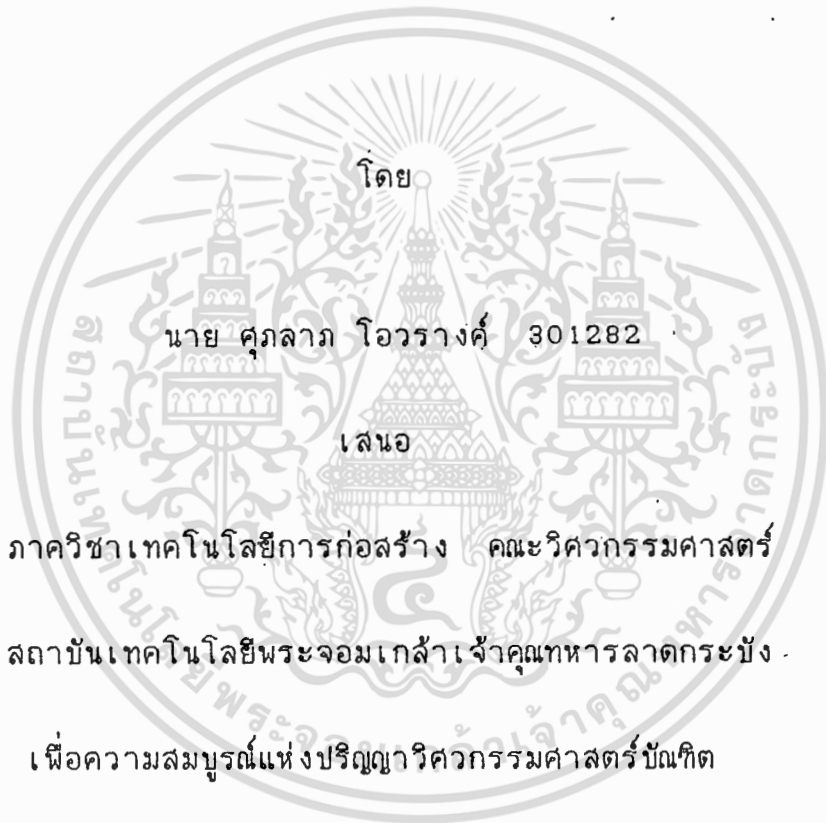




โครงการงาน

เรื่อง

การออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยคอมพิวเตอร์



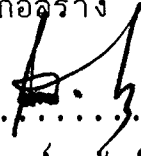
M02884G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ๒๓. ๒๕๖๔

หน้าอนุมัติ

ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง



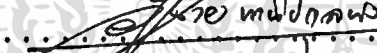
(อาจารย์ สุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

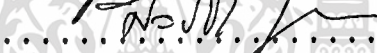
กรรมการวัดผลโครงการ:



(ผศ. คิริวัฒน์ ไชยชนะ)



อาจารย์ อำนวย พาณิชกุลพงศ์)



(อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ)



(อาจารย์ สORNORN ศรีนิล)



(อาจารย์ เกษม อม่นตกุล)



(อาจารย์ ดร.ศรีกฤษ หิรัญมาศ)



(อาจารย์ วิบูลย์ วุฒินาถ)



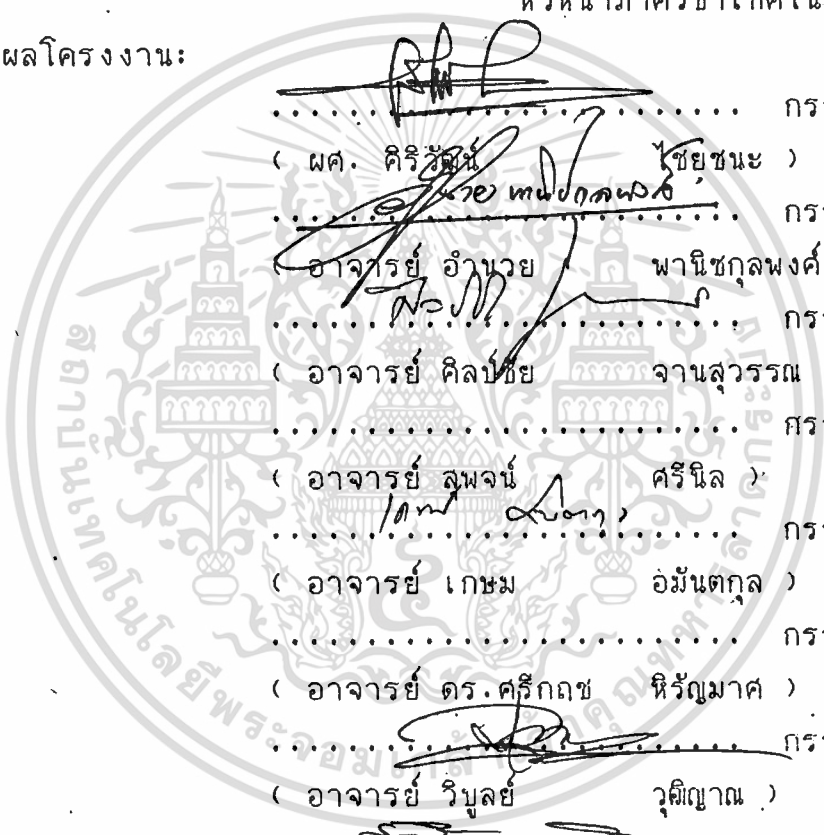
(อาจารย์ คักติชัย สถาบันพงศ์)



(อาจารย์ สุวัฒน์ กิระเศรษฐ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สกุล ห่อวโนทยาน)



ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยใช้คอมพิวเตอร์
 (ภาษาอังกฤษ) STEEL DESIGN BY COMPUTER

ชื่อ ศุภลภ โอวรารงค์
 ภาควิชา เทคโนโลยีการก่อสร้าง
 คณะ วิศวกรรมศาสตร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สกุล ห่อวโนทยาน

บทคัดย่อ

วงการก่อสร้างได้นำอุปกรณ์ เครื่องมือที่มีเทคโนโลยีสูงเข้ามาใช้ในการทำงานมากขึ้น เพื่อให้เกิดการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ รวดเร็ว คอมพิวเตอร์ก็เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่น่านำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการออกแบบ, การบริหารการก่อสร้างและการควบคุมทางการเงิน โดยได้มีการสร้างโปรแกรมขึ้นมาใช้เช่น M-FEAP เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง RC เพื่อใช้ในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก และเนื่องจากปัจจุบันโครงสร้างเหล็กเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น ผู้จัดทำจึงคิดว่าควรจะมีโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยเลือกใช้ภาษาปาสคาลมาเขียนโปรแกรม ส่วนในด้านทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กได้ใช้มาตรฐานของ AISC เป็นหลัก สำหรับในส่วนของโปรแกรมสามารถตรวจสอบการรับแรงดึงหรือแรงอัดตามแนวแกน การรับแรงดัด การรับแรงเฉือน และการรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน พร้อมทั้งเลือกหาขนาดของเหล็กรูปพรรณที่สามารถรับแรงกระทำที่กำหนดไว้

กิติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการนี้ ข้าพเจ้าได้รับความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล รวมทั้งคำชี้แนะต่างๆ จาก อาจารย์ วิบูลย์ วุฒินาน อาจารย์ สกุน ห่อวโนทยาน เพื่อนๆ และจากบุคคลต่างๆ และได้รับความอนุเคราะห์สละเวลาตรวจโครงการนี้ จากอาจารย์กรรมการทุกท่าน ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณในความกรุณา มา ณ โอกาสนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้โอกาสได้ศึกษา



คำนำ

โลกของธุรกิจการก่อสร้างปัจจุบัน ได้พัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยมีการนำเอาเทคโนโลยีและวิทยาการสมัยใหม่ เข้าไปประยุกต์ใช้กับการก่อสร้างอย่างมาก มาย เพื่อให้ได้มาซึ่งงานที่มีคุณภาพ ประหยัดและใช้เวลารวดเร็วในการทำงาน

ประเทศไทยโครงการก่อสร้างในเวลานี้มีอย่างมากมาย แต่ละโครงการก็มีทั้งโครงการขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ ดังนั้นบริษัทที่มีการออกแบบและรับเหมาก่อสร้าง จึงต้องหาวิธีในการออกแบบและการก่อสร้างที่ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา เพื่อมารองรับกับงานที่เพิ่มสูงขึ้นและมีความยุ่งยากในการทำงานมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการนำเอาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ การนำเอาระบบการบริหารงานที่มีประสิทธิภาพ การใช้อุปกรณ์ในการก่อสร้างชนิดใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้

จะเห็นได้ว่าคอมพิวเตอร์ก็เป็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์กับการก่อสร้างได้อย่างมากมาย เช่น นำมาใช้ในการออกแบบ ทั้งทางด้านสถาปัตยกรรมและด้านวิศวกรรม นำมาใช้ในการวางแผนงาน ควบคุมการทำงาน ควบคุมระบบการเงินและอื่นๆ ดังนั้นจึงจัดได้ว่าคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่จะมีส่วนทำให้การพัฒนาในวงการนี้ก้าวไปได้ไกลไกล

ในงานที่ผู้จัดทำได้ทำขึ้นครั้งนี้ เป็นการทำโปรแกรมเพื่อที่จะออกแบบโครงสร้างเหล็ก; รับแรงดึง, รับแรงอัด, รับแรงดัดและรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน โดยหวังว่างานนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากนักน้อยแก่ผู้ที่นำไปใช้ อย่างน้อยก็เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ศุภลาภ โอวราวงศ์
ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
หน้าอนุมัติ	ก
กิติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
คำนำ	ง
สารบัญ	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 ความรู้เบื้องต้น	2
1.2.1 โครงสร้างเหล็กและการออกแบบ	2
1.2.2 หน้าที่บรรทุก	3
1.2.3 คุณสมบัติของเหล็กโครงสร้าง	5
1.2.4 ขั้นตอนการออกแบบ	8
1.2.5 ข้อกำหนดออกแบบ	9
1.2.6 คุณสมบัติของเนื้อเหล็ก	10
1.2.7 ความเค้นมความเครียดและส่วนความปลอดภัย	11
1.3 ขอบเขต	11
1.3.1 โครงสร้างรับแรงดึง	11
1.3.2 โครงสร้างรับแรงอัด	12
1.3.3 โครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน	12
1.3.4 โครงสร้างรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วม	12
1.4 การดำเนินงาน	12
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 โครงสร้างรับแรงดึง	14
2.1.1 ลักษณะของโครงสร้างรับแรงดึง	14
2.1.2 การออกแบบ	14
2.1.3 หน้าตัดสุทธิ	15
2.1.4 มาตรฐาน	16
2.1.5 อัตราส่วนความขลุ่ด	17

2.2*	โครงสร้างรับแรงอัด	17
2.2.1	ลักษณะของโครงสร้างรับแรงอัด	17
2.2.2	ผลของลักษณะการยึดปลาย	20
2.2.3	รูปตัดของโครงสร้างรับแรงอัด	22
2.2.4	สูตรคำนวณของโครงสร้างรับแรงอัด	24
2.3	โครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน	27
2.3.1	ลักษณะของโครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน	27
2.3.2	สูตรคำนวณของโครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน	28
2.3.3	มาตรฐานกำหนด	31
2.4	โครงสร้างรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วม	36
2.4.1	ลักษณะของโครงสร้างรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วม	36
2.4.2	การคำนวณหาหน่วยแรง	37
2.4.3	มาตรฐานกำหนด	37
บทที่ 3	ขั้นตอนการใช้โปรแกรม	
3.1	แผนภูมิ(FLOWCHART)	42
3.2	คำอธิบายขั้นตอนการใช้โปรแกรม	54
3.2.1	ออกแบบรับแรงดึง	54
3.2.2	ออกแบบรับแรงอัด	57
3.2.3	ออกแบบรับแรงดัดและแรงเฉือน	59
3.2.4	ออกแบบรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วม	61
3.3	การเพิ่มข้อมูลเกี่ยวกับหน้าตัดเหล็ก	64
บทที่ 4	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
4.1	บทสรุป	65
4.2	ข้อเสนอแนะ	65
	หนังสืออ้างอิง	67
	ภาคผนวก	
	-สัญลักษณ์ในโปรแกรม	
	-โปรแกรม	

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความจำเป็นที่ได้ริเริ่มทำโปรแกรม ความรู้เบื้องต้น พร้อมทั้งขอบข่ายของตัวโปรแกรม การดำเนินงาน

1.1 ความจำเป็น

ปัจจุบันธุรกิจการก่อสร้างได้รับการสนใจจากนักลงทุนมากขึ้น ทำให้ธุรกิจการก่อสร้างมีความเจริญมากขึ้น ในการลงทุนนั้นนักลงทุนจะต้องคำนึงถึงงบประมาณที่ใช้ว่าจะต้องให้ได้กำไรมากที่สุด นั่นคือ เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ในการก่อสร้างนั้นโครงสร้างของอาคารนั้นอาจจะ เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหรือโครงสร้างเหล็ก ซึ่งขึ้นอยู่กับ การพิจารณาของสถาปนิก วิศวกร และเจ้าของ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นจะมี ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าโครงสร้างเหล็ก แต่จะทำงานได้ช้ากว่า และปัจจุบันช่างเชื่อมเหล็กมี ความชำนาญมากขึ้น ดังนั้นในการประกอบติดตั้งโครงสร้างเหล็กจึงมีความสะดวกเพิ่ม มากขึ้น เมื่อนักลงทุนพิจารณาถึงระยะเวลาที่สั้นกว่า เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ต่างกันแล้ว บางโครงการจะเห็นว่าใช้โครงสร้างเหล็กจะคุ้มกว่า ทำให้ปัจจุบันได้หันมาใช้โครงสร้าง เหล็กเพิ่มมากขึ้น

ผู้จัดทำจึงได้สังเกตเห็นว่า ควรจะมีโปรแกรมขึ้นมาเพื่อให้เกิดความสะดวกขึ้น ในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ดังที่ได้มีผู้จัดทำโปรแกรมต่างๆขึ้นมาใช้แล้ว เช่น

โปรแกรม	M-FEAP	ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง
	RC	ใช้ในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก
	SHEETPILE	ใช้ในการออกแบบเข็มตอก

ผู้จัดทำจึงได้ทำโปรแกรมออกแบบเหล็กขึ้น โดยหวังว่าจะมีประโยชน์ต่อการ ออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยคิดว่าเริ่มแรกอาจจะ เป็นปัญหาใช้ไม่ได้สะดวกเต็มที่ จึง ควรจะมีการพัฒนาต่อไป

1.2 ความรู้เบื้องต้น

1.2.1 โครงสร้างเหล็กและการออกแบบ

โครงสร้างเหล็กเป็นโครงสร้างที่ได้จากการนำพ่อนเหล็กรูปพรรณมาประกอบยึดรวมกันเพื่อให้รับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 แต่เดิมมักใช้โครงสร้างเหล็กสำหรับอาคารช่วงยาวเล็ก เป็นส่วนใหญ่ โดยทำเป็นโครงถักหรือที่เรียกว่า Truss เช่น โครงหลังคาสำหรับอาคารห้องประชุม โรงภาพยนตร์ หรือโครงสะพานสำหรับรถยนต์หรือรถไฟ มีอยู่บ้างที่ทำเป็นอาคารเหล็กแฉกเป็นในลักษณะของอาคารชั้นเดียว เช่น อาคารโรงงาน อุตสาหกรรม รอยต่อต่าง ๆ ของส่วนโครงสร้างมักใช้หมุดย้ำหรือขันด้วยสลักเกลียวทั้งชนิดธรรมดาและที่มีกำลังสูงฐานรองรับที่ปลายของโครงอาจเป็นผนังกำแพงเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหรือเสาเหล็กรูปพรรณ โดยอาศัยแผ่นเหล็กรองเพื่อช่วยกระจายน้ำหนัก และใช้เหล็กยึดซึ่งฝังในกำแพงเพื่อกันการเคลื่อนหรือเลื่อนตัวของโครง ปัจจุบันเหล็กรูปพรรณได้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนของอาคารมากขึ้น แต่ส่วนใหญ่ยังเป็นอาคารแบบผสมระหว่างคอนกรีตเสริมเหล็กกับเหล็กรูปพรรณ กล่าวคือ ฐานรากของอาคารก็ใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนคานและเสาในอาคารก็ใช้เหล็กรูปพรรณโดยทำรอยต่อด้วย การเชื่อมหรือขันสลักเกลียว ส่วนผนังก็อาจใช้แผ่นเหล็กแต่มีปัญหาเรื่องเสียงดัง ตั้งขึ้นจึงมักเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเพกซ์หรือแปลนสำเร็จรูปซึ่งมีการวางบนคานที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว (ระยะเวลาการก่อสร้างในลักษณะนี้ใช้น้อยกว่า) เพราะไม่ต้องเสียเวลาทำแบบและหล่อคานเสา แม้ว่าราคาตัววัสดุก่อสร้างจะแพงกว่าบ้างแต่เมื่อเทียบกับเวลาที่สามารถใช้สอยอาคารได้เร็วขึ้นก็นับว่าคุ้มกับการลงทุนซื้อเสียงประการหนึ่งของโครงสร้างเหล็กคือการเป็นสนิมและไม่ทนไฟ แต่ก็สามารถใช้การทาสีเพื่อป้องกันสำหรับโครงหลังคา และหล่อด้วยคอนกรีตหุ้ม หรือฉาบด้วยปูนทรายบนผิวที่เสริมด้วยลวดตาข่าย เพื่อกันสนิมและกันไฟสำหรับส่วนของโครงสร้างหลัก

การออกแบบโครงสร้างเหล็ก หมายถึงการคำนวณเพื่อเลือกชนิดและขนาดที่ เหมาะสมของเหล็กรูปพรรณที่มีผลิตขายอยู่แล้ว หรือรูปตัดที่ประกอบขึ้นเอง เพื่อให้ต้านทานต่อโมเมนต์ตัดแรงในแนวแกน หรือโมเมนต์ดัดและแรงในแนวแกนร่วมกัน ที่คำนวณได้ค่า มาจากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโครงสร้าง รวมทั้งออกแบบรอยต่อของส่วนโครงสร้าง เพื่อให้ ทุกๆ ส่วนของโครงสร้างร่วมรับน้ำหนักได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิฐ	1900	กก.	ต่อ ลูกบาศก์เมตร
วัสดุถมหลังคา	5-18	กก.	ต่อ ตารางเมตร
แป้ไม้	5	กก.	ต่อ ตารางเมตร
โครงหลังคาไม้	10-20	กก.	ต่อ ตารางเมตร
ฝ้าเพดาน	14-26	กก.	ต่อ ตารางเมตร
กำแพงอิฐมอญ	180-350	กก.	ต่อ ตารางเมตร
กำแพงอิฐบล็อก	100-200	กก.	ต่อ ตารางเมตร
กำแพงคอนกรีตบล็อก	100-200	กก.	ต่อ ตารางเมตร
ฝาไม้ ไม้อัด รวมเคียว	100-240	กก.	ต่อ ตารางเมตร
พื้นไม้ รวมตง	12-30	กก.	ต่อ ตารางเมตร

2) น้ำหนักบรรทุกจร

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522 กำหนดน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับพื้นที่ทั่วไปของอาคารประเภทต่าง ๆ ซึ่งต้องไม่น้อยกว่าอัตราต่อไปนี้ คือ

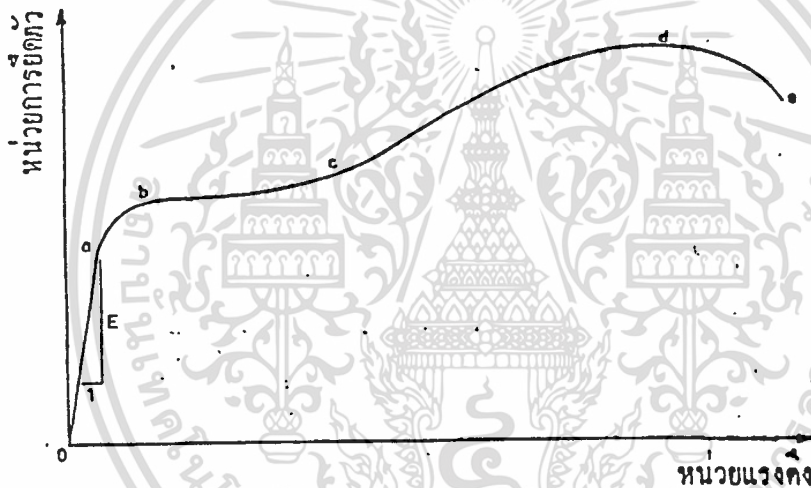
ที่พักอาศัย ห้องน้ำ ห้องส้วม	150	กก.	ต่อตารางเมตร
อาคารชุด ห้องนีก โรงแรม	200	กก.	ต่อตารางเมตร
สำนักงาน ธนาคาร	250	กก.	ต่อตารางเมตร
อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน	250	กก.	ต่อตารางเมตร
ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร			
ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์หนึ่ง	400	กก.	ต่อตารางเมตร
คลังสินค้า นิคมอุตสาหกรรม อีสจันท์ โรงงานอุตสาหกรรม			
โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500	กก.	ต่อตารางเมตร
แรงลมสำหรับส่วนของอาคาร			

- ที่สูงไม่เกิน 10 เมตร 50 กก. ต่อตารางเมตร
- ที่สูงไม่เกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร 80 กก. ต่อตารางเมตร
- ที่สูงไม่เกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร 120 กก. ต่อตารางเมตร
- ที่สูงไม่เกิน 40 เมตร 150 กก. ต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 คุณสมบัติของเหล็กโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของเหล็กเสียก่อน คุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญ คือมีความต้านทานต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี ตลอดจนมีความเหนียวที่จะยืดหรือหดตัวได้มากก่อนเกิดการฉีกขาดเสียหาย ในทางปฏิบัติถือว่าเหล็กมีความต้านทานแรงดึงวิธีทดสอบหาคุณสมบัติที่ต้านทานต่อแรงดึง ทำได้โดยนำแท่งเหล็กที่มีขนาดและรูปร่างตามมาตรฐานกำหนดมาดึงโดยใช้เครื่องทดสอบวัสดุ



รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวของ

เหล็กขนาดมาตรฐานเมื่อรับแรงดึง จากจุด 0 ถึง e หน่วยแรงดึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดตัวตามกฎของฮุก ในช่วงนี้วัสดุมีคุณสมบัติยืดหยุ่น พ้นจากจุด e การยืดของเหล็กจะไม่เป็นไปตามกฎของฮุกและวัสดุจะเริ่มคลาย หน่วยแรงดึงที่จุด e เรียกว่า "proportional limit" ค่าความชันในช่วง $0e$ นี้เรียกว่า "โมดูลัสของความยืดหยุ่น" Young's Modulus ค่าของ E สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้ากำลังสูงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 2100 ตันต่อตารางเซนติเมตร การยืดของเหล็กในช่วงยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้จะน้อยมาก และสามารถหดกลับลงมาตามแนวเดิมได้เมื่อเลิกดึง ที่จุด b เหล็กจะเริ่มคลายการยึดตัวจะเพิ่มมากขึ้นในขณะหนึ่งแรงดึงมีค่าเท่าเดิม จุดนี้เรียกว่า "จุดคลาย" ของเหล็ก ปกติแล้วหน่วยการยึดตัวในช่วยพลาสติก b_e จะมากกว่าหน่วยการยึดตัวในช่วงยืดหยุ่นประมาณสิบเท่า ที่จุด c วัสดุจะเริ่มมีพฤติกรรมใหม่เรียก "strain hardening" เมื่อเพิ่มแรงต่อไปอีกจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยึดตัวตามรูปที่ 1.2 จนกระทั่งถึงจุด d ซึ่งหน่วยแรงดึงมากที่สุด หน่วยแรงดึงที่จุดนี้เรียกว่า "หน่วยแรงดึงประลัย" ของเหล็กและเมื่อพ้นจากจุด d ไปแล้ว หน่วยแรงดึงจะลดลงและเหล็กที่ถูกดึงจะมีรอยคอดเกิดขึ้น จนกระทั่งถึงจุด e เหล็กจะถูกดึงจนขาดออกจากกัน เรียกหน่วยแรงที่จุดนี้ว่า "หน่วยแรงดึงที่จุดขาด" ของเหล็ก

การออกแบบโครงสร้างเหล็กสำหรับส่วนต่างๆ ของอาคารในที่นี้กล่าวเฉพาะการออกแบบโดยวิธีอีลาสติก ซึ่งใช้คุณสมบัติของเหล็กตั้งกล่าวข้างต้น และเกณฑ์การออกแบบตามมาตรฐานกำหนด กล่าวคือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในรูปตัดของส่วนโครงสร้างที่เลือกใช้เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งาน (working load) ได้ปลอดภัย จะต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ซึ่งกำหนดอยู่ในมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กของ ว.ส.ท. นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานกำหนดของอเมริกันซึ่งได้แก่มาตรฐาน AISC (American Institute of Steel Construction) มาตรฐาน AASHO (American Association of State Highway Officials) และมาตรฐาน AREA (American Railway Engineering Association) สำหรับการคำนวณและออกแบบสำหรับโครงสร้างเหล็กในเล่มนี้จะใช้มาตรฐาน AISC เป็นหลัก ทั้งนี้ เพราะมาตรฐาน AISC ได้ใช้กันแพร่หลายในการคำนวณโครงสร้างของอาคารเหล็กประเภททั่ว ๆ ไป

มาตรฐาน AISC กำหนดหน่วยแรงชนิดต่างๆ ที่ยอมให้เป็นกำลังของจุดคลายของเหล็กเป็นต้นว่า หน่วยแรงดึงที่ยอมให้เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังจุดคลายของเหล็ก หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ของกำลังจุดคลายของเหล็ก ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากำลังของจุดคลายของเหล็กนี้เป็นคุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญที่สุดของการออกแบบ นอกจากนี้ยังเห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ขึ้นอยู่กับประเภทของแรงที่กระทำ เช่น โครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับกำลังจุดคลาย (F_u) หารด้วยหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ($0.6F_u$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.67

ชนิดของเหล็กที่ใช้เป็นโครงสร้างเหล็กแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) เป็นเหล็กที่ใช้สำหรับโครงสร้างทั่วไป มีกำลังจุดคดลากประมาณ 2300 กก.ต่อตารางซม. ถึง 2900 กก.ต่อตารางซม. ได้แก่ เหล็กชนิด ASTM A 373, A36, A500, A501, A529
- 2) เหล็กกล้าประสมบาง-กำลังสูง (High Strength Low-Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่ถูกประสมโดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนและแมงกานีส วานาเดียมและทองแดง เหล็กชนิดนี้มีกำลังจุดคดลากสูงกว่าประเภทแรก (มีค่าระหว่าง 2900 ถึง 4500 กก. ต่อตาราง ซม.) ได้แก่ เหล็กชนิด ASTM A242, A440, A441 และ A527
- 3) เหล็กกล้าประสม-ชุบแข็ง (Heat-treated Constructional Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าประสมที่ได้จากการชุบแข็งมีกำลังจุดคดลากสูงสุดประมาณ 7000 ถึง 7700 กก. ต่อตาราง ซม. ได้แก่ เหล็กชนิด ASTM A514, A517, A490

เหล็กโครงสร้างที่ใช้มากที่สุด คือ ASTM A7 และ A36 ซึ่งมีกำลังจุดคดลากเท่ากับ

2310 และ 2520 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ

สำหรับประเทศไทย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดเหล็กโครงสร้าง

รูปพรรณไว้ 2 ชั้นคุณภาพ คือ F₂₄ , F₃₀ ซึ่งมีกำลังจุดคดลากเท่ากับ 2400 และ 3,000 กก/ซม² ตามลำดับ และแสดงเครื่องหมายด้วยสีขาวยและสีเขียวตามลำดับ

เหล็กรูปพรรณ ได้จากการนำเหล็กโครงสร้างมาผลิตให้เป็นรูปต่างๆ โดย

วิธีการรีดร้อนหรือรีดเย็น เหล็กรูปพรรณที่ขายในท้องตลาดนั้นมีหลายแบบและหลายขนาด

มีรูปตัดต่าง ๆ กัน เช่น เหล็กฉาก (Angle, L) เหล็กรูปตัด I เหล็กรูปตัด T เหล็ก

รูปตัด WF เหล็กรูปรางน้ำหรือเหล็กรูปตัว C (channel, C) เป็นต้น ปกติแล้วแบบที่

ต้องการคือ แบบที่มีโมดูลัสหน้าตัด (Section modulus) มาก เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัด

คุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณแบบต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น ขนาดน้ำหนัก เนื้อน้ำหนัก เนื้อที่

หน้าตัด โมดูลัสตัดและโมเมนต์อินเนอร์เซีย ซึ่งใช้ในการออกแบบ

วิธีการระบุขนาดและชนิดของเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ หรือใช้

ในการเขียนแบบจะระบุขนาดและชนิดด้วยชื่อย่อ ซึ่งใช้กันเป็นมาตรฐานทั่วไป เป็นต้นว่า

WF 350 x 49.6 หมายถึงหน้าตัดรูปปีกกว้าง WF (wide flange) ซึ่งมี

ความลึกโดยประมาณเท่ากับ 350 มม. และมีน้ำหนักต่อความยาวหนึ่งเมตร เท่ากับ

49.6 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[125 x 13.4 หมายถึงความถึงหน้าตัดรูปเหล็กรางหรือร่อง (channel) ซึ่งมีความลึกโดยประมาณเท่ากับ 125 มม. และมีน้ำหนักต่อความยาวหนึ่งเมตร เท่ากับ 13.5 กิโลกรัม

[90 x 60 x 12 หมายถึงเหล็กฉากที่มีขนาดด้านยาวเท่ากับ 90 มม. ขนาดด้านสั้นเท่ากับ 60 มม. และมีความหนาเท่ากับ 12 มม.

WT 150 x 47 หมายถึงหน้าตัดรูปตัดที (Tee) ซึ่งตัดจากเหล็กรูป WF300x94 เหล็กรูปแบบนี้เรียกว่า Structural Tee

1.2.4 ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนในการออกแบบประกอบด้วย 6 ขั้นตอน

- 1) เลือกรูปแบบหรือร่างของโครงสร้าง
- 2) กำหนดน้ำหนักที่กระทำบนโครงสร้าง
- 3) วิเคราะห์ภายในและโมเมนต์ในชิ้นส่วนโครงสร้าง
- 4) เลือกวัสดุและชิ้นส่วน
- 5) ตรวจสอบโครงสร้างภายใต้น้ำหนักจริง
- 6) ตรวจสอบขั้นสุดท้าย

ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) เลือกรูปแบบหรือร่างของโครงสร้าง

รูปแบบของโครงสร้างจะถูกเลือกโดยพื้นฐานของการทำงาน ประหยัด การบริการและความสวยงาม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า ความต้องการผู้ออกแบบ

ในการเลือกรูปแบบโครงสร้างจะต้องคำนึงถึงคำถาม, การกระจายแรง, ความถี่ของแรงที่ถ่ายทอดลงบนโครงสร้าง, ผลที่จะเกิดขึ้นจากอุณหภูมิหรือการหดตัว วิเคราะห์อย่างละเอียดเกี่ยวกับบางส่วนของโครงสร้างที่จะเกิด Over Stress และการแกว่ง ซึ่งเมื่อวิเคราะห์และทำการแกว่งแล้วจะให้ทราบถึงรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด

- 2) กำหนดน้ำหนักที่กระทำบนโครงสร้าง

เมื่อเลือกรูปแบบโครงสร้างแล้ว ก็จะทำให้สามารถสเก็ตแบบร่างออกมา



ได้การเลือกชิ้นส่วนจะสามารถทำได้โดย เมื่อทราบขนาดของน้ำหนักที่ใช้ แต่เรายังไม่รู้ถึงขนาดของน้ำหนักโดยทั่วไปแล้ว เมื่อรู้ถึงแบบร่าง ก็จะทำให้การประมาณน้ำหนักที่ใช้ น้ำหนักจรรยาบรรณนั้น น้ำหนักบนพื้นอาคารรวม น้ำหนักคน น้ำหนักเครื่องจักร หรือน้ำหนักของส่วนนอกอาคารเอง ซึ่งในการประมาณน้ำหนักนี้จะต้องมีการประมาณน้ำหนักของตัวโครงสร้างด้วย

3) วิเคราะห์ภายในและโมเมนต์ในชิ้นส่วนโครงสร้าง

เมื่อรู้ถึงน้ำหนักและรูปแบบโครงสร้างจะให้เราทำการวิเคราะห์มาแรงภายใน, โมเมนต์ที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปหาชิ้นส่วนที่จะมาใช้

4) เลือกวัสดุและชิ้นส่วน

เมื่อรู้ตัว แรงภายในที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนและวัสดุแล้ว จะสามารถเลือกขนาดของแต่ละชิ้นส่วนได้โดย

- ต้องมีความแข็งแรงและมีคงเนื่องพอ
- ง่ายต่อการเชื่อมต่อ
- ประหยัด

5) ตรวจสอบโครงสร้างภายใต้น้ำหนักจริง

เมื่อเลือกขนาดของชิ้นส่วนแล้วจะต้องมีการตรวจสอบภายใต้สภาวะการทำงานจริงโดยตรวจสอบ การโก่ง การบิด การลั่นสะเทือน การล้าของความเค้นภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอื่นที่มีผลต่อโครงการ

6) ตรวจสอบขั้นสุดท้าย

เมื่อได้ขนาดแน่นอนออกมา เราต้องทำการตรวจสอบถึงน้ำหนักโครงสร้างที่ได้ประมาณไว้ตอนแรกกับของจริงว่าเป็นอย่างไร ถ้าประมาณการไม่ต่ำกว่าของจริงก็จะต้องทำการออกแบบใหม่

1.2.5 ข้อกำหนดออกแบบ

เป็นการกำหนดค่าที่ยอมรับได้ในการออกแบบ รวมน้ำหนักที่ยอมรับ Stress ที่ยอมรับการโก่ง ในโครงสร้างเหล็กที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ American Institute of Steel Construction [AISC], American Welding Society [AWS], American Iron and Steel Institute [AISI] สำหรับสะพาน American Association of State Highway, [AASHTO], US Bureau of Public Road

ระหว่างปี 1850-1910 มีข้อกำหนดเกี่ยวกับโครงสร้างเหล็กเกิดขึ้นหลายครั้ง ตัวอย่างเช่น หลายบริษัทที่เกี่ยวข้องกับรางรถไฟ ได้จัดตั้งข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบ สะพานรถไฟ มีวิศวกรที่ปรึกษาหลายสถาบันได้จัดพิมพ์ข้อกำหนดทั่วไป เช่น Bouscaren's (1887) Cooper (1884) Schneider's (1887) หลังจากนั้นมาได้มีการคำนึงถึงความปลอดภัยของสาธารณะมากขึ้นทำให้มีการรวมกลุ่มจัดตั้งได้มาตรฐานขึ้น

The American Railway ในปี 1900 หลังจากนั้นในปี 1906 AREA ตัดแปลง , USDA จัดตั้งข้อกำหนดเกี่ยวกับสะพานเหล็ก ในปี 1913 , ในปี 1921 American Association of Highway Officials เริ่มพัฒนาข้อกำหนดเกี่ยวกับสะพาน และสำเร็จในปี 1926 ในปี 1923 American Institute for Steel Construction ได้ตั้งข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ การติดตั้ง และการก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก

ในปี 1946 American Iron and Steel Institute จึงตั้งข้อกำหนดในการออกแบบของเหล็ก Light Gage และมีการพัฒนาตรวจสอบข้อกำหนดต่าง ๆ ให้ทันสมัยขึ้นเรื่อย ๆ ข้อกำหนดต่าง ๆ ได้มีการตัดแปลงไปให้เหมาะสมกับสถานที่ เช่น ใน แคลิฟอร์เนีย จึงมีการป้องกันเกี่ยวกับแผ่นดินไหวมากกว่าใน นิวยอร์ก

แม้ว่า ข้อกำหนดต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกัน แต่พื้นฐานแล้วมีแนวคิดเหมือนกัน คือ

- 1) วัสดุต้องมีความเหมาะสม
- 2) การออกแบบจะต้องคำนึงถึงน้ำหนักที่ใช้
- 3) การคำนวณและออกแบบจะต้องคำนึงถึงรายละเอียดของโครงสร้าง
- 4) การทำงานต้องมีประสิทธิภาพ

1.2.6 คุณสมบัติเนื้อเหล็ก

เนื้อเหล็กจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) Proportional limit ,Elastic limit ขีดจำกัดความยืดหยุ่น เป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดโดยที่ความสัมพันธ์ของ ความเค้นกับความเครียดยังเป็นเส้นตรง
- 2) จุดคดาก เป็นจุดที่ เมื่อเพิ่มความเค้นเล็กน้อย ความเครียดเปลี่ยนแปลงออกมากขึ้น

- 3) Yield Strength เหล็กบางชนิดไม่สามารถจะซื้อจุดคลากได้ชัดเจน จึงต้องกำหนดความเค้นคลาก ณ จุดที่ ความเครียด 0.001 หรือ 0.001 นิ้ว/นิ้ว
- 4) ความแข็งแรงต่อแรงดึง เป็นแรงดึงมากที่สุดต่อนี้ที่

1.2.7 ความเค้น, ความเครียด และ ส่วนความปลอดภัย

เมื่อน้ำหนักและแรงถูกกำหนดขึ้น เมื่อแรงภายนอกกระทำต่อชิ้นส่วนของ โครงสร้าง ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านั้นจะมีแรงภายในเกิดขึ้นเพื่อต้านทานซึ่งเรียกว่า ความเค้น ส่วนขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นส่วนจะเรียกว่า ความเครียด หน่วยความเค้นจะกำหนดด้วยแรงภายในต่อพื้นที่หน้าตัด ในการออกแบบและวิเคราะห์ โครงสร้าง ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงจุดซึ่งชิ้นส่วนจะเกิดอันตรายขึ้น หากให้น้ำหนักบรรทุกมากกว่านี้ จะพังซึ่งเกิดจากความเค้นหรือความเครียดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นน้ำหนัก ใช้ในการออกแบบจะต้องถูกควบคุม โดยใช้ ความเค้นที่ยอมให้ การโก่งที่ยอมให้ ฯลฯ

ความเค้นที่ยอมให้ จะเป็นความเค้นมากที่สุดที่พิจารณาแล้วว่าจะปลอดภัย เมื่อใส่ น้ำหนักบรรทุกเหล่านั้นต่อไป ความเค้นที่ยอมให้จะมีค่าน้อยกว่า ความเค้นประลัย และความเค้นคลากอัตราส่วนระหว่าง ความเค้นประลัยหรือความเค้นคลากต่อความเค้น ที่ขอไป เรียกว่า "อัตราส่วนความปลอดภัย"

1.3 ขอบเขตของโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ออกแบบ ได้จำแนกประเภทโครงสร้าง เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ ได้แก่ โครงสร้างรับแรงดึง, โครงสร้างรับแรงอัด, โครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน และโครงสร้างรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วม

1.3.1 โครงสร้างรับแรงดึง

ลักษณะของโปรแกรม จะให้บอกแรงที่ต้องการกระทำและจะบอกให้ใส่ขนาดหน้าตัด มา เพื่อตรวจสอบว่ารับแรงได้หรือไม่

1.3.2 โครงสร้างรับแรงอัด

ลักษณะของโปรแกรม จะเป็นการตรวจสอบหน้าตัดที่ใส่มาว่ารับแรงอัดที่ใส่เข้าไปว่าได้หรือไม่โดยที่ เป็นแรงกระทำในแนวแกนเท่านั้นไม่รวมถึงโมเมนต์ดัดหรือการเอียงศูนย์ของแรง โดยใช้สูตร AISC

1.3.3 โครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน

ลักษณะของโปรแกรม จะเป็นการตรวจสอบหน้าตัดคาน ว่าสามารถรับโมเมนต์แรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ โดยโปรแกรมจะ เริ่มให้ใส่โมเมนต์ที่ต้องรับ แล้วหารด้วยโมดูลัสหน้าตัดของคานทำให้รู้หน่วยแรงดัด $f_b = M/S$ จากนั้นจะเปรียบเทียบกับหน่วยแรงดัดที่ยอมไว้ (F_b) โดยหากมาจากมาตรฐานว่ารับแรงดัดได้หรือไม่ หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบการโก่งในแนวทแยง, การโก่งและการอยู่ของเหล็กแผ่นรับที่จุดรองรับ

1.3.4 โครงสร้างรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วม

ลักษณะของโปรแกรม ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนที่รับแรงในแนวแกน (แรงอัดหรือแรงดึง) และแรงดัดร่วมกัน โดยใช้มาตรฐาน AISC

$$f_c/F_c + f_{bx}/F_{bx} + f_{by}/F_{by} < 1.0$$

1.4 การคำนวณงาน

การคำนวณงานของผู้จัดทำในกรทำโปรแกรม มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎีของโครงสร้างเหล็ก ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบรับแรงดึง การออกแบบรับแรงอัด การออกแบบรับแรงดัด และการออกแบบรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน โดยในโปรแกรมนี้ได้ใช้ มาตรฐานของ AISC ซึ่งเนื้อหาส่วนใหญ่มาจาก หนังสือการออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก ของ สนั่น เจริญเฝ้าและวินิต ช่อวิเชียร

- 2) จัดทำโปรแกรม การเขียนโปรแกรมนี้ได้ใช้ ภาษาปาสคาลโดยภาษาปาสคาล มีส่วนดีคือ มีโปรแกรมรองหรือที่เรียกว่า Procedure ทำให้เราสามารถแยกแบบ แรงตั้ง แรงอัด แรงตัด และแรงตามแนวแกนและแรงดัดรวม ไปใช้ Procedure ต่างๆ
- 3) สรุปผลและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 โครงสร้างส่วนรับแรงดึง2.1.1 ลักษณะของโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

เป็นส่วนของโครงสร้างตรงที่รับแรงดึงจากปลายทั้งสองข้าง พบทั่วไปในโครงสร้างสะพาน หลังคา หอสถูป ค้ำยัน การออกแบบหน้าตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงดึงนั้นง่าย ทั้งนี้ เนื่องจากไม่ต้องระวังเรื่องการโก่งงอ (BUCKLING)

หน้าตัดทั่วไปที่ใช้ในการรับแรงดึง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ลวดสลิงหรือเคเบิล รูปแท่ง เหล็กกลม รูปโครงสร้างทั่วไป รูปหน้าตัดประกอบ

- 1) ลวดสลิงหรือเคเบิล ส่วนใหญ่จะใช้เป็น เส้นยึดตรง โดยพบทั่วไปในโครงสร้างของสะพานแขวนส่วนที่เรียกว่า (SUSPENSION) ข้อดีของลวดสลิงคือโค้งงอได้ และแข็งแรง
- 2) แท่งเหล็กกลม โครงสร้างขนาดเล็กโดยทั่วไปจะใช้แท่งเหล็กกลมหรือเหล็กรูปแบนโดยทั่วไปจะใช้ในโครงสร้างค้ำยัน
- 3) โครงสร้างทั่วไป โครงสร้างที่นิยมได้แก่ เหล็กฉาก (L) ซึ่งมีความมั่นคงกว่าลวดสลิงนอกจากนี้ยังมี เหล็กรูป I, WF, C
- 4) โครงสร้างประกอบ เป็นโครงสร้างที่ประกอบขึ้นจากเหล็กรูปต่าง ๆ เช่น เหล็กฉาก 2 ชิ้น เพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้มากขึ้น

2.1.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงดึง

ถ้าแรงดึงกระทำอยู่ในแนวเดียวกับศูนย์ถ่วงของโครงสร้างส่วนนั้น หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นสมมติให้กระจายอย่างสม่ำเสมอที่หน้าตัดสุทธิ เนื่องจากหน้าตัดสุทธิที่ต้องการคำนวณได้จาก

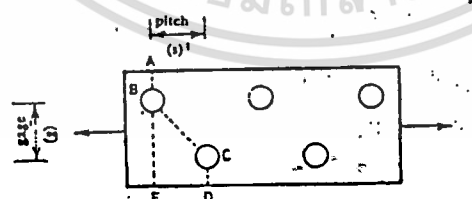
$$\text{เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ} \quad (A_{\text{net}}) = \frac{\text{แรงดึงทั้งหมด (P)}}{\text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (F_u)}}$$

การออกแบบโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงนี้ ทำได้โดยคำนวณหาเนื้อที่หน้าตัดโดยประมาณเสียก่อนจากสูตรข้างบนนี้ จากนั้นก็เลือกหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณที่มีอยู่ในตารางให้เหมาะสมกับงาน ตลอดจนจนแบบการต่อปลายโครงสร้าง (โดยการเชื่อมหรือใช้หมุดยึด) ต่อไปก็ต้องตรวจสอบดูว่าค่าของหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงเกินกว่ามาตรฐานกำหนดหรือไม่ ซึ่งจะได้จากการหารแรงดึงด้วยเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ถ้าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจริง มากกว่าที่กำหนดให้ก็เลือกรูปตัดที่ใหญ่กว่าถัดไป

2.1.3 หน้าตัดสุทธิ (Net Section)

คำว่า "เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ" (Net cross-sectional area) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า "หน้าตัดสุทธิ" หมายถึง เนื้อที่หน้าตัดของส่วนโครงสร้างในแนวที่ตั้งฉากกับน้ำหนักหรือแรงกระทำซึ่งได้จากการลบเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (Gross cross-sectional area) ด้วยเนื้อที่ส่วนที่เป็นรูเจาะสำหรับหมุดยึดหรือสลักเกลียว สำหรับรูเจาะของหมุดยึดหรือสลักเกลียวนั้น โดยทั่วไปจะถือว่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของหมุดยึดหรือสลักเกลียวประมาณ 3 มิลลิเมตร ดังนั้นเนื้อที่ของรูเจาะที่จะเอามาลบนี้ มีค่าเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะคูณด้วยความหนาของรูปตัดที่มีรูเจาะ

ในกรณีที่มีหมุดยึดหรือสลักเกลียวมากกว่าหนึ่งแถวในโครงสร้างส่วนหนึ่ง ๆ การจัดจะพยายามจัดให้ได้ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อที่ส่วนโครงสร้างนั้นรับแรงหรือน้ำหนักได้มากที่สุดสำหรับการจัดนี้จะสังเกตได้จาก รูปที่ 2.1 ปัญหาที่สำคัญก็คือการขาดหรือชำรุดของแผ่นโลหะและการคิดหน้าตัดสุทธิ ลักษณะการขาดหรือชำรุดตามแนว ABCD จะเกิดขึ้นได้ถ้าหากระยะห่างระหว่างรูเจาะ e มีค่าน้อย



รูปที่ 2.1. ระยะต่างๆ ของรูเจาะในแนวเอียง

มาตรฐาน AISC ได้กำหนดวิธีการหาเนื้อที่หน้าตัดสุทธิไว้ดังนี้

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ มีค่าเท่ากับความหนาของแผ่น เหล็กคูณด้วยความกว้างสุทธิ

(net width)

เมื่อส่วนโครงสร้างรับแรงดึงตามแนวเอียง (sizee) ความกว้างสุทธิจะได้ จากความกว้างทั้งหมดของแผ่นเหล็กลบด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะทั้งหมดในแนวเอียง (sizee) ที่พิจารณา แล้วบวกด้วยผลบวกของ $e^2 / 4e$ ทั้งหมดที่มีในแนวเอียงนั้น

ซึ่ง e เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูในแนวขนานกับแรง เรียกว่าระยะเกลียว (pitch)

e เป็นระยะห่างของรูเจาะสองรูในแนวตั้งฉากกับแรง เรียกว่า e_{tee}

การหาความกว้างสุทธินี้จะต้องหาหลาย ๆ แนวแล้วนำค่าที่น้อยที่สุดมาใช้

อย่างไรก็ตามความกว้างสุทธิที่คำนวณได้ตามแนวตั้งฉากกับแรงหรือในแนวเอียง (sizee) ที่ผ่านรูเจาะ จะต้องไม่เกินกว่า 85 เปอร์เซนต์ของความกว้างทั้งหมดในแนวตั้งฉากกับแรง

สำหรับเหล็กรูเจาะรูปตัดฉากเดี่ยว เนื้อที่หน้าตัดสุทธิของขาที่ไม่มี การต่อปลาย อนุญาตให้ใช้ได้เพียงครั้งเดียว เพื่อเพื่อแรงเอียงศูนย์อาจเกิดขึ้น

2.1.4 มาตรฐานกำหนด

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (Allowable Tensile Stress) สำหรับโครงสร้าง อาคาร มาตรฐาน AISC ได้กำหนดว่า

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้บนหน้าตัดสุทธิ

$$F_u = 0.6 F_u$$

แต่ต้องไม่เกิน 0.5 เท่าของกำลังต้านทานแรงดึงที่น้อยที่สุดของโลหะ

(minimum tensile strength)

สำหรับหน้าตัดสุทธิของรูหมุดตาไก่ (pin holes) ข้อต่อแบบหมุนได้ในเหล็กแผ่น (pin-connected plates) หรือส่วนโครงสร้างประกอบ (built-up members)

$$F_u = 0.45 F_u$$

ในที่นี้ F_u เป็นกำลังจะคลากของเหล็ก (yield strength of steel)

สำหรับโครงสร้างสะพาน มาตรฐานกำหนด AASHTO และ AREA ได้กำหนดว่า

$$F_u = 0.55 F_u$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 อัตราส่วนความขรุขระ

แม้ว่าจะไม่ต้องระวังเรื่องการโก่งงอในโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง แต่เมื่อโครงสร้างส่วนนั้นมีรูปร่างเรียวยาวหรือขรุขระ ก็จะมีข้อบกพร่องข้าง เนื่องจากน้ำหนักของส่วนโครงสร้างเองหรือเกิดการแกว่งหรือโก่งทางด้านข้าง (Lateral deflection) หรือสั่นไหวตัว (vibration) เนื่องจากแรงลม ดังนั้น มาตรฐาน AISC จึงกำหนดอัตราส่วนความขรุขระสำหรับโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึง ดังนี้

$$\text{ค่า } KL/r < 240$$

ในเมื่อ $K =$ ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล (มีค่าเป็น 1 สำหรับโครงสร้างส่วนรับแรงดึง)

- L = ช่วงความยาวของส่วนรับแรงดึง
 r = รัศมีจลน์เรขาคณิตที่น้อยที่สุด ($r = \sqrt{I/A}$) ซม.
 I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย ซม.⁴
 A = เนื้อที่หน้าตัด

2.2 โครงสร้างส่วนรับแรงอัด (Compression members)

2.2.1 ลักษณะของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

เป็นโครงสร้างที่จะต้องออกแบบให้ต้านทานต่อแรงอัดในแนวแกน ซึ่งกระทำที่ปลายทั้งสองข้าง ชนิดของโครงสร้างที่รับแรงอัดที่เห็นได้ง่ายคือเสา (column) ของอาคารแบบอื่น ๆ ก็ได้แก่ จันทันเอก (top chord) ของโครงหลังคาหรือโครงสะพาน ค้ำยัน ส่วนของปีกคานที่รับแรงอัดของคานเหล็กรูปพรรณ (rolled beam) หรือ ของคานประกอบ (built-up beam)

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างโครงสร้างส่วนรับแรงดึงและแรงอัด คือ

1. แรงดึงจะพยายามดึงโครงสร้างให้อยู่ในแนวตรงเสมอแต่แรงอัดจะพยายามทำให้โครงสร้างนั้นแอ่นหรือโก่ง
2. รูเจาะของหมุดย้ำหรือสลักเกลียวในโครงสร้างที่รับแรงดึงจะลดเนื้อที่หน้าตัดในการรับแรง แต่ในโครงสร้างที่รับแรงดึง ตัวหมุดย้ำหรือสลัก

เกลียวนั้นสมมติว่าแทนที่รูเจาะเต็มทั้งหมด และเนื้อที่หน้าตัดเต็มทั้งหมดซึ่งเท่ากับควมหนาคูณด้วยความกว้าง โดยมีต้องหักเนื้อที่ของรูเจาะที่จะใช้คำนวณในการรับน้ำหนัก

โครงสร้างที่รับแรงอัดจะมีแนวโน้มที่จะแอ่นหรือโก่ง ถึงแม้ว่าแรงอัดนั้นจะอยู่ในแนวแกนก็ตาม การโก่งงอที่ เกิดขึ้นในเสานั้นเรียกว่า การโก่งเตาะ (buckling) ซึ่งอาจจะเกิดจากความโค้งแรกเริ่ม (initial curvature) หรือ ชนิดของการยึดปลาย เป็นต้นว่า ปลายยึดอิสระ (free) ปลายยึดหมุน (hinged) หรือปลายติดแน่น (fixed) หรือเนื่องจากการเคลื่อนย่นของแรงอัด ในทุกกรณีที่เกิดเสานั้นทำให้การคำนวณของโครงสร้างที่รับแรงอัดไม่เหมือนกัน

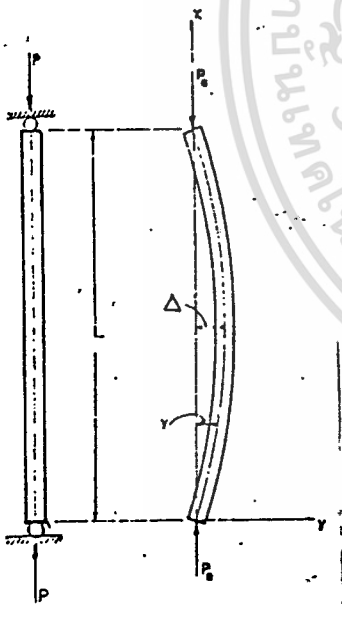
พิจารณาเสายาว 1 รับน้ำหนักกระทำตามแนวแกนดัง รูปที่ 2.2 เสานี้ทำด้วยวัสดุเนื้อเดียวกันซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุค มีหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาวเสา ที่ปลายทั้งสองข้างของเสามีที่รองรับแบบยึดหมุน

เมื่อเสารับน้ำหนักประลัย P_c เสาจะโก่งหรือแอ่นตามรูป ถ้าแกน X และ Y เป็นดังรูป จากสมการของเส้นโค้งอีลาสติค จะได้

ถ้าให้ $k^2 = P_c y / EI$ ดังนั้น

ซึ่งเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล ถ้าสมมติให้คำตอบเป็น $y = e^{mx}$ แล้วแทนค่าลงในสมการ (3) ซึ่งจะได้ $m = + ik$ ดังนั้น คำตอบของสมการ (3) คือ

$$y = C_1 e^{ikx} + C_2 e^{-ikx}$$



รูป 2.2

จากความสัมพันธ์ $e^{i^2 kx} = \cos kx + i \sin kx$ จะได้ว่า

$$y = A \sin kx + B \cos kx$$

ซึ่ง A และ B เป็นตัวคงที่ที่ต้องหาจากเงื่อนไขของรูป คือ

(ก) ที่ระยะ $x = 0$ ค่าของ $y = 0$

และ (ข) ที่ระยะ $x = L$ ค่าของ $y = 0$

แทนค่าจากเงื่อนไข (ก) ลงในสมการ (4) จะได้ $B = 0$

ดังนั้น $y = A \sin kx$

จากเงื่อนไข (ข) จะได้ $A \sin kL = 0$

ซึ่งความสัมพันธ์นี้อาจจะได้ $A = 0$ หรือ $\sin kL = 0$ โดยพิจารณาดังนี้

ถ้า $A = 0$ แสดงว่าในขณะที่รับน้ำหนักประลัยเสาไม่มีการโก่งเลย

(ซึ่งเป็นไปไม่ได้) ดังนั้น $\sin kL = 0$ ซึ่งจะได้ว่า

$$kL = n\pi \quad (\text{ในเมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots)$$

แต่ $k = P/EI$ ดังนั้นน้ำหนักประลัย

$$P = n^2 \pi^2 EI / L^2$$

และค่าการโก่งของเสา $y = A \sin (n\pi x / L)$

จากสมการ (7) จะเห็นว่าน้ำหนักน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดการโก่งเตา

เมื่อค่าของ n เท่ากับหนึ่ง นั่นคือ

$$\text{น้ำหนักประลัย } P = \pi^2 EI / L^2 \quad (1)$$

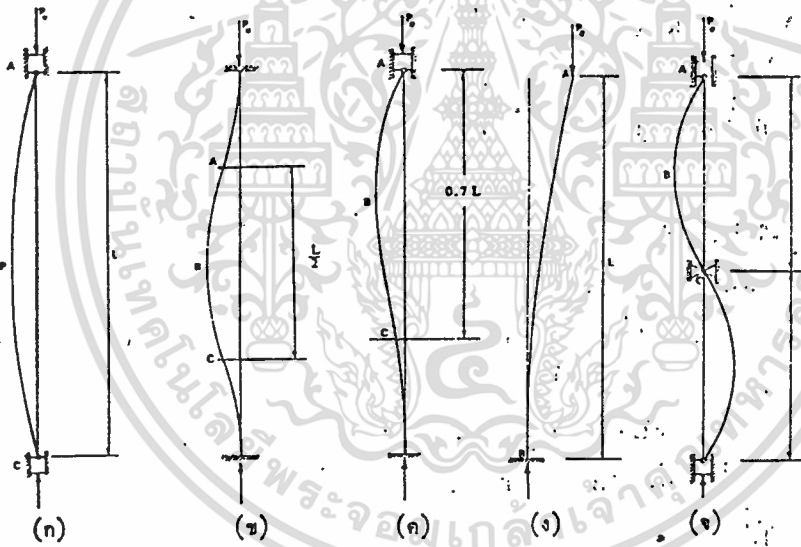
เรียกสมการนี้ว่า สมการของออยเลอร์ (Euler) น้ำหนักประลัยที่ได้

จากสมการนี้เรียกว่าน้ำหนักของออยเลอร์ (Euler Load)

2.2.2 ผลของลักษณะการยึดปลาย

กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน จะหาได้โดยใช้สมการ (1) สำหรับน้ำหนักประลัยของเสาที่มีลักษณะการยึดปลายต่าง ๆ กันก็สามารถหาได้โดยใช้การวิเคราะห์และพิจารณาแบบเดียวกันกับที่กล่าวในตอนต้น คือ เริ่มต้นการพิจารณาตั้งแต่สมการของเส้นโค้งอีลาสติคแล้วใช้เงื่อนไขของการยึดปลายคำนวณหาน้ำหนักประลัยของเสาแต่ละกรณี ซึ่งจะได้อยู่ในรูปแบบสมการคล้ายสมการ (1)

ลักษณะการยึดปลายเสาแบบต่าง ๆ ในโครงสร้างทั่วไปได้แสดงไว้ในรูป 2.3 น้ำหนักประลัยของเสาในแต่ละแบบของการยึดปลายจะหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะต่างๆ ของการยึดปลายเสา

- 1) เมื่อปลายเป็นแบบยึดหมุนทั้งสองข้าง (รูป (ก)), น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้จะหาได้โดยใช้สมการ (1)

- 2) เมื่อปลายเป็นแบบยึดแน่นทั้งสองข้าง (รูป (ข)) จุดตัดกลับ A และ C จะอยู่ห่างจากปลายทั้งสองเป็นระยะ $L/4$ ดังนั้นส่วนของเสา ABC จะคล้ายกับเสาในแบบแรก ซึ่งมีความยาวเสาเป็น $L/2$ น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$P_{\text{ค}} = \pi^2 EI / (L/2)^2 = 4\pi^2 EI / L^2 \quad (2)$$

นั่นคือ เมื่อปลายเสาเป็นแบบยึดแน่นทั้งสองข้าง กำลังรับน้ำหนักของเสา นี้จะเป็นสี่เท่าของเสาที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน สมการ (2) นี้สามารถใช้ได้กับรูป (จ) ซึ่งมีปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุนและมีการยึดทางข้างที่กึ่งกลางของเสาดังรูป

- 3) เมื่อปลายข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่น และปลายอีกข้างหนึ่งเป็นแบบยึดหมุน (รูป (ค)) จุดตัดกลับ C จะอยู่ที่ระยะ $0.7L$ จากปลาย A และส่วนของเสา ABC จะคล้ายกับเสาในแบบแรก (รูป (ก)) ซึ่งมีความยาวของเสาเป็น $0.7L$ ดังนั้น น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$F_{\text{ค}} = \pi^2 EI / (0.7L)^2 = 2\pi^2 EI / L^2$$

นั่นคือ กำลังรับน้ำหนักของเสาแบบนี้จะเป็นสองเท่าของเสาในรูป (ก)

- 4) เมื่อปลายข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่นและปลายอีกข้างหนึ่งเป็นแบบปล่อยอิสระ (รูป (ง)) ส่วนของเสา AB ในรูป (ง) นี้จะเป็นส่วนของ AB ในรูป (ก) ดังนั้นน้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$F_{\text{ง}} = \pi^2 EI / (2L)^2 = \pi^2 EI / 4L^2$$

นั่นคือ กำลังรับน้ำหนักของเสาแบบนี้มีเพียงเศษหนึ่งส่วนสี่ของเสาในรูป (ก)

ดังนั้น จะเห็นว่าสมการของออยเลอร์เป็นสมการที่ใช้หาน้ำหนักประลัยของเสา

เมื่อเสามีลักษณะของการยึดปลายเป็นแบบต่าง ๆ ซึ่งจะเขียนได้ใหม่เป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้คือ

$$\text{น้ำหนักประลัย} \quad P_{\text{ค}} = \pi^2 EI / (KL)^2$$

ถ้าให้เนื้อที่หน้าตัดเสาเท่ากับ A

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

ในที่นี้ K เป็นตัวประกอบคงที่ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของการยึดปลาย โดยทั่ว ๆ

ไปเทอม KL เรียกว่าความยาวประสิทธิผล

เมื่อพิจารณาสมาการออยเลอร์จะเห็นว่า ถ้าเสามีความยาวเท่ากัน น้ำหนักประลัยจะขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงของวัสดุ EI ซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย ดังนั้นการโก่งตัวของเสาจะเกิดขึ้นในแนวแกนหรือในทิศทางที่มีโมเมนต์อินเนอร์เซีย น้อยที่สุด ในการคำนวณออกแบบ จึงควรเลือกหน้าตัดที่ให้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียเท่า ๆ กัน ทั้งสองแกน (แกน X และแกน Y)

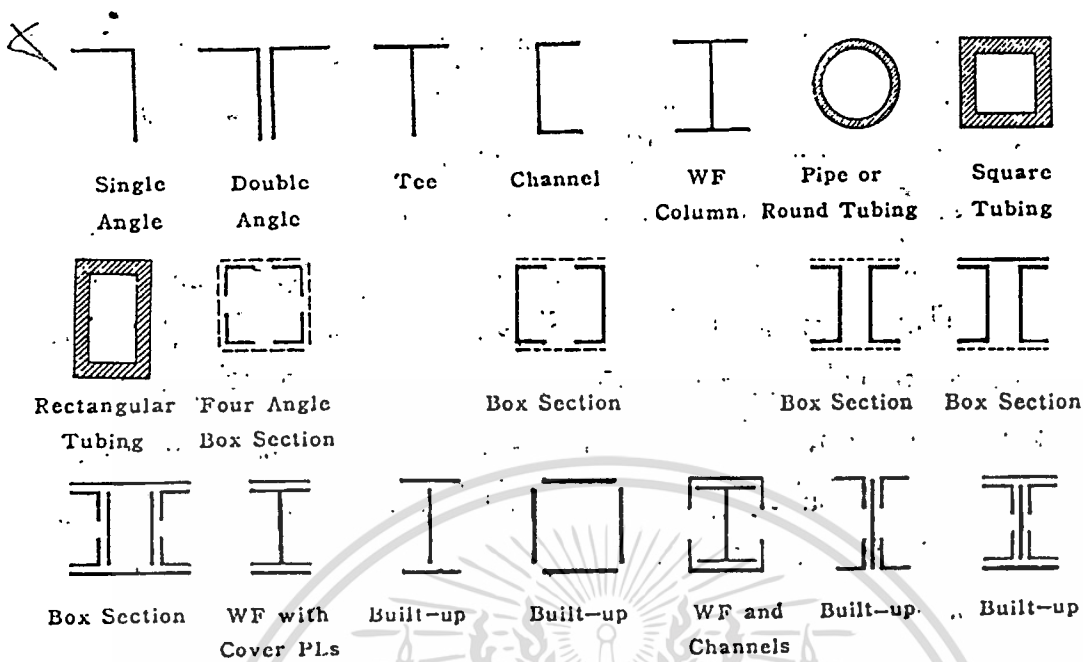
2.2.3 รูปตัดของโครงสร้างรับแรงอัด

ในทางทฤษฎีแล้วสามารถเลือกใช้รูปตัดเพื่อรับแรงอัดเป็นแบบใดก็ได้ เพียงแต่คำนวณให้รับน้ำหนักปลอดภัยเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วการเลือกจะต้องคำนึงถึงรูปหน้าตัดที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด ปัญหาของการต่อปลาย และการใช้งานในโครงสร้างแบบต่าง ๆ ของส่วนที่รับแรงอัด

หน้าตัดของโครงสร้างที่รับแรงอัดโดยมากจะเหมือนกับของโครงสร้างที่รับแรงดึง แต่มีข้อบกพร่องบางอย่างคือ ก้านของโครงสร้างที่รับแรงอัดนั้นจะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับอัตราส่วนความชะลูด (อัตราส่วนของความยาวประสิทธิผลต่อรัศมีจอยเรชันที่น้อยที่สุด) และต้องการรูปตัดที่สตีฟ (stiff) เหล็กรูปที่เขียนท่อนเหล็กกลม หรือแผ่นเหล็กแบน นั้นโดยมากจะไม่ค่อยใช้รับแรงอัด ทั้งนี้ เพราะความชะลูด (slender) มีค่ามาก นอกเสียจากราคาความยาวที่ใช้สั้นไม่มากและรับแรงอัดน้อย ๆ

รูปตัดฉากเดี่ยว (Single-angle) ใช้เป็นค้ำยันและรับแรงอัดในโครงสร้างแบบโครงสร้าง (truss) ขนาดย่อย ๆ แบบนี้ไม่ค่อยประหยัดเพราะรัศมีของจอยเรชันน้อย และการต่อแผ่นเหล็กประกบอาจจะทำให้เกิดแรงตึง เนื่องจากการเอียงศูนย์ขึ้นได้

รูปตัดฉากคู่ (Double-angle) ซึ่งติดโดยการจัดขามาชนกัน (back to back) และมีแผ่นเหล็กประกบอยู่ตรงกลางจะใช้ทั่วไปในโครงหลังคา และใช้เป็นค้ำยันต้านแรงลม ในคานประกอบของโครงสะพาน ปกติแล้วจะเลือกใช้เหล็กฉากชนิดขาอ่าวไม่เท่ากัน (unequal-leg angle) โดยที่เอาขาด้านยาวมาประกบกัน เพื่อที่จะให้ได้รัศมีจอยเรชันในแนวแกนทั้งสอง (x และ y) เท่า ๆ กัน



รูปที่ 2.4 แสดงหน้าตัดของโครงสร้างรับแรงอัด

สำหรับรูปตัดแบบตัวที (Tee) ใช้เป็นส่วนของจันทันในโครงหลังคา ที่มีการต่อตัวอาคารเชื่อม ส่วนเหล็กรูปแบบเหล็กราง (channel) นั้นไม่ค่อยนิยมเพราะว่ารัศมีของใจเรชันน้อยมาก แต่ถ้าจะใช้ก็จะต้องมีการยึดทางด้านข้าง (lateral support) เหล็กรูปแบบ WF เป็นแบบทั่วไปสำหรับใช้เป็นเสา และโครงสร้างที่รับแรงอัดในงานสะพาน ทั้งนี้ เพราะรัศมีใจเรชันในแกนทั้งสองเกือบเท่ากัน

รูปตัดแบบทอกลมกลวง (pipe) ใช้เป็นเสารับน้ำหนักของหลังคาทางเดินเท้าหรือโรงรถในบ้านเรือนทั่วไป เหมาะสำหรับในกรณีที่รับน้ำหนักน้อยหรือปานกลาง รูปตัดแบบนี้ ข้อดี คือ รัศมีใจเรชันจะเท่ากันทุกแกน สำหรับหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีภายในกลวงนั้น แต่ก่อนไม่ค่อยนิยมใช้ ทั้งนี้ เพราะมีปัญหาในการต่อโดยใช้หลอดย้ำหรือสลักเกลียวแต่ในปัจจุบันนิยมใช้มากขึ้นเพราะใช้การต่อปลายโดยการเชื่อม

โครงสร้างที่รับแรงอัดในโครงสร้างขนาดใหญ่ ปกติจะได้จากการนำหน้าตัดแบบต่าง ๆ มาประกอบรวมกัน (built-up) เพื่อใช้รับแรงที่มีค่ามากและสำหรับโครงสร้างที่มีช่วงยาวการต่อปลายจะและทำที่ด้านเปิด (open side) โดยมีแผ่นยึด (lacing)

เป็นคาร์ซีด. เพื่อให้รูปตัดที่ประกอบรวมกันนั้นถูกต้องเหมือนเป็นอันเดียวกัน แบบต่าง ๆ ของหน้าตัดที่ได้จากการประกอบ (built-up sections) ได้แสดงไว้ในรูป เส้นประจะแสดงถึงแผ่นยึด (lacing) เป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่องกัน เส้นเต็ม (solid line) แสดงถึงส่วนที่ต่อเนื่องตลอดความยาว รูปตัดที่ประกอบด้วยเหล็กฉาก 4 อันนั้น จะทำให้มีรัศมีโค้งระชั้นมากที่สุด และใช้ในงานก่อสร้างหอสถู่งและรับล้อเลื่อนไฟฟ้าในโรงงาน รูปตัดที่ประกอบด้วยค้ำเหล็กทรง (channel) 2 ชั้น ใช้เป็นเสารับน้ำหนักอาคาร หรือเป็นส่วนของแผ่นตั้งในโครงเหล็กขนาดใหญ่ หน้าตัดที่ใช้ เป็นส่วนของจันทันในโครงสร้างสะพานจะประกอบด้วยเหล็กทรง 1 คู่ และมีแผ่นปะ (cover plate) อยู่ข้างบน มีแผ่นยึด (lacing) อยู่ด้านล่าง รูปหน้าตัดแบบนี้ก็ได้จากการประกอบรูป WF กับแผ่นปะ (cover plate) หรือเหล็กทรง (channel) เป็นการเพิ่มเนื้อที่ที่ปีกคาน (flanges) เพื่อให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น

2.2.4 สูตรคำนวณของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

สูตรคำนวณที่ใช้ออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด เพื่อหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ มีอยู่ด้วยกันหลายสูตร เช่น

สูตร Straight-Line (มาตรฐานกำหนดของ AISI ปี ค.ศ. 1920) สูตร Secant (มาตรฐานกำหนดของ ASCE ปี ค.ศ. 1923) สูตร Gordon-Rankine ซึ่งมาตรฐานเก่าของ AISI เคยอนุญาตให้ใช้ ในปัจจุบันเริ่มใช้สูตรต่อไปนี้

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

$$\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F_u = 0.44 F_u [1 - (KL/r)/200]^2$$

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

$$R_u = 1120 - 0.021(L/r)^2 \quad \text{กก.ต่อตาราง ซม. (riveted ends)}$$

$$F_u = 1120 - 0.027(L/r)^2 \quad \text{กก.ต่อตาราง ซม. (pinned ends)}$$

ข้อจำกัดคือ ค่าอัตราส่วนความขะลุค L/r จะต้องไม่เกิน 130

สูตรมาตรฐาน AISC เป็นสูตรที่อ้างอิงการค้นคว้าล่าสุดเกี่ยวกับพฤติกรรมของเสาเหล็ก สูตรนี้ได้คำนึงถึง หน่วยแรงอัดที่ค้างเหลืออยู่ (residual stress) เช่น เมื่อชิ้นส่วนเย็นไม่สม่ำเสมอเมื่อรีดร้อน เป็นต้น ชนิดของการยึดปลาย ความยาวของเสา และคุณภาพของเหล็ก ทำให้ออกแบบได้ประหยัด ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดสูตรนี้สำหรับใช้คำนวณออกแบบเสาเช่นกัน

$$F_u = \frac{[1 - (KL/r)^2 / 2C_u^2] F_y}{5/8 + 3(KL/r) / 8C_u - (KL/r)^2 / 8C_u^2} \quad \text{ถ้า } KL/r < C_u$$

และ $F_u = 12 \pi^2 E / 23 (KL/r)^2 \quad \text{ถ้า } KL/r > C_u$

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











- L = ช่วงความยาวอิสระของเสาที่ไม่มีสิ่งยึดทางข้าง ซม.
 r = รัศมีจําเวียน (ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการโก่งงอ ซม.
 E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก กก. ต่อ ซม.
 F_y = กำลังจุดคานงของเหล็ก กก. ต่อ ซม.
 K = ตัวคูณประกอบความยาวประลัทธิผล (ดูตาราง)
 F_u = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ กก. ต่อ ซม.

'สำหรับค้ำยัน (bracing) และ ส่วนโครงสร้างรอง' (secondary member)
 ที่มีอัตราส่วนความชะลุดเกินกว่า 120

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ $F_u = F_u$ (จาก ก หรือ ข) / (1.6 - L/200r)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ มาตรฐาน AISC ได้กำหนดอัตราส่วนความขรุขระ (KL/r) ของ ส่วนโครงสร้างหลักที่รับแรงอัดจะต้องไม่เกิน 200 และสำหรับค้ำยันและส่วนโครงสร้าง รองจะต้องไม่เกิน 300

	(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
สัญลักษณ์ของ การยึดปลาย	   	การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของปลายเสา		
		ไม่มี		ไม่มี		
		มี		ไม่มี		
		ไม่มี		มี		
	Fixed	มี		มี		

ตาราง 2.5 แสดงตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิภาพผลของโครงสร้างหลัก

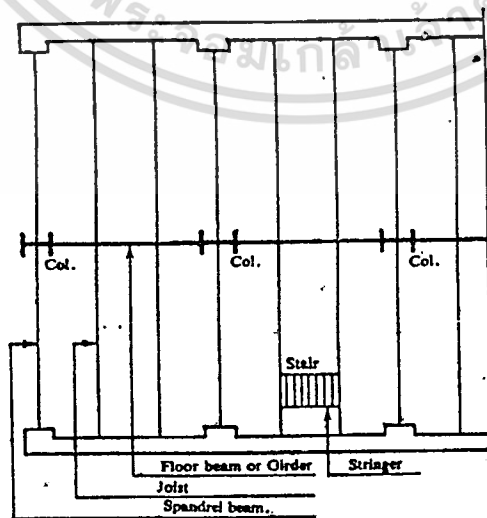
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 โครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน

2.8.1 ลักษณะของโครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน

โครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน ส่วนใหญ่มีกฎหมายถึงโครงสร้างประเภทคาน ดังนั้นจะต้องออกแบบคานให้ต้านทานต่อโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ตามปกติคานจะมีฐานรองรับอยู่ที่ปลายทั้งสอง มีน้ำหนักบรรทุกทุกโนแนวตั้ง ในการบรรทุกน้ำหนักนี้จะทำให้เกิดโมเมนต์ดัด ซึ่งทำให้หลังคานอยู่ในลักษณะถูกอัดและท้องคานอยู่ในลักษณะถูกดึง ยังมีโครงสร้างอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ในลักษณะเดียวกับคาน แต่เรียกแตกต่างกันไปตามหน้าที่และลักษณะการใช้งานของโครงสร้างนั้นๆ ดังรูปที่ 2.6 เป็นต้นว่า ตง (Joist) วางตั้งรับน้ำหนักจากพื้นโดยตรง คานเอก (Main Beam) เป็นคานใหญ่ที่วางอยู่โดยรอบพื้นที่รองรับน้ำหนักจากตง หรือเป็นคานที่วางขนานรับน้ำหนักจากพื้นสะพาน คานขอบ (Spandrel Beam) เป็นคานริมนอกของอาคารรับน้ำหนักจากพื้นและผนัง Stringer เป็นคานแม่บันไดหรือคานที่วางตามยาวในโครงสร้างรับน้ำหนักจากพื้นสะพานและวางอยู่บนคานขวาง (Floor Beam) เป้ (Purlin) เป็นคานช่องหลังคาที่วางไปตามยาวจากจั่วหนึ่งไปหาจั่วต่อไป หรือเป็นคานรองรับจันทันพราง สำหรับคานใหญ่ (Girder) เป็นคานขนาดใหญ่รับน้ำหนักจาก ซึ่งอาจใช้ เป็นคานขวางรับน้ำหนักจากพื้นอาคาร

คานเหล็กรูปพรรณที่มีรูปร่างตัด WF เป็นที่นิยมมาก นอกจากนี้อาจใช้รูปร่างตัดเป็นเหล็กรูปตัว I, T, C หรือเหล็กรูปตัดชนิดอื่น ๆ ที่ประกอบขึ้น ซึ่งอาจจะใช้เหล็กชั้นเดียวหรือแผ่นเหล็กประกอบเหล็กฉาก แล้วยึดติดเข้าด้วยกันโดยใช้หมุดย้ำ, สลักเกลียว หรือเชื่อมติด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.6 แสดงการวางตงและคานต่างๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สูตรคำนวณของโครงสร้างรับแรงดัดและแรงเฉือน

เนื่องจากคานทำหน้าที่รับแรงดัดและแรงเฉือน ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกบนคาน ดังนั้นสูตรที่ใช้คำนวณเพื่อหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจึงมีอยู่ 2 อย่าง คือ สูตรแรงดัด และสูตรแรงเฉือน

1) สูตรแรงดัด ใช้คำนวณหาหน่วยแรงดัดซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัด (M)

$$\text{สูตร คือ } f_b = My/I \quad \text{หรือ} \quad f_{b_{max}} = Mc/I$$

f_b = หน่วยแรงดัดเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่ระยะ y จากแกนสะเทิน

y = ระยะที่ห่างจากแกนสะเทิน

c = ระยะที่มากที่สุดของ y

I = โมเมนต์อินเนอร์เซียของรูปหน้าตัดรอบแกนสะเทินที่รับแรงดัด

2) สูตรแรงเฉือน ใช้คำนวณหาหน่วยแรงเฉือนซึ่งเกิดจากแรงเฉือน (V)

$$\text{สูตร คือ } f_v = VQ/It$$

f_v = หน่วยแรงเฉือนในเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของคานที่ระยะห่าง y จากแกนสะเทิน

V = แรงเฉือนทั้งหมดในแนวตั้ง

Q = โมเมนต์รอบแกนสะเทินของเนื้อที่ส่วนที่อยู่นอกแนวที่ต้องการหา f_v

t = ความหนาของหน้าตัดที่ต้องการหาหน่วยแรงเฉือน

I = โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกนสะเทิน

โดยปกติ มักจะออกแบบคานเป็นรูปตัว I หรือ WF ซึ่งค่าหน่วยแรงเฉือนที่คำนวณจากสูตรข้างต้น เกือบเท่ากับค่าเฉลี่ย ของหน่วยแรงเฉือนที่คำนวณจาก

$$\text{สูตร } f_v = V/dt$$

โดยที่ d เป็นความลึกของเหล็กแผ่นตั้ง ดังนั้นในการออกแบบจึงนิยมหาหน่วยแรงเฉือนจากค่าเฉลี่ย เพราะสะดวกต่อการคำนวณ

ในการคำนวณออกแบบคาน ค่าหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ

- โมเมนต์ดัดที่มากที่สุด

ค่าของโมเมนต์ดัดที่มากที่สุด (M) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของคานเอง สามารถหาได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง และเขียนได้ในรูปของสมการ ดังนี้

$$M = C_{sm} WL$$

ในที่นี้

W = น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนคาน กก.

L = ช่วงความยาวของคานระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสอง ซม.

C_{sm} = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักที่กระทำ และลักษณะของการยึดปลายคาน (ดูตารางที่ 2.7)

- โมดูลัสหน้าตัด (SECTION MODULUS)

$$\text{สูตร } S = M/F_s = I/C$$

ในที่นี้ S คือโมดูลัสหน้าตัด ซม.

การใช้โมดูลัสหน้าตัด (S) ในการออกแบบคาน คือ

ก. หาโมดูลัสหน้าตัดที่ต้องการจากสูตรข้างบน

ข. ใช้ค่าโมดูลัสหน้าตัดที่หาได้จาก ข้อ ก. นำไปเลือกรูปตัดจากตารางของเหล็ก รูปพรรณที่มีอยู่ โดยจะต้องเลือกรูปตัดที่มีความสมมาตรในระนาบที่รับน้ำหนัก เพื่อหลีกเลี่ยงการรับน้ำหนักเอียงศูนย์ รูปตัดควรมีน้ำหนักน้อยที่สุดแต่ให้ได้โมดูลัสหน้าตัดตามที่ต้องการ

- การดกหรือโก่งของคาน

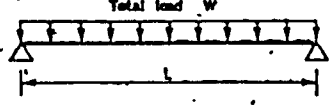
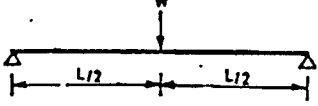
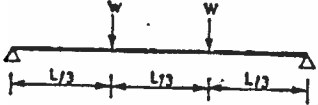
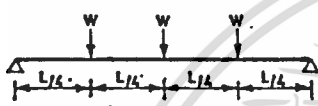
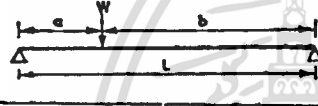

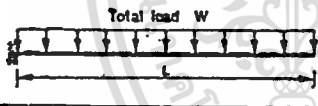
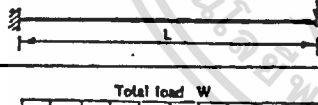
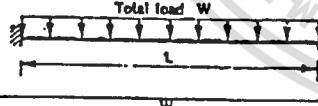
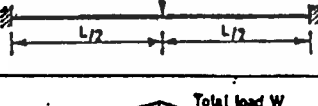

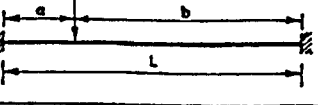
เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกรวมทั้งน้ำหนักของคานเอง จะมีการดกหรือโก่งตัว (Deflection) เกิดขึ้นค่าการดกหรือโก่งตัวของคานที่มากที่สุดนี้สามารถหาได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้างและเขียนอยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$\Delta = C_d WL^3 / EI$$

ในที่นี้ Δ = การดกหรือโก่งของคานที่มากที่สุด ซม.

L = ช่วงความยาวของคานระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ซม.

W = น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนคาน กก.

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	$\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{324}$
	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{192}$
	$\frac{5}{48}$	$\frac{7}{1920}$
	$\frac{ab^2}{L^3}$	

ตาราง 2.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C_{dm} และ C_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

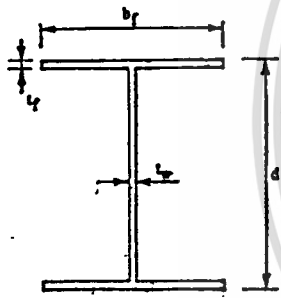
- E = โมดูลัสยืดหยุ่น กก.ซม.²
 I = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดรอบแกนละเก็น ซม.
 C_u = ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักที่กระทำบนคาน และลักษณะของการยึดปลายคาน (ดูตารางที่ 2.7)

ในการคำนวณออกแบคาน จะต้องตรวจสอบด้วยว่า การตกหรือโก่งตัวของคานที่เกิดขึ้นมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมให้หรือไม่

2.3.3 มาตรฐานกำหนด

มาตรฐาน AISC ได้กำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังนี้

1) หน่วยแรงตัดที่ยอมให้ (F_v)



รูปที่ 2.8

สำหรับโครงสร้างส่วนรับแรงตัดที่มีหน้าตัดสมมาตรกับแกนรอง เช่นคานเหล็กรูปพรรณแบบรัดรอน (รูปตัว I หรือ WF) และมีค่าอันทางข้างที่รับแรงอัดอย่างพอเพียง โดยที่ระยะค่าอันทางกันไม่เกิน $637.2 b_f / \sqrt{F_u}$ หรือ $1406000 / (d/A_f) F_u$ หน่วยเป็นเซนติเมตร (มีค่าเท่ากับ 12.7 เท่าของความกว้างของปีกคานสำหรับเหล็กชนิด A 36)

ในที่นี้ A_f = เนื้อที่หน้าตัดของปีกรับแรงอัด ซม.²

ก) สำหรับหน้าตัดแบบ compact (เมื่ออัตราส่วน $b_f / 2t_f < 437.7 / \sqrt{F_u}$ ซึ่ง = 8.72 สำหรับ $F_u = 2520$ กก.ซม.²)

$$F_v = 0.66 F_u \text{ กก.ต่อตารางซม. (สำหรับการตัดรอบแกนหลัก)}$$

$$F_v = 0.75 F_u \text{ กก.ต่อตารางซม. (สำหรับการตัดรอบแกนรอง)}$$

ข) สำหรับหน้าตัดแบบ noncompact (เมื่ออัตราส่วน $b_f / 2t_f > 796.5 / \sqrt{F_u}$ ซึ่ง = 15.87 สำหรับ $F_u = 2520$ กก.ซม.²)

$$F_v = 0.60 F_u \text{ กก.ต่อตารางซม.}$$

ค) สำหรับหน้าตัดแบบ partially compact (เมื่อ $437.7 / \sqrt{F_u} < b_f / 2t_f < 796.5 / \sqrt{F_u}$)

$$F_u = F_y (0.788 - 0.000167 (b_f/2t_f) / \sqrt{F_y}) \text{ กก./ซม.}^2$$

ในที่นี้ F_y = ความแรงดัดที่ยอมให้ กก./ซม.²

F_y = ค่าลึงจุดกลางของเหล็ก กก./ซม.²

b_f = ความกว้างของปีกรับแรงอัด ซม.

t_f = ความหนาของปีกรับแรงอัด ซม.

2) หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (F_v)

$$\text{หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ } F_v = 0.4 F_y$$

3) การตกหรือโก่งของคานที่ยอมให้

สำหรับคานที่รองรับน้ำหนักหรือพื้นปูที่รองรับผิว ค่าการตกหรือโก่งเนื่องจากน้ำหนักจรที่มากที่สุดที่ยอมให้ได้จะต้องไม่เกิน 1/360 ของช่วงความยาวคาน

สำหรับคานที่รองรับน้ำหนักหรือรองรับหลังคา ค่าการตกหรือโก่งเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ประมาณ 1/290 ถึง 1/230 ของช่วงความยาวคาน

ดังนั้นในกรณีนี้ไม่คำนวณค่าการโก่งตัวของคาน ควรให้อัตราส่วนของความลึกของคานต่อช่วงความยาวของคานที่รองรับน้ำหนักหรือรองรับหลังคาไม่น้อยกว่า $F_y/56000$ และ $F_y/70000$ ตามลำดับ โดยที่ F_y เป็นค่าลึงจุดกลางของเหล็ก กก./ซม.² ดังนี้

$$D/L = 1/24 - 1/30 \quad (\text{สำหรับเหล็กชนิด A 7})$$

$$\text{หรือ} \quad = 1/22 - 1/28 \quad (\text{สำหรับเหล็กชนิด A 36})$$

4) ความต้านทานการโก่งทางข้าง

การโก่งทางข้างของปีกคาน (Flange Buckling) สำหรับคานรับน้ำหนักซึ่งหน้าตัดเป็นปีกกว้าง (wide flange) ส่วนบนของปีกคาน (upper flange) จะรับแรงอัด ซึ่งปีกคานจะทำหน้าที่คล้ายกับเสา ถ้าหากคานนี้มีค้ำยันทางข้างไม่เพียงพอ การโก่งทางข้างของปีกก็อาจเกิดขึ้นได้ ทำให้กำลังต้านทานต่อน้ำหนักบรรทุกลดลง และนั่นเมื่อระยะค้ำยันเกินกว่า $637.2b_f/\sqrt{F_y}$ หรือ $1406000/(S/A_f)F_y$ ซม. แต่อัตราส่วน L/r_y ไม่เกิน $\sqrt{717 \times 10^6/C_y/F_y}$

(ซึ่ง $= 53.34 \sqrt{C_u}$ สำหรับ $F_u = 2520$ กก./ซม.²) มาตรฐาน AISC กำหนดให้ใช้หน่วยแรงตัดที่ยอมให้เท่ากับ $0.6 F_u$ สำหรับกรณีอื่นมาตรฐาน AISC ให้ใช้ค่า F_u ที่มากที่สุดจากสามสูตรข้างล่างนี้แต่ไม่ว่ากรณีใดต้องไม่เกินกว่า $0.6 F_u$ กล่าวคือ

$$\text{เมื่อ } \sqrt{717 \times 10^4 C_u / F_u} < L/r_T < \sqrt{3585 \times 10^4 C_u / F_u}$$

$$\text{ใช้ } F_u = (2/3 - F_u(L/r_T)^2 / 10756 \times 10^4 C_u) F_u \text{ กก. ต่อ ตาราง ซม. (AISC 1.5 - 6a)}$$

$$\text{เมื่อ } L/r_T > \sqrt{3585 \times 10^4 C_u / F_u}$$

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

หรือ เมื่อปีกรับแรงอัดนั้นเป็นแผ่นเต็ม (solid) หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าเนื้อที่หน้าตัดของปีกรับแรงดึง หรือกรณีเหล็ก รูปรางน้ำ

$$\text{ใช้ } F_u = 843600 C_u / (Ld/A_p) \text{ กก. ต่อตาราง ซม. (AISC 1.5-7)}$$

- ในที่นี้
- L = ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันของปีกคานรับแรงอัด ซม.
 - d = ความลึกของคาน ซม.
 - r_T = รัศมีจอยเรชั่นคิดรอบแกนในระนาบของเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของหน้าตัดที่ประกอบด้วยเนื้อที่ของปีกคานรับแรงอัด และหนึ่งในสามของเนื้อที่ของเหล็กแผ่นตั้ง (web) ที่รับแรงอัด (มีค่าโดยประมาณเท่ากับ $0.26 b_f$)
 - A_p = เนื้อที่หน้าตัดของปีกคานรับแรงอัด
 - $C_u = 1.75 + 1.05 (M_1/M_2) + 0.9 (M_1/M_2) < 2.3$
 - M_1, M_2 = โมเมนต์ดัดรอบแกนหลักที่ปลายของช่วงคานที่ไม่มีการค้ำยัน ซึ่ง

M_1, M_2 โมเมนต์ดัดรอบแกนหลักที่ปลายของช่วงความยาวโมเมนต์ดัด

$$M_1 < M_2$$

อัตราส่วนของ M_1/M_2 จะมีค่าเป็นบวก ถ้าหาก M_1 และ M_2 มีเครื่องหมายเหมือนกัน ซึ่งอาจจะเป็นทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา

ค่า $C_u = 1$ ถ้าโมเมนต์ดัดในคานมากกว่าโมเมนต์ดัดที่ปลายคาน

5) การโก่งในแนวแรงแงของเหล็กแผ่นดัด (Diagonal Web Buckling) เพื่อป้องกันการโก่งของเหล็กแผ่นดัดในแนวแรงแง อัตราส่วนของระยะระหว่างปีกทั้งสองของความหนาของเหล็กแผ่นดัดจะต้องไม่เกิน

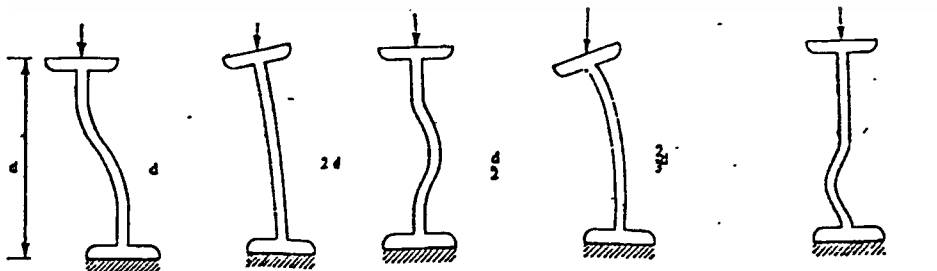
$$3454.6 / \sqrt{F_u}$$

นั่นคือ $d/t_w < 3454.6 / \sqrt{F_u}$

สำหรับคานเหล็กรูปพรรณ ปัญหาการโก่งในแนวแรงแงของเหล็กแผ่นดัดจะไม่ค่อยมี ทั้งนี้เพราะเหล็กรูปพรรณที่มีขายนั้นค่าของ d/t_w โดยทั่วไปแล้วจะน้อยกว่า 50

6) การยุบและการโก่งในแนวตั้งของเหล็กแผ่นดัด (Crippling and Vertical Buckling of Web)

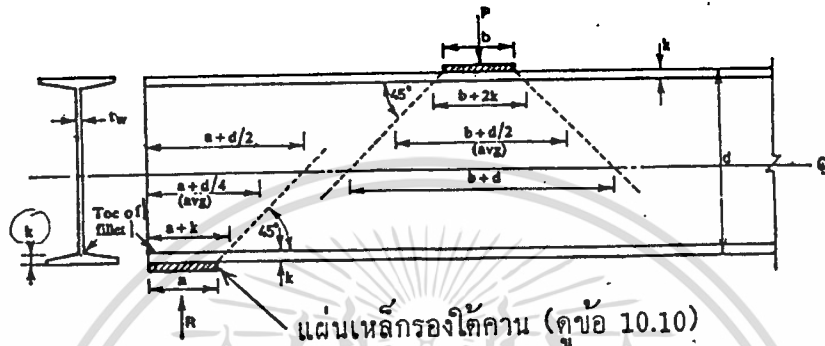
ในขณะที่คานรับน้ำหนัก ส่วนของเหล็กแผ่นดัด (web) จะทำหน้าที่รับแรงอัดในแนวตั้ง ซึ่งอาจจะเกิดการโก่งทางข้างขึ้นได้ดัง รูปที่ 2.9 โดยที่มีช่วงความยาวของการโก่งต่าง ๆ กันการโก่งนี้อาจจะเกิดขึ้นจากรองรับ หรือตรงรับน้ำหนัก เป็นจุด และเดียวกันก็อาจจะเกิดการยุบ (crippling) ที่ตำแหน่งทั้งสองได้เช่นเดียวกัน



ลักษณะระลอกการโก่งของเหล็กแผ่นดัด

ลักษณะร่องการยุบของเหล็กแผ่นดัด

โดยพิจารณาจาก รูปที่ 2.10 ค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการโก่งในแนวตั้ง และการยุบ (Buckling stress และ Crippling stress) ในเหล็กแผ่น ตั้งจะหาได้ ดังนี้



รูปที่ 2.10

ที่จุดรองรับ	web buckling stress	= $R/(a+d/4)t_w$
	web crippling stress	= $R/(a+k)t_w$
ที่จุดรับน้ำหนัก	web buckling stress	= $P/(a+d/2)t_w$
	web crippling stress	= $P/(a+2k)t_w$

โดยที่ k เป็นระยะจากผิวด้านนอกของปีกคานถึงขอบเหล็กแผ่นตั้งค่าหน่วยแรงที่ยอมให้เนื่องจากการโก่งในแนวตั้ง (buckling) จะหาได้โดยใช้สูตรของเสา (column formule) โดยที่ให้ L เป็นเศษของความลึก (ปกติเท่ากับ $0.5d$ หรือ $0.7d$) และใช้ r เท่ากับ $0.29t_w$

ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของการยุบ (crippling) จะต้องไม่เกินกว่า $0.75F_u$

2.4 โครงสร้างส่วนรับแรงในแนวแกนและแรงตัดร่วม

2.4.1 ลักษณะของโครงสร้างส่วนรับแรงในแนวแกนและแรงตัดร่วม

โครงสร้างต่างๆในส่วนของโครงข้อหมุน (Truss) ซึ่งอยู่ในแนวนอนหรือเอียงนั้นปกติจะรับโมเมนต์ตัดด้วย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของส่วนโครงสร้างเอง ดังนั้นในทุกๆ ส่วนของโครงสร้าง ก็จะมีทั้งแรงในแนวแกนและแรงตัดกระทำร่วมกัน การคำนวณออกแบบโครงสร้างส่วนที่รับแรงดิ่งนั้น เรื่องของแรงตัดไม่ค่อยจะสำคัญมากนัก ทั้งนี้เพราะแรงดิ่งที่กระทำในส่วนโครงสร้างจะไปช่วยลดการแอ่นหรือโก่งในแนวขวาง ไม่เหมือนกับการคำนวณออกแบบโครงสร้างส่วนที่รับแรงอัดซึ่งแรงอัดนี้จะช่วยเพิ่มการโก่งในแนวขวาง ผลก็คือในโครงสร้างส่วนที่รับแรงอัดแรงตัดที่กระทำมักจะทำให้เกิดการเฉยศูนย์เสมอ อันนี้เป็นเหตุให้ข้อกำหนดมาตรฐานต่างๆได้พยายามจำกัดค่าของอัตราส่วนความขะลุ่ยสำหรับโครงสร้างที่รับแรงอัดให้ต่ำกว่าของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดิ่ง ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างที่รับแรงอัดซึ่งไม่อยู่ในแนวตั้ง จึงต้องออกแบบให้โครงสร้างส่วนนั้นให้มีโมเมนต์อินเนอร์เซียมากพอสมควร เพื่อกันการเกิดการโก่งในแนวขวางและแรงตัดอัน เนื่องจากน้ำหนักตัวมันเองจะได้ไม่ต้องนำมาคิด ส่วนโครงสร้างที่รับแรงดิ่งนั้นก็ต้องออกแบบให้โมเมนต์อินเนอร์เซีย ในแนวนอนให้มากพอสมควรเพื่อไว้สำหรับแรงตัด เนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเองจะได้ไม่ต้องนำมาคิด

โครงสร้างที่เป็นโครงสร้าง (truss) บางอย่าง เช่น โครงหลังคาจะต้องออกแบบให้รับน้ำหนักในแนวขวางด้วย ทั้งนี้จะเห็นได้จากตัวอย่างง่ายๆ คือ การวางแป้อาจจะไม่วางตรงจุดต่อช่วง (panel point) ของโครงหลังคา ซึ่งทำให้เกิดโมเมนต์ดัดขึ้นระหว่างจุดต่อนั้น หรือในบางครั้งอาจจะมีน้ำหนักแขวนอยู่ที่ส่วนล่างของโครงหลังคา ซึ่งในกรณีเช่นนี้แรงที่เกิดในโครงสร้างส่วนนั้นๆ ก็จะมีทั้งแรงในแนวแกนและแรงตัด ในกรณีของโครงสร้างประเภทเสาก็เช่นเดียวกันอาจจะรับน้ำหนักที่มีการเยื้องศูนย์หรือรับแรงลม ซึ่งในการคำนวณและออกแบบโครงสร้างส่วนนี้ก็ต้องออกแบบไม่ให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (ทั้งแรงในแนวแกนและแรงตัด) เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้

2.4.2 การคำนวณหาหน่วยแรง

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างส่วนที่มีทั้งแรงในแนวแกนและแรงตัด หาได้จาก การรวมหน่วยแรงทั้งสองชนิด ดังต่อไปนี้คือ

$$f = P/A + Mc/I$$

ในบางครั้งโมเมนต์ตัดอาจเกิดขึ้นทั้งสองแกน (แกน x และ y) พร้อมกัน ในกรณีเช่นนี้ หาค่าของหน่วยแรงได้จาก

$$f = P/A + M_{xy}/I_x + M_y X/I_y$$

การคิดแบบนี้เป็นวิธีโดยประมาณ ทั้งนี้ เพราะไม่ได้คิดรวมถึงการโก่งในแนวขวางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ตัด

2.4.3 มาตรฐานกำหนด

มาตรฐานสากลได้ใช้การรวมค่าของอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง f_u กับหน่วยแรงที่ขอมให้สำหรับโมเมนต์ตัดอย่างเดียว กับค่าของอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง f_c กับหน่วยแรงที่ขอมให้สำหรับแรงในแนวแกนเข้าด้วยกัน โดยมีค่าได้ไม่เกินหนึ่งซึ่งผลที่ได้นี้ เรียกว่า สมการ (Interaction) กล่าวคือ

$$f_u/F_u + f_c/F_c < 1.0$$

ในที่นี้ f_u คือ หน่วยแรงในแนวแกนที่เกิดขึ้นจริง

F_u คือ หน่วยแรงในแนวแกนที่ขอมให้

f_c คือ หน่วยแรงตัดที่เกิดขึ้นจริง

F_c คือ หน่วยแรงตัดที่ขอมให้

ถ้าหากมีโมเมนต์เกิดขึ้นทั้งสองแกน (แกน x แกน y) มาตรฐานกำหนด
เปลี่ยนเป็น

$$f_x/F_x + f_{bx}/F_{bx} + f_{by}/F_{by} < 1.0$$

มาตรฐานกำหนดของ AISC ได้ใช้สมการ interaction ที่กล่าวข้างต้น
มานานแล้ว ในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมขึ้น โดยแยกสมการสำหรับแรง
ในแนวแกนที่มีค่ามากกว่าหนึ่งกับแรงในแนวแกนที่มีค่าน้อยอีกพวกหนึ่ง

มาตรฐานกำหนดของ AISC

สถาบันการก่อสร้างอาคารด้วยเหล็กของอเมริกัน AISC ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับ
โครงสร้างส่วนที่รับทั้งแรงอัดและโมเมนต์ดัด โดยคำนึงถึงการโก่งในแนวขวางรวมอยู่
ด้วย กล่าวคือ

$$\text{ถ้า } f_x/F_x > 0.15$$

$$f_x/F_x + C_{mx} f_{bx}/(1-f_x/F_x)F_{bx} + C_{my} f_{by}/(1-f_x/F_x)F_{by} < 1.0$$

(AISC 1.6-1a)

$$\text{และ } f_x/0.6F_y + f_{bx}/F_{bx} + f_{by}/F_{by} < 1.0$$

(AISC 1.6-1b)

$$\text{แต่ถ้า } f_x/F_x < 0.15$$

$$f_x/F_x + f_{bx}/F_{bx} + f_{by}/F_{by} < 1.0$$

(AISC 1.6-2)

ในที่นี้ f_x = หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง

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

F_x = หน่วยแรงอัดที่เออมให้

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

F_y = $12\pi^2 E/23(KL/r_y)^2$ กก./ซม.²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $E = 2.1 \times 10^6$ กก./ชม.²
 $K =$ ตัวคูณประกอบของความยาวประสิทธิผลในระนาบที่เกิดโมเมนต์ดัด
 $L =$ ความยาวอิสระในระนาบที่เกิดโมเมนต์ดัด
 $r_x =$ รัศมีจายเรชั่นรอบแกนที่เกิดโมเมนต์ดัด
 $C_m =$ ค่าสัมประสิทธิ์ (modification factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการรับโมเมนต์ดัดในส่วนของโครงสร้างที่พิจารณา

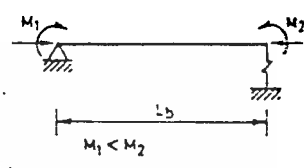
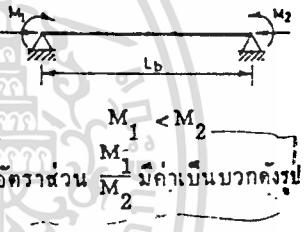
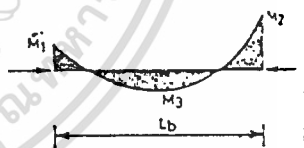
สำหรับส่วนโครงสร้างที่รับแรงดิ่งและโมเมนต์ดัดพร้อมๆกัน มาตรฐาน AISC ได้กำหนดดังนี้

$$n) \quad f_u/F_u + f_{bx}/F_{bx} + f_{by}/F_{by} < 1.0$$

- ในที่นี้ $f_u =$ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจริง
 $F_u =$ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ $= 0.6F_y$
 $F_y =$ กำลังจุดกลางของเหล็ก
 $f_{bx} =$ หน่วยแรงดิ่งซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจริง
 $F_{bx} =$ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้







ข) หน่วยแรงอัดซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัด จะต้องไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้

สำหรับส่วนโครงสร้างที่รับเฉพาะโมเมนต์ดัด M_x และ M_y โดยไม่มีแรงในแนวแกนกระทำก็สามารถคำนวณออกแบบโดยใช้สมการ AISC 1.6-2 ได้ให้หน่วยแรง f_u เท่ากับศูนย์

กรณี	ลักษณะการรับแรง ($f_2 > 0.15 F_2$)	f_b	C_m	หมายเหตุ
ก	ค่าโมเมนต์ค้ดมากที่สุดอยู่ที่ปลาย และมีการเคลื่อนของจุดปลาย (สำหรับเสาใน frame ที่มี side sway)	$\frac{M_2}{S}$	0.85	
ข	ค่าโมเมนต์ค้ดมากที่สุดอยู่ที่ปลายและไม่มีการเคลื่อนของจุดปลาย (สำหรับเสาใน frame ที่ไม่มี side sway)	$\frac{M_2}{S}$	$(0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2})$ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.4	
ค	มีแรงค้ดเนื่องจากน้ำหนักกระทำระหว่างช่วง และไม่มีการเคลื่อนของจุดปลาย	$\frac{M_2}{S}$ ใช้สูตร (1.6-1b) $\frac{M_3}{S}$ ใช้สูตร (1.6-1a)	$1 + \phi \frac{f_2}{F'_o}$	

ตาราง 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตาราง 2.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ ϕ และ C_m

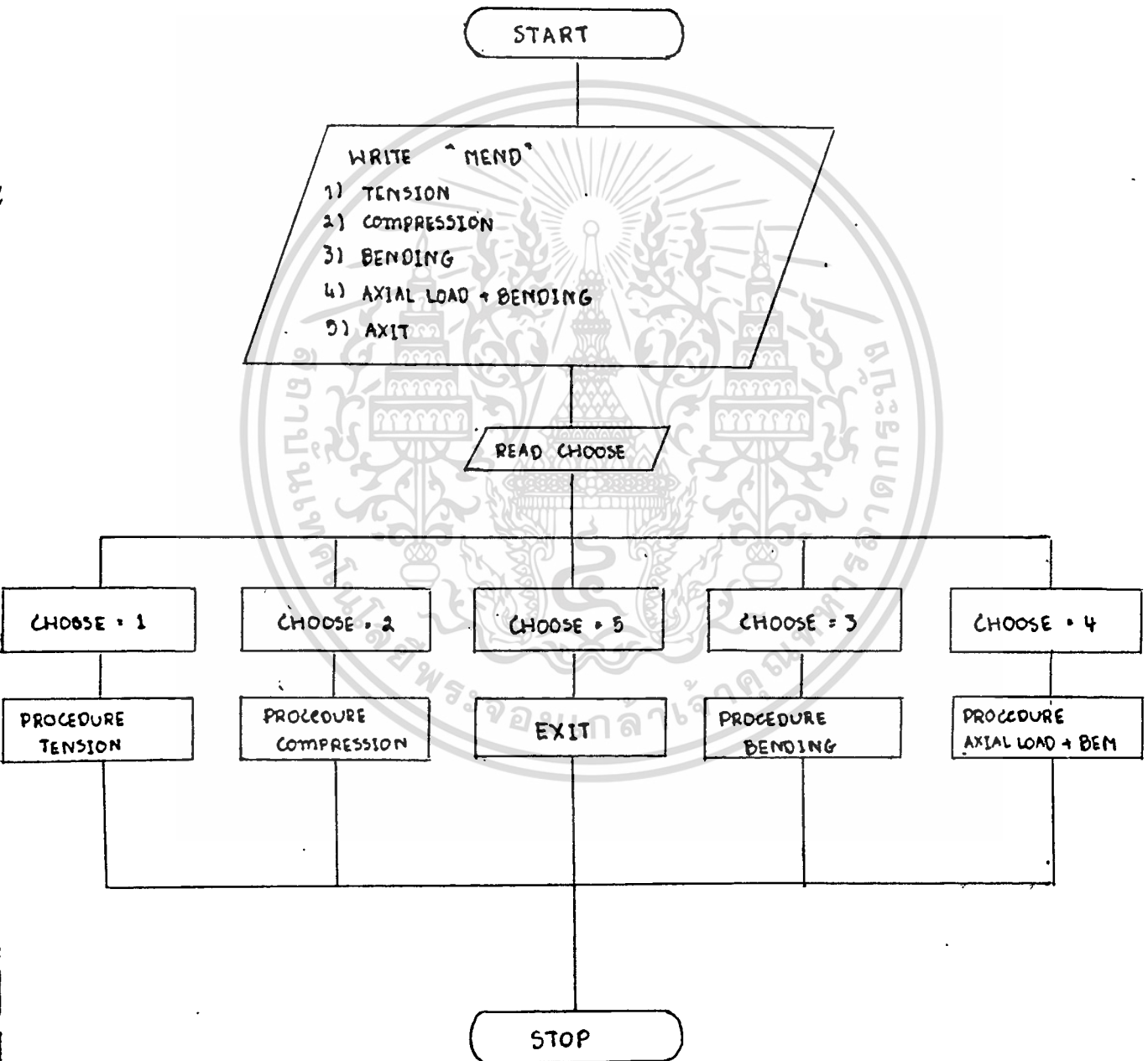
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

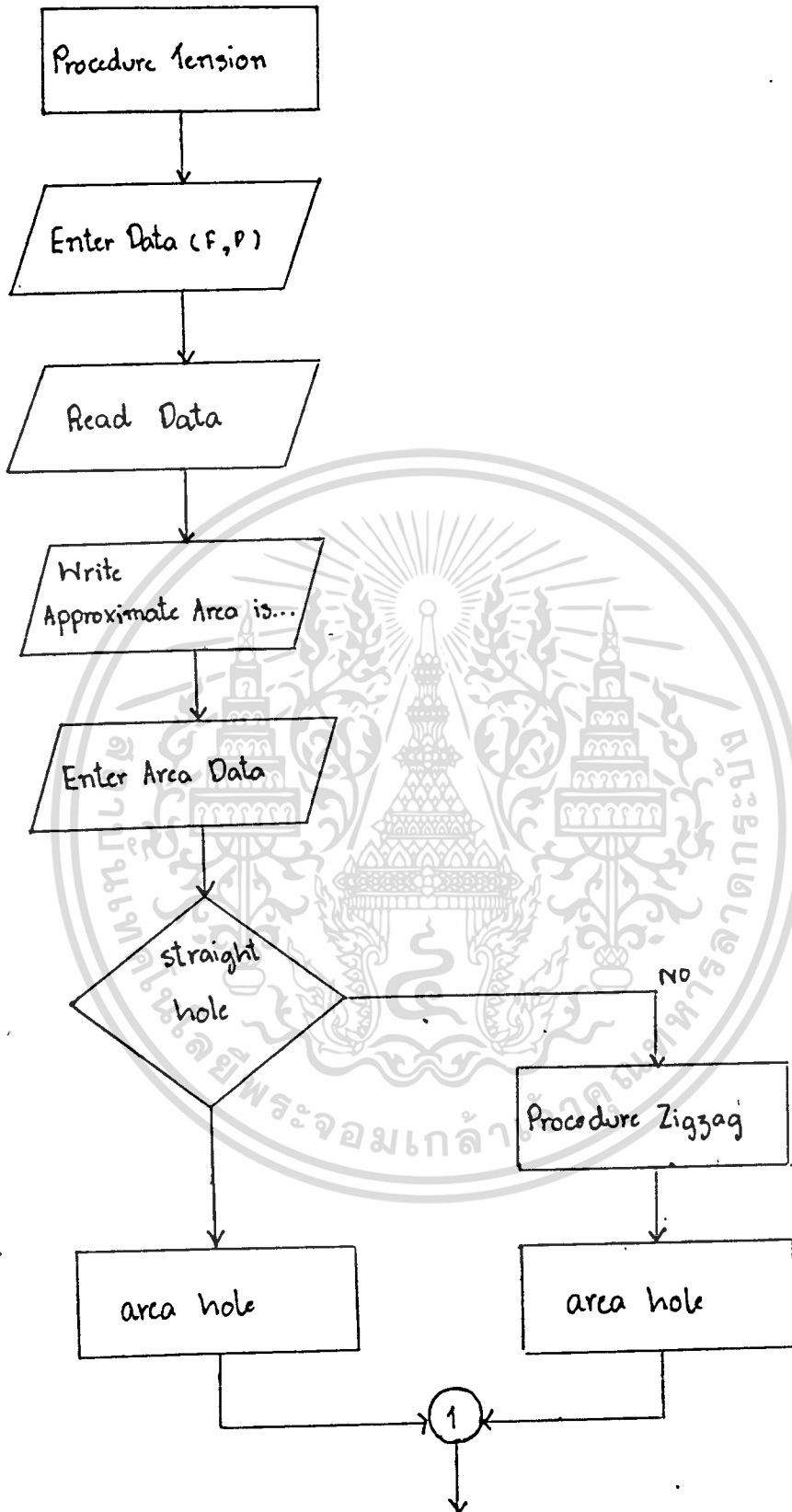
ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

ในบทนี้จะกล่าวถึงแผนภูมิและคำอธิบายขั้นตอนการใช้โปรแกรม

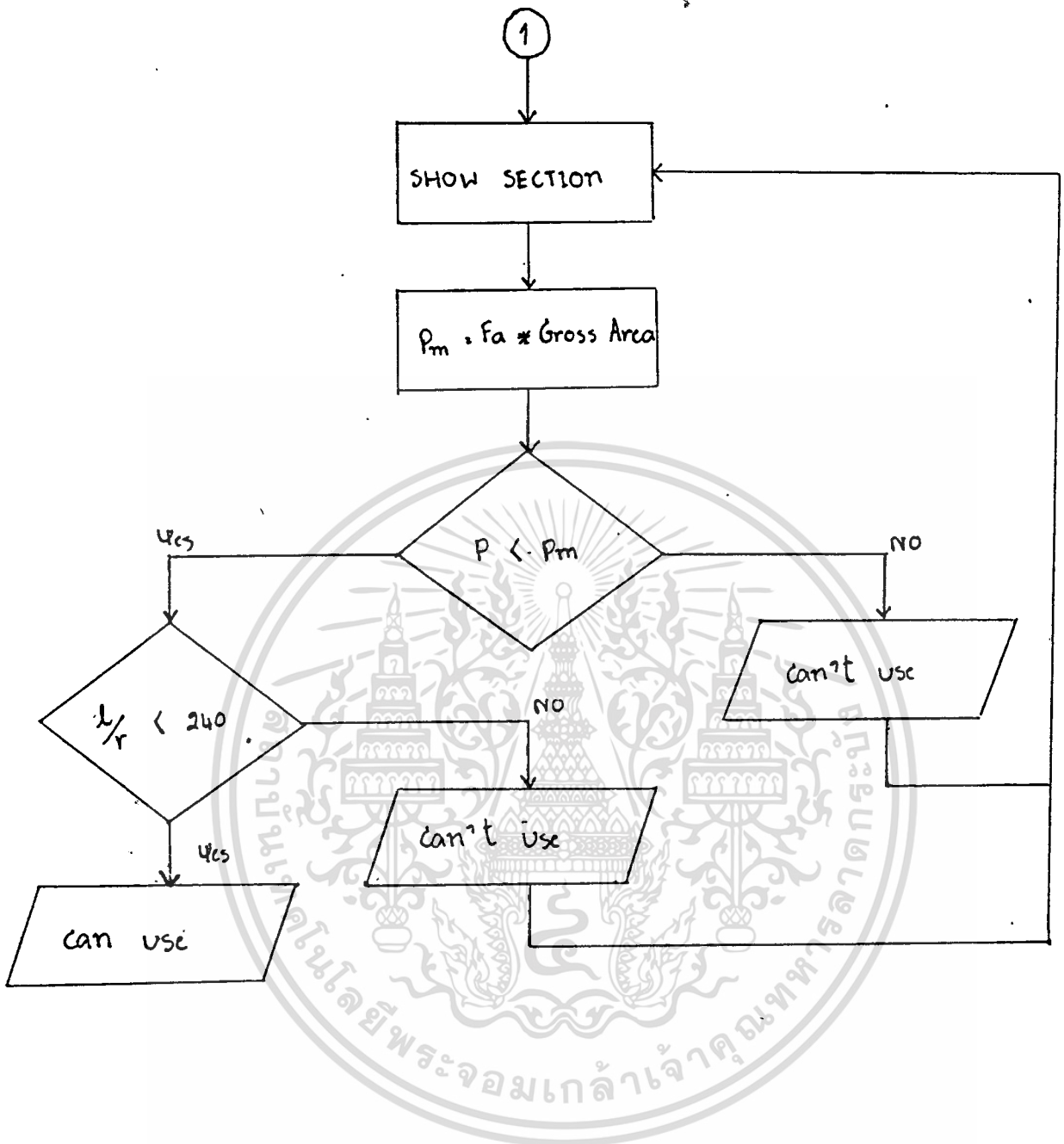
3.1 แผนภูมิ (FLOWCHART)



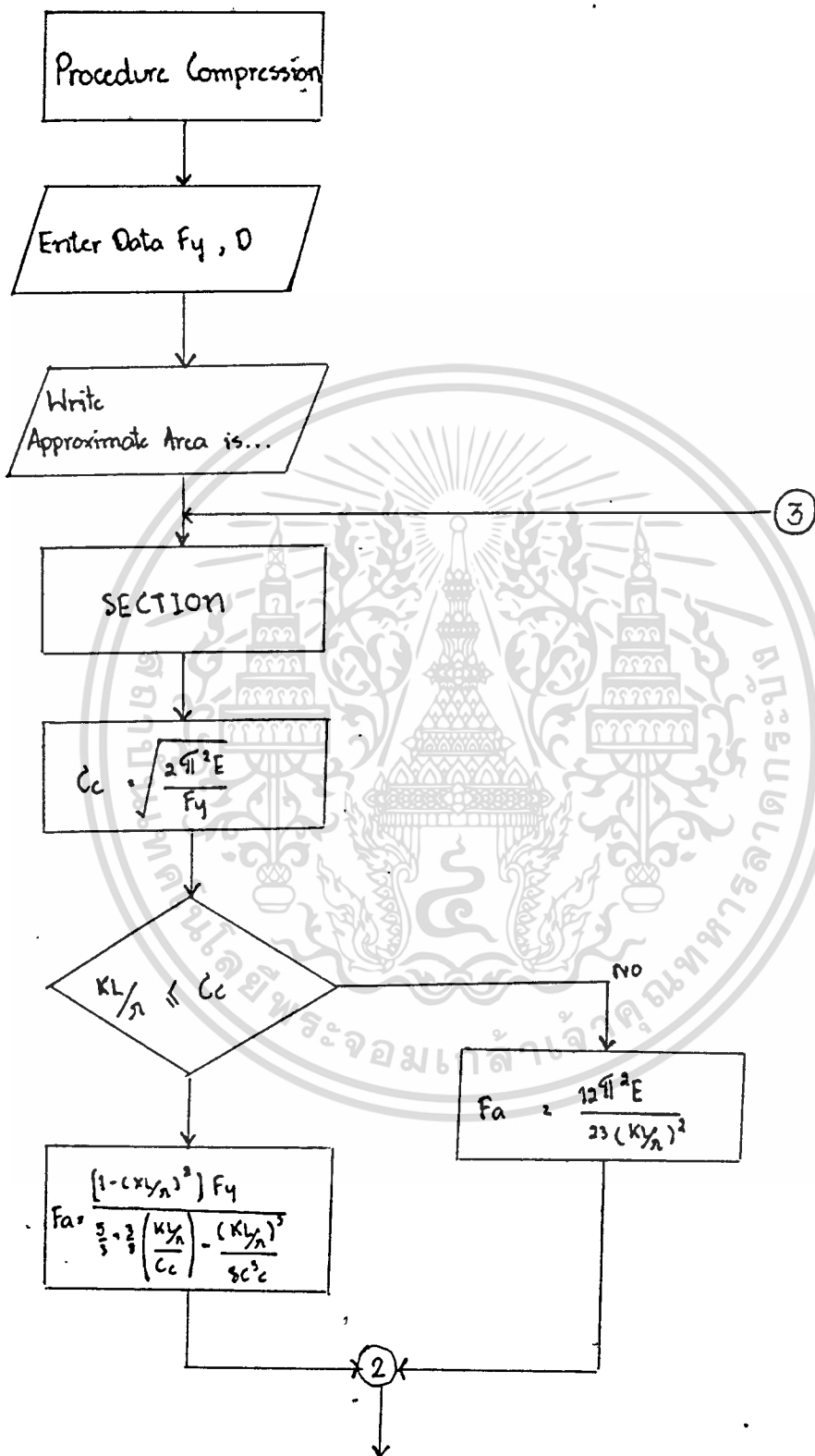
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



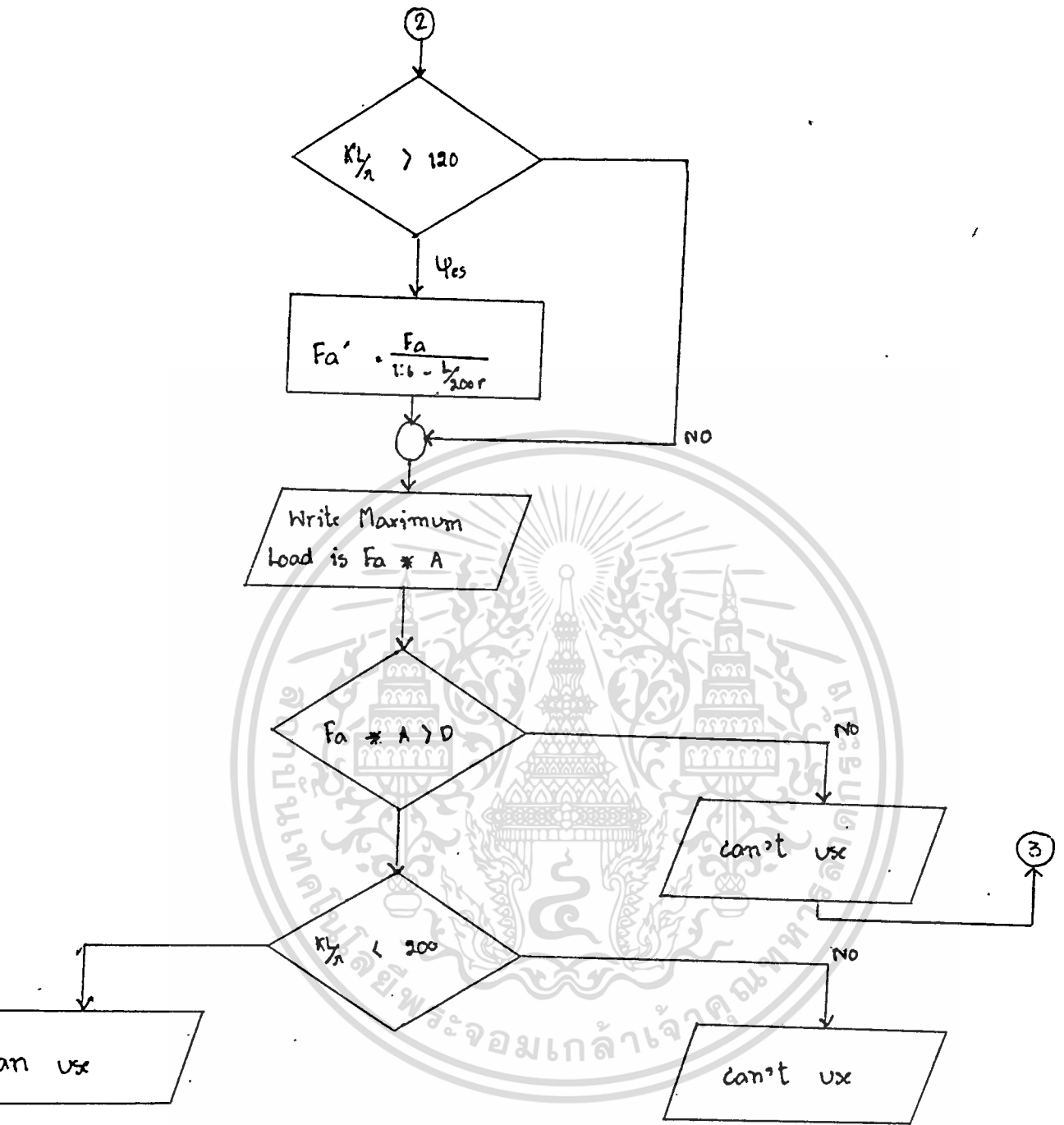
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



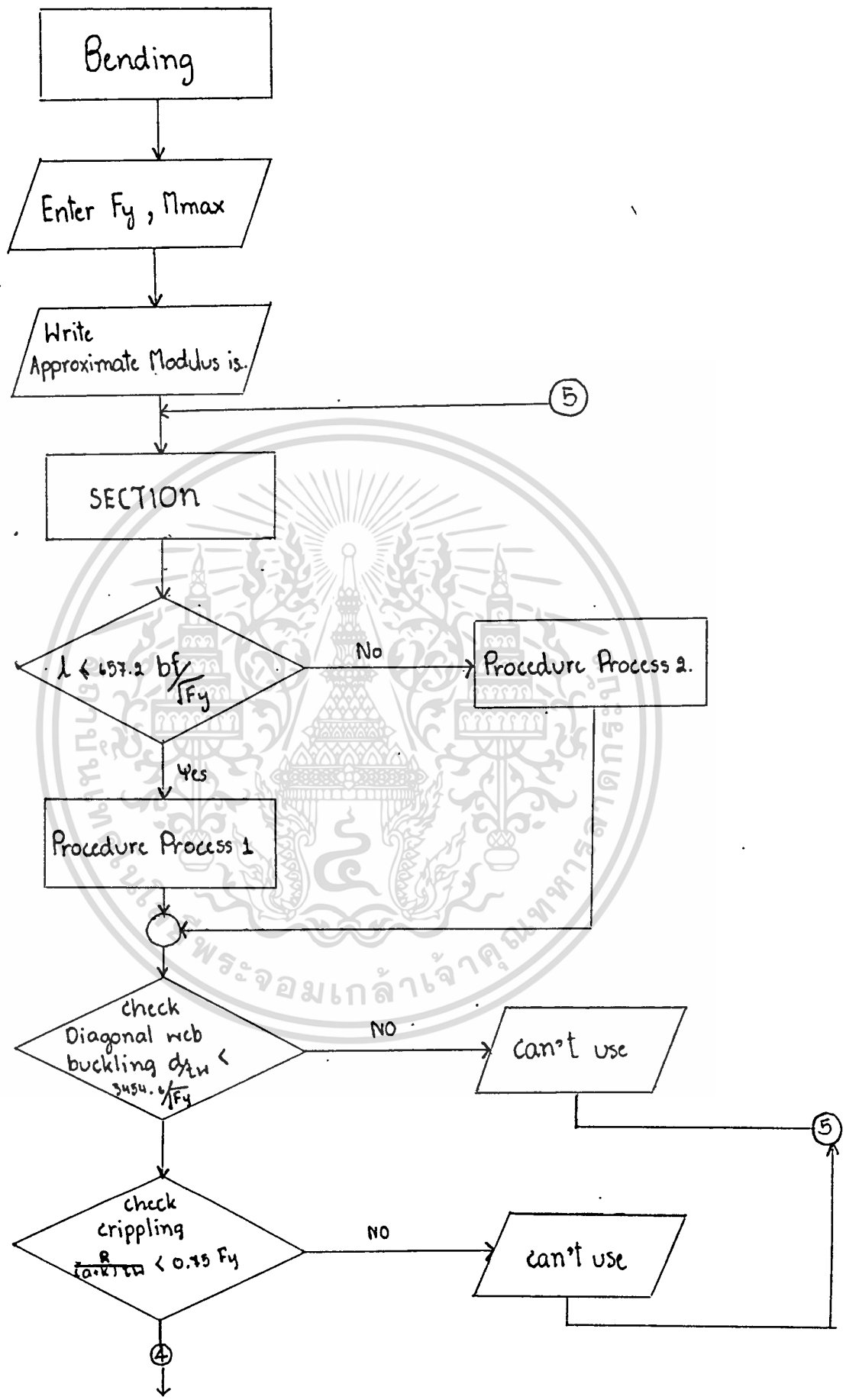
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



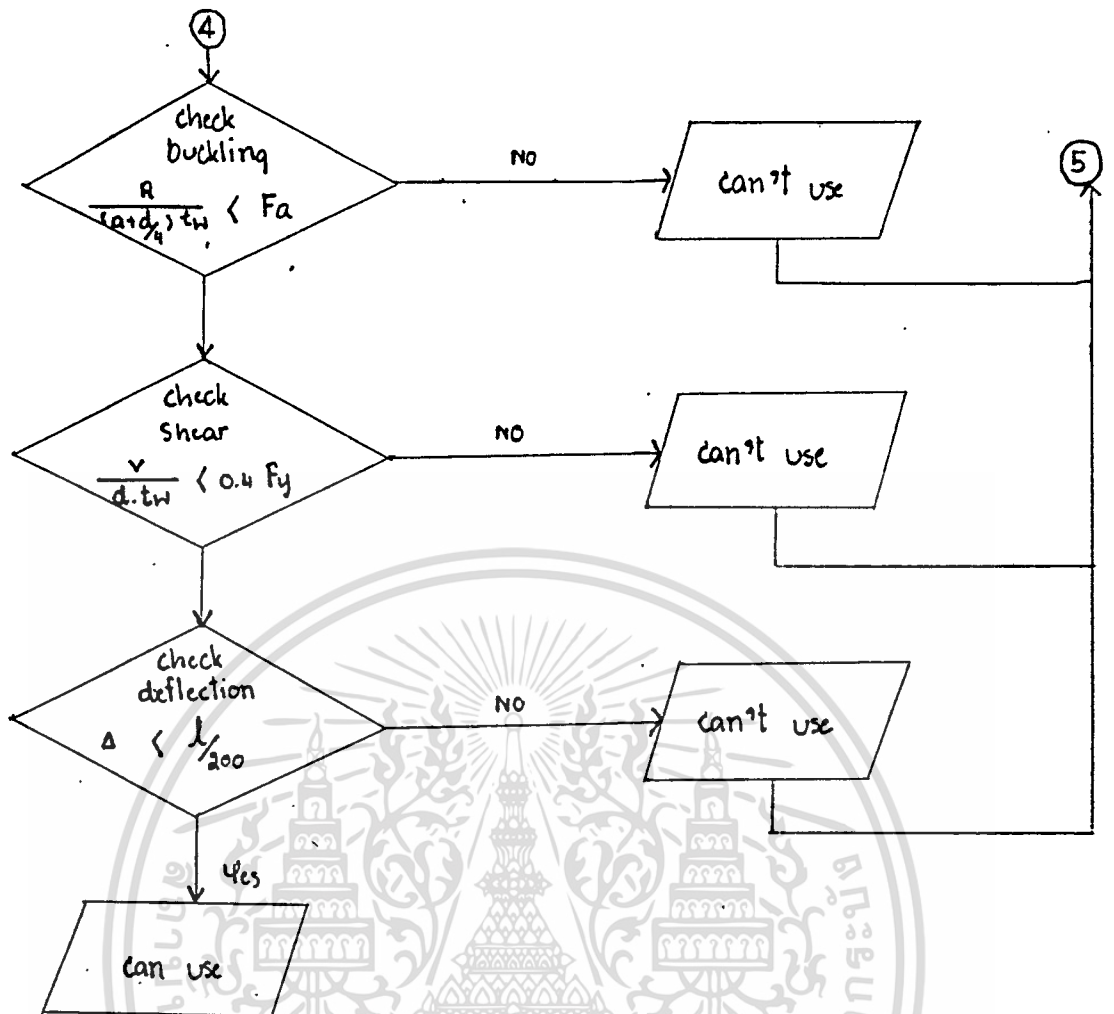
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



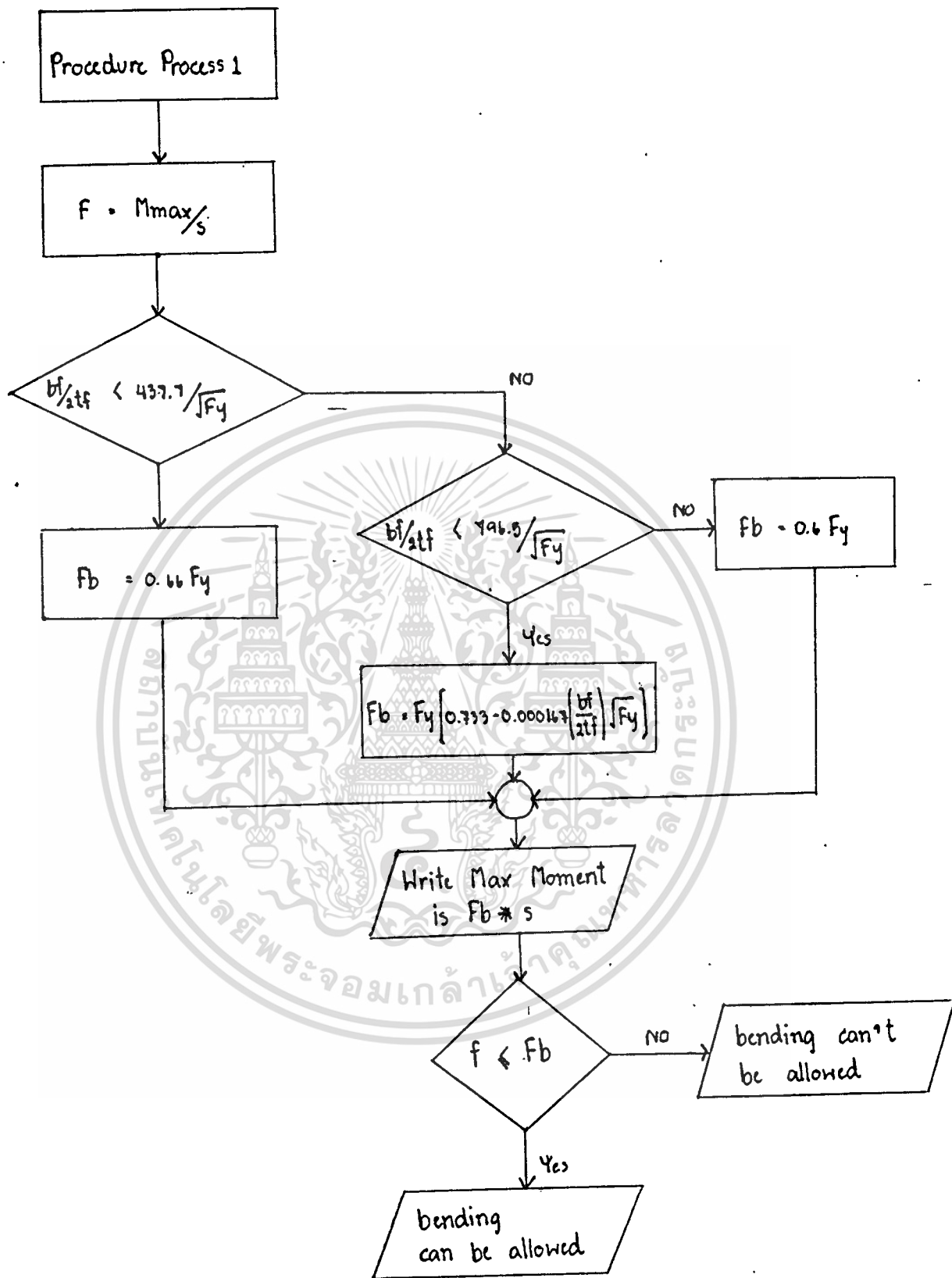
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



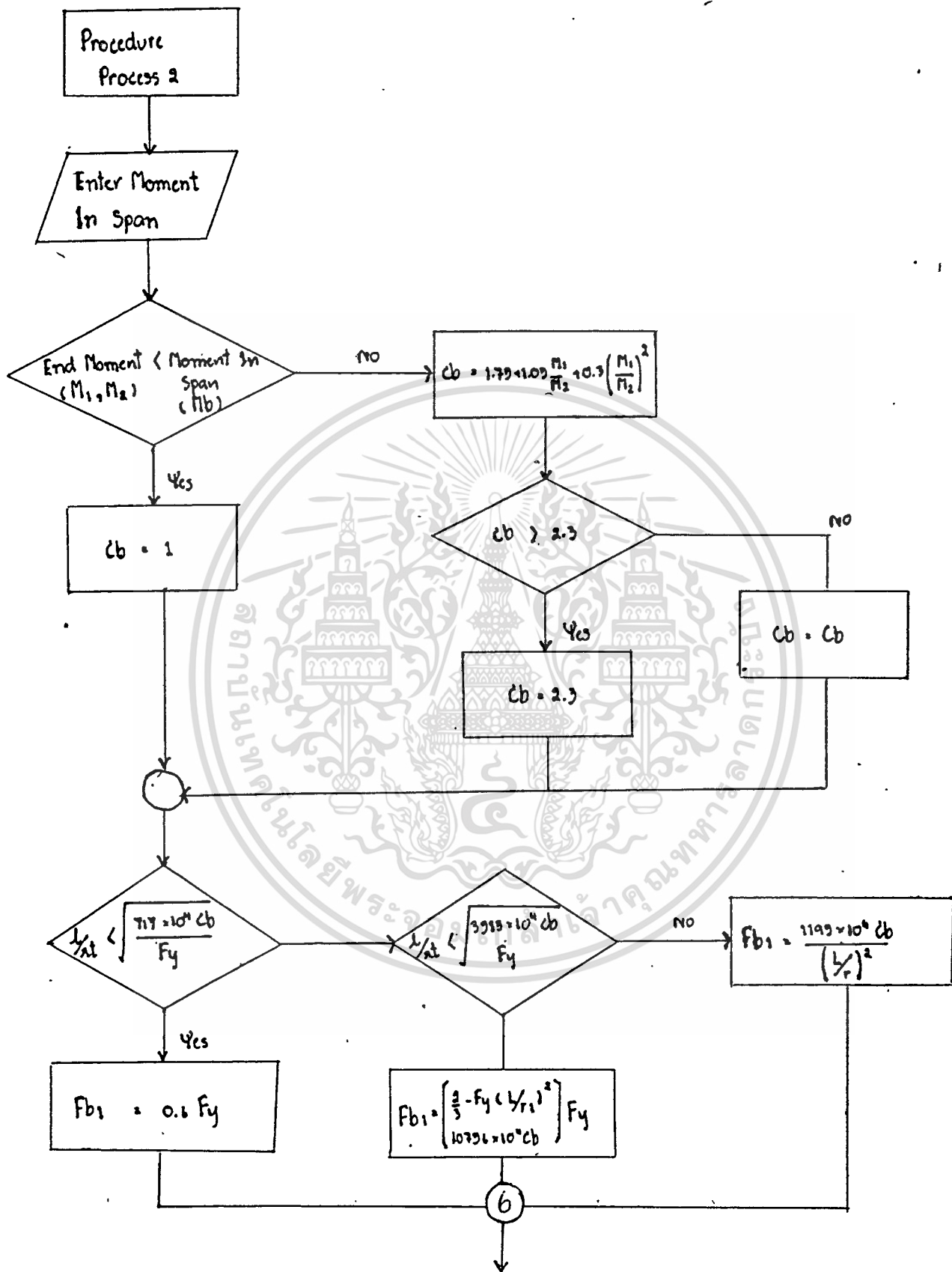
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



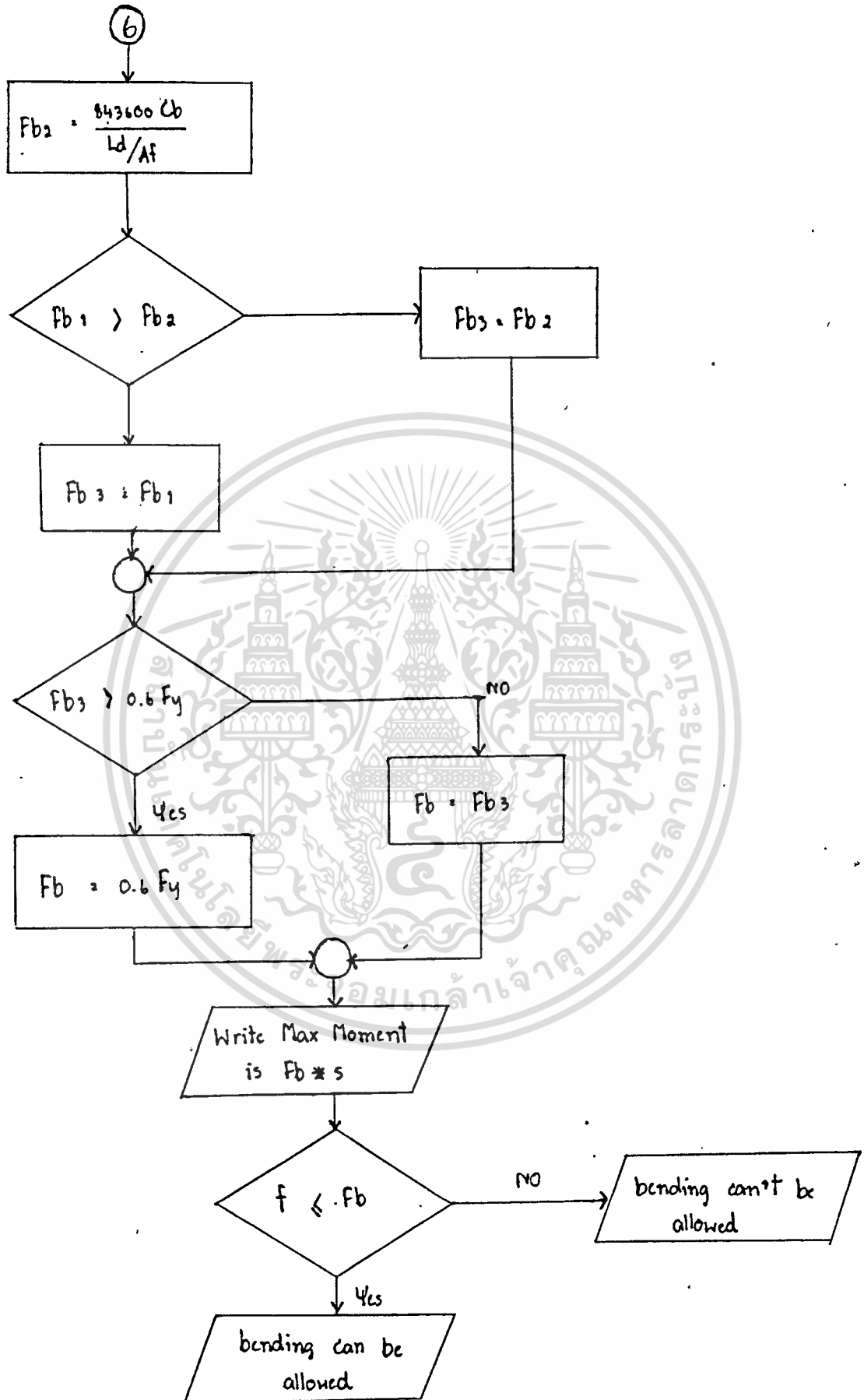
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



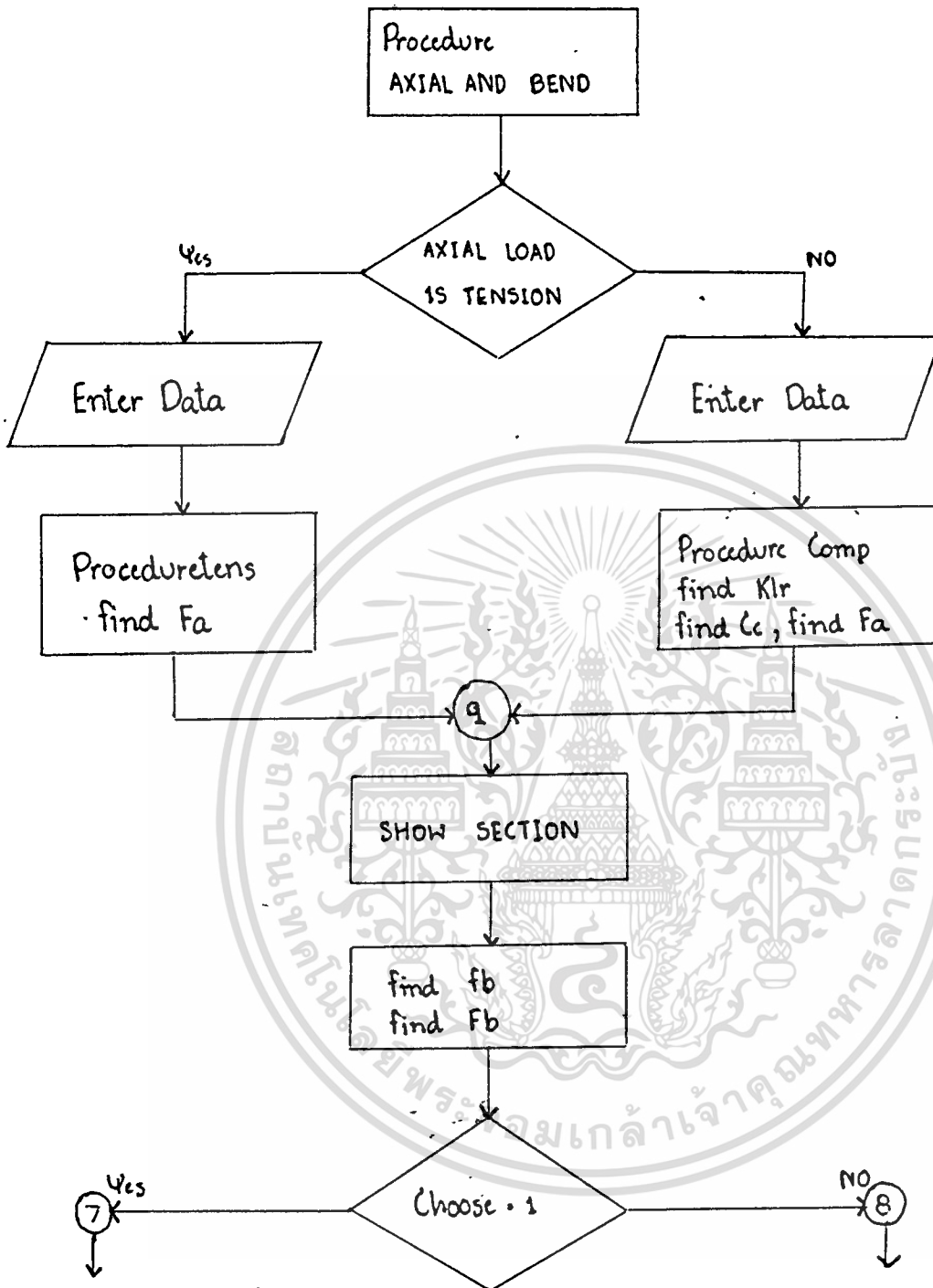
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 คำอธิบายขั้นตอนการใช้โปรแกรม

-เรียก steel

-จ่อจะขึ้น

MENU

1. TENSION
2. COMPRESSION
3. BENDING
4. AXIAL AND BENDING
5. EXIT

CHOOSE ONE :

-กดตัวเลขเลือก

- ออกแบบรับแรงดึง กด 1
- ออกแบบรับแรงอัด กด 2
- ออกแบบรับแรงดัด กด 3
- ออกแบบรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วม กด 4
- ออกจากโปรแกรม กด 5

3.2.1 ออกแบบรับแรงดึง

- FORCE THAT BE LOAD
- จ่อขึ้น 1. YIELD STRENGTH
- 2. ALLOWABLE STRENGTH

SELECT THE STEEL STRENGTH

เลือก STRENGTH ของเหล็กที่เราจะบอกเป็น

1. STRESS ณ จุดคดง
2. STRESS ที่ยอมให้

- จ่อขึ้น FILL IN THE STRENGTH
- ใส่ค่า STRENGTH
- ENTER LENGTH OF ELEMENT
- ใส่ ความยาวของชิ้นส่วน

- ENTER DATA ABOUT HOLE
 - DIAMETER OF HOLE ใส่เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ
 - THICKNESS OF HOLE ใส่ความหนาของรูเจาะ
 - NUMBER OF LINE ใส่จำนวนแถวของรูเจาะ
- จอขึ้น ORDINARY OF LINE
 - 1. STRAIGHT LINE
 - 2. ZIGZAG
- SELECT
 - เลือกชนิดการเรียงของรูเจาะ
 - เส้นตรง (1)
 - แนวทะแยง (2)
 - จอขึ้น CHANGE DATA ; Y OR N
 - แก้ไขข้อมูล กด Y
 - ข้อมูลถูกต้อง กด N
 - ตัวเลือกแนวทะแยง
 - จะวาดรูป
 - ENTER DISTANCE BETWEEN HOLE <PITCH>
 - ใส่ระยะห่างระหว่างรู ในแนวที่ขนานกับแรงดึง
 - ENTER DISTANCE BETWEEN LINE <GAGE>
 - ใส่ระยะห่างระหว่างรูเจาะแนวตั้งฉากกับแรง
 - จอขึ้น APPROXIMATE AREA IS
 - หมายถึงค่าประมาณ ของหน้าตัดเหล็กที่ต้องการ
 - ให้เลือกชนิดหน้าตัด

1) WF	2) H-PILE	3) I
4) EQUAL ANGLE	5) UNEQUAL ANGLE	6) CHANNELS
7) SQUARE, RECTANGULAR TUBE		

- เมื่อเลือกชนิดหน้าตัด จะแสดงขนาดหน้าตัด แล้วจึงให้เลือกขนาดหน้าตัดโดยดูจากหน้าตัดที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า ที่โปรแกรมประมาณไว้
- โปรแกรมจะขึ้น
THE MAXIMUM CAPACITY IS
และบอกว่า ชิ้นส่วนนี้ใช้ได้หรือไม่
- ถ้าหน้าตัดที่เลือกไม่สามารถใช้ได้ จะต้องกด ENTER เพื่อโปรแกรมจะได้เรียกหน้าตัดที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรวจสอบว่าใช้ได้หรือไม่



3.2.2 ออกแบบรับแรงอัด

- จอขึ้น ENTER YIELD STRENGTH OF STEEL
ใส่ กำลังของเหล็ก ณ จุดคดงอ
- ELASTICITY ใส่โมดูลัสยืดหยุ่น
- ENTER LOAD THAT BE USE
ใส่ น้ำหนักที่จะกระทำต่อชิ้นส่วน
- APPROXATE AREA IS
หมายถึงค่าประมาณของพื้นที่หน้าตัด
- THE TYPE OF FIXING
 1. FIX, FIX
 2. FIX, PIN
 3. FIX, ROLLER
 4. PIN, PIN
 5. FIX, FREE
 6. PIN, ROLLER
 7. ENTER

SELECT.

เลือกรูปแบบของการยึดปลาย

ยึดแน่น, ยึดแน่น (1)

ยึดแน่น, หมุด (2)

ยึดแน่น, ล้อเลื่อน (3)

หมุด, หมุด (4)

ยึดแน่น, อิสระ (5)

หมุด, ล้อเลื่อน (6)

ใส่ค่าของ K เอง (7)

LENGTH L_x ความยาวชิ้นส่วนแกน X

L_y ความยาวชิ้นส่วนแกน Y

- จอขึ้น CHANGE DATA ;Y OR N
 - แก้ไขข้อมูล กด Y
 - ข้อมูลถูกต้อง กด N
- ให้เลือกชนิดหน้าตัด

1) WF	2) H-PILE	3) I
4) EQUAL ANGLE	5) UNEQUAL ANGLE	6) CHANNELS
7) SQUARE, RECTANGULAR TUBE		
- เมื่อเลือกชนิดหน้าตัด จะแสดงขนาดหน้าตัด แล้วจึงให้เลือกขนาดหน้าตัดโดยดูจากหน้าตัดที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า ที่โปรแกรมประมาณไว้
- โปรแกรมจะขึ้น
THE MAXIMUM CAPACITY IS
และบอกว่า ชิ้นส่วนนี้ใช้ได้หรือไม่
- ถ้าหน้าตัดที่เลือกไม่สามารถใช้ได้ จะต้องกด ENTER เพื่อโปรแกรมจะได้เรียกหน้าตัดที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรวจสอบว่าใช้ได้หรือไม่

3.2.3 ออกแบบรับแรงดัดและแรงเฉือน

- จอขึ้น ENTER YIELD STRENGTH OF STEEL
ใส่ กำลังจุดกลางของเหล็ก
- จอขึ้น ENTER MAXIMUM MOMENT IN BEAM
ใส่ โมเมนต์สูงสุดในคาน
- จอขึ้น ENTER MAXIMUM SHEAR IN BEAM
ใส่ แรงเฉือนสูงสุดในคาน
- จอขึ้น ENTER MAXIMUM REACTION IN BEAM
ใส่ แรงปฏิกิริยาสูงสุดในคาน
- APPROXIMATE MODULUS OF SECTION IS...
โปรแกรมจะขอ ค่าประมาณของ โมดูลัสหน้าตัดที่ตัวคาน
- ELASTICITY ใส่โมดูลัสยืดหยุ่น
- DISTANCE OF BRACINE ใส่ระยะทางที่ค้ำยัน
- LENGTH OF STEEL AT SUPPORT ใส่ความยาวเหล็กรองรับหัวเสา
- LENGTH BETWEEN SUPPORT ใส่ระยะห่างของจุดปลาย
- จอขึ้น CHANGE DATA ; Y OR N
 - แก้ไขข้อมูล กด Y
 - ข้อมูลถูกต้อง กด N
- ให้เลือกชนิดหน้าตัด

1) WF	2) H-PILE	3) I
4) EQUAL ANGLE	5) UNEQUAL ANGLE	6) CHANNELS
7) SQUARE, RECTANGULAR TUBE		
- เมื่อเลือกชนิดหน้าตัด จะแสดงขนาดหน้าตัด แล้วจึงให้เลือกขนาดหน้าตัดโดยดูจากหน้าตัดที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า ที่โปรแกรมประมาณไว้

ช่วงนี้จะแยกเป็น 2 กรณี

- กรณีแรก ระยะค้ำยัน $< 637.2 b_f / \sqrt{F_y}$
- โปรแกรมจะขอ MAX MOMENT THAT CAN BE ALLOWED IS

ถ้าโปรแกรมบอกว่า " THE BENDING CAN BE ALLOWED " แสดงว่าใช้ได้
 ถ้าโปรแกรมบอกว่า " THIS STEEL IS TOO SMALL " แสดงว่าใช้ไม่ได้

- กรณีที่สอง ระยะค้ำยัน $> 637.2 b_f / \sqrt{F_y}$

โปรแกรมถาม " ENTER LENGTH OF BEAM " ใส่ความยาวของคาน
 โปรแกรมจะให้เริ่มใส่โมเมนต์ในคาน

END MOMENT	MAX MOMENT	END MOMENT
A	B	C
C	D	E

A B C D E

A, C, E เป็น โมเมนต์ปลายช่วงที่มีการค้ำยัน

B, D เป็น โมเมนต์มากที่สุดในช่วงนั้น ๆ ที่ไม่มีค้ำยัน

หลังจากนั้น โปรแกรมจะบอกว่าใช้ได้หรือไม่

- ตรวจสอบ

โปรแกรมจะบอกว่า " DIAGONAL WEB BUCKLING CAN'T BE ALLOWED "

ในกรณีที่เกิดการโก่งของเหล็กแผ่นตั้งในแนวทแยง

โปรแกรมจะบอกว่า " WEB CRIPPLING CAN'T BE ALLOWED "

ในกรณีที่เกิดการยุบของเหล็กแผ่นตั้งที่จุดรองรับ

โปรแกรมจะบอก " WEB BUCKLING CAN'T BE ALLOWED "

ในกรณีที่เกิดการโก่งของเหล็กแผ่นตั้งที่จุดรองรับ

โปรแกรมจะบอก " SHEAR STRESS CAN'T BE ALLOWED "

ในกรณีที่เกิดแรงเฉือนเกินข้อกำหนด

โปรแกรมจะบอกว่า " DEFLECTION CAN'T BE ALLOWED "

ในกรณีที่เกิดการโก่งของเหล็กเกินข้อกำหนด

- ถ้าหน้าตัดที่เลือกไม่สามารถใช้ได้ จะต้องกด ENTER เพื่อโปรแกรมจะได้เรียกหน้าตัดที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรวจสอบว่าใช้ได้หรือไม่

3.2.4 ออกแบบรับแรงแนวแกนและแรงตัดร่วมกัน

- จอขึ้น ENTER YIELD STRENGTH OF STEEL
ใส่ กำลังจุดกลางของเหล็ก
- จอขึ้น 1. COMPRESSION
2. TENSION

CHOOSE CASE OF AXIAL LOAD

เลือกกรณีของแรงในแนวแกน แรงอัด(1) แรงดึง(2)

- จอขึ้น ENTER LOAD THAT BE USE
ใส่ น้ำหนักที่จะกระทำต่อชิ้นส่วน

- APPROXIMATE AREA IS

หมายถึงค่าประมาณของพื้นที่หน้าตัด

- ELASTICITY ใส่โมดูลัสยืดหยุ่น
- DISTANCE OF BRACING ใส่ระยะทางที่ค้ำยัน

- LENGTH L_x ความยาวชิ้นส่วนแกน X
 L_y ความยาวชิ้นส่วนแกน Y

- จอขึ้น CHANGE DATA ; Y OR N
 - แก้ไขข้อมูล กด Y
 - ข้อมูลถูกต้อง กด N

ช่วงนี้จะแยกเป็น 2 กรณี

-กรณีแรก แรงอัด

จอขึ้น THE TYPE OF FIXING

1. FIX, FIX
2. FIX, PIN
3. FIX, ROLLER
4. PIN, PIN
5. FIX, FREE
6. PIN, ROLLER
7. ENTER

SELECT.

เลือกรูปแบบของการยึดปลาย

- ยึดแน่น, ยึดแน่น (1)
- ยึดแน่น, หมุด (2)
- ยึดแน่น, ล้อเลื่อน (3)
- หมุด, หมุด (4)
- ยึดแน่น, อีสระ (5)
- หมุด, ล้อเลื่อน (6)
- ใส่ค่าของ K เอง (7)

-กรณีทีล่อง แรงดึง

- ENTER DATA ABOUT HOLE
DIAMETER OF HOLE ใส่เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ
NUMBER OF LINE ใส่จำนวนแถวของรูเจาะ

- จอขึ้น ORDINARY OF LINE

1. STRAIGHT LINE
2. ZIGZAG

SELECT

เลือกชนิดการเรียงของรูเจาะ

- เส้นตรง (1)
- แนวทะแยง (2)
- ตัวเลือกระหว่างแนวทะแยง

จะวาดรูป

ENTER DISTANCE BETWEEN HOLE <PITCH>

ใส่ระยะห่างระหว่างรู ในแนวที่ขนานกับแรงดึง

ENTER DISTANCE BETWEEN LINE <GAGE>

ใส่ระยะห่างระหว่างรูเจาะแนวตั้งฉากกับแรง

หลังจากนั้นจะกลับมาสู่แรงตัด

- ENTER END MOMENT

FIRST

SECOND

A

B

A

B

- ให้เลือกชนิดหน้าตัด

1) WF

2) H-PILE

3) I

4) EQUAL ANGLE

5) UNEQUAL ANGLE

6) CHANNELS

7) SQUARE, RECTANGULAR TUBE

- เมื่อเลือกชนิดหน้าตัด จะแสดงขนาดหน้าตัด แล้วจึงให้เลือกขนาดหน้าตัดโดยดูจากหน้าตัดที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า ที่โปรแกรมประมาณไว้
- จอจะขึ้นว่าชิ้นส่วนนี้ใช้ได้หรือไม่
- โปรแกรมจะบอกว่า "DEFLECTION CAN'T BE ALLOWED" ในกรณีที่เกิดการโก่งของเหล็กเกินข้อกำหนด
- ถ้าหน้าตัดที่เลือกไม่สามารถใช้ได้ จะต้องกด ENTER เพื่อโปรแกรมจะได้เรียกหน้าตัดที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรวจสอบว่าใช้ได้หรือไม่

3.3 การเพิ่มข้อมูลเกี่ยวกับหน้าตัดเหล็ก

ในการใช้โปรแกรมอาจจะต้องการใช้เหล็กนอกเหนือจากที่ผู้จัดทำโปรแกรมได้ใส่ข้อมูลไว้ ผู้ใช้จะสามารถเพิ่มข้อมูลชนิดหน้าตัดเหล็กได้ดังนี้

3.3.1 วิธีป้อนข้อมูลเกี่ยวกับหน้าตัดเหล็กเพิ่ม

- 1) เรียกโปรแกรม STEEL22.PAS
- 2) โปรแกรมจะถามชื่อ ไฟล์ ใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการ
- 3) ป้อนข้อมูล ตามลำดับ
 - ชื่อหน้าตัด
 - ลำดับที่
 - ขนาดหน้าตัดต่าง ๆ
- 4) เมื่อป้อนข้อมูลสุดท้าย ให้กด SPACE BAR

3.3.2 วิธีตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับหน้าตัดที่ป้อนไว้

- 1) เรียกโปรแกรม STEEL23.PAS
- 2) โปรแกรมจะถามชื่อ ไฟล์ ใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการตรวจสอบ
- 3) โปรแกรมจะแสดงหน้าตัดทีละตัว กด ENTER เพื่อดูหน้าตัดตัวต่อไป

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

การศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ ได้ใช้ภาษาปาสคาลในการเขียนโปรแกรม ส่วนในด้านทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ได้ทำการตรวจสอบความสามารถของโครงสร้างในการรับแรงดึงหรือแรงอัดตามแนวแกน การรับแรงดัด การรับแรงเฉือน และการรับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วมกัน ตามมาตรฐานของ AISC ซึ่งได้กำหนดอัตราส่วนขดลวด ลักษณะการยึดปลาย ช่วงความยาวประสิทธิผล การตกหรือการโก่งของคาน ความต้านทานของคานต่อการโก่งทางด้านข้าง สำหรับขั้นตอนในการใช้โปรแกรม ผู้ใช้เพียงแต่ใส่โมเมนต์ดัดหรือแรงกระทำต่อโครงสร้าง ใส่กำลังจุดคานของเหล็ก (F_y) และเลือกชนิดและขนาดของเหล็ก รูปพรรณซึ่งในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้บรรจุคุณสมบัติต่างๆ ไว้เรียบร้อยแล้ว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างตามมาตรฐาน AISC หากผลการตรวจสอบปรากฏว่าโครงสร้างสามารถรับแรงกระทำดังกล่าวได้คอมพิวเตอร์จะแสดงผลทางหน้าจอ แต่หากว่าโครงสร้างไม่สามารถรับแรงได้ คอมพิวเตอร์ก็จะเลือกขนาดของเหล็กรูปพรรณที่ใหญ่กว่าเดิมแล้วทำการตรวจสอบใหม่จนกว่าจะได้ขนาดของโครงสร้างที่สามารถรับแรงกระทำดังกล่าวได้ ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมเกิดความสะดวกโดยไม่ต้องเสียเวลาเลือกขนาดเหล็กรูปพรรณอีก

4.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาริเริ่มการออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมยังมีเงื่อนไขจำกัดอยู่บ้าง จึงควรจะมีการพัฒนาให้โปรแกรมดีขึ้นดังนี้

- 1) ควรพัฒนาให้มีความสมบูรณ์แบบ คือสามารถออกแบบโดยเริ่มจากใส่น้ำหนักที่กระทำหรือสามารถวิเคราะห์แรงภายในที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่ต้องใช้โปรแกรม M-FEAP หรือวิเคราะห์โครงสร้างมาก่อน
- 2) ควรพัฒนาให้สามารถเก็บข้อมูลไว้ได้
- 3) ควรมีการพัฒนาให้ออกแบบได้ทั้งในโครงสร้างที่มีการเซ



หนังสืออ้างอิง

1. สนั่น เจริญเฝ้า และ วิจิตร ช่อวิเชียร : การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก 2530
2. Breeler B. , Lin T.Y , and Scalzi J.B . : Design of Steel Structures , 2nd Ed , John Wiley and Sons , New York , 1968
3. Marcus S.H. , Basics of Structural Steel Design , 2nd Ed , 1981



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

- สัญลักษณ์ในโปรแกรม
- โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ในโปรแกรม

A	:	เนื้อที่หน้าตัด
a1	:	เนื้อที่รูเจาะ
aa	:	ความยาวของเหล็กทรงใต้คาน
bf	:	ความกว้างของปีกคาน
Cc	:	$\sqrt{2\pi^2 E/F_y}$
choice	:	ตัวเลือก
d	:	ความลึกของหน้าตัด
da	:	ขนาดรูเจาะ
De	:	การโค้ง
E	:	โมดูลัสยืดหยุ่น
F	:	ความเค้นของเหล็ก
Fa	:	ความเค้นของเหล็กที่ยอมให้
Fb	:	หน่วยแรงดัดที่ยอมให้
finame	:	ชื่อไฟล์
Fy	:	ความเค้น ณ จุดคลาก
g	:	ระยะ gage
garea	:	เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ
lx, ly	:	โมเมนต์อินเนอร์เซีย
Kx, Ky	:	ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิภาพ
l, Lx, Ly	:	ความยาวของชิ้นส่วน
la	:	ระยะค้ำยัน
Ma, Mb, Mc	:	โมเมนต์ดัด
Mmax	:	โมเมนต์ดัดมากที่สุด
n1	:	ตัวเลือกชนิดหน้าตัด
n2	:	ตัวเลือกขนาดหน้าตัด
na, name	:	ชื่อหน้าตัดเหล็ก

n_u	:	จำนวนแถวรูเจาะ
P	:	น้ำหนักรูที่กระทำ
P_m	:	น้ำหนักรูที่รับได้
r, r_x, r_y	:	รัศมีใจเรขาคณิต
R	:	แรงปฏิกิริยา
r_t	:	รัศมีใจเรขาคณิตรอบแกนเหล็กแผ่นตั้ง (ประมาณ $0.26 * b_f$)
r_w	:	$0.29 * t_w$
s	:	ระยะ pitch
S_x, S_y	:	โมเมนต์ของหน้าตัด
Select	:	ตัวเลือก
t_f	:	ความหนาปีกคาน
t_w	:	ความหนาเหล็กแผ่นตั้ง
V	:	แรงเฉือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program steel;
uses crt;
const maxx=300;
type NameT = string[20];
      datarect = Record
          num : integer;
          name : NameT;
          d : real;
          bf : real;
          tw : real;
          tf : real;
          rf : real;
          a : real;
          ix : real;
          iy : real;
      end;
      Fitype = File of datarect;
      moment=array[1..maxx,1..3] of real;

var datafi :Fitype;
    m : moment;n1,n2:integer;
    d,bf,t1,tf,tw,ix,iy,a,rf:real;
    na:string[20];
    filename : string;

```

```

procedure showmenu;

```

```

begin

```

```

    clrscr;

```

```

    writeln;

```

```

    writeln('                MENU');

```

```

    writeln;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

writeln('          1.TENSION');
writeln('          2.COMPRESSION');
writeln('          3.BENDING');
writeln('          4.AXIAL LOAD WITH BENDING');
writeln('          5.EXIT');
writeln;
WRITE(' CHOOSE ONE OF THOSE:');
end;

```

```

procedure shows(var n1,n2:integer;var finame : string);

```

```

begin

```

```

writeln('1) WF          2) H PILE          3) I          ');
writeln('4) EQUAL ANGLES  5) UNEQUAL ANGLES  6) CHANELS ');
writeln('7) SQUARE,RECTANGULAR TUBE ');
write('CHOOSE TYPE OF SECTION : ');readln(n1);
clrscr;

```

```

gotoxy(4,2);write('Name');gotoxy(16,2);write('AREA:cm^2');
gotoxy(30,2);write('S:cm^4');gotoxy(46,2);
write('Name');gotoxy(59,2);write('AREA:cm^2');gotoxy(71,2);
write('S:cm^4');

```

```

if n1=1 then

```

```

begin

```

```

gotoxy(2,3);write('1)100*7.8');gotoxy(17,3);write('9.941');
gotoxy(31,3);write('32.6');gotoxy(44,3);write('2)100*9.3');
gotoxy(60,3);write('11.85');gotoxy(72,3);write('37.5');
gotoxy(2,4);write('3)125*10.5');gotoxy(17,4);write('13.39');
gotoxy(31,4);write('54.9');gotoxy(44,4);write('4)125*13.2');
gotoxy(60,4);write('16.84');gotoxy(72,4);write('66.1');
gotoxy(2,5);write('5)100*17.2');gotoxy(17,5);write('21.9');
gotoxy(31,5);write('76.5');gotoxy(44,5);write('6)150*17.4');
gotoxy(60,5);write('22.12');gotoxy(72,5);write('109');
gotoxy(2,6);write('7)125*23.8');gotoxy(17,6);write('30.31');
gotoxy(31,6);write('136');gotoxy(44,6);write('8)148*21.1');

```

```
gotoxy(60,6);write('26.84');gotoxy(72,6);write('138');
gotoxy(2,7);write('9)175*20.7');gotoxy(17,7);write('26.32');
gotoxy(31,7);write('154');gotoxy(44,7);write('10)169*23.3');
gotoxy(60,7);write('29.65');gotoxy(72,7);write('181');
gotoxy(2,8);write('11)200*21.3');gotoxy(17,8);write('27.16');
gotoxy(31,8);write('184');gotoxy(44,8);write('12)150*31.5');
gotoxy(60,8);write('40.14');gotoxy(72,8);write('219');
gotoxy(2,9);write('13)171*32.8');gotoxy(17,9);write('41.74');
gotoxy(31,9);write('269');gotoxy(44,9);write('14)194*30.6');
gotoxy(60,9);write('39.01');gotoxy(72,9);write('277');
gotoxy(2,10);write('15)250*29.6');gotoxy(17,10);write('37.66');
gotoxy(31,10);write('324');gotoxy(44,10);write('16)175*40.2');
gotoxy(60,10);write('51.21');gotoxy(72,10);write('330');
gotoxy(2,11);write('17)196*41.4');gotoxy(17,11);write('52.69');
gotoxy(31,11);write('392');gotoxy(44,11);write('18)200*49.9');
gotoxy(60,11);write('63.53');gotoxy(72,11);write('472');
gotoxy(2,12);write('19)300*36.7');gotoxy(17,12);write('46.78');
gotoxy(31,12);write('481');gotoxy(44,12);write('20)244*44.1');
gotoxy(60,12);write('56.24');gotoxy(72,12);write('502');
gotoxy(2,13);write('21)294*56.8');gotoxy(17,13);write('72.38');
gotoxy(31,13);write('771');gotoxy(44,13);write('22)350*49.6');
gotoxy(60,13);write('63.14');gotoxy(72,13);write('775');
gotoxy(2,14);write('23)248*66.5');gotoxy(17,14);write('84.7');
gotoxy(31,14);write('801');gotoxy(44,14);write('24)250*72.4');
gotoxy(60,14);write('92.18');gotoxy(72,14);write('867');
gotoxy(2,15);write('25)400*66');gotoxy(17,15);write('84.12');
gotoxy(31,15);write('1190');gotoxy(44,15);write('26)298*87');
gotoxy(60,15);write('110.8');gotoxy(72,15);write('1270');
gotoxy(2,16);write('27)340*79.7');gotoxy(17,16);write('101.5');
gotoxy(31,16);write('1280');gotoxy(44,16);write('28)300*94');
gotoxy(60,16);write('119.8');gotoxy(72,16);write('1360');
gotoxy(2,17);write('29)450*76');gotoxy(17,17);write('96.76');
gotoxy(31,17);write('1490');gotoxy(44,17);write('30)500*89.7');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(60,17);write('114.2');gotoxy(72,17);write('1910');
gotoxy(2,18);write('31)344*115');gotoxy(17,18);write('146');
gotoxy(31,18);write('1940');gotoxy(44,18);write('32)390*107');
gotoxy(60,18);write('136');gotoxy(72,18);write('1980');
gotoxy(2,19);write('33)350*136');gotoxy(17,19);write('173.9');
gotoxy(31,19);write('2300');gotoxy(44,19);write('34)440*124');
gotoxy(60,19);write('157.4');gotoxy(72,19);write('2550');
gotoxy(2,20);write('35)600*106');gotoxy(17,20);write('134.4');
gotoxy(31,20);write('2590');gotoxy(44,20);write('36)394*147');
gotoxy(60,20);write('186.8');gotoxy(72,20);write('2850');
gotoxy(2,21);write('37)488*128');gotoxy(17,21);write('163.5');
gotoxy(31,21);write('2590');gotoxy(44,21);write('38)400*172');
gotoxy(60,21);write('218.7');gotoxy(72,21);write('3330');
gotoxy(2,22);write('39)588*151');gotoxy(17,22);write('192.5');
gotoxy(31,22);write('4020');writeln;
write('CHOOSE SECTION: ');
repeat readln(n2); until n2 <= 39; finame := 'wf.01';
end
else
  if n1=2 then
begin
gotoxy(2,3);write('1)200*56.2');gotoxy(17,3);write('71.53');
gotoxy(31,3);write('498');gotoxy(44,3);write('2)244*64.4');
gotoxy(60,3);write('82.06');gotoxy(72,3);write('720');
gotoxy(2,4);write('3)250*82.2');gotoxy(17,4);write('104.7');
gotoxy(31,4);write('919');gotoxy(44,4);write('4)294*84.5');
gotoxy(60,4);write('107.7');gotoxy(72,4);write('1150');
gotoxy(2,5);write('5)300*106');gotoxy(17,5);write('134.8');
gotoxy(31,5);write('1440');gotoxy(44,5);write('6)338*106');
gotoxy(60,5);write('135.3');gotoxy(72,5);write('1670');
gotoxy(2,6);write('7)344*131');gotoxy(17,6);write('166.6');
gotoxy(31,6);write('2050');gotoxy(44,6);write('8)350*156');
gotoxy(60,6);write('198.4');gotoxy(72,6);write('2450');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(2,7);write('9)388*140');gotoxy(17,7);write('178.5');
gotoxy(31,7);write('2520');gotoxy(44,7);write('10)394*168');
gotoxy(60,7);write('214.4');gotoxy(72,7);write('3030');
gotoxy(2,8);write('11)400*197');gotoxy(17,8);write('250.7');
gotoxy(31,8);write('3540');writeln;
write('CHOOSE SECTION: ');
repeat readln(n2); until n2 <= 11; filename := 'H-PILES.01';
end
else
  if n1=3 then
    begin
gotoxy(2,3);write('1)125*16.1');gotoxy(17,3);write('20.45');
gotoxy(31,3);write('86.4');gotoxy(44,3);write('2)150*17.1');
gotoxy(60,3);write('21.83');gotoxy(72,3);write('109');
gotoxy(2,4);write('3)200*26');gotoxy(17,4);write('33.06');
gotoxy(31,4);write('218');gotoxy(44,4);write('4)200*50.4');
gotoxy(60,4);write('64.14');gotoxy(72,4);write('449');
gotoxy(2,5);write('5)250*38.3');gotoxy(17,5);write('48.79');
gotoxy(31,5);write('415');gotoxy(44,5);write('6)250*55.5');
gotoxy(60,5);write('70.73');gotoxy(72,5);write('587');
gotoxy(2,6);write('7)300*48.3');gotoxy(17,6);write('61.58');
gotoxy(31,6);write('633');gotoxy(44,6);write('8)300*65.5');
gotoxy(60,6);write('83.47');gotoxy(72,6);write('849');
gotoxy(2,7);write('9)300*76.8');gotoxy(17,7);write('97.88');
gotoxy(31,7);write('981');gotoxy(44,7);write('10)350*58.5');
gotoxy(60,7);write('74.58');gotoxy(72,7);write('871');
gotoxy(2,8);write('11)350*87.2');gotoxy(17,8);write('111.1');
gotoxy(31,8);write('1280');gotoxy(44,8);write('12)400*72');
gotoxy(60,8);write('91.73');gotoxy(72,8);write('1200');
gotoxy(2,9);write('13)400*95.8');gotoxy(17,9);write('122.1');
gotoxy(31,9);write('1530');gotoxy(44,9);write('14)450*91.7');
gotoxy(60,9);write('116.8');gotoxy(72,9);write('1740');
gotoxy(2,10);write('15)450*115');gotoxy(17,10);write('146.1');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(31,10);write('2170');gotoxy(44,10);write('16)600*133');
gotoxy(60,10);write('169.4');gotoxy(72,10);write('3270');
gotoxy(2,11);write('17)600*176');gotoxy(17,11);write('224.5');
gotoxy(31,11);write('4330');writeln;
    write('CHOOSE SECTION: ');
    repeat readln(n2); until n2 <= 17; finame := 'I-BEAM.01';
end
else
if n1=4 then
begin
gotoxy(2,3);write('1)50*50*4');gotoxy(17,3);write('3.89');
gotoxy(31,3);write('2.49');gotoxy(44,3);write('2)50*50*6');
gotoxy(60,3);write('5.64');gotoxy(72,3);write('3.55');
gotoxy(2,4);write('3)60*60*5');gotoxy(17,4);write('5.8');
gotoxy(31,4);write('4.52');gotoxy(44,4);write('4)65*65*6');
gotoxy(60,4);write('7.53');gotoxy(72,4);write('6.27');
gotoxy(2,5);write('5)70*70*6');gotoxy(17,5);write('8.13');
gotoxy(31,5);write('7.33');gotoxy(44,5);write('6)75*75*6');
gotoxy(60,5);write('8.73');gotoxy(72,5);write('8.47');
gotoxy(2,6);write('7)80*80*6');gotoxy(17,6);write('9.33');
gotoxy(31,6);write('9.7');gotoxy(44,6);write('8)65*65*8');
gotoxy(60,6);write('9.76');gotoxy(72,6);write('7.97');
gotoxy(2,7);write('9)65*65*10');gotoxy(17,7);write('12');
gotoxy(31,7);write('9.79');gotoxy(44,7);write('10)90*90*7');
gotoxy(60,7);write('12.22');gotoxy(72,7);write('14.2');
gotoxy(2,8);write('11)75*75*9');gotoxy(17,8);write('12.69');
gotoxy(31,8);write('12.1');gotoxy(44,8);write('12)100*100*7');
gotoxy(60,8);write('13.62');gotoxy(72,8);write('17.7');
gotoxy(2,9);write('13)75*75*12');gotoxy(17,9);write('16.56');
gotoxy(31,9);write('15.7');gotoxy(44,9);write('14)90*90*10');
gotoxy(60,9);write('17');gotoxy(72,9);write('19.5');
gotoxy(2,10);write('15)100*100*10');gotoxy(17,10);write('19');
gotoxy(31,10);write('24.4');gotoxy(44,10);write('16)90*90*13');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(60,10);write('21.71');gotoxy(72,10);write('24.8');
gotoxy(2,11);write('17)130*130*9');gotoxy(17,11);write('22.74');
gotoxy(31,11);write('38.7');gotoxy(44,11);write('18)100*100*13');
gotoxy(60,11);write('24.31');gotoxy(72,11);write('31.1');
gotoxy(2,12);write('19)130*130*12');gotoxy(17,12);write('29.76');
gotoxy(31,12);write('49.9');gotoxy(44,12);write('20)150*150*12');
gotoxy(60,12);write('34.77');gotoxy(72,12);write('68.2');
gotoxy(2,13);write('21)130*130*15');gotoxy(17,13);write('36.75');
gotoxy(31,13);write('61.5');gotoxy(44,13);write('22)150*150*15');
gotoxy(60,13);write('42.74');gotoxy(72,13);write('82.6');
gotoxy(2,14);write('23)150*150*19');gotoxy(17,14);write('53.38');
gotoxy(31,14);write('103');gotoxy(44,14);write('24)200*200*15');
gotoxy(60,14);write('57.75');gotoxy(72,14);write('150');
gotoxy(2,15);write('25)200*200*20');gotoxy(17,15);write('76');
gotoxy(31,15);write('197');gotoxy(44,15);write('26)200*200*25');
gotoxy(60,15);write('93.75');gotoxy(72,15);write('242');
gotoxy(2,16);write('27)200*200*29');gotoxy(17,16);write('107.6');
gotoxy(31,16);write('276');gotoxy(44,16);write('28)250*250*25');
gotoxy(60,16);write('119.4');gotoxy(72,16);write('388');
gotoxy(2,17);write('29)250*250*35');gotoxy(17,17);write('162.6');
gotoxy(31,17);write('519');writeln;
    write('CHOOSE SECTION: ');
    repeat readln(n2); until n2 <= 29; finame := 'EQ-L.01';
end
else
    if n1=5 then
begin
    gotoxy(2,3);write('1)90*75*6');gotoxy(17,3);write('9.627');
gotoxy(31,3);write('12.1');gotoxy(44,3);write('2)100*75*7');
gotoxy(60,3);write('11.87');gotoxy(72,3);write('17');
gotoxy(2,4);write('3)125*75*7');gotoxy(17,4);write('13.62');
gotoxy(31,4);write('26.1');gotoxy(44,4);write('4)90*75*9');
gotoxy(60,4);write('14.04');gotoxy(72,4);write('17.4');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(2,5);write('5)125*90*7');gotoxy(17,5);write('14.67');
gotoxy(31,5);write('26.9');gotoxy(44,5);write('6)100*75*10');
gotoxy(60,5);write('16.5');gotoxy(72,5);write('23.2');
gotoxy(2,6);write('7)125*75*9');gotoxy(17,6);write('17.19');
gotoxy(31,6);write('32.6');gotoxy(44,6);write('8)90*75*12');
gotoxy(60,6);write('18.36');gotoxy(72,6);write('22.6');
gotoxy(2,7);write('9)125*90*9');gotoxy(17,7);write('18.54');
gotoxy(31,7);write('33.6');gotoxy(44,7);write('10)125*75*10');
gotoxy(60,7);write('19');gotoxy(72,7);write('36.1');
gotoxy(2,8);write('11)125*90*9');gotoxy(17,8);write('20.5');
gotoxy(31,8);write('37.2');gotoxy(44,8);write('12)150*90*9');
gotoxy(60,8);write('20.94');gotoxy(72,8);write('48.2');
gotoxy(2,9);write('13)100*75*13');gotoxy(17,9);write('21.06');
gotoxy(31,9);write('29.7');gotoxy(44,9);write('14)150*100*9');
gotoxy(60,9);write('21.84');gotoxy(72,9);write('49');
gotoxy(2,10);write('15)125*75*13');gotoxy(17,10);write('24.31');
gotoxy(31,10);write('46.1');gotoxy(44,10);write('16)125*90*13');
gotoxy(60,10);write('26.26');gotoxy(72,10);write('47.5');
gotoxy(2,11);write('17)150*90*12');gotoxy(17,11);write('27.36');
gotoxy(31,11);write('62.3');gotoxy(44,11);write('18)150*100*12');
gotoxy(60,11);write('28.56');gotoxy(72,11);write('63.4');
gotoxy(2,12);write('19)150*90*15');gotoxy(17,12);write('33.75');
gotoxy(31,12);write('76.8');gotoxy(44,12);write('20)150*100*15');
gotoxy(60,12);write('35.25');gotoxy(72,12);write('78.2');writeln;
write('CHOOSE SECTION: ');
repeat readln(n2); until n2 <= 20; filename := 'UN-L.01';
end
else
  if n1=6 then
    begin
      gotoxy(2,3);write('1)100*9.36');gotoxy(17,3);write('11.92');
gotoxy(31,3);write('37.8');gotoxy(44,3);write('2)125*13.4');
gotoxy(60,3);write('17.11');gotoxy(72,3);write('68');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(2,4);write('3)150*18.6');gotoxy(17,4);write('23.71');
gotoxy(31,4);write('115');gotoxy(44,4);write('4)150*24');
gotoxy(60,4);write('30.59');gotoxy(72,4);write('140');
gotoxy(2,5);write('5)180*21.4');gotoxy(17,5);write('27.2');
gotoxy(31,5);write('154');gotoxy(44,5);write('6)200*24.6');
gotoxy(60,5);write('31.33');gotoxy(72,5);write('195');
gotoxy(2,6);write('7)200*30.3');gotoxy(17,6);write('38.65');
gotoxy(31,6);write('249');gotoxy(44,6);write('8)230*33.1');
gotoxy(60,6);write('42.14');gotoxy(72,6);write('304');
gotoxy(2,7);write('9)250*34.6');gotoxy(17,7);write('44.07');
gotoxy(31,7);write('335');gotoxy(44,7);write('10)250*40.2');
gotoxy(60,7);write('51.17');gotoxy(72,7);write('375');
gotoxy(2,8);write('11)300*38.1');gotoxy(17,8);write('48.57');
gotoxy(31,8);write('429');gotoxy(44,8);write('12)300*43.8');
gotoxy(60,8);write('55.74');gotoxy(72,8);write('494');
gotoxy(2,9);write('13)300*48.6');gotoxy(17,9);write('61.9');
gotoxy(31,9);write('525');gotoxy(44,9);write('14)380*54.5');
gotoxy(60,9);write('69.39');gotoxy(72,9);write('762');
gotoxy(2,10);write('15)380*67.3');gotoxy(17,10);write('85.71');
gotoxy(31,10);write('924');writeln;
    write('CHOOSE SECTION: ');
    repeat readln(n2); until n2 <= 15; filename := 'CHA.01';
end
else
    if n1=7 then
        begin
            gotoxy(2,3);write('1)50*50*1.6');gotoxy(17,3);write('3.032');
            gotoxy(31,3);write('4.68');gotoxy(44,3);write('2)50*50*2.3');
            gotoxy(60,3);write('4.252');gotoxy(72,3);write('6.34');
            gotoxy(2,4);write('3)60*60*2.3');gotoxy(17,4);write('5.172');
            gotoxy(31,4);write('9.44');gotoxy(44,4);write('4)75*75*2.3');
            gotoxy(60,4);write('6.552');gotoxy(72,4);write('15.2');
            gotoxy(2,5);write('5)100*50*2.3');gotoxy(17,5);write('6.552');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(31,5);write('17');gotoxy(44,5);write('6)75*75*3.2');
gotoxy(60,5);write('8.927');gotoxy(72,5);write('22.5');
gotoxy(2,6);write('7)90*90*2.3');gotoxy(17,6);write('7.932');
gotoxy(31,6);write('22.4');gotoxy(44,6);write('8)100*50*3.2');
gotoxy(60,6);write('8.927');gotoxy(72,6);write('22.5');
gotoxy(2,7);write('9)90*90*3.2');gotoxy(17,7);write('10.85');
gotoxy(31,7);write('29.9');writeln;
    write('CHOOSE SECTION: ');
    repeat readln(n2); until n2 <= 9; filename := 'TUBE.01';
end
else
begin
write('CHOOSE SECTION: ');readln(n2);
end;
end;

procedure section(var datafi : Fitype;var n2:Integer;
var filename : string;var datarec : datarect);
var done:boolean;
begin
assign(datafi,filename);
{$I-} reset(datafi); {$I+}
if ioresult =0 then
begin
done:=false;
while not eof(datafi) and not done do
begin
read(datafi,datarec);
if datarec.num=n2 then
done:= true;
end;
end;
end;
end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure zigzag(var s,g:real);
var      x,y:integer;si:char;
begin
  clrscr;
  gotoxy(40,5);write('*');
  gotoxy(45,7);write('*');
  gotoxy(40,9);write('*');
  gotoxy(35,3);for x:=1 to 35 do write(chr(205));
  gotoxy(34,3);write(chr(213));gotoxy(40,4);write(chr(179));
  gotoxy(42,4);write('p');gotoxy(45,4);write(chr(179));
  for y:=4 to 10 do begin gotoxy(34,y);write(chr(179));end;
  gotoxy(37,5);write(chr(205));gotoxy(37,6);write('g');
  gotoxy(37,8);write('g'); gotoxy(37,9);write(chr(205));
  gotoxy(34,11);write(chr(212));
  gotoxy(35,11);for x:=1 to 35 do write(chr(205));
  writeln;writeln;writeln;
  repeat
  write('  DISTANCE BETWEEN HOLE (PITCH):cm:');readln(s);
  write('  DISTANCE BETWEEN LINE (GAGE):cm:');readln(g);
  write('CHANGE DATA ;Y,N ');readln(si);
  until si ='n';
  end;

```

```

procedure tension;
var      P,Pm,F,Fa,Ft,t,da,a1,l,I,s,g,r,garea:real;
         choice,select,ans,si:char;
         nu:integer;
         datarec : datarect;

begin
  clrscr;
  repeat
  write('      FORCE THAT BE LOAD    (kg.)  ');readln(P);
  writeln;writeln;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

writeln('          1.YEILD STRENGTH ') ;
writeln('          2.ALLOWABLE STRENGTH');
write('    SELECT THE STEEL STRENGTH:');READLN(CHOICE);
writeln;
write('    FILL IN THE STRENGTH (kg/cm^2):');readln(F);
        case choice of
            '1': Ft:=F;
            '2': Fa:=F;
        end;
    if F=Ft then
        Fa:=0.6*Ft
    else
        Fa:=Fa;
writeln;
write('ENTER LENGTH OF ELEMENT (cm) ');readln(l);
writeln('    ENTER DATA ABOUT HOLES ');
write('    DAIMETER OF HOLE (cm):');readln(da);
write('    NUMBER OF LINE:');readln(nu);
writeln;
writeln('    ORDINARY OF LINE:');
writeln('    1.STRAIGHT LINE');
writeln('    2.ZIGZAG ');
write(' SELECT: ');readln(select);
write('CHANGE DATA ;Y,N ');readln(si);
until si ='n';
    if select='2' then
        begin zigzag(s,g); end;
writeln('APPROXIMATELY AREA IS ',P/Fa:10:2,' cm^2');
shows(n1,n2,fname);
if (n1=4) or (n1=5) then
    begin
        write('BOLTED WITH TWO LEG,Y OR N ');
        readln(ans);end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

t1:=0;
repeat
section (datafi,n2,finame,datarec);
a:= datarec.a;I:= datarec.Ix;
t:= datarec.tw;na:=datarec.name;
r:=sqrt(I/A);
    case select of
        '1':a1:=nu*t*da;
        '2':a1:=nu*t*da-t*s*s*(nu-1)/(4*g);
    end;
if ans='n' then a:=a/2;
garea:=a-a1;
if garea <= 0.85*a then
    garea:=garea
else
    garea:=0.85*a;
Pm:=Fa*garea;
writeln(' THE MAXIMUM CAPACITY IS ',Pm:10:2,' kg. ');
    if P<Pm then
        if 1/r<240 then
            begin
                writeln('LOAD IS LESS THAN CAPACITY');
                writeln('THIS ',na,' CAN BE USE ');
                t1:=1;
                if 1.1*p<Pm then writeln('SECTION IS TOO BIG');
            end
        else
            begin
                writeln('LOAD IS LESS THAN CAPACITY');
                writeln('THE SLENDERNESS IS TOO MUCH');
                t1:=1;
            end
        end
    else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
  writeln('THIS ',na,' CAN'T BE USE');t1:=0;
  writeln('PRESS ENTER');readln;
end;
if t1=0 then
begin
  if n1=1 then
    if n2=39 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=2 then
    if n2=11 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=3 then
    if n2=17 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=4 then
    if n2=29 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=5 then
    if n2=20 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=6 then
    if n2=15 then begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=7 then
    if n2=9 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
end;
until t1<>0;
readln;
end;

procedure enter(var Kx,Ky:real);
begin
    write('      : Kx: ');readln(Kx);
    write('      : Ky: ');readln(ky);
end;

procedure compression;
var    P,Fa,Fa1,Fy,Kx,Ky,L,Lx,Ly,Cc,r,rx,ry,X,Y,KLr,E,Z:real;
    selec,si:char;
    datarec : datarect;

begin
    clrscr;
    writeln;writeln;writeln;writeln;
    repeat
        write( 'ENTER YIELD STRENGHT OF STEEL (kg/cm^2):');readln(Fy);
        write('ELASTICITY (kg/cm^2): ');readln(E);
        write('ENTER LOAD THAT BE USE (kg): ');readln(P);
        writeln('APPROXIMATE AREA IS ',P/(0.5*Fy):10:2);
        writeln;writeln;writeln;
        writeln('THE TYPE OF FIXING');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

writeln(' 1.FIX,FIX');
writeln(' 2.FIX,PIN');
writeln(' 3.FIX,ROLLER');
writeln(' 4.PIN,PIN');
writeln(' 5.FIX,FREE');
writeln(' 6.PIN,ROLLER');
writeln(' 7.FILL IN');
write('SELECT : ');readln(selec);
    case selec of
        '1':begin Kx:=0.65;Ky:=0.65;end;
        '2':begin Kx:=0.80;Ky:=0.80;end;
        '3':begin Kx:=1.20;Ky:=1.20;end;
        '4':begin Kx:=1.00;Ky:=1.00;end;
        '5':begin Kx:=2.10;Ky:=2.10;end;
        '6':begin Kx:=2.00;Ky:=2.00;end;
        '7':ENTER(Kx,Ky);
    end;
write('LENGTH(cm) : Lx:');readln(Lx);
write('          Ly:');readln(Ly);
write('CHANGE DATA ;Y,N ');readln(si);
until si ='n';
clrscr;
shows(n1,n2,finame);
t1:=0;
repeat
section (datafi,n2,finame,datarec);
a:= datarec.a;Ix:= datarec.Ix;
Iy:= datarec.Iy;na:=datarec.name;
Cc:=sqrt(2*pi*pi*E/Fy);
rx:=sqrt(Ix/A);X:=Kx*Lx/rx;
ry:=sqrt(Iy/A);Y:=Ky*Ly/ry;

```

```

if X > Y then
  begin
    KLR:=X;L:=Lx;r:=rx;
  end
else
  begin
    KLR:=Y;L:=Ly;r:=ry;
  end;
if KLR <=Cc then
  Fa:=(1-KLR*KLR/(2*Cc*Cc))*Fy/(5/3+3*KLR/(8*Cc)-KLR*KLR*KLR/(8*Cc*(
else
  Fa:=12*pi*pi*E/(23*KLR*KLR);
  Z:=1.6-L/200/r;
if KLR > 120 then
  Fa1:=Fa/Z
else
  Fa1:=Fa;
writeln(' THE MAXIMUM LOAD IS ',Fa1*A:15:2,' kg. ');
if Fa1*A >=P then
  if KLR<200 then
  begin
    writeln('LOAD IS LESS THAN CAPACITY');
    writeln('THIS ',na,' CAN BE USE ');t1:=1;
    if 1.1*p<Fa1*A then writeln('SECTION IS TOO BIG');
  end
else
  begin
    writeln('LOAD IS LESS THAN CAPACITY');
    writeln('THE SLENDERNESS IS TOO MUCH');t1:=1;
  end
else
  begin
    writeln('THIS ',na,' CAN'T BE USE ');t1:=0;end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if t1=0 then
begin
  if n1=1 then
    if n2=39 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=2 then
    if n2=11 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=3 then
    if n2=17 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=4 then
    if n2=29 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=5 then
    if n2=20 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=6 then
    if n2=15 then begin
      writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
      t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
  if n1=7 then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if n2=9 then begin
    writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
    t1:=1;end
else n2:=n2+1;
    readln;end;
until t1<>0;
    readln;
end;

procedure process1(var p:real;mmax,sx,bf,tf,fy :real);
var F,Fb:real;
begin
    F:=ABS(Mmax)/Sx;
    if bf/2/tf <=437.7/sqrt(Fy) then
        Fb:=0.66*Fy
    else
        if bf/2/tf<796.5/sqrt(Fy) then
            Fb:=Fy*(0.733-0.000167*bf*sqrt(Fy)/2/tf)
        else
            Fb:=0.6*Fy;
    writeln(' MAX MOMENT THAT CAN BE ALLOWED IS ',Fb*Sx:12:2,' kg-cm')
    if f <= Fb then begin
        writeln(' THE ',na,' BENDING CAN BE ALLOWED ');t1:=1;
        if 1.1*f<Fb then writeln('SECTION IS TOO BIG');end
    else
        begin writeln(' THIS ',na,' IS TOO SMALL ');t1:=0;end;
end;

```

```

procedure process2(var p:real;sx,l,rt,d,bf,tf,Fy,L1,Mmax:real);
var    nn,Ma,mb,mc,m1,m2,Cb,Cb1,Fb1,Fb2,Fb3,Fb4,Fb5
      ,Fmin,Fmax,Te:real;
      mm,max,n,o:integer;
      Fb,F:array[1..maxx] of real;
begin
  clrscr;
  write('ENTER LENGTH OF BEAM (cm): ');readln(L1);
  nn := L1/l;
  mm := round(nn);
  if nn-mm >0 then max := mm+1
  else max := mm ;
  write('ENTER MOMENT IN BRACING SPAN:(kg-cm)');
  gotoxy(15,5);write('END MOMENT');
  gotoxy(35,5);write('MAX MOMENT');
  gotoxy(55,5);write('END MOMENT');
  for n:=1 to max do
  begin
    gotoxy(20,n+5);read(m[n,1]);
    gotoxy(40,n+5);read(m[n,2]);
    gotoxy(60,n+5);read(m[n,3]);
  end;
  for n:=1 to max do
  begin
    Ma:=M[n,1];
    Mb:=M[n,2];
    Mc:=M[n,3];
    if ABS(Ma)<ABS(Mc) then
    begin
      M1:=Ma;
      M2:=Mc;
    end
    else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
  M1:=Mc;
  M2:=Ma;
end;
if ABS(Mb)>ABS(M2) then
begin
  Cb:=1;F[n]:=ABS(Mb)/sx;
end
else
begin
if M2=0 then Cb:=1 else
begin
Cb1:=1.75+1.05*-1*M1/M2+0.3*sqr(M1/M2);
if Cb1>2.3 then
Cb:=2.3
else
Cb:=Cb1
end;F[n]:=abs(M2)/sx;
end;
rt:=0.26*bf;
if 1/rt < sqrt(7170000*Cb/Fy) then
Fb1:=0.6*Fy
else
if 1/rt < sqrt(35850000*Cb/Fy) then
Fb1:=(2/3-Fy*1/rt*1/rt/107560000/Cb)*Fy
else
Fb1:=11950000*Cb/l/l*rt*rt;
Fb2:=843600*Cb/l/d*bf*tf;
if Fb1>Fb2 then
Fb3:=Fb1
else
Fb3:=Fb2;
if Fb3>0.6*Fy then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Fb4:=0.6*Fy
    else
        Fb4:=Fb3;
    Fb[n]:=Fb4;
end;
for n:=1 to max do
begin
    if Fb[n] < Fb[n+1] then begin
        if Fmax < Fb[n+1] then
            Fmax:=Fb[n+1]
        else
            Fmax:=Fmax end
    else begin
        if Fmax < Fb[n] then
            Fmax:=Fb[n]
        else
            Fmax:=Fmax; end;
    end;
writeln(' MAX MOMENT THAT CAN BE ALLOWED IS ',Fmax*Sx:12:2,' kg-cm'
Te:=0; for n:=1 to max do
begin
    if F[n] <= Fb[n] then
        Te:=Te+1
    else Te:=Te;
end;
if Te=max then begin
    writeln(' THE ',na,' BENDING CAN BE ALLOWED ');t1:=1;
    if Fmax*Sx<1.1*mmax then writeln('SECTION IS TOO BIG');end
else begin
    writeln(' THIS ',na,' IS TOO SMALL ');t1:=0;
end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure bending;
    var  Fy,Fa,Mmax,R,V,rt,rw,E,Sx,Cc,l,L1,l2,aa,x,De
        ,p,I:real;
        si:char;
        datarec : datarect;

begin
    repeat
        write( 'ENTER YIELD STRENGTH OF STEEL (kg/cm^2):');readln(Fy);
        write('ENTER MAXIMUM MOMENT IN BEAM (kg-cm): ');readln(Mmax);
        write('ENTER MAXIMUM SHEAR IN BEAM (kg): ');readln(V);
        write('ENTER MAXIMUM REACTION IN BEAM (kg): ');readln(R);
        writeln(' APPROXIMATE MODULUS OF SECTION IS ',Mmax/(0.55*Fy):15:2,
        write('ELASTICITY (kg/cm^2): ');readln(E);
        write('DISTANCE OF BRACING (cm): ');readln(l);
        write('LENGTH OF STEEL AT SUPPORT (cm): ');readln(aa);
        write('LENGTH BETWEEN SUPPORT (cm): ');readln(L2);
        write('CHANGE DATA ;Y,N ');readln(si);
    until si ='n';
    clrscr;
    shows(n1,n2,filename);
    t1:=0;
    repeat
        section (datafi,n2,filename,datarec);
        d:= datarec.d;bf:= datarec.bf;
        tw:= datarec.tw;tf:= datarec.tf;
        rf:= datarec.rf;a:= datarec.a;
        Ix:= datarec.Ix;na:=datarec.name;
        Sx:=2*Ix/d;
        if l<= 637.2*bf/sqrt(Fy) then
            process1(p,mmax,sx,bf,tf,fy)
        else
            process2(p,sx,l,rt,d,bf,tf,Fy,L1,Mmax);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if d/tw > 3454.6/sqrt(Fy) then
  begin
    writeln('DIAGONAL WEB BUCKLING CAN'T BE ALLOWED');t1:=0;
  end;
{check crippling}
if R/(aa+tf+rf)/tw >0.75*Fy then
  begin
    writeln(' WEB CRIPPLING STRESS CAN'T BE ALLOWED ');t1:=0;end;
{check buckling}
rw:=0.29*tw;
x:=(d-2*tf)/rw;
Cc:=sqrt(2*pi*pi*E/Fy);
if x <=Cc then
  Fa:=(1-sqr(x)/(2*Cc*Cc))*Fy/(5/3+3*x/(8*Cc)-x*x*x/(8*Cc*Cc*Cc))
else
  Fa:=12*sqr(pi)*E/(23*x*x);
if R/(aa+d/4)/tw > Fa then
  begin
    writeln(' WEB BUCKLING STRESS CAN'T BE ALLOWED ');t1:=0;end;
{check shear}
if V/(d*tw) > 0.4*Fy then
  begin
    writeln(' SHEAR STRESS CAN'T BE ALLOWED');t1:=0;end;
{check deflection}
De:=5*mmax*l2*l2/48/E/Ix;
if De > l2/240 then
  begin
    writeln(' DEFLECTION CAN'T BE ALLOWED');t1:=0;end;
if t1=0 then
  begin
    if n1=1 then
      if n2=39 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=2 then
    if n2=11 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=3 then
    if n2=17 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=4 then
    if n2=29 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=5 then
    if n2=20 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=6 then
    if n2=15 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=7 then
    if n2=9 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
    readln;end;readln;

```

```

until t1<>0;
readln;
end;

procedure comp(var Fa1,F,KLr1,KLr2:real;E,Fy,A,P,Lx,Ly,Ix,Iy,Kx,Ky:re
var      Cc,KLr,L,r,Fa,rx,ry,Z:real;
begin

  clrscr;
  Cc:=sqrt(2*pi*pi*E/Fy);
  rx:=sqrt(Ix/A);KLr1:=Kx*Lx/rx;
  ry:=sqrt(Iy/A);KLr2:=Ky*Ly/ry;
  if KLr1 > KLr2 then
    begin
      KLr:=KLr1;L:=Lx;r:=rx;
    end
  else
    begin
      KLr:=KLr2;L:=Ly;r:=ry;
    end;
  if KLr <=Cc then
    Fa:=(1-KLr*KLr/(2*Cc*Cc))*Fy/(5/3+3*KLr/(8*Cc)-KLr*KLr*KLr/(8*Cc
  else
    Fa:=12*pi*pi*E/(23*KLr*KLr);
    Z:=1.6-L/200/r;
  if KLr > 120 then
    Fa1:=Fa/Z
  else
    Fa1:=Fa;f:=P/A;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure tens(var Fa1,F,KLr1,KLr2:real;A,P,Fy,Lx,Ly,Ix,Iy,t:real);
var    rx,ry,a1,da,s,g,garea:real;
       nu:integer;
       select:char;

begin
  writeln;
  rx:=sqrt(Ix/A);KLr1:=Lx/rx;
  ry:=sqrt(Iy/A);KLr2:=Ly/ry;
  writeln('    ENTER DATA ABOUT HOLES    ');
  write('  DAIMETER  OF HOLE (cm):');readln(da);
  write('  NUMBER OF LINE:');readln(nu);writeln;
  writeln('    ORDINARY OF LINE:');
  writeln('      1.STRAIGHT LINE');
  writeln('      2.ZIGZAG    ');
  write('  SELECT: ');readln(select);
  if select='2' then
    zigzag(s,g);
    case select of
      '1':a1:=nu*t*da;
      '2':a1:=nu*t*da-t*s*s*(nu-1)/(4*g);
    end;
  garea:=a-a1;
  if garea <= 0.85*a then
    garea:=garea
  else
    garea:=0.85*a;
  f:=P/garea;
  Fa1:=0.6*Fy;

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure axialbend;
var  Fy,P,KLr1,KLr2,E,rt,la,Fa1,F,Fb,Fby,Fb1,Fb2,Cmx,Cmy,Fb3,Lx,Ly,mmax
    ,fx,fyy,Sx,Sy,Ma,Mb,Mc,Md,M1,M2,My1,My2,Fex,Fey,B1,B2,De
    ,p1,t,Kx,Ky:real;
    choose,si,so,select1:char;
    datarec : datarect;

```

```
begin
```

```
clrscr;
```

```
writeln;writeln;writeln;writeln;
```

```
repeat
```

```
write( 'ENTER YIELD STRENGTH OF STEEL (kg/cm2):');readln(Fy);
```

```
writeln('      1.COMPRESSION');
```

```
writeln('      2.TENSION');
```

```
write('CHOOSE CASE OF AXIAL LOAD : ');readln(choose);
```

```
write('ENTER LOAD THAT BE USE (kg): ');readln(P);
```

```
writeln('APPROXIMATE AREA IS ',P/(0.5*Fy):10:2,' cm2');
```

```
write('ELASTICITY (kg/cm2): ');readln(E);
```

```
write('DISTANCE OF BRACING (cm): ');readln(la);
```

```
write('LENGTH(cm) : Lx:');readln(Lx);
```

```
write('      Ly:');readln(Ly);
```

```
write('CHANGE DATA ,Y OR N ');readln(si);
```

```
until si ='n';
```

```
if choose ='1' then
```

```
begin
```

```
    writeln;writeln;writeln;
```

```
writeln('THE TYPE OF FIXING');
```

```
writeln('      1.FIX,FIX');
```

```
writeln('      2.FIX,PIN');
```

```
writeln('      3.FIX,ROLLER');
```

```
writeln('      4.PIN,PIN');
```

```
writeln('      5.FIX,FREE');
```

```
writeln('      6.PIN,ROLLER');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

writeln(' 7.FILL IN');
write('SELECT : ');readln(select1);
  case select1 of
    '1':begin Kx:=0.65;Ky:=0.65;end;
    '2':begin Kx:=0.80;Ky:=0.80;end;
    '3':begin Kx:=1.20;Ky:=1.20;end;
    '4':begin Kx:=1.00;Ky:=1.00;end;
    '5':begin Kx:=2.10;Ky:=2.10;end;
    '6':begin Kx:=2.00;Ky:=2.00;end;
    '7':ENTER(Kx,Ky);
  end; end;

clrscr;
write('ENTER END MOMENT (kg-cm)');
gotoxy(15,5);write('FIRST END MOMENT');
gotoxy(35,5);write('SECOND END MOMENT');
gotoxy(5,7);write('Mxx');
gotoxy(20,7);read(Ma);gotoxy(40,7);read(Mb);
gotoxy(5,9);write('Myy');
gotoxy(20,9);read(Mc);gotoxy(40,9);read(Md);
if ABS(Ma)>ABS(Mb) then
  begin M1:=Mb;M2:=Ma;end
else
  begin M1:=Ma;M2:=Mb;end;
if ABS(Mc)>ABS(Md) then
  begin My1:=Md;My2:=Mc;end
else
  begin My1:=Mc;My2:=Md;end;

clrscr;
shows(n1,n2,filename);
t1:=0;
repeat
section (datafi,n2,filename,datarec);
d:= datarec.d;bf:= datarec.bf;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

tw:= datarec.tw;tf:= datarec.tf;t:=tw;
rf:= datarec.rf;a:= datarec.a;
Ix:= datarec.Ix;Iy:= datarec.Iy;
na:=datarec.name;
case choose of
    '1' : comp(Fa1,F,KLr1,KLr2,E,Fy,A,P,Lx,Ly,Ix,Iy,Kx,Ky);
    '2' : tens(Fa1,F,KLr1,KLr2,A,P,Fy,Lx,Ly,Ix,Iy,t);
end;

rt:=0.26*bf;
Sy:=2*Iy/d;Sx:=2*Ix/d;
    if la < 637.2*bf/sqrt(Fy) then
        if bf/2/tf <=437.7/sqrt(Fy) then
            Fb:=0.66*Fy
        else
            if bf/2/tf<796.5/sqrt(Fy) then
                Fb:=Fy*(0.733-0.000167*bf*sqrt(Fy)/2/tf)
            else
                Fb:=0.6*Fy
        else
            begin
                if la/rt < sqrt(7170000/Fy) then
                    Fb1:=0.6*Fy
                else
                    if la/rt < sqrt(35850000/Fy) then
                        Fb1:=(2/3-Fy*la/rt*la/rt/107560000)*Fy
                    else
                        Fb1:=11950000/la/la*rt*rt;
                Fb2:=843600/la/d*bf*tf;
                if Fb1>Fb2 then
                    Fb3:=Fb1
                else
                    Fb3:=Fb2;
            end
        end
    end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if Fb3>0.6*Fy then
            Fb:=0.6*Fy
        else
            Fb:=Fb3
        end;

fx:=ABS(M2)/Sx;fyy:=ABS(My2)/Sy;
Fby:=0.75*Fy;
    if M2=0 then Cmx:=0 else Cmx:=(0.6+0.4*M1/M2);
    if(My2=0) and (My1=0) then Cmy:=0 else Cmy:=(0.6+0.4*My1/My2);
    if Cmx<0.4 then Cmx:=0.4;if Cmy<0.4 then Cmy:=0.4;
Fex:=12*pi*pi*E/23/(KLR1*KLR1);
Fey:=12*pi*pi*E/23/(KLR2*KLR2);
    if choose ='1' then
        if f/Fa1 > 0.15 then
            begin B1:=f/Fa1 + Cmx*fx/(1-f/Fex)/Fb + Cmy*fyy/(1-f/Fey)/Fby
                B2:=f/(0.6*Fy) + fx/Fb + fyy/Fby; end
        else begin
            B1:=0;
            B2:=f/Fa1 + fx/Fb + fyy/Fby;
        end
    else begin
        B1:=0;
        B2:=f/(0.6*Fy) + fx/Fb + fyy/Fby;
    end;
if (B1 > 1.0) or (B2 > 1.0) then
    begin
        writeln('THIS ',na,' CAN'T BE USED,TRY AGAIN ');
        t1:=0;
    end
else begin
        writeln('THIS ',na,' CAN BE USED');t1:=1;
    if (B1 < 0.9) and (B2 < 0.9) then writeln('SECTION IS TOO BIG');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
{check deflection}
if M2>My2 then mmax:=M2 else mmax:=My2;
De:=5*mmax*lx*lx/48/E/Ix;
if De > lx/240 then
begin
writeln(' DEFLECTION CAN'T BE ALLOWED');t1:=0;
end;
if t1=0 then
begin
if n1=1 then
if n2=39 then begin
writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
t1:=1;end
else n2:=n2+1;
if n1=2 then
if n2=11 then begin
writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
t1:=1;end
else n2:=n2+1;
if n1=3 then
if n2=17 then begin
writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
t1:=1;end
else n2:=n2+1;
if n1=4 then
if n2=29 then begin
writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
t1:=1;end
else n2:=n2+1;
if n1=5 then
if n2=20 then begin
writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=6 then
    if n2=15 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
if n1=7 then
    if n2=9 then begin
        writeln('ALL MEMBER IN TABLE CAN'T USE');
        t1:=1;end
    else n2:=n2+1;
        readln;end;
readln;
until t1<>0;
readln;
end;

var
    choic :char;
begin
    showmenu;
    READLN(choic);
        case choic of
            '1' : tension;
            '2' : compression;
            '3' : bending;
            '4' : axialbend;
        END;
    if choic ='5' then
        writeln;
        writeln('          EXIT PROGRAM');
    end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program testenterdata(input,output,fi);
uses crt;
const space = ' ';
type NameT = string[20];
      datarect = Record
          num : integer;
          name : NameT;
          d : real;
          bf : real;
          tw : real;
          tf : real;
          rf : real;
          a : real;
          ix : real;
          iy : real;
          end;
      Fitype = File of datarect;
var datafi :Fitype;

procedure prepare(var fi:Fitype);
var filename : string[12];
begin
    write('ENTER FILE'S NAME: ');readln(filename);
    assign(fi,filename);
    {$I-} reset(fi);{$I+}
    if iorresult <> 0 then
        begin rewrite(fi);close(fi);reset(fi) end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function cangetdata(var datarec:datarect):boolean;
var    nu : integer;
       nme :namet;

begin
  write('NUMBER : '); readln(nu);
  write('ENTER NAME : '); readln(nme);
  if nme = space then cangetdata := false
  else
    with datarec do
      begin
        num := nu; name :=nme;
        write('enter d(cm)   : ');readln(d);
        write('enter bf(cm)   : ');readln(bf);
        write('enter tw(cm)   : ');readln(tw);
        write('enter tf(cm)   : ');readln(tf);
        write('enter rf(cm)   : ');readln(rf);
        write('enter a(cm^2)  : ');readln(a);
        write('enter ix(cm^4)  : ');readln(ix);
        write('enter iy(cm^4)  : ');readln(iy);
        cangetdata:=true;
      end;
    end;
end;

procedure enterdata(var datafi:fitype);
var    datarec.:datarect;

begin
  seek(datafi,filesize(datafi));
  while cangetdata(datarec) do write(datafi,datarec);
  close(datafi);
end;

begin {main}
  prepare(datafi);
  enterdata(datafi);
end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program testenterdata(input,output,fi);
uses crt;
const space = ' ';
type NameT = string[20];
   datarect = Record
       num : integer;
       name : NameT;
       d : real;
       bf : real;
       tw : real;
       tf : real;
       rf : real;
       a : real;
       ix : real;
       iy : real;
   end;
Fitype = File of datarect;
var datafi :Fitype;

procedure prepare(var fi:Fitype);
var filename : string[12];
begin
  write('ENTER FILE'S NAME: ');readln(filename);
  assign(fi,filename);
  {$I-} reset(fi);{$I+}
  if ioresult <> 0 then
    begin rewrite(fi);close(fi);reset(fi) end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure disponerec(onerec:datarect);
var ch : char;
begin
  with onerec do
    begin
      writeln(num, '      ',name, ' :- ');
      writeln(' d(cm)      = ',d:10:2);
      writeln(' bf(cm)      = ',bf:10:2);
      writeln(' tw(cm)      = ',tw:10:2);
      writeln(' tf(cm)      = ',tf:10:2);
      writeln(' rf(cm)      = ',rf:10:2);
      writeln(' a(cm^2)     = ',a:10:2);
      writeln(' ix(cm^4)    = ',ix:10:2);
      writeln(' iy(cm^4)    = ',iy:10:2);
      ch := readkey;
    end;
  end;

procedure dispdata(var fi:fitype);
var  datarec:datarect; ch:char;
begin
  while not eof(fi) do
    begin
      read(fi,datarec);disponerec(datarec);
      if keypressed then
        begin ch:=readkey;ch:=readkey;writeln end;
      end;
    end;

begin {main}
  prepare(datafi);
  dispdata(datafi);
end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้