รายงานการวิจัย

เรื่อง

การออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับงานอาคารด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

(STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING BY MICROCOMPUTER)

จัดทำโดย

1.นายไชยา สัจจารุ่งเรือง 32-1444 4H

2.นายไพท จุนทะเกาศลย์ 31-1160 4H

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สกุล ห่อวโนทยาน

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา Special Project ปีการศึกษา 2534

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

007723

หน้าอนุมัติ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

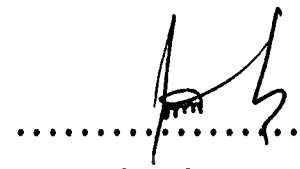
.....

(อาจารย์สุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

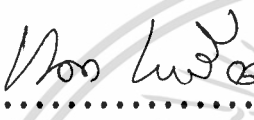
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรรมการวัดผลโครงงาน</u>



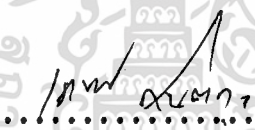
..... กรรมการ

(อาจารย์สุรัตน์ หวังเจริญ)



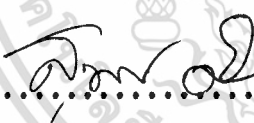
..... กรรมการ

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)



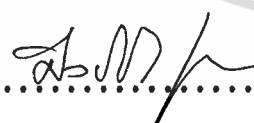
..... กรรมการ

(อาจารย์เกษม อมันตกุล)



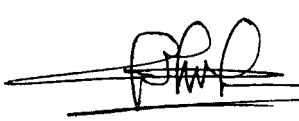
..... กรรมการ

(อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล)



..... กรรมการ

(อาจารย์ศิลป์ชัย จานสุวรรณ)



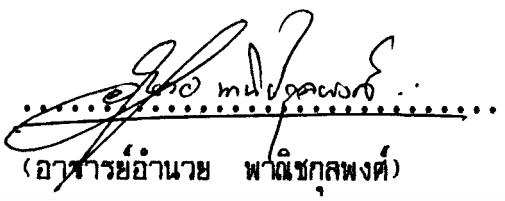
..... กรรมการ

(ผศ.ดิริวัฒน์ ไชยชนะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ)



..... กรรมการ

(อาจารย์อำนวย พาณิชกุลพงศ์)

..... กรรมการ

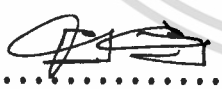
(อาจารย์วิบูลย์ วุฒิญาณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์)



..... กรรมการ

(อาจารย์จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สกุล ห่อวโนทยาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง : (ภาษาไทย) การออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับงานอาคารด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

(ภาษาอังกฤษ) STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING BY MICROCOMPUTER

ชื่อ 1.นายไชยา สัชชารุ่งเรือง 32-1444 4H

2.นายไพท จุนทะเกาศลย์ 31-1160 4H

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สกุล ห่อวโนทยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงาน การออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับอาคารด้วยไมโครคอมพิวเตอร์นี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์สกุล ห่อวโนทยาน ที่ได้กรุณาให้ข้อมูล แนวคิดต่างๆ ให้คำปรึกษา และช่วยตรวจแก้ไขจนทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และ เจ้าหน้าที่ในภาคทุกคนสำหรับกำลังใจที่มีค่าอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ทำให้มีโอกาสได้ศึกษาเล่าเรียน

ผู้จัดทำ

1. นายไชยา สัจจารุ่งเรือง
2. นายไพท จุนทะเกาศลย์

(23/เม.ย./32)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

โครงงานการออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับอาคารด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของวิชา Special Project อันเป็นวิชาในหลักสูตรของนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา เนื้อหาในรายงานฉบับนี้จัดแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

ส่วนแรกคือในบทที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนเกี่ยวกับเหตุผล วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาโครงงานนี้

ส่วนที่สองในบทที่ 2 เป็นส่วนของทฤษฎีที่ใช้นำมาในการออกแบบโปรแกรม

ส่วนสุดท้ายตั้งแต่บทที่ 4-6 เป็นส่วนเกี่ยวกับโปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING ตั้งแต่ผังงานของโปรแกรมจนถึงตัวอย่างผลการใช้งาน

ผู้จัดทำหวังว่าโครงงานนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาเป็นอย่างดี หากมีข้อบกพร่องประการใดก็ขออภัยมา ณ.ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในการทำงานด้านออกแบบมากขึ้น ข้อดีของการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์คือ ให้ผลการออกแบบที่ถูกต้อง และรวดเร็ว ตลอดจนช่วยให้มีความสะดวก และคล่องตัว ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้นำวิธีการออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับงานอาคาร ตามทฤษฎี ELASTIC มาตรฐาน AISC มาเขียนด้วย TURBO PASCAL ในโปรแกรมประกอบ ด้วยการออกแบบหน้าตัดที่เล็กที่สุดที่สามารถรับแรงกระทำที่ผู้ใช้กำหนด โดยการให้ผู้ใช้เลือกชนิดของหน้าตัด แล้วโปรแกรมจะคำนวณหาหน้าตัดที่เหมาะสมให้ และการตรวจสอบหน้าตัดว่าจะสามารถรับแรงกระทำตามที่ต้องการได้หรือไม่ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึง การออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดตามแกน การออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดัดและแรงอัดร่วมกัน การออกแบบคานช่วงเดียว การออกแบบคานต่อเนื่อง และการตรวจสอบรอยเชื่อม ในการเลือกหน้าตัดเหล็กนั้น ผู้จัดทำได้จัดทำฐานข้อมูลของตารางเหล็กสำหรับให้ผู้ใช้ได้เลือกตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	(ก)
คำนำ	(ข)
บทคัดย่อ	(ค)
บทที่ 1 การศึกษาโครงงาน	1
บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.2 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.3 แนวเหตุผลในการศึกษา	2
1.4 การดำเนินการศึกษา	2
1.5 ผลของการศึกษาที่คาดหวัง	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเหล็ก	3
2.1 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง	3
2.2 วิธีการออกแบบโครงสร้าง	11
2.2.1 น้ำหนักบรรทุกในอาคาร	13
2.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของเหล็ก	17
2.2.3 ตัวประกอบความปลอดภัย	20
2.3 องค์อาคารรับแรงดึง	22
2.3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลัง (มาตรฐาน ว.ส.ท.)	23
2.3.2 เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ	25
2.3.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลัง (มาตรฐาน AISC)	28
2.3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านสติฟเนส	30
2.4 องค์อาคารรับแรงอัด	31
2.4.1 ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างโครงสร้างส่วนรับแรงดึงและแรงอัด	32
2.4.2 การโค้งงอของเสาในช่วงอิลาสติก	32
2.4.3 ผลของลักษณะการยึดปลายต่อน้ำหนักประลัยของเสา	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การเลือกรูปตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด 39
2.4.5 สูตรคำนวณของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด 42
2.4.6 ช่วงความยาวประสิทธิผล 45
2.4.7 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด 46
2.5 ดาน 48
2.5.1 พฤติกรรมการรับแรงดัด 48
2.5.2 สูตรคำนวณของดาน 51
2.5.3 โมเมนต์ดัดที่มากที่สุด 53
2.5.4 โมดูลัสหน้าตัด 53
2.5.5 การโก่ง 54
2.5.6 มาตรฐานกำหนด AISC 56
2.5.7 วิธีคำนวณและออกแบบดาน 61
2.5.8 ดานเหล็กรองใต้เสา 61
2.5.9 แผ่นเหล็กรองใต้ดาน 63
2.6 โครงสร้างส่วนรับแรงในแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน 64
2.6.1 การคำนวนหาหน่วยแรง 65
2.6.2 มาตรฐานกำหนด 65
2.6.3 วิธีคำนวณและออกแบบ 70
2.7 การวิเคราะห์รอยต่อโดยการเชื่อม 70
2.7.1 แบบของการเชื่อม 71
2.7.2 กำลังของรอยเชื่อม 72
2.7.3 สมการคำนวณหน่วยแรงที่กระทำต่อรอยเชื่อม 73
2.7.4 มาตรฐานของการเชื่อม 73
2.7.5 ชนิดของรอยเชื่อม 75
2.7.6 สัญลักษณ์ของการเชื่อม 77
2.7.7 ขนาดขาของรอยเชื่อม 79
2.7.8 เนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ผังงานและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 84
3.1 ผังงานของโปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING 85
3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 93
3.3 คำอธิบายตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม 94

บทที่ 4 วิธีการใช้โปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING 97
4.1 การติดตั้งโปรแกรม 97
4.2 หน้าที่ของไฟล์ต่างๆในโปรแกรม 98
4.3 การใช้งานโปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING 100
4.4 คำแนะนำในการป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรม 107
4.5 คำอธิบายผลลัพธ์ของโปรแกรม 109

บทที่ 5 ตัวอย่างผลการใช้งานโปรแกรม 111
5.1 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงดึง 112
5.2 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบการรับแรงดึง 118
5.3 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงดึง 124
5.4 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างรับแรงอัดในแนวแกน 131
5.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัดและแรงดัด 136
5.6 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัดและแรงดัด 142
5.7 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างคานช่วงเดียว 148
5.8 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างคานต่อเนื่อง 153
5.9 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างคานต่อเนื่อง 158
5.10 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงของรอยเชื่อม 168
5.11 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมหาค่าการกระจายโมเมนต์ 171

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา 173
6.1 สรุปโครงงาน STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING 174
6.2 แนวทางการพัฒนาโครงงานในอนาคต 175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม 176

สารบัญตารางและรูป

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง (มาตรฐาน ASTM) 7

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้างประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน 8

ตารางที่ 2.3 ขนาดน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งของอาคารประเภทต่างๆ 15

ตารางที่ 2.4 อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง 16

ตารางที่ 2.5 ค่าแฟคเตอร์เนื่องจากการกระแทก 16

ตารางที่ 2.6 เวลาที่ส่วนของอาคารต้องทนไฟได้ 20

ตารางที่ 2.7 ตัวประกอบความปลอดภัย (มาตรฐาน AISC 1978) 21

ตารางที่ 2.8 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (มาตรฐาน ว.ส.ท. AISC 1969) 25

ตารางที่ 2.9 หน่วยแรงที่ยอมให้ (มาตรฐาน AISC 1978) 28

ตารางที่ 2.10 เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง 29

ตารางที่ 2.11 ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลของส่วนโครงสร้างหลัก 45

ตารางที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์ C_{cc} และ C_c 55

ตารางที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์ C_m (สำหรับสูตร AISC 1.6-1a) 68

ตารางที่ 2.14 ค่าสัมประสิทธิ์ ϕ และ C_m (สำหรับกรณี d) 69

ตารางที่ 2.15 ขนาดขารอยเชื่อม (a) มาตรฐาน ว.ส.ท. 79

ตารางที่ 2.16 ขนาดรอยเชื่อม กำหนดโดยมาตรฐาน AISC 80

ตารางที่ 2.17 ความยาวของรอยเชื่อมแบบพอก (L) 80

ตารางที่ 2.18 หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อมบนเนื้อที่ประสิทธิผล 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก 4
รูปที่ 2.2 รูปตัดเหล็กรูปพรรณชนิดรีดร้อน 9
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอิลาสติกและพลาสติก 12
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับความเครียดที่อุณหภูมิต่างๆ 17
รูปที่ 2.5 การหุ้มเสาและคานเหล็กด้วยคอนกรีต 19
รูปที่ 2.6 การหุ้มเสาและคานเหล็กด้วยปูนผสมทราย 19
รูปที่ 2.7 การหุ้มเสาและคานเหล็กด้วยวัสดุแข็งทนไฟ 19
รูปที่ 2.8 การหุ้มเสาและคอนกรีตด้วยวิธีการพ่น 19
รูปที่ 2.9 การแบ่งบริเวณในอาคารเพื่อกำหนดความสามารถในการทนไฟได้ 19
รูปที่ 2.10 หน้าตัดขององค์อาคารรับแรงดึง 22
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียด 23
รูปที่ 2.12 องค์อาคารรับแรงดึงเจาะรูแบบชิกแซก 26
รูปที่ 2.13 แรงกระทำบนหน้าตัด 26
รูปที่ 2.14 รูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงอัด 31
รูปที่ 2.15 องค์อาคารรับแรงอัดเชื่อมต่อกันด้วยสปริง 33
รูปที่ 2.16.1 เสาตรงภายใต้แรงอัด 34
รูปที่ 2.16.2 เสาโค้งภายใต้แรงอัด 34
รูปที่ 2.16.3 เสาโก่งเชื่อมต่อกันด้วยสปริง 34
รูปที่ 2.17 ลักษณะต่างๆของการยึดปลายเสา 37
รูปที่ 2.18 ความกว้างของขอบที่ถูกยึดและไม่ถูกยึด 42
รูปที่ 2.19 Alignment Chart 46
รูปที่ 2.20 หน้าตัดคานที่ใช้ทั่วไป 48
รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของ f-c curve 49
รูปที่ 2.22 การดัดของคานในช่วงพลาสติก 50
รูปที่ 2.23 ค่าตัวประกอบรูปร่าง (Shape Factor) ของคานชนิดต่างๆ 51
รูปที่ 2.24 การโก่งทางข้างของคาน 60
รูปที่ 2.25 แรงกดที่จุดรองรับและที่จุดรับน้ำหนัก 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26 คานรองใต้เสา (Column Grillage) 62
รูปที่ 2.27 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นใน Steel Grillage Slab 62
รูปที่ 2.28 ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่คาน 63
รูปที่ 2.29 รอยต่อลักษณะต่างๆ 71
รูปที่ 2.30 ชนิดและลักษณะของการเชื่อม 72
รูปที่ 2.31 แสดงความหนาประสิทธิผลของรอยเชื่อม 72
รูปที่ 2.32 แสดงการเชื่อมอ้อมปลาย 75
รูปที่ 2.33 ชนิดของรอยเชื่อม 76
รูปที่ 2.34 รูปหน้าตัดของรอยเชื่อมแบบร่อง 76
รูปที่ 2.35 รูปหน้าตัดของรอยเชื่อมแบบพอก 77
รูปที่ 2.36 สัญลักษณ์ของรอยเชื่อม 78
รูปที่ 2.37 ตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์การเชื่อม 78
รูปที่ 2.38 ขนาดคอประสิทธิผลสำหรับรอยเชื่อมแบบร่อง 82
รูปที่ 2.39 ขนาดคอประสิทธิผลสำหรับรอยเชื่อมแบบพอก 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
การศึกษาโครงงาน

บทนำ

ในปัจจุบันธุรกิจเกี่ยวกับการก่อสร้างและการออกแบบต้องการความรวดเร็วในการทำงานเป็นอย่างมาก จึงมีการนำเอาเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบด้วยเหตุที่การใช้คอมพิวเตอร์สามารถให้ผลงานที่ถูกต้อง แม่นยำ และมีความรวดเร็ว โครงงานนี้มุ่งที่จะศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก อันเป็นโครงสร้างที่มีการใช้งานกันแพร่หลาย

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ ในการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็ก
2) เพื่อนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ ในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็ก มีดังนี้

1) ตรวจสอบและออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึง
2) ตรวจสอบและออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดตามตามแกน
3) ตรวจสอบและออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดัดและแรงอัดร่วมกัน
4) ตรวจสอบและออกแบบคานช่วงเดียว
5) ตรวจสอบและออกแบบคานต่อเนื่อง
6) ตรวจสอบรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แนวเหตุผลในการศึกษา

ในปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยงานในด้านเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้าง ยังมีไม่มากนัก โปรแกรมที่ใช้กันแพร่หลายอย่าง MicroFEAP ก็เป็นโปรแกรมที่วิเคราะห์โครงสร้างเท่านั้น ในการออกแบบโครงสร้างก็ต้องทำโดยการทดลองสมมติหาขนาดหน้าตัดเหล็กที่จะใช้ แล้วทำการทดสอบการรับแรง ถ้าการตรวจสอบขั้นตอนใดที่ไม่ผ่านก็ต้องกลับไปทดลอง ใช้หน้าตัดเหล็กใหม่อีก ซึ่งจะใช้เวลานานโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ออกแบบที่ยังมีประสพการณ์น้อย โครงงานนี้จึงได้นำเอาข้อจำกัดเหล่านี้มาปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้มีความสะดวกมากขึ้น

1.4 การดำเนินการศึกษา

การดำเนินงานให้ครอบคลุมขอบข่ายและวัตถุประสงค์การศึกษา มีขั้นตอนดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลของการออกแบบให้ครอบคลุมขอบเขตที่ศึกษา
2) นำข้อมูลมาจัดขั้นตอนของการออกแบบ ในรูปแบบของ Flow Chart
3) ทบทวนแก้ไขขั้นตอนของการออกแบบ
4) เขียนโปรแกรมตามขั้นตอนของ Flow Chart
5) ทดสอบโปรแกรม แก้ไขและปรับปรุงจนได้มาตรฐาน

1.5 ผลของการศึกษาที่คาดหวัง

การศึกษาโครงงานนี้คาดว่าจะเป็นประโยชน์ ดังนี้

1) สำหรับวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ สามารถออกแบบโครงสร้างเหล็กที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถรับแรงในขอบเขตตามที่ผู้ใช้กำหนดได้
2) สำหรับอาจารย์และนักศึกษา สามารถนำโปรแกรมเข้าไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอน วิชาการออกแบบโครงสร้างเหล็กได้
3) สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีความรู้พื้นฐานด้านโครงสร้างเหล็กอยู่บ้าง สามารถทดสอบหน้าตัดเหล็กที่ต้องการใช้งาน ว่าเหมาะสมสำหรับรับแรงหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

เหล็กจัดเป็นวัสดุโครงสร้างที่สำคัญประเภทหนึ่ง วิศวกรโครงสร้างใช้เหล็กในการก่อสร้างอาคาร สะพาน หอถังน้ำ หอคอยส่งสายไฟฟ้าแรงสูง ไซโลและโครงสร้างอื่น ๆ อีกมากมาย คุณสมบัติเด่นที่เหล็กมีเหนือวัสดุโครงสร้างอื่น ได้แก่ การที่มีกำลังสูงและความเหนียว ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว โครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กจะมีน้ำหนักเบากว่าโครงสร้างที่ทำด้วยวัสดุอื่น และมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างก่อนการวิบัติได้มากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถนำเหล็กรูปร่างต่าง ๆ มาประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างที่มีรูปร่าง และ ขนาดตามความต้องการ การก่อสร้างทำได้รวดเร็ว เป็นการลดเวลาในการก่อสร้างได้เป็นอย่างมาก

2.1 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง

เหล็กโครงสร้างที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) ซึ่งได้แก่ เหล็กที่มีส่วนผสมของโลหะอื่นนอกเหนือจากเนื้อเหล็กแท้คิดเป็นเปอร์เซนต์สูงสุดดังนี้

ก. คาร์บอน 1.7% ข. มังกานีส 1.65%

ค. ซิลิคอน 0.6% ง. ทองแดง 0.6%

คาร์บอนและมังกานีสเป็นส่วนผสมที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเหล็ก เหล็กกล้าคาร์บอนสามารถจัดประเภทตามปริมาณส่วนผสมของคาร์บอนได้ 4 ประเภทดังนี้

ก. ประเภทคาร์บอนต่ำ (Low carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนน้อยกว่า 0.15%

ข. ประเภทคาร์บอนค่อนข้างปานกลาง (Mild carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนระหว่าง 0.15-0.29%

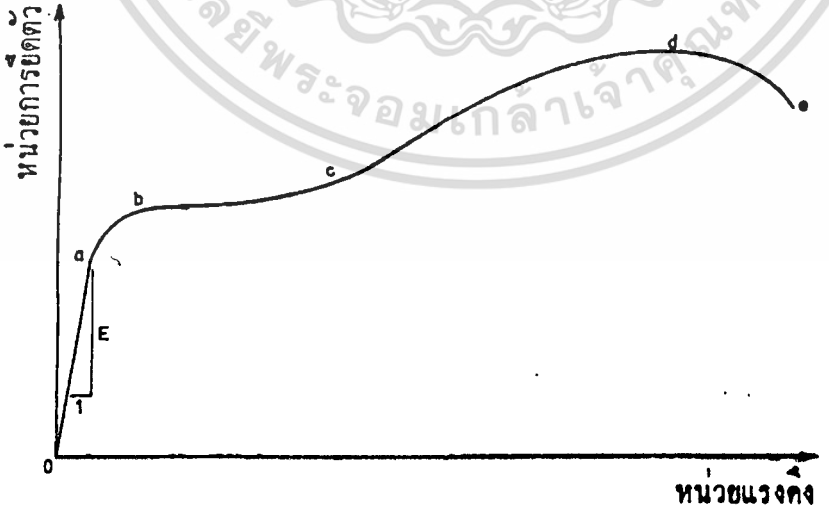
ค. ประเภทคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนระหว่าง 0.3-0.59%

ง. ประเภทคาร์บอนสูง (High carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนระหว่าง 0.60-1.70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้ในงานโครงสร้าง (Structureal carbon steel) จัดอยู่ในประเภท ข. เช่นเหล็ก A36 (ชื่อตาม ASTM) มีส่วนผสมคาร์บอนสูงสุดระหว่าง 0.25-0.29% ขึ้นอยู่กับความหนาเช่นเดียวกัน ในกรณีที่ต้องการเหล็กที่มีคุณสมบัติด้านกำลัง ความเหนียว การเชื่อม การทนทานต่อการผุกร่อน ฯลฯ เพิ่มขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการผสมโลหะอื่น เช่น โครเมียม นิกเกล ติเตเนียม โคลัมเบียน วานาเดียม เป็นต้น เช่นเหล็ก A572 จัดเป็นเหล็กประเภทเหล็กกล้าประสมบางกำลังสูง (High-Strength Los Alloy Steel) ซึ่งมีส่วนผสมของโคลัมเบียน และวานาเดียมอยู่ ทำให้มีกำลังสูงขึ้นจากเหล็ก A36 เป็นต้น

ก่อนการออกแบบโครงสร้างจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของเหล็กเสียก่อน คุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญคือมีความต้านทานต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี ตลอดจนมีความเหนียวที่จะยืดหรือหดตัวได้มาก่อนเกิดการชำรุดเสียหาย ในทางปฏิบัติถือว่าเหล็กมีความต้านทานแรงอัดเท่ากับความต้านทานแรงดึง วิธีทดสอบหาคุณสมบัติที่ต้านทานต่อแรงดึง ทำได้โดยนำแท่งที่มีขนาดและรูปร่างตามมาตรฐานกำหนดมาดึงโดยใช้เครื่องทดสอบวัสดุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็กขนาดมาตรฐานเมื่อรับแรงดึง จากจุด 0 ถึง a หน่วยแรงดึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดตัวตามกฎของฮุค ในช่วงนี้วัสดุมีคุณสมบัติยืดหยุ่น พ้นจากจุด a การยืดของเหล็กจะไม่เป็นไปตามกฎของฮุคและวัสดุจะเริ่มคลาก หน่วยแรงดึงที่จุด a เรียกว่า proportional limit ค่าความชันในช่วง 0 นี้เรียกว่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) และจะมีค่าคงที่ E เรียกว่า Young's Modulus ค่าของ E สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกำลังสูงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 2100 ตันต่อตารางเซนติเมตร การยืดของเหล็กในช่วงยืดหยุ่นนี้จะน้อยมาก และสามารถหดกลับลงมาตามแนวเดิมได้เมื่อเลิกดึง ที่จุด b เหล็กจะเริ่มคลาก การยืดตัวจะเพิ่มมากขึ้นในขณะหน่วยแรงดึงมีค่าเท่าเดิม จุดนี้เรียกว่า จุดคลากของเหล็ก ปกติแล้วหน่วยการยืดตัวในช่วงปลาสติก bc จะมากกว่าหน่วยการยืดตัวในช่วงยืดหยุ่นประมาณสิบเท่า ที่จุด c วัสดุจะเริ่มมีพฤติกรรมใหม่เรียก strain hardening เมื่อเพิ่มแรงต่อไปอีก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวตามรูปแสดง จนกระทั่งถึงจุด d ซึ่งหน่วยแรงดึงมากที่สุด หน่วยแรงดึงที่จุดนี้เรียกว่า หน่วยแรงดึงประลัยของเหล็กและเมื่อพ้นจากจุด d ไปแล้ว หน่วยแรงดึงจะลดลงและเหล็กที่ถูกดึงจะมีดอดอดเกิดขึ้น จนกระทั่งถึงจุด e เหล็กจะถูกดึงจนขาดออกจากกัน เรียกจุดนี้ว่า หน่วยแรงดึงที่จุดขาดของเหล็ก

การออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับส่วนต่าง ๆ ของอาคารในรายงานเล่มนี้ กล่าวเฉพาะการออกแบบโดยวิธีอีลาสติก ซึ่งใช้คุณสมบัติของเหล็กดังกล่าวข้างต้น และเกณฑ์การออกแบบตามมาตรฐานกำหนด กล่าวคือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในรูปตัดของส่วนโครงสร้างที่เลือกใช้ เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (working load) ได้ปลอดภัยนั้น จะต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ซึ่งกำหนดอยู่ในมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก มาตรฐานกำหนดของประเทศไทยคือ มาตรฐาน ว.ส.ท. แต่ส่วนมากดัดแปลงมาจากมาตรฐานกำหนดของ AASHO (American Association of State Highway Officials) และมาตรฐาน AREA (American Railway Engineering Association) สำหรับการคำนวณและออกแบบสำหรับโครงสร้างเหล็กในเล่มนี้จะใช้มาตรฐาน AISC เป็นหลัก ทั้งนี้ เพราะมาตรฐาน AISC ได้ใช้กันแพร่หลายในการคำนวณโครงสร้างของอาคารเหล็กรูปพรรณทั่ว ๆ ไป

มาตรฐาน AISC กำหนดหน่วยแรงชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้เป็นเปอร์เซนต์ของกำลังจุดคลากของเหล็กเป็นต้นว่า หน่วยแรงดึงที่ยอมให้เท่ากับ 60 เปอร์เซนต์ของกำลังจุดคลากของเหล็ก หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้เท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ของกำลังจุดคลากของเหล็ก ดังนั้น จะเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่ากำลังจุดคลากของเหล็กนี้เป็นคุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญที่สุดของการออกแบบ นอกจากนี้จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ขึ้นอยู่กับประเภทของแรงที่กระทำ เช่น ในโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับกำลังจุดคลาก (F_y) หารด้วยหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ($0.6\ F_y$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.67

เหล็กที่ผลิตขายตามมาตรฐาน ASTM มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติและความสามารถในการรับน้ำหนักต่างกัน เหล็กที่นิยมใช้กันทั่วไปได้แก่ จำพวกเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งเหล็กประเภทนี้ยังจำแนกออกได้อีกหลายชนิด เช่น A36,A53,A245 เป็นต้น สำหรับ A36 เป็นเหล็กชนิดที่ใช้ในโครงสร้างทั่ว ๆ ไป นอกจากเหล็กกล้าคาร์บอนแล้ว ยังมีเหล็กจำพวกเหล็กกล้าประสมบางชุบแข็ง เช่น A514,A517 เป็นต้น คุณสมบัติและกำลังของเหล็กเหล่านี้ได้นำมากล่าวไว้อย่างย่อ ๆ ในตารางที่ 2.1 เนื่องจากเหล็กเหล่านี้มีคุณสมบัติและประโยชน์การใช้งานต่างกัน การเลือกใช้เหล็กชนิดต่าง ๆ จึงต้องพิจารณาคุณสมบัติให้ตรงกับประเภทของงานที่ต้องการ

เหล็กโครงสร้างที่ใช้มากที่สุด คือ ASTM A7 และ A 36 ซึ่งมีกำลังจุดคลากเท่ากับ 2310 และ 2520 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ คุณสมบัติและประเภทการใช้งานของเหล็กกล้าดังกล่าวข้างต้น จะหาได้จากหนังสือ ASTM Specifications for Structural Steel.

สำหรับประเทศไทย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณไว้ 2 ชั้นคุณภาพ คือ $F_y 24$ และ $F_y 30$ ซึ่งมีกำลังจุดคลากเท่ากับ 2400 และ 3000 กก/ซม.^{2} ตามลำดับ และแสดงเครื่องหมายด้วยสีขาวและสีเขียวตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง (มาตรฐาน ASTM)

ชนิด	ชื่อ	จุดคลาก (กก./ตร.ซม.)	กำลังดึงสูงสุด (กก./ตร.ซม.)	หมายเหตุ
เหล็กกล้าคาร์บอน	A36	2250-2530	4070-5620	ใช้ในงานโครงสร้างทั่วไป
	A53	2100-2400	3370-4210	เหล็กท่อ เชื่อมได้
	A245	1750-2810	3160-3860	เหล็กแบน เชื่อมได้
	A283	1680-2320		เหล็กแผ่น ทำถังน้ำมัน
	A501	2530	4070	เหล็กกลวง ใช้งานทั่วไป
	A573	2460-2670	—	เหล็กแผ่น เหนียวกว่า A36
	A529	2950	4210-5970	
	A285	2100-2670	3860-4920	เหล็กแผ่น ทำถังกายใต้
	A515	"	"	แรงดัน
	A516	"	"	
	A570	1750-2950	3160-4070	เหล็กรีดเย็น
เหล็กกล้าประสม กำลังสูง	A242	2950-3510	4430-4920	ใช้ในงานทั่วไป ทนการกัดกร่อนเป็น 4 เท่าของ A36
	A440	2950-3510	4430-4920	เชื่อมไม่ได้ ทนการกัดกร่อนเป็น 2 เท่าของ A36
	A441	2810-3510	4210-4920	เชื่อมได้ ทนการกัดกร่อนเป็น 2 เท่าของ A36
	A572	2950-3510	4210-4920	เชื่อมได้ ใช้ในงานทั่วไป
	A588	2950-3510	4420-4920	ใช้ในงานทั่วไป ทนการกัดกร่อนเป็น 2 เท่าของ A36
เหล็กกล้าประสม บางชุบแข็ง	A514	6320-7030	7030-9140	เชื่อมได้ ใช้งานทั่วไป
	A517	"	"	เหมือน A514 แต่เหนียวกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

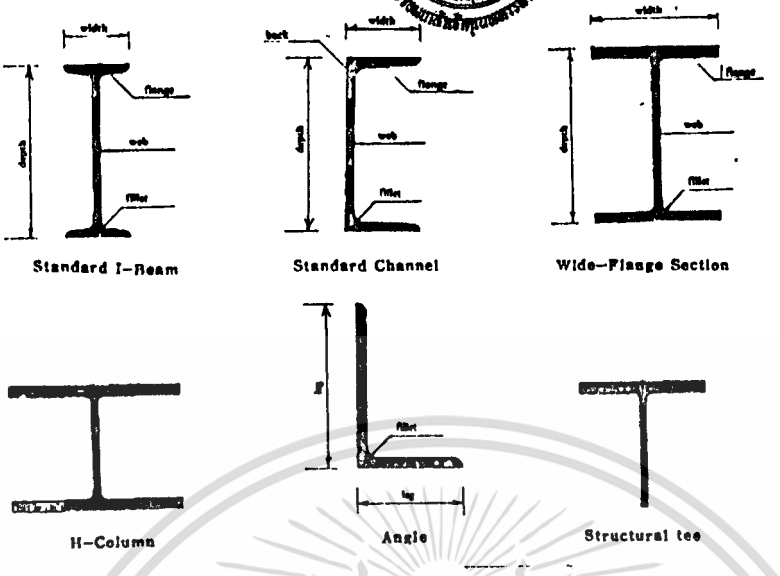
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติและกำลังของเหล็กกล้างคาร์บอนที่ผลิตตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (JIS) ซึ่งเหล็กจากประเทศญี่ปุ่นกำลังเป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศเรา จากข้อมูลที่ปรากฏในตารางที่ 2.2 จะช่วยให้วิศวกรสามารถเลือกชนิดของเหล็กให้เหมาะสมกับประเภทของงานได้อย่างดี

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง
ประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน (มาตรฐาน JIS)

สัญลักษณ์	หมายเลข	จุดคลาก (กก./ตร.ซม.)	กำลังดึงสูงสุด (กก./ตร.ซม.)	เปอร์เซนต์คาร์บอน (% C)
SS41	G3101	2200-2500	4100-5200	
SM41A	G3106	"	"	≤0.25
SM41B	G3106	"	"	≤0.22
SM41C	G3106	"	"	≤0.18
SS50	G3101	2500-2900	5000-6200	
SS55	G3101	4000-4100	6600	≤0.30
SM50A	G3106	3000-3300	5000-6200	≤0.22
SM50B	G3106	"	"	≤0.20
SM50C	G3106	"	"	≤0.18
SM50Y	G3106	3400-3700	"	≤0.20
SM53	G3106	"	5300-6500	≤0.20

เหล็กรูปพรรณ ได้จากการนำเหล็กโครงสร้างมาผลิตให้เป็นรูปต่างๆโดยวิธีการรีดร้อนหรือรีดเย็น เหล็กรูปพรรณที่ขายในท้องตลาดนั้นมีหลายแบบและหลายขนาด มีรูปตัดต่าง ๆ กัน เช่น เหล็กฉาก (Angle,L) เหล็กรูปตัด I เหล็กรูปตัด T เหล็กรูปตัด WF เหล็กรูปรางน้ำหรือเหล็กรูปตัว C (channel,C) เป็นต้น ปกติแล้วแบบที่ต้องการคือ แบบที่มีโมดูลัสหน้าตัด (Section modulus) มาก เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัด คุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณแบบต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น ขนาดน้ำหนัก เนื้อที่หน้าตัด โมดูลัสหน้าตัดและโมเมนต์ อินเนอร์เชีย ซึ่งใช้ในการออกแบบ รูปตัดของเหล็กรูปพรรณที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปตัดเหล็กรูปพรรณชนิดรีดร้อน

อนึ่ง เหล็กรูปพรรณจำแนกตามรูปร่าง ซึ่งกำหนดโดย AISC มีดังนี้

1.) เหล็ก W (Wide-flange shape) ดูรูปที่ 2.2 ก. เป็นเหล็กชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีแกนสมมาตรสองแกน รูปร่างประกอบด้วยปีกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 อัน ต่อกับเอวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 อัน การกำหนดชนิดของเหล็กจะเขียนด้วยอักษร W ตามด้วยความลึก x กับน้ำหนักเป็นกก./ม. เช่นW400x66 ได้แก่เหล็ก wide-flange มีความลึก 400 มม. และ น้ำหนัก 66 กก./ม.

2.) เหล็ก S (S-shape) ดูรูปที่ 2.2 ข. เป็นเหล็กที่มีแกนสมมาตรสองแกน เดิมมีชื่อว่า I-Beam หรือ American Standard เหล็กประเภทนี้จะมีความกว้างของปีกน้อยกว่า เหล็ก W

3.) เหล็ก M (M-shape) ได้แก่เหล็กที่ไม่จัดอยู่ในจำพวก W และ S จะมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด ขนาดที่ใหญ่สุดของเหล็ก M ได้แก่ M360x25.6 ซึ่งมีความลึก 360 มม. และหนัก 25.6 กก./ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) เหล็ก C (C-shape) ดูรูปที่ 2.2 ค. เป็นเหล็กที่มีรูปร่างเหมือนตัว C หรือเรียกว่าเหล็กรูปรางน้ำ มีแกนสมมาตรเพียงแกนเดียว เดิมมีชื่อเรียกว่า american

007723

Standard Channels C 150x18.6 ได้แก่เหล็กรูปรางน้ำที่มีความลึก 150 มม. และหนัก 18.6 กก./ม.

5.) เหล็ก MC (MC-shape) มีรูปร่างเหมือนเหล็กรูปรางน้ำ เดิมมีชื่อเรียกว่า Miscellaneous Channels

6.) เหล็ก L (L-shape) มีรูปร่างเหมือนเหล็กตัว L หรือเรียกว่าเหล็กฉาก มีทั้งชนิดขาเท่าและไม่เท่ากัน L50x50x4 ได้แก่เหล็กฉากขาเท่ากัน มีขายาวข้างละ 50 มม. และความหนา 4 มม. ส่วน L75x50x6 ได้แก่เหล็กฉากขาไม่เท่ากัน มีขายาว 75 มม. และ 50 มม. ตามลำดับ ความหนาของขาเท่ากับ 6 มม.

7.) เหล็ก T (T-shape) มีรูปร่างเหมือนเหล็กตัว T ได้จากการตัดเหล็ก W,S และ M ออกเป็นสองส่วน ซึ่งโดยปกติแล้วจะแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ตัดออกจากเหล็ก W เรียกว่า WT ตัดออกจากเหล็ก S เรียกว่า ST และตัดออกจากเหล็ก M เรียกว่า MT สัญลักษณ์ WT200x33 ได้แก่เหล็กรูปตัว T มีความลึก 200 มม. หนัก 33 กก./ม. ตัดมาจากเหล็ก W400x66

วิธีการระบุขนาดและชนิดของเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ หรือใช้ในการเขียนแบบจะระบุขนาดและชนิดด้วยชื่อย่อ ซึ่งใช้กันเป็นมาตรฐานทั่วไป เป็นต้นว่า

WF 350 x 49.6 หมายถึง หน้าตัดรูปปีกกว้าง WF (wide flange) ซึ่งมีความลึกโดยประมาณเท่ากับ 350 มม. และมีน้ำหนักต่อความยาวหนึ่งเมตร เท่ากับ 49.6 กิโลกรัม

C 125 x 13.4 หมายถึง หน้าตัดรูปเหล็กรางหรือร่อง (channel) ซึ่งมีความลึกโดยประมาณเท่ากับ 125 มม. และมีน้ำหนักต่อความยากหนึ่งเมตร เท่ากับ 13.4 กิโลกรัม

L 90 x 60 x 12 หมายถึง เหล็กฉากที่มีขาด้านยาวเท่ากับ 90 มม. ขาด้านสั้นเท่ากับ 60 มม. และมีความหนาเท่ากับ 12 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WT 150 x 47 หมายถึง หน้าตัดรูปตัวที (Tee) ซึ่งตัดจากเหล็กรูป WF 300 x 94 เหล็กรูปแบบนี้เรียกว่า structural Tee

2.2 วิธีการออกแบบโครงสร้าง

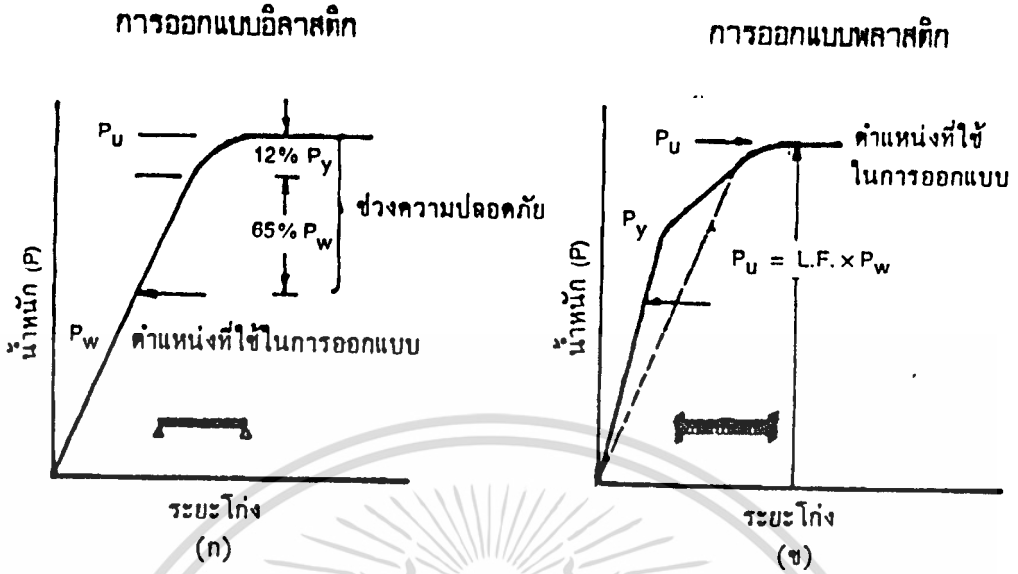
การออกแบบโครงสร้างเหล็ก หมายถึง การคำนวณเพื่อเลือกชนิดและขนาดที่เหมาะสมของเหล็กรูปพรรณที่มีผลิตขายอยู่แล้ว หรือรูปตัดที่ประกอบขึ้นเอง เพื่อให้ต้านทานต่อโมเมนต์ดัดแรงในแนวแกน หรือโมเมนต์ดัดและแรงในแนวแกนร่วมกัน ที่คำนวณได้ค่ามาจากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโครงสร้าง การออกแบบโครงสร้างเหล็กมีวิธีเฉพาะสำหรับประเภทของโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งแบ่งตามชนิดของแรง ที่จะให้โครงสร้างที่ออกแบบนั้นต้านทานได้โดยปลอดภัยได้แก่ส่วนโครงสร้างที่รับแรงตามแนวแกน ซึ่งอาจเป็นแรงดึงหรือแรงอัด ส่วนโครงสร้างที่รับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ส่วนโครงสร้างที่รับแรงตามแนวกแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน ตลอดจนการออกแบบรอยต่อของส่วนโครงสร้าง เพื่อให้ทุก ๆ ส่วนของโครงสร้างร่วมรับน้ำหนักได้ตามต้องการ

การออกแบบโครงสร้างเหล็กสามารถเลือกทำได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีอิลาสติก (Elastic method) ซึ่งอาศัยค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (allowable stress) ร่วมกับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (service load) เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ อีกวิธีหนึ่งได้แก่วิธีพลาสติก (Plastic method) ซึ่งอาศัยหน่วยแรงคลาก (yield stress) ร่วมกับน้ำหนักบรรทุกประลัย (ultimate load) เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ

ปัจจุบันการออกแบบโดยวิธีพลาสติก (Plastic method) เป็นวิธีได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เพราะเป็นวิธีการออกแบบที่สอดคล้องกับสภาพพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุก โครงสร้างที่ออกแบบโดยวิธีนี้จะประหยัดกว่าโครงสร้างที่ออกแบบโดยวิธีอิลาสติก โดยมีค่าความปลอดภัยใกล้เคียงกัน รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการออกแบบทั้งสองวิธี

ในคานที่มีการรองรับแบบธรรมดา (simply supported beam) ตำแหน่งที่โมเมนต์มีค่าสูงสุดเพียงตำแหน่งเดียว ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย (P_u) จะมีค่าสูงกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกคลาก (P_y) เพียงเล็กน้อย แต่ในคานแบบปลายยึดแน่น (fixed end beam) ตำแหน่งที่โมเมนต์มีค่าสูงสุดมีได้ถึง 3 ตำแหน่ง ในกรณีนี้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยจะมีค่าสูงกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกคลากมาก และคานจะเกิดการวิบัติ (collapse) เมื่อตำแหน่งที่โมเมนต์มีค่าสูงสุดทั้ง 3 ตำแหน่งมีสภาพเป็นจุดหมุนพลาสติก (Plastic hinge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอิลาสติกและพลาสติก

จากรูปที่ 2.3 จะพบข้อสรุปที่สำคัญดังนี้

1. ที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Service Load) P_w ที่ออกแบบโดยวิธีพลาสติก โครงสร้างยังมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงอิลาสติก

2. การออกแบบโดยวิธีพลาสติกจะใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย P_u เป็นเกณฑ์ในการออกแบบหรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่า ได้กำหนดน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่โครงสร้างจะสามารถรับไว้ได้ ในขณะที่การออกแบบโดยวิธีอิลาสติก น้ำหนักบรรทุกสูงสุดไม่สามารถกำหนดได้

การออกแบบโครงสร้างเหล็ก จำเป็นต้องปฏิบัติตามกฎและหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบของแต่ละท้องที่ เพื่อให้เกิดความเป็นระเบียบและความปลอดภัยต่อโครงสร้าง มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่สามารถนำไปใช้อ้างอิง ได้แก่

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials

AISC American Institute of Steel Construction

AISI American Iron and Steel Institute

AREA American Railway Engineering Association

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AWS American Welding Society

AISE Association of Iron and steel Engineers

UBC Uniform Building Code

DIN Deutsche Industrie Norm (W.Germany)

JIS Japanese Industrial Standards

ว.ส.ท. มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ

2.2.1 น้ำหนักบรรทุกในอาคาร (Building Loads)

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads) และ
2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads) ซึ่งแยกออกเป็น
   - น้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง (Vertical Live Loads)
   - น้ำหนักบรรทุกจรในแนวขวาง (Lateral Live Loads)

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ได้แก่ น้ำหนักขององค์อาคารต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นตัวโครงสร้าง เช่นน้ำหนักพื้น คาน เสา ฐานราก เป็นต้น ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ยึดแน่นกับตัวโครงสร้าง เช่นน้ำหนักผนัง กำแพง ฝ้าเพดาน ท่อสายไฟ ท่อลมเครื่องปรับอากาศ ลิฟท์ ฯลฯ จัดเป็นประเภทของน้ำหนักบรรทุกคงที่เช่นเดียวกัน โดยปกตินำหนักบรรทุกคงที่จะสามารถทราบค่าได้อย่างใกล้เคียงหลังจากได้กำหนดสัดส่วนและขนาดขององค์อาคารต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว

2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads)

น้ำหนักบรรทุกจรได้แก่น้ำหนักของสิ่งของต่าง ๆ ที่อาคารต้องแบกรับ หลังจากได้ก่อสร้างอาคารเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยปกติขนาดของน้ำหนักบรรทุกจรจะถูกกำหนดโดยกฎเกณฑ์บัญญัติของแต่ละท้องที่ ตามประเภทและลักษณะการใช้งานของอาคาร น้ำหนักบรรทุกจรสามารถแยกออกเป็นสองประเภทดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง (Vertical Live Loads) ได้แก่น้ำหนักต่าง ๆ ที่กระทำในแนวดิ่ง เช่น น้ำหนักของผู้อาศัย น้ำหนักของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนย้ายไปได้ เครื่องเฟอร์นิเจอร์ สินค้า รถยนต์ ฯลฯ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้กำหนดขนาดของน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่งตามประเภทการใช้งานของอาคาร โดยมีค่าประมาณเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าค่าดังปรากฏในตารางที่ 2.3

ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกจรที่ถ่ายลงเสาและฐานราก สำหรับโรงมหรสพ หอประชุม หอสมุด พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม อาคารจอดรถยนต์ หรือเก็บรถยนต์ ให้คิดน้ำหนักบรรทุกเต็มอัตราทุกชั้น ส่วนอาคารประเภทอื่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครอนุญาตให้ทำการลดส่วนลงได้ตามชั้นของอาคารดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

3. น้ำหนักบรรทุกกระแทก

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใด มีผลทำให้อาคารต้องรับน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคารอย่างช้า ๆ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใดนี้เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกกระแทก ซึ่งคำนวณหาได้จาก

$$L_i = L_s(1+I)$$

โดยที่ L_i = น้ำหนักบรรทุกกระแทก กก.

L_s = น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ กก.

I = แฟคเตอร์เนื่องจากการกระแทก

AISC ได้กำหนดค่า I สำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ ดังปรากฏในตารางที่ 2.5

ในการออกแบบคานที่รองเครน (crane) ต้องคำนึงถึงแรงในแนวตั้งฉาก และแรงในแนวตามยาวของคาน กระทำที่ผิวคานด้วย AISC ได้กำหนดค่าของแรงทั้งสองดังนี้

แรงในแนวตั้งฉาก = 0.1 x (น้ำหนักของวัตถุที่ยก + น้ำหนักของตัววิ่งบนหลังเครน)

แรงในแนวตามยาว = 0.1 x (น้ำหนักสูงสุดที่ล้อวิ่งของตัวเครน)

AASHTO ได้กำหนดค่า I มีค่าดังนี้

$$I = \frac{15}{L + 38} \leq 0.30$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขนาดน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งของอาคารประเภทต่าง ๆ
(ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร)

ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจร (กก./ตร.ม.)
1. หลังคา	30
2. กันสาดหรือหลังคาดอนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
4. ห้องแถว ตึกแถว ที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรมและห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
5. สำนักงาน ธนาคาร	250
6. (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน และโรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดิน ของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงานและธนาคาร	300
7. (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดและหอสมุด ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่ง หรือรถจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดิน ของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัยและโรงเรียน	400
8. (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดิน ของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องสมุด	500
9. ห้องเก็บหนังสือ ของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
10. ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง
(ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร)

การรับน้ำหนักของพื้น	อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจร บนพื้นแต่ละชั้นเป็นร้อยละ
1) หลังคาหรือดาดฟ้า	-
2) ชั้นที่หนึ่งถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	-
3) ชั้นที่สองถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	-
4) ชั้นที่สามถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	10
5) ชั้นที่สี่ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	20
6) ชั้นที่ห้าถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	30
7) ชั้นที่หกถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	40
8) ชั้นที่เจ็ดถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า และชั้นต่อลงไป	50

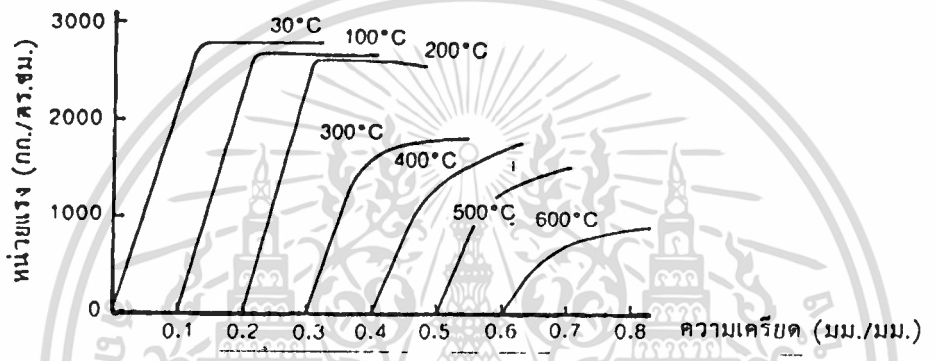
ตารางที่ 2.5 ค่าแฟคเตอร์เนื่องจากการกระแทก

ประเภทอาคาร	I
รองรับลิฟท์	1
รองรับเครน (crane) และรอยต่อต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	0.4
รองรับเครื่องจักรเบา มอเตอร์	$\geq$ 0.2
ตัวแขวนรับพื้นและระเบียง	$\geq$ 0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของเหล็ก

เหล็กเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงมากภายใต้สภาวะปกติ แต่ภายใต้อุณหภูมิสูงๆ เช่น ในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ คุณสมบัติต่าง ๆ กำลังคลาก และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะลดลงอย่างมาก รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กชนิด SS41 (F_y = 2500 กก./ตร.ซม.) ภายใต้อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับความเครียดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ด้วยเหตุที่คุณสมบัติของเหล็กเปลี่ยนไปอย่างมากภายใต้อุณหภูมิสูง ดังนั้นในอาคารที่ใช้เหล็กเป็นโครงสร้าง จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการสูญเสียกำลังเนื่องจากเกิดเพลิงไหม้ ในปัจจุบันการป้องกันดังกล่าวสามารถทำได้ 4 วิธีดังนี้

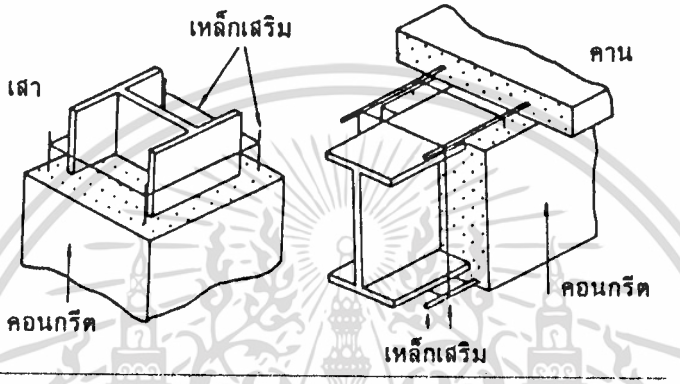
1. หุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete Encasement Method) คอนกรีตที่ใช้หุ้มเสาและคานเหล็ก จะเป็นคอนกรีตชนิดมวลเบา (light-weight concrete) โดยเสริมเหล็กยืนและเหล็กปลอกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5

2. หุ้มด้วยปูนฉาบเสริมด้วยลวดตาข่าย (Metal Lath Method) รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการหุ้มเสาและคานเหล็กด้วยการเสริมลวดตาข่ายรอบเสาและคาน แล้วฉาบปูนผสมทรายโดยรอบอีกชั้นหนึ่ง

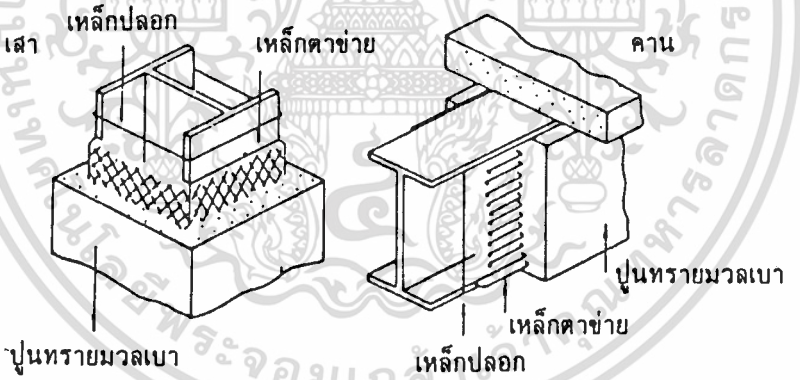
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หุ้มด้วยวัสดุแข็งทนไฟ (Protective Board Installation) วัสดุแข็งทนไฟอาจได้แก่ แผ่นใยหิน (reckwool) แผ่นกระเบื้อง (asbestos) เป็นต้น โดยใช้กาวทาแล้วยึดติดกับเสาหรือคานเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.7

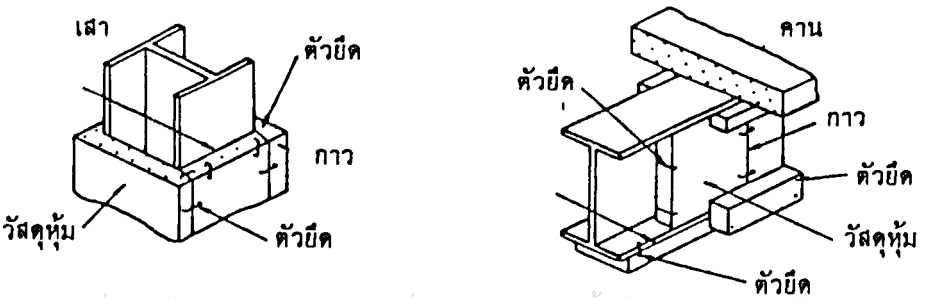
4. หุ้มด้วยการพ่น (Spray Method) การพ่นทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแห้ง (dry) กับวิธีเปียก (wet) ในวิธีแห้ง ใยหินหรือวัสดุทนไฟอื่น ๆ กับกาวจะพ่นออกมาพร้อมกัน แต่คนละหัวฉีด ส่นวิธีเปียก ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากกว่าวิธีแห้ง วัสดุทนไฟกับกาวจะผสมกันก่อน แล้วพ่นออกมาจากหัวฉีดเดียว รูปที่ 2.8 แสดงเสาและคานเหล็กที่หุ้มด้วยวิธีการพ่น จะเห็นว่ารอบเสาและคานเหล็กจะมีลวดตาข่ายล้อมรอบอยู่ก่อน



รูปที่ 2.5 การหุ้มเสาและคานเหล็กด้วยคอนกรีต

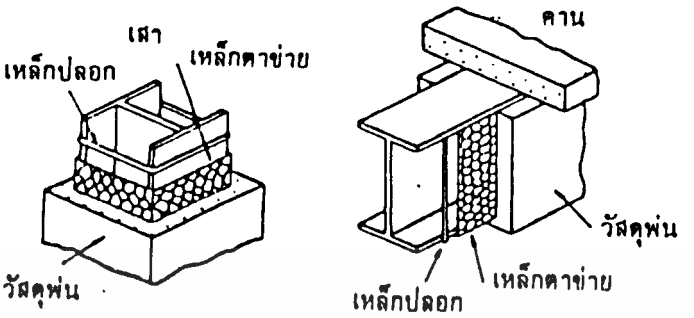


รูปที่ 2.6 การหุ้มเสาและคานเหล็กด้วยปูนผสมทราย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

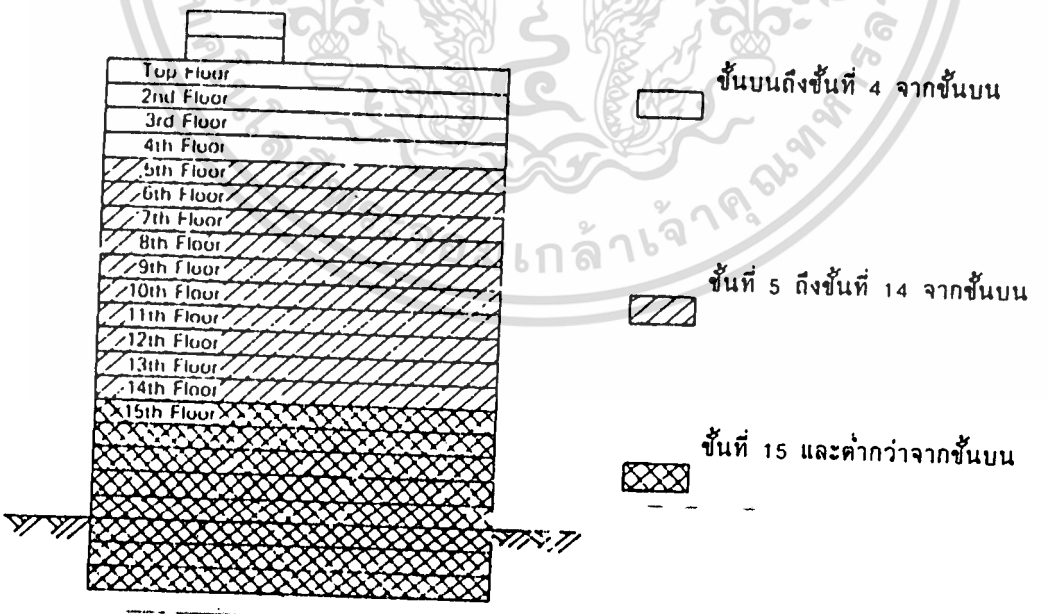
รูปที่ 2.7 การหุ้มเสาและคานเหล็กด้วยวัสดุแข็งทนไฟ



รูปที่ 2.8 การหุ้มเสาและคานคอนกรีตด้วยวิธีการพ่น

ความหนาของวัสดุที่ใช้หุ้มเสาและคานเหล็กขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหล็กถูกไฟเผา จนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 600 C โดยทั่วไปจะกำหนดให้เป็น 2 ชั่วโมง และความหนาของวัสดุที่ใช้หุ้มจะหนาประมาณ 3.5 ซม.

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าเวลาเป็นชั่วโมงที่ส่วนต่าง ๆ ของอาคารต้องสามารถทนไฟได้ตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 2.9 การแบ่งบริเวณในอาคารเพื่อกำหนดความสามารถในการทนไฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 เวลาที่ส่วนของอาคารต้องทนไฟได้

ส่วนอื่น ๆ / ชั้น				ชั้นแทนด้วย □	ชั้นแทนด้วย ▨	ชั้นแทนด้วย ▩
กำแพง	ผนังกั้นห้อง			1 ชม.	2 ชม.	2 ชม.
	กำแพงภายนอก	กำแพงที่รับกำลัง		1 ชม.	2 ชม.	2 ชม.
		กำแพงไม่รับกำลัง	ส่วนที่ติดไฟ	1 ชม.	1 ชม.	1 ชม.
			ส่วนที่ไม่ติดไฟ	30 นาที	30 นาที	30 นาที
เสา				1 ชม.	2 ชม.	3 ชม.
พื้น				1 ชม.	2 ชม.	2 ชม.
คาน				1 ชม.	2 ชม.	3 ชม.
หลังคา				30 นาที		

2.2.3 ตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety)

ตัวประกอบความปลอดภัยได้แก่ ค่าที่แสดงถึงความปลอดภัยของโครงสร้างต่อการวิบัติ ในกรณีที่โครงสร้างมีสภาวะการรับน้ำหนักบรรทุก และกำลังของวัสดุที่ใช้แตกต่างไปจากสภาวะที่กำหนด ในทฤษฎีอิลาสติก หน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาดหารด้วยค่าความปลอดภัย ส่วนในทฤษฎีพลาสติก น้ำหนักบรรทุกประลัยมีค่าเท่ากับน้ำหนักบรรทุกใช้งานคูณด้วยตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก (load factor) โดยทั่วไปตัวประกอบความปลอดภัยมีค่าดังนี้

$$F.S. = P_u / P_w$$

โดยที่ F.S. = ตัวประกอบความปลอดภัย

P_u = น้ำหนักบรรทุกสูงสุด กก.

P_w = น้ำหนักบรรทุกใช้งาน กก.

จากข้อกำหนด AISC ค่าความปลอดภัยสามารถคำนวณได้ดังปรากฏในตารางที่ 2.7 จากตารางที่ 2.7 พบว่าชิ้นส่วนที่รับแรงดึงเป็นหลักมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.67 ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับชิ้นส่วนที่รับแรงอัดประเภทเสาสั้น ส่วนเสายาวจะมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.92 และสำหรับหมุดย้ำและสลักเกลียวจะมีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ตัวประกอบความปลอดภัย (มาตรฐาน AISC 1978)

ประเภทชิ้นส่วนโครงสร้าง	เกณฑ์การออกแบบที่ใช้	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด P_u	น้ำหนักบรรทุกใช้งาน P_a	ตัวประกอบความปลอดภัย
องค์อาคารรับแรงดึง	การไหลในช่วงพลาสติกอย่างไม่จำกัด	F_yA	$0.6\ F_yA$	$\frac{F_y}{0.6\ F_y} = 1.67$
	กำลังสูงสุด	F_uA	$0.6\ F_yA$	สำหรับเหล็ก A36: $\frac{F_u}{0.6\ F_y} = 2.60$
คานแบบง่าย	ความคลากเริ่มแรก	$M_y = F_yS$	$M_a = 0.6F_yS$	$\frac{F_y}{0.6\ F_y} = 1.67$
	การไหลในช่วงพลาสติกอย่างไม่จำกัด	$M_p = F_yZ$	$M_a = 0.66F_yS$	$\frac{F_yZ}{0.66\ F_yS} = 1.70$
เสา	น้ำหนักสูงสุด	สูตรของ CRC	ขึ้นอยู่กับค่า L/r	L/r = 0 ;1.67 L/r = 130 ; 1.92
สลักเกลียวชนิดกำลังสูง	การวิบัติโดยการเฉือน	ขึ้นกับความยาวของรอยต่อ	$22A_bn$	สูงสุด = 3.30 ต่ำสุด = 2.10
หมุดย้ำ	การวิบัติโดยการเฉือน	ขึ้นกับความยาวของรอยต่อ	$15A_bn$	สูงสุด = 3.00 ต่ำสุด = 2.20
คานต่อเนื่อง	การไหลในช่วงพลาสติกอย่างไม่จำกัด	$1.7\ P_w$	P_w	1.70
โครงอาคารสูง	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	$1.7\ P_w$	P_w	1.70
โครงอาคารสูงภายใต้แรงลม	การไหลในช่วงพลาสติกอย่างไม่จำกัด	$1.3\ P_w$	P_w	1.30

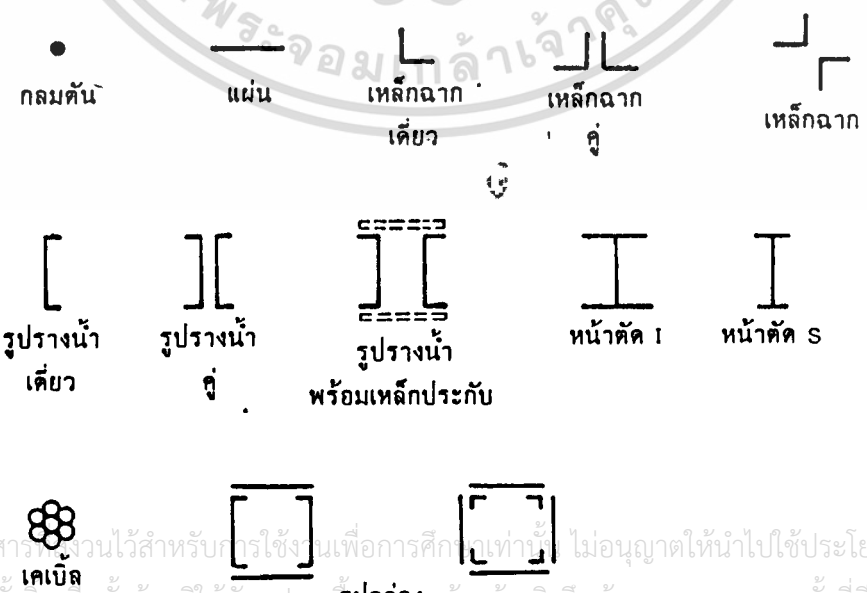
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 องค์อาคารรับแรงดึง

องค์อาคารรับแรงดึง (Tension members) ได้แก่องค์อาคารรับแรงดึงตามแกน มักจะพบในโครงสร้างเหล็กทั่วไป ตามปกติจะทำหน้าที่เป็นองค์อาคารหลักในโครงสร้างจำพวก สะพาน หลังคา โครงข้อหมุน หอสูง ตัวยึด (tie rods) และแกงแนงกันลม (Wind bracings) ในโครงอาคารสูงหลายชั้น สำหรับโครงสร้างที่องค์อาคารรับแรงดึงทำหน้าที่รอง ได้แก่ โครงสร้างระบบกำแพงหรือพื้นที่มีตัวยึดระหว่างกำแพงหรือพื้น เพื่อให้เกิดความแข็งแรง ไม่เกิดการไหวตัวได้ง่าย เป็นต้น

แบบขององค์อาคารรับแรงดึงอาจได้แก่ องค์อาคารเดี่ยวซึ่งได้แก่เหล็กที่มีรูปร่างและ ขนาดมาตรฐานที่ผลิตขายอยู่ทั่วไป เช่น เหล็กกลม เหล็กแบน ลวดเหล็ก เคเบิ้ล เหล็กรูปพรรณ เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัว I เป็นต้น หรืออาจได้แก่องค์อาคารประกอบ (buil-up members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น โดยทั่วไปการใช้องค์ อาคารเดี่ยวจะประหยัดกว่าการใช้องค์อาคารประกอบ อย่างไรก็ตามองค์อาคารประกอบมีความจำ เป็นในกรณีที่ องค์อาคารเดี่ยวมีขนาดเล็กและไม่สามารถรับแรงดึงได้พอหรือในกรณีที่ต้องการลดค่า อัตราส่วนความชะลูด (slenderness ratio) ขององค์อาคารรับแรงดึง เป็นต้น

รูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงดึงที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 หน้าตัดขององค์อาคารรับแรงดึง

2.3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลัง (มาตรฐาน ว.ส.ท.)

วิธีการออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง เป็นวิธีการออกแบบที่ง่ายที่สุด เนื่องจากความไม่เสถียร (instability) ขององค์อาคารมีความสำคัญรองลงมา วิศวกรเพียงแต่เลือกขนาดขององค์อาคารให้มีเนื้อที่หน้าตัดเพียงพอในการต้านทานแรงกระทำจากภายนอก โดยมีค่าความปลอดภัยต่อการวิบัติที่เพียงพอ

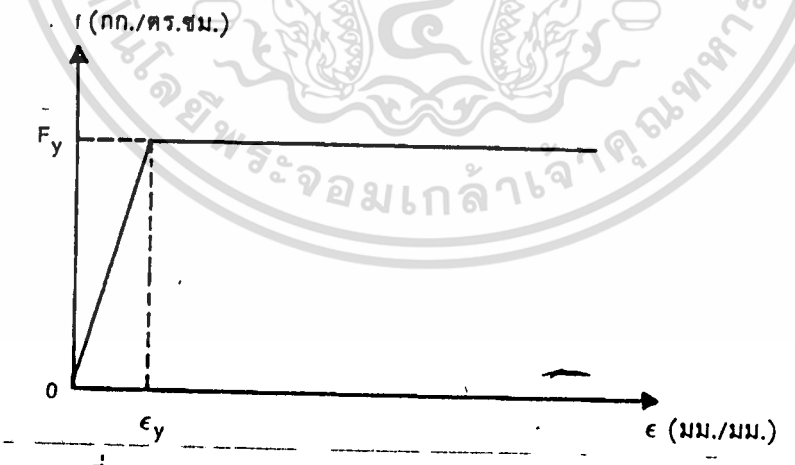
การออกแบบจะสมมติว่าหน่วยแรงกระจายสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดขององค์อาคาร และเมื่อกำหนดให้ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับความเครียดมีลักษณะดังปรากฏในรูปที่11ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดขององค์อาคารมีค่าดังนี้

$$T_u = F_y A_n \qquad (2.3.1)$$

โดยที่ T_u = แรงดึงสูงสุด กก.

F_y = หน่วยแรงดึงคลาก กก./ตร.ซม.

A_n = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ตร.ซม.



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียด

จากสมการที่ 2.3.1 ความสามารถในการรับแรงดึงที่ยอมให้มีค่าดังนี้

$$T_w = F_y A_n / F.S. = F_t A_n \qquad (2.3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ T_w = แรงดึงที่ยอมให้ กก.

F.S.= ตัวประกอบความปลอดภัย

และ F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ กก./ตร.ซม.

ดังนั้นเมื่อแรงดึงภายนอกมีค่าเท่ากับ T_w เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่ต้องการสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.3.2 ดังนี้

$$A_n = T_w/F_t$$

พิจารณาค่า F.S. ในสมการที่ 2.3.2 จากมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.65 ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากในอดีตสำหรับเหล็กชนิด A7 (ปัจจุบันไม่ผลิตขาย) ซึ่งมีหน่วยแรงดึงคลาก F_y = 2,320 กก./ตร.ซม. วิศวกรได้เลือกใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ F_t = 1,405 กก./ตร.ซม. โดยไม่ปรากฏความเสียหายกับโครงอาคารแต่ประการใด ดังนั้น ว.ส.ท. จึงได้กำหนดค่า F.S. จากประสบการณ์ดังกล่าว และได้

$$F.S. = F_y/F_t = 2320/1405 = 1.65$$

หรือ $$F_t = 0.60\ F_y$$

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ต่อเนื้อที่หน้าตัดสุทธิสำหรับองค์อาคารรับแรงดึง ที่กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (มาตรฐาน ว.ส.ท. AISC 1969)

– บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ยกเว้นรูสลัก(pin holes) $F_t = 0.60F_y$ แต่ต้องไม่เกิน $0.50 F_u^+$ – บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่ปลายรับสลัก (eye bars) องค์อาคารที่มีข้อต่อแบบหมุนได้ $F_t = 0.45F_y$ – บนเหล็กที่เป็นเกลียว(สลักเกลียว,หมุดย้ำ ฯลฯ) $F_t = 0.60F_y$
+ F_u = กำลังดึงที่น้อยที่สุด (Minimum tensile strength) กก./ตร.ซม. * กระทำต่อเนื้อที่ $0.7854(D-\frac{2.475}{n})^2$ โดยที่ D = เส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายเกลียว ซม. และ n = จำนวนเกลียวต่อเซนติเมตร

2.3.2 เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง ได้แก่เนื้อที่หน้าตัดองค์อาคารในแนวตั้งฉากกับแรงกระทำภายนอก ซึ่งมีค่าเท่ากับเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (gross sectional area) ลบด้วยเนื้อที่ส่วนที่เป็นรูเจาะ สำหรับสลักเกลียวหรือหมุดย้ำมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้เส้นผ่าศูนย์กลางของรูมีค่าเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำ +3 มม. ในกรณีที่การเจาะรูเป็นแบบซิกแซก (zig-zag) การวิบัติจะเกิดขึ้นที่บริเวณเนื้อที่หน้าตัดสุทธิวิกฤต (critical net section) ซึ่งได้แก่เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่น้อยที่สุดนั่นเอง

สำหรับเหล็กรูปตัดฉากเดี่ยวเนื้อที่หน้าตัดสุทธิของขาที่ไม่มีการต่อปลาย อนุญาตให้ใช้ได้เพียงครึ่งเดียว เพื่อเผื่อแรงเยื้องศูนย์ที่อาจเกิดขึ้น

รูปที่ 2.12 แสดงองค์อาคารรับแรงดึงมีความกว้าง b ซม. และความหนา t ซม. การเจาะรูเป็นแบบซิกแซก โดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของสลักเกลียว ซม.

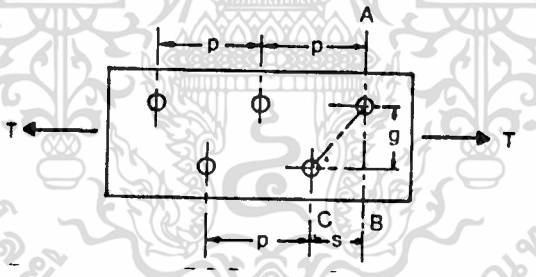
s = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะในแนวเดียวกับแนวแรง (pitch) ซม.

g = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะในทางขวางกับแนวแรง (gage) ซม.

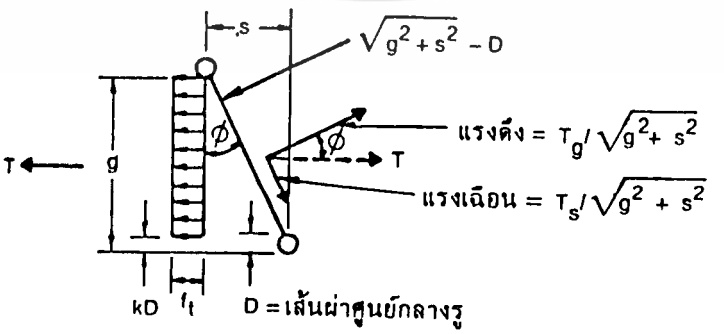
พิจารณารูปที่ 2.12 พบว่าการวิบัติอาจเกิดขึ้นได้ที่บริเวณหน้าตัดตามเส้น AB หรือ หน้าตัดตามแนวเส้น AC หน้าตัดตามแนวเส้น AB สามารถคำนวณหาได้โดยไม่ลำบาก ในขณะที่หน้าตัดสุทธิตามแนวเส้น AC การคำนวณหาค่อนข้างจะทำได้ลำบาก อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวก มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้ใช้ค่า $s^2/4g$ เป็นตัวปรับความกว้างสุทธิสำหรับหน้าตัดที่มีแนวเส้นผ่านรูที่มีการเจาะแบบซิกแซก ดังนั้นจะได้

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ AB = $\{b-(d+0.3)\}\ t$ ตร.ซม.

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ AC = $\{b-2(d+0.3)+s^2/4g\}\ t$ ตร.ซม.



รูปที่ 2.12 องค์อาคารรับแรงดึงเจาะรูแบบซิกแซก



รูปที่ 2.13 แรงกระทำบนหน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่น้อยกว่าในสองค่านี้จะเป็นค่าของเนื้อที่หน้าตัดสุทธิวิกฤต ซึ่งจะเป็นแนวที่องค์อาคารดึงเกิดการวิบัติ อย่างไรก็ตามการทดสอบพบว่า กำลังขององค์อาคารดึงจะลดลงประมาณ 15% ของกำลังดึงสูงสุด ถึงแม้ว่าเนื้อที่ที่หักออกเนื่องจากรูจะมีค่าน้อยมากแล้วก็ตาม ดังนั้นมาตรฐาน ว.ส.ท. จึงกำหนดให้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากที่สุดขององค์อาคารดึงที่มีรูมีค่าไม่เกิน 85% ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด นั่นคือ

$$A_n \leq 0.85\, A_g$$

พิจารณาเทอม $s^2/4g$ ซึ่ง ว.ส.ท. ได้นำมาใช้ในการปรับความกว้างสุทธิของหน้าตัดที่มีการเจาะรูแบบซิกแซก จากรูปที่ 2.13 ถ้าให้หน่วยแรงดึงตามแกนมีค่า f จะได้แรงดึงตามความยาว g-kD เท่ากับ

$$T = f_t(g-kD)t$$

$$kD = D - \frac{s^2}{4g}$$

ดังนั้น เมื่อพิจารณาหน้าตัดสุทธิตามขวาง รูปที่ 2.13 จะได้

$$\text{ความกว้างสุทธิ} = g - kD = g - D + \frac{s^2}{4g} \qquad (2.3.3)$$

สมการที่ 2.3.3 หมายความว่าในการพิจารณาความกว้างสุทธิของรูที่เจาะเยื้องออกไป ให้ลบความกว้างของรูนั้นออก แล้วบวกด้วยค่า $s^2/4g$

การปรับความกว้างสุทธิขององค์อาคารดึงที่มีการเจาะรูแบบซิกแซกด้วยค่า $s^2/4g$ ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณโดยทฤษฎีหน่วยแรงสูงสุด (maximum stress theory) ซึ่งอาจมีความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 10-15% ดังนั้นเพื่อความสะดวก ว.ส.ท. จึงกำหนดให้ใช้ค่า $s^2/4g$ ดังได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลังตามมาตรฐาน AISC 1978

ในปี ค.ศ. 1978 มาตรฐาน AISC ได้ทำการแก้ไขเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง ซึ่งได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 2.9 ดังนี้

ตารางที่ 2.9 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (มาตรฐาน AISC 1978)

– ยกเว้นองค์อาคารที่มีข้อต่อแบบหมุนได้
$F_t = 0.60 F_y$ บนเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด
$F_t = 0.50 F_u^+$ บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล*
– สำหรับองค์อาคารที่มีข้อต่อแบบหมุนได้
$F_t = 0.45 F_y$ บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ
– สำหรับเหล็กที่เป็นเกลียว ตามข้อกำหนดที่ AISC – 1.4.1
$F_t = 0.33 F_u$ บนเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก
^+F_u = กำลังดึงที่น้อยที่สุด กก./ตร.ซม.
* ดูตารางที่ 2.10

จากการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. กับมาตรฐาน AISC (1978) พบว่ามาตรฐาน AISC ได้ใช้ค่า $F_t = 0.60 F_y$ บนเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด แทนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ทั้งนี้เพราะผลการศึกษาพบว่า บ่อยครั้งที่การวิบัติอาจเกิดขึ้นตรงหน้าตัดทั้งหมด ซึ่งอยู่นอกบริเวณหน้าตัดที่เจาะรู ดังนั้น เพื่อป้องกันการวิบัติบริเวณหน้าตัดดังกล่าว มาตรฐาน AISC จึงได้กำหนด ให้ทำการตรวจสอบกำลังขององค์อาคารรับแรงดึงบนเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดด้วย อย่างไรก็ตาม สำหรับตรงหน้าตัดที่มีรูเจาะ AISC ได้กำหนดให้ทำการตรวจสอบกำลังขององค์อาคารตรงหน้าตัดดังกล่าว โดยใช้ $F_t = 0.50 F_u$ บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (A_e) โดยกำหนดให้ $A_e = C_t A_n$

โดยที่ A_e = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล ตร.ซม.

C_t = สัมประสิทธิ์ตัวลด (reduction coefficient) (ดูตารางที่ 2.10)

A_n = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง

ชนิดขององค์อาคาร	จำนวนน้อยสุดของตัวยึดในหนึ่งแถวในทิศทางขนานกับแรงดึง	ข้อบังคับพิเศษ	C_t	A_e
ก. องค์อาคารรับแรงดึงตลอดความยาว ซึ่งชิ้นส่วนของหน้าตัดทั้งหมดมีการยึดต่อเพื่อถ่ายแรงดึง	1	–	1	A_n
ข. แผ่นต่อ แผ่นประกบ ซึ่งใช้ในการต่อยึดองค์อาคารรับแรงดึงเข้าด้วยกัน	1	–	1	A_n $\leq 0.85A_g$
ค. เหล็กรูปพรรณ W,M,S	3	ความกว้างของปีก $\geq \frac{2}{3}$ ความสูงของหน้าตัด การต่อระหว่างปีกต่อปีก	0.90	$0.90A_n$
ง. เหล็กรูปตัวที (T-section) ที่ตัดมาจากเหล็กรูปพรรณในข้อ ค.	3	การต่อระหว่างปีกกับปีก	0.90	$0.90A_n$
จ. เหล็กรูปพรรณ W,M,S อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดในข้อ ค. เหล็กรูปอื่น ๆ เหล็กหน้าตัดประกอบ (built-up section)	3	–	0.85	$0.85A_n$
ฉ. เหล็กรูปต่าง ๆ ทุกชนิด	2	–	0.75	$0.75A_n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ AISC กำหนดให้ใช้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลแทนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ เพราะการทดสอบพบว่า ในกรณีที่องค์อาคารรังแรงดึงมีรูปร่างหน้าตัดของชิ้นส่วนไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน และที่บริเวณรอยต่อ การถ่ายแรงเกิดขึ้นเฉพาะบางชิ้นส่วนของหน้าตัดเท่านั้น ดังเช่นในกรณีของเหล็กฉาก เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ องค์อาคารจะรับหน่วยแรงดึงที่ไม่สม่ำเสมอกันตลอดหน้าตัด อันมีผลทำให้กำลังขององค์อาคารบริเวณหน้าตัดสุทธินี้ลดน้อยลง ดังนั้น AISC จึงใช้ค่า C_t เพื่อเป็นตัวลดกำลังขององค์อาคารดังกล่าว

2.3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านสติฟเนส

ถึงแม้ว่าความไม่มีเสถียรภาพจะไม่ใช่เกณฑ์สำคัญในการออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง แต่เพื่อป้องกันไม่ให้องค์อาคารเกิดการไหวตัวได้ง่ายภายใต้แรงลม หรือการสั่นสะเทือน หรือเกิดลักษณะการตกท้องช้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกของตัวเอง จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าอัตราความชะลูด (slenderness ratio) KI/r = ดังนี้

สำหรับองค์อาคารหลัก $KI/r \leq 240$

สำหรับตัวค้ำยันหรือองค์อาคารรอง $KI/r \leq 300$

โดยที่ K = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล (effective length factor)
= 1.0
I = ความยาว ซม.
r = รัศมีไจเรชั่น = $\sqrt{I/A}$ ซม.
I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย ซม.^{4}
A = เนื้อที่หน้าตัด ตร.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 องค์อาคารรับแรงอัด

องค์อาคารรับแรงอัดได้แก่ องค์อาคารที่รับแรงกดหรือแรงอัดตามแกน เช่น เสา ขัน ทัน โครงหลังคา เป็นต้น องค์อาคารดังกล่าวจะมีมิติของความยาวมากกว่ามิติของหน้าตัดมาก เสาที่จัดเป็นเสาสมบูรณ์ (perfect column) ได้แก่ เสาที่

ก. ประกอบด้วยวัสดุเนื้อเดียวกันหมด (homogeneous materials)

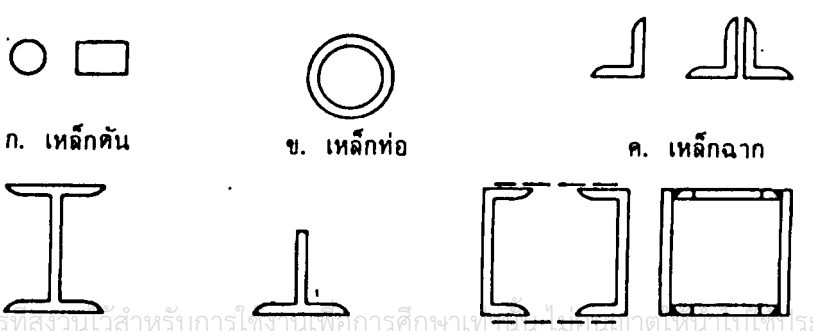
ข. ปราศจากหน่วยแรงดงค้าง (residual stresses)

ค. ตั้งอยู่ในแนวดิ่ง (pertfectly straight) และ

ง. น้ำหนักกระทำผ่านจุดแกนศูนย์ (centrally loaded)

ในโครงอาคารทั่ว ๆ ไป เสาดังกล่าวยากนักที่จะพบเห็น เนื่องจากมีการดัด (bending) แฝงปนอยู่ไม่มากก็น้อย ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะพฤติกรรมของเสาที่มีน้ำหนักกระทำในแนวแกนแต่เพียงอย่างเดียว

แบบขององค์อาคารรับแรงอัดอาจได้แก่ องค์อาคารเดี่ยว ซึ่งได้แก่เหล็กที่มีรูปร่างและขนาดมาตรฐานที่ผลิตขายอยู่ทั่วไป เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัว I เหล็กท่อกลม ฯลฯ หรืออาจได้แก่องค์อาคารประกอบ (built-up members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น รูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงอัดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14 รูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงอัด

2.4.1 ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างโครงสร้างส่วนรับแรงดึงและแรงอัด

1. แรงดึงจะพยายามดึงโครงสร้างให้อยู่ในแนวตรงเสมอ แต่แรงอัดจะพยายามทำให้โครงสร้างนั้นแอ่นหรือโก่ง

2. รูเจาะของหมุนย้ำหรือสลักเกลียวในโครงสร้างที่รับแรงดึง จะลดเนื้อที่หน้าตัดในการรับแรง แต่ในโครงสร้างที่รับแรงอัด ตัวหมุดย้ำหรือสลักเกลียวนั้นสมมติว่าแทนที่รูเจาะเต็มทั้งหมด และเนื้อที่หน้าตัดเต็มทั้งหมดซึ่งเท่ากับความหนาคูณด้วยความกว้าง โดยมิต้องหักเนื้อที่ของรูเจาะก็จะใช้คำนวณในการรับน้ำหนัก

โครงสร้างที่รับแรงอัดจะมีแนวโน้มที่จะแอ่น หรือโก่ง ถึงแม้ว่าแรงอัดนั้นจะอยู่ในแนวแกนก็ตาม การโก่งงอที่เกิดขึ้นในเสานั้นเรียกว่า การโก่งเดาะ (buckling) ซึ่งอาจจะเกิดจากความโค้งแรกเริ่ม (initial curvature) หรือชนิดของการยึดปลาย เป็นต้นว่าปลายยึดอิสระ (free) ปลายยึดหมุน (hinged) หรือปลายยึดแน่น (fixed) หรือเนื่องจากการเยื้องศูนย์ของแรงอัด ในทุกกรณีที่กล่าวนั้นทำให้การคำนวณของโครงสร้างที่รับแรงอัดไม่เหมือนกัน

วิธีการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดค่อนข้างจะยุ่งยากกว่าวิธีการออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง เนื่องจากเสาจะเกิดการโค้งงอภายใต้แรงอัดตามแกน และกำลังของเสาจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความชะลูด (slenderness ratio, = Kl/r) ของเสานั้น .

2.4.2 การโค้งงอของเสาในช่วงอิลาสติก

เสาตรง

เสายาวภายใต้แรงอัดตามแกนจะเกิดการโค้งงอ ทั้ง ๆ ที่ไม่มีโมเมนต์กระทำจากภายนอก การโค้งงอนี้ทำให้เสาสูญเสียความมีเสถียรภาพ น้ำหนักตามแกนต่ำสุดที่ทำให้เสาเกิดการโค้งงอ เรียกว่า น้ำหนักโค้งงอ (buckling load) ซึ่งจะเป็นค่าที่กำหนดความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา การศึกษาพบว่า น้ำหนักโค้งงอจะแปรผันกลับกับความยาวของเสา เสาตรงประกอบด้วยองค์อาคารรับแรงอัด 2 ตัว ยึดติดกันด้วยสริงที่มีค่าความต้านทานการหมุน K ที่น้ำหนักโค้งงอ P เสาจะเกิดการโค้งงอดังแสดงในรูปที่ 2.15

สมการแสดงความสมดุลย์ เขียนได้ดังนี้

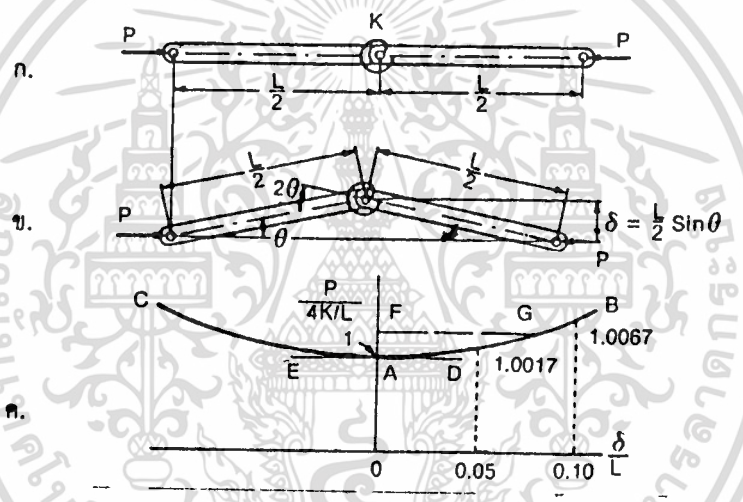
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\beta} = \frac{PL}{2}\sin\beta = 2K\beta \qquad (2.4.1)$$

หรือ $$P = \frac{4K}{L}\,\frac{\beta}{\sin\beta}$$

เมื่อสมมติให้การโค้งมีค่าน้อยมาก (small-deflection) จะได้ Sin = และจากสมการที่ 2.4.1 ได้

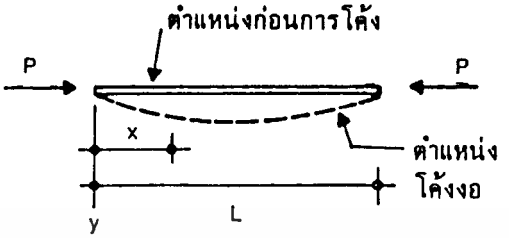
$$P_{cr} = \frac{4K}{L} \qquad (2.4.2)$$



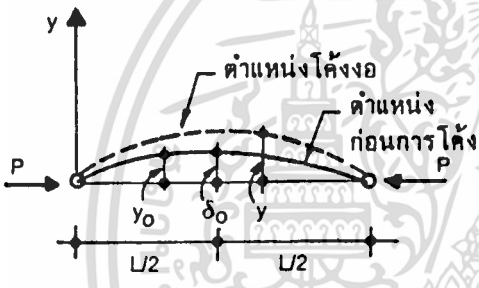
รูปที่ 2.15 องค์อาคารรับแรงอัดเชื่อมต่อกันด้วยสปริง

รูปที่ 2.15 ค. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตามแกนกับระยะโค้งที่จุดกึ่งกลาง ณ จุดA ซึ่ง P มีค่าเท่ากับ 4K/L เสาจะมีสภาวะความสมดุลย์ 2 ตำแหน่ง กล่าวคือ ความสมดุลย์ในแนวดิ่ง (เส้น OA) และความสมดุลย์ในแนวโค้ง (เส้น AB) จุด A เรียกว่า จุดไบเฟอร์เคชั่น (bifurcation point) เมื่อ P≤4K/L เสาจะมีสภาวะความสมดุลย์อยู่ในแนวดิ่ง ดังแสดงด้วยเส้น OA แต่เมื่อ P>4K/L เสาจะเกิดการโค้งและเกิดสภาวะความสมดุลย์ขึ้นใหม่ ดังแสดงด้วยเส้น AB จุด F ในแนวเส้นตรง OA เป็นตำแหน่งที่เสาเกิดความไม่เสถียรภาพขึ้น กล่าวคือ การที่จะให้เสาอยู่ในแนวดิ่ง ณ ตำแหน่ง F ได้ จะต้องอาศัยการบังคับ เช่น การค้ำยันด้านข้างเพื่อไม่ให้เสาเกิดการโค้งงอ แต่ทันทีที่นำเอาค้ำยันออกเสาจะเกิดการโค้งงอและเกิดสภาวะความมีเสถียรภาพขึ้นใหม่ที่ตำแหน่ง G ในแนวเส้นโค้ง AB

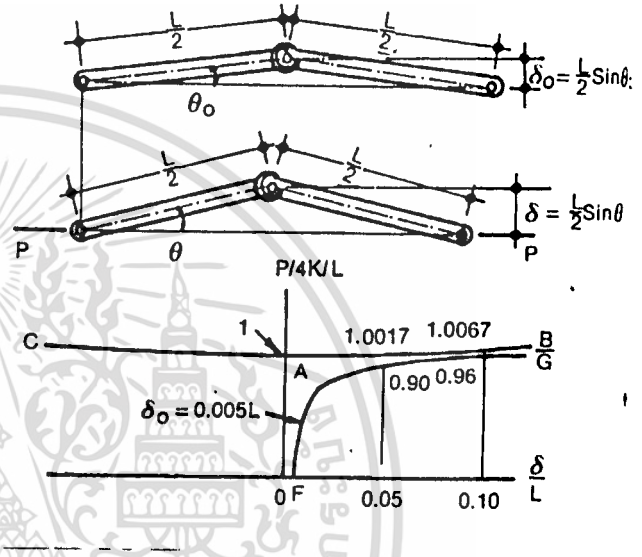
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16.1 เสาตรงภายใต้แรงอัด



รูปที่ 2.16.2 เสาโค้งภายใต้แรงอัด



รูปที่ 2.16.3 เสาโก่งเชื่อมต่อกันด้วยสปริง

Leonhard Euler ในปี ค.ศ. 1757 ได้เสนอทฤษฎีการโค้งงอของเสาตรงยาวในช่วงอิลาสติก รูปที่ 2.16.1 แสดงเสาตรงที่ปลายทั้งสองข้างมีจุดรองรับเป็นแบบจุดหมุน (pin-ended) ภายใต้แรงอัดตามแกน P เสาเกิดการโค้งงอดังแสดงด้วยเส้นประ โมเมนต์ที่เกิดขึ้น ณ จุดใด ๆ บนเส้นประมีค่าเท่ากับ Py และจากความสมดุลย์ของแรง จะได้

$$\frac{EI}{\rho} = Py(x) \qquad (2.4.3)$$

โดยที่ E = โมดูลัสยืดหยุ่น กก./ตร.ซม.

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย ซม.^{4}

ρ = รัศมีความโค้ง ซม.

y(x) = ระยะโค้งงอ ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีความโค้ง (p) กับระยะโค้งงอ (y) เขียนได้ดังนี้

$$\frac{1}{p} = - \frac{d^2y/dx^2}{[1 + (dy/dx)^2]^{3/2}} \qquad (2.4.4)$$

เมื่อกำหนดให้การโค้งงอมีค่าน้อยมาก สมการที่ 3.4 เขียนใหม่ได้

$$\frac{1}{p} = - d^2y/dx^2 \qquad (2.4.5)$$

แทนค่าจากสมการที่ 2.4.5 ในสมการที่ 2.4.3 ได้

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI} y = 0 \qquad (2.4.6)$$

แก้สมการดิฟเฟอร์เรนเชียลอันดับที่ 2 ในสมการที่ 2.4.6 โดยกำหนดให้

$$k^2 = \frac{P}{EI} \qquad (2.4.7)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.4.6 ได้

$$\frac{d^2y}{dx^2} + k^2y = 0 \qquad (2.4.8)$$

ซึ่งคำตอบทั่วไปได้แก่

$$y(x) = A\text{Sin}kx + B\text{Cos}kx \qquad (2.4.9)$$

จากสภาพขอบรองรับซึ่งกำหนดให้ $y = 0$ ที่ระยะ $x = 0$ จะได้ $B = 0$ และเมื่อ $y = 0$ ที่ระยะ $x = L$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A \sin kL = 0 \qquad (2.4.10)$$

สมการที่ 2.4.10 เป็นจริงเมื่อ

ก. $A = 0$ ซึ่งเป็นกรณีที่เสาไม่เกิดการโค้งงอ

ข. $kL = 0$ ซึ่งเป็นกรณีที่ $P = 0$

ค. $kL = n$ ซึ่งเป็นกรณีที่เสาเกิดการโค้งงอ และเป็นกรณีที่สนใจ โดยที่ n มีค่าเท่ากับ 1,2,3.....

แทนค่า $k = \frac{n\pi}{L}$ ลงในสมการที่ 3.7 ได้

$$P = \frac{n^2\pi^2}{L^2} EI \qquad (2.4.11)$$

พิจารณาสมการที่ 2.4.11 พบว่า P มีค่าต่ำสุดเมื่อ $n = 1$ ซึ่งเป็นกรณีที่เสาเกิดการโค้งงอแบบความโค้งเดี่ยว (single curvature) ดังนั้น

$$P_E = \frac{\pi^2}{L^2} EI \qquad (2.4.12)$$

โดยที่ P_E = น้ำหนักออยเลอร์ (Euler load) กก.

หรือในเทอมของหน่วยแรงอัด จะได้

$$f_e = \frac{P_E}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \qquad (2.4.13)$$

โดยที่ f_e = หน่วยแรงอัดออยเลอร์ (Euler stress) กก./ตร.ซม.

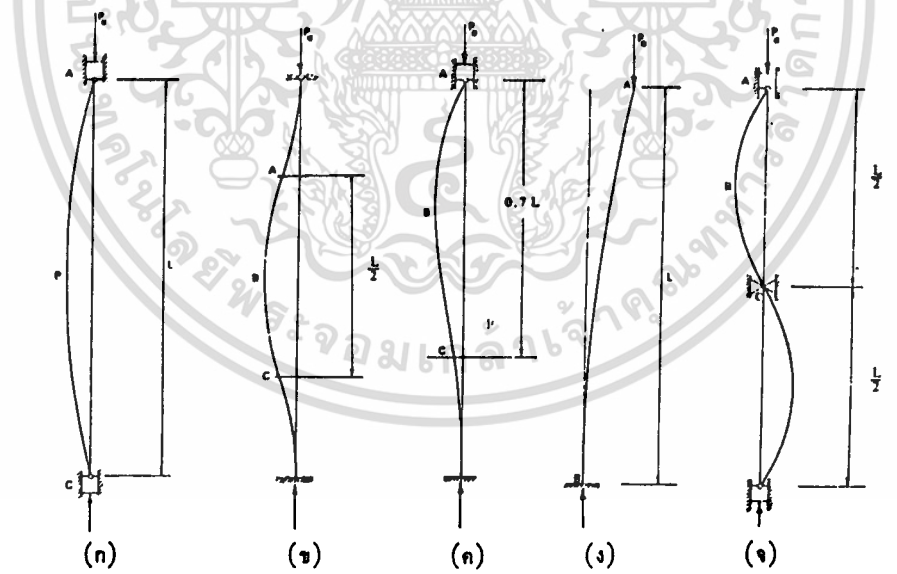
r = รัศมีไจเรชั่น ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ผลของลักษณะการยึดปลายต่อน้ำหนักประลัยของเสา

กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน จะหาได้โดยใช้สมการ 2.4.13 สำหรับน้ำหนักประลัยของเสาที่มีลักษณะการยึดปลายต่าง ๆ กัน ก็สามารถหาได้โดยใช้การวิเคราะห์และพิจารณาแบบเดียวกันกับที่กล่าวในตอนต้น คือเริ่มต้นการพิจารณาตั้งแต่สมการของเส้นโค้งอีลาสติค แล้วใช้เงื่อนไขของการยึดปลายคำนวณหาน้ำหนักประลัยของเสาแต่ละกรณี ซึ่งจะได้อยู่ในรูปแบบสมการคล้ายสมการ 2.4.13

ลักษณะการยึดปลายเสาแบบต่าง ๆ ในโครงสร้างทั่วไป ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 น้ำหนักประลัยของเสาในแต่ละแบบของการยึดปลายจะหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.17 ลักษณะต่าง ๆ ของการยึดปลายเสา

1. เมื่อปลายเป็นแบบยึดหมุนทั้งสองข้าง (รูป ก) น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้จะหาได้โดยใช้สมการ 2.4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อปลายเป็นแบบยึดแน่นทั้งสองข้าง (รูป ข) จุดดัดกลับ A และ C จะอยู่ห่างจากปลายทั้งสองเป็นระยะ L/2 ดังนั้นส่วนของเสา ABC จะคล้ายกับเสาในแบบแรก ซึ่งมีความยาวเสาเป็น L/2 น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(L/2)^2} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2} \qquad (2.4.14)$$

นั่นคือ เมื่อปลายเสาเป็นแบบยึดแน่นทั้งสองข้าง กำลังรับน้ำหนักของเสานี้จะเป็นสี่เท่าของเสาที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน สมการ(2.4.14) นี้สามารถใช้ได้กับรูป (จ) ซึ่งมีปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุนและมีการยึดทางข้างที่กึ่งกลางของเสาดังรูป

3. เมื่อปลายข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่น และปลายอีกข้างหนึ่งเป็นแบบยึดหมุน (รูป ค) จุดดัดกลับ C จะอยู่ที่ระยะ 0.7L จากปลาย A และช่วงของเสา ABC จะคล้ายกับเสาในแบบแรก (รูป (ก)) ซึ่งมีความยาวของเสาเป็น 0.7L ดังนั้น น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0.7L)^2} = \frac{2\pi^2 EI}{L^2} \text{ (โดยประมาณ)} \qquad (2.4.15)$$

นั่นคือ กำลังรับน้ำหนักของเสาแบบนี้จะเป็นสองเท่าของเสาในรูป (ก)

4. เมื่อปลายข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่นและปลายอีกข้างหนึ่งเป็นแบบปล่อยอิสระ (รูป ง) ส่วนของเสา AB ในรูป (ง) นี้จะเป็นส่วนของ AB ในรูป (ก) ดังนั้น น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(2L)^2} = \frac{1}{4}\frac{\pi^2 EI}{L^2} \qquad (2.4.16)$$

นั่นคือ กำลังรับน้ำหนักของเสาแบบนี้มีเพียงเศษหนึ่งส่วนสี่ของเสาในรูป (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะเห็นว่าสมการของออยเลอร์เป็นสมการที่ใช้หาน้ำหนักประลัยของเสาเมื่อเสามีลักษณะของการยึดปลายเป็นแบบต่าง ๆ ซึ่งจะเขียนได้ใหม่เป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้ คือ

$$\text{น้ำหนักประลัย } P_{\text{ }} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \qquad (2.4.17)$$

ถ้าให้เนื้อที่หน้าตัดเสาเท่ากับ A

ดังนั้น หน่วยแรงอัดประลัย $\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$ (2.4.18)

ในที่นี้ K เป็นตัวประกอบคงที่ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของการยึดปลาย โดยทั่ว ๆ ไป เทอม KL เรียกว่าความยาวประสิทธิผล

เมื่อพิจารณาสมการของออยเลอร์จะเห็นว่า ถ้าเสามีความยาวเท่ากัน น้ำหนักประลัยจะขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงของวัสดุ EI ซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่าของโมเมนต์อินเนอร์เชีย ดังนั้นการโก่งเดาะของเสาจะเกิดขึ้นในแนวแกนหรือในทิศทางที่มีโมเมนต์อินเนอร์เชียน้อยที่สุด ในการคำนวณออกแบบ จึงควรเลือกหน้าตัดที่ให้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียเท่า ๆ กัน ทั้งสองแกน (แกน X และแกน Y)

2.4.4 การเลือกรูปตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

ในทางทฤษฎีแล้วสามารถเลือกใช้รูปตัดเพื่อรับแรงอัดเป็นแบบใดก็ได้เพียงแต่คำนวณให้รับน้ำหนักปลอดภัยเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้ว การเลือกจะต้องคำนึงถึงรูปหน้าตัดที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด ปัญหาของการต่อปลาย และการใช้งานในโครงสร้างแบบต่าง ๆ ของส่วนที่รับแรงอัด

หน้าตัดของโครงสร้างที่รับแรงอัด โดยมากจะเหมือนกับของโครงสร้างที่รับแรงดึง แต่มีข้อยกเว้นบางอย่างคือ กำลังของโครงสร้างที่รับแรงอัดนั้นจะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับอัตราส่วนความชะลูด (อัตราส่วนของความยาวประสิทธิผลต่อรัศมีไขเรขั้นน้อยที่สุด) และต้องการรูปตัด

เอกสารนี้ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สติฟ (Stiff) เหล็กรูปที่เป็นท่อนเหล็กกลม หรือแผ่นเหล็กแบน นั้นโดยมากจะไม่ค่อยใช้รับแรงอัด ทั้งนี้ เพราะความชะลูด (slender) มีค่ามาก นอกเสียจากว่าความยาวที่ใช้นั้นไม่มากและรับแรงอัดน้อย ๆ

รูปตัดฉากเดี่ยว (Single-angle) ใช้เป็นค้ำยันและรับรองอัดในโครงสร้างแบบโครงหลังคา (truss) ขนาดย่อม ๆ แบบนี้ไม่ค่อยประหยัดเพราะรัศมีของไจเรชั่นน้อย และการต่อกับแผ่นเหล็กประกับอาจจะทำให้เกิดแรงดัด เนื่องจากการเยื้องศูนย์ขึ้นได้

รูปตัดฉากคู่ (Double-angle) ซึ่งต่อโดยการจับขามาชนกัน (back to back) และ มีแผ่นเหล็กประกับอยู่ตรงกลางจะใช้ทั่วไปในโครงหลังคา และใช้เป็นค้ำยันต้านแรงลมในดานประกอบของโครงสะพาน ปกติแล้วจะใช้เหล็กฉากชนิดขายาวไม่เท่ากัน (unequal-leg angle) โดยที่เอาขาด้านยาวมาประกบกันเพื่อที่จะให้ได้รัศมีไจเรชั่นในแนวแกนทั้งสอง (x และ y) เท่า ๆ กัน

สำหรับรูปตัดแบบต้วที (Tee) ใช้เป็นส่วนของจันทันในโครงหลังคา ที่มีการต่อด้วยการเชื่อม ส่วนเหล็กรูปแบบเหล็กราง (channel) นั้นไม่ค่อยนิยมเพราะว่ารัศมีของไจเรชั่นน้อยมาก แต่ถ้าจะใช้ก็จะต้องมีการยึดทางด้านข้าง (lateral support) เหล็กรูปแบบ WF เป็นแบบทั่วไปสำหรับใช้เป็นเสา และโครงสร้างที่รับแรงอัดในงานสะพาน ทั้งนี้ เพราะรัศมีไจเรชั่นในแกนทั้งสองเกือบเท่ากัน

รูปตัดแบบท่อกลมกลวง (pipe) ใช้เป็นเสารับน้ำหนักของหลังคาทางเดินเท้าหรือโรงรถในบ้านเรือนทั่วไป เหมาะสำหรับในกรณีที่รับน้ำหนักน้อยหรือปานกลาง รูปตัดแบบนี้มีข้อดี คือ รัศมีไจเรชั่นจะเท่ากันทุกแกน สำหรับหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีภายในกลวงนั้น แต่ก่อนไม่ค่อยนิยมใช้ ทั้งนี้ เพราะมีปัญหาในการต่อโดยใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว แต่ในปัจจุบันนิยมใช้มากขึ้นเพราะใช้การต่อปลายโดยการเชื่อม

โครงสร้างที่รับแรงอัดในโครงสร้างขนาดใหญ่ ปกติจะได้จากการนำหน้าตัดแบบต่าง ๆ มาประกอบรวมกัน (built-up) เพื่อใช้รับแรงที่มีค่ามากและสำหรับโครงสร้างที่มีช่วงระยะการต่อปลายจะกระทำที่ด้านเปิด (open side) โดยมีแผ่นยึด (lacing) เป็นตัวยึดเพื่อทำให้รูปตัดที่ประกอบรวมกันนั้นถูกตรึงเสมือนเป็นอันเดียวกัน แบบต่าง ๆ ของหน้าตัดที่ได้จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

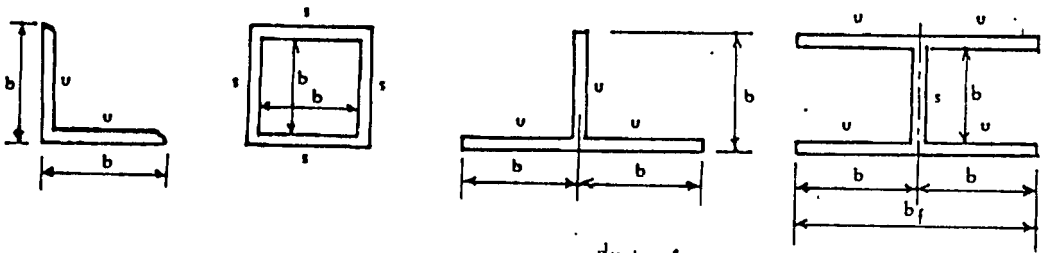
ประกอบ (built-up sections) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14 เส้นประจะแสดงถึงแผ่นยึด (lacing) เป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่องกันเส้นเต็ม (solid line) แสดงถึงส่วนที่ต่อเนื่องตลอดความยาว รูปตัดที่ประกอบด้วยเหล็กฉาก 4 อันนั้นจะทำให้มีรัศมีไจเรชั่นมากที่สุด และใช้งานก่อสร้างหอสูงและรับล้อเลื่อนไฟฟ้าในโรงงานรูปตัดที่ประกอบด้วยเหล็กราง (channel) 2 ชิ้นใช้เป็นเสารับน้ำหนักอาคารหรือเป็นส่วนของแผ่นตั้งในโครงเหล็กขนาดใหญ่หน้าตัดที่ใช้เป็นส่วนของขันทันในโครงสร้างสะพานจะประกอบด้วยเหล็กราง 1 คู่ และมีแผ่นปะ (cover plate) อยู่ข้างบน มีแผ่นยึด (lacing) อยู่ด้านล่าง รูปหน้าตัดแบบอื่นก็ได้จากการประกอบรูป WF กับแผ่นปะ (cover plate) หรือเหล็กราง (channel) เป็นการเพิ่มเนื้อที่ที่ปีกคาน (flange) เพื่อให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น

การเลือกใช้รูปตัดต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จะต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความหนา (width-thickness ration) ของแต่ละชิ้นส่วนด้วย เนื่องจากชิ้นส่วนใดที่บางเกินไป จะมีโอกาสเกิดการโก่งเดาะเฉพาะแห่ง (local buckling) ในชิ้นส่วนนั้นก่อนที่ส่วนโครงสร้างทั้งหมดจะเกิดการโก่งเดาะ (overall column buckling) ทำให้กำลังกำลังรับน้ำหนักของเสาต่ำกว่าที่คาดไว้ มาตรฐานกำหนด AISC ได้กำหนดอัตราส่วนความกว้าง (b) ต่อความหนา (t) ที่ยอมให้ (เมื่อ F_y เป็นกำลังจุดคลากของเหล็ก, กก. ต่อตาราง ซม.) โดยแยกออกเป็น 2 กรณี ดังรูปที่ 2.18 คือ

ก. เมื่อขอบด้านข้างไม่ถูกยึด (unstiffened element) โดยทั่วไปใช้ $\frac{b}{t} < \frac{796.5}{\sqrt{F_y}}$ แต่ในเหล็กฉากเดี่ยวหรือเหล็กฉากคู่ที่มีแผ่นแทรกให้ใช้ $\frac{b}{t} < \frac{637}{\sqrt{F_y}}$ และในแผ่นเหล็กอกดานในเหล็กรูปตัวทีใช้ $\frac{b}{t} < \frac{1065}{\sqrt{F_y}}$

ข. เมื่อขอบด้านข้างถูกยึด (stiffened element) โดยทั่วไปใช้ $\frac{b}{t} < \frac{2121}{\sqrt{F_y}}$ แต่สำหรับท่อเหล็กรูปตัดสี่เหลี่ยมให้ใช้ $\frac{b}{t} < \frac{1995}{\sqrt{F_y}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ความกว้างของขอบที่ถูกยึด และไม่ถูกยึด

อย่างไรก็ดี เหล็กรูปพรรณที่ผลิตส่วนใหญ่ได้ทำตามข้ำกำหนดข้างต้นแล้ว จึงมักไม่มีปัญหาเรื่องการโก่งเดาะเฉพาะแห่ง

2.4.5 สูตรคำนวณของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

สูตรคำนวณที่ใช้ออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด เพื่อหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้มีอยู่ด้วยกันหลายสูตร เช่น

สูตร Straight-line (มาตรฐานกำหนดของ AREA ปี ค.ศ. 1920) สูตร Secant (มาตรฐานกำหนดของ ASCE ปี ค.ศ. 1923) สูตร Gordon-Rankine ซึ่งมาตรฐานเก่าของ AISC เคยอนุญาตให้ใช้ ในปัจจุบันนิยมให้สูตรต่อไปนี้

สูตร Parabolic (มาตรฐานกำหนดของ AASHO ปี ค.ศ. 1969)

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ $F_a = 0.44 F_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_e^2}\right]$

ใช้ K = 0.75 สำหรับ riveted end และใช้ K = 0.875 สำหรับ pinned end สำหรับเหล็กชนิด A 36 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ F_a คำนวณจาก

$F_a = 1120 - 0.021 \left(\frac{L}{r}\right)^2$ กก. ต่อตาราง ซม. (riveted ends)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F_a = 1120 - 0.027 \left(\frac{L}{r}\right)^2$ กก. ต่อตาราง ซม. (pinned ends)

ข้อจำกัดคือ ค่าอัตราส่วนความชะลูด $\left(\frac{L}{r}\right)$ จะไม่ต้องเกิน 130

สูตรของมาตรฐาน AISC เป็นสูตรที่อ้างอิงการค้นคว้าล่าสุดเกี่ยวกับพฤติภาพ ของเสาเหล็ก สูตรนี้ได้คำนึงถึง หน่วยแรงอัดที่ค้างเหลืออยู่ (residual stress) เช่น เมื่อชิ้นส่วนเย็นไม่สม่ำเสมอกันเมื่อรีดร้อนเป็นต้น ชนิดของการยืดปลาย ความยากของเสา และคุณภาพของเหล็ก ทำให้ออกแบบได้ประหยัด ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดสูตรนี้สำหรับใช้คำนวณออกแบบเสาเช่นกัน

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ $F_a = \dfrac{\left[1-\frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right]F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3(KL/r)}{8C_c}-\frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}}$ ถ้า $\left(\frac{KL}{r}\right) < C_c$ (ก)

และ $F_a = \dfrac{12\pi^2 E}{23\left(KL/r\right)^2}$ ถ้า $\left(\frac{KL}{r}\right) > C_c$ (ข)

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

L = ช่วงความยาวอิสระของเสาที่ไม่มีสิ่งยึดทางข้าง ซม.

r = รัศมีไจเรชั่น (ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการโก่งงอ ซม.

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก กก. ต่อ ซม.^{2}

F_y = กำลังจุดคลากของเหล็ก กก. ต่อ ซม.^{2}

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (ดูตารางที่ 2.11)

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ กก. ต่อ ซม.^{2}

สำหรับค้ำยัน (bracing) และ ส่วนโครงสร้างรอง (secondary member) ที่มีอัตราส่วนความชะลูดเกินกว่า 120*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ในกรณีนี้ K มีค่าเท่ากับหนึ่ง

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ $F_c' = \dfrac{Fa(\text{จาก(ก)หรือ(ข)})}{1.6 - \dfrac{L}{200\,r}}$ (ค)

ตารางที่ 2.11 ตัวคูณปรกอบความยาวประสิทธิผลของส่วนโครงสร้างหลัก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงค่าตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (K) ตามทฤษฎี และ ที่ใช้ในการออกแบบเสาเดี่ยวโดด ๆ ซึ่งจะเห็นว่าค่าตามทฤษฎีของลักษณะการยึดปลายเสาต่าง ๆ โดยมากจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ ทั้งนี้เพราะในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถทำการยึดปลายเสาได้ตรงตามทฤษฎีนั่นเอง

นอกจากนี้ มาตรฐาน AISC ได้กำหนดว่าอัตราส่วนความชะลูด (KL/r) ของส่วนโครงสร้างหลักที่รับแรงอัดจะต้องไม่เกิน 200 และสำหรับค้ำยันและส่วนโครงสร้างรองจะต้องไม่เกิน 300

2.4.6 ช่วงความยาวประสิทธิผล (Effective Column Length)

ค่าของ KL ในข้อกำหนดของ AISC คือ ช่วงความยาวประสิทธผลของเสา (effective length of column) ที่ระเกิดการโก่งงอ เป็นระยะระหว่างจุดดัดกลับ (inflection point) ของเสา ระยะนี้มีค่าแปรเปลี่ยนต่าง ๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับแบบและชนิดของการยึดปลาย (end restraint)

ในโครงสร้างแบบโครงแข็ง (frame) ค่าตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล(K) ของเสาจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรง (rigidity) ของส่วนโครงสร้างที่นำมาต่อกัน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับว่าโครงสร้างนั้นยอมให้มีการเซหรือไม่ ค่าตัว K ของโครงสร้างแบบนี้ (ที่มีการเซและไม่มีการเซ) จะหาได้จาก Alignment Chart ในรูปที่ 2.19 อักษร A และ B ในรูปจะหมายถึงจุดต่อที่ปลายเสา ตัว G เป็นอัตราส่วนของสติฟเนสแฟคเตอร์ระหว่างเสากับดาน

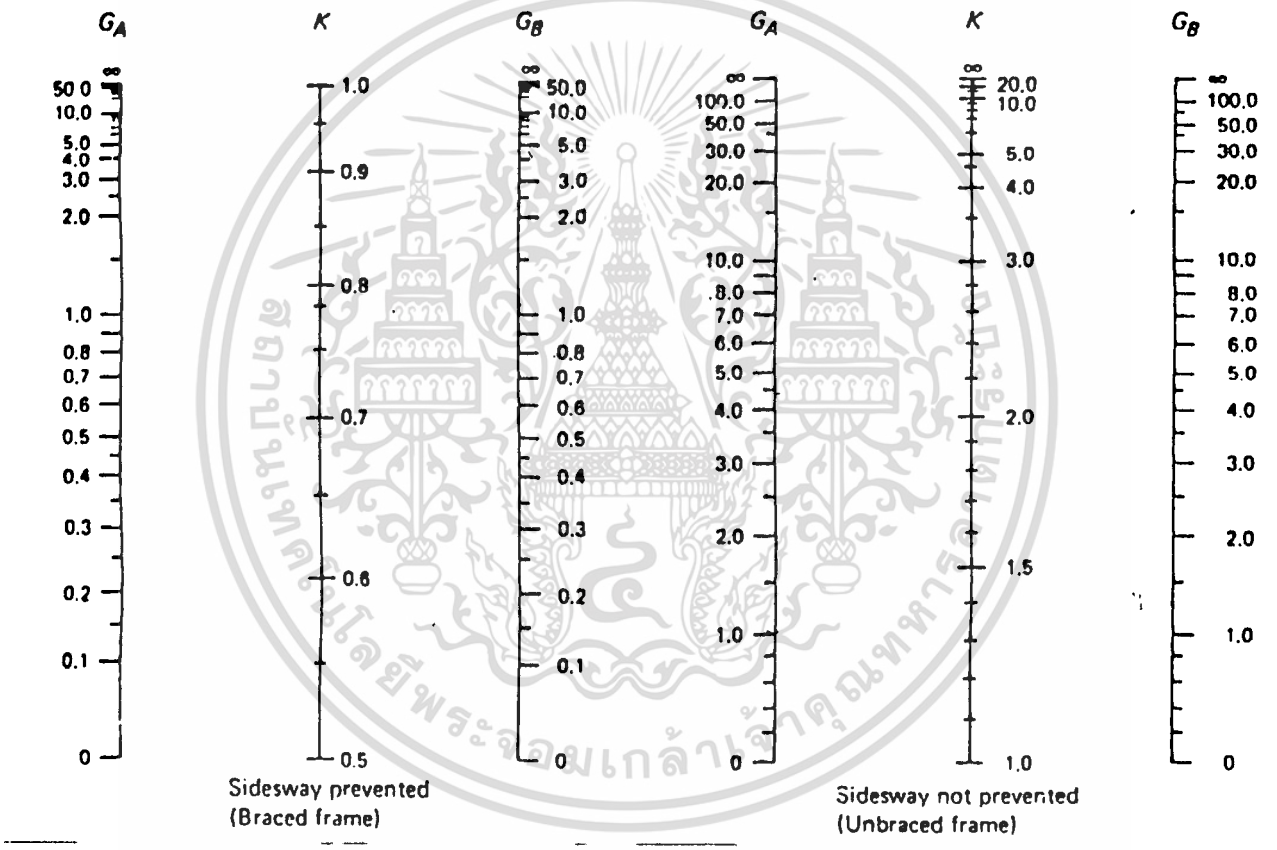
$$G = \frac{\text{สติฟเนสแฟคเตอร์ของเสา}}{\text{สติฟเนสแฟคเตอร์ของดาน}} = \frac{\frac{I_c}{L_c}}{\frac{I_g}{L_g}}$$

ในที่นี้ I_c, L_c เป็นโมเมนต์อินเนอร์เชีย และช่วงความยาวของเสา ตามลำดับ

I_g, L_g เป็นโมเมนต์อินเนอร์เชีย และช่วงความยาวของดาน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ปลายเสามีการยึดแบบยึดหมุน (pinned end) ค่า G ตามทฤษฎีจะมีค่าเป็นอินฟินิตี้ แต่ในการใช้ alignment chart ให้ใช้ค่า G = 10 สำหรับกรณีที่ปลายเสามีการยึดแบบยึดแน่น (fixed end) ค่า G ตามทฤษฎีจะมีค่าเป็นศูนย์แต่ในการใช้ alignment chart ให้ใช้ค่า G = 1



รูปที่ 2.19 Alignment Chart

2.4.7 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

ในกรณีที่แรงอัดกระทำในแนวแกนของรูปตัด วิธีออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด มีขั้นตอนดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมมติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ โดยกำหนดอย่าให้มากกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุด ในสูตรคำนวณของเสา (Column Formula)

2. หาน้ำหนักที่กระทำด้วยหน่วยแรงอัดที่สมมติขึ้นจากข้อ 1 จะได้ค่าเนื้อที่หน้าตัดของเสาที่ต้องการโดยประมาณ

3. เลือกหน้าตัดของเหล็กรูปให้มีเนื้อที่หน้าตัดอย่างน้อยเท่ากับเนื้อที่ที่หาได้จากข้อ 2. จากตารางของเหล็กรูปก็จะได้ค่ารัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุดของหน้าตัดนี้

4. คำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ที่มากที่สุดของหน้าตัดนี้ โดยใช้สูตรคำนวณของเสาและค่ารัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุดที่หาได้จากข้อ 3

5. ถ้าหากค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ที่คำนวณได้จากข้อ 4 ไม่มากเกินกว่าค่าจริง (ซึ่งได้จากการหารน้ำหนักหรือแรงที่กระทำด้วยเนื้อที่ทั้งหมด) ประมาณ 2 ถึง 3 เปอร์เซนต์ แสดงว่าเลือกหน้าตัดได้เหมาะสมแล้ว

6. ถ้าหากค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ที่คำนวณได้มากกว่าค่าของหน่วยแรงอัดจริง ๆ ประมาณ 5% แสดงว่าหน้าตัดที่หาได้นั้นใหญ่เกินกว่าความต้องการ จำเป็นจะต้องลดขนาดลง

7. ถ้าหาค่าหน่วยแรงอัด ที่ยอมให้ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าของหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงแสดงว่าขนาดของหน้าตัดที่หาได้นั้นเล็กกว่าที่ต้องการจริง (แต่พออนุโลมใช้หน้าตัดนั้นได้ หากมีค่าไม่น้อยเกินกว่า 2 - 3 %) จะต้องเลือกขนาดให้ใหญ่กว่านี้ หรืออาจใช้เนื้อที่หน้าตัดเท่าเดิมแต่เพิ่มระยะห่างระหว่างรูปตัดที่นำมาประกอบกันให้มากขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มรัศมีไจเรชั่นซึ่งจะทำให้ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คาน

คานหมายถึงองค์อาคารที่รับน้ำหนักในแนวดิ่ง ซึ่งมีทิศทางขวางกับทิศทางตามยาวขององค์อาคารนั้น ๆ ทั้งนี้รวมถึงโมเมนต์ที่กระทำที่ปลายด้วย ดังนั้น แรงที่กระทำต่อคานจึงมีทั้งแรงดัดและแรงเฉือน ตัวอย่างขององค์อาคารในโครงสร้างที่จัดอยู่ในจำพวกคานได้แก่ ตง จันทัน แป อกไก่เป็นต้น รูปที่ 2.20 แสดงรูปร่างหน้าตัดคานที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งอาจเป็นคานเหล็กรูปพรรณหรือคานประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็ก เพื่อให้มีรูปร่างและความสามารถในการรับน้ำหนักตามต้องการ

รูปที่ 2.20 หน้าตัดคานที่ใช้ทั่วไป

คานภายใต้น้ำหนักกระทำในแนวดิ่ง หากปราศจากการค้ำยันด้านข้างที่เพียงพอ อาจเกิดการโค้งงอด้านข้างได้ มีผลทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักลดลง พฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานชนิดมีการค้ำยันและปราศจากการค้ำยันด้านข้าง รวมทั้งหลักเกณฑ์ในการหาค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. จะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.5.1 พฤติกรรมการรับแรงดัด

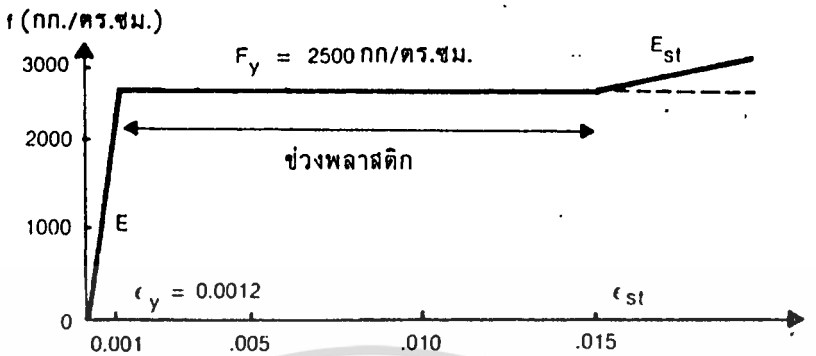
ในการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดของคาน มีข้อสมมติฐานดังนี้

1. คานประกอบด้วยเนื้อวัสดุชนิดเดียวกันตลอด

2. ความเครียดมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแนวแกนสะเทิน กล่าวคือภายใต้แรงดัด หน้าตัดที่เป็นแนวราบยังคงเป็นแนวราบหลังการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

3. ภายใต้แรงดึงและแรงอัด ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับความเครียด สามารถแทนได้ด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงสองเส้น (bilinear f-c curve) รูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของ f-c curve

4. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดมีค่าน้อยมาก และกำหนดให้ $\phi = \tan\phi$ (ϕ = ความโค้ง)

รูปที่ 2.22 ข และ ค แสดงการกระจายของความเครียดและหน่วยแรงตลอดหน้าตัดคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามลำดับ

ในช่วงอิลาสติก : การกระจายของหน่วยแรงตลอดหน้าตัดคานมีลักษณะเป็นเส้นตรง จนกระทั่งหน่วยแรงที่ผิวบนและล่างมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาก (รูปที่ 2.22 ค ขั้นตอน 1) ณ ตำแหน่งนี้

$$\phi_y = \frac{1}{\rho_y} = \frac{c_y}{d/2} = \frac{F_y}{Ed/2} \qquad (2.5.1)$$

และจาก $M_y = EI_x\phi_y$ (2.5.2)

ดังนั้น $M_y = \frac{FyIx}{} = F_yS_x$ (2.5.3)

โดยที่ ϕ_y = ความโค้งคลาก (curvature)

ρ_y = รัศมีความโค้งคลาก

c_y = ความเครียดคลาก

F_y = หน่วยแรงคลาก กก./ตร.ซม.

d = ความลึกของคาน ซม.

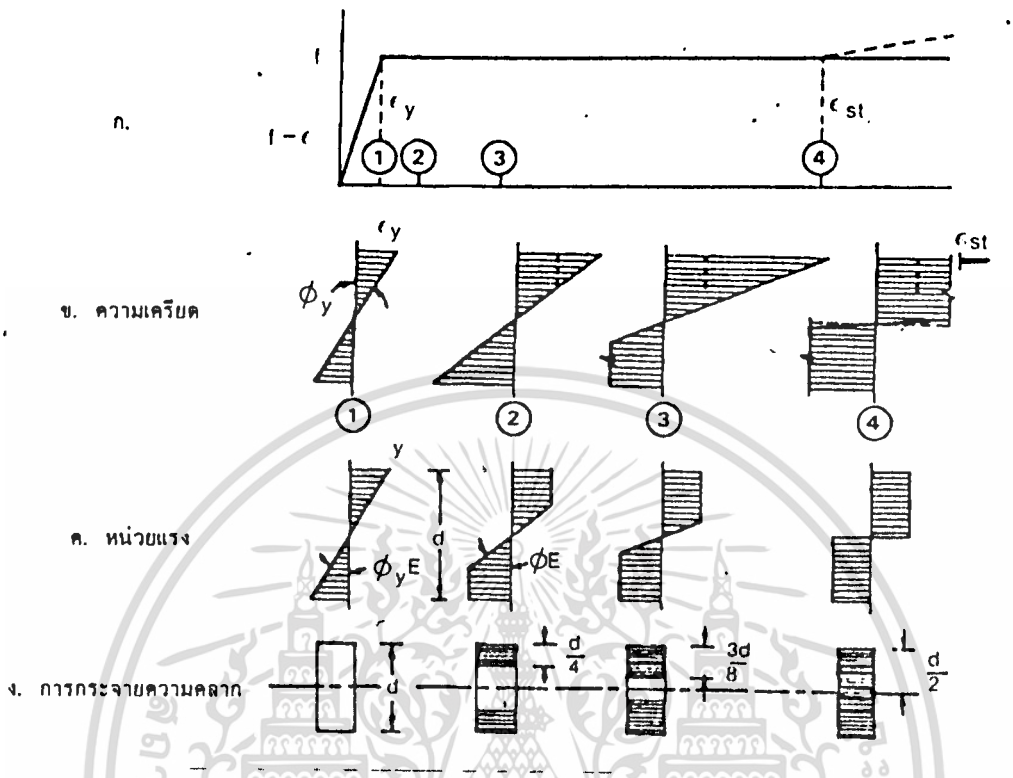
b = ความกว้างของคาน ซม.

M_y = โมเมนต์คลาก กก.ซม.

I_x = โมเมนต์อินเนอร์เชีย ซม.^{4}

S_x = หน้าตัดโมดูลัส ซม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การดัดของคานในช่วงพลาสติก

ในช่วงอินอิลาสติก : หลักจากที่หน่วยแรงสูงสุดที่ผิวบนและผิวล่างของคานมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลากคานยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้น และการกระจายของหน่วยแรงตลอดหน้าตัดคานจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงด้วยขั้นตอน 2,3 และ 4 ในรูปที่ 2.22 ค. ณ ขั้นตอน 4 หน่วยแรงตลอดหน้าตัดมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาก และความสัมพันธ์ของโมเมนต์กับหน่วยแรงเขียนได้ดังนี้

$$M_p = F_y Z_x \qquad (2.5.5)$$

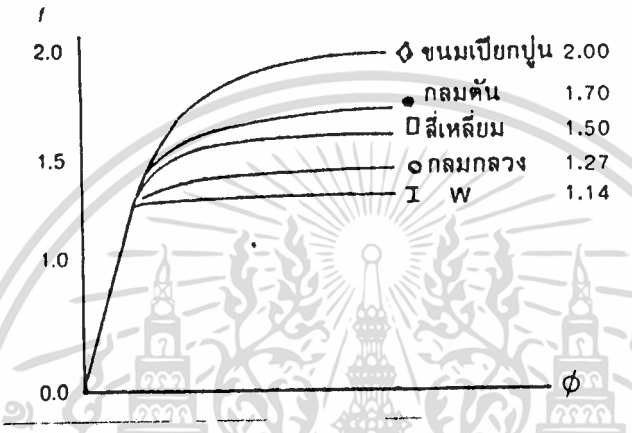
โดยที่ M_p = พลาสติกโมเมนต์ กก.ซม.

F_y = หน่วยแรงคลาก กก./ตร.ซม.

Z_x = พลาสติกโมดูลัส = $(bd^2/4)$ ซม.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของพลาสติกโมเมนต์ (M_p) ต่อโมเมนต์คลาก (My) จะเป็นค่าอัตราส่วนของกำลังต้านโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในคาน หลังจากหน่วยแรงที่ผิวบนและผิวล่างของคานมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาก และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามรูปร่างหน้าตัด ดังนั้นจึงเรียกค่าอัตราส่วนนี้ว่า ตัวประกอบรูปร่าง (shape factor) สำหรับคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าตัวประกอบรูปร่าง (f) มีค่าดังนี้



รูปที่ 2.23 ค่าตัวประกอบรูปร่าง (shape factor) ของคานชนิดต่าง ๆ

$$f = \frac{Mp}{My} = \frac{FyZx}{FySx} = \frac{b^2d/4}{b^2d/6} = 1.50 \qquad (2.5.6)$$

สมการที่ 2.5.6 แสดงว่า สำหรับคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โมเมนต์สูงสุดมีค่ามากกว่าโมเมนต์คลากอยู่ 50% รูปที่ 2.23 แสดงค่าตัวประกอบรูปร่างสำหรับคานที่มีหน้าตัดต่างชนิดกัน สำหรับคานหน้าตัด W ค่า f จะอยู่ระหว่าง 1.10 ถึง 1.18 ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 1.12 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.14 สำหรับหน้าตัด I มีค่าเฉลี่ย 1.18

2.5.2 สูตรคำนวณของคาน

เนื่องจากคานทำหน้าที่รับแรงดัดและแรงเฉือน (สมมติปราศจากแรงบิด) ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกบนคาน ดังนั้น สูตรคำนวณเพื่อหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจึงมีอยู่ 2 อย่าง คือ สูตรแรงดัด (beam-flexure formula) และสูตรแรงเฉือน (beam-shear formula)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สูตรแรงดัด ใช้คำนวณหาหน่วยแรงดัดซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัด (M)

สูตรคือ $f_b = \frac{My}{I}$ หรือ $fb_{max} = \frac{Mc}{I}$

ในที่นี้ f_b = หน่วยแรงดัดเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่ระยะ y จากแกนสะเทิน

y = ระยะที่ห่างจากแกนสะเทิน

c = ระยะที่มากที่สุดของ y

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของรูปหน้าตัดรอบแกนสะเทินที่รับแรงดัด

2) สูตรแรงเฉือน ใช้คำนวณหาหน่วยแรงเฉือนซึ่งเกิดจากแรงเฉือน (V)

สูตรคือ $f_v = \frac{VQ}{It}$

ในที่นี้ f_v = หน่วยแรงเฉือนในเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของคานที่ระยะห่าง y จากแกนสะเทิน

V = แรงเฉือนทั้งหมดในแนวตั้ง

Q = โมเมนต์รอบแกนสะเทินของเนื้อที่ส่วนที่อยู่นอกแนวที่ต้องการหา f_v

t = ความหนาของหน้าตัดที่ต้องการหาหน่วยแรงเฉือน

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียรอบแกนสะเทิน

โดยปกติ มักจะออกแบบคานเป็นรูปตัว I หรือ WF ซึ่งค่าของหน่วยแรงเฉือนที่คำนวณจากสูตรข้างต้น เกือบเท่ากับค่า "เฉลี่ย" ของหน่วยแรงเฉือนซึ่งคำนวณจากสูตร $f_v = V/dt$ โดยที่ d เป็นความลึกของเหล็กแผ่นตั้ง ดังนั้น ในการออกแบบจึงนิยมหาหน่วยแรงเฉือนจากค่า "เฉลี่ย" เพราะสะดวกต่อการคำนวณ

ในการคำนวณออกแบบคาน ค่าของหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าน้อยหรือเท่ากับค่าของหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 โมเมนต์ดัดที่มากที่สุด

ค่าของโมเมนต์ดัดที่มากที่สุด (M) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของตานเอง สามารถหาได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง และเขียนได้ในรูปของสมการ ดังนี้

$$M = C_m WL$$

ในที่นี้ W = น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนตาน กก.

L = ช่วงความยาวของตานระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสอง ซม.

C_m = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักที่กระทำ และลักษณะของการยึดปลายตาน (ดูตารางที่ 2.12)

2.5.4 โมดูลัสหน้าตัด (Section Modulus)

สูตร $S = \frac{M}{F_b} = \frac{I}{C}$

ในที่นี้ S = คือโมดูลัสหน้าตัด ซม.^{3}

การใช้โมดูลัสหน้าตัด (S) ในการออกแบบตาน คือ

ก. หาโมดูลัสหน้าตัดที่ต้องการจากสูตรข้างบน

ข. ใช้ค่าโมดูลัสหน้าตัดที่หาได้จาก ข้อ ก. นำไปเลือกรูปตัดจากตารางของเหล็กรูปพรรณที่มีอยู่โดยจะต้องเลือกรูปตัดที่มีความสมมาตรในระนาบที่รับน้ำหนัก เพื่อหลีกเลี่ยงการรับน้ำหนักเยื้องศูนย์ รูปตัดควรมีน้ำหนักน้อยที่สุดแต่ให้ได้โมดูลัสหน้าตัดตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การโก่ง (Deflection)

สมการที่ 2.5.6 เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการโก่งของคาน ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\Delta = C_{dm} \frac{WL^3}{EI} \qquad (2.5.6)$$

โดยที่ Δ = ค่าการโก่ง ซม.

C_{dm} = ค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงกระทำภายนอก และสภาพการรองรับที่ปลาย (ดูตารางที่ 2.12)

W = แรงกระทำภายนอก กก.

L = ความยาวของคาน ซม.

E = โมดูลัสยืดหยุ่น กก./ตร.ซม.

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย ซม.^{4}

สำหรับค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร จะต้องมีค่าไม่เกิน 1/360 ของความยาวคาน กล่าวคือ

$$\frac{\Delta}{L} < \frac{1}{360} \qquad (2.5.7)$$

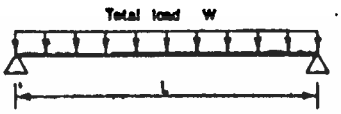
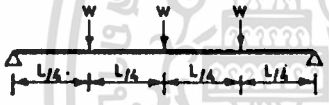
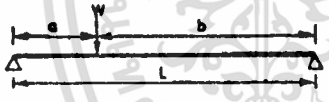
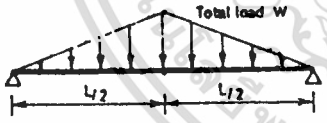
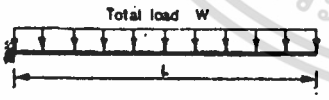
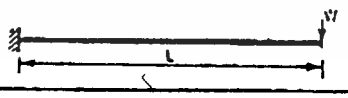
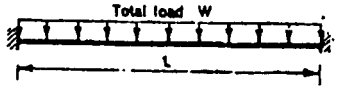
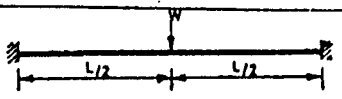
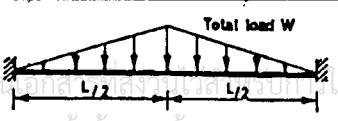
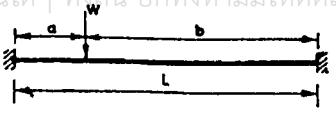
โดยที่ Δ = ค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้ ซม.

L = ความยาวคาน ซม.

ในการคำนวณออกแบบคาน จะต้องตรวจสอบด้วยว่า การตกหรือโก่งตัวของคานที่เกิดขึ้นมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมให้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์ C_{dm} และ C_d

แบบของคาน	C_{dm}	C_d
	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{384}$
	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{48}$
	$\frac{1}{3}$	$\frac{23}{648}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{19}{384}$
	$\frac{ab}{L^2}\frac{1}{9\sqrt{3}}$	$\frac{a}{L}\left(1-\frac{a^2}{L^2}\right)^{\frac{3}{2}}$
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{60}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$
	1	$\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{324}$
	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{192}$
	$\frac{5}{48}$	$\frac{7}{1920}$
	$\frac{ab^2}{L^3}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 มาตรฐานกำหนด AISC

มาตรฐาน AISC ได้กำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังนี้

1. <u>หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (P_b)</u>

สำหรับโครงสร้างส่วนรับแรงดัดที่มีหน้าตัดสมมาตรกับแกนรอง เช่น คานเหล็กรูปพรรณแบบรีดร้อน (รูปตัว I หรือ WF) และมีค้ำยันทางข้างที่ปีกรับแรงอัดอย่างพอเพียงโดยที่ระยะค้ำยันห่างกันไม่เกิน $637.2\ b_f/\sqrt{F_y}$ หรือ $\frac{1406000}{(d/A_f)F_y}$ หน่วยเป็นเซนติเมตร (มีค่าเท่ากับ 12.7 เท่าของความกว้างของปีกคานสำหรับเหล็กชนิด A 36)

รูปที่ 2.24

ในที่นี้ F_f = เนื้อที่หน้าตัดของปีกรับแรงอัด ซม.^{2}

ก. สำหรับหน้าตัดแบบ compact (เมื่ออัตราส่วน $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{437.7}{\sqrt{F_y}}$ ซึ่ง = 8.72

F_y = 2520 กก./ซม.^{2})

F_b = 0.66 F_y กก. ต่อตารางซม. (สำหรับการดัดรอบแกนหลัก)

F_b = 0.75 F_y กก. ต่อตารางซม.

ข. สำหรับหน้าตัดแบบ noncompact (เมื่ออัตราส่วน $\frac{b_f}{2t_f} > \frac{796.5}{\sqrt{F_y}}$ ซึ่ง = 15.87

สำหรับ F_y = 2520 กก./ซม.^{2})

F_b = 0.60 F_y กก. ต่อตาราง ซม.

ค. สำหรับหน้าตัดแบบ partially compact (เมื่อ $\frac{437.7}{\sqrt{F_y}} < \frac{b_f}{2t_f} < \frac{796.5}{\sqrt{F_y}}$)

$F_b = F_y\ [0.733-0.000167\ (\frac{b_f}{2t_f}\sqrt{F_y}\ ]$ กก./ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ กก./ซม.^{2}

F_y = กำลังจุดคลากของเหล็ก กก./ซม.^{2}

b_f = ความกว้างของปีกรับแรงอัด ซม.

t_f = ความหนาของปีกรับแรงอัด ซม.

2. <u>หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (F_v)</u>

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $F_v = 0.4\ F_y$

3. <u>การตกหรือโก่งของคานที่ยอมให้</u>

สำหรับคานที่รองรับฝ้าหรือพื้นปูนที่ต้องฉาบผิว ค่าการตกหรือโก่งเนื่องจากน้ำหนักจรที่มากที่สุดที่ยอมให้ได้จะต้องไม่เกิน 1/360 ของช่วงความยาวคาน

สำหรับคานที่รองรับพื้นหรือรองรับหลังคา ค่าการตกหรือโก่งเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ประมาณ $\frac{1}{290}$ ถึง $\frac{1}{230}$ ของช่วงความยาวคาน

ดังนั้น ในกรณีที่ไม่คำนวณค่าการโก่งตัวของคาน ควรให้อัตราส่วนของความลึกของคานต่อช่วงความยาวของคานที่รองรับพื้นหรือรองรับหลังคาไม่น้อยกว่า $\frac{Fy}{56000}$ และ $\frac{Fy}{70000}$ ตามลำดับ โดยที่ F_y เป็นกำลังจุดคลากของเหล็ก กก./ซม.^{2} นั่นคือ

$\frac{d}{L} = \frac{1}{24} - \frac{1}{30}$ (สำหรับเหล็กชนิด A 7)

หรือ $= \frac{1}{22} - \frac{1}{28}$ (สำหรับเหล็กชนิด A 36)

3. <u>ความต้านทานต่อการโก่งทางข้าง (Buckling Resistance)</u>

การโก่งทางข้างของปีกคาน (Flange Buckling) สำหรับคานรับน้ำหนักซึ่งหน้าตัดเป็นแบบปีกกว้าง (wide flange) ส่วนบนของปีกคาน (upper flange) จะรับแรงอัด ซึ่งปีกคานจะทำหน้าที่คล้ายกับเสา ถ้าหากคานนี้มีค้ำยันทางข้างไม่เพียงพอ การโก่งทางข้างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีกก็อาจเกิดขึ้นได้ ทำให้กำลังต้านทานต่อน้ำหนักบรรทุกลดลง ฉะนั้นเมื่อระยะค้ำยันเกินกว่า $637.2b_f/\sqrt{F_y}$ หรือ $\frac{1406000}{(d/A_f)F_y}$ ซม. แต่อัตราส่วน $\frac{L}{r_T}$ ไม่เกิน $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 C_b}{F_y}}$ (ซึ่ง = $53.34\sqrt{C_b}$ สำหรับ F_y = 2520 กก./ซม.^{2}) มาตรฐาน AISC กำหนดให้ใช้หน่วยแรงดัดที่ยอมให้เท่ากับ $0.6 F_y$

สำหรับกรณีอื่นมาตรฐาน AISC ให้ใช้ค่า F_b ที่มากที่สุดจากสามสูตรข้างล่างนี้ แต่ไม่ว่ากรณีใดต้องไม่เกินกว่า $0.6 F_y$ กล่าวคือ

เมื่อ $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 C_b}{F_y}} < \frac{L}{r_T} < \sqrt{\frac{3585 \times 10^4 C_b}{F_y}}$

ใช้ $F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{Fy(L/r_T)^2}{10756 \times 10^4 C_b}\right] F_y$ กก. ต่อตาราง ซม. (AISC 1.5-6a) (1)

เมื่อ $\frac{L}{r_T} > \sqrt{\frac{3585 \times 10^4 C_b}{F_y}}$ (ซึ่ง = $119.27\sqrt{C_b}$ สำหรับ F_y = 2520 กก./ซม^2)

ใช้ $F_b = \frac{1195 \times 10^4 C_b}{(L/r_T)^2}$ กก. ต่อตาราง ซม. (AISC 1.5-6b) (2)

หรือ เมื่อปีกรับแรงอัดนั้นเป็นแผ่นเต็ม (solid) หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าเนื้อที่หน้าตัดของปีกรับแรงดึง หรือกรณีเหล็กรูปรางน้ำ

ใช้ $F_b = \frac{843600 C_b}{Ld/A_f}$ กก. ต่อตาราง ซม. (AISC 1.5-7) (3)

ในที่นี้ L = ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยึดของปีกตานรับแรงอัด ซม.

d = ความลึกของตาน ซม.

r_T = รัศมีไจเรชั่นดิตรอบแกนในระนาบของเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของหน้าตัดที่ประกอบด้วยเนื้อที่ของปีกตานรับแรงอัดและหนึ่งในสามของเนื้อที่ของเหล็กแผ่นตั้ง (web) ที่รับแรงอัด (มีค่าโดยประมาณเท่ากับ $0.26b_f$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_f = เนื้อที่หน้าตัดของปีกดานรับแรงอัด

$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M1}{M_2}\right) + 0.3 \left(\frac{M1}{M_2}\right)^2 < 2.3$

M_1, M_2 = โมเมนต์ดัดรอบแกนหลักที่ปลายของช่วงดานที่ไม่มีค้ำยัน ซึ่ง $M_1 < M_2$ อัตราส่วนของ M_1/M_2 จะมีค่าเป็นบวก ถ้าหาก M_1 และ M_2 มีเครื่องหมายเหมือนกัน ซึ่งอาจจะทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา

ค่า C_b = 1 ถ้าโมเมนต์ดัดในช่วงดานมากกว่าโมเมนต์ดัดที่ปลาย

5. การโก่งในแนวทแยงของเหล็กแผ่นตั้ง (Diagonal Web Buckling)

เพื่อป้องกันการโก่งของเหล็กแผ่นตั้งเนื่องจากแรงอัดในแนวทแยง อัตราส่วนของระยะระหว่างปีกทั้งสองต่อความหนาของเหล็กแผ่นตั้งจะต้องไม่เกิน 3454.6 นั่นคือ

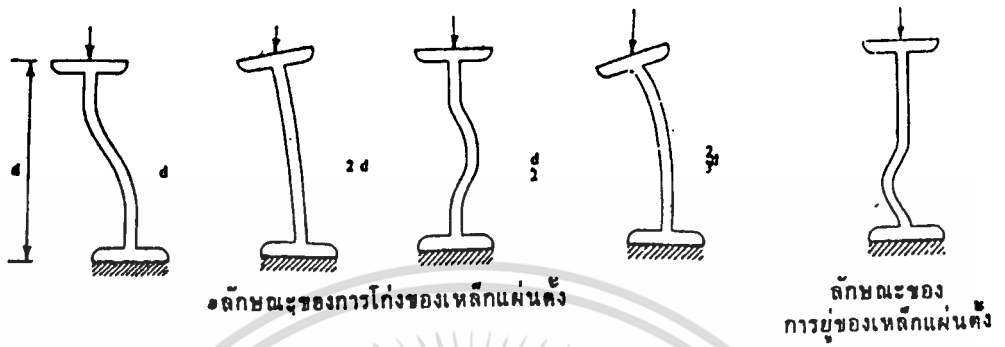
$$\frac{d}{t_w} < \frac{3453.6}{\sqrt{F_y}}$$

(มีค่าประมาณ 69 และ 70 สำหรับเหล็กชนิด A 36 และ A7 ตามลำดับ)

สำหรับดานเหล็กรูปพรรณ (rolled beam) ปัญหาการเกิดการโก่งในแนวทแยงของเหล็กแผ่นตั้งไม่ค่อยมี ทั้งนี้เพราะเหล็กรูปพรรณที่มีขายนั้นค่าของ d/t_w โดยทั่วไปแล้วจะน้อยกว่า 50

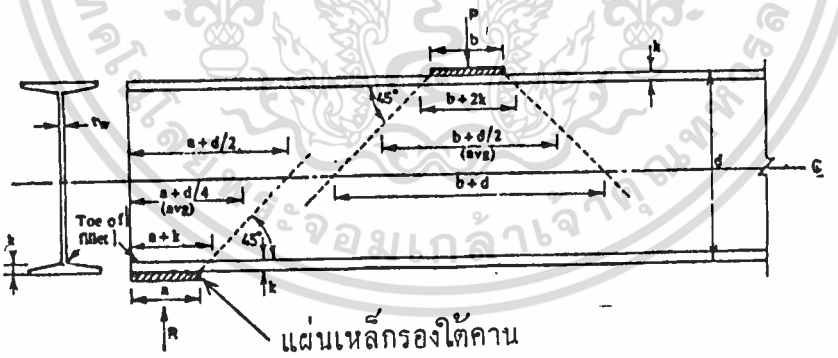
6. การยู่และการโก่งในแนวตั้งของเหล็กแผ่นตั้ง (Crippling and Vertical Buckling of Web) ในขณะที่ดานรับน้ำหนัก ส่วนของเหล็กแผ่นตั้ง(web) จะทำหน้าที่รับแรงอัดในแนวดิ่ง ซึ่งอาจจะเกิดการโก่งทางข้างขึ้นได้ตามรูปที่ 2.24 โดยที่มีช่วงความยาวของการโก่งต่างๆกัน การโก่งนี้อาจจะเกิดที่จุดรองรับ หรือตรงที่รับน้ำหนักเป็นจุด ขณะเดียวกันก็อาจจะเกิดการยู่ (crippling) ที่ตำแหน่งทั้งสองได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24

โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.25 ค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการโก่งในแนวตั้งและการยุ่ (Buckling stress และ Crippling stress) ในเหล็กแผ่นตั้งจะหาได้ ดังนี้



รูปที่ 2.25 แรงกดที่จุดรองรับและที่จุดรับน้ำหนัก

ที่จุดรองรับ web buckling stress $= \dfrac{R}{(a + d/4)t_w}$

web crippling stress $= \dfrac{R}{(a + k)t_w}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุดรับน้ำหนัก web buckling stress = $\frac{P}{(b + d/2)t_w}$

web crippling strees = $\frac{P}{(b + 2k)t_w}$

โดยที่ k เป็นระยะจากผิวด้านนอกของปีกคานถึงขอบเหล็กแผ่นตั้ง

ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้เนื่องจากการโก่งในแนวตั้ง (buckling) จะหาได้โดยใช้สูตรของเสา (column formula) โดยที่ให้ L เป็นเศษของความลึก (ปกติเท่ากับ 0.5d หรือ 0.7d) และใช้ r เท่ากับ $0.29t_w$

ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของการยุ่ (crippling) จะต้องไม่เกินกว่า $0.75 F_y$

2.5.7 วิธีคำนวณและออกแบบคาน

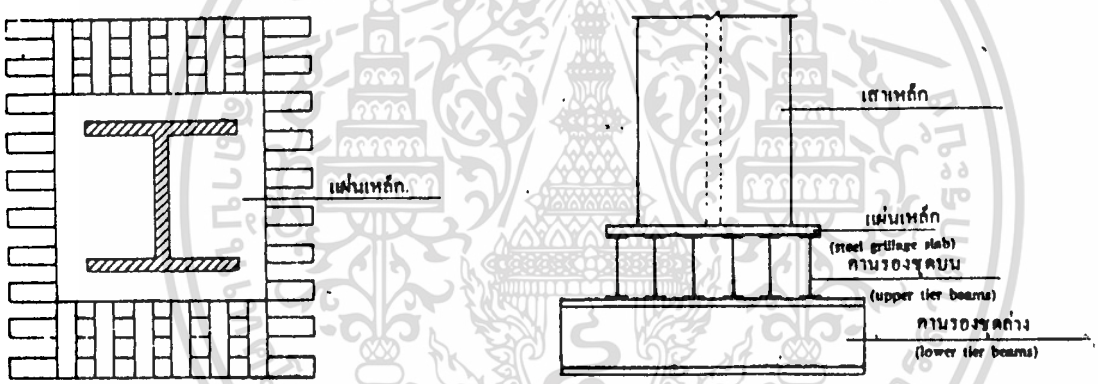
ลำดับการคำนวณและออกแบบคานเหล็กรูปพรรณ มีดังนี้

1. คำนวณหาขนาดและตำแหน่งของน้ำหนักที่กระทำบนคาน พยายามเขียนรูป และตรวจค้ำยันทางด้านข้าง (lateral support)
2. คำนวณหาโมเมนต์ดัดที่มากที่สุด (M), แรงเฉือนที่มากที่สุด (V)
3. คำนวณหาโมดูลัสหน้าตัด (section modulus) จาก $S = M/F_b$
   ในที่นี้ F_b คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนด
4. เลือกขนาดของคานจากตารางคานเหล็กรูปพรรณ (rolled beam) ให้มีโมดูลัสหน้าตัดเท่ากับหรือมากกว่าที่คำนวณได้จาก ข้อ 3 คานที่เลือกได้นี้จะมีความต้านทานต่อโมเมนต์ดัดเพียงพอ
5. ตรวจสอบว่า คานที่เลือกนั้น มีความต้านทานต่อแรงเฉือนการยุ่และการโก่งหรือไม่

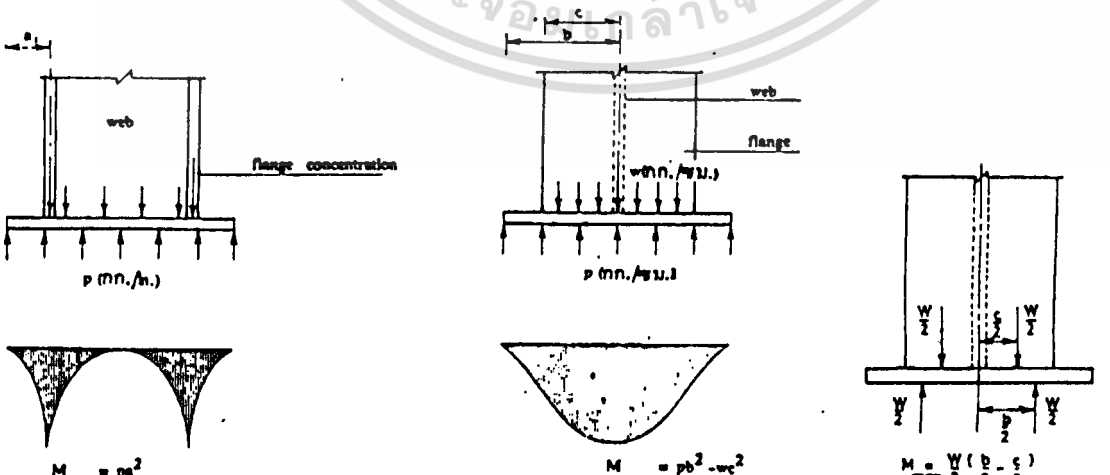
2.5.8 คานเหล็กรองใต้เสา (Grillage under Column)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดานเหล็กรองข้างใต้เสาที่รับน้ำหนักมาก ๆ ใช่ช่วยการกระจายน้ำหนักจากเสาลงบนฐานคอนกรีต ซึ่งหน่วยแรงกดที่ยอมให้มีค่าต่ำ ลักษณะการจัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.26 มีเสาเหล็กตั้งอยู่บนแผ่นเหล็ก (Steel Grillage Slab) ซึ่งวางอยู่บนดานรอง (tier beam)อีกที ดานรองพื้นอาจจัดเป็น 2 ชั้นซ้อนในแนวตั้งฉากกัน คือ ชุดบน (upper tier) และชุดล่าง (lower tier) ตามรูปแสดง ดานรองชุดล่าง (Lower tier beam) วางอยู่บนฐานคอนกรีต แล้วเทคอนกรีตหุ้มทำเป็นฐานราก ปกติมักใช้ดานรองรูปตัดตัว I เนื่องจากมีแผ่น web หนากว่ารูปตัว WF จึงกันการยุ่และการโก่งได้ดี อีกประการคือ ถ้าใช้รูปตัดตัว WF ปีกดานจะกว้างทำให้เทคอนกรีตไม่สะดวก ระยะช่องว่างระหว่างปีกดานไม่ควรเกิน 0.75 ถึง 1.25 เท่าของความกว้างของปีกดานและไม่ควรแคบกว่า 5 ซม. ลักษณะของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นตลอดจนค่าโมเมนต์ดัดโดยประมาณเพื่อใช้ในการคำนวณและออกแบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 ดานรองใต้เสา (column grillage)

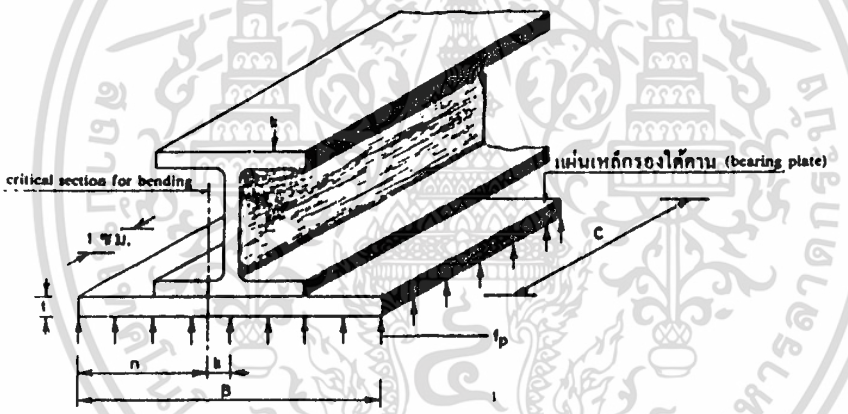


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ[illegible]การนำไปใช้

รูปที่ 2.27 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นใน steel grillage slab

2.5.9 แผ่นเหล็กรองใต้คาน (Beam Bearing Plate)

เป็นแผ่นเหล็กที่ใช้ช่วยกระจายน้ำหนักที่แท่นรองของคาน หรือตรงจุดที่คานรับน้ำหนักเป็นจุด เพื่อป้องกันการยุ่นละการโก่งของเหล็กแผ่นตั้ง ในการคำนวณหาขนาดของแผ่นเหล็ก (bearing plate) นี้ สมมติว่า ค่าหน่วยแรงที่กระทำกระจายอย่างสม่ำเสมอและมีค่าเป็น f_p กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้น หน่วยแรงที่ต้านกลับก็จะเป็น f_p ด้วย ซึ่งหน่วยแรง f_p นี้ ก็จะพยายามดันแผ่นเหล็ก และส่วนล่างของปีกคานให้โค้งขึ้น ค่าของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นก็จะคำนวณได้ที่ระยะ k จากแนวศูนย์ของหน้าตัดของคาน (ดูรูปที่ 2.28)



รูปที่ 2.28

ถ้าพิจารณาความกว้าง (C) ของแผ่นเหล็กเท่ากับ 1 ซม.

โมเมนต์ดัด $$M = f_p n \cdot \frac{n}{2} = \frac{f_p n^2}{2}$$

โมดูลัสหน้าตัด $$S = \frac{I}{c} = \frac{(1/12)(1)(t^3)}{t/2} = \frac{t^2}{6}$$

แต่ $$\frac{M}{F_b} = S$$

$$\therefore \quad \frac{f_p n^2}{2F_b} = \frac{t^2}{6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของแผ่นเหล็ก $t = \sqrt{\frac{3f\ n^2}{F_b}}$

มาตรฐาน AISC กำหนดค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของแผ่นเหล็กรองใต้ดาน

2.6 โครงสร้างส่วนรับแรงในแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน

ในส่วนโครงสร้างต่าง ๆ ของโครงข้อหมุน (Truss) ซึ่งอยู่ในแนวนอนหรือเอียงนั้นปกติจะรับโมเมนต์ดัดด้วย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของส่วนโครงสร้างเอง ดังนั้นในทุก ๆ ส่วนของโครงสร้าง ก็จะมีทั้งแรงในแนวแกนและแรงดัดกระทำร่วมกัน การคำนวณออกแบบโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนั้นเรื่องของแรงดัดไม่ค่อยจะสำคัญนัก ทั้งนี้ เพราะแรงดึงที่กระทำในส่วนโครงสร้างจะไปช่วยลดการแอ่นหรือโก่งในแนวขวาง ไม่เหมือนกับการคำนวณออกแบบโครงสร้างส่วนที่รับแรงอัดซึ่งแรงอัดนี้จะช่วยเพิ่มการโก่งในแนวขวาง ผลก็คือ ในโครงสร้างส่วนที่รับแรงอัดแรงดัดที่กระทำมักจะทำให้เกิดการเฉศูนย์เสมอ อันนี้เป็นเหตุให้ข้อกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ได้พยายามจำกัดค่าของอัตราส่วนความชะลูดสำหรับโครงสร้างที่รับแรงอัดซึ่งไม่อยู่ในแนวตั้ง จึงต้องออกแบบให้โครงสร้างส่วนนั้นให้มีโมเมนต์อินเนอร์เชียมากพอสมควร เพื่อกันการเกิดการโก่งในแนวขวางและแรงดัดอันเนื่องจากน้ำหนักตัวมันเองจะได้ไม่ต้องนำมาคิด ส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึงนั้นก็ต้องออกแบบให้มีโมเมนต์อินเนอร์เชีย ในแนวนอนให้มากพอสมควรเผื่อไว้สำหรับแรงดัด เนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเองจะได้ไม่ต้องนำมาคิด

ในส่วนของโครงสร้างที่เป็นโครงข้อหมุน (truss) บางอย่าง เช่น โครงหลังคาจะต้องออกแบบให้รับน้ำหนักในแนวขวางด้วย ทั้งนี้ จะเห็นได้จากตัวอย่างง่าย ๆ คือ การวางแป อาจจะไม่วางตรงจุดต่อช่วง (panel point) ของโครงหลังคา ซึ่งทำให้เกิดโมเมนต์ดัดขึ้นระหว่างจุดต่อนั้น หรือในบางครั้งอาจจะมีน้ำหนักแขวนอยู่ที่ส่วนล่างของโครงหลังคา ซึ่งในกรณีเช่นนี้แรงที่เกิดในโครงสร้างส่วนนั้น ๆ ก็จะมีทั้งแรงในแนวแกนและแรงดัด ในกรณีของโครงสร้างประเภทโครงสร้างส่วนนี้ก็จะต้องออกแบบไม่ให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (ทั้งแรงในแนวแกนและแรงดัด) เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การคำนวณหน่วยแรง

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างส่วนที่มีทั้งแรงในแนวแกนและแรงดัด หาได้จากการรวมหน่วยแรงทั้งสองชนิด ดังต่อไปนี้คือ

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

ในบางครั้งโมเมนต์ดัดอาจเกิดขึ้นทั้งสองแกน (แกน x และ y) พร้อมกัน ในกรณีเช่นนี้ หาค่าของหน่วยแรงได้จาก

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{Mxy}{Ix} \pm \frac{Myx}{Iy}$$

การคิดแบบนี้เป็นวิธีโดยประมาณ ทั้งนี้ เพราะไม่ได้คิดรวมถึงการโก่งในแนวขวางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัด

2.6.2 มาตรฐานกำหนด

มาตรฐานกำหนดได้ใช้การรวมค่าของอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ กับหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับโมเมนต์ดัดอย่างเดียว กับค่าของอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ กับหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับแรงในแนวแกนเข้าด้วยกัน โดยมีค่าได้ไม่เกินหนึ่งซึ่งผลที่ได้นี้เรียกว่าสมการ Interaction กล่าวคือ

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} < 1.0$$

ในที่นี้ f_a คือ หน่วยแรงในแนวแกนที่เกิดขึ้นจริง (P/A)

F_a คือ หน่วยแรงในแนวแกนที่ยอมให้

f_b คือ หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริง (Mc/I)

F_b คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานกำหนดของ AISC ได้ใช้สมการ interaction ที่กล่าวข้างต้นมานานแล้ว ในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมขึ้น โดยแยกสมการสำหรับแรงในแนวแกนที่มีค่ามากพวกหนึ่งกับแรงในแนวแกนที่มีค่าน้อยอีกพวกหนึ่ง

1. มาตรฐานกำหนดของ AISC

สถาบันการก่อสร้างอาคารด้วยเหล็กของอเมริกัน AISC ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับโครงสร้างส่วนที่รับทั้งแรงอัดและโมเมนต์ดัด โดยคำนึงถึงการโก่งในแนวขวางรวมอยู่ด้วย กล่าวคือ

ถ้า $\frac{f_a}{F_a} > 0.15$:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1-\frac{f_a}{F'_{ex}})F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1-\frac{f_a}{F'_{ex}})F_{by}} < 1.0 \qquad \text{(AISC 1.6 -1a)}$$

และ $$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} < 1.0 \qquad \text{(AISC 1.6-1b)}$$

แต่ถ้า $\frac{f_a}{F_a} < 0.15$:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} < 1.0 \qquad \text{(AISC 1.6-2)}$$

ในที่นี้ f_a = หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง

f_{bx}, f_{by} = หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริงทางแกน x และแกน y

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

F_{bx}, F_{by} = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ทางแกน x และแกน y

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23(\frac{KL}{r_b})^2} \text{ กก./ซม.}^2 = \frac{10.43 \times 10^6}{(\frac{KL}{r_b})^2} \text{ กก./ซม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E = ตัวคูณประกอบของความยาวประสิทธิผลในระนาบที่เกิดโมเมนต์ดัด

L = ความยาวอิสระในระนาบที่เกิดโมเมนต์ดัด

r_b = รัศมีไจเรชั่นรอบแกนที่เกิดโมเมนต์ดัด

C_m = ค่าสัมประสิทธิ์ (modification factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการรับโมเมนต์ดัดในส่วนของโครงสร้างที่พิจารณา (ดูตารางที่ 13)

สำหรับส่วนโครงสร้างที่รับทั้งแรงดึงและโมเมนต์ดัดพร้อม ๆ กัน มาตรฐาน AISC ได้กำหนดดังนี้

ก. $\dfrac{f_a}{F_a} + \dfrac{f_{bx}}{F_{bx}} + \dfrac{f_{by}}{F_{by}} < 1.0$

ในที่นี้ f_a = หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจริง

F_a = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ = $0.6F_y$

F_y = กำลังจุดคลากของเหล็ก

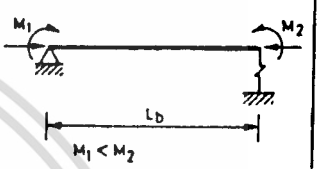
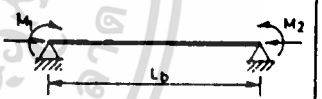
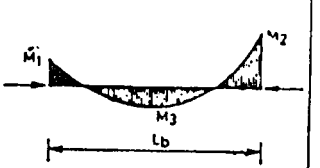
f_b = หน่วยแรงดึงซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจริง

F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้

ข. หน่วยแรงอัดซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัด จะต้องไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้

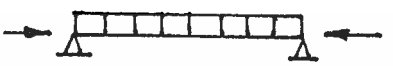
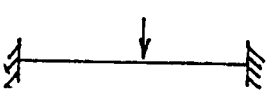
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์ C_m (สำหรับสูตร AISC 1.6 - 1a)

กรณี	ลักษณะการรับแรง ($f_a > 0.15 F_a$)	f_b	C_m	หมายเหตุ
ก	ค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุดอยู่ที่ปลาย และมีการเคลื่อนของจุดปลาย (สำหรับเสาใน frame ที่มี side sway)	M_2/S	0.85	
ข	ค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุดอยู่ที่ปลาย และไม่มีการเคลื่อนของจุดปลาย (สำหรับเสาใน frame ที่ไม่มี side sway	M_2/S	$(0.6+0.4\frac{M1}{M2})$ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.4	 $M_1 < M_2$ อัตราส่วน $\frac{M1}{M2}$ มีค่าเป็นบวกดังรูป
ค	มีแรงดัดเนื่องจากน้ำหนักกระทำระหว่างช่วง และไม่มีการเคลื่อนของจุดปลาย	M_2/S ใช้สูตร (1.6-1b) M_3/S ใช้สูตร (1.6-1a)	$1+\phi\frac{f_a}{F'_e}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 ค่าสัมประสิทธิ์ ϕ และ C_m (สำหรับกรณี ค)

กรณี	ϕ	C_m
	0	1.0
	-0.3	$1-0.3\frac{f_a}{F'_e}$
	-0.4	$1-0.4\frac{f_a}{F'_e}$
	-0.2	$1-0.2\frac{f_a}{F'_e}$
	-0.4	$1-0.4\frac{f_a}{F'_e}$
	-0.6	$1-0.6\frac{f_a}{F'_e}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 วิธีคำนวณและออกแบบ

วิธีคำนวณและออกแบบโครงสร้างส่วนที่รับแรงในแนวแกนและแรงดัดพร้อมกันมีอยู่ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 เลือกขนาดและชนิดรูปตัดขึ้นมาก่อน แล้วคำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนด

วิธีที่ 2 สมมติหน้าตัดซึ่งจะได้ค่า A,c และ r จากนั้นก็คำนวณหาเนื้อที่หน้าตัดที่ต้องการแล้วนำมาเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่สมมติขึ้นในตอนแรก

จากสมการ $1 > \frac{fa}{Fa} + K' \frac{fbx}{Fbx}$

(เมื่อ $K' = \frac{Cmx}{(1-f_a/F'_{ex})}$ มีค่าเท่ากับหนึ่งเมื่อ $\frac{fa}{Fa} < 0.15$)

เอา A คูณตลอด จะได้

$$A \text{ ที่ต้องการ} > \frac{P}{Fa} + K' \frac{Mc'r^2}{Fb}$$

2.7 การวิเคราะห์รอยต่อด้วยการเชื่อม (Connection of Welding Analysis)

ในปัจจุบันการต่อชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยการเชื่อมเป็นที่นิยมแพร่หลาย มากกว่าการต่อชิ้นส่วนด้วยหมุดย้ำหรือสลักเกลียว ซึ่งการเชื่อมเป็นการต่อแผ่นโลหะให้ติดกันโดยความร้อนเผาโลหะบริเวณที่จะต่อให้ละลาย และใช้ลวดเชื่อมหลอมติดแผ่นโลหะนั้น วิธีการเชื่อมที่นิยมมากที่สุด คือ วิธีใช้อาร์ค (Arc welding rod) กำลังของรอยต่อในการเชื่อมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็กที่เชื่อม และของลวดเชื่อม (welding rod) ซึ่งมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ลวดเคลือบบาง (lighth coated electrodes)

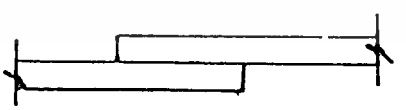
2. ลวดเคลือบหนา (heavily coated electrode) มีความเหนียวมากกว่าชนิดแรก ซึ่งนิยมใช้ในการเชื่อมโครงสร้างต่าง ๆ

2.7.1 แบบของการเชื่อม (Type of Welding)

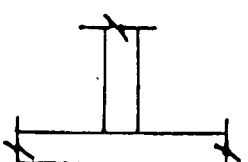
1. แบ่งตามลักษณะของการเชื่อม
   - แบบแนวราบ (flat welding)
   - แบบแนวระดับ (horizontal welding)
   - แบบแนวตั้ง (vertical welding)

2. แบ่งตามชนิดของการเชื่อม
   - การเชื่อมแบบต่อชน (Butt weld) เป็นการเชื่อมแบบปลายต่อปลายชนกัน ซึ่งการเชื่อมชนิดนี้จะใช้สำหรับแรงดึง หรือแรงอัด โดยตรง รูปที่ 2.29 ก.
   - การเชื่อมแบบต่อทาบ (Fittet weld) เป็นการเชื่อมแผ่นเหล็กที่ตั้งฉากกันหรือซ้อนกัน การเชื่อมชนิดนี้ เหล็กที่เป็นตัวเชื่อมจะรับแรงดึง แรงอัด และแรงเฉือน ได้ด้วย รูปที่ 2.29 ข.
   - รอยต่อรูปตัวที (Tee joint) รูปที่ 2.29 ค.
   - รอยต่อมุม (Corner joint) รูปที่ 2.29 ง.
   - รอยต่อขอบ (Edge joint) รูปที่ 2.29 จ.

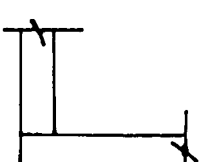
ก. รอยต่อแบบชน



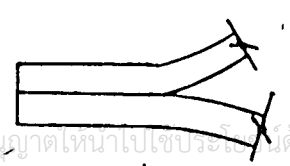
ข. รอยต่อแบบทาบ



ค. รอยต่อตัวที



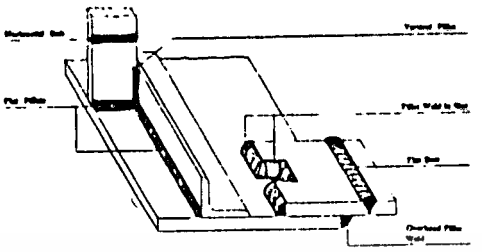
ง. รอยต่อมุม



จ. รอยต่อขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.29 รอยต่อลักษณะต่าง ๆ



รูปที่ 2.30 ชนิดและลักษณะของการเชื่อม

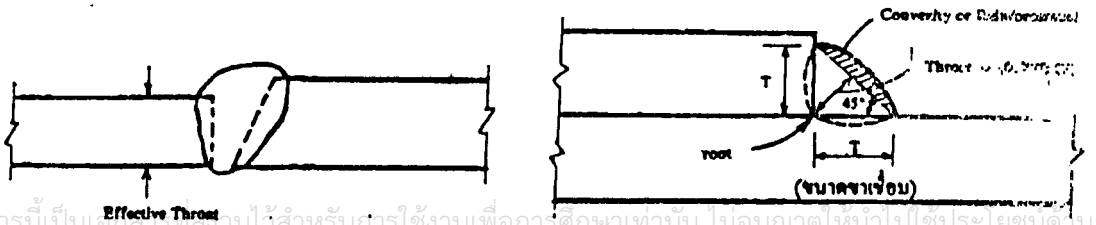
2.7.2 กำลังของรอยเชื่อม (Weld Strength)

หน่วยแรงที่เกิดขึ้น บนรอยเชื่อมคำนวณได้จากอัตราส่วนของแรงที่มากระทำต่อเนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม ดังสมการ

$$\text{หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนรอยเชื่อม} = \frac{\text{แรงที่กระทำ}}{\text{เนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม}}$$

โดยที่ เนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม มีค่าเท่ากับผลคูณของความยาวของรอยเชื่อมกับความหนาประสิทธิผล (Throat) ซึ่งเป็นระยะที่น้อยที่สุดจาก root ไปยังผิวเชื่อม ดังรูป 2.31

ส่วนกำลังของรอยเชื่อมแบบต่อทาบ คำนวณได้จากค่าแรงเฉือนบน throat เสมอ ไม่ว่าแรงจะกระทำในทิศทางใดก็ตาม



การเชื่อมแบบต่อชน การเชื่อมแบบต่อทาบ

รูปที่ 2.31 แสดงความหนาประสิทธิผลของรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 สมการการคำนวณหน่วยแรงที่กระทำต่อรอยเชื่อม

หน่วยแรงในแนวแกน	f	=	P/A
หน่วยแรงดัด	f	=	Mc/I
หน่วยแรงบิด	f	=	Id/J
หน่วยแรงเฉือนในตาน	f	=	VQ/It

เมื่อ f = หน่วยแรงที่กระทำต่อรอยเชื่อม

P = แรงที่กระทำตามแกน

M = โมเมนต์

c = ระยะแขนของโมเมนต์

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของโลหะที่เชื่อม

T = แรงบิด

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของโลหะที่เชื่อม

J = รัศมีไจเรชั่น

V = แรงเฉือน

Q = โมดูลัสของหน้าตัดเหนือ Nentral 2 xis

t = ความหนาของโลหะที่เชื่อม

2.7.4 มาตรฐานของการเชื่อม

1. หน่วยแรงที่ยอมให้

มาตรฐาน AISC กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ของการเชื่อมดังนี้

การเชื่อมแบบต่อชน : หน่วยแรงดึง แรงอัด แรงบิด แรงเฉือน ที่ยอมให้นั้นเท่ากับค่าที่กำหนดให้สำหรับโลหะที่เชื่อม

การเชื่อมแบบตอทาบ: หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้บน throat จะมีค่าต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้และโลหะที่เชื่อม เช่น 1260 ksc. สำหรับลวดเชื่อมแบบ E 60 ซึ่งใช้กับเหล็กชนิด A7, A500 Grad A หรือ A570 Grad D 1470 ksc. สำหรับลวดเชื่อมแบบ E70 ซึ่งใช้กับเหล็ก A36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการเชื่อมแบบต่อทาบในรูปที่ 2.32 ถ้าให้ T เป็นขนาดของขาเชื่อม L เป็นความยาวของรอยเชื่อมและ F_v เป็นหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้บน Throat ดังนั้น

กำลังของการเชื่อมแบบต่อทาบ $= \frac{(1\ T)LF_v}{\sqrt{2}}$

$= 1040\ T$ kg/cm. (สำหรับลวดเชื่อมชนิด E70)

$= 890\ T$ kg/cm. (สำหรับลวดเชื่อมชนิด E60)

2. AISC กำหนดมาตรฐานนอกเหนือจากค่าแรงเฉือนที่ยอมให้

ก. ความยาวของการเชื่อมแบบต่อทาบ จะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่า ของขนาดของการเชื่อม

ข. ขนาดใหญ่สุดของการเชื่อมแบบต่อทาบ จะเท่ากับความหนาของแผ่นเหล็กที่หนาไม่เกิน 6 มม. สำหรับแผ่นเหล็กที่หนา 6 มม. หรือ มากกว่าขนาดของการเชื่อมจะเท่ากับความหนาของแผ่นเหล็ก ลบด้วย 2 มม.

ค. ขนาดเล็กสุดของการเชื่อมในทางปฏิบัติ คือ 3 มม. และ ขนาดประหยัดคือ 8 มม.

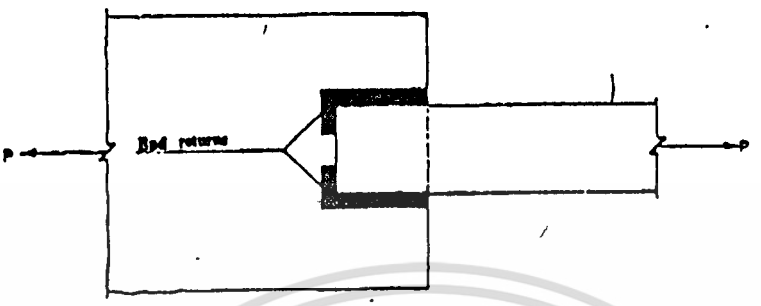
ง. การเชื่อมแบบต่อทาบ ควรมีการเชื่อมอ้อมปลาย (end reutrn) ซึ่งมีความยาวไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดการเชื่อม ทั้งนี้ เพื่อช่วยการลดจุดแรงวิกฤติ (high stress concentration) ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ปลายของการเชื่อม ถ้าหากไม่มีการเชื่อมอ้อมปลาย ในการคำนวณก็ควรหักความยาวของการเชื่อมด้วย 2 เท่าของขนาดการเชื่อม

จ. ระยะทาบน้อยที่สุด ต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของความหนาของส่วนที่บางกว่าซึ่งนำมาต่อกันและจะต้องไม่น้อยกว่า 25 มม.

ฉ. การเชื่อมความยาว โดยใช้แบบต่อทาบเพียงอย่างเดียวสำหรับการต่อปลายเหล็กแบน (Flat bar) ที่รับแรงดึงนั้น ความยาวจะต้องไม่น้อยกว่าระยะตั้งฉากระหว่างแนวเชื่อม สำหรับการต่อปลายนั้น ถ้าหากไม่มีการออกแบบเผื่อ สำหรับโมเมนต์ดัดในแนวขวาง ระยะระหว่างแนวของการเชื่อมแบบต่อทาบจะห่างได้ไม่เกิน 20 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.32 แสดงการเชื่อมอ้อมปลาย



2.7.5 ชนิดของรอยเชื่อม (Types of Welds)

ชนิดของรอยเชื่อมแบ่งตามลักษณะและรูปแบบของการเชื่อมต่อเป็น 4 ชนิดใหญ่ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.33 ดังนี้

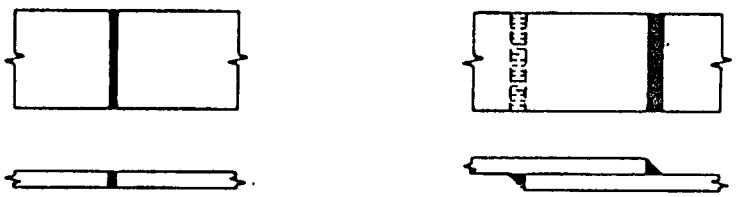
ก. เชื่อมแบบร่อง (Groove Weld) เป็นการเชื่อมโดยให้รอยเชื่อมฝังลึกเข้าไปในเนื้อของแผ่นโลหะ ดูรูปที่ 2.33 ก อนึ่งรูปตัดของรอยเชื่อมอาจมีรูปเป็นสี่เหลี่ยม(square) รูปตัววีเดี่ยว (single-V) รูปตัววีคู่ (double-V) ฯลฯ ก็ได้ แล้วแต่ความต้องการและความยากง่ายในการเชื่อม รูปที่ 34 แสดงหน้าตัดของรอยเชื่อมต่าง ๆ ดังกล่าว

ข. เชื่อมแบบพอก (Fillet Weld) เป็นการเชื่อมโดยกำหนดให้รอยเชื่อมพอกอยู่ข้าง ๆ เนื้อขององค์อาคารที่นำมาต่อกัน (ดูรูปที่ 2.33 ข) ลักษณะและรูปหน้าตัดของรอยเชื่อมของรอยเชื่อมแบบพอกที่ใช้ทั่วไปได้แสดงในรูปที่ 2.35

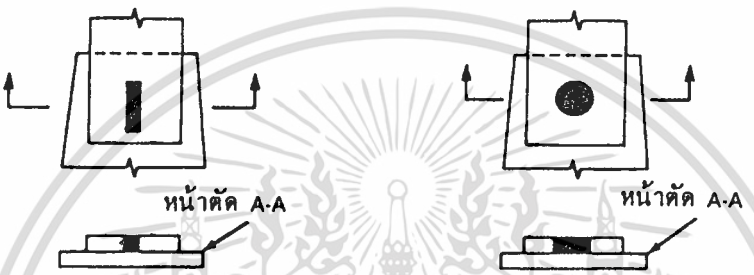
ค. เชื่อมแบบอุดรูยาว (Slot Weld) เป็นการเชื่อมตามความยาวของรูที่เจาะเตรียมไว้ ดูรูปที่ 2.33 ค

ง. เชื่อมแบบอุดรูกลม (Plug Weld) เป็นการเชื่อมตามรูที่เจาะเตรียมไว้เป็นรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.33 ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

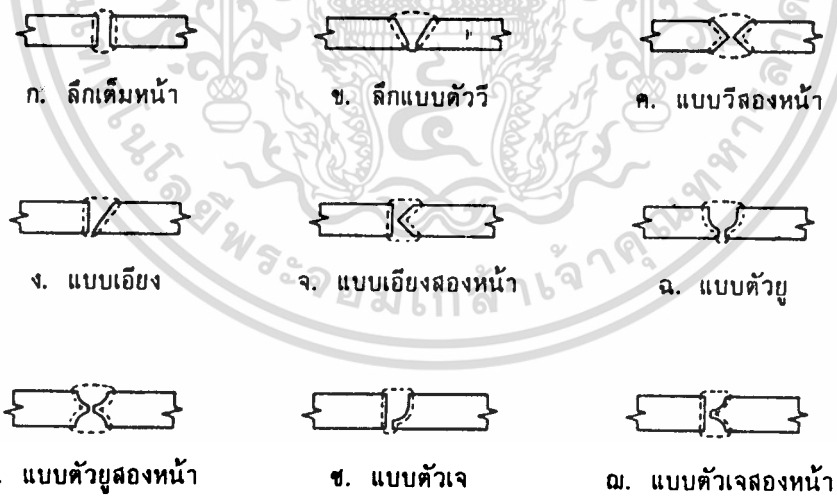


ก. เชื่อมแบบร่อง ข. เชื่อมแบบพอก



ค. เชื่อมแบบอุดรูยาว ง. เชื่อมแบบอุดรูกลม

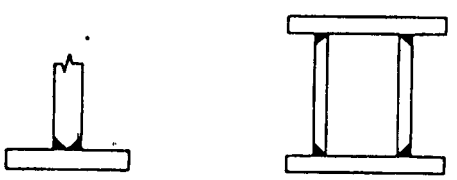
รูปที่ 2.33 ชนิดของรอยเชื่อม



ก. ลึกเต็มหน้า ข. ลึกแบบตัววี ค. แบบวีสองหน้า

ง. แบบเอียง จ. แบบเอียงสองหน้า ฉ. แบบตัวยู

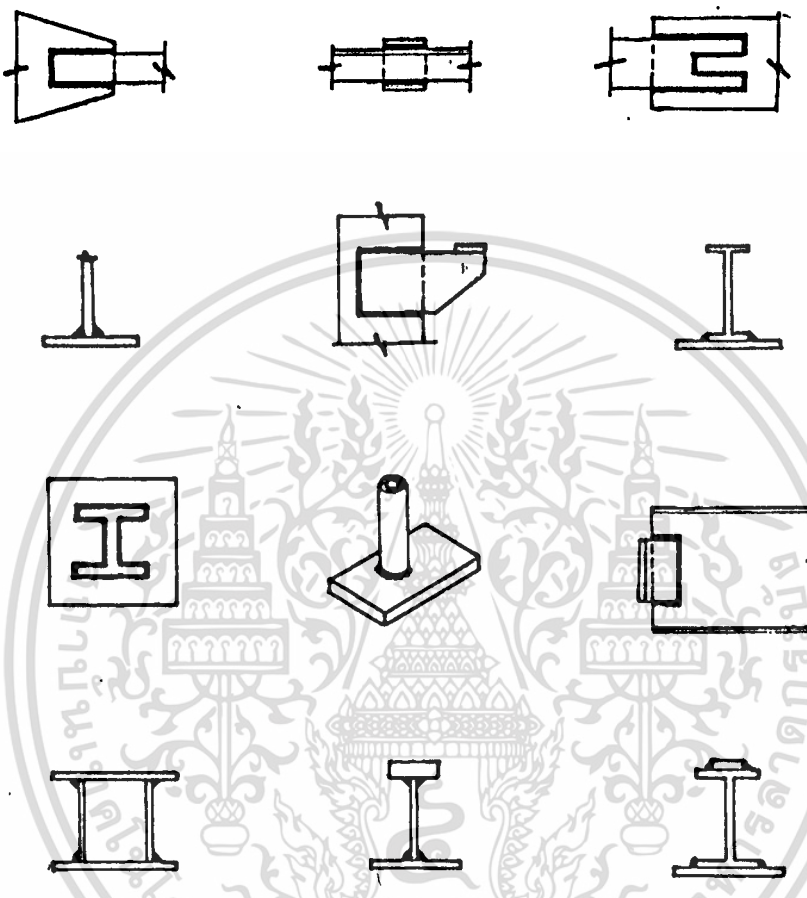
ช. แบบตัวยูสองหน้า ซ. แบบตัวเจ ฌ. แบบตัวเจสองหน้า



ญ. แบบเอียงสองหน้า ฎ. แบบเอียงหนึ่งหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.34 รูปหน้าตัดของรอยเชื่อมแบบร่อง

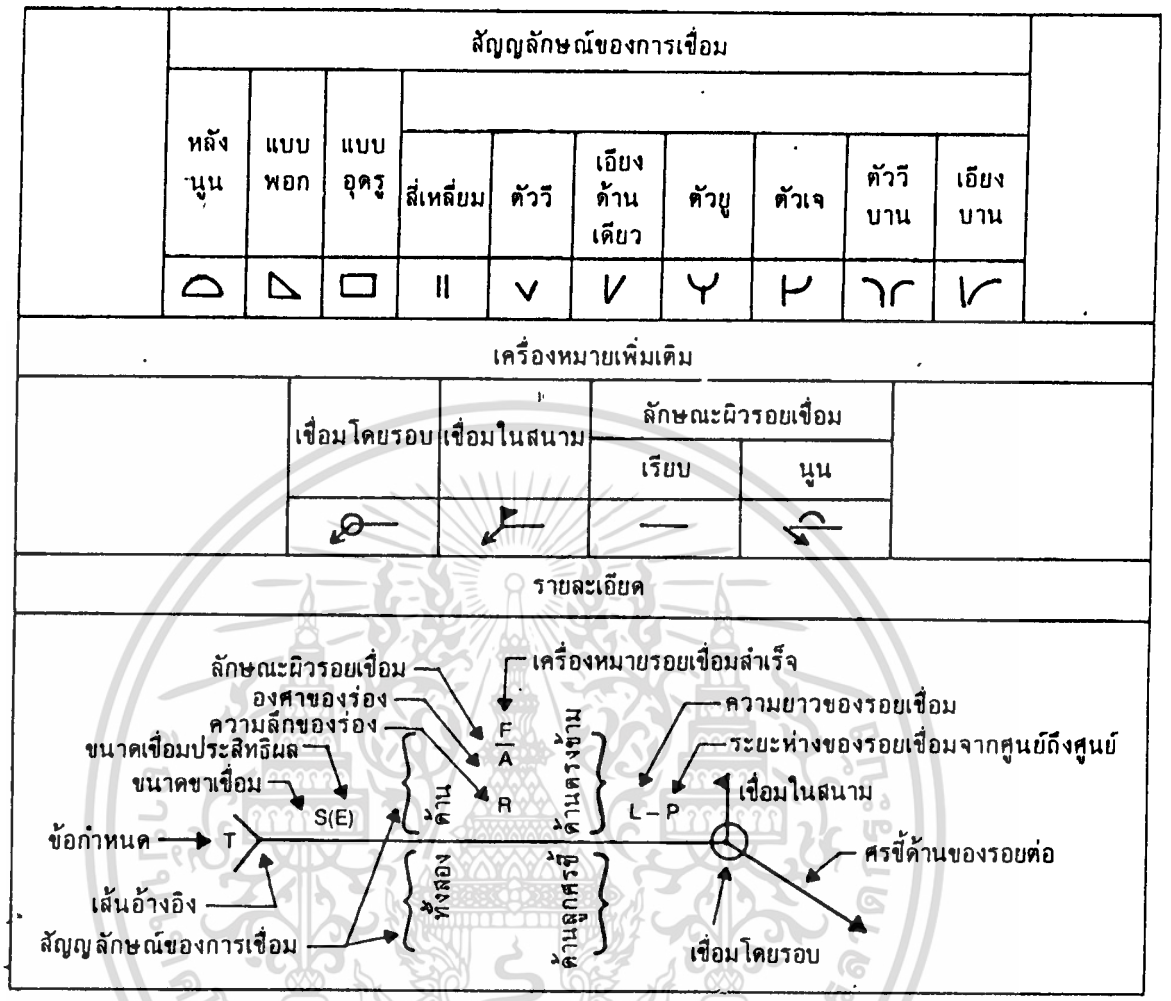


รูปที่ 2.35 รูปหน้าตัดของรอยเชื่อมแบบพอก

2.7.6 สัญลักษณ์ของการเชื่อม

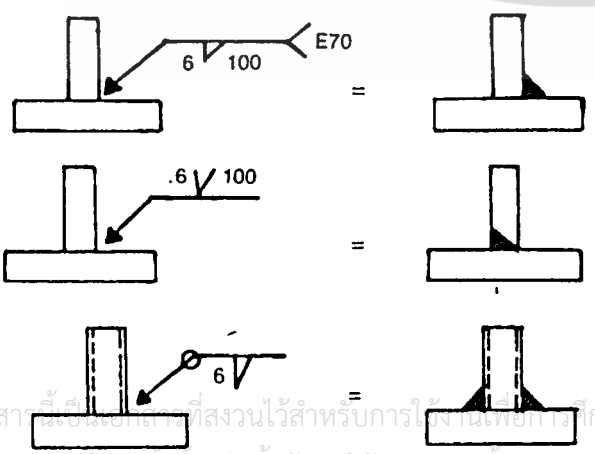
รูปที่ 2.36 แสดงสัญลักษณ์ของการเชื่อมตามข้อกำหนดมาตรฐานAISCเพื่อใช้ในการบอกลักษณะของการต่อ ชนิดของรอยเชื่อม ความยาวของรอยเชื่อม ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 สัญญลักษณ์ของรอยเชื่อม

ตัวอย่างการใช้สัญญลักษณ์ของการเชื่อมได้แสดงไว้ในรูปข้างล่างดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.37

การเชื่อมแบบพอกที่ด้านลูกศรชี้ ขา เชื่อมขนาด 6 มม. และยาว 10 ซม. ลวดเชื่อมชนิด E70

การเชื่อมแบบร่องชนิดเอียงด้านเดียว เชื่อมที่ด้านตรงข้ามลูกศรชี้ขา เชื่อมขนาด 6 มม. และยาว 10 ซม.

การเชื่อมแบบพอกขาเชื่อมขนาด 6 มม. และเชื่อมโดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.7 ขนาดขารอยเชื่อม

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดขนาดรอยเชื่อมเพื่อใช้สำหรับการเชื่อมต่อองค์อาคารดังแสดงในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ขนาดขารอยเชื่อม (ก) มาตรฐาน ว.ส.ท.

การเชื่อมแบบฟิลเลท (Fillet Weld)		
ความหนาของแผ่นเหล็ก (มม.)	ขนาดรอยเชื่อม (มม.)	ขนาดรูหรือความกว้างของร่อง (มม.)
$t \leq 6$ $6 < t \leq 10$ $10 < t \leq 16$ $16 < t$	$a = t_{min}$ หรือ $1.5t_{min}$ แต่ ≤ 6 $4 \leq a < t_{min}$ หรือ $\geq 1.3\sqrt{t_{max}}$ $a = t_{min}$ $a \geq t/2$ แต่ > 16	$\phi \geq 3x.707a$ หรือ $\phi \geq 1.5t$ และระยะของรูหรือร่อง $s \geq 1.5t$
การเชื่อมแบบอุดรูกลม (Plug Weld)		
ความหนาของแผ่นเหล็ก (มม.)	ขนาดรอยเชื่อม (มม.)	ขนาดรูกลม (มม.)
$t \leq 16$ $t > 16$	$a = t$ $a \geq t/2$ แต่ > 16	$t + 8 \leq \phi \leq 2.5a$ และระยะห่าง $s \geq 4\phi$
การเชื่อมแบบอุดรูยาว (Slot Weld)		
ความหนาของแผ่นเหล็ก (มม.)	ขนาดรอยเชื่อม (มม.)	ขนาดความกว้างรู (มม.)
$t \leq 16$ $t > 16$	$a = t$ $a \geq t/2$ แต่ > 16	$t + 8 \leq w \leq 2.5a$ และระยะห่างตามยาว $s \geq 2L$ ระยะตามขวาง $g \geq 4w$

อนึ่ง มาตรฐาน AISC ได้กำหนดขนาดรอยเชื่อมแตกต่างไปจากที่กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. ตารางที่ 2.16 ให้ขนาดรอยเชื่อมกำหนดโดยมาตรฐาน AISC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.16 ขนาดรอยเชื่อม กำหนดโดยมาตรฐาน AISC

ความหนาของแผ่นเหล็กที่หนากว่า (มม.)	ขนาดรอยเชื่อมสำหรับรอยเชื่อมแบบพอก (มม.)	ขนาดดอประสิทธิผลต่ำสุดสำหรับการเชื่อมแบบร่องชนิดลึกลงไปบางส่วน(มม.)
$t \leq 6$	$3 \leq a \leq 6$	3
$6 < t \leq 12$	$5 \leq a \leq t-2$	5
$12 < t \leq 19$	$6 \leq a \leq t-2$	6
$19 < t \leq 38$	$8 \leq a \leq t-2$	8
$38 < t \leq 57$	$8 \leq a \leq t-2$	10
$57 < t \leq 150$	$8 \leq a \leq t-2$	13
$150 < t$	$8 \leq a \leq t-2$	16

ความยาวของรอยเชื่อมแบบพอก

ตารางที่ 2.17 ให้ค่าความยาวของรอยเชื่อมแบบพอกที่กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. และ AISC

ตารางที่ 2.17 ความยาวของรอยเชื่อมแบบพอก (L)

ชนิด	ความยาวของการเชื่อมแบบพอก L (มม.)	
	มาตรฐาน ว.ส.ท.	มาตรฐาน AISC
รอยเชื่อมแบบพอก	$L \geq 10a$ หรือ 40	$L \geq 4a$
ในรอยต่อแบบทาบตามยาว	$L \geq 5t_{min}$ หรือ 30	$L \geq 5t_{min}$ หรือ 25
ในรอยต่อแบบทาบอ้อมมุม (รูปที่ 34)	$L_c \geq 2a$	$L_c \geq 2a$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง ในกรณีของการเชื่อมตามยาว โดยใช้การเชื่อมแบบพอกแต่เพียงอย่างเดียว สำหรับการต่อปลายเหล็กแบนที่รับแรงดึง ความยาวของรอยเชื่อมจะต้องไม่น้อยกว่าระยะตั้งฉากระหว่างแนวเชื่อม สำหรับการต่อปลายซึ่งไม่รับโมเมนต์ดัดในแนวขวาง ระยะห่างระหว่างแนวของรอยเชื่อมจะห่างได้ไม่เกิน 20 ซม.

2.7.8 เนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม

เนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อมมีค่าเท่ากับความยาวของรอยเชื่อม คูณด้วยความหนาประสิทธิผลตรงคอของรอยเชื่อม (t_e) ขนาดคอประสิทธิผลของรอยเชื่อมได้แก่ความกว้างที่น้อยที่สุดของรอยเชื่อม ซึ่งการวิบัติจะเกิดขึ้นในระนาบนี้ มีค่าขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของรอยเชื่อม

ก. รอยเชื่อมแบบร่อง

ก.1 ชนิดลึกเต็มหน้า ขนาดคอประสิทธิผลมีค่าเท่ากับความหนาของแผ่นเหล็กที่บางกว่า (t_e = T, ดูรูปที่ 2.40 ก และ ข)

ก.2 ชนิดลึกลงไปบางส่วน

ก.2.1 เมื่อ 45 < < 60 ขนาดคอประสิทธิผลมีค่าเท่ากับความลึกของร่องลบ 3 มม. (t_e = D-3 มม. ดูรูปที่ 2.40 ค)

ก.2.2 เมื่อ > 60 ขนาดคอประสิทธิผลมีค่าเท่ากับความลึกของร่อง (t_e = D ดูรูปที่ 2.40 ง)

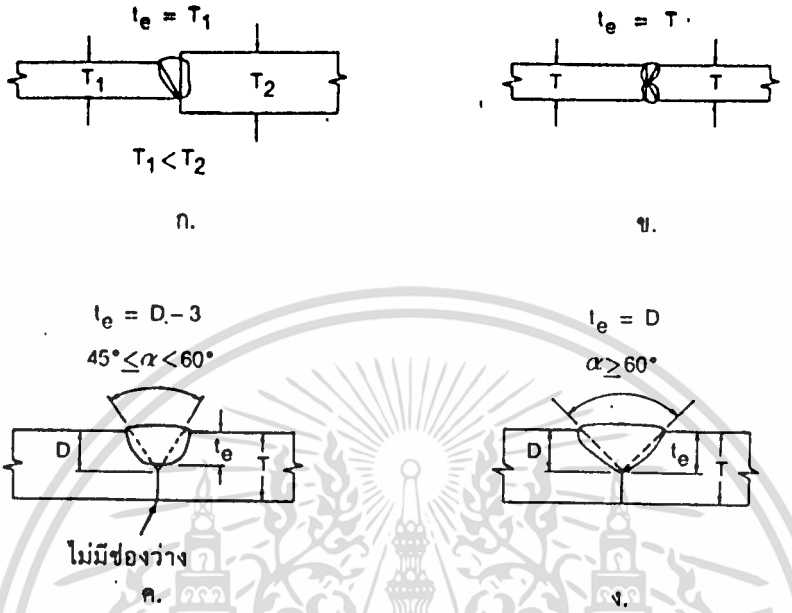
ข. รอยเชื่อมแบบพอก

ขนาดคอประสิทธิผลของรอยเชื่อม ได้แก่ระยะที่ลากตั้งฉากจากราก (root) ของฐานเชื่อมไปยังเส้นที่ต่อกันระหว่างปลายของการเชื่อมทั้งสองด้าน

ข.1 ขาเชื่อมยาวเท่ากัน ขนาดคอประสิทธิผล $t_e = 0.707a$ (ดูรูปที่ 2.41 ก)

ข.2 ขาเชื่อมยาวไม่เท่ากัน ขนาดคอประสิทธิผล $te = \frac{ab}{\sqrt{(a^2+b^2)}}$ (ดูรูปที่ 2.41ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 ขนาดคอประสิทธิผลสำหรับรอยเชื่อมแบบร่อง

รูปที่ 2.39 ขนาดคอประสิทธิผลสำหรับรอยเชื่อมแบบพอก

อนึ่ง มาตรฐาน AISC (1978) ได้กำหนดขนาดคอประสิทธิผลของรอยเชื่อมดังนี้

1. เมื่อขาเชื่อมมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 9 มม. ($a \leq 9$ มม.) ขนาดคอประสิทธิผลมีค่าเท่ากับขาของรอยเชื่อม ($te = a$)

2. เมื่อขาเชื่อมมีค่ามากกว่า 9 มม. ($a > 9$ มม.) ขนาดคอประสิทธิผลมีค่า $te = 0.70a + 3$ มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.18 หน่วยแรงที่ยอมให้ของรอยเชื่อมบนเนื้อที่ประสิทธิผล (AISC 1978)

ประเภทหน่วยแรงบนเนื้อที่ประสิทธิผล	หน่วยแรงที่ยอมให้	กำลังของลวดเชื่อม
รอยเชื่อมแบบร่องลึกเต็มหน้า		
1. แรงดึงตั้งฉากกับเนื้อที่ประสิทธิผล	เท่ากับเหล็กที่เชื่อม	เสมอเท่าเหล็กที่เชื่อม
2. แรงอัดตั้งฉากกับเนื้อที่ประสิทธิผล	เท่ากับเหล็กที่เชื่อม	
3. แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแกนของรอยเชื่อม	เท่ากับเหล็กที่เชื่อม	เสมอเท่าหรือต่ำกว่าเหล็กที่เชื่อม
4. แรงเฉือนบนเนื้อที่ประสิทธิผล	$0.3F_u$	
รอยเชื่อมแบบร่องลึกเพียงบางส่วน		
1. แรงอัดตั้งฉากกับเนื้อที่ประสิทธิผล	เท่ากับเหล็กที่เชื่อม	เสมอเท่าหรือต่ำกว่าเหล็กที่เชื่อม
2. แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแกนของรอยเชื่อม	เท่ากับเหล็กที่เชื่อม	
3. แรงเฉือนขนานกับรอยเชื่อม	$0.3F_u$ แต่ $T_v \leq 0.4F_y$	
4. แรงดึงตั้งฉากกับเนื้อที่ประสิทธิผล	$0.3F_u$ แต่ $f_t \leq 0.6F_y$	
รอยเชื่อมแบบพอก		
1. แรงเฉือนบนเนื้อที่ประสิทธิผล	$0.3F_u$ แต่ $T_v \leq 0.4F_y$	เสมอเท่าหรือต่ำกว่าเหล็กที่เชื่อม
2. แรงดึงหรือแรงอัดขนานกับแกนของรอยเชื่อม	เท่ากับเหล็กที่เชื่อม	
3. แรงเฉือนขนานกับผิว	$0.3F_u$ แต่ $T_v \leq 0.4F_y$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

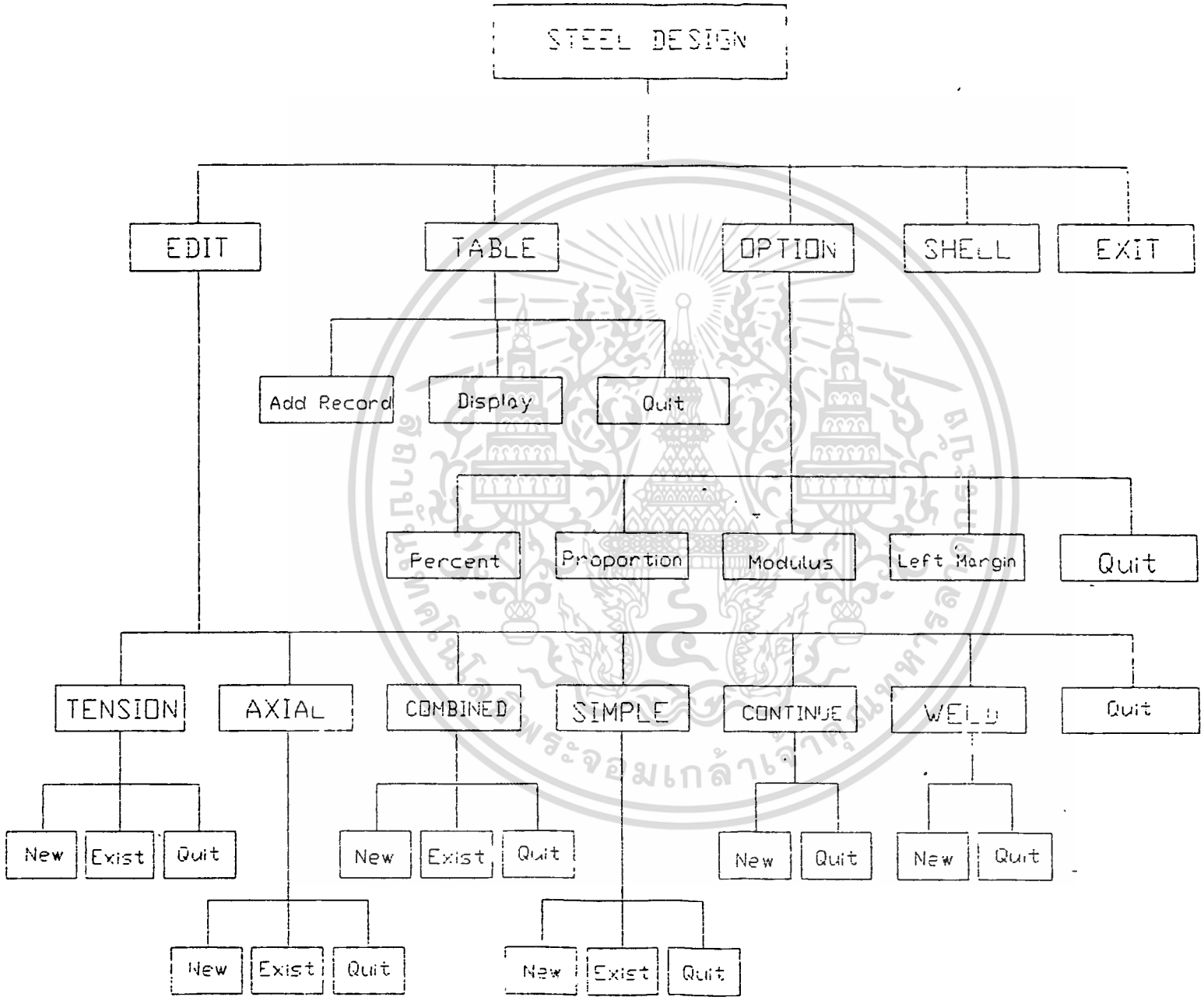
บทที่ 3
ผังงานและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

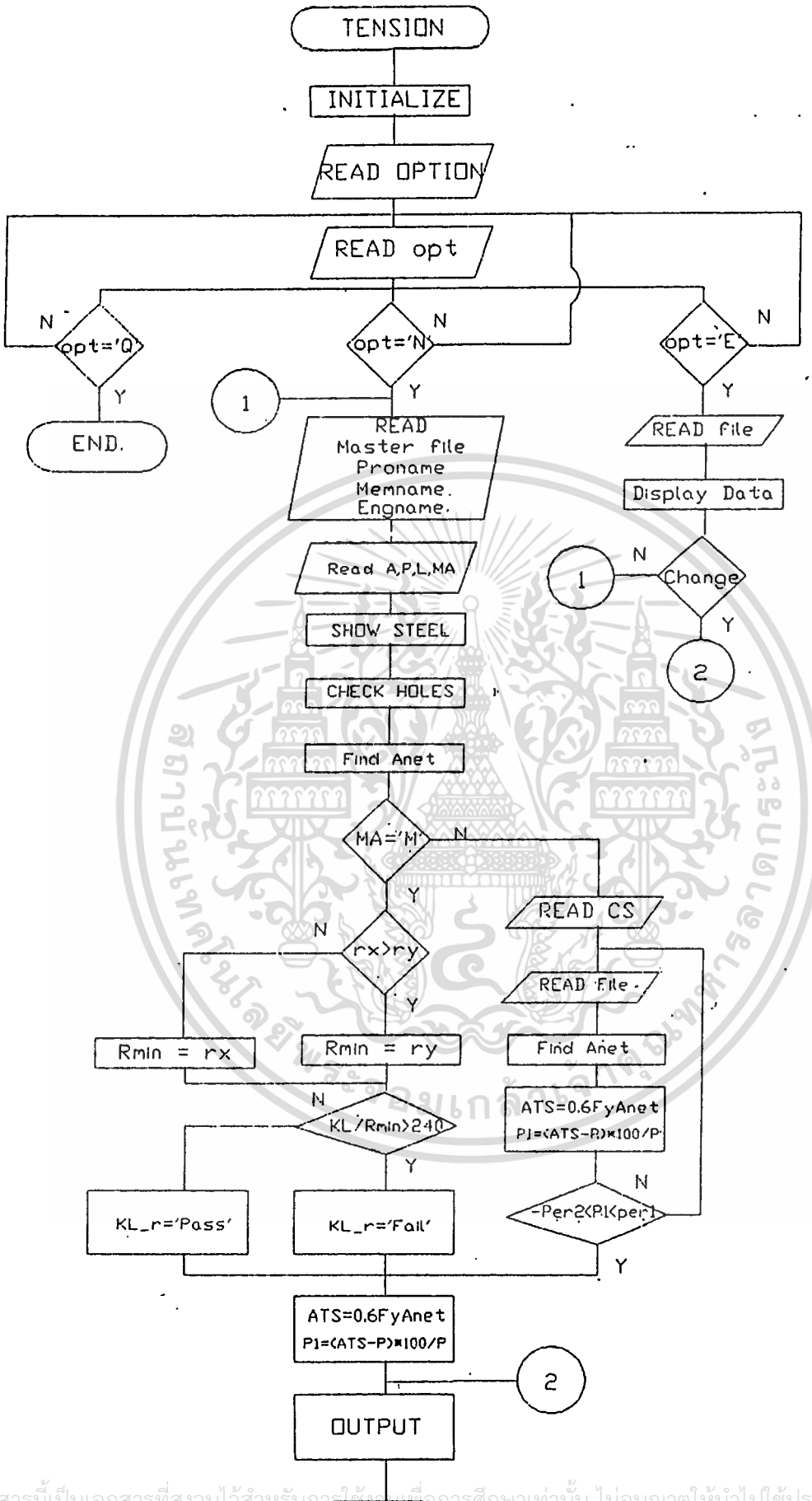
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ผังงานของโปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING

1. ผังงานรวมของโครงงาน
2. ผังงานโปรแกรมส่วนโครงสร้างรับแรงดึง (Tension)
3. ผังงานโปรแกรมส่วนโครงสร้างรับแรงอัดตามแกน (Axial)
4. ผังงานโปรแกรมส่วนโครงสร้างรับแรงดัดและแรงอัดร่วมกัน (Combined)
5. ผังงานโปรแกรมส่วนโครงสร้างคานช่วงเดียว (Simple Beam)
6. ผังงานโปรแกรมส่วนโครงสร้างคานต่อเนื่อง (Continuous Beam)
7. ผังงานโปรแกรมส่วนตรวจสอบรอยเชื่อม (Weld)

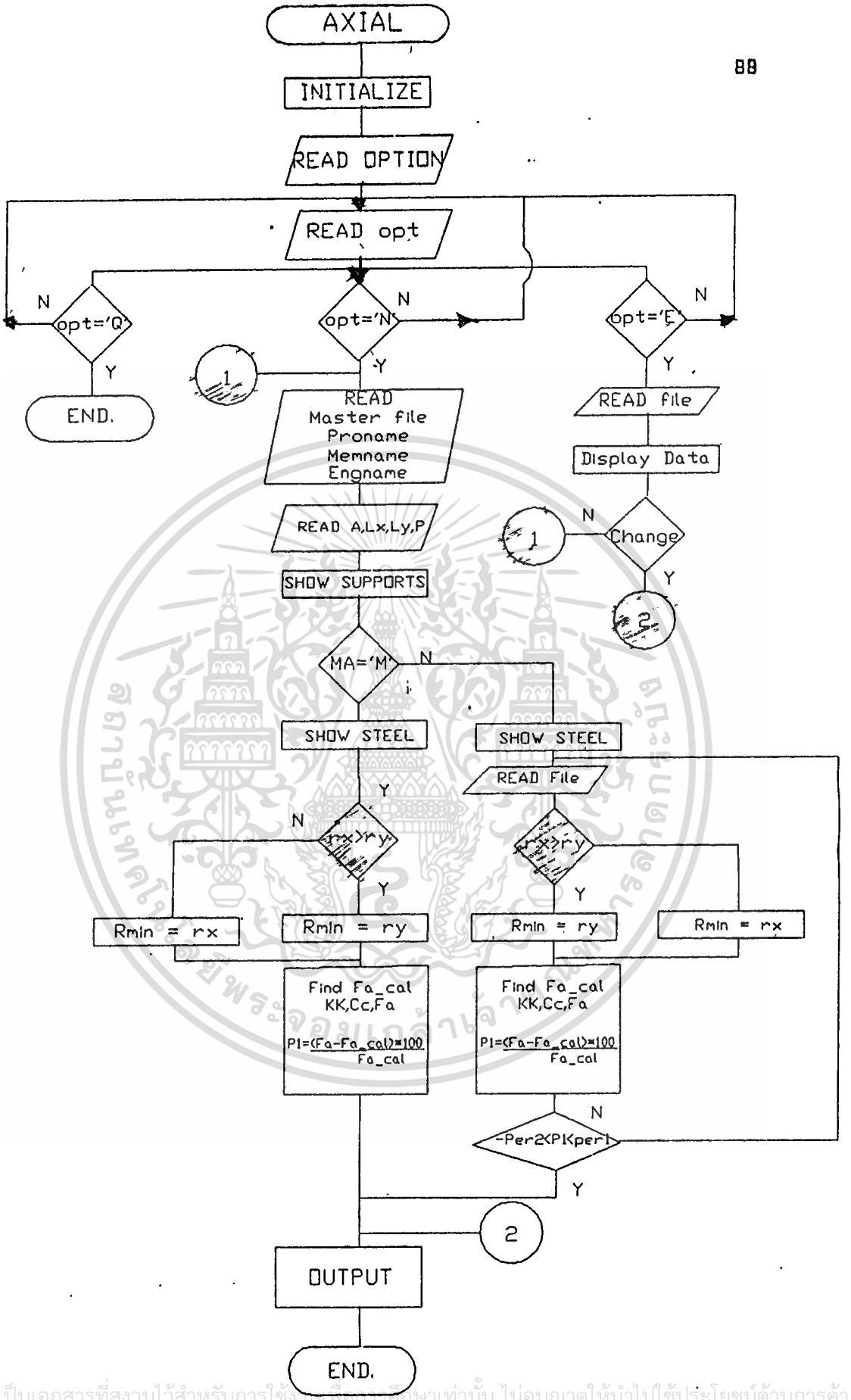
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


STEEL DESIGN
EDIT
TABLE
OPTION
SHELL
EXIT
Add Record
Display
Quit
Percent
Proportion
Modulus
Left Margin
Quit
TENSION
AXIAL
COMBINED
SIMPLE
CONTINUE
WELD
Quit
New
Exist
Quit
New
Exist
Quit
New
Quit
New
Quit
New
Exist
Quit
New
Exist
Quit



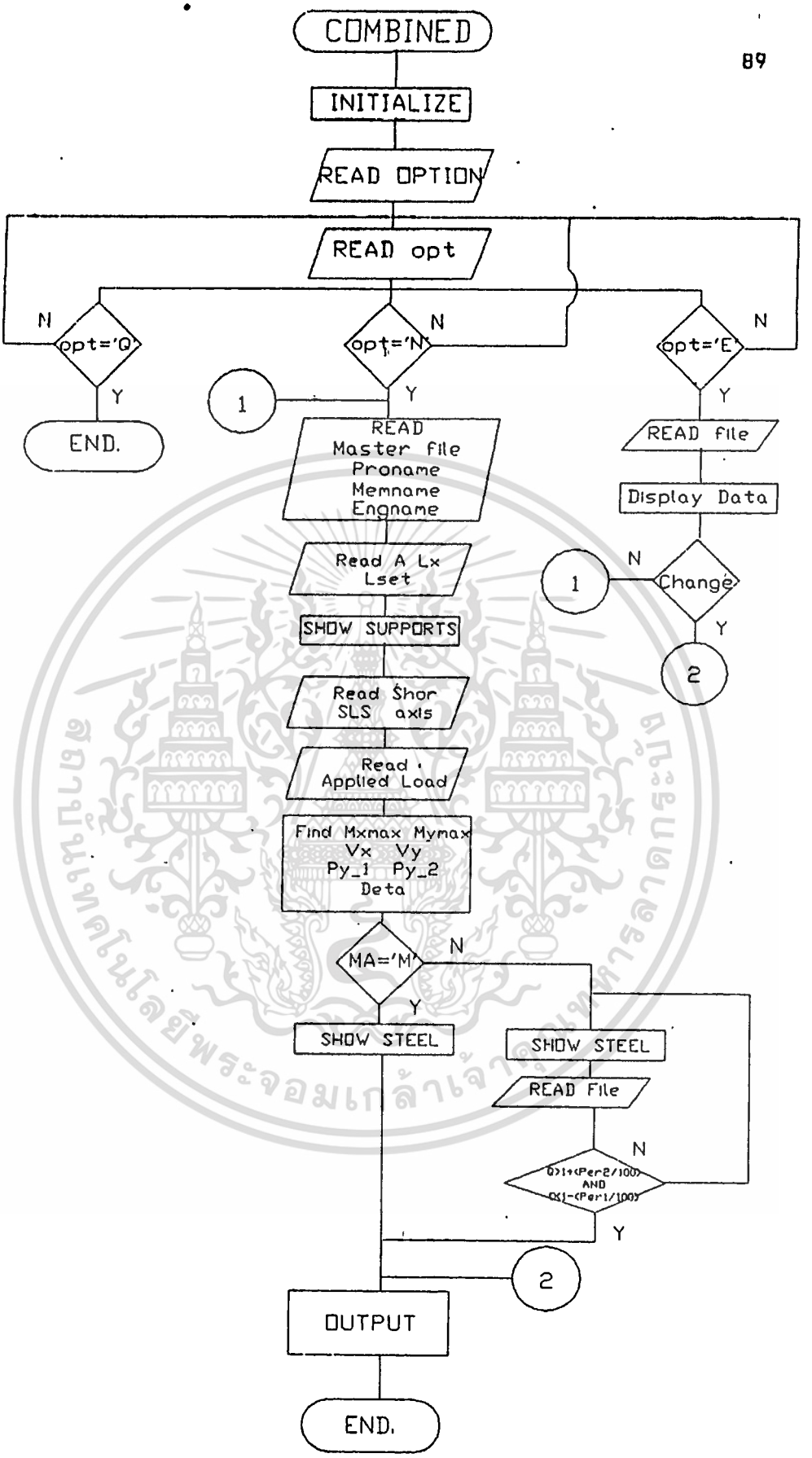
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART OF TENSION PROGRAM



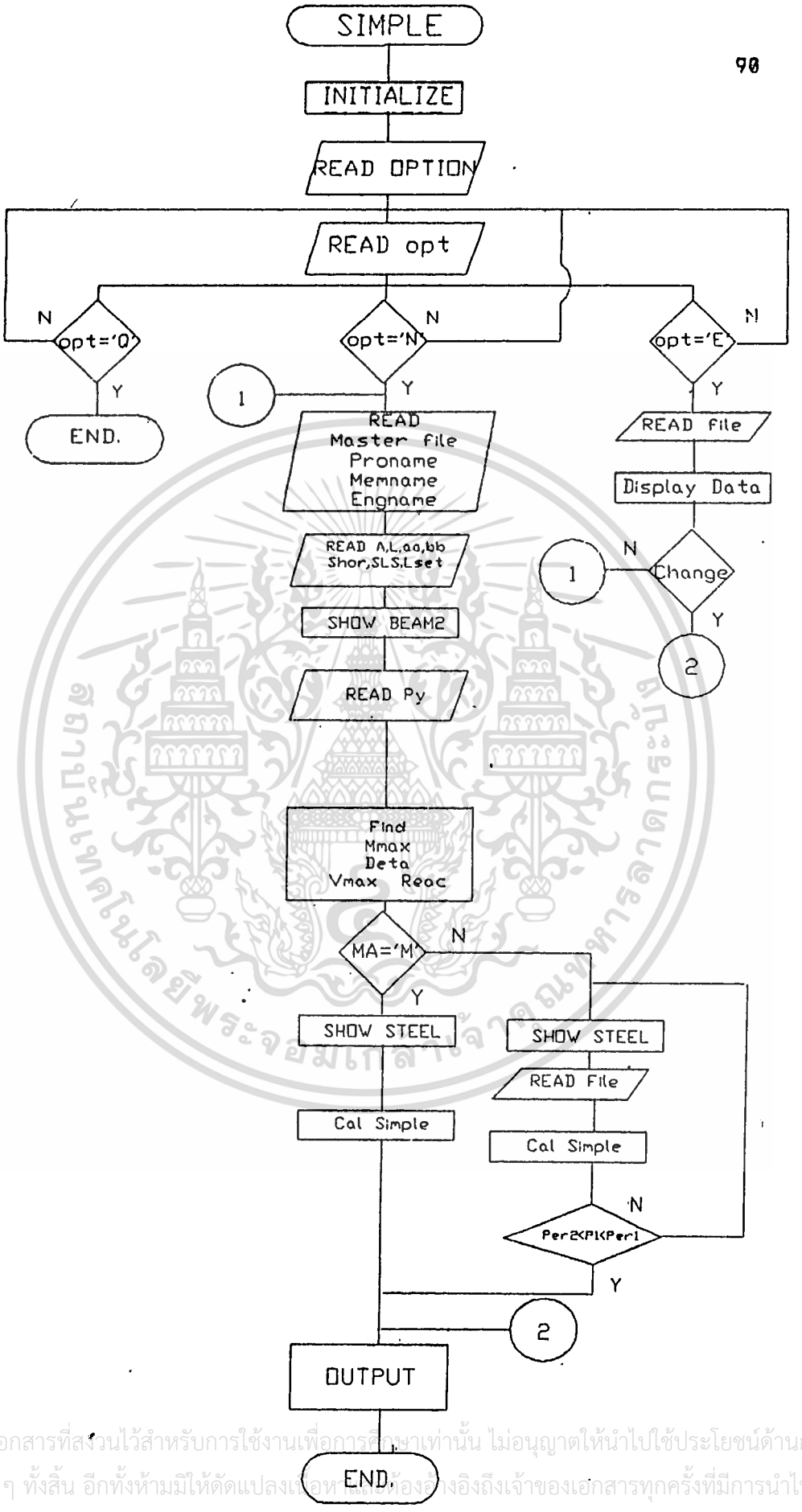
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART OF AXIAL PROGRAM



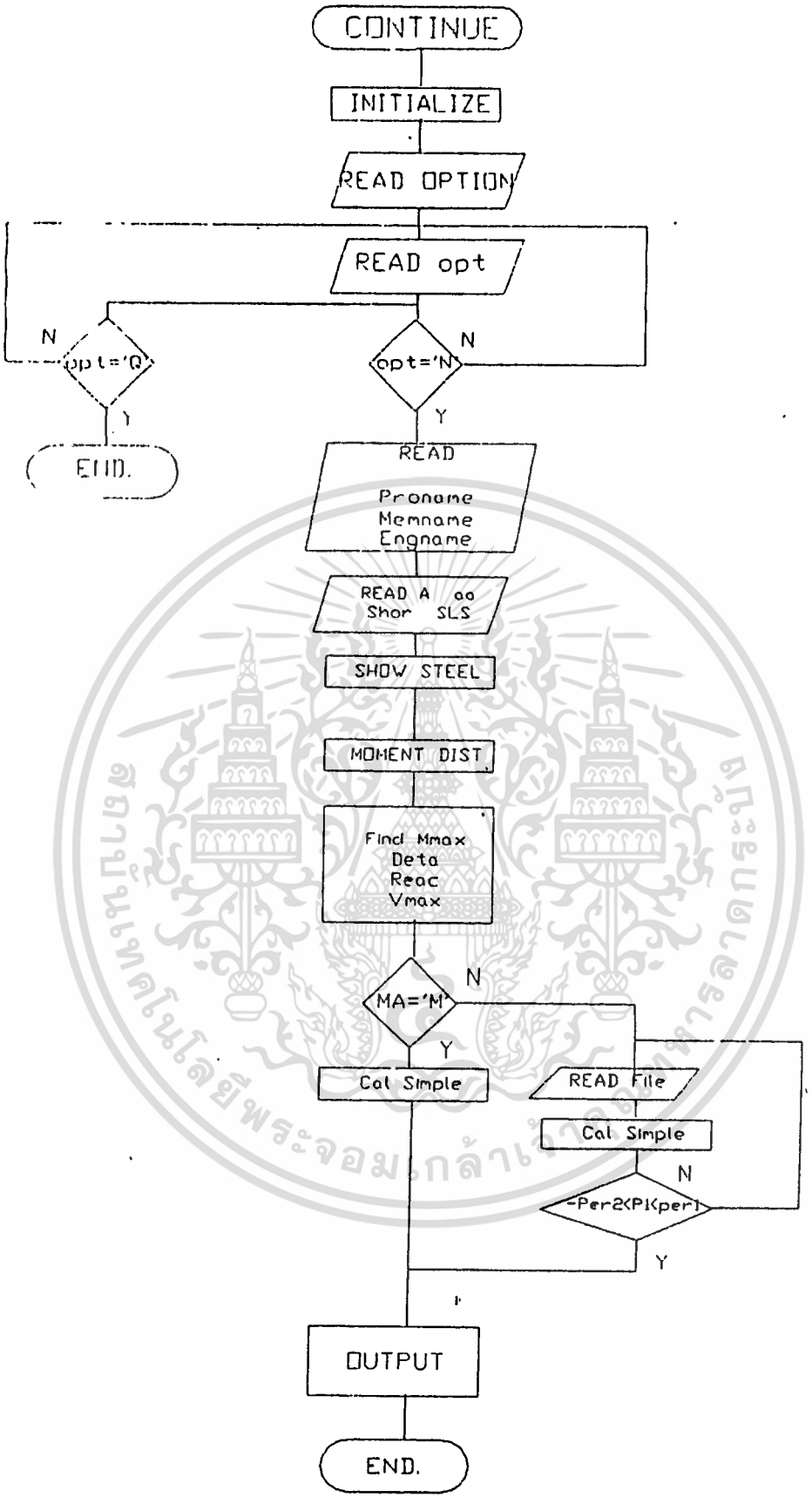
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART COMBINED STRESS



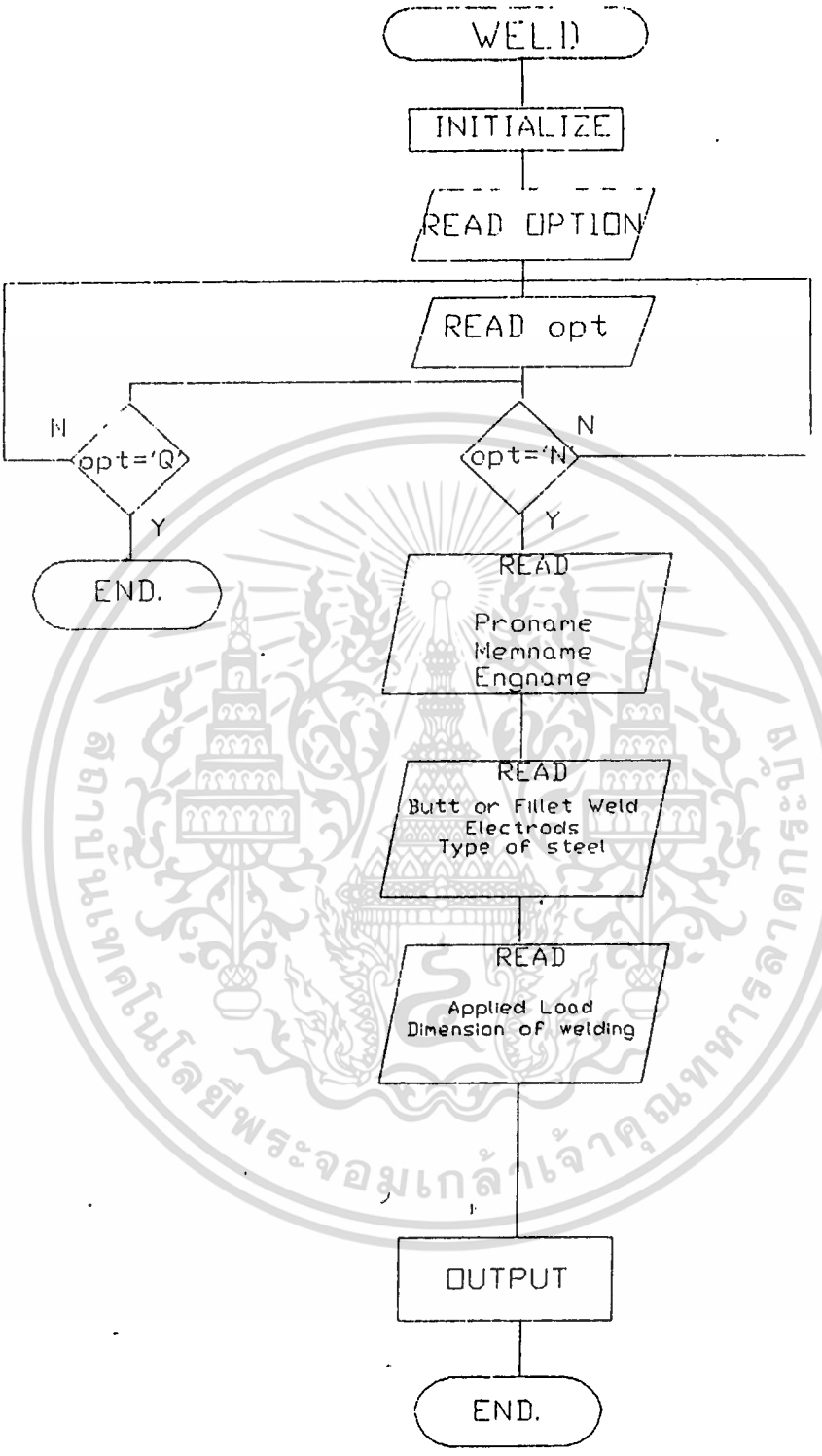
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART SIMPLE BEAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART CONTINUEOUS BEAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART WELD CONNECTION

3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

การตรวจสอบและการออกแบบของโปรแกรมในทุกๆส่วนจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization) ของค่าคงที่และตัวแปรต่างๆ ซึ่งจะเป็นการกำหนดค่าตัวแปรขึ้นใหม่ หรือเป็นการ Reset ค่าตัวแปรเริ่มต้นตัวหนึ่งๆให้เป็นศูนย์ จากนั้นโปรแกรมจะดำเนินการต่อในขั้นตอนของการอ่านค่าคงที่จากไฟล์ "OPTION.STD" (ซึ่งมีอยู่ใน OPTION MENU) เข้ามาเก็บไว้ใน Memory ซึ่งจะใช้ค่าคงที่นี้ไปตลอดจนกว่าผู้ใช้จะเปลี่ยนแปลงแก้ไข

จากนั้นก็มาถึง Mode ของการ Edit New Project หรือ Existing Project ซึ่งการเริ่มต้นก็ควรเป็น New Project เป็นอันดับแรก เนื่องจากการเลือก Existing Project นั้นจะต้องมีไฟล์ข้อมูลอยู่ก่อนแล้ว ต่อจากนั้นก็ถึงส่วนที่ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลเกี่ยวกับ Master File ,Project Name, Member Name และ Engineer Name ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือ Master File ซึ่งจะเป็นชื่อไฟล์ที่ใช้เก็บข้อมูลลง Disk หากไม่มีการป้อนข้อมูลส่วนนี้ก็จะไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้

หลังจากนั้นโปรแกรมจะให้ผู้ใช้ป้อนค่ารายละเอียดของ Member Load และข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการตรวจสอบหรือการออกแบบ ต่อจากนั้นจะเข้าสู่การเลือกให้โปรแกรมทำงานใน Mode ของการตรวจสอบการรับแรง (Manual) หรือการออกแบบโครงสร้าง (Auto)

1. การตรวจสอบ (Manual)

ใน Mode Manual นี้ผู้ใช้จะต้องเป็นผู้ป้อนขนาดหน้าตัด หลังจากที่ได้เลือกว่าจะใช้หน้าตัดชนิดใด หลังจากนั้นโปรแกรมจะคำนวณว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต่างๆ ว่าเพียงพอหรือไม่ โดยการแสดงผลออกทางจอภาพ หรือทางเครื่องพิมพ์

2. การออกแบบ (Auto)

ใน Mode Auto หลังจากที่ผู้ใช้เลือกรูปหน้าตัดเหล็กที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะทำการค้นหาขนาดหน้าตัดที่ประหยัดที่สุดที่มีอยู่ในไฟล์ตารางเหล็ก จากน้อยไปหามาก

เมื่อหน้าตัดที่เลือกนั้นสามารถรับ Load ที่กระทำได้ตาม Percent ที่ยอมให้ ใน Menu Option ที่กำหนดไว้ตั้งแต่เริ่มต้น ก็จะแสดงหน้าตัดที่ควรใช้ทางจอภาพและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 คำอธิบายค่าตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม

A	- ชนิดของเหล็ก A7 หรือ A36
Change	- การแก้ไขข้อมูล
MA	- Manual Design หรือ Auto Design
CS	- จำนวนด้านที่มีการเชื่อม
ch	- ตัวแปรแบบ Readkey
opt	- ตัวเลือก (Option)
L	- ความยาวของชิ้นส่วน (cm.)
P	- Tension Force
E	- Young's Modulus
Fy	- ค่า Proportional Stress
W	- ความกว้างของหน้าตัด
D1	- ความสูงของหน้าตัด
	- Outside Diameter
t1,t2	- ความหนา
r1,r2	- รัศมีความโค้ง
kgpm	- Kilogram per Metre
Area	- พื้นที่หน้าตัด
Initarea	- เนื้อที่หน้าตัดที่คำนึงถึง Connection Side
Anet	- เนื้อที่หน้าตัดที่หักรูเจาะออกแล้ว
Ft	- Allowable Stress
k	- ค่า k
kx	- ค่า k ในแนวแกน x
ky	- ค่า k ในแนวแกน y
ATS	- แรงดึงที่ member สามารถรับได้
SPQ	- ตัวเลือก Print,Quit หรือ Save
Ix	- Moment of Inertia ในแนวแกน x
Iy	- Moment of Inertia ในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sx	- Modulus of Section ในแนวแกน x
Sy	- Modulus of Section ในแนวแกน y
rx	- รัศมีไจเรชั่นในแนวแกน x
ry	- รัศมีไจเรชั่นในแนวแกน y
Ahole	- เนื้อที่หน้าตัดรูเจาะที่ยังไม่ได้คูณความหนา
Rmin	- รัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุด
PI	- เปอร์เซนต์ที่แตกต่างของค่าที่ member รับได้
Proname	- Project Name
Memname	- Member Name
Engname	- Engineer Name
Master	- Master File Name
n	- ตัวแปรที่ใช้ในการวน loop
s	- ตัวแปรที่ใช้ในการวน loop
max	- ตัวแปรที่ใช้ในการวน loop
min	- ตัวแปรที่ใช้ในการวน loop
i	- ตัวแปรที่ใช้ในการวน loop
pic	- ตัวแปรที่ใช้ในการวน loop
done	- ตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
Ty	- ชนิดของเหล็ก (A36 หรือ A7)
Kl_r	- ค่า Kl/r
n	- จำนวนรูเจาะ
s	- ระยะห่างระหว่างรูเจาะในทิศทางขนานกับแนวแรง
g	- ระยะห่างระหว่างรูเจาะในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง
Dim	- Diameter ของรูเจาะ
ZS	- ชนิดของการเจาะ (แบบ Straight หรือแบบ Zigzag)
Fa_cal	- หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง (ksc)
Fa	- หน่วยแรงอัดที่รับได้ (ksc)
cc	- ค่า Cc
Kh	- ค่า Kl/r ที่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Per1	- High Different Percent
Per2	- Low Different Percent
EE	- ตัวแปรใช้ในการเปรียบเทียบ
Left	- Left Margin of Printer
YN	- ต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือไม่ ? (Y/N)
kkx	- Kl/rx
kky	- Kl/ry
Allo	- Allowable Stress
Diago	- Diagonal of Web Buckling
Ch_shear	- Shear Stress
Ch_def	- Deflection
Web_s	- Web Buckling Stress at Support
Web_p	- Web Buckling Stress at Point Load
Crip_s	- Cripping Stress at Support
Crip_p	- Cripping Stress ai Point Load
done	- ตัวแปรที่ใช้ในการวน loop
Fbi	- Bending Stress ที่เกิดขึ้น
Fb	- Allowable Bending Stress
Deta	- Deflection
aa	- ความกว้างของเหล็กรองที่ Support
bb	- ความกว้างของเหล็กรองที่จุด Point Load
Mmax	- โมเมนต์มากที่สุด
BF	- Butt Weld หรือ Fillet Weld
Elec	- ชนิดของลวดเชื่อม
Weldcase	- กรณีของการเชื่อม
fv	- หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับรอยเชื่อม
Pw_cal	- หน่วยแรงดัด/ดึง ที่เกิดขึ้นของรอยเชื่อม
Vw_cal	- หน่วยแรงเฉือน ที่เกิดขึ้นของรอยเชื่อม
Mw_cal	- โมเมนต์ ที่เกิดขึ้นของรอยเชื่อม
Tw_cal	- หน่วยแรงบิด ที่เกิดขึ้นของรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการใช้โปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING

4.1 การติดตั้งโปรแกรม

โปรแกรม Steel Structure Design for Building เป็นโปรแกรมที่ใช้ออกแบบและคำนวณตามข้อกำหนดของโปรแกรม ก่อนเริ่มต้นใช้งานนั้นควรมีการติดตั้งโปรแกรม และการกำหนดค่าดงที่ต่างๆก่อน การทำงานของโปรแกรมจะมีการติดต่อระหว่างไฟล์ข้อมูลเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นผู้เขียนจึงขอแนะนำให้ Copy โปรแกรมลง Hard Disk (ถ้ามี) เพื่อให้การทำงานของโปรแกรมมีประสิทธิภาพ สำหรับการอ่านจาก Floppy Disk ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน แต่จะเสียเวลาในการอ่านข้อมูลมากกว่า

เพื่อความเป็นระเบียบของไฟล์ข้อมูล และไฟล์ Executable ผู้เขียนจึงกำหนดให้ copy Files ของโปรแกรมลงใน Sub-directory ชื่อ STD โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

ใส่แผ่นโปรแกรมใน Drive A (หรือ B)

C: md std <ENTER>

C: cd std <ENTER>

C: copy a:(หรือ b:)\std*.*

จากนั้นลองใช้คำสั่งdir/pจะแสดงรายชื่อไฟล์และขนาดของไฟล์ที่ใช้งานของต้นฉบับดังนี้

C:\STD> dir/p <ENTER>

STD.EXE

TITLE.EXE

SHELL.EXE

TABLE.EXE 40816

OPTION.EXE 17696

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTION.STD	38
EGAVGA.BGI	5363
KMITL.VGA	
TRIP.CHA	7241
COMMAND.COM	50456 (ขึ้นอยู่กับ Command.com ของเครื่อง)
TENSION.EXE	84000
AXIALC.EXE	89680
COMBINE.EXE	108064
SIMPLE.EXE	96992
CONTINUE.EXE	92544
PWELD.EXE	52304
WF.TAB	21756
H.TAB	7224
I.TAB	1428
C.TAB	1260
L.TAB	2436
U.TAB	1680
R.TAB	756
P.TAB	840

ถ้าหากขนาดของไฟล์เปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะในไฟล์ OPTION.STD ,Executable ให้สงสัยว่าโปรแกรมของท่านอาจติดไวรัส ส่วนไฟล์ *.TAB นั้นเป็นไฟล์ที่เก็บข้อมูลตารางเหล็กของผู้ใช้

4.2 หน้าที่ของไฟล์ต่างๆในโปรแกรม

STD.EXE เป็น MAIN PROGRAM ซึ่งจะเป็นตัวที่ติดต่อกับไฟล์ต่างๆ ในโปรแกรม

TITLE.EXE เป็นไฟล์ที่แสดง Title ของโปรแกรม

TABLE.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้แสดงหรือแก้ไขข้อมูลของตารางเหล็ก (ไฟล์ *.TAB)

OPTION.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้แสดงและแก้ไขค่าคงที่ ที่ใช้ในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTION.STD เป็นไฟล์ที่ใช้ในการเก็บค่าดงที่ของโปรแกรม ซึ่งจะใช้ในการคำนวณ

EGAVGA.BGI เป็นไฟล์ที่ใช้ในการแสดงภาพ GRAPHICS บนจอภาพ

TRIP.CHA เป็นไฟล์ที่ใช้ในการแสดงภาพ GRAPHICS บนจอภาพ

KMITL.VGA เป็นไฟล์ที่ใช้ในการแสดงภาพ GRAPHICS บนจอภาพ

TENSION.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้ในการตรวจสอบและออกแบบ Tension Member

AXIALC.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้ในการตรวจสอบและออกแบบ Axial Column

COMBINE.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้ในการตรวจสอบและออกแบบ Combined Stress

SIMPLE.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้ในการตรวจสอบและออกแบบ Simple Beam

CONTINUE.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้ในการตรวจสอบและออกแบบ Continuous Beam

PWELD.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้ในการตรวจสอบและออกแบบ Welded Connection

SHELL.EXE เป็นไฟล์ที่ใช้สำหรับ OS-Shell

WF.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก Wide Flange

H.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก H-Shape,H-Pile

I.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก I-Shape

C.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก Channel

L.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก Angle Equal Legs

U.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก Angle Unequal Legs

R.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก Recgular Tube และ Square Tube

P.TAB เป็นไฟล์ตารางเหล็กที่เก็บข้อมูลสำหรับเหล็ก Pipe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การใช้งานโปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING

เรียก C:\STD> std <ENTER>

จะปรากฏ Main Menu ดังรูป

Edit	Table	Option	Shell	Exit

OPTION

เป็นส่วนที่ตั้งค่าต่างๆที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ ใช้หัวลูกศรเลื่อนไปที่ OPTION แล้วกด <ENTER> จะปรากฏ Menu ย่อย ดังรูป

S T E E L S T R U C T U R E D E S I G N F O R B U I L D I N G

Edit	Table	Option	Shell	Exit

- Percent Diffent
- Proportion Stress
- Young`s Modulus
- Left Margin
- Quit

ซึ่งจะเป็นส่วนของโปรแกรมที่กำหนดค่าของค่าคงที่ลงในไฟล์ OPTION.STD ซึ่งประกอบด้วย Menu ย่อย ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERCENT DIFFERENT :

เป็นส่วนที่กำหนดค่าเปอร์เซนต์แตกต่างของค่าที่คำนวณได้ ที่ยอมให้ใช้ ใช้หัวลูกศร เลื่อนไปที่ Percent Different แล้วกด <ENTER> จะปรากฏตาราง ดังรูป

```
┌──────────────────PERCENT DIFFERENT──────────────────┐
│                                                     │
│OLD DEFAULT : percent different is + 2.00 and - 0.00 │
│                                                     │
│NEW DEFAULT : percent high is + 3                    │
│                                                     │
│            : percent lLow is - 0                    │
│                                                     │
│ CONFIRM DATA ? [Y/N]                                │
└─────────────────────────────────────────────────────┘
```

จากตาราง จะแสดงค่า Old Default Setting อยู่ระหว่าง 0 ถึง +2% แล้วจะให้ใส่ค่า New Default Setting ที่ต้องการ สมมติว่าต้องการให้ค่าแตกต่างอยู่ระหว่าง 0 ถึง +3% ก็ป้อนค่า Percent High เป็น 3 ,Percent Low เป็น 0 แล้วกด Y (ถ้าต้องการป้อนค่าใหม่อีก ก็กด N) หลังจากนั้นโปรแกรมจะเก็บค่า New Default ลงในไฟล์ OPTION. STD แล้วจะกลับสู่ Menu ของ Option

PROPORTION STRESS :

เป็นการกำหนดค่า Fy สำหรับเหล็ก A7 และ A36 ใช้หัวลูกศร เลื่อนไปที่ Allowable Stress แล้วกด <ENTER> จะปรากฏตาราง ดังรูป

```
┌──────────────────PROPORTION STRESS──────────────────┐
│                                                     │
│OLD DEFAULT : Yeild stress A7  is 2310 ksc.          │
│                                                     │
│            : Yeild stress A36 is 2520 ksc.          │
│                                                     │
│NEW DEFAULT : Yeild stress A7  is 2310               │
│                                                     │
│            : Yeild stress A36 is 2520               │
│                                                     │
│ CONFIRM DATA ? [Y/N]                                │
└─────────────────────────────────────────────────────┘
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Old Default สำหรับค่า Fy ของเหล็ก A7 มีค่า 2310 ksc. และ A36 มีค่า 2520 ksc หากไม่มีการแก้ไขใหม่ให้พิมพ์ค่าเดิมลงไป แล้วกด Y

MODULUS OF ELASTICITY :

เป็นการกำหนดค่า E สำหรับเหล็ก A7 และ A36 ใช้หัวลูกศร เลื่อนไปที่ Young`s Modulus แล้วกด <ENTER> จะปรากฏตาราง ดังรูป

```
                    MODULUS OF ELASTICITY
OLD DEFAULT : Modulus of elasticity of A7  is 2.04E+06
            : Modulus of elasticity of A36 is 2.10E+06
NEW DEFAULT : Modulus of elasticity of A7  is 2.04e6
            : Modulus of elasticity of A36 is 2.1e6
 CONFIRM DATA ? [Y/N]
```

ค่า Old Default สำหรับค่า E ของเหล็ก A7 มีค่า 2.04E+06 ksc. และ A36 มีค่า 2.10E+06 ksc หากไม่มีการแก้ไขใหม่ให้พิมพ์ค่าเดิมลงไป แล้วกด Y

LEFT MARGIN :

เป็นการตั้งกั้นขอบซ้ายของเครื่องพิมพ์ ใช้หัวลูกศร เลื่อนไปที่ Left Margin แล้วกด <ENTER> จะปรากฏตาราง ดังรูป

```
                      LEFT MARGIN
OLD DEFAULT : Left Margin of printer is 5
NEW DEFAULT : Left Margin of printer is 4
 CONFIRM DATA ? [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Old Default ของ Left Margin เป็น 5 ถ้าต้องการเปลี่ยนเป็น 4 ให้กด 4 แล้วกด <ENTER> แล้วกด Y

QUIT :

เป็นการออกจากโปรแกรม OPTION กลับสู่ Main Menu ดังรูป โดยไม่มีการเก็บค่าลงไฟล์ ซึ่งถ้าเลือกในส่วนอื่นๆ โปรแกรมจะทำการเก็บค่า New Default ทุกครั้ง

S T E E L S T R U C T U R E D E S I G N F O R B U I L D I N G

Edit	Table	Option	Shell	Exit

TABLE

เป็นส่วนเกี่ยวกับข้อมูลตารางเหล็ก ใช้หัวลูกศร เลื่อนไปที่ Table แล้วกด <ENTER> จะปรากฏ Menu ดังรูป

Edit	Table	Option	Shell	Exit

Add Record

Display Record

Quit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ Table นี้ จะเป็นส่วนที่เรียกไฟล์ *.TAB ทั้งหมด ซึ่งจะประกอบด้วย Menu ย่อย ดังนี้

ADD RECORD :

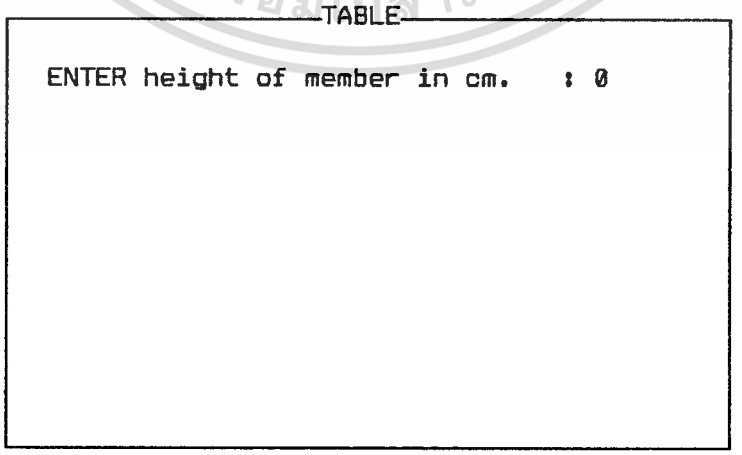
เป็นการเพิ่มขนาดหน้าตัดเหล็กลงในไฟล์ ใช้หัวลูกศร เลื่อนไปที่ Add Record แล้วกด <ENTER> จะปรากฏข้อความ ดังนี้

ENTER file's name to add record : r.tab <ENTER>

ENTER file r.tab HIT ANY KEY TO CONTINUE

แล้วจะปรากฏส่วนรับค่า Dimension ที่ต้องการเพิ่มเติม

เมื่อพิมพ์ข้อมูลแล้ว ต้องการออกจาก Add Record ให้พิมพ์ค่า 0 ในส่วน Height of Member ดังรูป

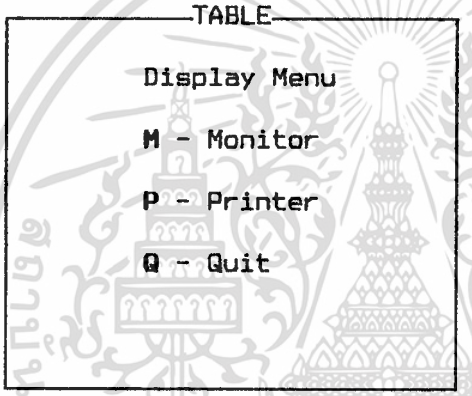


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะกลับสู่ Menu ย่อยของ Table

DISPLAY RECORD :

เป็นการแสดงขนาดหน้าตัดเหล็กที่มีอยู่ในไฟล์ *.TAB ออกทางจอภาพ หรือทางเครื่องพิมพ์ ใช้ห้าลูกศร เลื่อนไปที่ Display Records แล้วกด <ENTER> จะปรากฏ Menu ย่อย ดังรูป

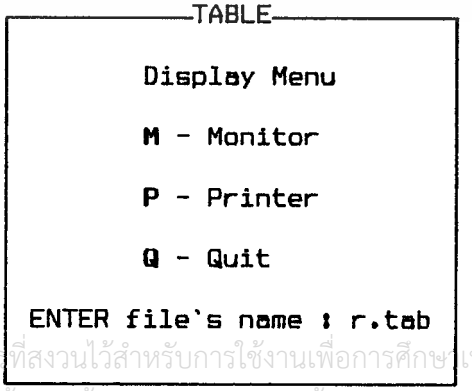


กด M : แสดงข้อมูลทางจอภาพ

P : แสดงข้อมูลทาง Printer

Q : ออกจากส่วน Display Records กลับสู่ Menu ของ Table

สมมติเลือก M แล้วใส่ชื่อไฟล์ r.tab ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ออกทางจอภาพ

Height x Kg/m	Area	Ix	Iy	rx	ry	Sx	Sy
50 x 2.38	3.03	11.7	11.7	1.96	1.96	4.7	4.7
50 x 3.34	4.25	15.9	15.9	1.93	1.93	6.4	6.4
60 x 4.06	5.17	28.3	28.3	2.34	2.34	9.4	9.4
100 x 5.14	6.55	83.9	29.0	3.58	2.10	16.8	11.6
75 x 5.14	6.55	56.8	56.8	2.94	2.94	15.2	15.2
90 x 6.23	7.93	100.2	100.2	3.55	3.55	22.3	22.3
100 x 7.01	8.93	111.5	38.3	3.53	3.53	22.3	22.3
75 x 7.01	8.93	75.6	75.6	2.91	2.91	20.2	20.2
90 x 8.51	10.85	134.1	134.1	3.52	3.52	29.8	29.8

กด Q เพื่อกลับสู่ Menu ของ Table

Edit	Table	Option	Shell	Exit

Add Record

Display Record

Quit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 คำแนะนำในการป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรม

Master File : หมายถึงชื่อไฟล์ที่ต้องการเก็บข้อมูลลง Disk เพื่อสำหรับแก้ไขข้อมูลในภายหลัง (ชื่อไฟล์ต้องมีความยาวไม่เกิน 8 ตัวอักษร) ในการตั้งชื่อ ควรตั้งให้มีนามสกุลให้มีความสัมพันธ์กับลักษณะของ Member นั้น เช่น *.TEN,*.AXI,*.COB สำหรับ Member ประเภท Tension ,Axial Column และ Combined Stress ตามลำดับ เป็นต้น

Project Name : ชื่อของโครงการ (ความยาวไม่เกิน 30 ตัวอักษร)

Member Name : ชื่อของ Member (ความยาวไม่เกิน 30 ตัวอักษร)

Engineer Name : ชื่อผู้คำนวณ

Type of Steel [A7 or A36] : ให้ใส่ชนิดของเหล็กที่ใช้ว่าเป็นเหล็ก A7 หรือ A36

Manual or Auto [M or A] : ให้เลือก Mode การคำนวณว่าเป็นแบบ Manual สำหรับการตรวจสอบ หรือเป็น Auto สำหรับการออกแบบ

Confirm your data [Y/N] : ถ้าป้อนข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากข้อมูลไม่ถูกต้องและต้องการแก้ไขให้กด N

Tension

Enter Tension Force : แรงดึงที่กระทำต่อ Member (Kg.)

Enter Length of Member : ความยาวของ Tension Member (cm.)

Number of Holes in Tensile Direction : จำนวนรูเจาะในทิศทางรับแรงดึง

Diameter of Hole : ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะ (cm.)

Zigzag or Straight : ให้เลือกแนวของรูเจาะว่าเป็นแนว Zigzag หรือเป็นแนวเส้นตรง

Distance of Pitch : ระยะห่างของรูเจาะจากขอบในถึงขอบใน ในแนวขนานกับแนวแรงที่มากระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Distance of Gage : ระยะห่างของรูเจาะจากขอบในถึงขอบใน ในแนวตั้งฉากขนานกับแนวแรงที่มากระทำ

(ดูตัวอย่างที่ 5.1-5.3)

Axial Column

Enter Compression Force : แรงอัดที่กระทำต่อ Member (Kg.)

Enter Length of Member in Major Axis : ความยาวในแกนหลัก (cm.)

Enter Length of Member in Minor Axis : ความยาวในแกนรอง (cm.)

(ดูตัวอย่างที่ 5.4)

Combined Stress

Number of Load Set : จำนวนชุดของ Load ที่กระทำโดยแยกลักษณะของ Load เป็นส่วน ๆ โดยดูจากรูปภาพที่จอภาพ

Have Shoring [Y/N] : มีค้ำยันที่ปีกดานทางด้านซึ่งรับแรงอัดหรือไม่

Spacing of Lateral Shoring : ระยะห่างของค้ำยันที่ปีกดานทางด้านข้างซึ่งรับแรงอัด

Axis of Shoring 1,2 or 3 for X,Y,XY-axis : ค้ำยันทางแกน X ,แกน Y หรือแกน XY

(ดูตัวอย่างที่ 5.5-5.6)

Simple Beam

Width of Plate Under Beam : ความกว้างของแผ่นเหล็กรองที่ปลายดานหรือปลาย Support เพื่อรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Width of Plate at Apply Force Point : ความกว้างของแผ่นเหล็กรองที่จุดที่มี Point Load กระทำ

(ดูตัวอย่างที่ 5.7-5.8)

Continuous Beam

(ดูตัวอย่างที่ 5.11)

(ดูตัวอย่างที่ 5.9)

Weld

Butt Weld or Fillet Weld : เลือกลักษณะการเชื่อม ว่าเป็นแบบต่อชนหรือต่อทาบ

Electrode E60 or E70 : ให้เลือกชนิดของลวดเชื่อม แบบ E60 หรือ E70

(ดูตัวอย่างที่ 5.10)

4.5 คำอธิบายผลลัพธ์ของโปรแกรม

Manual :

Section Fail!: แสดงว่าหน้าตัดของเหล็กที่เลือกไม่สามารถรับแรงกระทำนั้นได้ ตามค่าขอบเขตเปอร์เซนต์แตกต่างที่ยอมให้ ที่ตั้งไว้ใน Percent Low ใน Option

Section Over : แสดงว่าหน้าตัดของเหล็กที่เลือกสามารถรับแรงกระทำนั้นได้ โดยหน้าตัดนั้นสามารถรับแรงกระทำได้เกินขอบเขต Percent High ใน Option และมีค่ามากกว่าค่าที่ต้องการอยู่เท่ากับ Percent Different

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Section Pass : แสดงว่าหน้าตัดของเหล็กที่เลือกสามารถรับแรงกระทำนั้นได้ และมีความเหมาะสมตามขอบเขตของ Percent Low และ Percent High ที่ตั้งไว้ใน Option

Auto :

Section Fail!: แสดงว่าหน้าตัดของเหล็กใน File ไม่มีหน้าตัดใดเหมาะสม ตามค่าขอบเขต Percent Low ใน Option

หมายเหตุ : ให้สงสัยว่าหน้าตัดของเหล็กใน File เล็กกว่าที่จะรับแรงกระทำ ตามค่าเปอร์เซนต์แตกต่างที่ยอมให้ ที่ตั้งไว้ใน Percent Low ใน Option

Section Over : แสดงว่าหน้าตัดของเหล็กใน File ไม่มีหน้าตัดใดเหมาะสม ตามค่าขอบเขตของ Percent High ที่ตั้งไว้ใน Option โดยรับได้เกินแรงกระทำเท่ากับ Percent Different

หมายเหตุ : ให้สงสัยว่าหน้าตัดของเหล็กใน File ใหญ่เกินสามารถรับแรงกระทำได้เกินค่า Percent High ใน Option โดยรับได้เกินแรงกระทำเท่ากับ Percent Different

Section Pass : แสดงว่าหน้าตัดของเหล็กที่เลือกเหมาะสมกับแรงกระทำ ตามขอบเขต Percent Low และ Percent High ที่ตั้งไว้ใน Option

General Checking :

Fail! แสดงว่าการตรวจสอบนั้นไม่ผ่านตามค่ามาตรฐานที่ยอมให้

Pass แสดงว่าการตรวจสอบนั้นมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าตามค่ามาตรฐานที่ยอมให้

Not แสดงว่าไม่มีการตรวจค่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ตัวอย่างผลการใช้งานโปรแกรม

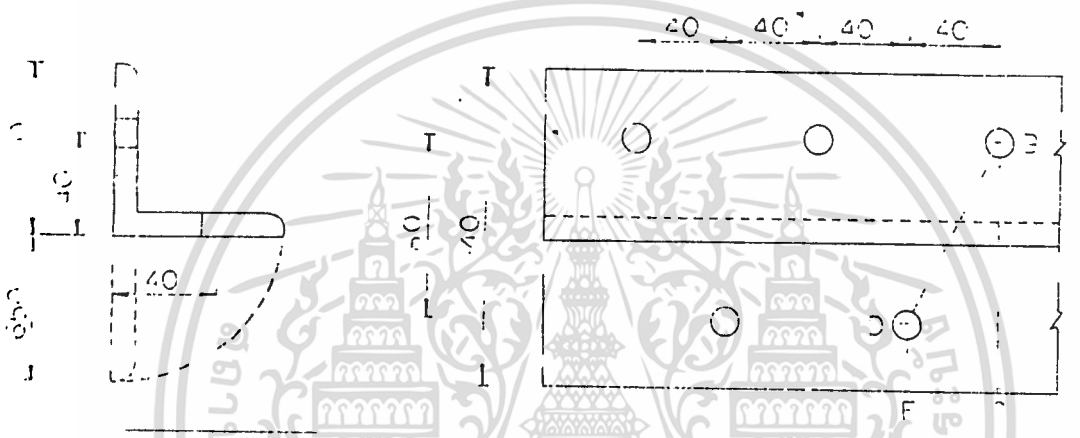
เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการแสดงการนำเอาโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบและออกแบบโครงสร้างรับแรงประเภทต่างๆ โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนต่างๆที่ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลลงไปในโปรแกรม โดยมีแสดงตัวอย่าง ดังนี้

5.1 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงดึง
5.2 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบการรับแรงดึง
5.3 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงดึง
5.4 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างรับแรงอัดในแนวแกน
5.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัดและแรงดัด
5.6 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัดและแรงดัด
5.7 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างคานช่วงเดียว
5.8 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างคานต่อเนื่อง
5.9 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างคานต่อเนื่อง
5.10 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงของรอยเชื่อม
5.11 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมหาค่าการกระจายโมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงดึง

จงตรวจสอบว่าเหล็กฉาก L75x75x9 ซึ่งเจาะรูยึดดังรูป สามารถรับแรงดึงขนาด 14,500 Kg. ได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ตามมาตรฐาน AISC ใช้เหล็ก A36 ความยาว 1.0 ม.



ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Tension แล้วกด ENTER

- กด N สำหรับ Edit New Project

```
TENSION MENU

N = New Project

E = Existing Project

Q = Quit

Your option to select is ==>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y

หากไม่ถูกต้องให้กด N แล้วแก้ไขให้ถูกต้อง

```
PROJECT DATA

Master File    :  Tens_i
Project Name   :  Srinakarin Bldg.
Member Name    :  Beam B1
Engineer Name  :  Chaiya

      Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปด้านล่างโดยเลือก mode MANUAL สำหรับการตรวจสอบ

```
TENSION MEMBER MENU

Enter Type of steel [A7 or A36] :A36
Enter Tension force in kg.      :14500
Enter Length of member in cm.   :100
Manual or Auto [M or A]         :Manual

      Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 - ใช้หัวลูกศร ↑ ↓ เลือกชนิดของเหล็กที่ต้องการ แล้วกด ENTER ในที่นี้เลื่อนไปที่ Angle Equal Legs ซึ่งจะปรากฏข้อความแล้วใส่ Dimension ของเหล็กและ Connection Side

ป้อน A = 7.5

B = 7.5

t1 = 0.9

r1 = 0.85

r2 = 0.6

Connection Side = 3

เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y

ขั้นที่ 5 - ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับรูเจาะ เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y

DATA OF HOLE(S)

Number of holes in Tensile Direction : 2

Diameter of hole in cm. : 1.5

Zigzag or Straight Line [Z or S] : Zigzag

Distance of Pitch in cm. : 4

Distance of Gage in cm. : 8

Confirm your data [Y/N]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 6 - ผลที่ออกมาจากการคำนวณของโปรแกรมปรากฏว่า เหล็กที่นำมาตรวจสอบสามารถรับแรงดึงได้สูงถึง 14,800 Kg. ซึ่งมากกว่า 14,500 Kg. อยู่ 2.06%

```
Project name : Srinakarin Bldg.          Engineer name  : Chaiya
Member name  : Beam B1                   Date of design :

Type of steel A36    E=  2.100E+06 ksc.   Fy =  2.520E+03 ksc.
  Tension force applied  1.450E+04 kg.
  Length of member in major axis   100.00 cm.
  Type of end support   Hinged - Hinged
  Dimension of section  Equal Legs Angle 75.0 x   9.87 , Area =  12.58 cm^2

    A =  75.00 mm.    r1 =     0.85 cm.    Sx =    11.99 cm^3
    B =  75.00 mm.    r2 =     0.60 cm.    Sy =    11.99 cm^3
   t1 =   9.00 mm.    Ix =    63.97 cm^4   rx =     2.26 cm.
   t2 =   0.00 mm.    Iy =    63.97 cm^4   ry =     2.26 cm.
  Connection-side 3 side. , KL/r  Pass
  Area of hole =   2.79, cm.^2  Anet =    9.79 cm.^2
  Rmin =   2.26 cm. , Diff-Percent =   2.06 %.
  Actual Load will apply  1.480E+04 kg.
  Allowable Tension stress  1512.00 ksc.
       Result of Calculation  : Section Pass .....
```

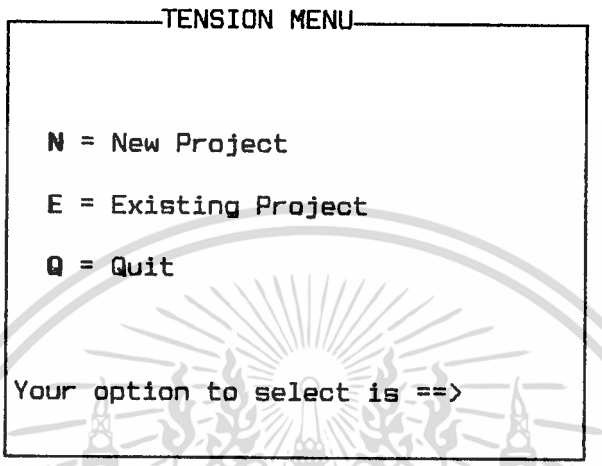
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลที่ออกมาทาง Printer เมื่อกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING :  TENSION
  Project name    : Srinakarin Bldg.
  Member name     : Beam B1
  Engineer name   : Chaiya
  Date of design :

  Type of steel A36
  Young modulus       (E) =  2.100E+06 ksc.
  Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Tension force applied  1.450E+04 kg.
Length of member in major axis   100.00 cm.
Type of end support   Hinged - Hinged

  Dimension of section  Equal Legs Angle 75.0 x   9.87
      A =   75.0 mm.   Ix =     63.97 cm^4
      B =   75.0 mm.   Iy =     63.97 cm^4
     t1 =    9.0 mm.   Sx =     11.99 cm^3
     t2 =    0.0 mm.   Sy =     11.99 cm^3
     r1 =    8.5 mm.   rx =      2.26 cm.
     r2 =    6.0 mm.   ry =      2.26 cm.
   Area =  12.58 cm^2

   Connection side 3 side
   Area of hole =   2.79 cm.^2
   Anet =    9.79 cm.^2
   Rmin =   2.26 cm.
   Different Percent =   2.06
   Check KL/r Pass

   Actual Load will apply  1.480E+04 kg.
   Allowable Tension stress  1512.00 ksc.
        Result of Calculation :Section Pass .......
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

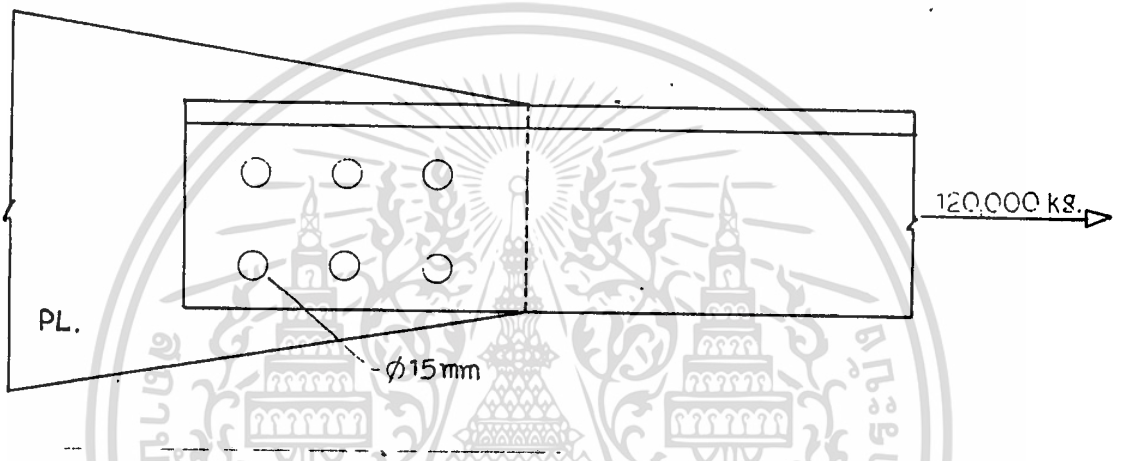
- กด S เพื่อจัดเก็บข้อมูลลง Disk ในชื่อไฟล์ชื่อ Tens_i
- กด Q ไม่มีการจัดเก็บข้อมูล จะกลับสู่ Tension Menu ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

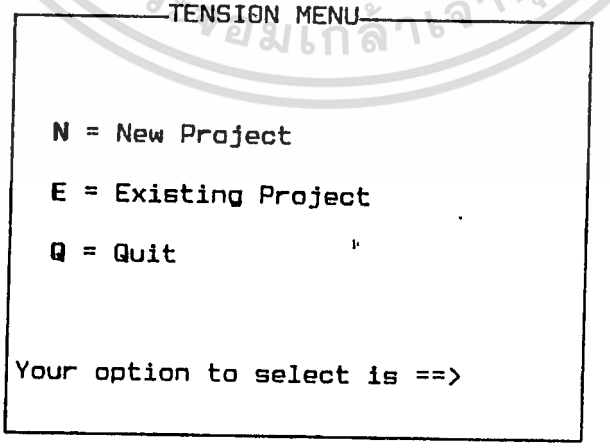
5.2 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบการรับแรงดึง

ขอออกแบบเหล็กฉาก Angle Equal Legs เพื่อรับแรงดึง120,000 Kg. ใช้เหล็ก A36 ความยาว Member 3.0เมตร ตามมาตรฐาน AISC ซึ่งมีการเจาะรูยึด ดังรูป



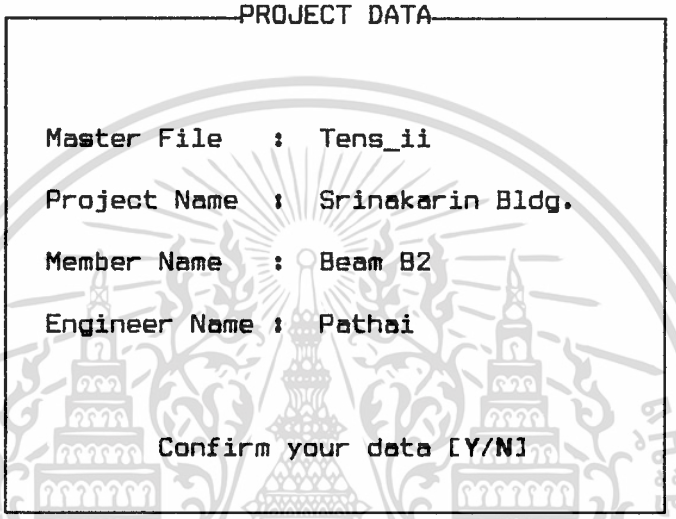
ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Tension แล้วกด ENTER

- กด N เพื่อ Edit New Project

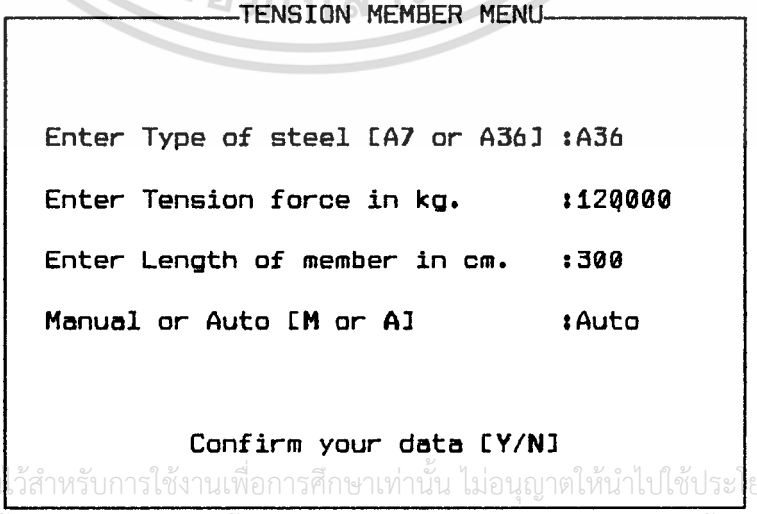


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y
หากไม่ถูกต้องให้กด N แล้วแก้ไขให้ถูกต้อง



ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เลือก mode AUTO สำหรับการออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 - ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับรูเจาะ เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y

```
DATA OF HOLE(S)

Number of holes in Tensile Direction : 2
Diameter of hole in cm.              : 1.5
Zigzag or Straight Line [Z or S]     : Straight

Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 5 - ใช้หัวลูกศร ↑ ↓ เลือกชนิดของเหล็กที่ต้องการ แล้วกด ENTER ในที่นี้เลื่อนไปที่ Angle Equal Legs ซึ่งจะปรากฏข้อความต่างๆ แล้วใส่ Connection Side=2 เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y

ขั้นที่ 6 - ผลที่ออกมาจากการคำนวณของโปรแกรมปรากฏว่า เหล็กฉากที่เหมาะสมสำหรับรับแรงดึงขนาด 15,000 Kg. คือ L 90x90x10 สามารถรับแรงดึงได้สูงสุด 118,900 Kg. ซึ่งรับได้ต่ำกว่า 120,000 Kg. อยู่ 0.92%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project name : Srinakarin Bldg.
Member name : Beam B2

Engineer name : Pathai
Date of design :

Type of steel A36 E= 2.100E+06 ksc. Fy = 2.520E+03 ksc.
Tension force applied 1.200E+05 kg.
Length of member in major axis 300.00 cm.
Type of end support Hinged - Hinged
Dimension of section Equal Legs Angle250.0 x 93.08 , Area = 118.57 cm^

A =	250.00 mm.	r1 =	2.40 cm.	Sx =	386.94 cm^3
B =	250.00 mm.	r2 =	1.20 cm.	Sy =	386.94 cm^3
t1 =	25.00 mm.	Ix =	6928.56 cm^4	rx =	7.64 cm.
t2 =	0.00 mm.	Iy =	6928.56 cm^4	ry =	7.64 cm.

Connection-side 2 side. , KL/r Pass
Area of hole = 9.00, cm.^2 Anet = 78.63 cm.^2
Rmin = 7.64 cm. , Diff-Percent = -0.92 %.
Actual Load will apply 1.189E+05 kg.
Allowable Tension stress 1512.00 ksc.
Result of Calculation : Section Pass .....

ตSAVE ตตQUIT ตตPRINTต

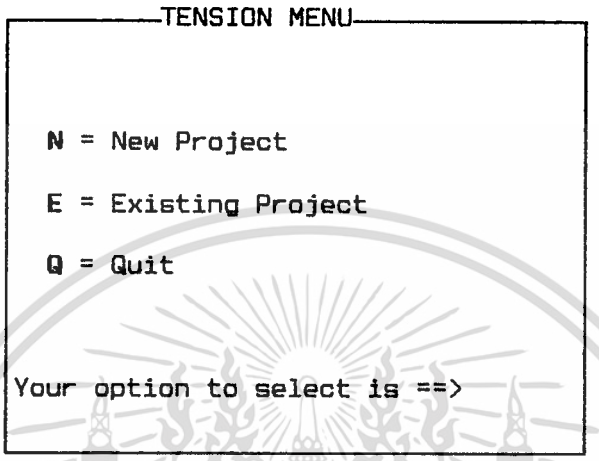
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลที่ออกมาทาง Printer เมื่อกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING :  TENSION
  Project name    : Srinakarin Bldg.
  Member name     : Beam B2
  Engineer name   : Pathai
  Date of design :

  Type of steel A36
  Young modulus       (E) =  2.100E+06 ksc.
  Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Tension force applied  1.200E+05 kg.
Length of member in major axis   300.00 cm.
Type of end support   Hinged - Hinged

  Dimension of section  Equal Legs Angle250.0 x  93.08
      A =  250.0 mm.   Ix =   6928.56 cm^4
      B =  250.0 mm.   Iy =   6928.56 cm^4
     t1 =   25.0 mm.   Sx =    386.94 cm^3
     t2 =    0.0 mm.   Sy =    386.94 cm^3
     r1 =   24.0 mm.   rx =      7.64 cm.
     r2 =   12.0 mm.   ry =      7.64 cm.
   Area = 118.57 cm^2

   Connection side 2 side
   Area of hole =   9.00 cm.^2
   Anet =   78.63 cm.^2
   Rmin =   7.64 cm.
   Different Percent =  -0.92
   Check KL/r Pass

   Actual Load will apply  1.189E+05 kg.
   Allowable Tension stress  1512.00 ksc.
        Result of Calculation :Section Pass .......
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กด S เพื่อจัดเก็บข้อมูลลง Disk ในไฟล์ชื่อ Tens_II
- กด Q ไม่มีการจัดเก็บข้อมูล จะกลับสู่ Tension Menu ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงดึง

จากตัวอย่างที่ 1 จงตรวจสอบว่าเหล็กตามตัวอย่างที่ 5.1 ถ้าเจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 Cm. จะสามารถรับแรงดึงขนาด 14,500 Kg. ได้อย่างปลอดภัยหรือไม่

(ใช้รูปตัวอย่างที่ 5.1)

ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Tension แล้วกด ENTER

- กด E เพื่อเลือกแก้ไขข้อมูลเก่า (Existing Project)

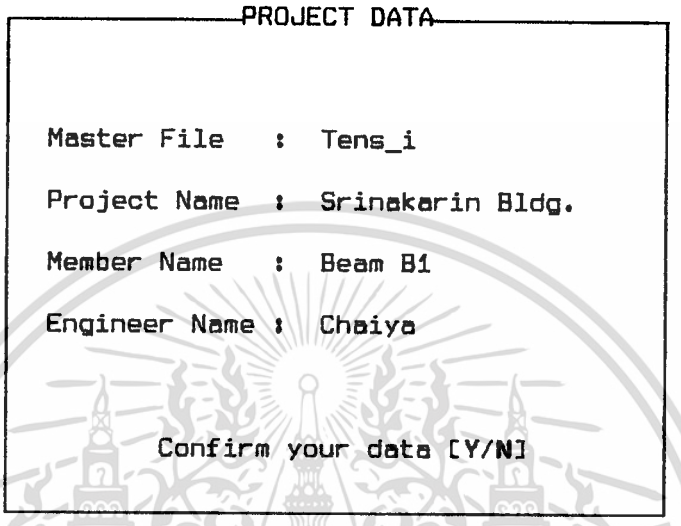
```
TENSION MENU

  N = New Project

  E = Existing Project

  Q = Quit


Your option to select is ==>
```

ขั้นที่ 2 - ใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการแก้ไข

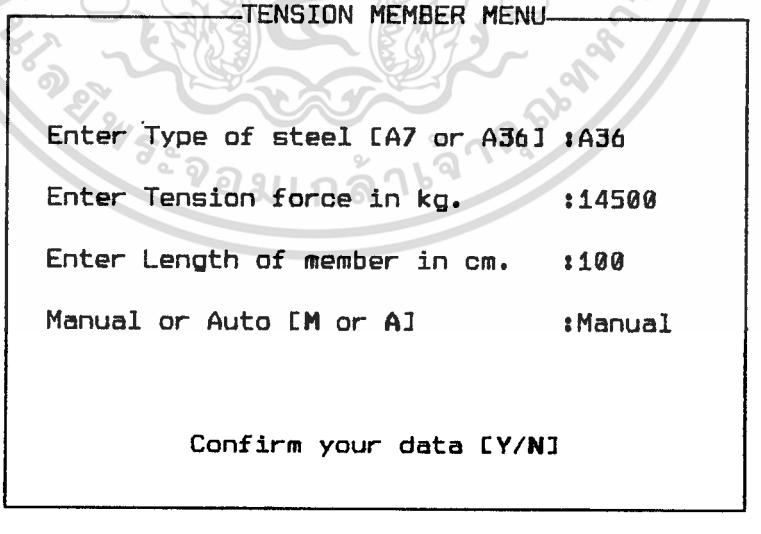
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Enter file name : Tens_i     <Enter>
```

ขั้นที่ 3 - จะแสดงข้อมูลเก่า หากไม่มีการแก้ไขข้อมูลให้กด Y



ขั้นที่ 4 - จะแสดงข้อมูลเก่า หากไม่มีการแก้ไขข้อมูลให้กด Y



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 5 - จะแสดงคุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณที่เลือกใช้ หากไม่แก้ไขให้กด Y

```
TENSION MEMBER MENU
Area      =     12.58 cm.
Weight    =      9.87 kg/m.
Ix        =     63.97 cm^4.
Iy        =     63.97 cm^4.
rx        =      2.26 cm.
ry        =      2.26 cm.
Sx        =     11.99 cm^3.
Sy        =     11.99 cm^3.
        Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 6 - จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับรูเจาะ ซึ่งจะต้องแก้ไข Diameter ให้กด Y

```
DATA OF HOLE(S)

Number of holes  : 2
Diameter of hole : 1.5
Type of hole     : Zigzag
        Pitch :     4.00 cm.
        Gage  :     8.00 cm.

        Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 7 - ป้อนข้อมูลรูเจาะที่ถูกต้องใหม่ แล้วกด Y

```
DATA OF HOLE(S)

Number of holes in Tensile Direction : 2
Diameter of hole in cm.              : 2.2
Zigzag or Straight Line [Z or S]     : Zigzag

Distance of Pitch in cm.             : 4
Distance of Gage in cm.              : 8

        Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 8 - ผลที่ออกมาจากการคำนวณของโปรแกรมปรากฏว่า เหล็กตามตัวอย่างข้อ 1 ที่มีรูเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 Cm. ไม่สามารถรับแรงดึง 14,500 Kg. ซึ่งเหล็กตามตัวอย่างนี้จะรับแรงดึงได้ 12,890 Kg. เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project name : Srinakarin Bldg.
Member name : Beam B1

Engineer name : Chaiya
Date of design :

Type of steel A36 E= 2.100E+06 ksc. Fy = 2.520E+03 ksc.
Tension force applied 1.450E+04 kg.
Length of member in major axis 100.00 cm.
Type of end support Hinged - Hinged
Dimension of section Equal Legs Angle 75.0 x 9.87 , Area = 12.58 cm^2

A =	75.00 mm.	r1 =	0.85 cm.	Sx =	11.99 cm^3
B =	75.00 mm.	r2 =	0.60 cm.	Sy =	11.99 cm^3
t1 =	9.00 mm.	Ix =	63.97 cm^4	rx =	2.26 cm.
t2 =	0.00 mm.	Iy =	63.97 cm^4	ry =	2.26 cm.

Connection-side 3 side. , KL/r Pass
Area of hole = 4.05, cm.^2 Anet = 8.53 cm.^2
Rmin = 2.26 cm. , Diff-Percent = -11.08 %.
Actual Load will apply 1.289E+04 kg.
Allowable Tension stress 1512.00 ksc.
Result of Calculation : Section Fail! .....

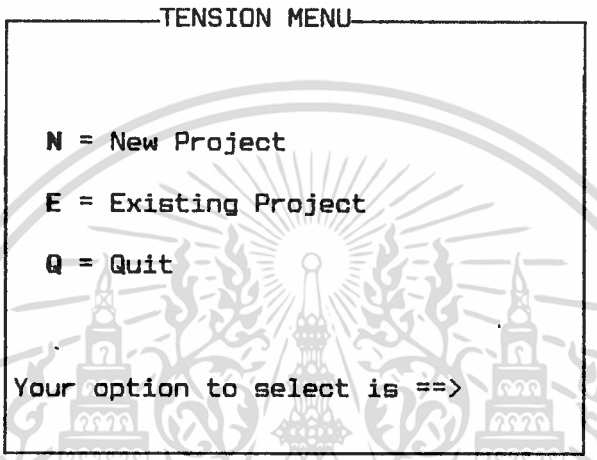
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลที่ออกมาทาง Printer เมื่อกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING :  TENSION
  Project name    : Srinakarin Bldg.
  Member name     : Beam B1
  Engineer name   : Chaiya
  Date of design :

  Type of steel A36
  Young modulus       (E) =  2.100E+06 ksc.
  Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Tension force applied  1.450E+04 kg.
Length of member in major axis   100.00 cm.
Type of end support   Hinged - Hinged

  Dimension of section  Equal Legs Angle 75.0 x   9.87
      A =   75.0 mm.   Ix =     63.97 cm^4
      B =   75.0 mm.   Iy =     63.97 cm^4
     t1 =    9.0 mm.   Sx =     11.99 cm^3
     t2 =    0.0 mm.   Sy =     11.99 cm^3
     r1 =    8.5 mm.   rx =      2.26 cm.
     r2 =    6.0 mm.   ry =      2.26 cm.
   Area =  12.58 cm^2

    Connection side 3 side
    Area of hole =   4.05 cm.^2
    Anet =    8.53 cm.^2
    Rmin =   2.26 cm.
    Different Percent = -11.08
    Check KL/r Pass

    Actual Load will apply  1.289E+04 kg.
    Allowable Tension stress  1512.00 ksc.
         Result of Calculation :Section Fail! .......
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

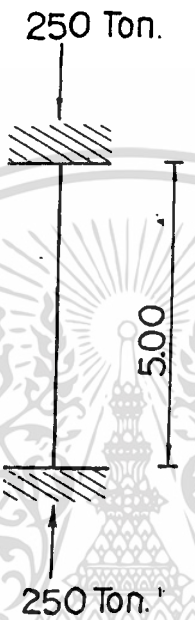
- กด Q ไม่มีการจัดเก็บข้อมูล ชะกลับสู่ Temsion Menu ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างรับแรงอัดในแนวแกน

ขงออกแบบเสาซึ่งยาว 5.0 ม.รับน้ำหนัก 250 ตัน ปลายเสายึดแน่นทั้งสองข้างโดยใช้หน้าตัดรูป WF โดยใช้เหล็ก A36 ตามมาตรฐาน AICS.



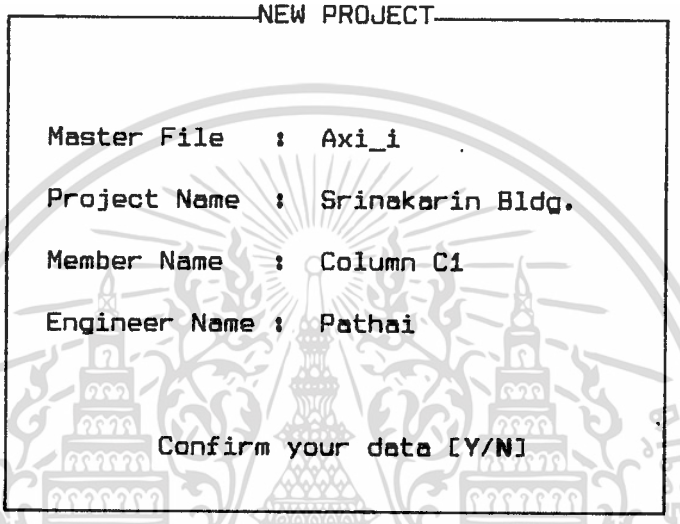
ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Axial แล้วกด ENTER

- กด N เพื่อ Edit New Project

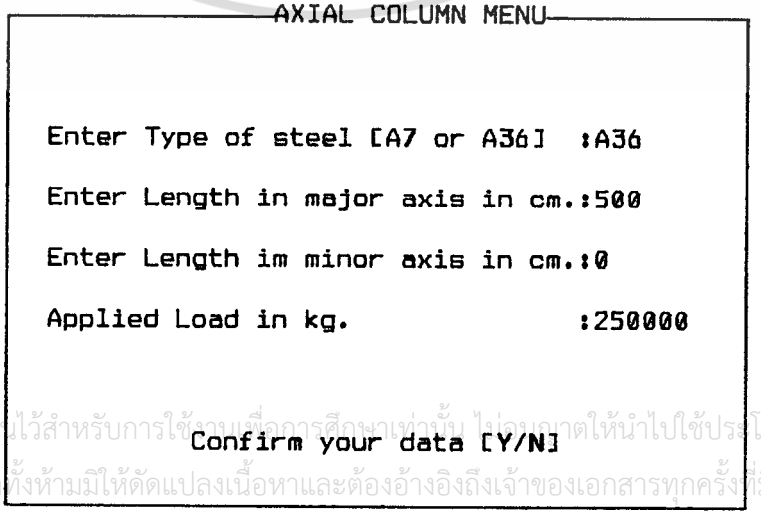
```
AXIAL MENU

N = New Project
E = Existing Project
Q = Quit

Your option to select is ==>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากไม่ถูกต้องให้กด N แล้วแก้ไขให้ถูกต้อง



ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากไม่ถูกต้องให้กด N แล้วแก้ไขให้ถูกต้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 - ใช้หัวลูกศร ↑ ↓ เลือกชนิดของ Support ที่ต้องการ แล้วกด ENTER ในที่นี้เลื่อนไปที่ Fixed-Fixed ซึ่งจะปรากฏข้อความแล้วใส่ Manual or Auto เลือก AUTO สำหรับการออกแบบ เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y

ขั้นที่ 5 - ใช้หัวลูกศร ↑ ↓ เลือกชนิดของเหล็กที่ต้องการ แล้วกด ENTER ในที่นี้เลื่อนไปที่ Wide Flange เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y

ขั้นที่ 6 - ผลที่ออกมาจากการคำนวณของโปรแกรมปรากฏว่าเหล็ก WF ที่เหมาะสมสำหรับรับแรงอัดขนาด 250,000 Kg. คือ WF610x149.68 สามารถรับแรงอัดได้สูงสุด 249,900 Kg. ซึ่งรับได้ต่ำกว่า 250,000 Kg. อยู่ 0.05%

```
Project name : Srinakarin Bldg.          Engineer name  : Pathai
Member name  : Column C1                 Date of design :

Type of steel A36     E=  2.100E+06 ksc.    Fy =  2.520E+03 ksc.
Compression force applied  2.500E+05 kg.
Length of member in major axis   500.00 cm., minor axis      0.00 cm.
Type of end support Fixed - Fixed
  Dimension of section  Wide Flange 610.0 x 149.68  ,Area = 190.68 cm^2
      A =  610.0 mm.   r1 =     17.80 mm.     Sx =   4077.63 cm^3
      B =  305.0 mm.   r2 =      0.00 mm.     Sy =    611.27 cm^3
     t1 =   11.9 mm.   Ix = 124367.80 cm^4    rx =     25.54 cm.
     t2 =   19.7 mm.   Iy =   9321.88 cm^4    ry =      6.99 cm.

   Kx   = 0.65   , Ky   = 0.65   K  =  46.48
   Rmin =   6.99 cm. Cc = 128.25  P1 =  -0.05 ksc.
   Actual Load will apply  2.499E+05 kg.
   Allowable Compressive stress  1310.52 ksc.
        Result of Calculation : Section Pass .....
```

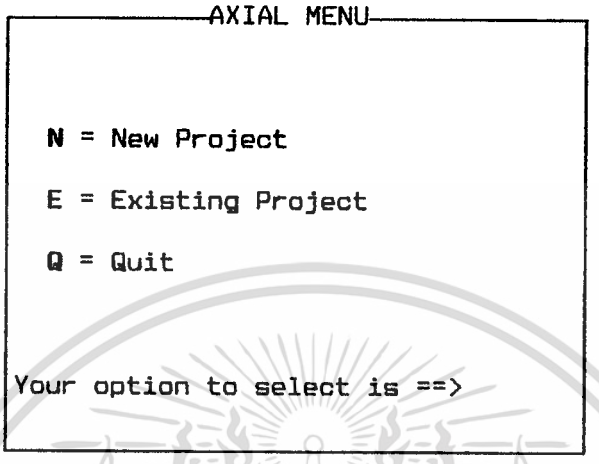
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลที่ออกมาทาง Printer เมื่อกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING : AXIAL COLUMN
  Project name    : Srinakarin Bldg.
  Member name     : Column C1
  Engineer name   : Pathai
  Date of design :

  Type of steel A36
  Young modulus       (E) =  2.100E+06 ksc.
  Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Compression force applied  2.500E+05 kg.
Length of member in major axis   500.00 cm.
                 in minor axis     0.00 cm.
Type of end support Fixed - Fixed
  Dimension of section  Wide Flange 610.0 x 149.68
      A =  610.0 mm.    Ix =  124367.89 cm^4
      B =  305.0 mm.    Iy =    9321.88 cm^4
     t1 =   11.9 mm.    Sx =    4077.63 cm^3
     t2 =   19.7 mm.    Sy =     611.27 cm^3
     r1 =   17.8 mm.    rx =      25.54 cm.
     r2 =    0.0 mm.    ry =       6.99 cm.
   Area = 190.68 cm^2


   Kx   = 0.65  , Ky   = 0.65
    K   =  46.48
   Rmin =   6.99 cm.
   Cc = 128.25
   P1 =  -0.05 ksc.
   Actual Load will apply  2.499E+05 kg.
   Allowable Compressive stress  1310.52 ksc.
        Result of Calculation : Section Pass .....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

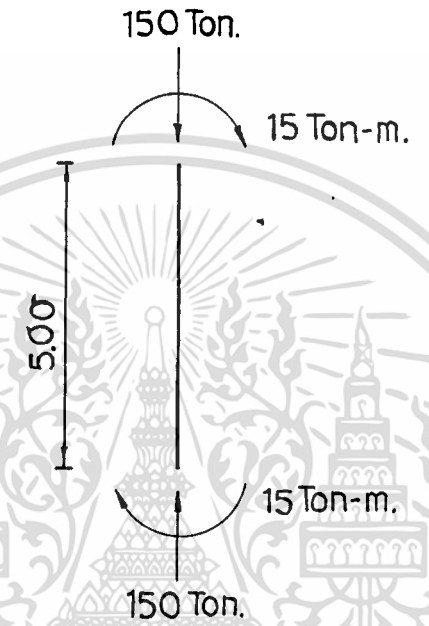
- กด S เพื่อจัดเก็บข้อมูลลง Disk ในไฟล์ชื่อ Tens_II
- กด Q ไม่มีการจัดเก็บข้อมูล จะกลับสู่ Tension Menu ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัดและแรงดัด

จงตรวจสอบว่า เหล็ก WF 400 x 172 สามารถรับน้ำหนักดังรูปได้อย่างปลอดภัย หรือไม่ ตามมาตรฐาน AISC กำหนดให้ใช้เหล็ก A36 Kx = 1.92, Ky = 0.8 ไม่มีค้ำยันด้านข้างและยอมให้มีการเซ



ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Combined แล้วกด ENTER

- กด N สำหรับ Edit New Project

```
COMBINED STRESS MENU

N = New Project

E = Existing Project

Q = Quit

Your option to select is ==>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลตามแบบข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากไม่ถูกต้อง กด N เพื่อแก้ไขข้อมูล

```
NEW PROJECT

Master File    :  Com_I
Project Name   :  Srinakarin Bldg.
Member Name    :  Column C3
Engineer Name  :  Pathai

      Confirm your data [Y/N]
```

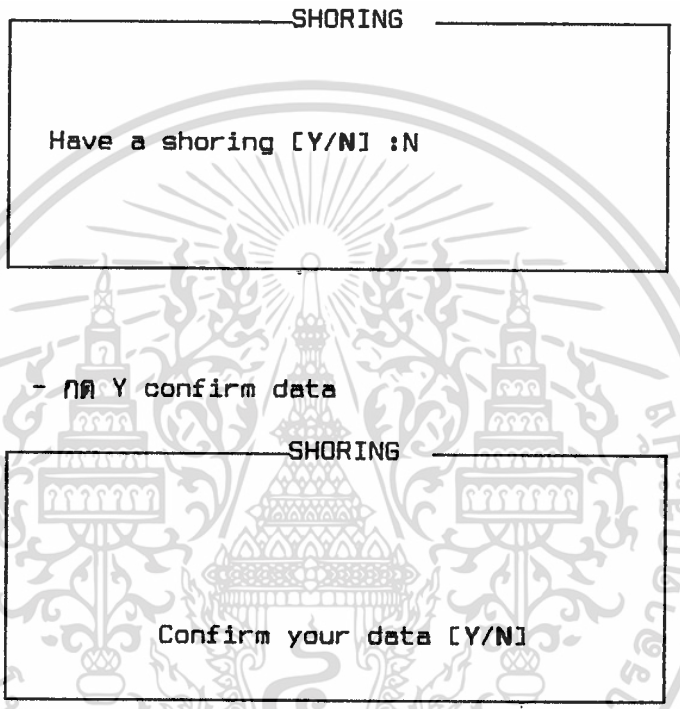
ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง แล้วกด Y

```
INPUT DATA

Type of steel [A7 or A36]  : A36
Length of major axis       : 500
Number of load set         : 1

      Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 4 - ใช้หัวลูกศร ⇑ ⇓ เลือก Type of Support เพื่อกำหนดค่า Kx,Ky โดยเลื่อนไปที่ User Define กด ENTER แล้วป้อนค่า Kx=1.92 , Ky=0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 5 - กด N เมื่อไม่มีค้ำยัน



ขั้นที่ 6 - ใช้หัวลูกศร ↑ ↓ เลือก Picture โดยเลื่อนไปที่ลักษณะที่ต้องการ แล้วใส่ ข้อมูล

Applied Load at X-1st node = 150,000 Kg.

Applied Load at X-2nd node = 150,000 Kg.

Moment at 1st-node of X-axis = 15,000 Kg.

Moment at 2nd-node of X-axis = -15,000 Kg.

Moment at 1st-node of Y-axis = 0

Moment at 2nd-node of Y-axis = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 7 - เลือก Mode MANUAL สำหรับการตราจสอบ แล้วกด Y

```
SHORING

Manual or Auto? [M or A]:Manual

Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 8 - ใช้หัวลูกศรเลื่อนไปยังเหล็กรูปWF แล้วกด ENTER จากนั้นป้อน

Dimension ของ Wide Flange

A = 40 Cm.

B = 40 Cm.

t1 = 1.3 Cm.

t2 = 2.1 Cm.

r1 = 2.2 Cm.

r2 = 0 Cm.

- ผลที่ออกมาทางจอภาพ

```
Project name : Srinakarin Bldg.          Engineer name  : Pathai
Member name  : Column C3                 Date of design :
Type of steel A36    E=  2.100E+06 ksc.   Fy =  2.520E+03 ksc.
Mx-max = -1.500E+04 kg.  My-max =  0.000E+00
Length of member in major axis   500.00
Type of end support    Spacing of shoring 500.00 cm. in --axis
  Dimension of section    , Area = 218.69 cm^2
      A =  400.0 mm.   r1 =     22.00 mm.     Sx =   3314.50 cm^3
      B =  400.0 mm.   r2 =      0.00 mm.     Sy =   1120.63 cm^3
     t1 =   13.0 mm.   Ix =  66290.07 cm^4    rx =     17.41 cm.
     t2 =   21.0 mm.   Iy =  22412.54 cm^4    ry =     10.12 cm.
  Rmin =  10.12 cm., Cc = 128.25,  Fa =  1258.07 ksc. , KL/r =  55.14
  Check Shoring    : Pass    Type of section  : Partially compact
  Allowable bending stress  :   1645.96 ksc.
  Allowable stress : 0.835  Over  Diff Percent = 16.53 %
  Check Shear of X-axis :   0.00 ksc. Pass
  Check Shear of Y-axis :  115.38 ksc. Pass
  Check deflection :  0.000 cm. Pass
       Result of Calculation Over.....
```

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

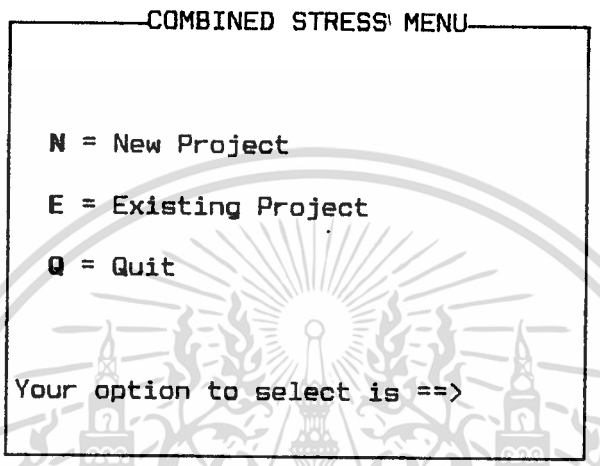
```
ฺวววววมฺวววววมฺวววววม
ตSAVE ตตQUIT ตตPRINTต
ต     ตต     ตต     ต
ยววววฺยววววฺยววววฺ
```

- ผลที่ออกทาง Printer เมื่อกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING : COMBINED STRESS
Project name    : Srinakarin Bldg.
Member name     : Column C3
Engineer name   : Pathai
Date of design :

Type of steel A36
Young modulus        (E) =  2.100E+06 ksc.
Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Mx-max = -1.500E+04 kg.  My-max =  0.000E+00
Length of member in major axis   500.00 cm.
Type of end support    Spacing of shoring 500.00 cm. in --axis
Dimension of section          A =   40.0 mm.   Ix =   66290.07 cm^4
    B =   40.0 mm.   Iy =  22412.54 cm^4
   t1 =    1.3 mm.   Sx =   3314.50 cm^3
   t2 =    2.1 mm.   Sy =   1120.63 cm^3
   r1 =    2.2 mm.   rx =     17.41 cm.
   r2 =    0.0 mm.   ry =     10.12 cm.
 Area = 218.69 cm^2

 Rmin =  10.12 cm.
 Kx =  1.92 , Ky =  0.80  , KL/r =  55.14
 Cc = 128.25
 Fa =  1258.07 ksc.
 Check Shoring                : Pass
 Type of section              : Partially compact
 Allowable bending stress     :   1645.96 ksc.
 Allowable stress             : 0.835  Over
 Check Shear of X-axis        :  0.000E+00 ksc. Pass
 Check Shear of Y-axis        :  1.154E+00 ksc. Pass
 Check deflection             :  0.000 cm. Pass
 Different Percent            :  16.53 %
      Result of Calculation Over.....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กด S เพื่อจัดเก็บข้อมูลลงไฟล์ ชื่อ Com_I



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัดและแรงดัด

จงตรวจสอบว่าเสา WF 350 x 136 สามารถรับ Load ตามรูปได้หรือไม่ กำหนดให้มีค้ำยันทางแกน X Ky=0.925 , Kx=0.85 ใช้เหล็ก A36

ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Combined แล้วกด ENTER

- กด N สำหรับ Edit New Project

```
COMBINED STRESS MENU

N = New Project
E = Existing Project
Q = Quit

Your option to select is ==>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลตามแบบข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากไม่ถูกต้อง กด N เพื่อแก้ไขข้อมูล

```
NEW PROJECT

Master File    :  Com_II
Project Name   :  Srinakarin Bldg.
Member Name    :  Column C5
Engineer Name  :  Chaiya

Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง แล้วกด Y

```
INPUT DATA

Type of steel [A7 or A36]  : A7
Length of major axis       : 350
Number of load set         : 1

Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 4 - ใช้หัวลูกศร ↑ ↓ เลือก Type of Support เพื่อกำหนดค่า Kx,Ky โดย เลื่อนไปที่ User Define กด ENTER แล้วป้อนค่า Kx=0.85, Ky=0.925

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 5 - กด Y เมื่อมีค้ำยัน

```
SHORING

Have a shoring [Y/N] :Y
```

- กด 1 มีค้ำยันทางแกน X
- กด Y confirm data

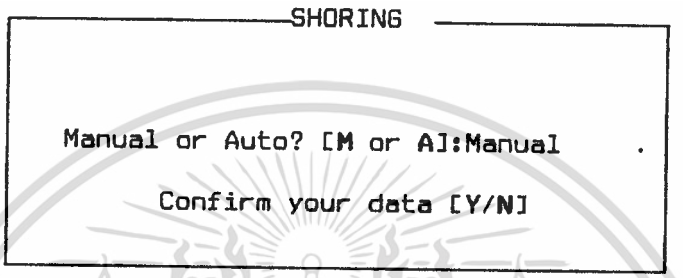
```
SHORING

DATA OF SHORING
Spacing of rateral shoring in cm.          : 100
Axis of shoring 1,2 or 3 for X,Y,XY-axis : X-axis
Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 6 - ใช้หัวลูกศร ↑ ↓ เลือก Picture โดยเลื่อนไปที่ลักษณะของ Member ที่ ต้องการ แล้วใส่ ข้อมูล

```
Applied Load at X-1st node    = 207,000 Kg.
Applied Load at X-2nd node    = 0 Kg.
Moment at 1st-node of X-axis = 2,187.5 Kg.
Moment at 2nd-node of X-axis = -1,093.75 Kg.
Moment at 1st-node of Y-axis = 0
Moment at 2nd-node of Y-axis = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 7 - เลือก Mode MANUAL สำหรับการตราจสอบ แล้วกด Y



ขั้นที่ 8 - ใช้หัวลูกศรเลื่อนไปยังเหล็กรูปWF แล้วกด ENTER จากนั้นป้อน Dimension ของ Wide Flange

A = 35 Cm.

B = 35 Cm.

t1 = 1.2 Cm.

t2 = 1.9 Cm.

r1 = 2.0 Cm.

r2 = 0 Cm.

- ผลที่ออกมาทางจอภาพ

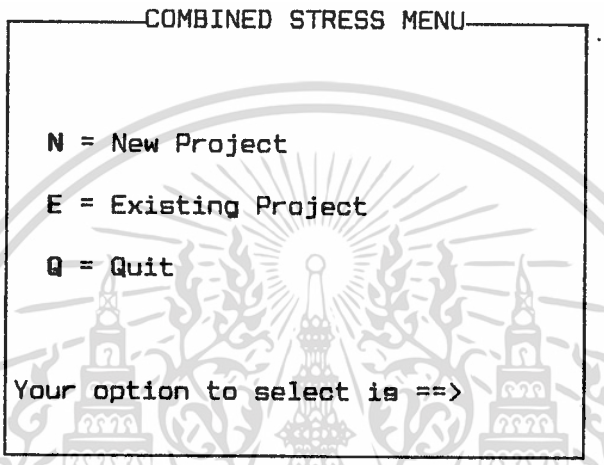
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลที่ออกทาง Printer เมื่อกด P

```
        STEEL DESIGN FOR BUILDING : COMBINED STRESS
Project name    : Srinakarin Bldg.
Member name     : Column C5
Engineer name   : Chaiya
Date of design  :

Type of steel A36
Young modulus      (E) =  2.100E+06 ksc.
Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Mx-max =  2.188E+03 kg.  My-max =  0.000E+00
Length of member in major axis   350.00 cm.
Type of end support User Define
Spacing of shoring 100.00 cm. in 1-axis
Dimension of section  Wide Flange 350.0 x 136.49
    A =   35.0 mm.   Ix =  40107.62 cm^4
    B =   35.0 mm.   Iy =  1[illegible]5.79 cm^4
   t1 =    1.2 mm.   Sx =   2291.86 cm^3
   t2 =    1.9 mm.   Sy =    776.33 cm^3
   r1 =    2.0 mm.   rx =     15.19 cm.
   r2 =    0.0 mm.   ry =      8.84 cm.
 Area = 173.87 cm^2

 Rmin =   8.84 cm.
 Kx =  0.85 , Ky =  0.93  , KL/r =  36.63
 Cc = 128.25
 Fa =  1365.03 ksc.
 Check Shoring                 : Pass
 Type of section               : Partially compact
 Allowable bending stress      :   1652.58 ksc.
 Allowable stress              : 0.896  Over
 Check Shear of X-axis         :  0.000E+00 ksc. Pass
 Check Shear of Y-axis         :  2.232E-01 ksc. Pass
 Check deflection              :  0.000 cm. Pass
 Different Percent             :  10.37 %
      Result of Calculation Over.....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

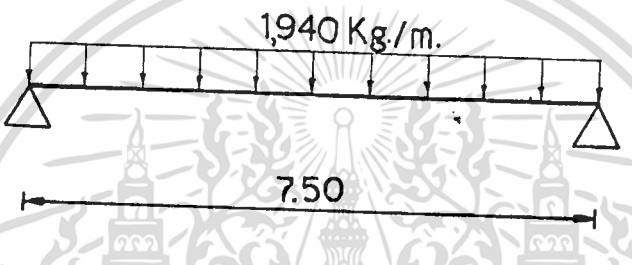
- กด S เพื่อจัดเก็บข้อมูลลงไฟล์ ชื่อ Com_II



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

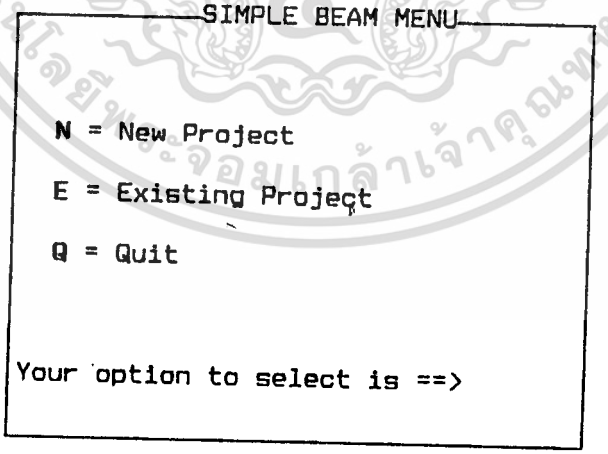
5.7 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบโครงสร้างคานช่วงเดียว

จงตรวจสอบว่าคานเหล็กรูปพรรณ WF 250 x 72.4 สามารถรับน้ำหนักกระจาย 1,940 Kg./M. ได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ตามมาตรฐาน AISC กำหนดให้ใช้เหล็ก A36 ที่มีค้ำยันทางด้านข้างของปีกคาน 3.0 M.



ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Simple Beam แล้วกด ENTER

- กด N สำหรับ Edit New Project



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลตามแบบข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากไม่ถูกต้อง กด N เพื่อแก้ไขข้อมูล

```
NEW PROJECT

Master File    :  Sim_I
Project Name   :  Srinakarin Bldg.
Member Name    :  Beam B10
Engineer Name  :  Chaiya

      Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่างโดยใส่ plate รองปลาย support ยาว 40 Cm.แล้วกด Y

```
SIMPLE BEAM MENU

Type of steel [A7 or A36]                    : A36
Length of Beam in cm.                        : 750
Width of plate under Beam in cm.             : 40
Width of plate at apply force point in cm.   : 0
Number of Load set                           : 1
Have a shoring ? [Y/N]                       : Yes
Spacing of rateral shoring in cm.            : 300

      Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 - เลือกลักษณะของ Simple Beam ที่ใช้ โดยใช้หัวลูกศร ▲ ▼ แล้วกด ENTER เพื่อเลือกรูปของคาน จากนั้นป้อนน้ำหนักที่ลงบนคานทั้งหมดในหน่วย Kg.(14,550 Kg.) แล้วเลือก Mode MANUAL สำหรับการตรวจสอบ

ขั้นที่ 5 - ใช้หัวลูกศรเลื่อนไปยังรูปเหล็กที่ต้องการเลือกใช้ แล้วกด ENTER จากนั้นป้อน Dimension ดังนี้

A = 25 Cm.

B = 25 Cm.

t1 = 0.9 Cm.

t2 = 1.4 Cm.

r1 = 1.6 Cm.

r2 = 0 Cm.

- ผลที่ออกมาทางจอภาพ

```
Project name : Srinakarin Bldg.          Engineer name  : Chaiya
Member name  : Beam B10                  Date of design :
Type of steel A36    E=  2.100E+06 ksc.   Fy =  2.520E+03 ksc.
Beam Case  207# Length of Beam   750.00 cm.   Spacing of shoring 300.00 cm.

  Dimension of section  Wide Flange 250.0 x  72.36 , Area =  92.18 cm^2
      A =  250.0 mm.    r1 =     16.00 cm.     Sx =   864.08 cm^3
      B =  250.0 mm.    r2 =      0.00 cm.     Sy =   291.90 cm^3
     t1 =    9.0 mm.    Ix =  10801.05 cm^4    rx =    10.82 cm.
     t2 =   14.0 mm.    Iy =   3648.77 cm^4    ry =     6.29 cm.
Mmax =  13640.63 kg-m.    Type of section : Partially compact
Occure bending stress      1578.62 ksc.
Allowable bending stress   1658.53 ksc. Diff-Percent =  5.06%
Rmin =   6.29 cm. Cc = 128.25 K =  85.45  Fa =  1043.20 ksc.
Check Digonal of web buckling : Pass
Cripping at support           : Pass , Cripping at point load     : Not
Web buckling at support       : Pass , Web buckling at point load : Not
Check Shear                   : Pass
Check deflection   (L/360)    : Fail!  3.5237 cm.
       Result of Calculation Over.....
```

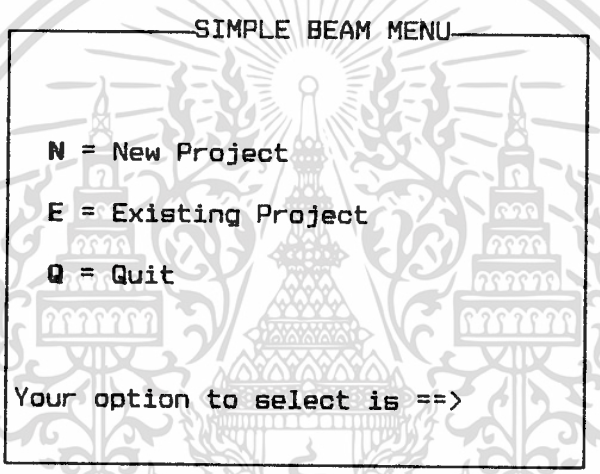
```
                                        ฉ฿฿฿฿฿ฉ฿฿฿฿฿ฉ฿฿฿฿฿ฉ
                                        ฉSAVE ฉฉQUIT ฉฉPRINTฉ
                                        ฉ    ฉฉ    ฉฉ    ฉ
                                        ส฿฿฿฿฿ส฿฿฿฿฿ส฿฿฿฿฿ส
```

- ผลที่ออกทาง Printer เมื่อกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING : SIMPLE BEAM
  Project name    : Srinakarin Bldg.
  Member name     : Beam B10
  Engineer name   : Chaiya
  Date of design  :

  Type of steel A36
  Young modulus      (E) =  2.100E+06 ksc.
  Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Beam Case  207#
Length of Beam   750.00 cm.
  Spacing of shoring 300.00 cm.
  Dimension of section  Wide Flange 250.0 x  72.36
      A =  250.0 mm.   Ix =  10801.05 cm^4.
      B =  250.0 mm.   Iy =   3648.77 cm^4.
     t1 =    9.0 mm.   Sx =    864.08 cm^3
     t2 =   14.0 mm.   Sy =    291.90 cm^3
     r1 =   16.0 mm.   rx =     10.82 cm.
     r2 =    0.0 mm.   ry =      6.29 cm.
   Area =  92.18 cm^2

   Width of plate under beam              :  40.00 cm.
   Width of plate at applied force point :   0.00 cm.
   Section type  : Partially compact
   Moment Max =  13640.63 kg-m.
   Occure bending stress      1578.62 ksc.
   Allowable bending stress   1658.53 ksc.
   Rmin =   6.29 cm.
   Cc = 128.25
   Fa =  1043.20 ksc.
   Check Digonal of web buckling          : Pass
   Check cripping at support              : Pass
   Check cripping at  point load          : Not
   Check web buckling stress at support   : Pass
   Check web buckling stress at point load: Not
   Check Shear                : Pass
   Check deflection (L/360) : Fail!(   3.524 cm.)
        Result of Calculation Over.....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กด S เพื่อจัดเก็บข้อมูลลงไฟล์ ชื่อ Sim_I
  หรือกด Q เพื่อออกจากโปรแกรมกลับไปสู่ Simple Beam Menu
  โดยไม่จัดเก็บข้อมูล

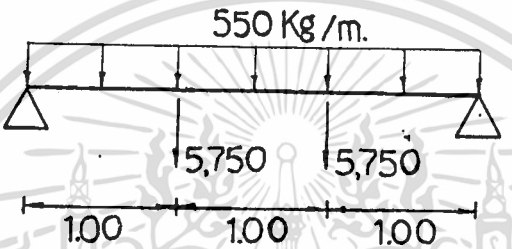


.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

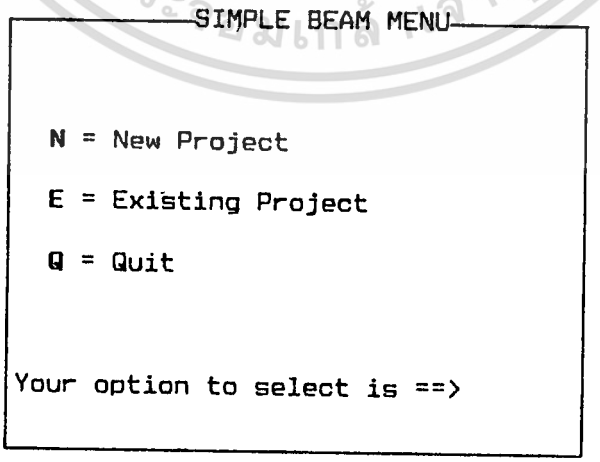
5.8 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างคานต่อเนื่อง

จงออกแบบคานเหล็กรูปพรรณ WF ให้สามารถรับ Load ดังรูปได้อย่างปลอดภัย ตามมาตรฐาน AISC กำหนดให้ใช้เหล็ก A36 ความยาวคาน 3 M. ไม่มีค้ำยันทางด้านข้างที่ปีกรับแรงอัด



ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Simple Beam แล้วกด ENTER

- กด N สำหรับ Edit New Project



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลตามแบบข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากไม่ถูกต้อง กด N เพื่อแก้ไขข้อมูล

```
NEW PROJECT

Master File    :  Sim_II
Project Name   :  Srinakarin Bldg.
Member Name    :  Beam B11
Engineer Name  :  Pathai

Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่างโดยใส่ แยก Load Set เป็น 2 ชุด

```
SIMPLE BEAM MENU

Type of steel [A7 or A36]                    : A36
Length of Beam in cm.                        : 300
Width of plate under Beam in cm.             : 0
Width of plate at apply force point in cm.   : 0
Number of Load set                           : 2
Have a shoring ? [Y/N]                       : No

Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 - เลือกลักษณะของ Simple Beam ตามตัวอย่าง

Load Set 1 แล้วป้อนน้ำหนักที่ลงบนคานทั้งหมด 3x550 Kg.

Load Set 2 แล้วป้อนน้ำหนักที่ลงบนคานทั้งหมด 5,750 Kg.

แล้วเลือก Mode AUTO สำหรับการออกแบบ

ขั้นที่ 5 - ใช้หัวลูกศรเลื่อนไปยังรูปเหล็กที่ต้องการเลือกใช้ ตามตัวอย่าง

คือรูป WF

- ผลที่ออกมาทางจอภาพ

```
Project name : Srinakarin Bldg.          Engineer name  : Pathai
Member name  : Beam B11                  Date of design :
Type of steel A36    E=  2.100E+06 ksc.    Fy =  2.520E+03 ksc.
Beam Case  11# Length of Beam   300.00 cm.   Spacing of shoring 300.00 cm.
  Dimension of section  Wide Flange 256.0 x  37.24 , Area =  47.44 cm^2
      A =  256.0 mm.   r1 =     8.12 cm.     Sx =    430.46 cm^3
      B =  146.0 mm.   r2 =     0.00 cm.     Sy =     77.68 cm^3
     t1 =    6.4 mm.   Ix =  5509.94 cm^4    rx =     10.78 cm.
     t2 =   10.9 mm.   Iy =   567.08 cm^4    ry =      3.46 cm.
 Mmax =   6368.75 kg-m.    Type of section : (2)
 Occure bending stress      1479.51 ksc.
 Allowable bending stress   1512.00 ksc. Diff-Percent =  2.20%
 Rmin =   3.46 cm. Cc = 128.25 K = 126.74  Fa =   672.82 ksc.
 Check Digonal of web buckling : Pass
 Cripping at support           : Pass , Cripping at point load     : Pass
 Web buckling at support       : Pass , Web buckling at point load : Pass
 Check Shear                   : Pass
 Check deflection   (L/360)    : Pass   0.5264 cm.   ฌวววววมฌวววววมฌวววววม
       Result of Calculation Pass.....              ตSAVE ตตQUIT ตตPRINTต
                                                    ต     ตต     ตต     ต
                                                    ยววววววฯยววววววฯยววววววฯ
```

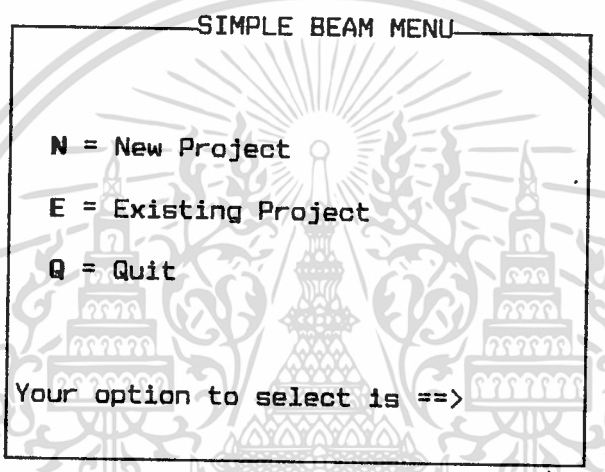
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลที่ออกทาง Printer เมื่อกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING : SIMPLE BEAM
  Project name    : Srinakarin Bldg.
  Member name     : Beam B11
  Engineer name   : Pathai
  Date of design :

  Type of steel A36
  Young modulus      (E) =  2.100E+06 ksc.
  Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Beam Case  11#
Length of Beam   300.00 cm.
  Spacing of shoring 300.00 cm.
  Dimension of section  Wide Flange 256.0 x  37.24
      A =  256.0 mm.   Ix =   5509.94 cm^4.
      B =  146.0 mm.   Iy =    567.08 cm^4.
     t1 =    6.4 mm.   Sx =    430.46 cm^3
     t2 =   10.9 mm.   Sy =     77.68 cm^3
     r1 =    8.1 mm.   rx =     10.78 cm.
     r2 =    0.0 mm.   ry =      3.46 cm.
   Area =  47.44 cm^2

   Width of plate under beam                 :   0.00 cm.
   Width of plate at applied force point :   0.00 cm.
   Section type  : (2)
   Moment Max =   6368.75 kg-m.
   Occure bending stress      1479.51 ksc.
   Allowable bending stress   1512.00 ksc.
   Rmin =   3.46 cm.
   Cc = 128.25
   Fa =   672.82 ksc.
   Check Digonal of web buckling          : Pass
   Check cripping at support              : Pass
   Check cripping at  point load          : Pass
   Check web buckling stress at support   : Pass
   Check web buckling stress at point load: Pass
   Check Shear               : Pass
   Check deflection (L/360) : Pass(   0.526 cm.)
        Result of Calculation Pass.....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กด S เพื่อจัดเก็บข้อมูลลงไฟล์ ชื่อ Sim_II
  หรือกด Q เพื่อออกจากโปรแกรมกลับไปสู่ Simple Beam Menu
  โดยไม่จัดเก็บข้อมูล

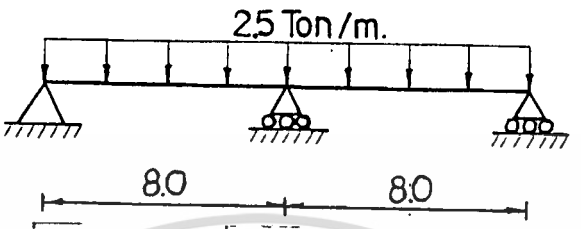


.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างคานต่อเนื่อง

ขงออกแบบคานต่อเนื่องซึ่งรับน้ำหนักดังรูป สมมติว่าไม่มีค้ำยันที่ปีกคานด้านข้างซึ่งรับแรงอัด



ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Continuous Beam แล้วกด ENTER

- กด N สำหรับ New Project

```
CONTINUOUS BEAM MENU

N = New Project

E = Existing Project

Q = Quit

Your option to select is ==>
```

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y หากไม่ถูกต้องให้กด N เพื่อแก้ไขข้อมูล

```
NEW PROJECT

Project Name  :  Srinakarin Bldg.

Member Name   :  Beam B11

Engineer Name :  Pathai

Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง โดยเลือก mode AUTO สำหรับการออกแบบ

```
                    CONTINUOUS BEAM

Type of steel [A7 or A36]              : A36
Width of plate under Beam in cm.       : 40
Have a Shoring [Y/N]                   : NO

Manual or Auto [M or A]                : AUTO

          Confirm your data [Y/N]
```

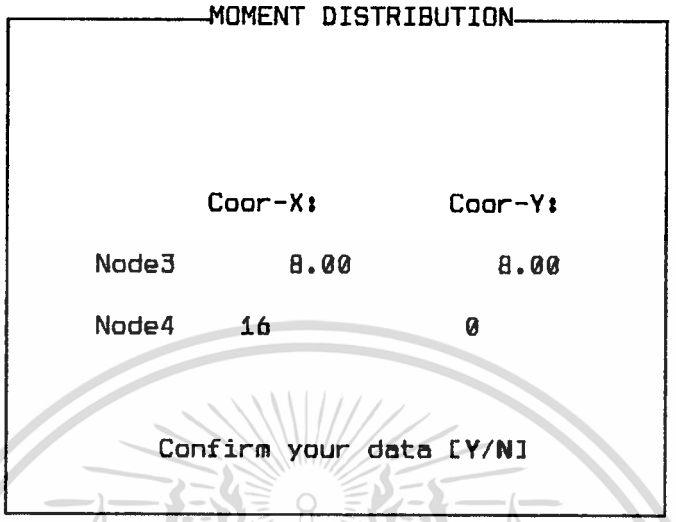
ขั้นที่ 4 - เลือกเหล็กรูปพรรณที่ใช้ โดยใช้หัวลูกศร ↑ ↓ ในที่นี้เลือกรูป WF

ขั้นที่ 5 - ป้อนจำนวน Node ของคานต่อเนื่อง

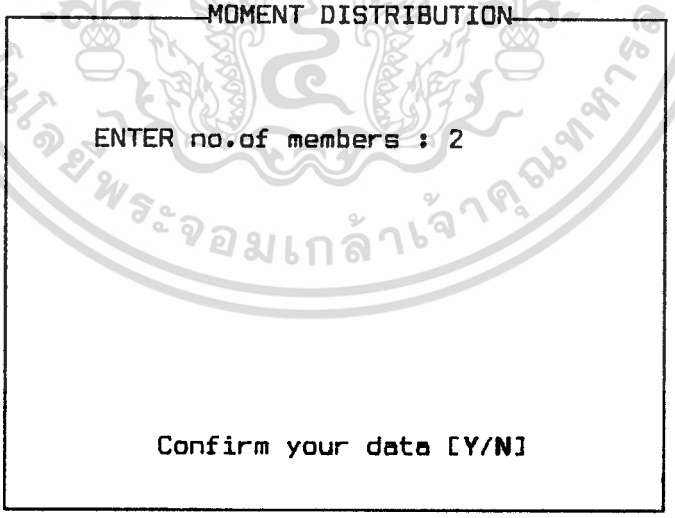
```
                   MOMENT DISTRIBUTION

     ENTER no.of Node : 4

          Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 6 - ป้อน Coordinate ของคานต่อเนื่อง .



ขั้นที่ 7 - ป้อนจำนวน Member ของคานต่อเนื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 8 - ป้อน Connection Member

```
                    MOMENT DISTRIBUTION

                      Ix
                     cm^4      1-Node      2-Node
          Member1      1          1           2
          Member2      1          3           4

                  Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 9 - ป้อน - จำนวนรอบ (Cycles) ที่ต้องการให้โปรแกรมคำนวณ
- จำนวนชุดของ Load
- จะให้แสดงผลการกระจายโมเมนต์ทางจอภาพ ทุกรอบหรือไม่

```
                    MOMENT DISTRIBUTION

          Enter the no.of cycle designed : 9
          Enter the no.of Load set       : 1
          PRINT results each cycle [Y/N] NO



                  Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 10 - ป้อนจุดที่ Support เป็น Pinned

```
MOMENT DISTRIBUTION

Enter no.of joint that are PINNED : 2

Pinned1 Node no : 1

Pinned2 Node no : 2

Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 11 - ป้อน Joint ที่มี Member มากกว่า 1 Member

```
MOMENT DISTRIBUTION

No.of Joint that more one member : 2

No.of Member that meet Joint-1 : 2

NODE No.that meet member1 : 2

NODE No.that meet member2 : 3

Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 12 - ป้อนจำนวน Load Set ของ Point Load ถ้าไม่มี ใส่ 0

```
MOMENT DISTRIBUTION

ENTER no.of Point Load : 0
```

ขั้นที่ 13 - ป้อนจำนวนชุดของ Load Set ของ Uniform Load ซึ่งมี 2 ชุด

```
MOMENT DISTRIBUTION

ENTER no.of Uniform Load : 2

 LOAD     Length    Apply at    1st-NODE    Dist.
(kg/m)     (m)      Member                  1st-node

 2500      8          1           1          0
 2500      8          2           3          0

Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 14 - แสดงผลของข้อมูลที่ป้อน และ Distribution Factor

```
MOMENT DISTRIBUTION

MEMBER                              COMPUTED
  No.    LENGTH      I            DIST.FACTOR
  1      8.00        1.00           1.000
                                    0.500
  2      8.00        1.00           0.500
                                    1.000

Hit ENTER to continue
```

ขั้นที่ 15 - แสดง Fixed-End Moment สำหรับการกระจาย

```
MOMENT DISTRIBUTION

The Fixed-End Moment(x1) are:
          -13333.0000
           13333.3333
          -13333.3333
           13333.3333

Hit ENTER to continue
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 16 - แสดง Moment ที่ Support หลังจากการคำนวณ

```
MOMENT DISTRIBUTION

ANALYSIS COMPLETE


Mposmax is 20000.000

Mnegmax is -20000.000

MnegAvg is -10000.000

XLmax   is 8.00

Pumax   is 13333.33


Press any key to continue
```

- ผลที่คำนวณของโปรแกรมทางจอภาพ

```
Project name : Srinakarin Bldg.                Engineer name  : Pathai
Member name  : Beam B11                        Date of design :
Type of steel A36     E=  2.100E+06 ksc.    Fy =  2.520E+03 ksc.
Length of Beam    800.00 cm.   Spacing of shoring 800.00 cm.
  Dimension of section  Wide Flange 264.0 x  98.35 , Area = 125.28 cm^2
      A =  264.0 mm.    r1 =    12.70 cm.     Sx =   1199.93 cm^3
      B =  257.0 mm.    r2 =     0.00 cm.     Sy =    418.63 cm^3
     t1 =   11.6 mm.    Ix =  15839.05 cm^4   rx =     11.24 cm.
     t2 =   19.0 mm.    Iy =   5379.35 cm^4   ry =      6.55 cm.
   Mmax =  20000.00 kg-m.   Type of section : (2)
   Occure bending stress       1500.09 ksc.
   Allowable bending stress    1512.00 ksc.,Diff percent =   0.79
   Rmin =   6.55 cm. Cc = 128.25 K =  67.43  Fa =  1176.65 ksc.
   Check Digonal of web buckling : Pass
   Cripping at support           : Pass
   Web buckling at support       : Pass
   Check Shear                   : Pass
   Check deflection              : Pass   1.6034 cm.
        Result of Calculation Pass.....
```

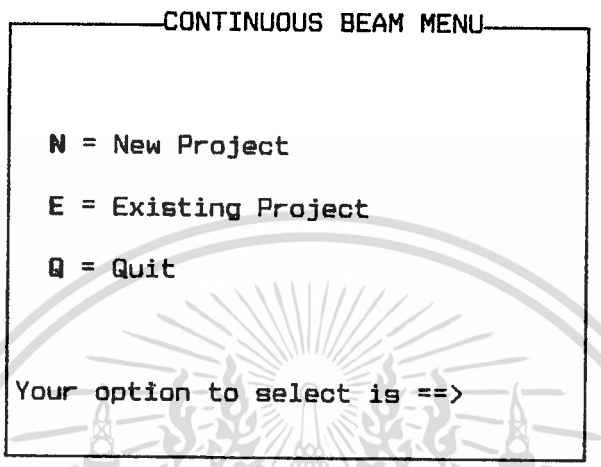
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลที่คำนวณได้ออกมาทาง Printer หลังจากกด P

```
          STEEL DESIGN FOR BUILDING : CONTINUEOUS BEAM
  Project name    : Srinakarin Bldg.
  Member name     : Beam B11
  Engineer name   : Pathai
  Date of design :

  Type of steel A36
  Young modulus       (E) =  2.100E+06 ksc.
  Ultimate Strenght (Fy) =  2.520E+03 ksc.

Length of Beam  800.00 cm.
  Spacing of shoring 800.00 cm.
  Dimension of section  Wide Flange 264.0 x  98.35
      A =   26.4 mm.    Ix =  15839.05 cm^4
      B =   25.7 mm.    Iy =   5379.35 cm^4
     t1 =    1.2 mm.    Sx =   1199.93 cm^3
     t2 =    1.9 mm.    Sy =    418.63 cm^3
     r1 =    1.3 mm.    rx =     11.24 cm.
     r2 =    0.0 mm.    ry =      6.55 cm.
   Area = 125.28 cm^2

   Width of plate under beam                 :  40.00 cm.
   Section type  : (2)
   Moment Max =  20000.00 kg-m.
   Occure bending stress      1500.09 ksc.
   Allowable bending stress   1512.00 ksc. ,Diff percent =   0.79
   Rmin =   6.55 cm.
   Cc = 128.25
   Fa =  1176.65 ksc.
   Check Digonal of web buckling          : Pass
   Check cripping at support              : Pass
   Check web buckling stress at support   : Pass
   Check Shear      : Pass
   Check deflection : Pass(   1.603 cm.)
        Result of Calculation Pass.....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กด Q เพื่อกลับสู่ Continuous Beam Menu



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมตรวจสอบการรับแรงของรอยเชื่อม

จงตรวจสอบรอยเชื่อมดังรูป ว่าสามารถรับแรงตามรูปได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ซึ่งเชื่อมแบบปลายชนกัน (Butt Weld) ใช้ลวดเชื่อม E70 และเป็นเหล็ก A36 ความยาวรอยเชื่อม 5 Cm.

ขั้นที่ 1 - เลื่อนแถบสว่างไปที่ Weld แล้วกด ENTER

กด N สำหรับ Edit New Project

```
WELD MENU

N = New Project

E = Existing Project

Q = Quit

Your option to select is ==>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง เมื่อข้อมูลถูกต้องให้กด Y
หากไม่ถูกต้องให้กด N เพื่อแก้ไขข้อมูล

```
                    NEW PROJECT

  Project Name  :  Srinakarin Bldg.

  Member Name   :  Truss 1

  Engineer Name :  Pathai

          Confirm your data [Y/N]
```

ขั้นที่ 3 - ป้อนข้อมูลดังรูปข้างล่าง แล้วกด Y

```
                    WELD MENU

Butt weld or Fillet weld          : Butt
Electrode E60 or E70              : E70
Type of steel A7 or A36           : A36
Lenght or Perimeter of weld in cm : 10


REMARK: E60 fv = 1260 ksc. E70 fv = 1470
        A7  Fy = 2310 ksc. A36 Fy = 2520
        for A7 or A36 use fv = 0.6Fy


          Confirm your data [Y/N]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 - เลือกรูปแบบของรอยเชื่อมจากภาพ แล้วใส่ค่า

Load ที่กระทำ 5,000 Kg.

A = 1 Cm.

B = 5 Cm.

- ผลที่ได้จากการตรวจสอบ ทางจอภาพ

```
                    OUTPUT OF WELDING

   Applied Load                              :  5000.00 Kg.
   Actual Load that member can applied       :  7560.00 Kg.

   Weld Connection Passed

   PRESS ANY KEY TO BACK TO MAIN MENU
```

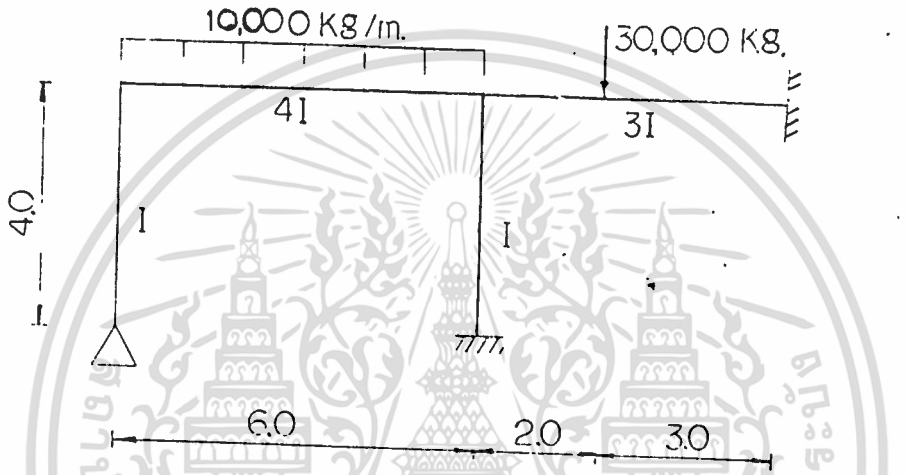
- กด Q เพื่อกลับสู่ Weld Menu

```
                      WELD MENU

     N = New Project
     E = Existing Project
     Q = Quit

  Your option to select is ==>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.11 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมหาค่าการกระจายโมเมนต์

จงหาการกระจายโมเมนต์ของโครงสร้าง ดังรูป



Number of nodes : 8		
Node	Coor-X	Coor-Y
1	0	0
2	0	4
3	0	4
4	6	4
5	6	4
6	11	4
7	6	4
8	6	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Number of members : 4			
Member	I_x	1-node	2-node
1	10	1	2
2	40	3	4
3	30	5	6
4	10	7	8

```
No. of cycle designed        : 9
No. of Load Set              : 1
Print results each cycle [Y/N] No
```

หมายเหตุ

No. of cycle designed : จำนวนรอบของการกระจายโมเมนต์

No. of Load Set : จำนวนชุดของ Load

Print result each cycle : ให้แสดงผลของการกระจายโมเมนต์ทุกรอบหรือไม่

```
No. of joint that are pinned : 1
Pinned 1 Node no. 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน joint ที่เป็น pinned ในที่นี้คือ 1 joint และอยู่ที่ node 1

No. of joint that have one member : 2

No. of member that meet joint-1 : 2
Node of member that meet member 1 : 2
Node of member that meet member 2 : 3

No. of member that meet joint-2 : 3
Node of member that meet member 1 : 4
Node of member that meet member 2 : 5
Node of member that meet member 3 : 7

No. of point load : 1

Load (Kg.)	apply at member	1st-node	Dist.
30,000	3	5	2

No. of uniform load : 1

Load (Kg.)	Length (m.)	apply at member	1st-node	Dist.
10,000	6	2	3	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่แสดง

Member No.	Length	Dist.	Factors
1	4.00	10.00	1.000
			0.220
2	6.00	40.00	0.780
			0.440
3	5.00	30.00	0.396
			0.000
4	4.00	10.00	0.165
			0.000

The Fixed-End Moment(X1) are :

0.0000E+00

0.0000E+00

-0.3000E+05

-0.3000E+05

-0.2160E+05

0.1440E+05

0.0000E+00

0.0000E+00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Moments at the end of 9 cycles are :

0.0000E+00

0.7642E+04

-0.7642E+04

0.3392E+05

-0.3030E+05

0.1007E+05

-0.3623E+04

-0.1804E+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปโครงงาน STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING BY MICROCOMPUTER

สำหรับโครงงานโปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING BY MICROCOMPUTER นี้ผู้จัดทำได้มุ่งเน้นถึงความสะดวกในการใช้งานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก จากการศึกษาโครงงานนี้ได้ผลงานที่ยังมีจุดด้อยบางประการอยู่ เนื่องจากได้โปรแกรมที่มีลักษณะกว้างๆแต่ในบางส่วนยังไม่ได้เจาะลึกลงไปมากนัก ซึ่งผู้จัดทำก็ต้องการที่จะให้มีการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขให้โปรแกรมนั้นเจาะลึกลงไปตามขอบเขตของโปรแกรมที่ตั้งไว้ในทุกๆด้าน เช่นการปรับปรุงให้สามารถคำนวณการรับแรงทั้ง 3 มิติได้(ซึ่งในปัจจุบันเป็นการรับแรง 2 มิติ) การให้โปรแกรมสามารถคำนวณในลักษณะของโครงสร้างที่เป็น Frame ได้ (การคำนวณในตอนนี้คำนวณในลักษณะที่เป็น Member ยกเว้นในส่วนของ Continuous Beam)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 แนวทางการพัฒนาโครงงานในอนาคต

โครงงานโปรแกรม STEEL STRUCTURE DESIGN FOR BUILDING BY MICROCOMPUTER โดยรวมจะเป็นการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเป็นส่วน ๆ จึงควรมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างในลักษณะที่เป็น โครงข้อแข็งและโครงข้อหมุน ให้สามารถออกแบบได้ทั้งระบบ ซึ่งควรคำนึงถึงความสะดวกในการป้อนข้อมูล และง่ายต่อการประมวลผล นอกจากนี้แล้วควรมีการกำหนดค่าใน OPTION ให้มีการเปลี่ยนแปลงได้ค่าได้มากขึ้นเพื่อให้โปรแกรมมีความอ่อนตัวในการใช้งาน

ในส่วนของเทคนิคการเขียนโปรแกรมควรมีการพัฒนาระบบแสดงผลทั้งทางจอภาพและทางเครื่องพิมพ์ ให้ง่ายต่อการประมวลผล และเพื่อให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้นควรรวมไฟล์ใช้งานทั้งหมดให้อยู่ในลักษณะที่เป็น Overlay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร (2530) การออกแบบโครงสร้างเหล็ก ,ใน: การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก , อักษรพิทยา , กรุงเทพฯ

2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2534) พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ

3. ทีกรุ๊ฟ (2526) ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาและวิศวกร , อักษรพิทยา , กรุงเทพฯ

4. HAROLD I.LAURSEN (1988) ,Moment Distribution Method, Structural Analysis,3rd ,McGraw-Hill,Singapore.

5. JAMES M.GERE (1963),Moment Distribution ,D.VAN NOSTRAND ,U.S.A.

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้