 \times 595.4 \times 10^3 \\ &= 595.4 \times 10^3 \text{ นิวตัน}\end{aligned}$$

ASD

$$\begin{aligned}\frac{V_n}{\Omega_v} &= \frac{595.4 \times 10^3}{1.50} \\ &= 396.9 \times 10^3 \text{ นิวตัน}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.4.2 องค์อาคารหน้าตัดรูปรางน้ำ

ให้หาค่ากำลังรับแรงเฉือนของคานเหล็กรูปพรรณรีดร้อนหน้าตัดรูปรางน้ำ ขนาด C 300 X 90 X 12 X 16 รับแรงเฉือนในระนาบของแผ่นเอว เพื่อรับแรงเฉือนใช้งาน 300×10^3 นิวตัน และแรงเฉือนประลัย 465×10^3 นิวตัน

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

- 1) กำลังรับแรงเฉือน

$$h = 300 - 2(16 + 19) = 230$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{230}{12} = 19.2$$

สัมประสิทธิ์การโก่งเดาะจากแรงเฉือนของแผ่นเอว k_v

- 1) สำหรับแผ่นเอวที่ไม่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง และ $\frac{h}{t_w} < 260$

$$k_v = 5$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.10 \sqrt{\frac{5 \times 200 \times 10^3}{245}} = 70.3$$

สำหรับแผ่นเอวของหน้าตัดรูปรางน้ำ ค่า C_v หาได้จาก

$$1) \text{ กรณี } \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_v = 1.0$$

กำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$A_w = d t_w = 300 \times 12 = 3600 \text{ มิลลิเมตร}^2$$

$$V_n = 0.6 \times 245 \times 3600 \times 1.0$$

$$= 529.2 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

LRFD

$$\begin{aligned}\phi_v V_n &= 0.90 \times 529.2 \times 10^3 \\ &= 476.3 \times 10^3 \text{ นิวตัน}\end{aligned}$$

ASD

$$\begin{aligned}\frac{V_n}{\Omega_v} &= \frac{529.2 \times 10^3}{1.67} \\ &= 316.9 \times 10^3 \text{ นิวตัน}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.4.3 องค์อาคารหน้าตัดประกอบรูปตัว H ที่ไม่มีการเสริมกำลังทางข้างที่แผ่นเอว

ให้หากล้างรับแรงเฉือนของหน้าตัดประกอบด้วยวิธีการเชื่อมรูปตัว H ลึก 900 มิลลิเมตร ปีกกว้าง 300 มิลลิเมตร หนา 38 มิลลิเมตร แผ่นเอวหนา 8 มิลลิเมตร กรณีไม่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง (transverse stiffener) เพื่อรับแรงเฉือนใช้งาน 350×10^3 นิวตัน และแรงเฉือนประลัย 542.5×10^3 นิวตัน (ตัวอย่างนี้พิจารณาเฉพาะล้างรับแรงเฉือน)

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

คุณสมบัติหน้าตัดประกอบ

$$t_w = 8 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_f = 38 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$b_{ft} = b_{fc} = 300 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$d = 900 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$h = 900 - 2 \times 38 = 824 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$A_w = dt_w = 900 \times 8 = 7200 \text{ มิลลิเมตร}^2$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{824}{8} = 103$$

กรณีแผ่นเอวที่ไม่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง และ $\frac{h}{t_w} < 260$

$$k_v = 5$$

พิจารณาค่า C_v

กรณีแผ่นเอวของหน้าตัดประกอบสมมาตรสองแกน ค่า C_v หาได้จาก

$$1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.37 \sqrt{\frac{5 \times 200 \times 10^3}{245}} = 87.53$$

$$\frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$\text{กรณี } \frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2 F_y}$$

$$C_v = \frac{1.51 \times 5 \times 200 \times 10^3}{(103)^2 \times 245}$$

$$= 0.58$$

กำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

$$= 0.6 \times 245 \times 7200 \times 0.58$$

$$= 613.9 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

LRFD

$$\phi_v V_n = 0.90 \times 613.9 \times 10^3$$

$$= 552.5 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

ASD

$$\frac{V_n}{\Omega_v} = \frac{613.9 \times 10^3}{1.67}$$

$$= 367.6 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

ตัวอย่าง 10.4.4 องค์อาคารหน้าตัดประกอบรูปตัว H ที่มีการเสริมกำลังทางข้างที่แผ่นเอว

ให้หากล้างรับแรงเฉือนของหน้าตัดประกอบในข้อ 10.4.3 โดยสมมติให้มีแผ่นเสริมกำลังทางขวางที่มีค่า $a = 1000$ มิลลิเมตร โดยพิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (tension field action) ร่วมด้วย และสมมติให้แผ่นเสริมกำลังทางขวางมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดการคิดผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (tension field action) และกำหนดให้เป็นแผงใน เพื่อรับแรงเฉือนใช้งาน 60×10^3 นิวตัน และแรงเฉือนประลัย 93×10^3 นิวตัน (ตัวอย่างนี้พิจารณาเฉพาะล้างรับแรงเฉือน)

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

คุณสมบัติหน้าตัดประกอบ

$$t_w = 8 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_f = 38 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$b_{ft} = b_{fc} = 300 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$d = 900 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$h = 900 - 2 \times 38 = 824 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$A_w = dt_w = 900 \times 8 = 7200 \text{ มิลลิเมตร}^2$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{824}{8} = 103$$

กรณีคิดผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (tension field action)

ข้อกำหนดสำหรับการใช้ผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (tension field action) อนุญาตให้พิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (tension field action) ร่วมด้วย เมื่อแผ่นเอวรองรับด้วยปีกหรือแผ่นเสริมกำลังทั้งสี่ด้าน โดยไม่อนุญาตให้พิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (tension field action) ร่วมด้วยหาก

- ก) แผงริมของทุกองค์อาคารที่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวางเป็นแผงใน และมีแผ่นเอวหรือปีกเสริมกำลังทั้งสี่ด้าน

OK

ข) เมื่อ $\frac{a}{h}$ เกิน 3.0 หรือ $\left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w} \right)} \right]^2$

สมมติให้ระยะห่างของแผ่นเสริมกำลังทางขวาง $a = 1000$ มิลลิเมตร

$$\frac{a}{h} = \frac{1000}{824}$$

$$= 1.21 < 3.0$$

$$\left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2 = \left(\frac{260}{103} \right)^2$$

$$= 6.37 > 1.21$$

OK

ค) เมื่อ $2A_w/(A_{fc} + A_{ft}) > 2.5$

$$\frac{2A_w}{(A_{fc} + A_{ft})} = \frac{2 \times 7200}{(38 \times 300 + 38 \times 300)} = 0.63 < 2.5$$

OK

ง) เมื่อ h/b_{fc} หรือ $h/b_{ft} > 6.0$

$$\frac{h}{b_{fc}} = \frac{h}{b_{ft}} = \frac{824}{300} = 2.75 < 6.0$$

OK

จากข้อกำหนดพบว่าสามารถพิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (tension field action) ได้

พิจารณาค่า k_v และ C_v

สำหรับแผ่นเอวที่มีแผ่นเสริมกำลังทางขวาง

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2}$$

$$= 5 + \frac{5}{\left(\frac{1000}{824} \right)^2}$$

$$= 8.39$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{824}{8} = 103$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.10 \sqrt{\frac{8.39 \times 200 \times 10^3}{245}} = 91$$

$$1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.37 \sqrt{\frac{8.39 \times 200 \times 10^3}{245}} = 113$$

$$\text{เมื่อ } 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{1.10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w} \\
 &= \frac{1.10\sqrt{8.39 \times 200 \times 10^3 / 245}}{103} \\
 &= 0.88
 \end{aligned}$$

กำลังรับแรงเฉือนเมื่อพิจารณาผลของแรงกระทำเชิงแรงดึง (Tension Field Action)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } \frac{h}{t_w} &> 1.10\sqrt{k_v E/F_y} \\
 V_n &= 0.6F_y A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \\
 &= 0.6 \times 245 \times 7200 \left(0.88 + \frac{1 - 0.88}{1.15\sqrt{1 + 1.21^2}} \right) \\
 V_n &= 1001.7 \times 10^3 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

$$\begin{aligned}
 &\text{LRFD} \\
 \phi_v V_n &= 0.90 \times 1,001.7 \times 10^3 \\
 &= 901.5 \times 10^3 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{ASD} \\
 \frac{V_n}{\Omega_v} &= \frac{1,001.7 \times 10^3}{1.67} \\
 &= 599.8 \times 10^3 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.4.5 เหล็กฉากเดี่ยว

ให้หากล้างรับแรงเฉือนของหน้าตัดเหล็กฉากขาไม่เท่ากัน ขนาด 125 X 75 X 7 โดยขาที่ยาวกว่ารับแรงเฉือน

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$b = 125 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t = 7 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{b}{t} = \frac{125}{7} = 17.86$$

$$A_w = bt = 125 \times 7 = 875 \text{ มิลลิเมตร}^2$$

$$k_v = 1.2$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.10 \sqrt{\frac{1.2 \times 200 \times 10^3}{245}} = 34.43$$

$$\text{กรณี } \frac{h}{t_w} < 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_v = 1.0$$

กำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \\ &= 0.6 \times 245 \times 875 \times 1.0 \\ &= 128.6 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

LRFD

$$\begin{aligned} \phi_v V_n &= 0.90 \times 128.6 \times 10^3 \\ &= 115.7 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

ASD

$$\begin{aligned} \frac{V_n}{\Omega_v} &= \frac{128.6 \times 10^3}{1.67} \\ &= 77.0 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.4.6 องค์อาคารหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม

ให้หากล้างรับแรงเฉือนของหน้าตัดรูปทอสี่เหลี่ยม ขนาด $150 \times 100 \times 6.0$ โดยแรงเฉือนกระทำบนคานด้านยาว 150 มิลลิเมตร และหน้าตัดผลิตโดยกรรมวิธีการผลิตแบบ submerged arc weld เพื่อรับแรงเฉือนใช้งาน 120×10^3 นิวตัน และแรงเฉือนประลัย 186×10^3 นิวตัน

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$h = H - 3t$$

$$= 150 - 3 \times 6 = 132 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_w = t = 6.0$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{h}{t} = \frac{132}{6} = 22$$

$$k_v = 5$$

$$A_w = 2ht = 2 \times 132 \times 6 = 1584$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.10 \sqrt{\frac{5 \times 200 \times 10^3}{235}} = 71.76$$

$$\text{กรณี } \frac{h}{t_w} < 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_v = 1.0$$

กำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$= 0.6 \times 235 \times 1584 \times 1.0$$

$$= 223.3 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

LRFD

$$\phi_v V_n = 0.90 \times 223.3 \times 10^3$$

$$= 201.0 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

ASD

$$\frac{V_n}{\Omega_v} = \frac{223.3 \times 10^3}{1.67}$$

$$= 133.7 \times 10^3 \text{ นิวตัน}$$

ตัวอย่าง 10.4.7 องค์อาคารหน้าตัดรูปท่อกกลม

ให้หาคำลึงรับแรงเฉือนของคานหน้าตัดรูปท่อกกลม ขนาด $\varnothing 200 \times 6$ และหน้าตัดผลิตโดยกรรมวิธีการผลิตแบบ Submerged Arc Welding คานรับแรงกระทำแบบสม่ำเสมอ ยาว 4 เมตร เพื่อรับแรงเฉือนใช้งาน 150×10^3 นิวตัน และแรงเฉือนประลัย 232.5×10^3 นิวตัน

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$D = 216.3 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t = 6.0 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$A_g = 39.61 \times 10^2 \text{ มิลลิเมตร}^2$$

F_{cr} คือค่าที่มากกว่าของ

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^4}} \\ &= \frac{1.60 \times 200 \times 10^3}{\sqrt{\frac{2000}{216.3} \left(\frac{216.3}{6} \right)^4}} \\ &= 1191 \text{ นิวตัน / มิลลิเมตร}^2 \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t} \right)^2} \\ F_{cr} &= \frac{0.78 \times 200 \times 10^3}{\left(\frac{216.3}{6} \right)^2} \\ &= 721 \text{ นิวตัน / มิลลิเมตร}^2 \end{aligned}$$

แต่ไม่เกิน $0.6 F_y = 0.6 \times 235 = 141$ นิวตัน / มิลลิเมตร²

ใช้

$$F_{cr} = 141 \text{ นิวตัน / มิลลิเมตร}^2$$

กำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$\begin{aligned} V_n &= F_{cr} A_g / 2 \\ &= \frac{141 \times 39.61 \times 10^2}{2} \\ &= 279.3 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

LRFD

$$\begin{aligned} \phi_v V_n &= 0.90 \times 279.3 \times 10^3 \\ &= 251.4 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

ASD

$$\begin{aligned} \frac{V_n}{\Omega_v} &= \frac{279.3 \times 10^3}{1.67} \\ &= 167.2 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 10.4.8 แรงเฉือนในแนวแกนรองของหน้าตัดสมมาตรสองแกน

ให้หากล้างรับแรงเฉือนของคานเหล็กกรีดร้อนหน้าตัดรูปตัว H ขนาด $450 \times 200 \times 9 \times 14$ รับแรงเฉือนบนแกนรอง เพื่อรับแรงเฉือนใช้งาน 230×10^3 นิวตัน และแรงเฉือนประลัย 356.5×10^3 นิวตัน

องค์อาคารรับแรงเฉือน ทุกหัวข้อยกเว้นข้อ 8.2.1 (ก)

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$b_f = 200 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_f = 14 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$b = \frac{b_f}{2} = 100 \text{ มิลลิเมตร} \quad b = \frac{b_f}{2} = 100$$

$$A_w = b_f t_f = 200 \times 14 = 2800 \text{ มิลลิเมตร}^2$$

$$k_v = 1.2$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.10 \sqrt{\frac{1.2 \times 200 \times 10^3}{245}} = 34.43$$

$$\text{กรณี } \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_v = 1.0$$

กำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \\ &= 0.6 \times 245 \times 2800 \times 1.0 \\ &= 411.6 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้

LRFD

$$\begin{aligned} \phi_v V_n &= 0.90 \times 411.6 \times 10^3 \\ &= 370.4 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

ASD

$$\begin{aligned} \frac{V_n}{\Omega_v} &= \frac{411.6 \times 10^3}{1.67} \\ &= 246.5 \times 10^3 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

10.5 การออกแบบองค์อาคารรับแรงรวมและโมเมนต์บิด

ตัวอย่างที่ 10.5.1 การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด

ให้ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของเสารูปตัด H 200 x 200 x 8 x 12 ความยาว 4 เมตร ปลายบนและล่างของเสาเป็นจตุรกรับแบบธรรมดา ไม่มีค้ำยันด้านข้างตลอดความยาว รับแรงอัดตามแนวแกน และแรงดัดจากน้ำหนักคงที่ และน้ำหนักจรที่ได้จากการวิเคราะห์ลำดับ 2 ที่รวมผลของ p- δ แล้ว ดังนี้

แรงกระทำ	LRFD	ASD
P_r (นิวตัน)	200×10^3	130×10^3
M_{rx} (นิวตัน-มิลลิเมตร)	50×10^6	35×10^6
M_{ry} (นิวตัน-มิลลิเมตร)	20×10^6	13×10^6

คุณสมบัติหน้าตัด

$t_w = 8$ มม.	$I_x = 4720 \times 10^4$ มม. ⁴ .
$t_f = 12$ มม.	$I_y = 1600 \times 10^4$ มม. ⁴ .
$b_f = 200$ มม.	$r_x = 86.2$ มม.
$d = 200$ มม.	$r_y = 50.2$ มม.
$S_x = 472 \times 10^3$ มม. ³ .	$Z_x = 513 \times 10^3$ มม. ³ .
$S_y = 160 \times 10^3$ มม. ³ .	$Z_y = 243 \times 10^3$ มม. ³ .

จากตัวอย่างที่ 10.2.1

กำลังรับแรงอัดตามแนวแกน

LRFD	ASD
$P_c = \phi P_n = 1006 \times 10^3$ นิวตัน	$P_c = P_n / \Omega = 669.6 \times 10^3$ นิวตัน

องค์อาคารรับแรงดัด กำหนด

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

อัตราส่วนความชะลูดของปีก

$$\frac{b}{t} = \frac{100}{12} = 8.33$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}}$$

$$\frac{b}{t} < \lambda_p \quad \text{ปีกัดแน่น}$$

อัตราส่วนความชะลูดของแผ่นเอว

$$h = 200 - 2(12+13) = 150$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{150}{8} = 18.75$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}} = 107.43$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{แผ่นเอวอัดแน่น}$$

หน้าตัด H 200 × 200 × 8 × 12 มีแผ่นเอวอัดแน่น และปีกอัดแน่น

กำลังรับแรงดัดระบุนแกน X

1) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์พลาสติก)

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$M_n = 245 \times 513 \times 10^3 \\ = 125.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

2) พิจารณาสภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิด

$L_b = 4000$ มิลลิเมตร.

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 50.2 \times \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{245}}$$

$$L_p = 2524 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{1600 \times 10^4 \times 0.14 \times 10^{12}}}{472 \times 10^3}$$

$$r_{ts} = 56.3 \text{ มิลลิเมตร.}$$

หน้าตัดสมมาตรสองแกนรูปตัว H

$$\begin{aligned} c &= 1 \\ h_o &= 200 - 12/2 - 12/2 = 188 \text{ มิลลิเมตร.} \end{aligned}$$

$$L_r = 1.95 \times 56.3 \times \frac{200 \times 10^3}{0.7 \times 245} \times \sqrt{\frac{26.2 \times 10^4 \times 1}{472 \times 10^3 \times 188} + \sqrt{\left(\frac{26.2 \times 10^4 \times 1}{472 \times 10^3 \times 188}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 245}{200 \times 10^3}\right)^2}}$$

$$L_r = 10442 \text{ มิลลิเมตร.}$$

$$L_p < L_b < L_r$$

กำลังรับแรงดัดระบุ (M_n)

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

ค่าปรับแก้การโก่งเดาะทางด้านข้างและการบิด C_b ของระยะปราศจากการค้ำยัน $L_b = 4000$ มิลลิเมตร.

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 1.00 & M_A &= 0.75 & M_B &= 1.00 & M_C &= 0.75 \\ C_b &= 1.14 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการได้

$$\begin{aligned} M_n &= 1.14 \left[125.7 \times 10^6 - \left(125.7 \times 10^6 - 0.7 \times 245 \times 472 \times 10^3 \right) \left(\frac{4000 - 2524}{10442 - 2524} \right) \right] \\ &\leq 125.7 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$M_n = 133.8 \times 10^6 < 125.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

$$\text{ใช้ } M_n = 125.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

ค่า M_n คือค่าที่น้อยสุดของสมภาวะขีดจำกัดการคราก และสมภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะทางข้างและการบิดคราก

$$M_{nx} = 125.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

กำลังรับแรงดัดระบุนแกน Y

1) พิจารณาสมภาวะขีดจำกัดการคราก (โมเมนต์พลาสติก)

$$\begin{aligned} M_n = M_p = F_y Z_y &\leq 1.6 F_y S_y \\ &= 245 \times 243 \times 10^3 \leq 1.6 \times 245 \times 160 \times 10^3 \\ &= 59.5 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.} < 62.7 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.} \end{aligned}$$

2) สมภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

ก) สำหรับหน้าตัดที่มีปีกอัดแน่น ไม่ต้องพิจารณาสมภาวะขีดจำกัดนี้

ค่า M_n คือค่าที่น้อยสุดของสมภาวะขีดจำกัดการคราก และสมภาวะขีดจำกัดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

$$M_{ny} = 59.5 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

กำลังรับแรงดัดที่ใช้ได้ (Available Strength)

LRFD

$$M_{cx} = \phi_b M_{nx}$$

$$M_{cx} = 0.90 \times 125.7 \times 10^6$$

$$M_{cx} = 113.1 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

$$M_{cy} = 0.90 \times 59.5 \times 10^6$$

$$M_{cy} = 53.6 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

ASD

$$M_{cx} = \frac{M_{nx}}{\Omega_b}$$

$$M_{cx} = \frac{125.7 \times 10^6}{1.67}$$

$$M_{cx} = 75.3 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

$$M_{cy} = \frac{59.5 \times 10^6}{1.67}$$

$$M_{cy} = 35.6 \times 10^6 \text{ นิวตัน - มิลลิเมตร.}$$

กำลังรับแรงรวม

LRFD

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_r}{\phi_c P_n}$$
$$= \frac{200 \times 10^3}{1006 \times 10^3} = 0.199 < 0.2$$

ใช้สมการที่ (109ข)

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{200 \times 10^3}{2 \times 1006 \times 10^3}$$

$$+ \left(\frac{50 \times 10^3}{113.1 \times 10^3} + \frac{20 \times 10^3}{53.6 \times 10^3} \right) \leq 1.0$$

$$0.91 \leq 1.0$$

ASD

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_r}{P_n / \Omega}$$
$$= \frac{130 \times 10^3}{669.6 \times 10^3} = 0.194 < 0.2$$

ใช้สมการที่ (109ข)

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{130 \times 10^3}{2 \times 669.6 \times 10^3}$$

$$+ \left(\frac{35 \times 10^3}{75.3 \times 10^3} + \frac{13 \times 10^3}{35.6 \times 10^3} \right) \leq 1.0$$

$$0.93 \leq 1.0$$

ตัวอย่างที่ 10.5.2 หน้าตัดรูปท้อสี่เหลี่ยมรับแรงบิด

ให้คำนวณกำลังรับแรงบิดของหน้าตัดรูปท้อสี่เหลี่ยมขนาด $150 \times 150 \times 6$ มิลลิเมตร เหล็กชั้นคุณภาพ HS 41 เพื่อรับแรงบิดใช้งาน 20×10^6 นิวตัน-มิลลิเมตร และแรงบิดประลัย 31×10^6 นิวตัน-มิลลิเมตร

องค์อาคารรับแรงบิด กำหนด

$$\phi_T = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_T = 1.67 \text{ (ASD)}$$

คุณสมบัติหน้าตัด

$$H = 150 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$B = 150 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$t = 6 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

สำหรับหน้าตัดรูปท้อสี่เหลี่ยม

$$h = H - 3t = 150 - 3 \times 6 = 132 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\frac{h}{t} = \frac{132}{6} = 22$$

$$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.45 \sqrt{\frac{200 \times 10^3}{235}} = 71.5 > \frac{h}{t}$$

$$\text{กรณี } \frac{h}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

หน่วยแรงวิกฤต (F_{cr}) หาได้จาก

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0.6 F_y \\ &= 0.6 \times 235 = 141 \quad \text{นิวตัน/มิลลิเมตร}^2 \end{aligned}$$

ค่าคงที่การบิดของหน้าตัดรูปท้อ

$$\begin{aligned} C &= 2(B - t)(H - t)t - 4.5(4 - \pi)t^3 \\ &= 2(150 - 6)(150 - 6)6 - 4.5(4 - \pi)6^3 \\ &= 248 \times 10^3 \quad \text{มิลลิเมตร}^3 \end{aligned}$$

กำลังรับแรงบิดระบุ T_n

$$\begin{aligned} T_n &= F_{cr} C \\ &= 141 \times 248 \times 10^3 \\ &= 35.0 \times 10^6 \quad \text{นิวตัน-มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

กำลังรับแรงบิดที่ใช้ได้

LRFD

$$\begin{aligned}\phi_T M_n &= 0.9 \times 35.0 \times 10^6 \\ &= 31.5 \times 10^6 \text{ นิวตัน-มิลลิเมตร}\end{aligned}$$

ASD

$$\begin{aligned}\frac{M_n}{\Omega_T} &= \frac{35.0 \times 10^6}{1.67} \\ &= 21.0 \times 10^6 \text{ นิวตัน-มิลลิเมตร}\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 10.5.3 หน้าตัดรูปท่อกกลมรับแรงบิด

ให้คำนวณกำลังรับแรงบิดของหน้าตัดรูปท่อกกลมขนาด 150 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร เหล็กชั้นคุณภาพ HS 41 เพื่อรับแรงบิดใช้งาน 15×10^6 นิวตัน-มิลลิเมตร และแรงบิดประลัย 23.25×10^6 นิวตัน-มิลลิเมตร

องค์อาคารรับแรงบิด กำหนด

$$\phi_T = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_T = 1.67 \text{ (ASD)}$$

คุณสมบัติหน้าตัด

$$D = 150 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$t = 6 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

หน้าตัดรูปท่อกกลม

หน่วยแรงวิกฤต (F_{cr}) หาได้จากค่าที่มากกว่าของ

$$\begin{aligned} (1) \quad F_{cr} &= \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^4}} \\ &= \frac{1.23 \times 200 \times 10^3}{\sqrt{\frac{3000}{150} \left(\frac{150}{6} \right)^4}} \\ &= 984 \text{ นิวตัน/มิลลิเมตร}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad F_{cr} &= \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{\frac{3}{2}}} \\ &= \frac{0.60 \times 200 \times 10^3}{\left(\frac{150}{6} \right)^{\frac{3}{2}}} \\ &= 960 \text{ นิวตัน/มิลลิเมตร}^2 \end{aligned}$$

แต่ไม่เกิน $0.6 F_y = 0.6 \times 235 = 141$ นิวตัน/มิลลิเมตร²

$$\text{ใช้ } F_{cr} = 141 \quad \text{นิวตัน/มิลลิเมตร}^2$$

ค่าคงที่การบิดของหน้าตัดรูปท่อกกลม

$$\begin{aligned} C &= \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} \\ &= \frac{\pi(150-6)^2 6}{2} \\ &= 195.4 \times 10^3 \text{ มิลลิเมตร}^3 \end{aligned}$$

กำลังรับแรงบิดระบุ

$$\begin{aligned} T_n &= F_{cr} C \\ &= 141 \times 195.4 \times 10^3 \\ &= 27.6 \times 10^6 \quad \text{นิวตัน-มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

กำลังรับแรงบิดที่ใช้ได้

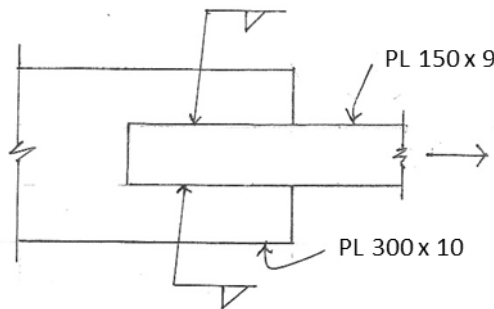
$$\begin{aligned} \text{LRFD} \\ \phi_T M_n &= 0.9 \times 27.6 \times 10^6 \\ &= 24.8 \times 10^6 \text{ นิวตัน-มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ASD} \\ \frac{M_n}{\Omega_T} &= \frac{27.6 \times 10^6}{1.67} \\ &= 16.5 \times 10^6 \text{ นิวตัน-มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

10.6 การออกแบบรอยต่อ

ตัวอย่าง 10.6.1 รอยเชื่อมแบบพอกตามยาวยึดปลายเหล็กแผ่น

จงออกแบบรอยเชื่อมแบบพอกของรอยต่อระหว่างปลายแผ่นเหล็กกับแผ่นเหล็กประกบเพื่อรับแรงดึงใช้งานตามแนวกาน 180 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 100 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 80 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM400 ลวดเชื่อมชนิด E70



กำลังรับแรงเฉือนระบุของลวดเชื่อม = 490 เมกะปาสคาล

คุณสมบัติของเหล็กแผ่น 150×9 $A_g = 1350 \text{ มม.}^2$

แรงดึงใช้งาน $P_w = 180$ กิโลนิวตัน

แรงดึงประลัย $P_u = (1.4)(100) + (1.7)(80) = 276$ กิโลนิวตัน

กำหนดขนาดของรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อม = 5 มม.

ขนาดใหญ่สุดของรอยเชื่อม = $9 - 2 = 7$ มม.

เลือกใช้ขนาดของรอยเชื่อม = 5 มม.

กำลังรับแรงเฉือนระบุ 5 มม. = $(0.6)(490)(5)(0.707) = 1039$ นิวตัน/มม.

ความยาวรอยเชื่อมรับแรงใช้งาน = $[180/1.039](2) = 346$ มม.

ความยาวรอยเชื่อมรับแรงประลัย = $[276/1.039]/0.75 = 354$ มม.

เลือกความยาวรอยเชื่อม 360 มม. เชื่อมแต่ละข้างๆละ 180 มม.

ข้อกำหนดของมาตรฐานว.ส.ท. รอยเชื่อมแบบพอกตามยาวที่ปลายของเหล็กแผ่นรับแรงดึง ความยาวแต่ละข้างต้องไม่น้อยกว่าระยะห่างตั้งฉากระหว่างรอยเชื่อม

ตรวจสอบความยาว 180 มม. > 150 มม. ใช้ได้

ข้อกำหนดของมาตรฐาน ว.ส.ท. อัตราส่วนความยาวต่อขนาดรอยเชื่อมต้องไม่มากกว่า 100 กรณีมากกว่าต้องใช้ตัวคูณลดค่าความยาวอัตราส่วน $180/5 = 36 < 100$ ไม่ต้องลดค่า

กำลังรับแรงระบุของรอยเชื่อม = $(360)(1.039) = 374$ กิโลนิวตัน

วิธี ASD กำลังรับของรอยเชื่อม = $374/2 = 187$ กิโลนิวตัน > P_w

วิธี LRFD กำลังประลัยของรอยเชื่อม = $(0.75)(374) = 281$ กิโลนิวตัน > P_u

ตรวจสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นเหล็ก

พื้นที่หน้าตัดสุทธิ $A_n = A_g = 1350 \text{ มม.}^2$

ตัวคูณเชิърแล็ก U จากตารางที่ 2 กรณี 4

$$1.5 W > l > W \quad U = 0.75$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ } A_e = (0.75)(1350) = 1013 \text{ มม.}^2$$

$$\text{กำลังรับแรงดึงครากระบุ } P_n = (0.245)(1350) = 331 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ } P_n = (0.40)(1013) = 405 \text{ กิโลนิวตัน}$$

วิธี ASD กำลังรับแรงดึง = $331/1.67 = 198$ กิโลนิวตัน $> P_w$

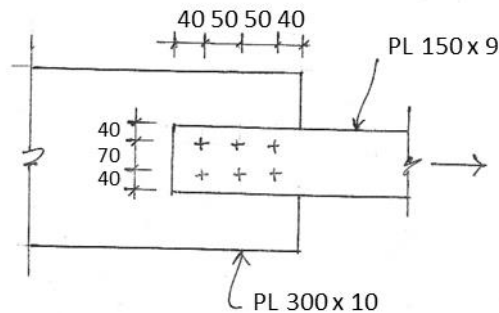
 หรือ กำลังรับแรงดึง = $454/2.0 = 203$ กิโลนิวตัน $> P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย = $(0.9)(331) = 298$ กิโลนิวตัน $> P_u$

 หรือ กำลังประลัย = $(0.75)(405) = 304$ กิโลนิวตัน $> P_u$

ตัวอย่าง 10.6.2 สลักเกลียวยึดเหล็กแผ่นของรอยต่อแบบรับแรงแบกทาน

จงออกแบบรอยต่อ และจำนวนสลักเกลียว M16 ยึดระหว่างปลายแผ่นเหล็ก 150 x 9 กับแผ่นเหล็กประกบกับ 300 x 10 เพื่อรับแรงดึงใช้งานตามแนวแกน 180 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 100 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 80 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM400 สลักเกลียว A325 – N รอยต่อเป็นแบบรับแรงแบกทาน



หน่วยแรงเฉือนระบุของสลักเกลียว = 330 เมกะปาสคาล

หน่วยแรงแบกทานระบุของสลักเกลียว = $1.2F_u = 480$ เมกะปาสคาล

ขนาดรูเจาะระบุแบบมาตรฐานของ M16 = 18 มม.

เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ = $18 + 2 = 20$ มม.

กำลังรับแรงเฉือนระบุของสลักเกลียว 1 ตัว = $(0.33)(\pi/4)(16)^2 = 66$ กิโลนิวตัน

กำลังรับแรงแบกทานระบุของสลักเกลียว 1 ตัว = $2.4dtF_u$ (ค่าสูงสุด)
 $= (2.4)(16)(9)(0.4) = 138$ กิโลนิวตัน

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กแผ่น $A_g = 1350$ มม.²

แรงดึงใช้งาน $P_w = 180$ กิโลนิวตัน

แรงดึงประลัย $P_u = (1.4)(100) + (1.7)(80) = 276$ กิโลนิวตัน

จำนวนสลักเกลียว = $276 / (0.75)(66) = 5.6$ ตัว ใช้ 6 ตัว

ตำแหน่งของสลักเกลียว 6 ตัว แบ่งออกเป็น 2 แถวๆ ละ 3 ตัว

กำลังรับแรงแบกทานระบุของสลักเกลียว 1 แถว = $1.2L_tF_u$
 $= (1.2)[(40-10) + (50-20) + (50-20)](9)(0.4)$
 $= 389$ กิโลนิวตัน

กำลังรับแรงแบกทาน 2 แถว = 778 กิโลนิวตัน < $(138)(6) = 828$ กิโลนิวตัน

วิธี ASD กำลังรับแรงเฉือนระบุของสลักเกลียว = $(6)(66)/2 = 198$ กิโลนิวตัน > P_w

กำลังรับแรงแบกทานระบุของสลักเกลียว = $(778)/2 = 389$ กิโลนิวตัน > P_w

วิธี LRFD กำลังประลัยรับแรงเฉือนระบุของสลักเกลียว = $(0.75)(396) = 297$ กิโลนิวตัน > P_u

กำลังประลัยรับแรงแบกทานระบุของสลักเกลียว = $(0.75)(778) = 584$ กิโลนิวตัน > P_u

ตรวจสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นเหล็ก

พื้นที่หน้าตัดสุทธิ $A_n = 1350 - (2)(18 + 2)(9) = 990$ มม.²

ตัวคูณเซียร์แลก U จากตารางที่ 3.1 กรณี $1 < U \leq 1.0$

พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ $A_e = (1.0)(990) = 990 \text{ มม.}^2$

กำลังรับแรงดึงครากระบุ $P_n = (0.245)(1350) = 331 \text{ กิโลนิวตัน}$

กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ $P_n = (0.40)(990) = 396 \text{ กิโลนิวตัน}$

วิธี ASD กำลังรับแรงดึง $= 331/1.67 = 198 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

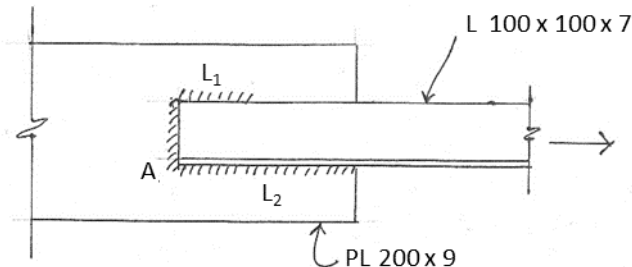
 หรือ กำลังรับแรงดึง $= 396/2.0 = 198 \text{ กิโลนิวตัน} > P_w$

วิธี LRFD กำลังประลัย $= (0.9)(331) = 298 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

 หรือ กำลังประลัย $= (0.75)(396) = 297 \text{ กิโลนิวตัน} > P_u$

ตัวอย่าง 10.6.3 รอยเชื่อมแบบพอกยึดปลายเหล็กฉากเดียว

จงออกแบบรอยเชื่อมแบบพอกของรอยต่อระหว่างปลายเหล็กฉากเดี่ยว L 100 x 100 x 7 กับแผ่นเหล็กประกบเพื่อรับแรงดึงใช้งานตามแนวกแน 200 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 140 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 60 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM400 ลวดเชื่อมชนิด E70



คุณสมบัติเหล็กฉาก L 100 x 100 x 7

$$A_g = 1362 \text{ มม.}^2 \quad C_x = C_y = 27.1 \text{ มม.} \quad r_x = r_y = 30.8 \text{ มม.}$$

$$\text{แรงดึงใช้งาน } P_w = 200 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{แรงดึงประลัย } P_u = (1.4)(140) + (1.7)(60) = 298 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อม} = 5 \text{ มม.}$$

$$\text{ขนาดใหญ่สุดของรอยเชื่อม} = 7 - 2 = 5 \text{ มม. ใช้ขนาด 5 มม.}$$

$$\text{กำลังรับแรงเฉือน 5 มม.} = (0.6)(490)(5)(0.707) = 1039 \text{ นิวตัน/มม.}$$

$$\text{กำลังประลัยเหล็กฉาก} = (0.9)(0.245)(1362) = 300 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ} = (0.85)(1362) = 1158 \text{ มม.}^2$$

$$\text{กำลังประลัยเหล็กฉาก} = (0.75)(0.4)(1158) = 347 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{กำลังรอยเชื่อมปลายเหล็กฉาก} = (0.75)(1.039)(100) = 78 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์รอบจุด A ความยาว } L_1 &= [(347)(27.1) - (78)(50)] / (0.75)(1.039)(100) \\ &= 71 \text{ มม. ใช้ 80 มม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาวรอยเชื่อม } L_2 &= [347 - 78 - (0.75)(1.039)(80)] / (0.75)(1.039) \\ &= 265 \text{ มม. ใช้ 270 มม.} \end{aligned}$$

$$\text{ตรวจสอบค่า } U, \quad U = 1 - 27.1/270 = 0.90 > 0.85 \text{ ใช้ได้}$$

ตรวจสอบการวิบัติแบบเฉือนนอกประกอบด้วยแรงเฉือนและแรงดึง

$$\text{แรงเฉือน} = (0.6)(0.40)(2)(270)(9) = 1166 \text{ กิโลนิวตัน}$$

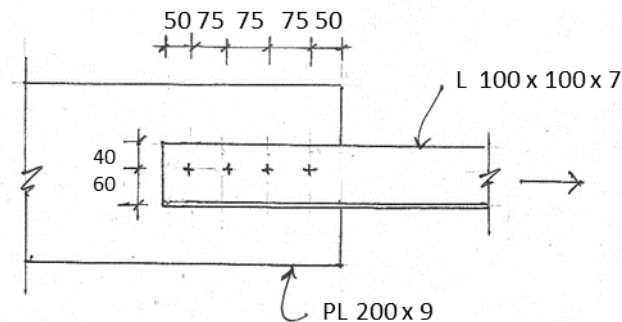
$$\text{แรงดึง} = (1.0)(0.40)(100)(7) = 280 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{ค่าสูงสุดแรงเฉือน} = (0.6)(0.245)(2)(270)(9) = 714 \text{ กิโลนิวตัน} < 1166 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{การวิบัติแบบเฉือนนอก} = (0.75)(714 + 280) = 745 \text{ กิโลนิวตัน} > 298 \text{ กิโลนิวตัน}$$

ตัวอย่าง 10.6.4 สลักเกลียวยึดปลายเหล็กฉากเดี่ยว

จงออกแบบรอยต่อและจำนวนสลักเกลียว M20 ยึดระหว่างปลายเหล็กฉากเดี่ยว L 100 x 100 x 7 กับแผ่นเหล็กประทับเพื่อรับแรงดึงใช้งานตามแนวแกน 200 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 140 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 60 กิโลนิวตัน) โดยวิธี ASD และ LRFD กำหนดเหล็ก SM400 สลักเกลียว A325 – N รอยต่อเป็นแบบรับแรงแบกทานและแบบเลื่อนวิฤติ



รอยต่อแบบรับแรงแบกทาน

หน่วยแรงเฉือนระบุของสลักเกลียว	= 330 เมกะปาสคาล
หน่วยแรงแบกทานระบุของสลักเกลียว	= $1.2F_u = 480$ เมกะปาสคาล
ขนาดรูเจาะระบุแบบมาตรฐานของ M20	= 22 มม.
เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ	= $22 + 2 = 24$ มม.
กำลังรับแรงเฉือนระบุของสลักเกลียว 1 ตัว	= $(0.33)(\pi/4)(20)^2 = 103$ กิโลนิวตัน
กำลังรับแรงแบกทานระบุของสลักเกลียว 1 ตัว	= $(2.4)(20)(7)(0.4) = 134$ กิโลนิวตัน
วิธี ASD กำลังรับแรงใช้งานของสลักเกลียว	= $103/2 = 51.5$ กิโลนิวตัน
วิธี LRF กำลังรับแรงประลัยของสลักเกลียว	= $(0.75)(103) = 77.2$ กิโลนิวตัน
จากตัวอย่าง 12.1.2 แรงดึงใช้งาน P_w	= 200 กิโลนิวตัน
แรงดึงประลัย P_u	= 298 กิโลนิวตัน
กำลังรับแรงดึงครากระบุ P_n	= 334 กิโลนิวตัน
กำลังรับแรงดึงประลัยระบุ P_n	= 420 กิโลนิวตัน
จำนวนสลักเกลียวรับแรงใช้งาน	= $200/51.5 = 4$ ตัว
จำนวนสลักเกลียวรับแรงประลัย	= $298/77.2 = 4$ ตัว
จัดตำแหน่งสลักเกลียวใช้ระยะตามรูป	

ตรวจสอบกำลังของสลักเกลียว A325 – N จำนวน 4 ตัว

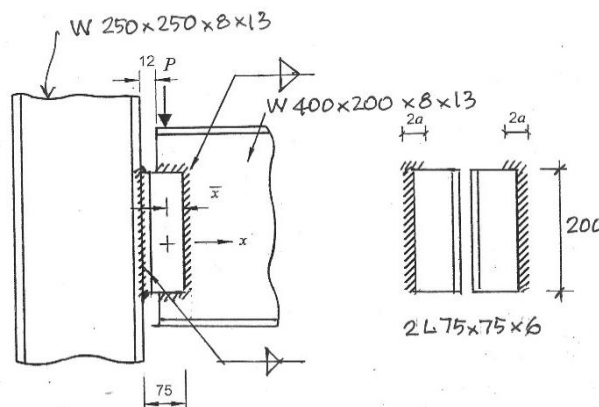
กำลังรับแรงเฉือนระบุ	= $(103)(4) = 412$ กิโลนิวตัน
กำลังรับแรงเฉือนประลัยระบุ	= $(0.75)(412) = 309$ กิโลนิวตัน > P_u
กำลังรับแรงแบกทานระบุ	= $(1.2)[(50 - 12) + (2)(75 - 24)](7)(4)$
	= 470 กิโลนิวตัน < $(134)(4) = 536$ กิโลนิวตัน

ดังนั้น ใช้สลักเกลียว A325 – N จำนวน 4 ตัว จัดระยะตามรูป

ร่อยต่อแบบเลื่อนวิกฤต

$$\begin{aligned}\text{กำลังต้านทานการเลื่อนของสลักเกลียว 1 ตัว} &= \phi \mu D_u n_f T_b n_s \\ &= (1.0)(0.5)(1.13)(1.0)(142)(1) \\ &= 80 \text{ กิโลนิวตัน/ตัว} \\ \text{จำนวนสลักเกลียว} &= 298/80 = 4 \text{ ตัว} \\ \text{ดังนั้น ใช้สลักเกลียว A325 – N จำนวน 4 ตัว จัดระยะตามรูป}\end{aligned}$$

จึงออกแบบรอยต่อแบบธรรมดาระหว่างคาน-เสา เพื่อรับแรงปฏิกิริยาใช้งานจากคาน 80 กิโลนิวตัน (น้ำหนักคงที่ 40 กิโลนิวตัน และน้ำหนักจร 40 กิโลนิวตัน) รอยต่อประกอบด้วยเหล็กฉากคู่เชื่อมติดกับเอวคาน และปีกเสา โดยรอยเชื่อมแบบพอกแสดงในรูปกำหนดเหล็ก SM400 ลวดเชื่อม E70 วิธีออกแบบ ASD และ LRFD



แรงเฉือนใช้งาน $P_w = 80$ กิโลนิวตัน
 แรงเฉือนประลัย $P_u = (1.4)(40) + (1.7)(40) = 124$ กิโลนิวตัน
 เลือกขนาดเหล็กฉาก L 75 x 75 ความยาว $= d - b_f = 400 - 200 = 200$ มม.
 ตรวจสอบความยาว 20 มม. และสมมติความหนา 6 มม.

กำลังรับแรงเฉือนใช้งานของขาเหล็กฉาก = $353/1.67 = 211$ กิโลนิวตัน $> P_w$
กำลังรับแรงเฉือนประลัยของขาเหล็กฉาก = $(0.75)(353) = 264$ กิโลนิวตัน $> P_u$

กำลังรับแรงเฉือน 5 มม. $\text{ประลัย} = (0.9)(1039) = 935 \text{ นิวตัน/มม.}$

กำลังประลัยของรอยเชื่อมที่ต้องการ = $(124)(1000)/652 = 190$ นิวตัน/มม. < 935 นิวตัน/มม.

หน้า 149

รอยเชื่อมรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดเบื้องต้น = $75 - 12.2 = 62.8$ มม.

โมเมนต์ใช้งานกระทำต่อรอยเชื่อม = $(80)(62.8) = 5024$ กิโลนิวตัน - มม.

โมเมนต์ประลัยกระทำต่อรอยเชื่อม = $(124)(62.8) = 7787$ กิโลนิวตัน - มม.

$$\begin{aligned}\text{โมดูลัสรูปตัดของรอยเชื่อม} &= (2)(4bd + d^2)/6 \\ &= (2)[(4)(10)(200) + (200)^2]/6 = 16000 \text{ มม.}^3\end{aligned}$$

$$\text{วิธี ASD กำลังรับแรงเฉือนของรอยเชื่อม} = \frac{(80)(1000)}{(2)(10 + 200)} = 190 \text{ นิวตัน/มม.} \quad \sqrt{(295)^2 + (487)^2}$$

$$\text{กำลังรับแรงดัดของรอยเชื่อม} = (5024)(1000)/16000 = 314 \text{ นิวตัน/มม.}$$

$$\text{แรงลัพธ์ของกำลังรอยเชื่อม} = \sqrt{(190)^2 + (314)^2} = 367 \text{ นิวตัน/มม.} < 622 \text{ นิวตัน/มม.}$$

$$\text{วิธี LRFD กำลังแรงเฉือนของรอยเชื่อม} = \frac{(124)(1000)}{(2)(10 + 200)} = 295 \text{ นิวตัน/มม.}$$

$$\text{กำลังแรงดัดของรอยเชื่อม} = (7787)(1000)/16000 = 487 \text{ นิวตัน/มม.}$$

$$\text{แรงลัพธ์ของกำลังรอยเชื่อม} = \sqrt{(295)^2 + (487)^2} = 569 \text{ นิวตัน/มม.} < 935 \text{ นิวตัน/มม.}$$

ดังนั้น รอยต่อใช้ขนาดเหล็กฉาก 2L 75 x 75 x 6 ยาว 200 มม. ขาเชื่อม 5 มม.

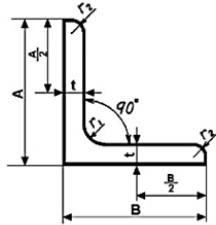
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

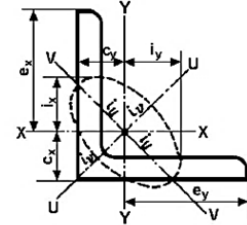
คุณสมบัติหน้าตัดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
ตามมาตรฐาน มอก 1227-2558

ตารางที่ 2 ขนาดและความหนาของเหล็กฉากเท่ากัน

(ข้อ 4.1)

โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$ รัศมีจอยเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

$$Z_x = \frac{I_x}{A - C_x}$$

$$Z_y = \frac{I_y}{B - C_y}$$


ขนาด mm	ความ หนา		รัศมีส่วน โค้ง mm	พื้นที่ หน้าตัด cm ²	มวลต่อ เมตร kg/m	ระยะจาก ศูนย์กลาง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴				รัศมีจอยเรชัน cm				มอดุลัสภาคตัด cm ³	
	t	r ₁	r ₂			C _x	C _y	I _x	I _y	I _u สูงสุด	I _v ต่ำสุด	i _x	i _y	i _u สูงสุด	i _v ต่ำสุด	Z _x	Z _y
25 x 25	3	4	2	1.427	1.12	0.719	0.719	0.797	0.797	1.26	0.332	0.747	0.747	0.940	0.483	0.448	0.448
	5	3.5	2.4	2.26	1.77	0.80	0.80	1.20	1.20	1.89	0.52	0.73	0.73	0.91	0.48	0.71	0.71
30 x 30	3	4	2	1.727	1.36	0.844	0.844	1.42	1.42	2.26	0.590	0.908	0.908	1.14	0.585	0.661	0.661
	5	5	2.4	2.78	2.18	0.92	0.92	2.16	2.16	3.41	0.92	0.88	0.88	1.11	0.57	1.04	1.04
40 x 40	3	4.5	2	2.336	1.83	1.09	1.09	3.53	3.53	5.60	1.46	1.23	1.23	1.55	0.790	1.21	1.21
	4	6	2.4	3.08	2.42	1.12	1.12	4.47	4.47	7.09	1.85	1.21	1.21	1.52	0.78	1.55	1.55
	5	4.5	3	3.755	2.95	1.17	1.17	5.42	5.42	8.59	2.25	1.20	1.20	1.51	0.774	1.91	1.91
	6	6	2.4	4.48	3.52	1.20	1.20	6.31	6.31	9.98	2.65	1.19	1.19	1.49	0.77	2.26	2.26
45 x 45	4	6.5	3	3.492	2.74	1.24	1.24	6.50	6.50	10.3	2.70	1.36	1.36	1.72	0.880	2.00	2.00
	5	6.5	3	4.302	3.38	1.28	1.28	7.91	7.91	12.5	3.29	1.36	1.36	1.71	0.874	2.46	2.46
50 x 50	3	7	2.4	2.96	2.33	1.31	1.31	6.86	6.86	10.8	2.88	1.52	1.52	1.91	0.99	1.86	1.86
	4	6.5	3	3.892	3.06	1.37	1.37	9.06	9.06	14.4	3.76	1.53	1.53	1.92	0.983	2.49	2.49
	5	6.5	3	4.802	3.77	1.41	1.41	11.1	11.1	17.5	4.58	1.52	1.52	1.91	0.976	3.08	3.08
	6	6.5	4.5	5.644	4.43	1.44	1.44	12.6	12.6	20.0	5.23	1.50	1.50	1.88	0.963	3.55	3.55
60 x 60	4	6.5	3	4.692	3.68	1.61	1.61	16.0	16.0	25.4	6.62	1.85	1.85	2.33	1.19	3.66	3.66
	5	6.5	3	5.802	4.55	1.66	1.66	19.6	19.6	31.2	8.09	1.84	1.84	2.32	1.18	4.52	4.52
65 x 65	5	8.5	3	6.367	5.00	1.77	1.77	25.3	25.3	40.1	10.5	1.99	1.99	2.51	1.28	5.35	5.35
	6	8.5	4	7.527	5.91	1.81	1.81	29.4	29.4	46.6	12.2	1.98	1.98	2.49	1.27	6.26	6.26
	8	8.5	6	9.761	7.66	1.88	1.88	36.8	36.8	58.3	15.3	1.94	1.94	2.44	1.25	7.96	7.96
70 x 70	6	8.5	4	8.127	6.38	1.93	1.93	37.1	37.1	58.9	15.3	2.14	2.14	2.69	1.37	7.33	7.33
75 x 75	6	8.5	4	8.727	6.85	2.06	2.06	46.1	46.1	73.2	19.0	2.30	2.30	2.90	1.48	8.47	8.47
	9	8.5	6	12.69	9.96	2.17	2.17	64.4	64.4	102	26.7	2.25	2.25	2.84	1.45	12.1	12.1
	12	8.5	6	16.56	13.0	2.29	2.29	81.9	81.9	129	34.5	2.22	2.22	2.79	1.44	15.7	15.7
80 x 80	6	8.5	4	9.327	7.32	2.18	2.18	56.4	56.4	89.6	23.2	2.46	2.46	3.10	1.58	9.70	9.70

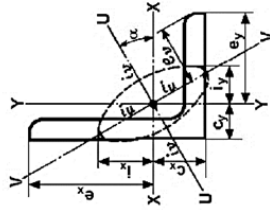
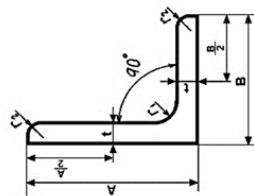
* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 2 ขนาดและความหนาของเหล็กฉากขาเท่ากัน (ต่อ)

ขนาด mm	ความ หนา mm	รัศมีส่วน โค้ง mm		พื้นที่ หน้าตัด cm ²	มวลต่อ เมตร kg/m	ระยะจาก ศูนย์กลาง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴				รัศมีจเรชัน cm				มอดุลัสภาค ตัด	
A x B	t	r ₁	r ₂	a		Cx	Cy	I _x	I _y	I _u สูงสุด	I _v ต่ำสุด	i _x	i _y	i _u สูงสุด	i _v ต่ำสุด	Z _x	Z _y
90 x 90	6	10	5	10.55	8.28	2.42	2.42	80.7	80.7	128	33.4	2.77	2.77	3.48	1.78	12.3	12.3
	7	10	5	12.22	9.59	2.46	2.46	93.0	93.0	148	38.8	2.76	2.76	3.48	1.77	14.2	14.2
	10	10	7	17.00	13.3	2.57	2.57	125	125	199	51.7	2.71	2.71	3.42	1.74	19.5	19.5
	12	11	4.8	20.3	15.9	2.66	2.66	148	148	234	61.7	2.7	2.7	3.4	1.75	23.3	23.3
	13	10	7	21.71	17.0	2.69	2.69	156	156	248	65.3	2.68	2.68	3.38	1.73	24.8	24.8
100 x 100	7	10	5	13.62	10.7	2.71	2.71	129	129	205	53.2	3.08	3.08	3.88	1.98	17.7	17.7
	10	10	7	19.00	14.9	2.82	2.82	175	175	278	72.0	3.04	3.04	3.83	1.95	24.4	24.4
	12	12	4.8	22.7	17.8	2.90	2.90	207	207	328	85.7	3.02	3.02	3.8	1.94	29.1	29.1
	13	10	7	24.31	19.1	2.94	2.94	220	220	348	91.1	3.00	3.00	3.78	1.94	31.1	31.1
120 x 120	8	12	5	18.76	14.7	3.24	3.24	258	258	410	106	3.71	3.71	4.67	2.38	29.5	29.5
130 x 130	9	12	6	22.74	17.9	3.53	3.53	366	366	583	150	4.01	4.01	5.06	2.57	38.7	38.7
	12	12	8.5	29.76	23.4	3.64	3.64	467	467	743	192	3.96	3.96	5.00	2.54	49.9	49.9
	15	12	8.5	36.75	28.8	3.76	3.76	568	568	902	234	3.93	3.93	4.95	2.53	61.5	61.5
150 x 150	12	14	7	34.77	27.3	4.14	4.14	740	740	1 180	304	4.61	4.61	5.82	2.96	68.1	68.1
	15	14	10	42.74	33.6	4.24	4.24	888	888	1 410	365	4.56	4.56	5.75	2.92	82.6	82.6
	19	14	10	53.38	41.9	4.40	4.40	1 090	1 090	1 730	451	4.52	4.52	5.69	2.91	103	103
175 x 175	12	15	11	40.52	31.8	4.73	4.73	1 170	1 170	1 860	480	5.38	5.38	6.78	3.44	91.8	91.8
	15	15	11	50.21	39.4	4.85	4.85	1 440	1 440	2 290	589	5.35	5.35	6.75	3.42	114	114
200 x 200	15	17	12	57.75	45.3	5.46	5.46	2 180	2 180	3 470	891	6.14	6.14	7.75	3.93	150	150
	20	17	12	76.00	59.7	5.67	5.67	2 820	2 820	4 490	1 160	6.09	6.09	7.68	3.90	197	197
	25	17	12	93.75	73.6	5.86	5.86	3 420	3 420	5 420	1 410	6.04	6.04	7.61	3.88	242	242
250 x 250	25	24	12	119.4	93.7	7.10	7.10	6 950	6 950	11 000	2 860	7.63	7.63	9.62	4.90	388	388
	35	24	18	162.6	128	7.45	7.45	9 110	9 110	14 400	3 790	7.49	7.49	9.42	4.83	519	519

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 3 ขนาดและความหนาของเหล็กฉากขาไม่เท่ากัน
(ข้อ 4.1)



โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีจอยรัศมี $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดูลัสภาคตัด $Zx = \frac{Ix}{A - Cx}$

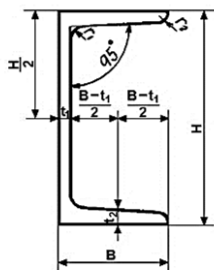
$Zy = \frac{Iy}{B - Cy}$

ขนาด mm	ความ หนา mm	รัศมีส่วน โค้ง	พื้นที่ หน้าตัด cm ²	มวลต่อ เมตร kg/m	ระยะจาก ศูนย์กลาง		โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴				รัศมีจอยรัศมี cm				tan α	มอดูลัสภาคตัด cm ³		
					Cx	Cy	Ix	Iy	Iu สูงสุด	Iv ต่ำสุด	ix	iy	iu สูงสุด	iv ต่ำสุด		Zx	Zy	
A x B	t	r1	r2	a														
	9	8.5	6	14.04	11.0	2.75	2.00	109	68.1	143	34.1	2.78	2.20	3.19	1.56	0.676	17.4	12.4
	7	10	5	11.87	9.32	3.06	1.83	118	56.9	144	30.8	3.15	2.19	3.49	1.61	0.548	17.0	10.0
100 x 75	10	10	7	16.50	13.0	3.17	1.94	159	76.1	194	41.3	3.11	2.15	3.43	1.58	0.543	23.3	13.7
	7	10	5	13.62	10.7	4.10	1.64	219	60.4	243	36.4	4.01	2.11	4.23	1.64	0.362	26.1	10.3
125 x 75	10	10	7	19.00	14.9	4.22	1.75	299	80.8	330	49.0	3.96	2.06	4.17	1.61	0.357	36.1	14.1
	13	10	7	24.31	19.1	4.35	1.87	376	101	415	61.9	3.93	2.04	4.13	1.60	0.352	46.1	17.9
125 x 90	10	10	7	20.50	16.1	3.95	2.22	318	138	380	76.2	3.94	2.59	4.30	1.93	0.505	37.2	20.3
	13	10	7	26.26	20.6	4.07	2.34	401	173	477	96.3	3.91	2.57	4.26	1.91	0.501	47.5	25.9
150 x 90	9	12	6	20.94	16.4	4.95	1.99	485	133	537	80.4	4.81	2.52	5.06	1.96	0.361	48.2	19.0
	12	12	8.5	27.36	21.5	5.07	2.10	619	167	685	102	4.76	2.47	5.00	1.93	0.357	62.3	24.3
150 x 100	9	12	6	21.84	17.1	4.76	2.30	502	181	579	104	4.79	2.88	5.15	2.18	0.439	49.1	23.5
	12	12	8.5	28.56	22.4	4.88	2.41	642	228	738	132	4.74	2.83	5.09	2.15	0.435	63.4	30.1
	15	12	8.5	35.25	27.7	5.00	2.53	782	276	897	161	4.71	2.80	5.04	2.14	0.431	78.2	37.0

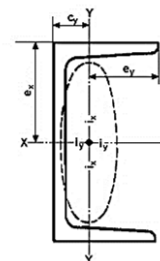
* ค่ามอดูลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 4 ขนาดและความหนาของเหล็กทรงน้ำ

(ข้อ 4.1)

โมเมนต์ความเฉื่อย $I = aI^2$ รัศมีจอร์ชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - H/2}$
 $Z_y = \frac{I_y}{B - C_y}$

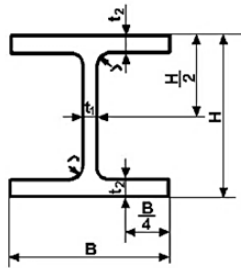


ขนาด mm	ความหนา mm		รัศมีส่วนโค้ง mm		พื้นที่หน้าตัด cm ²	มวลต่อเมตร kg/m	ระยะจากศูนย์กลาง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴		รัศมีจอร์ชัน cm		มอดุลัสภาคตัด cm ³	
H x B	t1	t2	r1	r2	a		Cx	Cy	Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
50 x 25	5	6	6	3	4.92	3.86	0	0.81	16.8	2.49	1.85	0.71	6.73	1.48
75 x 40	5	7	8	4	8.818	6.92	0	1.28	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100 x 50	5	7.5	8	4	11.92	9.36	0	1.54	188	26.0	3.97	1.48	37.6	7.52
125 x 65	6	8	8	4	17.11	13.4	0	1.90	424	61.8	4.98	1.90	67.8	13.4
150 x 75	6.5	10	10	5	23.71	18.6	0	2.28	861	117	6.03	2.22	115	22.4
	9	12.5	15	7.5	30.59	24.0	0	2.31	1 050	147	5.86	2.19	140	28.3
180 x 75	7	10.5	11	5.5	27.20	21.4	0	2.13	1 380	131	7.12	2.19	153	24.3
200 x 80	7.5	11	12	6	31.33	24.6	0	2.21	1 950	168	7.88	2.32	195	29.1
200 x 90	8	13.5	14	7	38.65	30.3	0	2.74	2 490	277	8.02	2.68	249	44.2
250 x 90	9	13	14	7	44.07	34.6	0	2.40	4 180	294	9.74	2.58	334	44.5
	11	14.5	17	8.5	51.17	40.2	0	2.40	4 680	329	9.56	2.54	374	49.9
300 x 90	9	13	14	7	48.57	38.1	0	2.22	6 440	309	11.5	2.52	429	45.7
	10	15.5	19	9.5	55.74	43.8	0	2.34	7 410	360	11.5	2.54	494	54.1
	12	16	19	9.5	61.90	48.6	0	2.28	7 870	379	11.3	2.48	525	56.4
380 x 100	10.5	16	18	9	69.39	54.5	0	2.41	14 500	535	14.5	2.78	763	70.5
	13	16.5	18	9	78.96	62.0	0	2.33	15 600	565	14.1	2.67	823	73.6
	13	20	24	12	85.71	67.3	0	2.54	17 600	655	14.3	2.76	926	87.8

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 5 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวเอช

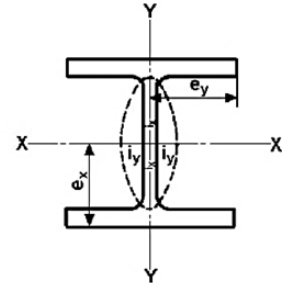
(ข้อ 4.1)



โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีจายเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - H/2}$
 $Z_y = \frac{I_y}{B - B/2}$



ขนาด	ความหนา		รัศมีส่วนโค้ง	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีจายเรชัน		มอดุลัสภาคตัด	
mm	mm		mm	cm ²	kg/m	cm ⁴		cm		cm ³	
H x B	t1	t2	r	a		Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
125 x 60	6	8	9	16.84	13.2	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
125 x 125	6.5	9	10	30.31	23.8	847	293	5.29	3.11	136	47.0
148 x 100	6	9	11	26.84	21.1	1 020	151	6.17	2.37	138	30.1
150 x 75	5	7	8	17.85	14.0	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
150 x 150	7	10	11	40.14	31.5	1 640	563	6.39	3.75	219	75.1
175 x 90	5	8	9	23.04	18.1	1 210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
175 x 175	7.5	11	12	51.21	40.2	2 880	984	7.50	4.38	330	112
194 x 150	6	9	13	39.01	30.6	2 690	507	8.30	3.61	277	67.6
198 x 99	4.5	7	11	23.18	18.2	1 580	114	8.26	2.21	160	23.0
200 x 100	5.5	8	11	27.16	21.3	1 840	134	8.24	2.22	184	26.8
200 x 200	8	12	13	63.53	49.9	4 720	1 600	8.62	5.02	472	160
200 x 204	12	12	13	71.53	56.2	4 980	1 700	8.35	4.88	498	167
208 x 202	10	16	13	83.69	65.7	6 530	2 200	8.83	5.13	628	218
244 x 175	7	11	16	56.24	44.1	6 120	984	10.4	4.18	502	113
244 x 252	11	11	16	82.06	64.4	8 790	2 940	10.3	5.98	720	233
248 x 124	5	8	12	32.68	25.7	3 540	255	10.4	2.79	285	41.1
248 x 249	8	13	16	84.70	66.5	9 930	3 350	10.8	6.29	801	269
250 x 125	6	9	12	37.66	29.6	4 050	294	10.4	2.79	324	47.0
250 x 250	9	14	16	92.18	72.4	10 800	3 650	10.8	6.29	867	292
250 x 255	14	14	16	104.7	82.2	11 500	3 880	10.5	6.09	919	304

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 5 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวเอช (ต่อ)

ขนาด	ความหนา		รัศมีส่วนโค้ง	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีไจเรชัน		มอดุลัสภาคตัด	
mm	mm		mm	cm ²	kg/m	cm ⁴		cm		cm ³	
H x B	t1	t2	r	a		Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
294 x 200	8	12	18	72.38	56.8	11 300	1 600	12.5	4.71	771	160
294 x 302	12	12	18	107.7	84.5	16 900	5 520	12.5	7.16	1 150	365
298 x 149	5.5	8	13	40.80	32.0	6 320	442	12.4	3.29	424	59.3
298 x 201	9	14	18	83.36	65.4	13 300	1 900	12.6	4.77	893	189
298 x 299	9	14	18	110.8	87.0	18 800	6 240	13.0	7.51	1 270	417
300 x 150	6.5	9	13	46.78	36.7	7 210	508	12.4	3.29	481	67.7
300 x 300	10	15	18	119.8	94.0	20 400	6 750	13.1	7.51	1 360	450
300 x 305	15	15	18	134.8	106	21 500	7 100	12.6	7.26	440	466
304 x 301	11	17	18	134.8	106	23 400	7 730	13.2	7.57	1 540	514
336 x 249	8	12	20	88.15	69.2	18 500	3 090	14.5	5.92	1 100	248
338 x 351	13	13	20	135.3	106	28 200	9 380	14.4	8.33	1 670	534
340 x 250	9	14	20	101.5	79.7	21 700	3 650	14.6	6.00	1 280	292
344 x 348	10	16	20	146.0	115	33 300	11 200	15.1	8.78	1 940	646
344 x 354	16	16	20	166.6	131	35 300	11 800	14.6	8.43	2 050	669
346 x 174	6	9	14	52.68	41.4	11 100	792	14.5	3.88	611	91.0
350 x 175	7	11	14	63.14	49.6	13 600	984	14.7	3.95	775	112
350 x 350	12	19	20	173.9	137	40 300	13 600	15.2	8.84	2 300	776
350 x 357	19	19	20	198.4	156	42 800	14 400	14.7	8.53	2 450	809
354 x 176	8	13	14	73.68	57.8	16 100	1 180	14.8	4.01	909	134
386 x 299	9	14	22	120.1	94.3	33 700	6 240	16.7	7.21	1 740	418
388 x 402	15	15	22	178.5	140	49 000	16 300	16.6	9.54	2 520	809
390 x 300	10	16	22	136.0	107	38 700	7 210	16.9	7.28	1 980	481
394 x 398	11	18	22	186.8	147	56 100	18 900	17.3	10.1	2 850	951
396 x 199	7	11	16	72.16	56.6	20 000	1 450	16.7	4.48	1 010	145
400 x 200	8	13	16	84.12	66.0	23 700	1 740	16.8	4.54	1 190	174
400 x 400	13	21	22	218.7	172	66 600	22 400	17.5	10.1	3 330	1 120
400 x 408	21	21	22	250.7	197	70 900	23 800	16.8	9.75	3 540	1 170
404 x 201	9	15	16	96.16	75.5	27 500	2 030	16.9	4.60	1 360	202
414 x 405	18	28	22	295.4	232	92 800	31 000	17.7	10.2	4 480	1 530
428 x 407	20	35	22	360.7	283	119 000	39 400	18.2	10.4	5 570	1 930
434 x 299	10	15	24	135.0	106	46 800	6 690	18.6	7.04	2 160	448
440 x 300	11	18	24	157.4	124	56 100	8 110	18.9	7.18	2 550	541
446 x 199	8	12	18	84.30	66.2	28 700	1 580	18.5	4.33	1 290	159
446 x 302	13	21	24	184.3	145	66 400	9 660	19.0	7.24	2 980	639

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

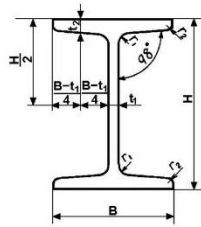
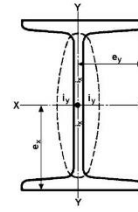
ตารางที่ 5 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวเอช (ต่อ)

ขนาด mm	ความหนา mm		รัศมีส่วน โค้ง mm	พื้นที่ หน้าตัด cm ²	มวลต่อ เมตร kg/m	โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴		รัศมีจายเรชัน cm		มอดุลัสภาคตัด cm ³	
H x B	t ₁	t ₂	r	a		I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
450 x 200	9	14	18	96.76	76.0	33 500	1 870	18.6	4.40	1 490	187
456 x 201	10	17	18	113.3	88.9	40 400	2 310	18.9	4.51	1 770	230
458 x 417	30	50	22	528.6	415	187 000	60 500	18.8	10.7	8 170	2 900
482 x 300	11	15	26	145.5	114	60 400	6 760	20.4	6.82	2 500	451
488 x 300	11	18	26	163.5	128	71 000	8 110	20.8	7.04	2 910	541
494 x 302	13	21	26	191.4	150	83 800	9 660	20.9	7.10	3 390	640
496 x 199	9	14	20	101.3	79.5	41 900	1 840	20.3	4.27	1 690	185
498 x 432	45	70	22	770.1	605	298 000	94 400	19.7	11.1	12 000	4 370
500 x 200	10	16	20	114.2	89.6	47 800	2 140	20.5	4.33	1 910	214
506 x 201	11	19	20	131.3	103	56 500	2 580	20.7	4.43	2 230	257
582 x 300	12	17	28	174.5	137	103 000	7 670	24.3	6.63	3 530	511
588 x 300	12	20	28	192.5	151	118 000	9 020	24.8	6.85	4 020	601
594 x 302	14	23	28	222.4	175	137 000	10 600	24.9	6.90	4 620	701
596 x 199	10	15	22	120.5	94.6	68 700	1 980	23.9	4.05	2 310	199
600 x 200	11	17	22	134.4	106	77 600	2 280	24.0	4.12	2 590	228
606 x 201	12	20	22	152.5	120	90 400	2 720	24.3	4.22	2 980	271
612 x 202	13	23	22	170.7	134	103 000	3 180	24.6	4.31	3 380	314
692 x 300	13	20	28	211.5	166	172 000	9 020	28.6	6.53	4 980	602
700 x 300	13	24	28	235.5	185	201 000	10 800	29.3	6.78	5 760	722
792 x 300	14	22	28	243.4	191	254 000	9 930	32.3	6.39	6 410	662
800 x 300	14	26	28	267.4	210	292 000	11 700	33.0	6.62	7 290	782
890 x 299	15	23	28	270.9	213	345 000	10 300	35.7	6.16	7 760	688
900 x 300	16	28	28	309.8	243	411 000	12 600	36.4	6.39	9 140	843
912 x 302	18	34	28	364.0	286	498 000	15 700	37.0	6.56	10 900	1 040

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 6 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวไอ

(ข้อ 4.1)

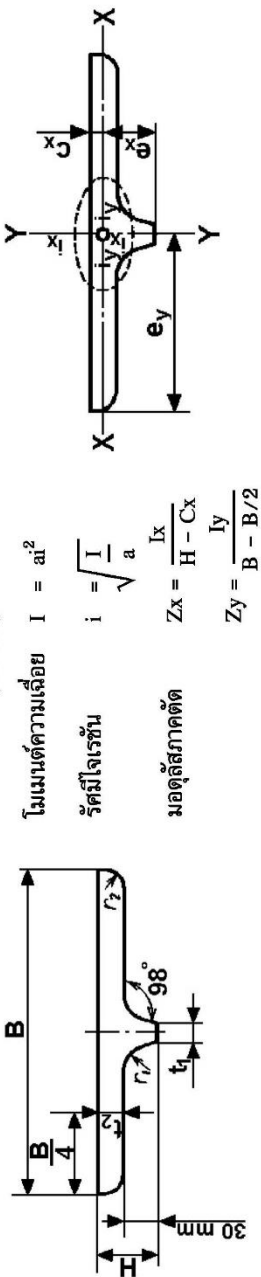
โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$ รัศมีจโรจน์ $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$
 มอดุลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - H/2}$
 $Z_y = \frac{I_y}{B - B/2}$


ขนาด	ความหนา		รัศมีส่วนโค้ง		พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	ระยะจากศูนย์กลาง		โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีจโรจน์		มอดุลัสภาคตัด	
mm	mm		mm		cm ²	kg/m	cm		cm ⁴		cm		cm ³	
H x B	t1	t2	r1	r2	a		Cx	Cy	Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
100 x 75	5	8	7	3.5	16.43	12.9	0	0	281	47.3	4.14	1.70	56.2	12.6
125 x 75	5.5	9.5	9	4.5	20.45	16.1	0	0	538	57.5	5.13	1.68	86.0	15.3
150 x 75	5.5	9.5	9	4.5	21.83	17.1	0	0	819	57.5	6.12	1.62	109	15.3
150 x 125	8.5	14	13	6.5	46.15	36.2	0	0	1 760	385	6.18	2.89	235	61.6
180 x 100	6	10	10	5	30.06	23.6	0	0	1 670	138	7.45	2.14	186	27.5
200 x 100	7	10	10	5	33.06	26.0	0	0	2 170	138	8.11	2.05	217	27.7
200 x 150	9	16	15	7.5	64.16	50.4	0	0	4 460	753	8.34	3.43	446	10.0
250 x 125	7.5	12.5	12	6	48.79	38.3	0	0	5 180	337	10.3	2.63	414	53.9
	10	19	21	10.5	70.73	55.5	0	0	7 310	538	10.2	2.76	585	86.0
300 x 150	8	13	12	6	61.58	48.3	0	0	9 480	588	12.4	3.09	632	78.4
	10	18.5	19	9.5	83.47	65.5	0	0	12 700	886	12.3	3.26	849	118
	11.5	22	23	11.5	97.88	76.8	0	0	14 700	1 080	12.2	3.32	978	143
350 x 150	9	15	13	6.5	74.58	58.5	0	0	15 200	702	14.3	3.07	870	93.5
	12	24	25	12.5	111.1	87.2	0	0	22 400	1 180	14.2	3.26	1 280	158
400 x 150	10	18	17	8.5	91.73	72.0	0	0	24 100	864	16.2	3.07	1 200	115
	12.5	25	27	13.5	122.1	95.8	0	0	31 700	1 240	16.1	3.18	1 580	165
450 x 175	11	20	19	9.5	116.8	91.7	0	0	39 200	1 510	18.3	3.60	1 740	173
	13	26	27	13.5	146.1	115	0	0	48 800	2 020	18.3	3.72	2 170	231
600 x 190	13	25	25	12.5	169.4	133	0	0	98 400	2 460	24.1	3.81	3 280	259
	16	35	38	19	224.5	176	0	0	130 000	3 540	24.1	3.97	4 330	373

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือ ค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 7 ขนาดและความหนาของหลักรูปตัวที

(ข้อ 4.1)



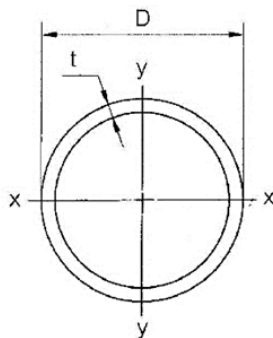
ขนาด	ความกว้าง	ความสูง	ความหนา	รัศมีส่วนโค้ง		พื้นที่หน้าตัด cm ²	มวลต่อเมตร kg/m	ระยะจากศูนย์กลาง		โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีไจเรชั่น		มอดูลัสภาคตัด		
				t ₁	t ₂			r ₁	r ₂	C _x	C _y	I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x
B x t ₂	B	H				a										
150 x 9	150	39	12	9	8	3	18.52	14.5	0.934	0	16.5	254	0.942	3.70	5.55	33.8
150 x 12	150	42	12	12	8	3	23.02	18.1	1.02	0	20.7	338	0.949	3.83	6.52	45.1
150 x 15	150	45	12	15	8	3	27.52	21.6	1.13	0	25.9	423	0.971	3.92	7.70	56.4
200 x 12	200	42	12	12	8	3	29.02	22.8	0.935	0	22.3	799	0.877	5.25	6.83	79.9
200 x 16	200	46	12	16	8	3	37.02	29.1	1.09	0	30.5	1 070	0.907	5.37	8.68	107
200 x 19	200	49	12	19	8	3	43.02	33.8	1.22	0	38.5	1 270	0.946	5.43	10.4	127
200 x 22	200	52	12	22	8	3	49.02	38.5	1.35	0	48.3	1 470	0.993	5.47	12.6	147
250 x 16	250	46	12	16	20	3	46.05	36.2	1.06	0	33.6	2 080	0.854	6.72	9.49	167
250 x 19	250	49	12	19	20	3	53.55	42.0	1.19	0	43.1	2 470	0.897	6.80	11.6	198
250 x 22	250	52	12	22	20	3	61.05	47.9	1.33	0	55.0	2 870	0.949	6.85	14.2	229
250 x 25	250	55	12	25	20	3	68.55	53.8	1.46	0	69.6	3 260	1.01	6.90	17.2	261

* ค่ามอดูลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติหน้าตัดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง
คุณสมบัติหน้าตัดเหล็กรูปพรรณ ตามมาตรฐาน มอก 107-2533

ตารางที่ 1 ชื่อขนาด มิติ และมวลต่อเมตรของเหล็กกลวงแบบกลม
(ข้อ 3.1)

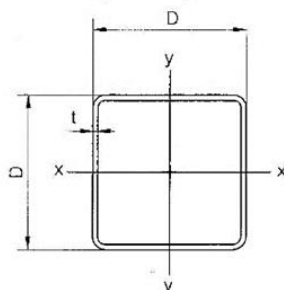


ชื่อขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก mm	ความหนา mm	พื้นที่หน้าตัด cm ²	มวลต่อเมตร kg/m	โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴	มอดุลัสภาคตัด cm ³	รัศมีไจเรชัน cm
	D	t	A		I	Z	r
15	21 .7	2.0	1. 238	0. 972	0. 607	0. 560	0.700
20	27 .2	2.3	1. 799	1. 41	1. 41	1. 03	0.880
25	34 .0	2.3	2. 291	1. 80	2. 89	1. 70	1.12
32	42 .7	2.3	2. 919	2. 29	5. 97	2. 80	1.43
40	48 .6	2.3	3. 345	2. 63	8. 99	3. 70	1.64
		3.2	4. 564	3. 58	11. 8	4. 86	1.61
50	60 .5	3.2	5. 760	4. 52	23. 7	7. 84	2.03
		4.0	7. 100	5. 57	28. 5	9. 41	2.00
65	76 .3	3.2	7. 349	5. 77	49. 2	12. 9	2.59
		4.0	9. 085	7. 13	59. 5	15. 6	2.56
80	89 .1	3.2	8. 636	6. 78	79. 8	17. 9	3.04
		4.0	10. 69	8. 39	97. 0	21. 8	3.01
90	101 .6	3.2	9. 892	7. 76	120	23. 6	3.48
		4.0	12. 26	9. 63	146	28. 8	3.45
100	114 .3	3.2	11. 17	8. 77	172	30. 2	3.93
		4.5	15. 52	12. 2	234	41. 0	3.89
		5.6	19. 12	15. 0	283	49. 6	3.85
125	139 .8	4.5	19. 13	15. 0	438	62. 7	4.79
		6.0	25. 22	19. 8	566	80. 9	4.74
150	165 .2	4.5	22. 72	17. 8	734	88. 9	5.68
		6.0	30. 01	23. 6	952	115	5.63
175	190 .7	5.0	29. 17	22. 9	1 260	132	6.57
		7.0	40. 40	31. 7	1 710	179	6.50
200	216 .3	6.0	39. 61	31. 1	2 190	203	7.44
		8.0	52. 35	41. 1	2 840	263	7.37

-2-

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z ในตาราง คือค่า S ในคู่มือนี้

ตารางที่ 2 ชื่อขนาด มิติ และมวลต่อเมตรของเหล็กกล่องแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส
(ข้อ 3.1)

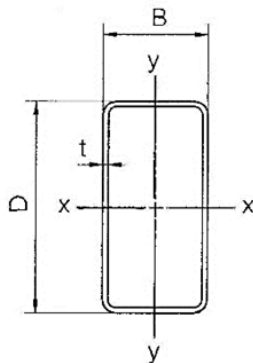


ชื่อขนาด	ความหนา mm	พื้นที่ หน้าตัด cm ²	มวลต่อ เมตร kg/m	โมเมนต์ ความเฉื่อย cm ⁴	มอดูลัส ภาคตัด cm ³	รัศมี ไจเรชัน cm
D × D	t	A		$I_x = I_y$	$Z_x = Z_y$	$r_x = r_y$
25 × 25	2.0	1.737	1.36	1.48	1.19	0.924
	2.3	1.972	1.53	1.61	1.29	0.904
32 × 32	2.3	2.596	2.04	3.71	2.32	1.20
	3.2	3.423	2.69	4.54	2.84	1.15
38 × 38	2.3	3.148	2.47	6.54	3.44	1.44
	3.2	4.191	3.29	8.18	4.30	1.40
50 × 50	2.3	4.252	3.34	15.9	6.34	1.93
	3.2	5.727	4.50	20.4	8.16	1.89
60 × 60	2.3	5.172	4.06	28.3	9.44	2.34
	3.2	7.007	5.50	36.9	12.3	2.30
	4.0	8.548	6.71	43.6	14.5	2.26
75 × 75	3.2	8.927	7.01	75.5	20.1	2.91
	4.0	10.948	8.59	90.2	24.1	2.87
90 × 90	3.2	10.85	8.51	135	29.9	3.52
	4.0	13.35	10.48	162	36.0	3.48
	4.5	14.87	11.67	178	39.5	3.46
100 × 100	3.2	12.13	9.52	187	37.5	3.93
	4.0	14.95	11.7	226	45.3	3.89
	4.5	16.67	13.1	249	49.9	3.87
150 × 150	4.5	25.67	20.1	896	120	5.91
	6.0	33.63	26.4	1 150	153	5.84
175 × 175	4.5	30.17	23.7	1 450	166	6.93
	6.0	39.63	31.1	1 860	213	6.86
200 × 200	6.0	45.63	35.8	2 830	283	7.88
	8.0	59.79	46.9	3 620	362	7.78
	9.0	66.67	52.3	3 990	399	7.73
250 × 250	6.0	57.63	45.2	5 670	454	9.92
	8.0	75.79	59.2	7 320	585	9.82
	9.0	84.67	66.5	8 090	647	9.78
300 × 300	6.0	69.63	54.7	9 960	664	12.0
	9.0	102.7	80.6	14 300	956	11.8
	12.0	134.5	106	18 300	1 220	11.7
350 × 350	9.0	120.7	94.7	23 200	1 320	13.9
	12.0	158.5	124	29 800	1 700	13.7

* ค่ามอดูลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

ตารางที่ 3 ชื่อขนาด มิติ และมวลต่อเมตรของเหล็กกล่องแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

(ข้อ 3.1)



ชื่อขนาด	ความหนา	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย		มอดุลัสภาคตัด		รัศมีไจเรชัน	
	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴		cm ³		cm	
D × B	t	A		I _x	I _y	Z _x	Z _y	r _x	r _y
50 × 25	2.3	3.102	2.44	9.31	3.10	3.72	2.48	1.73	1.00
	3.2	4.127	3.24	11.6	3.80	4.65	3.04	1.68	0.960
60 × 30	2.3	3.792	2.98	16.8	5.65	5.61	3.76	2.11	1.22
	3.2	5.087	3.99	21.4	7.08	7.15	4.72	2.05	1.18
75 × 38	2.3	4.850	3.81	34.6	12.0	9.23	6.30	2.67	1.57
	3.2	6.559	5.15	45.0	15.4	12.0	8.09	2.62	1.53
75 × 45	2.3	5.172	4.06	38.9	17.6	10.4	7.82	2.74	1.84
	3.2	7.007	5.50	50.8	22.8	13.5	10.1	2.69	1.80
90 × 45	2.3	5.862	4.60	61.0	20.8	13.6	9.22	3.23	1.88
	3.2	7.967	6.25	80.2	27.0	17.8	12.0	3.17	1.84
100 × 50	3.2	8.927	7.01	112	38.0	22.5	15.2	3.55	2.06
	4.0	10.95	8.59	142	46.7	28.4	18.7	3.55	2.03
	4.5	12.17	9.55	147	48.9	29.3	19.5	3.47	2.00
125 × 50	3.2	10.53	8.26	198	46.7	31.6	18.7	4.33	2.11
	4.0	12.95	10.2	238	55.6	38.0	22.0	4.28	2.07
	4.5	14.42	11.3	261	60.6	41.7	24.2	4.25	2.05
125 × 75	3.2	12.13	9.52	257	117	41.1	31.1	4.60	3.10
	4.0	14.95	11.7	311	141	49.7	37.5	4.56	3.07
	4.5	16.67	13.1	342	155	54.8	41.2	4.53	3.04
150 × 80	4.5	19.37	15.2	563	211	75.0	52.9	5.39	3.30
	6.0	25.23	19.8	710	264	94.7	66.1	5.31	3.24
150 × 100	4.5	21.17	16.6	658	352	87.7	70.4	5.58	4.08
	6.0	27.63	21.7	835	444	111	88.8	5.50	4.01
200 × 100	4.5	25.67	20.1	330	455	133	90.9	7.20	4.21
	6.0	33.63	26.4	700	577	170	115	7.12	4.14

* ค่ามอดุลัสภาคตัด Z_x และ Z_y ในตาราง คือค่า S_x และ S_y ในคู่มือนี้

