

โปรแกรมการคำนวณและออกแบบองค์อาคารเหล็กผ่านทางอินเทอร์เน็ต
STRUCTURAL STEEL DESIGN PROGRAM VIA INTERNET



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....50.30.7
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

b.....
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการคำนวณและออกแบบองค์อาคารเหล็กผ่านทางอินเทอร์เน็ต
STRUCTURAL STEEL DESIGN PROGRAM VIA INTERNET



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRUCTURAL STEEL DESIGN PROGRAM VIA INTERNET



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

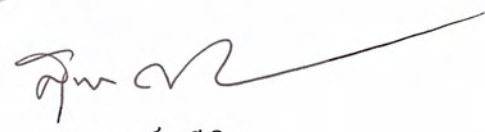
2002

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	โปรแกรมการคำนวณและออกแบบของค้ำอาคารเหล็กผ่านทางอินเทอร์เน็ต		
นักศึกษา	นายชนะ ปัญญาภิญโญผล	รหัสประจำตัว	42010490
	นายสมชาย ตักศิทธิพร	รหัสประจำตัว	42010650
	นายอนุวัฒน์ มณีนพรัตน์	รหัสประจำตัว	42010678
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.อำนวยการ	พานิชกุลพงศ์	
อ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	
อ.ทรงกลด	แซ่เอ็ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(นายสุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ	โปรแกรมการคำนวณและออกแบบองค์อาคารเหล็กผ่านทางอินเทอร์เน็ต STRUCTURAL STEEL DESIGN PROGRAM VIA INTERNET		
นักศึกษา	นายชนะ ปัญญาภิญโญผล	รหัสประจำตัว	42010490
	นายสมชาย ศักดิ์สิทธิ์พร	รหัสประจำตัว	42010650
	นายอนุวัฒน์ มณีพันธ์	รหัสประจำตัว	42010678
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ปีการศึกษา	2545		

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมโยธานี้ เป็นโครงการที่นำเอาอินเทอร์เน็ต และคอมพิวเตอร์ มาประยุกต์ใช้ ในการคำนวณและออกแบบอาคารเหล็กประเภท องค์อาคารรับแรงดึง องค์อาคารรับแรงอัด องค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว องค์อาคารรับแรงดัดสองแกน องค์อาคารรับแรงอัดและดัดร่วมกัน และ องค์อาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน โดยใช้ข้อกำหนดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน AISC/ASD (1989) โปรแกรมเขียนด้วยภาษา PHP โดยสามารถทำงานได้ 2 ลักษณะ กล่าวคือ

1. สามารถตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของขนาดหน้าตัดขององค์อาคารที่กำหนดให้
2. ทำการเลือกขนาดหน้าตัด เพื่อรับแรงกระทำต่าง ๆ

โปรแกรมห้ดังกล่าวนี้จะช่วยให้วิศวกรผู้ออกแบบ มีความสะดวกในการใช้งาน โปรแกรม โดยการเรียกใช้งานโปรแกรมผ่านทางอินเทอร์เน็ต และนำเอาความสามารถในการคำนวณ สิ่งที่ซับซ้อน ได้ ของคอมพิวเตอร์ มาช่วยคำนวณหาค่ากำลังกำลังรับน้ำหนักบรรทุก และเลือกขนาดหน้าตัด ของ องค์อาคารเบื้องต้น ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะลดข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากการคำนวณด้วยตนเอง

Title : STRUCTURAL STEEL DESIGN PROGRAM VIA INTERNET
Name : MR.CHARNA PUNYAPINYOPHOL
MR.SOMCHAI SAKSITTIPORN
MR.ANUWAT MANINOPHARATANA
Field : CIVIL ENGINEERING
Department : CIVIL ENGINEERING
Faculty : ENGINEERING
Advisor : MR.LEAMTHONG LAOKHONGTHAVORN

ABSTRACT

This special project provides a structural steel design program available for use through internet. The design programs include members under tension, compression, uniaxial bending, biaxial bending and combination of all loadings mentioned. The program follows specifications provided in AISC/ASD Standard (1989). The program was compiled under PHP platform and can be used for:

1. checking the capacities of a selected steel member, and
2. selecting the size of the member under a given combination of external loading.

This program is available to any design engineers through the internet. Complex steps of calculation is eliminated along with the common error of hand calculation.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง “โปรแกรมการคำนวณและออกแบบองค์อาคารเหล็กผ่านทาง อินเทอร์เน็ต” นี้บรรลุความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาจาก อาจารย์ แผลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง และอาจารย์อำนาจ พานิชกุลพงศ์ กรรมการและ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ท่านได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อคอยตรวจสอบความถูกต้องและให้ คำแนะนำต่าง ๆ จัดทำเค้าโครงของโครงการพิเศษ วางแผนการศึกษาตั้งแต่เริ่มศึกษาและคอยดูแลให้ กำลังใจในการศึกษา จนกระทั่งโครงการพิเศษเสร็จสิ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาต่าง ๆ จนกระทั่งข้าพเจ้าและเพื่อน ๆ ได้มีความรู้ ความสามารถ ที่จะนำไปใช้ประกอบเป็นวิชาชีพได้ในอนาคต

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการศึกษาจนสำเร็จการศึกษา และ เจ้าหน้าที่ในภาควิชาทุกท่านที่ได้ให้ความเมตตาช่วยเหลือดูแลในการเรียนการสอนและการทำโครงการ พิเศษให้มีความสะดวกยิ่งขึ้นมาโดยตลอด 4 ปี

การทำโครงการพิเศษในครั้งนี้คงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ถ้าหากไม่ได้รับการสนับสนุน และกำลังใจตลอดจนการเลี้ยงดูอย่างดีจาก “พ่อ กับ แม่” และญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน หากผลที่ได้จากการ ทำโครงการพิเศษในครั้งนี้ก่อให้เกิดผลประโยชน์ต่อส่วนรวม คณะผู้ศึกษาขอมอบความดีให้กับอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน สำหรับข้อบกพร่องของโครงการพิเศษ คณะผู้ศึกษาขอรับไว้เพื่อเป็น แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

นายชนะ ปัญญาภิญ โยผล

นายสมชาย ศักดิ์สิทธิ์พร

นายอนุวัฒน์ มณีนพรัตน์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอำนวยการ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	๗
	สารบัญรูป	๘
	คำอธิบายสัญลักษณ์	น
1.	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. ขอบเขตการศึกษา	3
	1.5. ขั้นตอนการศึกษา	4
	1.6. ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2.	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. กล่าวนำ	6
	2.2. นิยามและคำจำกัดความ	6
	2.2.1. น้ำหนักบรรทุกในอาคาร (Building Loads)	10
	2.2.1.1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)	10
	2.2.1.2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads)	10
	2.2.2. น้ำหนักบรรทุกทุกกระแทก (Impact Loads)	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2.3.	องค์อาคารรับแรงดึง (Tension Member)	12
2.3.1.	เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลัง (มาตรฐาน ว.ส.ท)	13
2.3.2.	เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง	15
2.3.3.	เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลังตามมาตรฐาน AISC 1989	18
2.3.4.	เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านสติเฟนส	20
2.4.	องค์อาคารรับแรงอัด	21
2.4.1.	ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างโครงสร้างส่วนรับแรงดึงและแรงอัด	22
2.4.2.	การโค้งงอของเสาในช่วงอีลาสติก	23
2.4.3.	ผลของลักษณะการยึดปลายต่อหน้าหน้าปลายของเสา	26
2.4.4.	การเลือกรูปตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด	28
2.4.5.	สูตรคำนวณของ โครงสร้างส่วนรับแรงอัด	31
2.4.6.	ช่วงความยาวประสิทธิผล (Effective Column Length)	33
2.4.7.	การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด	35
2.4.8.	เสาประกอบ (Build-up Column)	35
2.4.9.	การออกแบบแผ่นยึดแบบเฉียง (Lacing) และแผ่นยึดแบบขวาง (Tie Plate)	36
2.5.	องค์อาคารรับแรงดัด	36
2.5.1.	พฤติกรรมการรับแรงดัด	37
2.5.2.	สูตรคำนวณของคาน	40
2.5.3.	โมเมนต์ดัดที่มากที่สุด	41
2.5.4.	การ โกง (Deflection)	42
2.5.5.	มาตรฐานกำหนด AISC	43
2.6.	องค์อาคารรับแรงตามแนวแกนร่วมกับแรงดัด	44
2.6.1.	การคำนวณหน่วยแรง	44
2.6.2.	มาตรฐานกำหนด AISC	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3.	ผังการทำงานของโปรแกรม	
3.1.	กล่าวนำ	49
4.	สถาปัตยกรรมของโปรแกรม	
4.1.	กล่าวนำ	84
4.2.	ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	84
4.2.1.	จุดเด่นของภาษาสคริปต์ PHP	85
4.2.2.	หลักการทำงานของภาษาสคริปต์ PHP	86
4.2.3.	เหตุผลที่เลือกใช้ภาษา PHP	86
4.3.	ภาษาที่ใช้ในการติดต่อกับฐานข้อมูล	86
4.3.1.	ระบบการประมวลผลฐานข้อมูล	87
4.3.2.	ข้อดีของการประมวลผลในระบบฐานข้อมูล	88
4.3.3.	ข้อเสียของการประมวลผลในฐานข้อมูล	89
4.3.4.	เหตุผลที่เลือกใช้ภาษา SQL ในการจัดเก็บฐานข้อมูล	89
4.4.	โครงสร้างของโปรแกรม	90
4.4.1.	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (Client Side)	90
4.4.2.	ส่วนประมวลผล (Server Side)	91
4.5.	ความสามารถของโปรแกรมที่คาดคิดไว้	91
4.6.	ขอบเขต และข้อจำกัดของโปรแกรม	92
5.	คู่มือการใช้โปรแกรม	
5.1.	กล่าวนำ	93
5.2.	การเข้าถึงโปรแกรม	93
5.3.	ส่วนประกอบของโปรแกรม “LSteel Design”	96
5.4.	การออกแบบและตรวจสอบโครงสร้างรับแรงดึง	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.4.1. การออกแบบ (Design Mode)	99
	5.4.2. การตรวจสอบ (Check Mode)	101
	5.5. การออกแบบและตรวจสอบ โครงสร้างรับแรงอัด	103
	5.5.1. การออกแบบ (Design Mode)	103
	5.5.2. การตรวจสอบ (Check Mode)	105
	5.6. การออกแบบและตรวจสอบ โครงสร้างรับแรงดัดแกนเดียว	107
	5.6.1. การออกแบบ (Design Mode)	107
	5.6.2. การตรวจสอบ (Check Mode)	110
	5.7. การออกแบบและตรวจสอบ โครงสร้างรับแรงดัดสองแกน	111
	5.7.1. การออกแบบ (Design Mode)	111
	5.7.2. การตรวจสอบ (Check Mode)	114
	5.8. การออกแบบและตรวจสอบ โครงสร้างรับแรงอัดและดัดร่วมกัน	116
	5.8.1. การออกแบบ (Design Mode)	116
	5.8.2. การตรวจสอบ (Check Mode)	119
	5.9. การออกแบบและตรวจสอบ โครงสร้างรับแรงดัดและดัดร่วมกัน	122
	5.9.1. การออกแบบ (Design Mode)	122
	5.9.2. การตรวจสอบ (Check Mode)	124
	5.10. ฐานข้อมูลเหล็กรูปพรรณ	126
6.	การทดสอบผลการทำงานของโปรแกรม	
	6.1. กล่าวนำ	128
	6.2. โครงสร้างรับแรงดัด	128
	6.2.1. การออกแบบ	128
	6.2.1.1. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดัดด้วยตนเอง	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	6.2.1.2. การออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง โดยโปรแกรม “LSteel Design”	129
	6.2.2. การตรวจสอบ	130
	6.2.2.1. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึงด้วยตนเอง	130
	6.2.2.2. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึง โดยโปรแกรม “LSteel Design”	131
6.3.	โครงสร้างรับแรงอัด	132
	6.3.1. การออกแบบ	132
	6.3.1.1. การออกแบบอาคารรับแรงอัดด้วยตนเอง	132
	6.3.1.2. การออกแบบอาคารรับแรงอัด โดยโปรแกรม “LSteel Design”	133
	6.3.2. การตรวจสอบ	134
	6.3.2.1. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัดด้วยตนเอง	134
	6.3.2.2. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัด โดยโปรแกรม “LSteel Design”	135
6.4.	โครงสร้างรับแรงดัดแกนเดียว	136
	6.4.1. การออกแบบ	136
	6.4.1.1. การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียวด้วยตนเอง	136
	6.4.1.2. การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว โดย “LSteel Design”	138
	6.4.2. การตรวจสอบ	140
	6.4.2.1. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียวด้วยตนเอง	140
	6.4.2.2. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว โดย “LSteel Design”	141
6.5.	โครงสร้างรับแรงดัดสองแกน	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
6.5.1.	การออกแบบ	143
6.5.1.1.	การออกแบบของค้ำอาคารรับร่วมกันด้วยตนเองร่วมกันด้วยตนเอง	143
6.5.1.2.	การออกแบบของค้ำอาคารรับร่วมกันด้วยตนเองโดยโปรแกรม “LSteel Design”	144
6.5.2.	การตรวจสอบ	146
6.5.2.1.	การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงค้ำสองแกนด้วยตนเอง	146
6.5.2.2.	การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงค้ำสองแกนโดยโปรแกรม “LSteel Design”	147
6.6.	โครงสร้างรับแรงดึงและค้ำร่วมกัน	149
6.6.1.	การออกแบบ	149
6.6.1.1.	การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกันด้วยตนเอง	149
6.6.1.2.	การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกันโดยโปรแกรม “LSteel Design”	151
6.6.2.	การตรวจสอบ	153
6.6.2.1.	การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกันด้วยตนเอง	153
6.6.2.2.	การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกันโดยโปรแกรม “LSteel Design”	155
6.7.	โครงสร้างรับแรงอัดและค้ำร่วมกัน	157
6.7.1.	การออกแบบ	157
6.7.1.1.	การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงและแรงค้ำร่วมกันด้วยตนเอง	157
6.7.1.2.	การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงและแรงค้ำร่วมกันโดยโปรแกรม “LSteel Design”	159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	6.7.2. การตรวจสอบ	161
	6.7.2.1. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึงและ แรงดัดร่วมกันด้วยตนเอง	161
	6.7.2.2. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน โดยโปรแกรม “LSteel Design”	163
7.	สรุปผลการใช้งานของโปรแกรม	
7.1.	คำนำ	165
7.2.	สรุปผล	165
7.3.	ข้อเสนอแนะ	166
	หนังสืออ้างอิง	167
	บรรณานุกรม	168

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (มาตรฐาน ว.ส.ท. AISC 1969)	15
2.2.	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (มาตรฐาน AISC 1978)	18
2.3.	เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง	19
2.4.	ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลของส่วนโครงสร้างหลัก	33
2.5.	ค่าสัมประสิทธิ์ C_m	47
2.6.	ค่าสัมประสิทธิ์ ϕ และ C_m	48



สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1.	แผนผังขอบเขตของการศึกษา	3
2.1.	รูปตัดเหล็กรูปพรรณชนิดรีดร้อน	6
2.2.	การเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอลาสติกและพลาสติก	9
2.3.	หน้าตัดขององค์อาคารรับแรงดึง	13
2.4.	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียด	14
2.5.	แสดงองค์อาคารรับแรงดึงมีความกว้าง b ซม. และความหนา t ซม	16
2.6.	องค์อาคารรับแรงดึงเจาะรูแบบซิกแซก	17
2.7.	แรงกระทำบนหน้าตัด	17
2.8.	รูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงอัด	22
2.9.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตามแกนกับระยะโค้ง	24
2.10.	เสาตรงภายใต้แรงอัด	24
2.11.	เสาโค้งเชื่อมต่อด้วยสปริง	24
2.12.	ลักษณะต่าง ๆ ของการยึดปลายเสา	26
2.13.	ความกว้างของขอบที่ถูกยึดและไม่ถูกยึด	30
2.14.	Alignment Chart	34
2.15.	หน้าตัดคานที่ใช้กันทั่วไป	37
2.16.	ความสัมพันธ์ของ $f-c$ curve	37
2.17.	การตัดของคานในช่วงพลาสติกในช่วงอินเอลาสติก	39
2.18.	ค่าตัวประกอบรูปร่าง (shape factor) ของคานชนิดต่างๆ	40
3.1.	ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดึง Design Mode	50
3.2.	ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดึง Check Mode	51
3.3.	ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัด F_u flowchart Design Mode	52
3.4.	ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัด Design Mode	53
3.5.	ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัด F_u flowchart Check Mode	54
3.6.	ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัด Check Mode	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.7.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต F_{bx} flowchart	56
3.8.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต F_{bx} flowchart (ต่อ)	57
3.9.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต F_{bx} flowchart (ต่อ)	58
3.10.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต F_{bx} flowchart (ต่อ)	59
3.11.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต F_{bx} flowchart (ต่อ)	60
3.12.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต F_{bx} flowchart(ต่อ)	61
3.13.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต F_{bx} flowchart(ต่อ)	62
3.14.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต Design Mode	63
3.15.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต Design Mode (ต่อ)	64
3.16.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต Check Mode	65
3.17.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัต Check Mode(ต่อ)	66
3.18.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต F_{by} flowchart	67
3.19.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต F_{by} flowchart (ต่อ)	68
3.20.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดสองแกน Design Mode	69
3.21.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดสองแกน Design Mode (ต่อ)	70
3.22.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดสองแกน Check Mode	71
3.23.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดสองแกน Check Mode (ต่อ)	72
3.24.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Design Mode	73
3.25.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Design Mode (ต่อ)	74
3.26.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Design Mode (ต่อ)	75
3.27.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Design Mode (ต่อ)	76
3.28.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Check Mode	77
3.29.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Check Mode (ต่อ)	78
3.30.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Check Mode (ต่อ)	79
3.31.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงคัต Design Mode	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.32.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงคด Design Mode (ต่อ)	81
3.33.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงคด Check Mode	82
3.34.	ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงคด Check Mode (ต่อ)	83
4.1.	แสดงการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้	90
4.2.	แสดงการทำงานของโปรแกรม	91
5.1.	แสดงเว็บไซต์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	94
5.2.	แสดงการเข้าถึง โปรแกรม “LSteel Design”	94
5.3.	แสดงการเข้าถึง โปรแกรม “LSteel Design” (ต่อ)	95
5.4.	แสดงการเข้าถึง โปรแกรม “LSteel Design” (ต่อ)	95
5.5.	เว็บไซต์ของโปรแกรม “LSteel Design”	96
5.6.	ส่วนประกอบของโปรแกรม “LSteel Design”	97
5.7.	แสดงรายชื่อของผู้จัดทำ โครงงานพิเศษ	98
5.8.	แสดงชื่อของอาจารย์ที่ปรึกษา โครงงานพิเศษ	98
5.9.	แสดงการป้อนข้อมูลค่าห้รับองค์อาคารรับแรงดึง Design Mode	100
5.10.	แสดงรายละเอียดของ Reduction Coefficient (U) Value	100
5.11.	รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงดึง Design Mode	101
5.12.	แสดงการป้อนข้อมูลค่าห้รับองค์อาคารรับแรงดึง Check Mode	102
5.13.	รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงดึง Check Mode	102
5.14.	แสดงการป้อนข้อมูลค่าห้รับองค์อาคารรับแรงอัด Design Mode	104
5.15.	แสดงรายละเอียดของ Effective Length Coefficient (K) Value	104
5.16.	รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด Design Mode	105
5.17.	แสดงการป้อนข้อมูลค่าห้รับองค์อาคารรับแรงอัด Check Mode	106
5.18.	รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด Check Mode	106
5.19.	แสดงการป้อนข้อมูลค่าห้รับองค์อาคารรับแรงคด แกนเดียว Design Mode	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.20.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด แกนเดี่ยว Design Mode(ต่อ)	108
5.21.	แสดงตัวอย่างในการป้อนข้อมูล	109
5.22.	รายการค่านวณขององค์อาคารรับแรงค้ดแกนเดี่ยว Design Mode	109
5.23.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด แกนเดี่ยว Check Mode	110
5.24.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด แกนเดี่ยว Check Mode(ต่อ)	111
5.25.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด สองแกน Design Mode	112
5.26.	แสดงรายการค่านวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด สองแกน Design Mode(ต่อ)	113
5.27.	แสดงรายการค่านวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด สองแกน Design Mode(ต่อ)	113
5.28.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด สองแกน Check Mode	114
5.29.	แสดงรายการค่านวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด สองแกน Check Mode(ต่อ)	115
5.30.	แสดงรายการค่านวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ด สองแกน Check Mode(ต่อ)	115
5.31.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ด ร่วมกัน Design Mode	117
5.32.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ด ร่วมกัน Design Mode(ต่อ)	118
5.33.	แสดงรายการค่านวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ด ร่วมกัน Design Mode(ต่อ)	118

118

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.34.	แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ำ ร่วมกัน Design Mode(ต่อ)	119
5.35.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ำ ร่วมกัน Check Mode	120
5.36.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ำ ร่วมกัน Check Mode(ต่อ)	120
5.37.	แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ำ ร่วมกัน Check Mode(ต่อ)	121
5.38.	แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ำ ร่วมกัน Check Mode(ต่อ)	121
5.39.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ำและค้ำ ร่วมกัน Design Mode	123
5.40.	แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ำและค้ำ ร่วมกัน Design Mode(ต่อ)	123
5.41.	แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ำและค้ำ ร่วมกัน Design Mode(ต่อ)	124
5.42.	แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ำและค้ำ ร่วมกัน Check Mode	125
5.43.	แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ำและค้ำ ร่วมกัน Check Mode(ต่อ)	125
5.44.	แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงค้ำและค้ำ ร่วมกัน Check Mode(ต่อ)	125
5.45.	แสดงฐานข้อมูลของเหล็กรูปพรรณ	127

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.1.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงดึง	129
6.2.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงดึง	130
6.3.	แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงดึง	131
6.4.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงดึง	132
6.5.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงอัด	133
6.6.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงอัด	134
6.7.	แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงอัด	135
6.8.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงอัด	136
6.9.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงค้ดแกนเดียว	138
6.10.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงค้ดแกนเดียว (ต่อ)	139
6.11.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงค้ดแกนเดียว	139
6.12.	แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงค้ดแกนเดียว	141
6.13.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงค้ดแกนเดียว	142
6.14.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงค้ดแกนเดียว (ต่อ)	142
6.15.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงค้ดสองแกน	144
6.16.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงค้ดสองแกน	145
6.17.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงค้ดสองแกน (ต่อ)	145
6.18.	แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงค้ดสองแกน	147
6.19.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงค้ดสองแกน	148
6.20.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ออาคารรับแรงค้ดสองแกน	148
6.21.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงอัด และแรงค้ดร่วมกัน	151
6.22.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงอัด และแรงค้ดร่วมกัน (ต่อ)	152
6.23.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ออาคารรับแรงอัด และแรงค้ดร่วมกัน	152

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.24.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกัน (ต่อ)	153
6.25.	แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกัน	155
6.26.	แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกัน (ต่อ)	156
6.27.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกัน	156
6.28.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัดและแรงค้ำร่วมกัน (ต่อ)	157
6.29.	แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบองค์อาคารรับแรงค้ำและแรงค้ำร่วมกัน	159
6.30.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบองค์อาคารรับแรงค้ำและแรงค้ำร่วมกัน	160
6.31.	แสดงผลการคำนวณของการออกแบบองค์อาคารรับแรงค้ำและแรงค้ำร่วมกัน (ต่อ)	160
6.32.	แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงค้ำและแรงค้ำร่วมกัน	163
6.33.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงค้ำและแรงค้ำร่วมกัน	164
6.34.	แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงค้ำและแรงค้ำร่วมกัน (ต่อ)	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

F.S.	ตัวประกอบความปลอดภัย
U	สัมประสิทธิ์ตัวลด (Reduction Coefficient)
E	โมดูลัสยืดหยุ่น
I	โมเมนต์อินเนอร์เซีย
S_x	หน้าตัดโมดูลัส
K	ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล (Effective Length Factor)
KL	ความยาวประสิทธิผล
$\frac{KL}{r}$	อัตราส่วนความชะลุด
Δ	ค่าการโก่ง
r	รัศมีจายเรชัน
ρ	รัศมีความโค้ง
ρ_y	รัศมีความโค้งคราก
ϕ_y	ความโค้งคราก (Curvature)
A_n	เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ
A_c	เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล
P_u	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด
P_a	น้ำหนักบรรทุกใช้งาน
T_u	แรงดึงสูงสุด
T_w	แรงดึงที่ยอมให้
F_y	หน่วยแรงดึงคราก
F_t	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้
F_a	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้
f_b	หน่วยแรงดัดเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่ระยะ Y จากแกนสะเทิน
M_y	โมเมนต์คัลาก
M_p	พลาستيكโมเมนต์
V	แรงเฉือนทั้งหมดในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

Z_x	พลาสติก โมดูลัส
c_y	ความเครียดคราก
Q	โมเมนต์รอบแกนสะเทินของเนื้อที่ส่วนที่อยู่นอกแนวที่ต้องการหา f_v
f_v	หน่วยแรงเฉือนในเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของคานที่ระหว่าง y จากแกนสะเทิน
C_{dm}	ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักที่กระทำและลักษณะของการยึดปลายคาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

โครงสร้างเหล็กเป็นโครงสร้างที่ได้จากการนำท่อนเหล็กรูปพรรณมาประกอบยึดรวมกัน เพื่อให้รับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการ แต่เดิมมักใช้โครงสร้างเหล็กสำหรับอาคารช่วงยาวเสียเป็นส่วนใหญ่ โดยทำเป็นโครงถักหรือที่เรียกว่า Truss เช่น โครงหลังคาของอาคารประเภทต่าง ๆ ที่ต้องการช่วงกว้างภายในที่มาก โครงสะพาน หอส่งสายไฟฟ้าแรงสูง และอื่น ๆ อีกมากมาย มีอยู่บ้างที่ทำเป็นอาคารเหล็กแต่ก็เป็นในลักษณะของอาคารชั้นเดียว เช่น อาคารโรงงานอุตสาหกรรม องค์อาคารเหล็กจะมีหน้าตัดเล็กเมื่อเทียบกับองค์อาคารไม้หรือองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้เพราะเหล็กมีความแข็งแรงกว่า อีกทั้งโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กโครงสร้าง (Structural steel) ซึ่งเป็นเหล็กเหนียว (Mild steel) เป็นเหล็กจึงเป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก นั่นหมายความว่าโครงสร้างเหล็กสามารถรับแรงลมและแรงจากแผ่นดินไหวได้ดีกว่า สำหรับรอยต่อต่างๆ ของส่วนโครงสร้างอาคารก็ใช้หมุดย้ำหรือขันด้วยสลักเกลียวและการเชื่อม ปัจจุบันเหล็กรูปพรรณได้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนของอาคารมากขึ้น เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างที่น้อยกว่า เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการเทแบบหล่อและรอนกว่าคอนกรีตจะมีความแข็งแรงพอหรือคอนกรีตมีการเซ็ทตัว อีกทั้งยังสามารถประกอบชิ้นส่วนย่อยที่หนึ่งแล้วนำไปประกอบกับโครงสร้างหลักอีกที่หนึ่ง ทำให้มีความสะดวก รวดเร็วในการก่อสร้าง แม้ว่าราคาค่าวัสดุก่อสร้างจะแพงกว่าบ้างแต่เมื่อเทียบกับเวลาที่สามารถใช้สอยอาคารได้เร็วขึ้นก็นับว่าคุ้มค่ากับการลงทุน และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างฐานรากได้อีกด้วย เนื่องจากโครงสร้างเหล็กมีน้ำหนักที่เบากว่า

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในการออกแบบโครงสร้างเหล็กมีความสลับซับซ้อน มีความยุ่งยากในการลองผิดลองถูกในขั้นตอนของการคำนวณออกแบบ ทำให้เสียเวลาและเกิดความไม่สะดวกขึ้นในการทำงานจริงที่ต้องการความรวดเร็วและความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณออกแบบ และเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการคำนวณ จึงได้พัฒนาโปรแกรมการคำนวณออกแบบองค์อาคารเหล็กขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในงานด้านวิศวกรรมโยธา โดยเป็นเครื่องมือทั้งในการวิเคราะห์ และออกแบบส่วนของโครงสร้าง คุณสมบัติเด่นประการหนึ่งของคอมพิวเตอร์ก็คือ คอมพิวเตอร์ที่ช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณมีความถูกต้องสูงมีประสิทธิภาพในการประมวลผลทางการคำนวณได้รวดเร็วและยังสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ มีความเหมาะสมกับงานที่ต้องกระทำในลักษณะการดำเนินงานซ้ำ ๆ กัน ในโครงการนี้ได้สังเกตเห็นประโยชน์ทางด้านนี้ของคอมพิวเตอร์ในการนำมาช่วยในการคำนวณ และออกแบบองค์อาคารเหล็ก

กอบกับในปัจจุบันเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งหมายถึงการติดต่อเชื่อมโยงกันที่ใหญ่มากที่สุดที่มีอยู่บนโลก ผู้ที่ใช้งานคอมพิวเตอร์ในด้านการติดต่อสื่อสารได้รับประโยชน์อย่างเอกลอนันต์กับเครือข่ายดังกล่าว ซึ่งนับวันก็จะมีผู้ใช้งานกันมากขึ้นเรื่อยๆจนมีการคาดกันว่าอีกไม่กี่ปีข้างหน้า จะมีการใช้งานอินเทอร์เน็ตกันครบทุกบ้าน อินเทอร์เน็ตจะเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน ในการใช้ค้นหาหาข้อมูลและข่าวสารรวมถึงความรู้ทางด้านวิชาการต่าง ๆ ดังนั้นด้วยเนื่องจากประโยชน์และความสะดวกสบายต่อการใช้งานจึงนำเอาโปรแกรมการคำนวณและออกแบบองค์อาคารเหล็กเชื่อมโยงกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งได้ทำการจัดเก็บโปรแกรมการคำนวณและออกแบบองค์อาคารเหล็กดังกล่าวไว้ที่ <http://www.kmitl.ac.th/engineer/civil> ซึ่งเป็นเว็บไซต์ของทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณและออกแบบองค์อาคารเหล็ก เพื่อเลือกชนิดและขนาดที่เหมาะสมกับเหล็กโครงสร้าง เพื่อให้ต้านทานต่อโมเมนต์คด แรงในแนวแกน หรือ โมเมนต์คดและแรงในแนวแกนร่วมกัน ซึ่งคำนวณได้จาก การวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโครงสร้าง (Structural Analysis) โดยวิธีเฉพาะสำหรับแต่ละประเภทของโครงสร้างซึ่งแบ่งตามชนิดของแรง เพื่อที่จะทำให้องค์อาคารที่ออกแบบนั้นสามารถที่จะต้านทานต่อแรงที่กระทำได้อย่างปลอดภัย การคำนวณจะใช้วิธี ASD (Allowable Stress Design) ตามมาตรฐาน AISC 1989 (American Institute of Steel Construction) เป็นหลัก ได้แก่

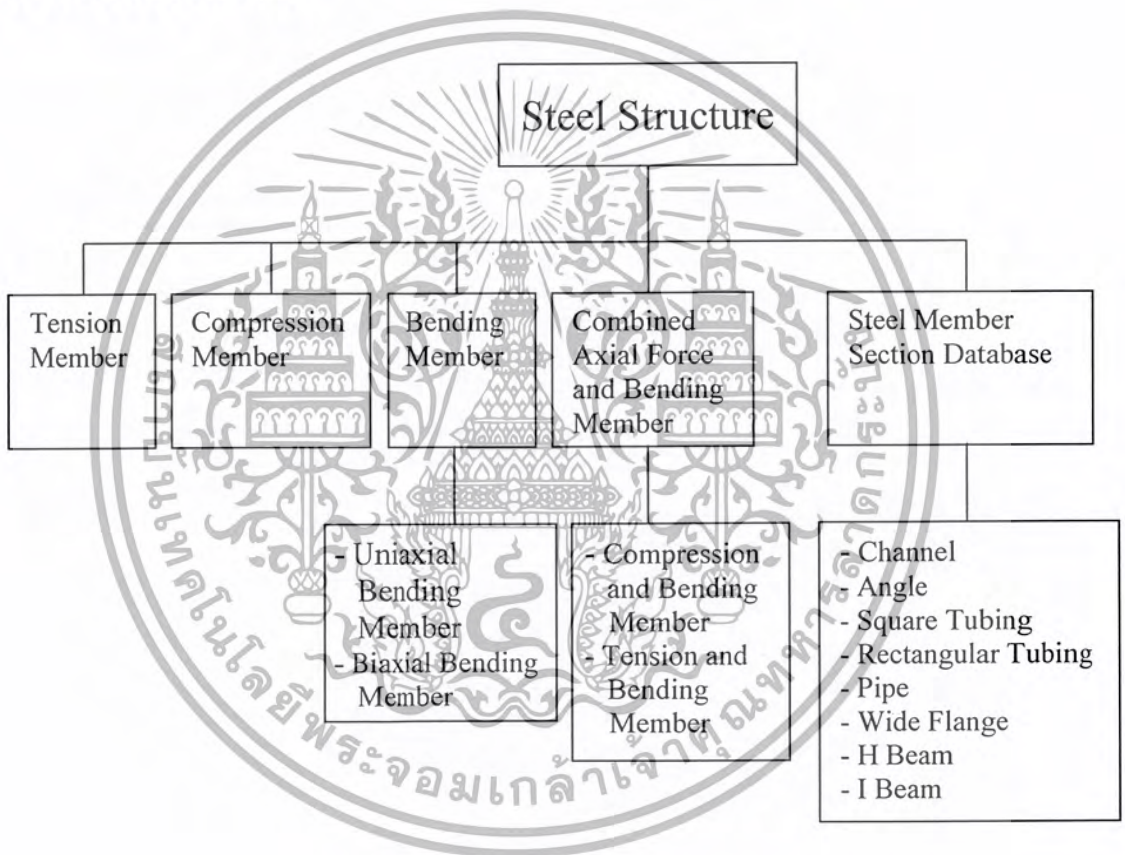
1. องค์อาคารที่รับแรงดึง
2. องค์อาคารที่รับแรงอัด
3. องค์อาคารที่รับแรงดัดแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. องค์อาคารรับแรงคัดสองแกน
5. องค์อาคารที่รับแรงอัดและแรงคัดร่วมกัน
6. องค์อาคารที่รับแรงค้ำและแรงคัดร่วมกัน

จากนั้นนำอินเทอร์เน็ตมาเป็นสื่อในการเข้าถึงโปรแกรม เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานโปรแกรม

1.4. ขอบเขตของการศึกษา



รูปที่ 1.1. แผนผังขอบเขตของการศึกษา

1. องค์อาคารรับแรงค้ำทั่วไป ยกเว้นท่อนเหล็กและเหล็กแผ่นเจาะรูทำข้อต่อ เเคบิลรับแรงค้ำ ข้อต่อแบบ หมุนได้เป็นเหล็กแผ่น (pin-connected plate) หรือรูหมุดตาไก่ (pin hole) โดยพิจารณาส่วนของโครงสร้างที่เกิดการวิบัติ หรือชำรุดเสียหายที่เกิดจากการคราก (yielding) จากการฉีกขาด (fracture) และที่ต่อปลายโดยการเชื่อมเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. องค์อาคารที่รับแรงอัด ศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักและการวิบัติ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสาทั้งในช่วงอีลาสติก และอินอีลาสติก การโก่งเดาะเฉพาะแห่ง การโก่งตัวเนื่องจากโมเมนต์ดัด ทั้งนี้ไม่รวมการโก่งตัวเนื่องจากโมเมนต์บิด
3. องค์อาคารที่รับแรงดัดแกนเดียว ศึกษาพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัด การโก่งเดาะเฉพาะแห่งของแผ่นเหล็กปีก คาน และแผ่นเหล็กดั่ง หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ โดยมีน้ำหนักหรือแรงกระทำผ่านศูนย์กลางแรงเฉือน ซึ่งไม่ทำให้เกิดโมเมนต์บิด
4. องค์อาคารรับแรงดัดสองแกน ศึกษาพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดในสองทิศทาง กล่าวคือรับโมเมนต์ดัดทั้งทางแกนหลัก และทางแกนรองร่วมกัน
5. องค์อาคารที่รับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน ศึกษาพฤติกรรมการรับดึง และแรงดัดร่วมกัน
6. องค์อาคารที่รับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน ศึกษาโครงสร้างที่ยอมให้มีการเซ และไม่ยอมให้มีการเซ ซึ่งขึ้นอยู่กับการยึดปลาย รวมทั้งการกระทำแบบต่าง ๆ ของแรงที่กระทำในแนวขวาง หรือเมื่อโมเมนต์ดัดกระทำที่ปลายส่วนของ โครงสร้าง

1.5. ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษานิยามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างหลักจากตำราทั้งภายในและภายนอกประเทศ และรวมทั้งจากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรม หลักการการเขียนโปรแกรม ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม เพื่อเป็นรากฐานในการออกแบบตัวโปรแกรม
3. รวบรวมข้อมูลหลักรูปพรรณที่มีในท้องตลาดเพื่อจะเป็นตัวเลือกในการออกแบบ พร้อมทั้งจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูล
4. กำหนดขอบเขตการทำงานของตัวโปรแกรม ที่สามารถจะคำนวณได้
5. ออกแบบแนวทางการทำงานของโปรแกรม ขั้นตอนการทำงานและรูปแบบการทำงานของโปรแกรม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง สะดวกและรวดเร็ว
6. เขียนโปรแกรม
7. ทดสอบการทำงานของโปรแกรม พร้อมทั้งหาข้อบกพร่องและทำการแก้ไขให้ได้ผลลัพธ์ถูกต้องตามต้องการ

1.6. ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการดำเนินโครงการพิเศษ

วิศวกรและผู้ที่มีความต้องการออกแบบโครงสร้างเหล็กได้ใช้โปรแกรมการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ได้อย่างสะดวก และมีความถูกต้องปลอดภัย เป็นที่น่าเชื่อถือได้ตามหลักเกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบ โครงสร้างเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

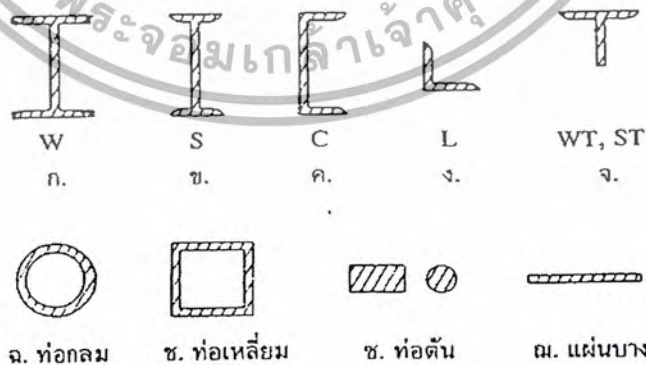
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง นิยาม ความหมาย ของคำต่าง ๆ ผลของการศึกษา งานศึกษา และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณและออกแบบของค้ำอาคารเหล็ก โดยการเขียน โปรแกรม เพื่อความเข้าใจ ในความรู้พื้นฐานของการออกแบบของค้ำอาคารเหล็กและเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่อไป

2.2. นิยามและคำจำกัดความ

เหล็กรูปพรรณ ได้จากการนำเหล็กโครงสร้างมาผลิตให้เป็นรูปต่าง ๆ โดยวิธีการรีด ร้อนหรือรีดเย็น เหล็กรูปพรรณที่ขายในท้องตลาดนั้นมีหลายแบบและหลายขนาด มีรูปตัดต่าง ๆ กัน เช่น เหล็กฉาก (angle L), เหล็กรูปตัด T, เหล็กรูปตัด WF, เหล็กรูปตัด I เหล็กรูปร่างน้ำหรือเหล็กรูปตัว C (channel) เป็นต้น ปกติแล้วแบบที่ต้องการคือ แบบที่มีโมดูลัสหน้าตัด (Section Modulus) มาก เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัด คุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณแบบต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น ขนาดน้ำหนัก เนื้อที่หน้าตัด โมดูลัสหน้าตัดและโมเมนต์อินเนอร์เซีย ซึ่งใช้ในการออกแบบ รูปตัดของเหล็กรูปพรรณที่ใช้กัน อย่างแพร่หลายได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1.



รูปที่ 2.1. รูปตัดเหล็กรูปพรรณชนิดรีดร้อน (สำนัก เจริญแผ่น และ วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

อนึ่ง เหล็กรูปพรรณจำแนกตามรูปร่าง ซึ่งกำหนดโดย AISI มีดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เหล็ก W (Wide-flange Shape) รูปที่ 2.1(ก) เป็นเหล็กชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีแกนสมมาตรสองแกน รูปร่างประกอบด้วยปีกรูปสามเหลี่ยมผืนผ้า 2 อัน ต่อกับเอวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 อัน การกำหนดชนิดของเหล็กจะเขียนด้วยอักษร W ตามด้วยความลึกคูณกับน้ำหนักเป็น กก./ม. เช่น W400x66 ได้แก่ Wide-flange มีความลึก 400 มม. และน้ำหนัก 66 กก./ม.
2. เหล็ก S (S-shape) รูปที่ 2.1(ข) เป็นเหล็กที่มีแกนสมมาตรสองแกน เดิมมีชื่อว่า American Standard I-Beam เหล็กประเภทนี้จะมีความกว้างของปีกน้อยกว่าเหล็ก W
3. เหล็ก M (M-shape) ได้แก่ เหล็กที่ไม่จัดอยู่ในจำพวก W และ S จะมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเหล็ก M ได้แก่ M360 x25.6 ซึ่งมีความลึก 360 มม. และหนัก 25.6 กก./ม.
4. เหล็ก C (C-shape) รูปที่ 2.1(ค) เป็นเหล็กที่มีรูปร่างเหมือนตัว C หรือเรียกว่าเหล็กทรงรางน้ำ มีแกนสมมาตรเพียงแกนเดียว เดิมมีชื่อเรียกว่า American Standard Channels C150x18.6 ได้แก่เหล็กรูปร่างรางน้ำที่มีความลึก 150 มม. และหนัก 18.6 กก./ม.
5. เหล็ก MC (Mc-shape) มีรูปร่างเหมือนเหล็กรูปร่างรางน้ำ เดิมมีชื่อเรียกว่า Miscellaneous Channels
6. เหล็ก L (L-shape) มีรูปร่างเหมือนเหล็กตัว L หรือเรียกว่าเหล็กฉาก มีทั้งชนิดขาเท่าและไม่เท่ากัน L50x50x4 ได้แก่เหล็กฉากขาเท่ากัน มีขายาวข้างละ 50 มม. และความหนา 4 มม. ส่วน L75x50x6 ได้แก่เหล็กฉากขาไม่เท่ากัน มีขายาว 75 มม. และ 50 มม. ตามลำดับ ความหนาของขาเท่ากับ 6 มม.
7. เหล็ก T (T-shape) มีรูปร่างเหมือนเหล็กตัว T ได้จากการตัดเหล็ก W, S และ M ออกเป็นสองส่วน ซึ่งโดยปกติแล้วจะแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ตัดออกจากเหล็ก W เรียกว่า WT ตัดออกจากเหล็ก S เรียกว่า ST และตัดออกจากเหล็ก M เรียกว่า MT สัญลักษณ์ WT200x33 ได้แก่เหล็กรูปตัว T มีความลึก 200 มม. หนัก 33 กก./ม. ตัดมาจากเหล็ก W400x66

วิธีการระบุขนาดและชนิดของเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ หรือใช้ในการเขียนแบบจะระบุขนาดและชนิดด้วยชื่อย่อ ซึ่งใช้กันเป็นมาตรฐานทั่วไป เป็นต้นว่า

WF350x49.6 หมายถึงหน้าตัดรูปปีกกว้าง WF (Wide Flange) ซึ่งมีความลึกโดยประมาณเท่ากับ 350 มม. และมีน้ำหนักต่อความยาวหนึ่งเมตร เท่ากับ 49.6 กิโลกรัม

C125x13.4 หมายถึงหน้าตัดรูปเหล็กทรงรางหรือร่อง (Channel) ซึ่งมีความลึกโดยประมาณเท่ากับ 125 มม. และมีน้ำหนักต่อความยาวหนึ่งเมตร เท่ากับ 13.4 กิโลกรัม

L90x60x12 หมายถึงเหล็กฉากที่มีขาด้านยาวเท่ากับ 90 มม. ขาด้านสั้นเท่ากับ 60 มม. และมีความหนาเท่ากับ 12 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

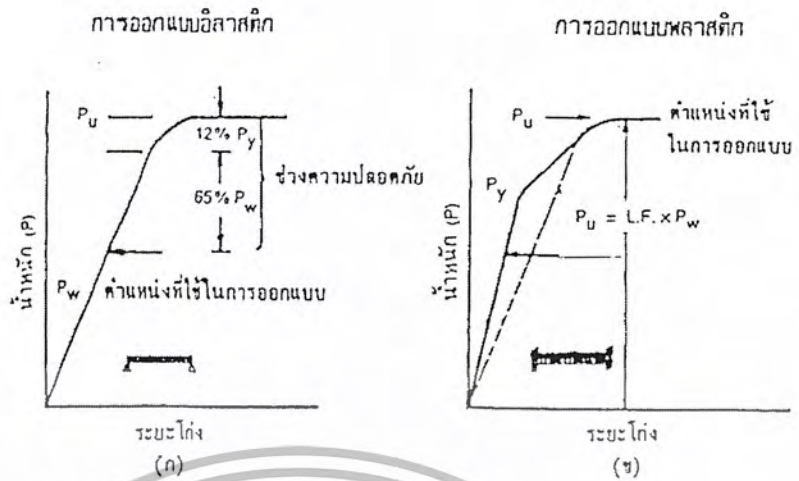
WT150x47 หมายถึงหน้าตัดรูปตัว T ซึ่งหน้าตัดจากเหล็กรูป WF300x94 เหล็กรูปแบบนี้ เรียกว่า Structural Tee

การออกแบบโครงสร้างเหล็ก หมายถึงการคำนวณเพื่อเลือกชนิดและขนาดที่เหมาะสมของเหล็กรูปพรรณที่มีขายอยู่แล้ว หรือรูปตัดที่ประกอบขึ้นเอง เพื่อให้ต้านทานต่อโมเมนต์คดแรงในแนวแกน หรือโมเมนต์คดและแรงในแนวแกนร่วมกัน ที่คำนวณได้จากมาจากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโครงสร้าง การออกแบบโครงสร้างเหล็กมีวิธีเฉพาะสำหรับประเภทของโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งแบ่งตามชนิดของแรง ที่จะให้โครงสร้างที่ออกแบบนั้นต้านทานโดยปลอดภัย ได้แก่ ส่วนโครงสร้างที่รับแรงตามแกน ซึ่งอาจเป็นแรงดึงหรือแรงอัด ส่วนโครงสร้างที่รับโมเมนต์คดและแรงเฉือน ส่วนโครงสร้างที่รับแรงตามแกนและโมเมนต์คดร่วมกัน ตลอดจนการออกแบบรอยต่อของส่วนโครงสร้างเพื่อให้ทุกส่วนของโครงสร้างรับน้ำหนักได้ตามต้องการ

การออกแบบโครงสร้างเหล็กสามารถเลือกทำได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีอีลาสติก (Elastic Method) ซึ่งอาศัยค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) รวมกับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Service load) เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ อีกวิธีหนึ่งได้แก่วิธีพลาสติก (Plastic Method) ซึ่งอาศัยหน่วยแรงคลาก (Yield Stress) รวมกับน้ำหนักบรรทุกประลัย (Ultimate load) เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ

ปัจจุบันการออกแบบโดยวิธีพลาสติก (Plastic Method) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันแพร่หลายในต่างประเทศ เพราะเป็นวิธีการออกแบบที่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุก โครงสร้างที่ออกแบบโดยวิธีนี้จะประหยัดกว่าโครงสร้างที่ออกแบบโดยวิธีอีลาสติก โดยมีค่าความปลอดภัยใกล้เคียงกัน รูปที่ 2.2. แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการออกแบบทั้งสองวิธี

ในคานที่มีการรองรับแบบธรรมดา (Simply Supported Beam) ตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์สูงสุดเพียงตำแหน่งเดียว ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย (P_u) จะมีค่าสูงกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกคลาก (P_y) เพียงเล็กน้อย แต่ในคานแบบปลายยึดแน่น (Fixed end Beam) ตำแหน่งที่โมเมนต์มีค่าสูงสุดมีได้ถึง 3 ตำแหน่ง ในกรณีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยจะมีค่าสูงกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกคลากมาก และคานจะเกิดการวิบัติ (Collapse) เมื่อตำแหน่งที่โมเมนต์มีค่าสูงสุดทั้ง 3 ตำแหน่งมีสภาพเป็นจุดหมุนพลาสติก (Plastic Hinge)



รูปที่ 2.2. การเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอีลาสติกและพลาสติก (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

จากรูปที่ 2.2. ได้ข้อสรุปดังนี้

1. ที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Service load) P_w ที่ออกแบบโดยวิธีพลาสติก โครงสร้างยังมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงอีลาสติก
2. การออกแบบโดยวิธีพลาสติกจะใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย P_u เป็นเกณฑ์ในการออกแบบหรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่า ได้กำหนดน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่โครงสร้างจะสามารถรับไว้ได้ในขณะที่การออกแบบโดยวิธีอีลาสติก น้ำหนักบรรทุกสูงสุดไม่สามารถกำหนดได้

การออกแบบโครงสร้างเหล็กจำเป็นต้องปฏิบัติตามกฎและหลักกฎและหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบของแต่ละท้องถิ่น เพื่อให้เกิดความเป็นระเบียบและความปลอดภัยต่อโครงสร้างมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่สามารถนำไปใช้อ้างอิง ได้แก่

AASHTO	American Association of state Highway and Transportation Officials
AISC	American Institute of Steel construction
AISI	American Iron and Steel Institute
AREA	American Railway Engineering Association
AISE	Association of Iron and Steel Engineers
UBC	Uniform Building Code
DIN	Deutsche Industrial Norm (W.Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JIS Japanese Industrial Standards

ว.ส.ท มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

2.2.1. น้ำหนักบรรทุกในอาคาร (Building Loads)

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

2.2.1.1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ได้แก่ น้ำหนักขององค์อาคารต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นตัวโครงสร้าง เช่น น้ำหนักพื้น คาน เสา ฐานราก เป็นต้น ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ยึดแน่นกับตัวโครงสร้าง เช่น น้ำหนักผนัง กำแพง ฝ้าเพดาน ท่อสายไฟ ท่อลมเครื่องปรับอากาศ ลิฟท์ จัดเป็นประเภทของน้ำหนักบรรทุกคงที่เช่นเดียวกัน โดยปกติน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่สามารถทราบค่าได้อย่างใกล้เคียงหลังจากได้กำหนดสัดส่วนและขนาดขององค์อาคารต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว

2.2.1.2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads)

น้ำหนักบรรทุกจร ได้แก่ น้ำหนักสิ่งของต่าง ๆ ที่อาคารต้องแบกรับ หลังจากได้สร้างอาคารเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยปกติขนาดของน้ำหนักบรรทุกจะถูกกำหนดโดยกฎหมายบัญญัติของแต่ละท้องที่ ตามประเภทและลักษณะการใช้งานของอาคาร น้ำหนักบรรทุกจรสามารถแยกออกเป็นสองประเภทดังนี้

น้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้ง (Vertical Live Loads) ได้แก่ น้ำหนักต่าง ๆ ที่กระทำในแนวตั้ง เช่น น้ำหนักของผู้อาศัย น้ำหนักของเครื่องจักรที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เครื่องเฟอร์นิเจอร์ สีน้าต่าง ๆ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้กำหนดของน้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้งตามประเภทการใช้งานของอาคาร โดยมีค่าประมาณเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าค่าดังปรากฏในตารางที่ 2.3.

ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกจรที่ถ่ายลงเสาและฐานราก สำหรับโรงมหรสพ หอประชุม หอสมุด พิพิธภัณฑ์ อิมจันทร์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม อาคารจอดรถยนต์ หรือเก็บรถยนต์ ให้คือน้ำหนักบรรทุกเต็มอัตราทุกชั้น ส่วนอาคารประเภทอื่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครอนุญาตให้ทำการลดส่วนลงได้ตามชั้นของอาคารดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2. น้ำหนักบรรทุกกระแทก

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใด มีผลทำให้อาคารต้องรับน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคารอย่างช้า ๆ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใดนี้ เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกกระแทก ซึ่งคำนวณหาได้จาก

$$L_1 = L_2(i+1) \quad (2.1.)$$

โดยที่ L_1 = น้ำหนักบรรทุกกระแทก กก.

L_2 = น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ กก.

i = แฟคเตอร์เนื่องจากการกระแทก

AISC ได้กำหนดค่า i สำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ ดังปรากฏในตารางที่ 2.5.

ในการออกแบบคานที่รองรับแรง ต้องคำนึงถึงแรงในแนวตั้งฉาก และแรงในแนวตามยาวของคาน กระทำที่คานด้วย AISC ได้กำหนดค่าของแรงทั้งสองดังนี้

แรงในแนวตั้งฉาก = $0.1 \times (\text{น้ำหนักของวัตถุที่ยก} + \text{น้ำหนักของตัววิ่งบนหลังคาน})$

แรงในแนวตามยาว = $0.1 \times (\text{น้ำหนักสูงสุดที่ล้อวิ่งของตัวครน})$

AASHO ได้กำหนดค่า I ดังนี้

$$I = \frac{15}{L + 38} < 0.30 \quad (2.2.)$$

ตัวประกอบปลอดภัย คือ ค่าที่แสดงถึงความปลอดภัยของโครงสร้างต่อการวิบัติ ในกรณีที่โครงสร้างมีสภาวะการรับน้ำหนักบรรทุก และกำลังของวัสดุที่ใช้แตกต่างไปจากสภาวะที่กำหนด ในทฤษฎีอิลาสติก หน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าเท่ากับน้ำหนักบรรทุกใช้งานคูณด้วยตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) โดยทั่วไปตัวประกอบความปลอดภัยมีค่าดังนี้

$$FS = \frac{P_u}{P_s} \quad (2.3.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$F.S.$ = ตัวประกอบความปลอดภัย

P_u = น้ำหนักบรรทุกสูงสุด กก.

P_a = น้ำหนักบรรทุกใช้งาน กก.

จากข้อกำหนด AISC ค่าความปลอดภัยสามารถคำนวณได้ดังปรากฏในตารางที่ 2.7.

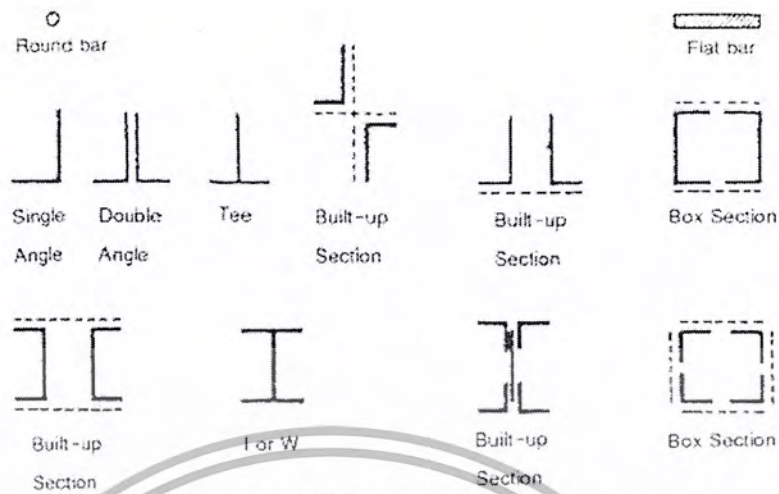
จากตารางที่ 2.7. พบว่าชิ้นส่วนที่รับแรงดึงเป็นหลักมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.67 ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับชิ้นส่วนที่รับแรงอัดประเภทเสาสั้น ส่วนเสายาวจะมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.92 และ สำหรับหมุดยึดและสลักเกลียวจะมีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 2.00

2.3. องค์อาคารรับแรงดึง

องค์อาคารรับแรงดึง (Tension Member) ได้แก่ องค์อาคารรับแรงดึงตามแกนมักจะพบในโครงสร้างเหล็กทั่วไป ตามปกติจะทำหน้าที่เป็นองค์อาคารหลักในโครงสร้างจำพวกสะพาน หลังคา โครงซ้อหมุน หอสถูบ ตัวยึด (Tie bar) และกำแพงกันลม (Wind Bracing) ในโครงสร้างสูงหลายชั้น สำหรับโครงสร้างที่องค์อาคารหรือพื้นที่มีตัวยึดระหว่างกำแพงหรือพื้น เพื่อให้เกิดความแข็งแรงไม่เกิดการไหวตัวง่าย เป็นต้น

แบบขององค์อาคารรับแรงดึงอาจได้แก่ องค์อาคารเดี่ยวซึ่งได้แก่เหล็กที่มีรูปร่างและขนาดมาตรฐานที่ผลิตขายอยู่ทั่วไป เช่น เหล็กกลม เหล็กแบน ลวดเหล็ก เคเบิล เหล็กรูปพรรณ เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัว I เป็นต้น หรืออาจได้แก่องค์อาคารประกอบ (Build-up Members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น โดยทั่วไปการใช้้องค์อาคารเดี่ยวจะประหยัดกว่าการใช้้องค์อาคารประกอบ อย่างไรก็ตาม้องค์อาคารประกอบมีความจำเป็นในกรณีที่้องค์อาคารเดี่ยวมีขนาดเล็กและไม่สามารถรับแรงดึงได้พอหรือในกรณีที่ต้องการลดค่าอัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ของ้องค์อาคารรับแรงดึง เป็นต้น

รูปร่างหน้าตัดของ้องค์อาคารรับแรงดึงที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3.



รูปที่ 2.3. หน้าตัดขององค์อาคารรับแรงดึง (สำนัก เจริญแผ่น และ วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

2.3.1. เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลัง (มาตรฐาน ว.ศ.ท)

วิธีการออกแบบขององค์อาคารรับแรงดึงเป็นวิธีการออกแบบที่ง่ายที่สุด เนื่องจากความไม่เสถียร (Instability) ขององค์อาคารมีความสำคัญรองลงมา วิศวกรเพียงแค่เลือกขนาดขององค์อาคารให้มีเนื้อที่หน้าตัดเพียงพอในการต้านแรงกระทำจากภายนอก โดยมีค่าความปลอดภัยต่อการวิบัติที่เพียงพอ

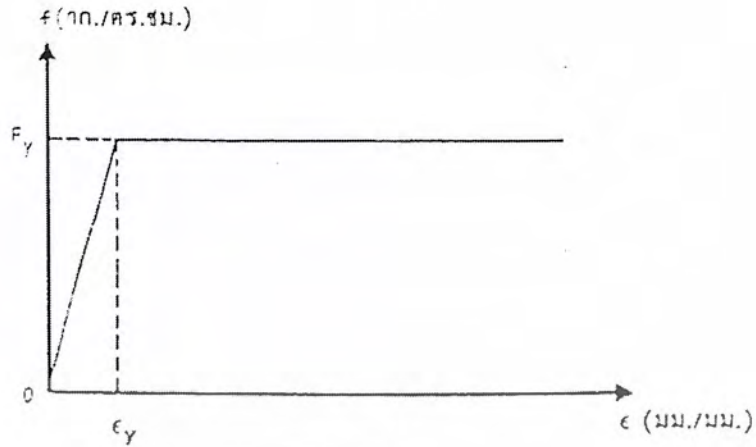
การออกแบบจะสมมุติว่าหน่วยแรงกระจายสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดขององค์อาคาร และ เมื่อกำหนดให้มีความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับความเครียดมีลักษณะดังปรากฏในรูปที่ 2.4. ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดขององค์อาคารมีค่าดังนี้

$$T_u = F_y A_n \quad (2.4.)$$

โดยที่ T_u = แรงดึงสูงสุด กก.

F_y = หน่วยแรงดึงคราก กก./ตร.ซม.

A_n = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ตร.ซม.



รูปที่ 2.4. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียด (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

จากสมการที่ 2.4. ความสามารถในการรับแรงดึงที่ยอมให้มีค่าดังนี้

$$T_w = \frac{F_y A_n}{F.S.} = F_t A_n \quad (2.5)$$

โดยที่ T_w = แรงดึงที่ยอมให้ กก.

F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ กก./ตร.ซม.

F.S. = ตัวประกอบความปลอดภัย

ดังนั้นเมื่อแรงดึงภายนอกมีค่าเท่ากับ T_w เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่ต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5. ดังนี้

$$A_n = \frac{T_w}{F_t} \quad (2.6)$$

พิจารณาค่า F.S. ในสมการที่ 2.5. จากมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.65 ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากในอดีตสำหรับเหล็กชนิด A7 (ปัจจุบันไม่ผลิตขาย) ซึ่งมีหน่วยแรงดึงคลาก $F_y = 2320$ กก./ตร.ซม. วิศวกรได้เลือกใช้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ $F_t = 1450$ กก./ตร.ซม. โดยไม่ปรากฏความเสียหายกับโครงสร้างอาคารแต่ประการใด ดังนั้น ว.ส.ท. จึงได้กำหนดค่า F.S. จากประสบการณ์ดังกล่าว จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F.S. = \frac{F_y}{F_t} = \frac{2320}{1405} = 1.65$$

หรือ $F_t = 0.6F_y$ (2.7.)

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ต่อเนื้อที่หน้าตัดสุทธิสำหรับองค์อาคารรับแรงดึง ที่กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 2.1.

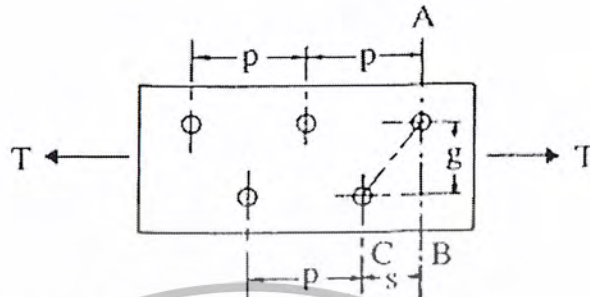
ตารางที่ 2.1. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (มาตรฐาน ว.ส.ท. 1015-40/AISC 1989)

- บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ยกเว้นรูสลัก (pin holes)	$F_t = 0.60F_y$ แต่ต้องไม่เกิน $0.5F_u^+$
- บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่ปลายรับสลัก (eye bars)	
องค์อาคารที่มีข้อต่อแบบหมุนได้	$F_t = 0.45F_y$
- บนเหล็กที่เป็นเกลียว (สลักเกลียว, หมุดย้ำ)	$F_t = 0.60F_y$
+ $F_u = \text{Minimum tensile strength } kg/cm^2$	
* กระทำต่อเนื้อที่ $0.7854 (D - 2475/n)^2$ โดยที่ D = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายเกลียว ซม. และ n = จำนวนเกลียวต่อเซนติเมตร	

2.3.2. เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง ได้แก่ เนื้อที่หน้าตัดขององค์อาคารในแนวตั้งฉากกับแรงกระทำภายนอก ซึ่งมีค่าเท่ากับเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (Gross Sectional Area) ลบด้วยเนื้อที่ส่วนที่เป็นรูเจาะ สำหรับสลักเกลียวหรือหมุดย้ำมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูมีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวหรือหมุดย้ำบวกเพิ่มอีกสามมิลลิเมตร ในกรณีที่มีการเจาะรูเป็นแบบซิกแซก (Zig-Zag) การวิบัติจะเกิดขึ้นที่บริเวณเนื้อที่หน้าตัดสุทธิวิกฤต (Critical Net Section) ซึ่งได้แก่เนื้อที่หน้าตัดสุทธิที่น้อยที่สุดนั่นเอง

สำหรับเหล็กรูปตัดฉากเดี่ยวเนื้อที่หน้าตัดสุทธิของขาไม่มีการต่อปลาย อนุญาตให้ใช้ได้เพียงครั้งเดียว เพื่อเผื่อแรงเยื้องศูนย์กลางที่อาจเกิดขึ้น



รูปที่ 2.5. แสดงองค์อาคารรับแรงดึงมีความกว้าง b ซม. และความหนา t ซม. (ทักษิณ เทพชาติ, 2541)

การเจาะรูเป็นแบบซิกแซก โดยมี

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของสลักเกลียว ซม.

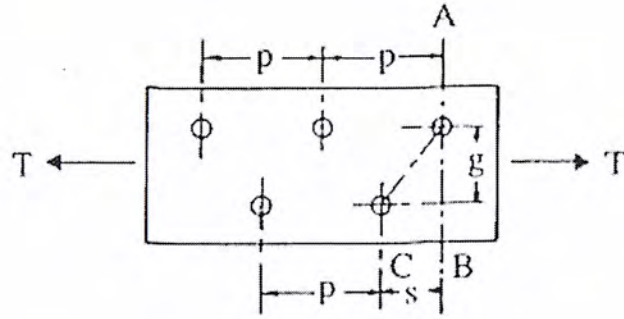
S = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะในแนวเดียวกับแนวแรง (Pitch) ซม.

g = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะในแนวขวางกับแนวแรง (Gage) ซม.

พิจารณารูปที่ 2.6. พบว่าการวิบัติอาจเกิดขึ้นได้ที่บริเวณหน้าตัดตามเส้น AB หรือหน้าตัดตามแนวเส้น AC หน้าตัดตามแนวเส้น AB สามารถคำนวณหาได้โดยไม่ลำบาก ในขณะที่หน้าตัดสุทธิตามแนวเส้น AC การคำนวณหาค่อนข้างจะทำได้ลำบาก อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้ใช้ค่า $\frac{S^2}{4g}$ เป็นตัวปรับความกว้างสุทธิสำหรับหน้าตัดที่มีแนวเส้นผ่านรูเจาะแบบซิกแซก ดังนั้นจะได้

$$\text{เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ } AB = b - (d+0.3)t \quad \text{ตร.ซม.} \quad (2.8.)$$

$$\text{เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ } AC = b - 2(d+0.3)t + \frac{S^2 t}{4g} \quad \text{ตร.ซม.} \quad (2.9.)$$



รูปที่ 2.6. องค์อาคารรับแรงดึงเจาะรูแบบซิกแซก (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)



รูปที่ 2.7. แรงกระทำบนหน้าตัด (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

ค่าที่น้อยกว่าในสองค่านี้จะเป็นค่าของเนื้อที่หน้าตัดวิกฤต ซึ่งจะเป็นแนวที่องค์อาคาร ดึงเกิดการวิบัติ อย่างไรก็ตามการทดสอบพบว่า ค่าดึงขององค์อาคารดึงจะลดประมาณ 15% ของกำลัง ดึงสูงสุด ถึงแม้ว่าเนื้อที่ที่หักออกเนื่องจากรูจะมีค่าน้อยมากแล้วก็ตาม ดังนั้นมาตรฐาน ว.ส.ท. จึง กำหนดให้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิมากที่สุดขององค์อาคารดึงที่มีรูมีค่าไม่เกิน 85% ของเนื้อที่หน้าตัด ทั้งหมด นั่นคือ

$$A_n \leq 0.85A_g \quad (2.10.)$$

พิจารณาเทอม $\frac{S^2}{4g}$ ว.ส.ท. ได้นำมาใช้ในการปรับความกว้างสุทธิของหน้าตัดที่

มีการเจาะรูซิกแซก จากรูปที่ 2.7. ถ้าให้หน่วยแรงดึงตามแกนมีค่า f จะได้แรงดึงตามความยาว $g - kD$ เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = f_t (g - kD)t \quad (2.11.)$$

$$kD = D - \frac{S^2}{4g} \quad (2.12.)$$

ดังนั้น เมื่อพิจารณาหน้าตัดสุทธิตามขวาง รูปที่ 2.7. จะได้

$$\text{ความกว้าง} = g - kD = g - D + \frac{S^2}{4g} \quad (2.13.)$$

สมการที่ 2.13. หมายความว่าในการพิจารณาความกว้างสุทธิของรูเจาะเฉียงออกไป ให้ลบความกว้างของรูนั้นออก แล้วบวกด้วยค่า $\frac{S^2}{4g}$

การปรับความกว้างสุทธิขององค์อาคารตั้งที่มีการเจาะรูแบบซิกแซกด้วยค่า $\frac{S^2}{4g}$ ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณโดยทฤษฎีหน่วยแรงสูงสุด ซึ่งอาจมีความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 10%-15% ดังนั้นเพื่อความสะดวก ว.ส.ท. จึงกำหนดให้ใช้ค่า $\frac{S^2}{4g}$ ดังได้กล่าวมาแล้วในช่วงต้น

2.3.3. เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านกำลังตามมาตรฐาน AISC 1989

ในปี ค.ศ. 1989 มาตรฐาน AISC ได้ทำการแก้ไขเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบของค์อาคารรับแรงดึง ซึ่งได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 2.2. ดังนี้

ตารางที่ 2.2. หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (ทักษิณ เทพชาติ, 2541)

- ยกเว้นองค์อาคารที่มีข้อต่อแบบหมุนได้

$$F_t = 0.60F_y \quad \text{บนเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด}$$

$$F_t = 0.50F_u^+ \quad \text{บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล}$$

- สำหรับองค์อาคารที่มีข้อต่อแบบหมุนได้

$$F_t = 0.45F_y \quad \text{บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ}$$

- สำหรับเหล็กที่เป็นเกลียว ตามข้อกำหนดที่ AISC - 14.1

$$F_t = 0.50F_u \quad \text{บนเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3. เนื้อที่หน้าตัดสุทธิขององค์อาคารรับแรงดึง (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

ชนิดขององค์อาคาร	จำนวนน้อยที่สุดของตัวยึดในหนึ่งแถวในทิศทางขนานกับแรงดึง	ข้อบังคับพิเศษ	u	A_n
ก. องค์อาคารรับแรงดึงตลอดความยาวซึ่งชิ้นส่วนของหน้าตัดทั้งหมดมีการยึดต่อเพื่อถ่ายแรงดึง	1	-	1	A_n
ข. แผ่นต่อ แผ่นประกบ ซึ่งใช้ในการต่อยึดองค์อาคารรับแรงดึงเข้าด้วยกัน	1	-	1	$A_n \leq 0.85A$
ค. เหล็กรูปพรรณ W, M, S	3	ความกว้างของปีก ≥ 2 ความสูงของหน้าตัด 3	0.9	0.9A
ง. เหล็กรูปตัวที (T-section) ที่ตัดมาจากเหล็กรูปพรรณในข้อ ค.	3	การต่อระหว่างปีกต่อปีก	0.9	0.85A
จ. เหล็กรูปพรรณ W, M, S อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนด ในข้อ ค. เหล็กหน้าตัดประกอบ	3	-	0.85	0.85A
ฉ. เหล็กรูปต่าง ๆ ทุกชนิด	2	-	0.75	0.75A

จากการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ศ.ท. กับ

มาตรฐาน AISC (1989) พบว่ามาตรฐาน AISC ได้ใช้ค่า $F_t = 0.60F_y$ บนเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ ทั้งนี้เพราะผลการศึกษพบว่า บ่อยครั้งที่การวิบัติอาจเกิดขึ้นตรงหน้าตัดทั้งหมด ซึ่งอยู่นอกบริเวณหน้าตัดที่เจาะรู ดังนั้นเพื่อป้องกันการวิบัติบริเวณหน้าตัดดังกล่าว มาตรฐาน AISC จึงได้กำหนดให้ทำการตรวจสอบกำลังขององค์อาคารรับแรงดึงบนเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดด้วย อย่างไรก็ตาม สำหรับตรงหน้าตัดดังกล่าว โดยใช้ $F_t = 0.50F_u$ บนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (A_e)

โดยกำหนดให้

$$A_e = UA_n \quad (2.14.)$$

โดยที่ A_e = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล ตร.ซม.

U = สัมประสิทธิ์ตัวลด (Reduction Coefficient) (ดูตารางที่ 3.3)

A_n = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ

การที่ AISC กำหนดให้ใช้เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลแทนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิ เพราะการทดสอบพบว่า ในกรณีที่องค์อาคารรับแรงดึงมีรูปร่างหน้าตัดของชิ้นส่วนไม่อยู่ในระนาบเดียวกันและที่บริเวณรอยต่อ การถ่ายแรงเกิดขึ้นเฉพาะบางชิ้นส่วนของหน้าตัดเท่านั้น ดังเช่นในกรณีของเหล็กฉาก เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ องค์อาคารจะรับหน่วยแรงดึงที่ไม่สม่ำเสมอจนตลอดหน้าตัด อันมีผลทำให้กำลังขององค์อาคารบริเวณหน้าตัดสุทธินี้ลดลง ดังนั้น AISC จึงใช้ค่า U เพื่อเป็นตัวลดกำลังขององค์อาคารดังกล่าว

2.3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบด้านสติฟเนส

ถึงแม้ว่าความไม่มีเสถียรภาพจะไม่ใช่เกณฑ์สำคัญในการออกแบบขององค์อาคารรับแรงดึง แต่เพื่อป้องกันไม่ให้องค์อาคารเกิดการไหวตัวได้ง่ายภายใต้แรงลม หรือการสั่นสะเทือน หรือเกิดลักษณะการตกท้องช้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกของตนเอง จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าอัตราความชะลูด

(Slenderness Ratio) $\frac{KL}{r}$ ดังนี้

$$\text{สำหรับองค์อาคารหลัก} \quad \frac{KL}{r} \leq 240 \quad (2.15)$$

สำหรับตัวค้ำยันหรือองค์อาคารรอง $\frac{KL}{r} \leq 300$ (2.16)

โดยที่ K = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล (Effective Length Factor) = 1.0

L = ความยาว ซม.

r = รัศมีจายเรชั่น = $\sqrt{\frac{I}{A}}$ ซม.

I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย ซม.⁴

A = เนื้อที่หน้าตัด ตร.ซม.

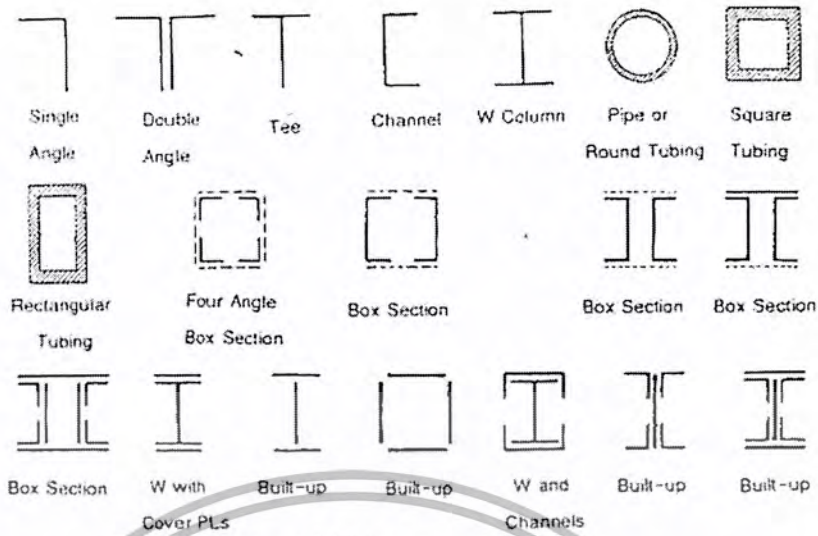
2.4. องค์อาคารรับแรงอัด

องค์อาคารรับแรงอัด ได้แก่ องค์อาคารที่รับแรงกดหรือแรงอัดตามแกน เช่น เสา จันทัน โครงหลังคา เป็นต้น องค์อาคารดังกล่าวจะมีมิติของความยาวมากกว่ามิติของหน้าตัดมาก เสา ที่จัดเป็นเสาสมบูรณ์ (Perfect Column) ได้แก่ เสาที่

- ก. ประกอบด้วยวัสดุเนื้อเดียวกันหมด (Homogeneous Materials)
- ข. ปราศจากหน่วยแรงคงค้าง (Residual Stresses)
- ค. ตั้งอยู่ในแนวตั้ง (Perfectly Straight)
- ง. นำหนักกระทำผ่านจุดแกนศูนย์ (Centrally Loaded)

ในโครงสร้างทั่วไป เสดังกล่าวยากที่จะพบเห็น เนื่องจากมีการคด (Bending) แผง ปนอยู่ไม่มากนัก้อย ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะพฤติกรรมของเสาที่มีน้ำหนักกระทำในแนวแกนแต่เพียง อย่างเดียว

แบบขององค์อาคารรับแรงคดอาจได้แก่ องค์อาคารเดี่ยว ซึ่งได้แก่เหล็กที่มีรูปร่างและ ขนาดมาตรฐานที่ผลิตขายอยู่ทั่วไป เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัว T เหล็กท่อกลม เป็นต้น หรืออาจได้แก่องค์อาคารประกอบ (Build-up Members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าว ข้างต้น รูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงอัดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.8.



รูปที่ 2.8. รูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารรับแรงอัด (ทักษิณ เทพชาติ, 2541)

2.4.1. ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างโครงสร้างส่วนรับแรงดึงและแรงอัด

1. แรงดึงจะพยายามดึงโครงสร้างให้อยู่ในแนวตรงเสมอ แต่แรงอัดจะพยายามทำให้โครงสร้างนั้นแอ่นหรือโก่ง
2. รูเจาะของหมุดย้ำหรือสลักเกลียวใน โครงสร้างที่รับแรงดึง จะลดเนื้อที่หน้าตัดในการรับแรง แต่ในโครงสร้างที่รับแรงอัด ตัวหมุดย้ำหรือสลักเกลียวนั้นสมมุติว่าแทนที่รูเจาะเต็มทั้งหมดและเนื้อที่หน้าตัดเต็มทั้งหมดซึ่งเท่ากับความหนาคูณด้วยความกว้าง โดยมีต้องหักเนื้อที่ของรูเจาะก็จะใช้คำนวณในการรับน้ำหนัก

โครงสร้างที่รับแรงอัดจะมีแนวโน้มที่จะแอ่นหรือ โก่ง ถึงแม้ว่าแรงอัดนั้นจะอยู่ในแนวแกนก็ตาม การโก่งงอที่เกิดขึ้นในเสานั้นเรียกว่า การโก่งเดาะ (Buckling) ซึ่งอาจจะเกิดจากความโค้งแรกเริ่ม (Initial Curvature) หรือชนิดของการยึดปลาย เป็นต้นว่า ปลายยึดอิสระ (Free) ปลายยึดหมุน (Hinged) หรือปลายยึดแน่น (Fixed) หรือเนื่องจากการเลศนัยของแรงอัด ในทุกกรณีที่กำลังนั้น ทำให้การคำนวณของโครงสร้างที่รับแรงอัดไม่เหมือนกัน

วิธีการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดค่อนข้างยุ่งยากกว่าวิธีการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึง เนื่องจากเสาจะเกิดการโค้งงอภายใต้แรงอัดตามแกน และกำลังของเสาจะขึ้นอยู่กับค่า

อัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio = $\frac{KL}{r}$) ของเสานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2. การโค้งงอของเสาในช่วงอีลาสติก

เสายาวภายใต้แรงอัดตามแกนจะเกิดการโค้งงอ ทั้ง ๆ ที่ไม่มีโมเมนต์กระทำจากภายนอกการโค้งงอนี้ทำให้เสาสูญเสียความมีเสถียรภาพ น้ำหนักตามแกนต่ำสุดที่ทำให้เสาเกิดการโค้งงอ เรียกว่า น้ำหนักโค้งงอ (Buckling Load) ซึ่งจะเป็นค่าที่กำหนดความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา การศึกษาพบว่า น้ำหนักโค้งงอจะแปรผกผันกับความยาวของเสา เสาตรงประกอบด้วยองค์อาคารรับแรงอัด 2 ตัว ยึดติดกันด้วยสปริงที่มีค่าความต้านทานการหมุน K ที่น้ำหนักโค้ง P เสาจะเกิดการโค้งงอแสดงในรูปที่ 2.9.

สมการแสดงความสมดุล เขียนได้ดังนี้

$$P \rho = \frac{PE \sin \beta}{2} = 2K\beta \quad (2.17.)$$

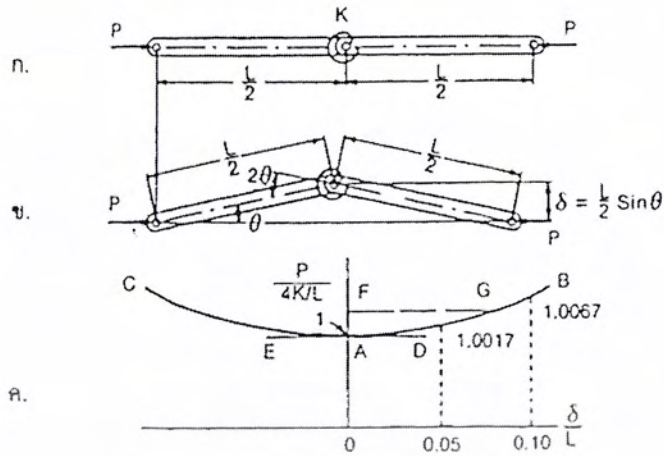
หรือ

$$P = \frac{4K\beta}{L \sin \beta} \quad (2.18.)$$

เมื่อสมมติให้การโค้งมีค่าน้อยมาก (Small-deflection) จะได้ $\sin \beta = 0$ และจากสมการที่ 2.18. ได้

$$P_{cr} = \frac{4K}{L} \quad (2.19.)$$

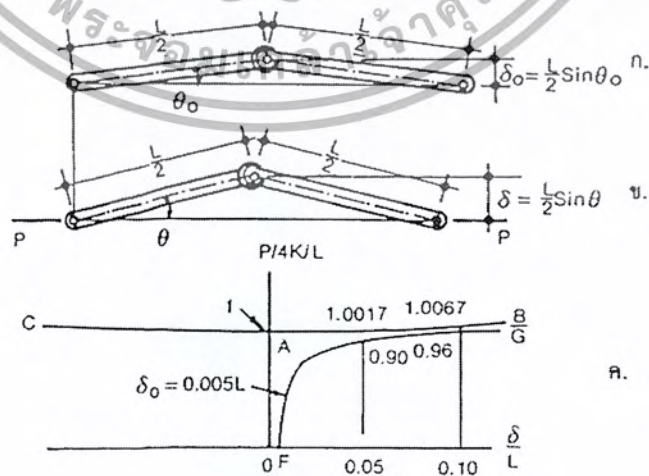
รูปที่ 2.9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตามแกนกับระยะโค้งที่จุดกึ่งกลาง ณ จุด A ซึ่ง P มีค่าเท่ากับ $\frac{4K}{L}$ เสาจะมีสถานะความสมดุล 2 ตำแหน่ง กล่าวคือ ความสมดุลในแนวตั้ง (เส้น OA) และความสมดุลในแนวโค้ง (เส้น AB) จุด A เรียกว่า จุดไบเฟอร์เคชัน (Bifurcation) เมื่อ $P < \frac{4K}{L}$ เสาจะมีสถานะความสมดุลอยู่ในแนวตั้ง ดังแสดงด้วยเส้น OA แต่เมื่อ $P > \frac{4K}{L}$ เสาจะเกิดการโค้งและเกิดสภาวะสมดุลขึ้นใหม่ ดังแสดงด้วยเส้น AB จุด F ในแนวเส้นตรง OA เป็นตำแหน่งที่เสายกความไม่เสถียรภาพขึ้น กล่าวคือการทำให้อายุอยู่ในแนวตั้ง ณ ตำแหน่ง F ได้ จะต้องอาศัยการบังคับ เช่น การค้ำยันด้านข้างเพื่อไม่ให้เสายกการโค้งงอ แต่ทันทีที่นำเอาค้ำยันออกเสายกการโค้งงอและเกิดสภาวะความไม่เสถียรภาพขึ้นใหม่ที่ตำแหน่ง G ในแนวเส้นโค้ง AB



รูปที่ 2.9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตามแกนกับระยะโค้ง (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)



รูปที่ 2.10. เสาตรงภายใต้แรงอัด (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)



รูปที่ 2.11. เสาโค้งเชื่อมต่อด้วยสปริง (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Leonhard Euler ในปี ค.ศ. 1757 ได้เสนอทฤษฎีการโค้งงอของเสาตรงในช่วงอิลาสติก รูปที่ 2.9. แสดงเสาตรงที่ปลายทั้งสองข้างมีจุดรองรับเป็นแบบจุดหมุน (Pin ended) ภายใต้แรงอัดตาม แกน P เสาเกิดการโค้งงอแสดงด้วยเส้นประ โมเมนต์ที่เกิดขึ้น ณ จุดใด ๆ บนเส้นประมีค่าเท่ากับ P_y และจากความสมดุลจะได้

$$\frac{EI}{\rho} = Py(x) \quad (2.20.)$$

โดยที่ E = โมดูลัสยืดหยุ่น kg/cm^2
 I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย cm^4
 ρ = รัศมีความโค้ง cm
 $y(x)$ = ระยะโค้งงอ cm

จากความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีความโค้ง (ρ) กับระยะโค้งงอ (y) เขียนได้ดังนี้

$$P = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2} \quad (2.21.)$$

พิจารณาสมการที่ 2.21. พบว่า P มีค่าต่ำสุดเมื่อ $n = 1$ ซึ่งเป็นกรณีที่เสาเกิดการโค้งงอแบบความโค้งเดียว (Single Curvature) ดังนั้น

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.22.)$$

โดยที่ P_e = นำหนักออยเลอร์ (Euler Load) กก.

หรือในเทอมของหน่วยแรงอัด จะได้

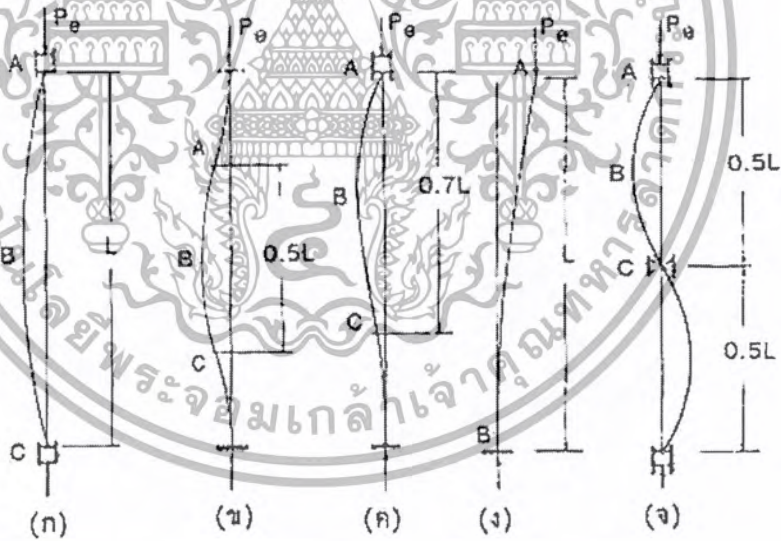
$$f_a = \frac{PE}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad (2.23.)$$

โดยที่ $f_a =$ หน่วยแรงอัดออกยเลอร์
 $r =$ รัศมีจอร์จัน ซม.

2.4.3. ผลของลักษณะการยึดปลายต่อหน้าหนักประลัยของเสา

กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน จะหาได้โดยใช้สมการ 2.23. สำหรับน้ำหนักประลัยของเสาที่มีลักษณะการยึดปลายต่าง ๆ กัน ก็สามารถใช้ได้โดยการวิเคราะห์และพิจารณาแบบเดียวกันกับที่กล่าวในตอนต้น คือเริ่มต้นพิจารณาตั้งแต่สมการของเส้นโค้งอิลาสติก แล้วใช้เงื่อนไขของการยึดปลายคำนวณหาน้ำหนักประลัยของเสาแต่ละกรณีซึ่งจะได้อยู่ในรูปแบบสมการคล้ายสมการ 2.23.

ลักษณะการยึดปลายเสาแบบต่าง ๆ ในโครงสร้างทั่วไป ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12. น้ำหนักประลัยของเสาในแต่ละแบบของการยึดปลายจะหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.12. ลักษณะต่าง ๆ ของการยึดปลายเสา (ทักษิณ เทพชาติ, 2541)

1. เมื่อปลายเป็นแบบยึดหมุนทั้งสองข้างรูปที่ 2.12(ก) น้ำหนักประลัยของเสาแบบนี้จะหาได้โดยใช้สมการ 2.23.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อปลายเป็นแบบยึดแน่นทั้งสองดังรูปที่ 2.12(ข) จุดคัดกลับ A และ C จะอยู่ห่างจากปลายทั้งสองเป็นระยะ $L/2$ ดังนั้นส่วนของเสา ABC จะคล้ายกับเสาในแบบแรก ซึ่งมีความยาวเสาเป็น $L/2$ นำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$P_a = \frac{\pi^2 EI}{(L/2)^2} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.24.)$$

นั่นคือ เมื่อปลายเสาเป็นแบบยึดแน่นทั้งสองข้าง กำลังรับน้ำหนักนี้จะเป็นสี่เท่าของเสาที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน สมการ 2.24. นี้สามารถใช้ได้กับรูปที่ 2.12(จ) ซึ่งมีปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุนและมีการยึดทางข้างที่กึ่งกลางของเสาดังรูป

3. เมื่อปลายข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่น และปลายอีกข้างหนึ่งเป็นแบบยึดหมุนดังรูปที่ 2.12(ค) จุดคัดกลับ C จะอยู่ที่ระยะ $0.7L$ จากปลาย A และช่วงของเสา ABC จะคล้ายกับเสาในแบบแรกดังรูปที่ 2.12(ก) ซึ่งมีความยาวของเสาเป็น $0.7L$ ดังนั้น นำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$P_a = \frac{\pi^2 EI}{(0.7L)^2} = \frac{2\pi^2 EI}{L^2} \quad (\text{โดยประมาณ}) \quad (2.25.)$$

นั่นคือกำลังรับน้ำหนักของเสาแบบนี้จะเป็นสองเท่าของเสาในรูป ก

4. เมื่อปลายข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่นและปลายอีกข้างหนึ่งเป็นแบบปล่อยอิสระดังรูปที่ 2.12(ง) ส่วนของเสา AB ในนี้จะเป็นส่วนของ AB ในรูปที่ 2.12(ก) ดังนั้น นำหนักประลัยของเสาแบบนี้

$$P_a = \frac{\pi^2 EI}{(2L)^2} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} \quad (2.26.)$$

นั่นคือ กำลังรับน้ำหนักของเสาแบบนี้มีเพียงเศษหนึ่งส่วนสี่ของเสาในรูปที่ 2.12(ก)

ดังนั้นจะเห็นว่าสมการของออยเลอร์เป็นสมการที่ใช้หานำหนักประลัยของเสาเมื่อเสามีลักษณะของการยึดปลายเป็นแบบต่าง ๆ ซึ่งจะเขียนใหม่ได้เป็นสมการทั่วไปดังนี้คือ

น้ำหนักประลัยของเสา
$$P_a = \frac{\pi^2 EI}{(0.7L)^2} = \frac{2\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.27.)$$

ถ้าให้เนื้อที่หน้าตัดเสาเท่ากับ A

ดังนั้น หน่วยแรงอัดประลัย
$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (2.28.)$$

ในที่นี้ K เป็นตัวประกอบคงที่ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของการยึดปลาย โดยทั่ว ๆ ไปเทอม KL เรียกว่าความยาวประสิทธิผล

เมื่อพิจารณาสมการของออยเลอร์จะเห็นว่า ถ้าเสามีความยาวเท่ากัน น้ำหนักประลัยจะขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงของวัสดุ EI ซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่าของโมเมนต์อินเนอร์เซีย ดังนั้นการโค้งเดาะของเสาจะเกิดขึ้นในแนวแกนหรือในทิศทางที่มีโมเมนต์อินเนอร์เซียน้อยที่สุดในการคำนวณออกแบบ จึงควรเลือกหน้าตัดที่ให้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียเท่ากัน ๆ ทั้งสองแกน (แกน X และแกน Y)

2.4.4. การเลือกรูปตัดของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

ในทางทฤษฎีแล้วสามารถใช้รูปตัดเพื่อรับแรงอัดเป็นแบบใดก็ได้เพียงแค่คำนวณให้รับน้ำหนักปลอดภัยเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้ว การเลือกจะต้องคำนึงถึงรูปตัดที่มีขนาดอยู่ตามท้องตลาด ปัญหาของการต่อปลาย และการใช้งานในโครงสร้างแบบต่าง ๆ ของส่วนที่รับแรงอัด

หน้าตัดของโครงสร้างที่รับแรงอัด โดยมากจะเหมือนกับของโครงสร้างที่รับแรงดึง แต่มีข้อยกเว้นบางอย่างคือ กำลังของโครงสร้างที่รับแรงอัดนั้นจะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับอัตราส่วนความชะลูด (อัตราส่วนของความยาวประสิทธิผลต่อรัศมีไจเรชั่นน้อยที่สุด) และต้องการรูปตัดที่สตีฟ (Stiff) เหล็กรูปที่เป็นท่อนเหล็กกลม หรือแผ่นเหล็กแบน นั้นโดยมากจะไม่ค่อยใช้รับแรงอัด ทั้งนี้เพราะความชะลูด (Slender) มีค่ามาก นอกเสียจากว่าความยาวที่ใช้นั้นไม่มากและรับแรงอัดน้อย ๆ

รูปตัดฉากเดี่ยว (Single-angle) ใช้เป็นค้ำยันและรับแรงอัดในโครงสร้างแบบโครงสร้างหลังคา (Truss) ขนาดย่อม ๆ แบบนี้ไม่ค่อยประหยัดเพราะรัศมีของไจเรชั่นน้อย และการต่อกับแผ่นเหล็กประกบอาจจะทำให้เกิดแรงคด เนื่องจากการเอียงศูนย์ขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปตัดฉากคู่ (Double-angle) ซึ่งต่อโดยการจับขามาชนกัน (Back to Back) และมีแผ่นเหล็กประกบอยู่ตรงกลางจะใช้ทั่วไปในโครงหลังคา และใช้เป็นค้ำยันด้านแรงลมในคานประกอบของโครงสะพาน ปกติแล้วจะใช้เหล็กฉากยาวไม่เท่ากัน (Unequal-leg angle) โดยที่เอาขาด้านยาวมาประกบกันเพื่อที่จะให้ได้รับริ้วรอยในแนวแกนทั้งสอง (X และ Y) เท่า ๆ กัน

สำหรับรูปตัดแบบตัวที (Tee) ใช้เป็นส่วนของจันทันในโครงหลังคา ที่มีการต่อด้วยการเชื่อม ส่วนเหล็กรูปแบบเหล็กทรง (Channel) นั้นไม่ค่อยนิยมเพราะว่ารับริ้วรอยน้อยมาก แต่ถ้าจะใช้จะต้องมีการยึดด้านข้าง (Lateral Support) เหล็กรูปแบบ WF เป็นแบบทั่วไปสำหรับใช้เป็นเสาและโครงสร้างที่รับแรงอัดที่ใช้ในสะพาน ทั้งนี้เพราะรับริ้วรอยในแกนทั้งสองเกือบเท่ากัน

รูปตัดแบบท่อกลมกลวง (Pipe) ใช้เป็นเสารับน้ำหนักของหลังคาทางเดินเท้าหรือโรงรถ ในบ้านเรือนทั่วไป เหมาะสำหรับการรับน้ำหนักน้อยหรือปานกลาง รูปตัดแบบนี้มีข้อดีคือรับริ้วรอยจะเท่ากันทุกแกน สำหรับหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีภายในกลวงนั้นแต่ก่อนไม่ค่อยนิยมใช้ ทั้งนี้เพราะมีปัญหาในการต่อโดยใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว แต่ในปัจจุบันนิยมใช้มากขึ้นเพราะการต่อปลายโดยการเชื่อม

โครงสร้างที่รับแรงอัดในโครงสร้างขนาดใหญ่ ปกติจะได้อาจจากการนำหน้าตัดแบบต่างมาประกอบรวมกัน (Built-up) เพื่อใช้รับแรงที่มีความมากและสำหรับโครงสร้างที่มีช่วงระยะการต่อปลายจะกระทำที่ด้านเปิด (Open Side) โดยมีแผ่นยึด (Lacing) เป็นตัวยึดเพื่อให้รูปตัดที่ประกอบรวมกันนั้นถูกต้องตรงเสมือนเป็นอันเดียวกัน แบบต่าง ๆ ของหน้าตัดที่ได้จากการประกอบ (Built-up Section) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.8. เส้นประจะแสดงถึงแผ่นยึด (Lacing) เป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่องกับเส้นเต็ม (Solid Line) แสดงถึงส่วนที่ต่อเนื่องตลอดความยาว รูปตัดที่ประกอบด้วยเหล็กฉาก 4 อันนั้นจะทำให้มีรับริ้วรอยมากที่สุด และใช้งานก่อสร้างหอบสูงและรับล้อเลื่อนไฟฟ้าในโรงงานรูปตัดที่ประกอบด้วยเหล็กทรง (Channel) 2 ชิ้นใช้เป็นเสารับน้ำหนักอาคารหรือเป็นส่วนของแผ่นตั้งในโครงเหล็กขนาดใหญ่

หน้าตัดที่ใช้เป็นส่วนของจันทันในโครงสร้างสะพานจะประกอบด้วยเหล็กทรง 1 คู่ และมีแผ่นปะ (Cover Plate) อยู่ข้างบน มีแผ่นยึด (Lacing) อยู่ด้านล่าง รูปหน้าตัดแบบอื่นก็ได้จากการประกอบรูป WF กับแผ่นปะ (Cover Plate) หรือเหล็กทรง (Channel) เป็นการเพิ่มเนื้อที่ที่ปีกคาน (Flange) เพื่อให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น

การเลือกใช้รูปตัดต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จะต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความหนา (Width-thickness Ratio) ของแต่ละชิ้นด้วย เนื่องจากชิ้นส่วนใดบางเกินไป จะมีโอกาสเกิดการโก่งเฉพาะแห่ง (Local Buckling) ในชิ้นส่วนนั้นก่อนที่ส่วนโครงสร้างทั้งหมดจะเกิดการโก่งเดาะ (Overall Column Buckling) ทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาต่ำกว่าที่คาดไว้ มาตรฐานกำหนด AISC ได้กำหนดอัตราส่วนความกว้าง (b) ต่อความหนา (t) ที่ยอมให้ (เมื่อ F_y เป็นจุดคดลากของเหล็ก, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) โดยแยกออกเป็น 2 กรณีดังรูปที่ 2.13. คือ

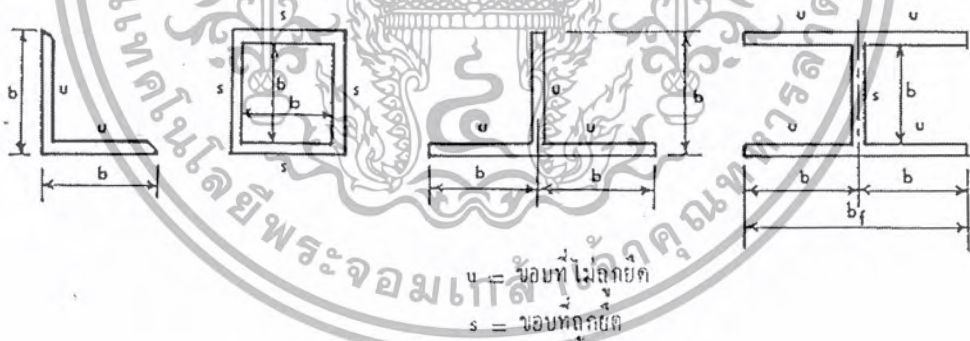
ก. เมื่อขอบด้านข้างไม่ถูกยึด (Unstiffened Element)

โดยทั่วไปใช้ $\frac{b}{t} \leq \frac{796.5}{\sqrt{F_y}}$ แต่ในเหล็กฉากเดี่ยวหรือเหล็กฉากคู่ที่มีแผ่นแทรกให้ใช้

$\frac{b}{t} \leq \frac{637}{\sqrt{F_y}}$ และในแผ่นเหล็กอกคานในเหล็กรูปตัว T ใช้ $\frac{b}{t} \leq \frac{1065}{\sqrt{F_y}}$

ข. เมื่อขอบด้านข้างถูกยึด (Stiffened Element) โดยทั่วไปใช้ $\frac{b}{t} \leq \frac{2121}{\sqrt{F_y}}$ แต่สำหรับท่อเหล็กรูป

ตัดสี่เหลี่ยมให้ใช้ $\frac{b}{t} \leq \frac{1995}{\sqrt{F_y}}$



รูปที่ 2.13. ความกว้างของขอบที่ถูกยึดและไม่ถูกยึด (ทักษิณ เทพชาติรี, 2541)

อย่างไรก็ดี เหล็กรูปพรรณที่ผลิตส่วนใหญ่ได้ทำตามข้อกำหนดข้างต้นแล้ว จึงมักไม่มีปัญหาเรื่องการโก่งเดาะเฉพาะแห่ง

2.4.5. สูตรคำนวณของโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

สูตรคำนวณที่ใช้ออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด เพื่อหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้มีอยู่ด้วยกันหลายสูตร เช่น

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

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

$$\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F_u = 0.44F_y \left[1 - \frac{(KL)^2}{2Cc^2} \right] \quad (2.29.)$$

ใช้ $K = 0.75$ สำหรับ Riveted End และใช้ $K = 0.875$ สำหรับ Pinned End

สำหรับเหล็กชนิด A36 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ F_u คำนวณจาก

$$F_u = 1120 - 0.021 \left(\frac{L}{r} \right)^2 \quad \text{กก. ต่อตาราง ซม. (Riveted Ends)} \quad (2.30.)$$

$$F_u = 1120 - 0.027 \left(\frac{L}{r} \right)^2 \quad \text{กก. ต่อตาราง ซม. (Pinned Ends)} \quad (2.31.)$$

ข้อจำกัด คือค่าอัตราส่วนความชะลูด $\left(\frac{L}{r} \right)$ จะต้องไม่เกิน 130

สูตรของมาตรฐาน AISC เป็นสูตรที่อ้างอิงการค้นคว้าล่าสุดเกี่ยวกับพฤติกรรมของเสาเหล็ก สูตรนี้ได้คำนึงถึง หน่วยแรงอัดที่ค้างเหลืออยู่ (Residual Stress) เช่น เมื่อขึ้นส่วนเย็นไม่สม่ำเสมอทันทีที่ร้อนเป็นต้น ชนิดของการยึดปลาย ความยาวของเสา และคุณภาพของเหล็กทำให้ออกแบบได้ประหยัด ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท ได้กำหนดสูตรนี้สำหรับใช้คำนวณออกแบบเสาเช่นกัน

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2c_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8c_c} - \frac{(KL/r)^3}{8c_c^3}} \quad \text{ถ้า} \quad \frac{(KL)}{r} \leq C_c \quad (2.32.)$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad \text{ถ้า} \quad \frac{(KL)}{r} > C_c \quad (2.33.)$$

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

L = ช่วงความยาวอิสระของเสาที่ไม่มีสิ่งยึดทางข้าง ซม.

r = รัศมีจอร์จัน (ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการโก่งงอ ซม.

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก กก. ต่อ ซม²

F_y = กำลังจุดคลากของเหล็ก กก. ต่อ ซม²

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (ดูตารางที่ 4.1)

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ กก. ต่อ ซม²

สำหรับค้ำยัน (Bracing) และส่วนโครงสร้างรอง (Secondary Member) ที่มีอัตราส่วนความชะลุดเกินกว่า 120*

* ในกรณีนี้ K มีค่าเท่ากับ 1

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ $P_a = \frac{F_a}{1.6 - \frac{L}{200r}}$ จาก (ก) หรือ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4. ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลของส่วนโครงสร้างหลัก (ทักษิณ เทพชาติรี, 2541)

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
ลักษณะการโก่งเดาะ ของเสาแสดงโดย เส้นประ						
ค่า K (ทฤษฎี)	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K (ออกแบบ)	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
สัญลักษณ์ของการ ยึดปลาย		การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของ ปลายเสา		
		ไม่มี		ไม่มี		
		มี		ไม่มี		
		ไม่มี		มี		

ตารางที่ 2.4. แสดงว่าตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (K) ตามทฤษฎีและที่ใช้ในการออกแบบเสาเดี่ยวโดด ๆ ซึ่งจะเห็นว่าค่าตามทฤษฎีของลักษณะการยึดปลายเสาต่าง ๆ โดยมากจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ ทั้งนี้เพราะในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถทำการยึดปลายเสาได้ตรงตามทฤษฎีนั่นเอง

นอกจากนี้ มาตรฐาน AISC ได้กำหนดว่าอัตราส่วนความชะลูด ($\frac{KL}{r}$) ของส่วนโครงสร้างหลักที่รับแรงอัดจะต้องไม่เกิน 200 และสำหรับค้ำยันและส่วนโครงสร้างรองจะต้องไม่เกิน 300

2.4.6. ช่วงความยาวประสิทธิผล (Effective Column Length)

ค่าของ KL ในข้อกำหนดของ AISC คือช่วงความยาวประสิทธิผลของเสา (Effective Length of Column) ที่จะเกิดการโก่งงอ เป็นระยะระหว่างจุดดัดกลับ (Inflection Point) ของเสาในระยะนี้มีค่าแปรเปลี่ยนต่าง ๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับแบบและชนิดของการยึดปลาย (End Restraint)

ในโครงสร้างแบบโครงแข็ง (Frame) ค่าตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (K) ของเสาจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรง (Rigidity) ของส่วนโครงสร้างที่นำมาต่อกัน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับว่า

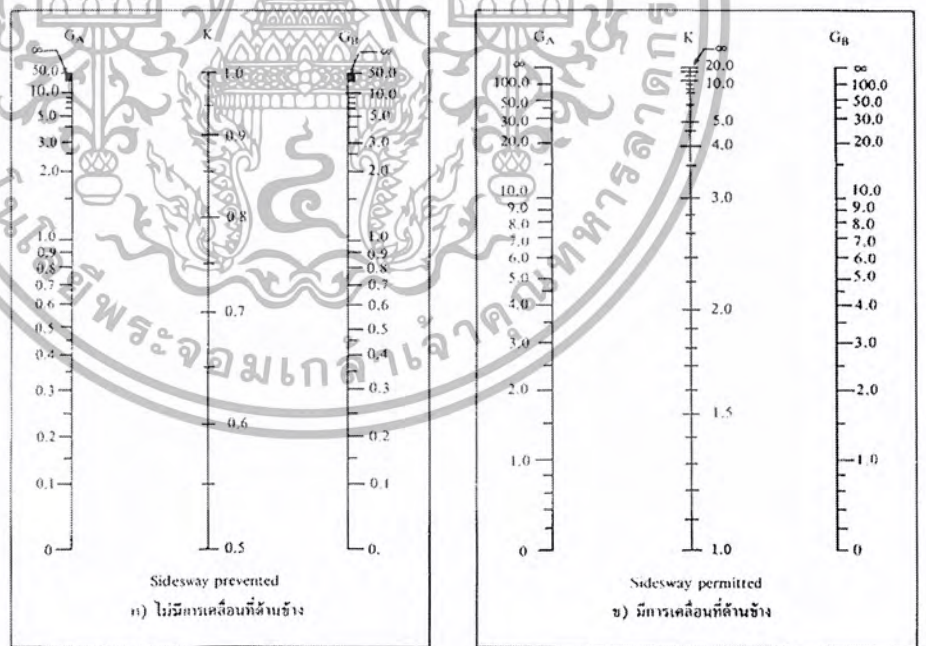
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างนั้นยอมให้มีการเซหรือไม่ ค่าตัว K ของโครงสร้างแบบนี้ (ที่มีการเซและไม่มีการเซ) จะหาได้จาก Alignment Chart ในรูปที่ 2.19. อักษร A และ B ในรูปจะหมายถึงจุดต่อปลายเสา ตัว G เป็นอัตราส่วนของสติฟเนสแฟกเตอร์ระหว่างเสากับคาน

$$G = \frac{\text{Stiffness factor of column}}{\text{Stiffness factor of beam}} = \frac{I_c/L_c}{I_g/L_g} \quad (2.34.)$$

ในที่นี้ I_c, L_c เป็นโมเมนต์อินเนอร์เซีย และช่วงความยาวของเสา ตามลำดับ
 I_g, L_g เป็นโมเมนต์อินเนอร์เซีย และช่วงความยาวของคาน ตามลำดับ

ในกรณีที่ปลายเสามีการยึดหมุน (Pinned End) ค่า G ตามทฤษฎีจะมีค่าเป็นอินฟินิตี้ แต่ในการใช้ Dignment Chart ให้ใช้ค่า $G = 10$ สำหรับกรณีที่ปลายเสามีการยึดแบบยึดแน่น (Fixed End) ค่า G ตามทฤษฎีจะมีค่าเป็นศูนย์แต่ในการใช้ Alignment Chart ให้ใช้ค่า $G = 1$



รูปที่ 2.14. Alignment Chart (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7. การออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด

ในกรณีที่แรงอัดกระทำในแนวแกนของรูปตัด วิธีออกแบบโครงสร้างส่วนรับแรงอัด มีขั้นตอนดังนี้ คือ

1. สมมติหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ โดยการกำหนดอย่าให้มากกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุด ในสูตรคำนวณของเสา (Column Formula)
2. หารน้ำหนักที่กระทำด้วยหน่วยแรงอัดที่สมมุติขึ้นจากข้อ 1. จะได้ค่าเนื้อที่หน้าตัดของเสาที่ต้องการโดยประมาณ
3. เลือกหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณให้มีเนื้อที่หน้าตัดอย่างน้อยเท่ากับเนื้อที่ที่หาได้จากข้อ 2. จากตารางของเหล็กรูปพรรณก็จะได้ค่ารัศมีจเรชันที่น้อยที่สุดของหน้าตัดนี้
4. คำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้มากที่สุดของหน้าตัดนี้ โดยใช้สูตรคำนวณของเสาและรัศมีจเรชันที่น้อยที่สุดที่หาได้จากข้อ 3.
5. ถ้าหากค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ที่คำนวณได้จากข้อ 4. ไม่มากเกินไปกว่าค่าจริง (ซึ่งได้จากการหารน้ำหนักหรือแรงที่กระทำด้วยเนื้อที่ทั้งหมด) ประมาณ 2%-3% แสดงว่าเลือกหน้าตัดได้เหมาะสมแล้ว
6. ถ้าหากค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ที่คำนวณได้มากกว่าค่าของหน่วยแรงอัดจริง ๆ ประมาณ 5% แสดงว่าหน้าตัดที่หาได้นั้นใหญ่เกินกว่าความต้องการ จำเป็นจะต้องลดขนาดลง
7. ถ้าหากค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าของหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงแสดงว่าขนาดของหน้าตัดที่หาได้นั้นเล็กกว่าที่ต้องการจริง (แต่พออนุโลมให้ใช้หน้าตัดนั้นได้ หากมีค่าไม่น้อยเกินกว่า 2%-3%) จะต้องเลือกขนาดใหญ่กว่านี้ หรืออาจใช้เนื้อที่หน้าตัดเท่าเดิมแต่เพิ่มระยะห่างระหว่างรูปตัดที่นำมาประกอบกันให้มากขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้เพื่อเพิ่มรัศมีจเรชันซึ่งจะทำให้ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้เพิ่มขึ้น

2.4.8. เสาประกอบ (Build – up Column)

ในการออกแบบเสาที่มีความสูงมาก ๆ เช่น เสารับถังน้ำ เสาส่งสายไฟฟ้ากำลังสูง เป็นต้น วิศวกรมักนิยมเลือกใช้เสาประกอบแทนเสาจากเหล็กรูปพรรณเนื่องจากการประหยัดกว่า เพราะสามารถกำหนดค่ารัศมีจเรชันของแกนหลักทั้งสองให้มีค่าใกล้เคียงได้ทำให้ได้หน้าตัดที่มีประสิทธิภาพ

2.4.9. การออกแบบแผ่นยึดแบบเฉียง (Lacing) และแผ่นยึดแบบขวาง (Tie Plate)

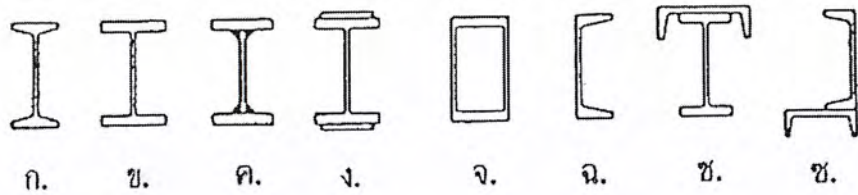
การออกแบบแผ่นยึดแบบเฉียง (Lacing) และแผ่นยึดแบบขวาง (Tie Plate) ในโครงสร้างรับแรงอัด มาตรฐาน AISC ได้กำหนดไว้ว่า

1. แผ่นยึดแบบขวาง จะต้องมีความหนาอย่างน้อย $1/50$ ของระยะห่างระหว่างแนวของหมุดยึด, สลักเกลียวหรือแนวเชื่อม และจะต้องมีความยาวซึ่งขนานกับแกนของส่วนโครงสร้างหลักไม่น้อยกว่าระยะนี้สำหรับแผ่นยึดปลายแบบขวาง และไม่น้อยกว่าครึ่งของระยะนี้สำหรับแผ่นยึดกลางช่วงแบบขวาง
2. แผ่นยึดแบบเฉียง จะต้องออกแบบให้รับแรงเฉือนซึ่งตั้งฉากกับแนวแกนไม่น้อยกว่า 2% ของแรงอัดทั้งหมดในส่วนโครงสร้างหลัก
3. ค่าอัตราส่วนความชะลูด ($\frac{L}{r}$) ที่มากที่สุดที่ยอมให้
 - สำหรับแผ่นยึดเดี่ยวแบบเฉียง (Single lacing) = 140 (ใช้ L = ความยาวที่เชื่อมต่อ ระหว่างจุดที่ย้ำหมุด หรือจุดที่เชื่อม)
 - สำหรับแผ่นยึดคู่แบบเฉียง (Double lacing) = 200 (ใช้ L = 70% ของความยาวที่เชื่อมต่อระหว่างจุดที่ย้ำหมุด หรือจุดที่เชื่อม)
4. จะใช้แผ่นยึดคู่แบบเฉียง เมื่อระยะระหว่างแนวการต่อปลายแผ่นยึดเกินกว่า 35 ซม.
5. แนวของแผ่นยึดแบบเฉียงกับแนวของส่วนโครงสร้างหลักไม่ควรน้อยกว่า 60 องศา สำหรับ แผ่นยึดเดี่ยว และ 45 องศา สำหรับแผ่นยึดคู่

2.5. องค์อาคารรับแรงดัด

คานหมายถึงองค์อาคารที่รับน้ำหนักในแนวตั้ง ซึ่งมีทิศทางตามยาวขององค์อาคารนั้นๆ ทั้งนี้รวมถึงโมเมนต์ที่กระทำที่ปลายด้วย ดังนั้น แรงที่กระทำที่ปลายด้วย ดังนั้น แรงที่กระทำต่อคานจึงมีทั้งแรงดัดและแรงเฉือน ตัวอย่างขององค์อาคารในโครงสร้างที่จัดอยู่ในจำพวกคานได้แก่ ตง จันทัน แปะ ออกไก่ เป็นต้น รูปที่ 2.15. แสดงหน้าตัดคานที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งอาจเป็นคานเหล็ก รูปพรรณ หรือคานประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็ก เพื่อให้มีรูปร่างและความสามารถในการรับน้ำหนักตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



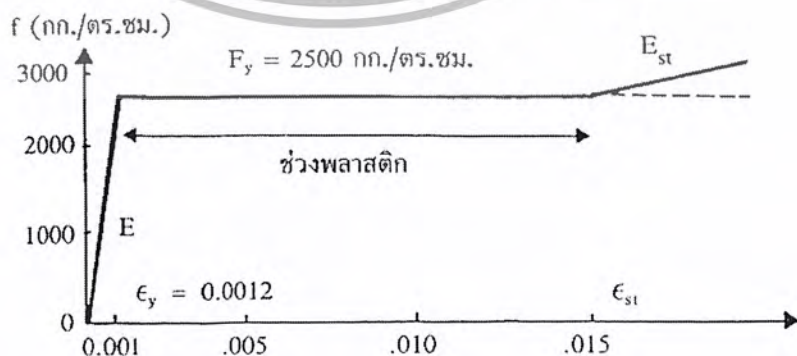
รูปที่ 2.15. หน้าตัดคานที่ใช้กันทั่วไป (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

คานภายใต้แรงกระทำในแนวตั้ง หากปราศจากการค้ำยันด้านข้างที่เพียงพอ อาจเกิดการโค้งงอด้านข้างได้ มีผลทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักลดลง พฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานชนิดมีการค้ำยันและปราศจากการค้ำยันและปราศจากการค้ำยันด้านข้าง รวมทั้งหลักเกณฑ์ในการหาค่าหน่วยแรงคดที่ยอมรับให้กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. จะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.5.1. พฤติกรรมการรับแรงคด

ในการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงคดของคาน มีสมมุติฐานดังนี้

1. คานประกอบด้วยวัสดุเนื้อเดียวกันตลอด
2. ความเครียดมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแนวแกนสะเทิน กล่าวคือภายใต้แรงคด หน้าที่เป็นแนวราบยังคงเป็นแนวราบหลังการเปลี่ยนรูปร่าง
3. ภายใต้แรงคดและแรงอัด ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับความเครียดสามารถแทนด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงสองเส้น (Bilinear $f - \epsilon$ curve) รูปที่ 2.16.



รูปที่ 2.16. ความสัมพันธ์ของ $f - \epsilon$ curve (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดมีค่าน้อยมาก

รูปที่ 2.17(ข) และ 2.17(ค) แสดงการกระจายของความเครียดและหน่วยแรงตลอดหน้าตัดคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามลำดับ

ในช่วงอิลาสติก : การกระจายของหน่วยแรงตลอดหน้าตัดคานมีลักษณะเป็นเส้นตรง จนกระทั่งหน่วยแรงที่ผิวบนและล่างมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาก ดังรูปที่ 2.17(ค) ชั้นตอนที่ 1 ณ ตำแหน่งนี้

$$\phi = \frac{1}{\sigma_y} = \frac{c_y}{d/2} = \frac{F_y}{Ed/2} \quad (2.35.)$$

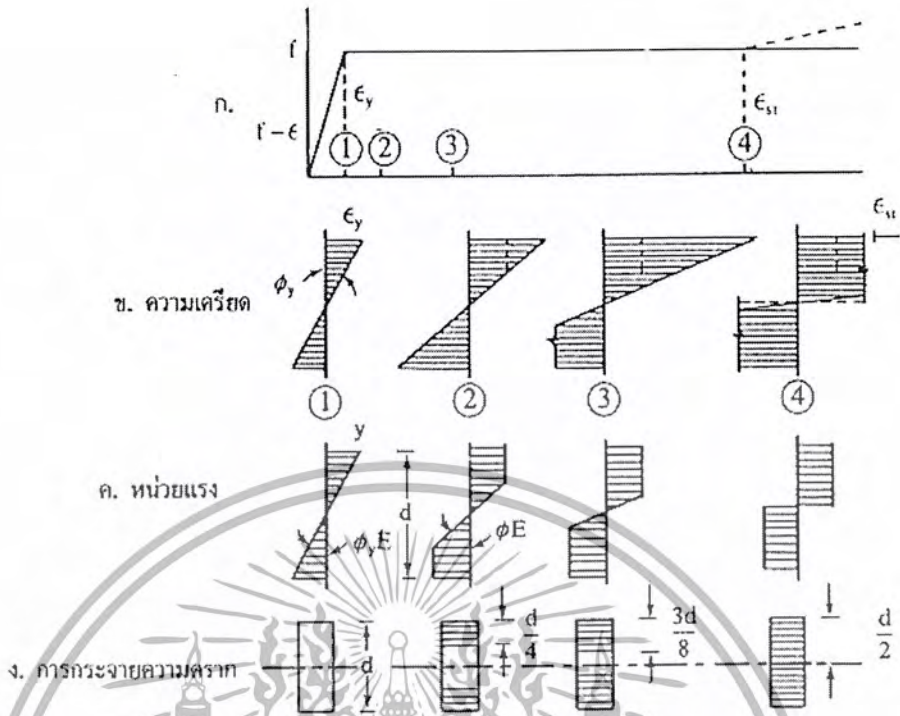
และจาก

$$M_y = EI_x \phi_y$$

ดังนั้น

$$M_y = \frac{F_y I_x}{c} \quad (2.36.)$$

- โดยที่ ϕ_y = ความโค้งคราก (Curvature)
 ρ_y = รัศมีความโค้งคราก
 c_y = ความเครียดคราก
 F_y = หน่วยแรงคราก kg/cm^2
 d = ความลึกของคาน cm
 b = ความกว้างของคาน cm
 M_y = โมเมนต์คลาก kg-cm
 I_x = โมเมนต์อินเนอร์เซีย cm^4
 S_x = หน้าตัดโมดูลัส cm^3



รูปที่ 2.17. การตัดของคานในช่วงพลาสติกในช่วงอินอีลาสติก (ทักษิณ เทพชาตรี, 2541)

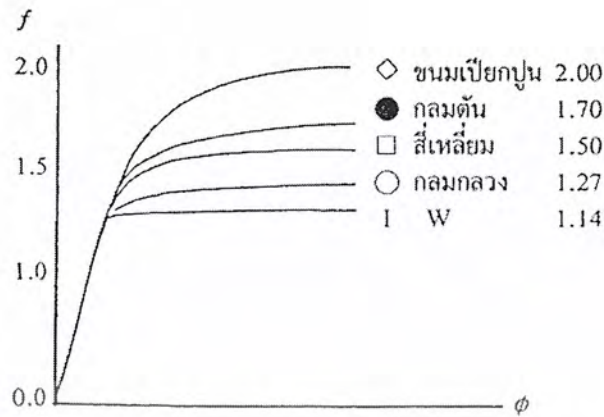
หลังจากที่หน่วยแรงสูงสุดที่ผิวบนและผิวล่างของคานมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลากคานยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้นอีก และการกระจายของหน่วยแรงตลอดหน้าตัดคานจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงด้วยขั้นตอน 2., 3. และ 4. ในรูปที่ 2.17(ค) ณ ขั้นตอน 4. หน่วยแรงตลอดหน้าตัดมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาก และความสัมพันธ์ของโมเมนต์กับหน่วยแรง เขียนได้ดังนี้

$$M_p = F_y Z_x \quad (2.37)$$

โดยที่ M_p = พลาสติกโมเมนต์ kg-cm
 F_y = หน่วยแรงคลาก kg/cm^2
 Z_x = พลาสติกโมดูลัส $\left(\frac{bd^2}{4}\right) \text{cm}^3$

อัตราส่วนของพลาสติกโมเมนต์ (M_p) ต่อโมเมนต์คลาก (M_y) จะเป็นค่าอัตราส่วนของกำลังต้านโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในคาน หลังจากหน่วยแรงที่ผิวบนและผิวล่างของคานมีค่าเท่ากับหน่วยแรงคลาก และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามรูปร่างหน้าตัด ดังนั้นจึงเรียกอัตราส่วนนี้ว่า ตัวประกอบรูปร่าง (Shape factor) สำหรับคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าตัวประกอบรูปร่าง (f) มีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18. ค่าตัวประกอบรูปร่าง (shape factor) ของคานชนิดต่าง ๆ (ทักษิณ เทพชาติ, 2541)

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{F_y Z_x}{F_y S_x} = \frac{b^2 d / 4}{b^2 / 6} = 1.50 \quad (2.38.)$$

สมการที่ 2.38. แสดงว่า สำหรับคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โมเมนต์สูงสุดมีค่ามากกว่าโมเมนต์กลางอยู่ 50% รูปที่ 2.18. แสดงค่าตัวประกอบรูปร่างสำหรับคานที่มีหน้าตัดต่างชนิดกันสำหรับคานหน้าตัด W ค่า f จะอยู่ระหว่าง 1.10 ถึง 1.18 ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 1.12 ละมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.14 สำหรับหน้าตัด I มีค่าเฉลี่ย 1.18

2.5.2. สูตรคำนวณของคาน

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

1. สูตรแรงดัด ใช้คำนวณหาหน่วยแรงดัดซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัด (M)

$$f_b = \frac{My}{I} \quad (2.39.)$$

$$f_{\max} = \frac{Mc}{I} \quad (2.40.)$$

- โดยที่ f_v = หน่วยแรงคัตเนื่องจากโมเมนต์คัตที่ระยะ y จากแกนสะเทิน
 y = ระยะที่ห่างจากแกนสะเทิน
 c = ระยะที่มากที่สุดของ y
 I = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดรอบแกนสะเทินที่รับแรงคัต

2. สูตรแรงเฉือน ใช้คำนวณหาหน่วยแรงเฉือนซึ่งเกิดจากแรงเฉือน (V)

$$f_v = \frac{VQ}{It} \quad (2.41.)$$

- โดยที่ f_v = หน่วยแรงเฉือนในเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของคานที่ระหว่าง y จากแกนสะเทิน
 V = แรงเฉือนทั้งหมดในแนวตั้ง
 Q = โมเมนต์รอบแกนสะเทินของเนื้อที่ส่วนที่อยู่นอกแนวที่ต้องการหา f_v
 t = ความหนาของหน้าตัดที่ต้องการหาหน่วยแรงเฉือน
 I = โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกนสะเทิน

โดยปกติมักออกแบบคานเป็นรูปตัว I หรือ WF ซึ่งค่าของหน่วยแรงเฉือนที่คำนวณจากสูตรข้างต้น เกือบเท่ากับค่าเฉลี่ย ของหน่วยแรงเฉือนซึ่งคำนวณจากสูตร $f_v = \frac{V}{dt}$ โดยที่ d เป็นความลึกของเหล็กแผ่นตั้ง ดังนั้นในการออกแบบจึงนิยมหา หน่วยแรงเฉือนจากค่าเฉลี่ย เพราะสะดวกต่อการคำนวณ

ในการคำนวณออกแบบคาน ค่าของหน่วยแรงคัตและหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นจะต้องน้อยหรือเท่ากับค่าของหน่วยแรงคัตและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ

2.5.3. โมเมนต์คัตที่มากที่สุด

โมเมนต์คัตที่มากที่สุด (M) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกและน้ำหนักของคานเองสามารถหาได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง และเขียนในรูปแบบของสมการดังนี้

$$M = C_{dm} WL \quad (2.42.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ W = น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนคาน kg

L = ช่วงความยาวของคานระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสอง cm

C_{dm} = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักที่กระทำ และลักษณะของการยึดปลายคาน (ดูตารางที่ 5.1.)

โมดูลัสหน้าตัด (Section Modulus)

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{I}{C} \quad (2.43.)$$

เมื่อ S = โมดูลัสหน้าตัด cm^3

การใช้โมดูลัสหน้าตัด (S) ในการออกแบบคาน คือ

ก. หาโมดูลัสที่ต้องการจากสูตรข้างบน

ข. ใช้ค่าโมดูลัสหน้าตัดที่หาได้จาก ข้อ ก. นำไปเลือกรูปตัดจากตารางของเหล็กรูปพรรณที่มีอยู่ โดยจะต้องเลือกรูปตัดที่มีความสมมาตรในระนาบที่รับน้ำหนัก เพื่อหลีกเลี่ยงการรับน้ำหนักเอียงศูนย์ รูปตัดควรมีน้ำหนักน้อยที่สุดแต่ให้ได้โมดูลัสหน้าตัดตามต้องการ

2.5.4. การโก่ง (Deflection)

สมการที่ 2.44. เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการโก่งของคาน ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\Delta = C_{dm} \frac{WL^3}{EI} \quad (2.44.)$$

โดยที่ Δ = ค่าการโก่ง

C_{dm} = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักที่กระทำ และลักษณะของการยึดปลายคาน (ดูตารางที่ 5.1.)

W = แรงกระทำภายนอก kg

L = ความยาวช่วงคาน cm

E = โมดูลัสยืดหยุ่น kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = \text{โมเมนต์อินเนอร์เซีย cm}^4$$

สำหรับค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร จะต้องม
ค่าไม่เกิน $\frac{1}{360}$ ของความยาวคาน กล่าวคือ

$$\frac{\Delta}{L} < \frac{1}{360} \quad (2.45.)$$

โดยที่ $\Delta =$ ค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้ cm

$L =$ ความยาวคาน cm

ในการคำนวณออกแบบคาน จะต้องตรวจสอบด้วยว่า การตกหรือโก่งตัวของคานที่
เกิดขึ้นมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมให้หรือไม่

2.5.5. มาตรฐานกำหนด AISC

มาตรฐาน AISC ได้กำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังนี้

1. หน่วยแรงคดที่ยอมให้ (F_y)

สำหรับโครงสร้างส่วนรับแรงคดที่มีหน้าตัดสมมาตรกับแกนรอง เช่น คานเหล็กรูป
พรรณแบบรีดร้อน และมีค้ำยันทางข้างที่ปีกรับแรงคดอย่างเพียงพอโดยที่ระยะค้ำยันห่างกันไม่เกิน

$$\frac{637.2b_f}{\sqrt{F_y}} \text{ หรือ } \frac{1406000}{F_y \left(\frac{d}{A_f} \right)} \text{ หน่วยเป็น เซนติเมตร (มีค่าเท่ากับ 12.7 เท่าของความกว้างของปีกคาน)}$$

สำหรับเหล็กชนิด A36)

ในที่นี้ $A_f =$ เนื้อที่หน้าตัดของปีกรับแรงคด ซม.²

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

สำหรับ $F_y = 2520$ กก/ชม²

$F_b = 0.66F_y$ กก/ชม² (สำหรับการัดรอบแกนหลัก)

$F_b = 0.75F_y$ กก/ชม²

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

สำหรับ $F_y = 2520$ กก/ชม²

$F_b = 0.60F_y$ กก/ชม²

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

$$F_b = F_y \left[0.733 - 0.000167 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] \text{ กก/ชม}^2 \quad (2.46.)$$

ในที่นี้ $F_b =$ หน่วยแรงคดที่ยอมให้ กก/ชม²

$F_y =$ ค่าตั้งจุดศูนย์กลางของเหล็ก กก/ชม²

$b_f =$ ความกว้างของปีกรับแรงอัด ซม.

$t_f =$ ความหนาของปีกรับแรงอัด ซม.

2.6. องค์อาคารรับแรงตามแนวแกนร่วมกับแรงคด

2.6.1. การคำนวณหน่วยแรง

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นใน โครงสร้างส่วนที่มีทั้งแรงในแนวแกนและแรงคด หาได้จากการรวมหน่วยแรงทั้งสองชนิด ดังต่อไปนี้

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I} \quad (2.47.)$$

ในบางครั้งโมเมนต์คดอาจเกิดขึ้นทั้งสองแกนพร้อมกัน ในกรณีเช่นนี้ หาค่าของหน่วยแรงได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x y}{I_x} \pm \frac{M_y x}{I_y} \quad (2.48.)$$

การคิดแบบนี้เป็นวิธีโดยประมาณ ทั้งนี้เพราะไม่ได้พิจารณาถึงการ โกงในแนวขวางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเมนต์คด

มาตรฐานกำหนดได้ใช้การรวมค่าของอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ กับหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับ โมเมนต์คดอย่างเดียวกับค่าของอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ กับหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับแรงในแนวแกนเข้าด้วยกัน โดยมีค่าได้ไม่เกินหนึ่งซึ่งผลที่ได้นี้เรียกว่า สมการ Intersection กล่าวคือ

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0 \quad (2.49.)$$

ในที่นี้ F_c = หน่วยแรงคดที่ยอมให้
 f_c = หน่วยแรงคดที่เกิดขึ้นจริง
 F_a = หน่วยแรงในแนวแกนที่ยอมให้
 F_b = หน่วยแรงในแนวแกนที่ยอมให้

มาตรฐานกำหนดของ AISC ได้ใช้สมการ Interaction ที่กล่าวมาข้างต้น แล้วในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมขึ้น โดยแยกสมการสำหรับแรงในแนวแกนที่มีค่ามากพวกหนึ่ง กับในแนวแกนที่มีค่าน้อยพวกหนึ่ง

2.6.2. มาตรฐานกำหนดของ AISC

สถาบันก่อสร้างอาคารด้วยเหล็กของอเมริกัน AISC ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับโครงสร้างส่วนที่รับทั้งแรงอัดและ โมเมนต์คด โดยคำนึงถึงการ โกงในแนวขวางรวมอยู่ด้วย กล่าวคือ

$$\text{ถ้า } \frac{f_a}{F_a} > 0.15 :$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}) F_{by}} \leq 1 \quad (\text{AISC 1.6-1a}) \quad (2.50)$$

และ

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad (\text{AISC 1.6-1b}) \quad (2.51)$$

แต่ถ้า

$$\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad (\text{AISC 1.6-2}) \quad (2.52)$$

ในที่นี้ f_a = หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง

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

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

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

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

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลในระนาบที่เกิดโมเมนต์คด

L = ความยาวอิสระในระนาบที่เกิดโมเมนต์คด

r_b = รัศมีจําเริญรอบระนาบที่เกิดโมเมนต์คด

C_m = ค่าสัมประสิทธิ์ (modification factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการรับโมเมนต์คดในส่วนของโครงสร้างที่พิจารณา (ดูตาราง 6.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับส่วนของโครงสร้างที่รับทั้งแรงดึงและโมเมนต์คดพร้อม ๆ กัน มาตรฐาน AISC ได้กำหนดดังนี้

$$ก. \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

โดยที่ f_a = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง

$$F_a = \text{หน่วยแรงดึงที่ยอมให้} = 0.6F_y$$

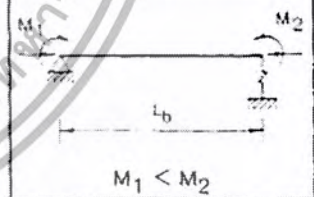
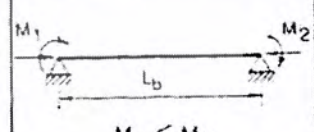
f_b = หน่วยแรงคดที่เกิดขึ้นจริง

F_y = กำลังครากของเหล็ก

F_b = หน่วยแรงคดที่ยอมให้

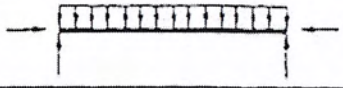
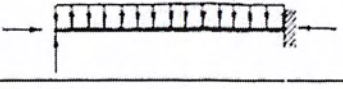
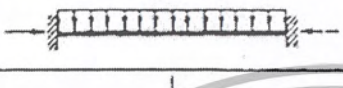
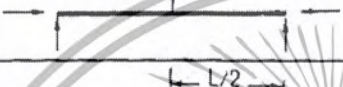
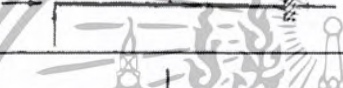

ข. หน่วยแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์คด จะต้องไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

ตารางที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ C_m (สนัน เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

กรณี	ลักษณะการรับแรง ($f_a \leq 0.15F_a$)	b	C_m	หมายเหตุ
ก	โมเมนต์คดมากที่สุด กระทำที่ปลาย และมี การเคลื่อนที่ที่ปลาย (สำหรับเสาใน frame ที่มี side sway)	$\frac{M_2}{S}$	0.85	 $M_1 < M_2$
ข	โมเมนต์คดมากที่สุด กระทำที่ปลายและไม่มี การเคลื่อนที่ที่ปลาย (สำหรับเสาใน frame ที่ ไม่มี side sway)	$\frac{M_2}{S}$	0.6 $-0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$	 $M_1 < M_2$ อัตราส่วน M_1/M_2 มีค่าเป็นบวก ตั้งรูป
ค	มีน้ำหนักกระทำระหว่าง ช่วง และไม่มีการเคลื่อน ที่ที่ปลาย		$1 + \phi \frac{f_t}{F'_c}$	ดูค่า ϕ ในตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6. ค่าสัมประสิทธิ์ ϕ และ c_m (สนัน เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

ลักษณะการรับน้ำหนักและการยึดปลาย	ϕ	c_m
	0	1.0
	-0.4	$1 - 0.4 \frac{f_a}{F_c}$
	-0.4	$1 - 0.4 \frac{f_a}{F_c}$
	-0.2	$1 - 0.2 \frac{f_a}{F_c}$
	-0.3	$1 - 0.3 \frac{f_a}{F_c}$
	-0.2	$1 - 0.2 \frac{f_a}{F_c}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

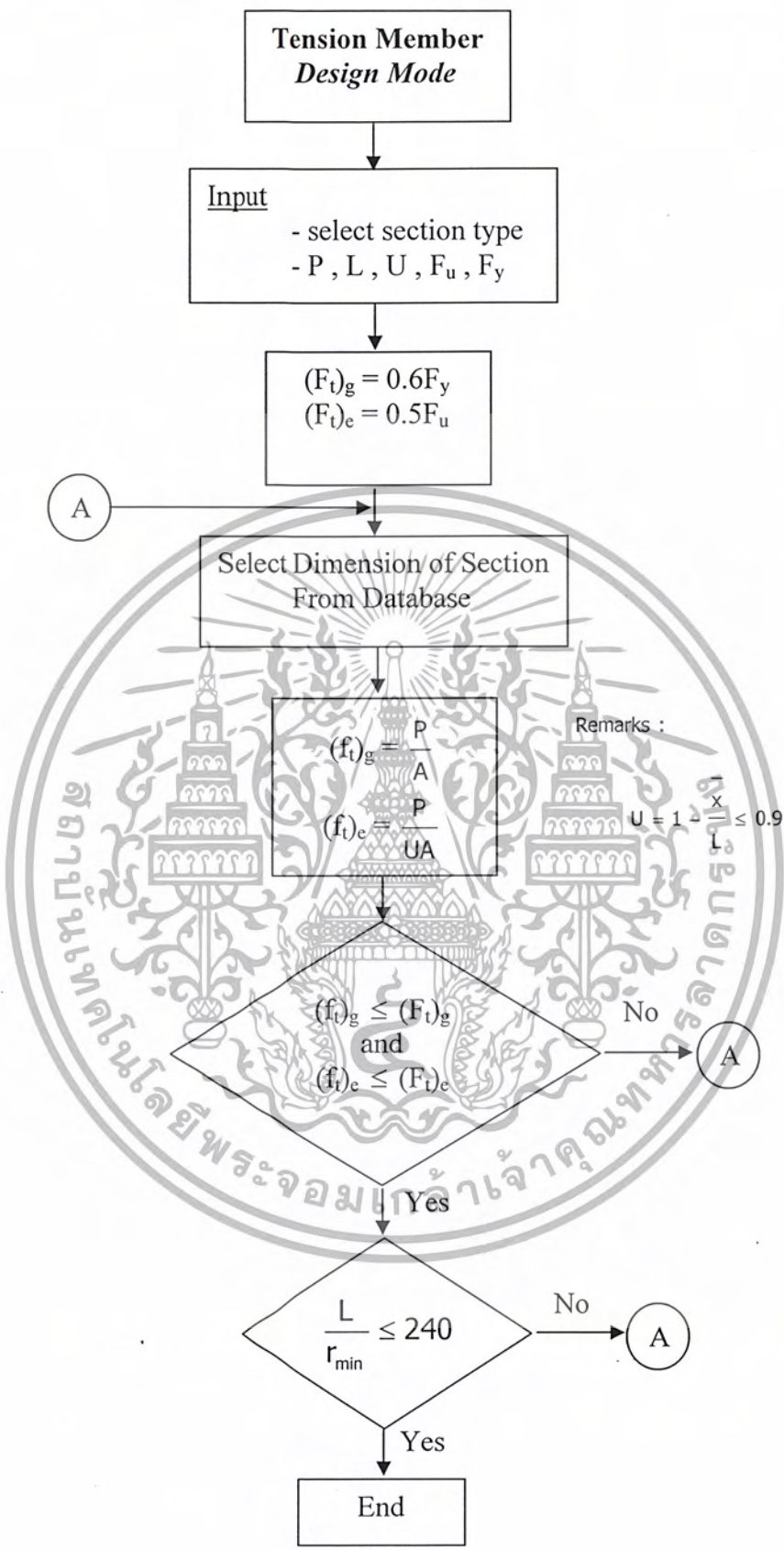
ผังการทำงานของโปรแกรม

3.1. กล่าวนำ

ก่อนที่จะทำการเขียนโปรแกรมจะต้องทำการเขียนแผนผังการทำงานของโปรแกรมเสียก่อน แล้วจึงนำแผนผังของโปรแกรมที่ได้มาแปลงเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ โดยแผนผังการทำงานของแต่ละองค์อาคาร มีการทำงาน ดังนี้

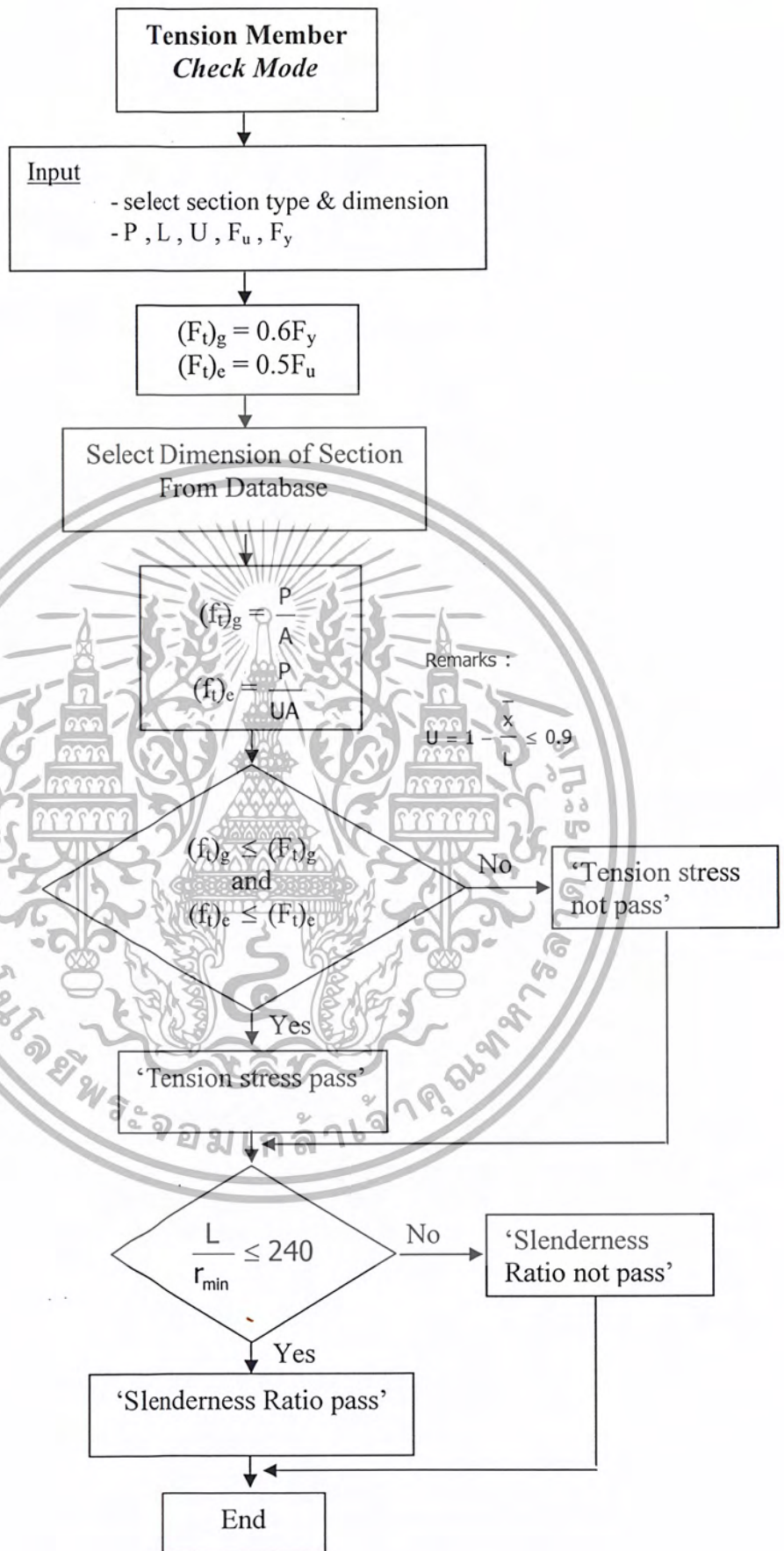


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



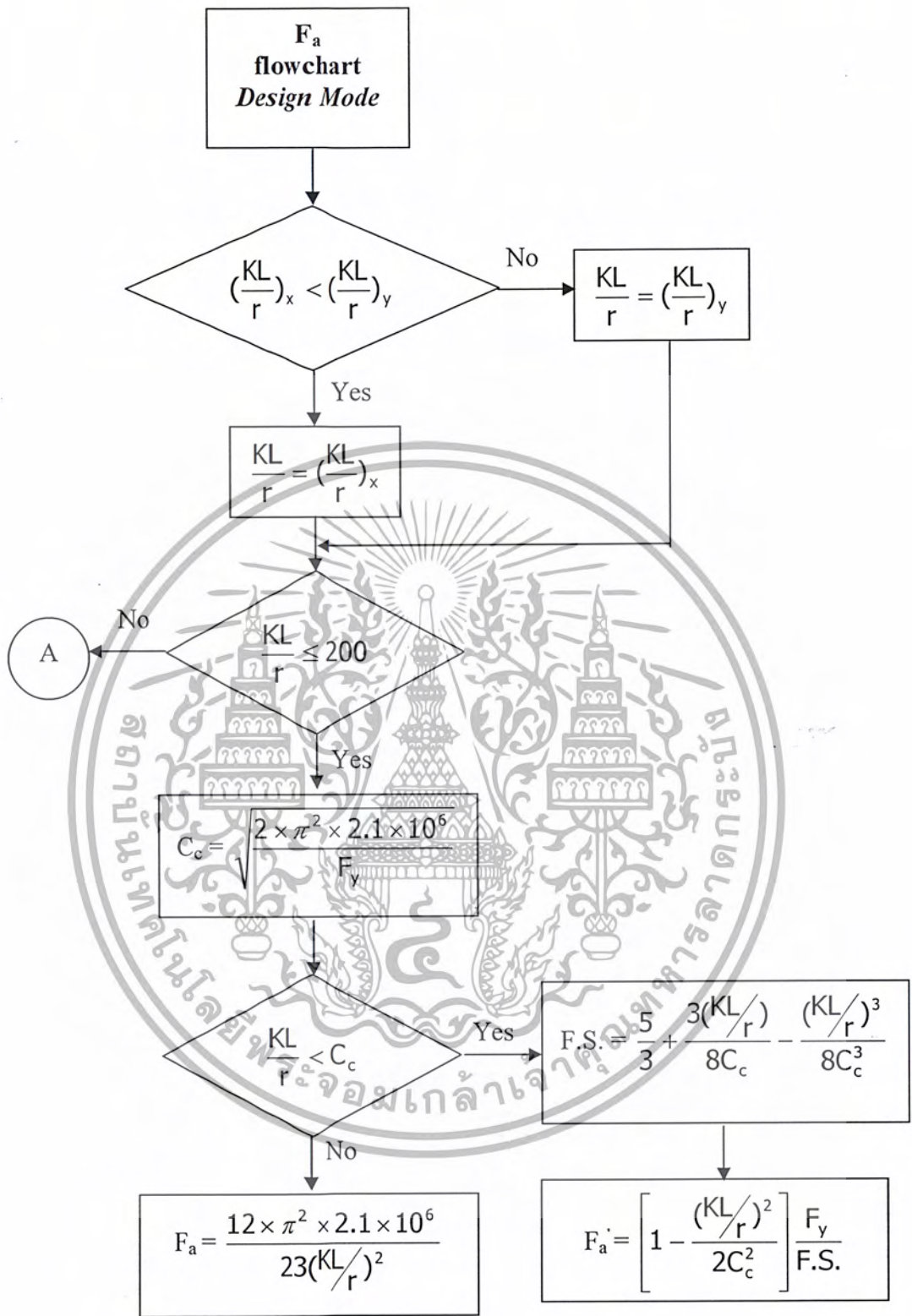
รูปที่ 3.1. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดึง Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



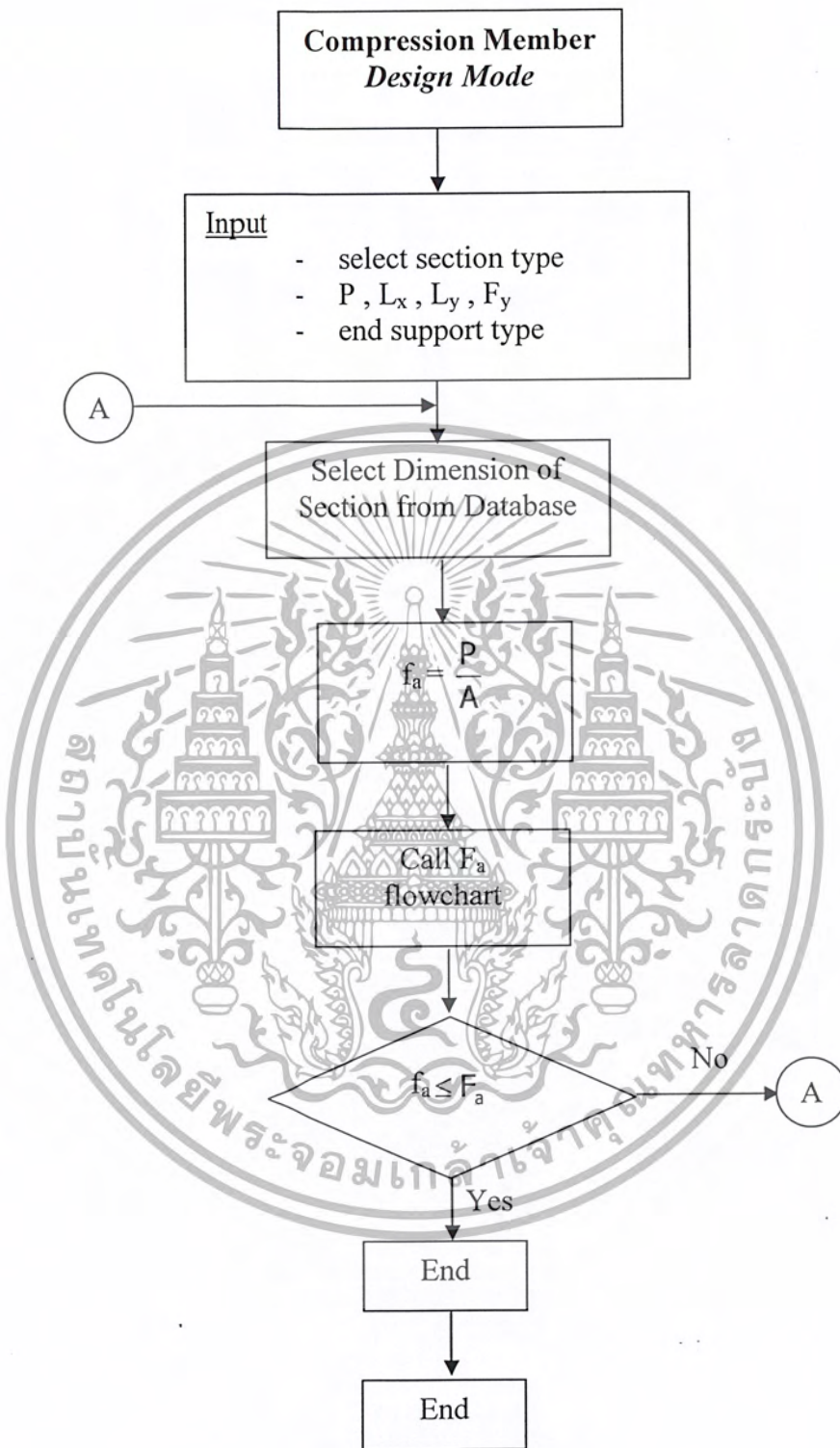
รูปที่ 3.2. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดึง Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

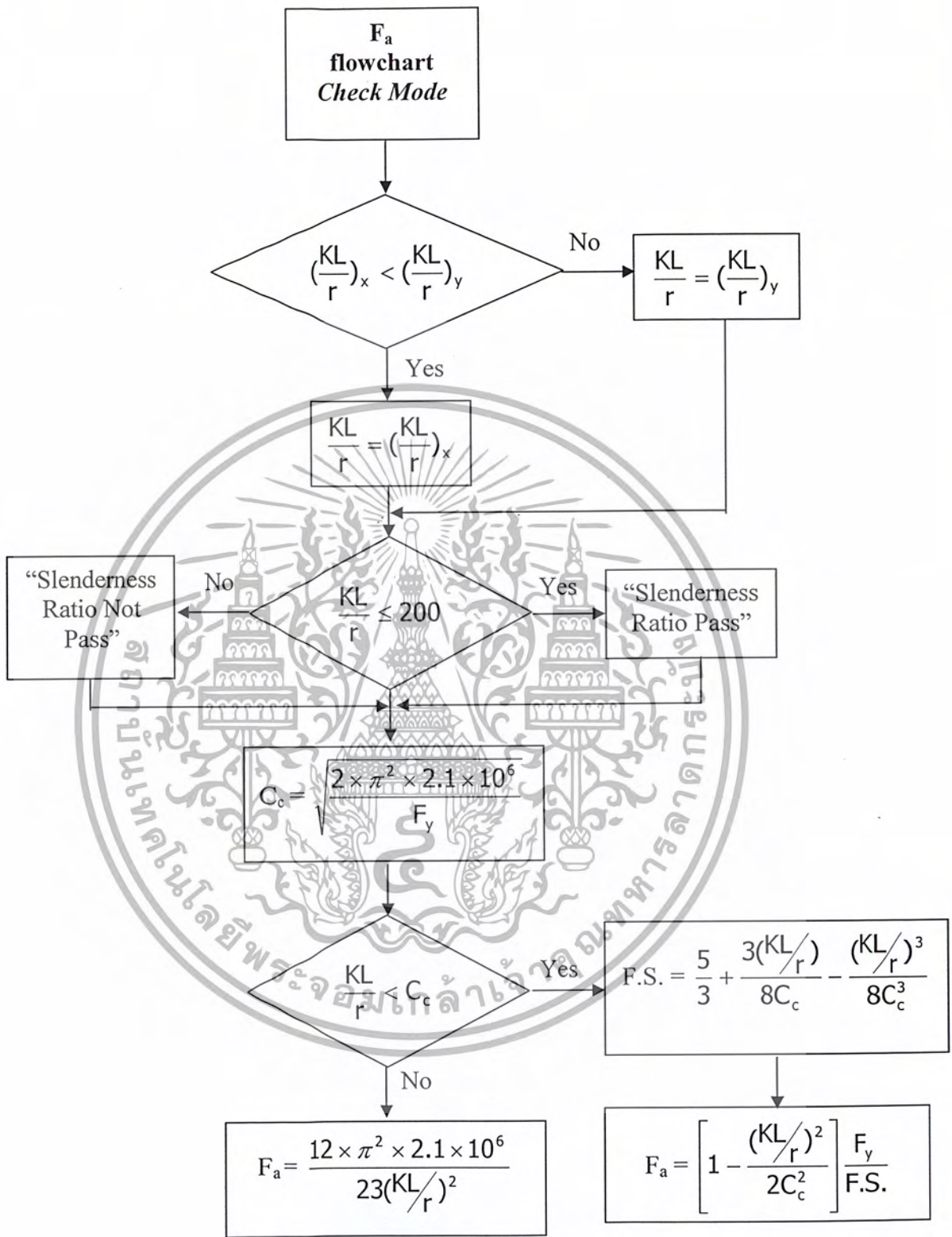


รูปที่ 3.3. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัด F_a flowchart Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

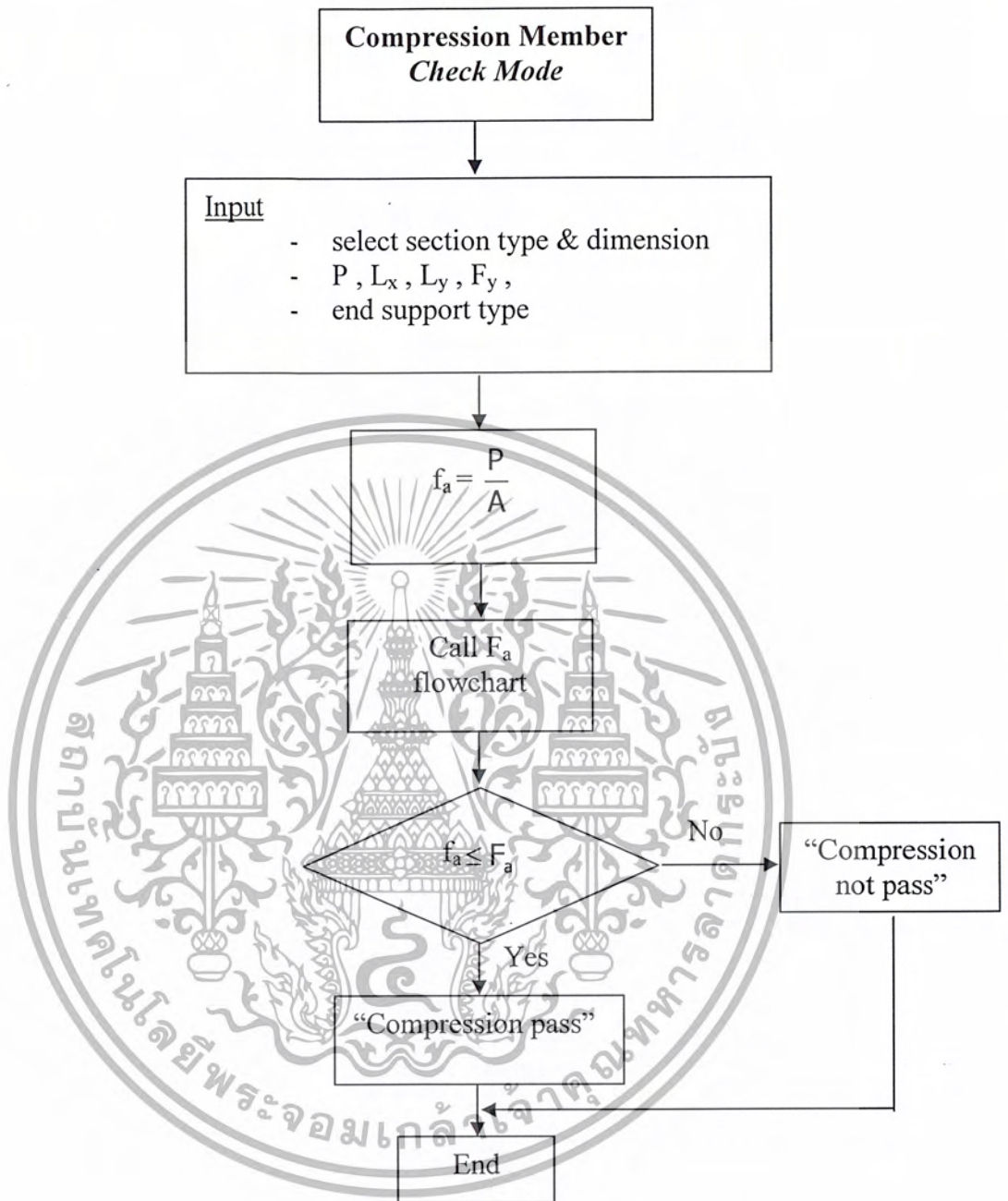


รูปที่ 3.4. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัด Design Mode

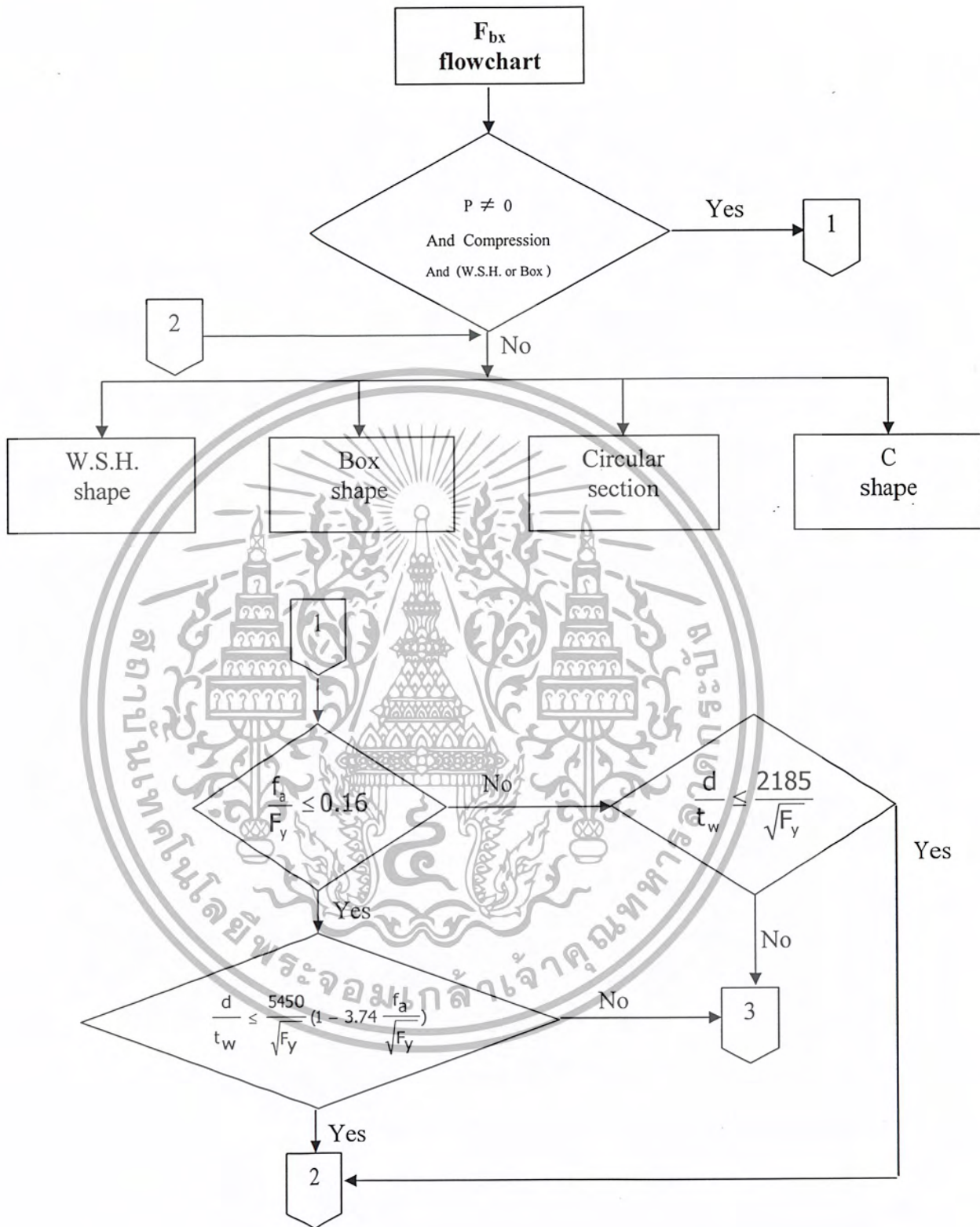


รูปที่ 3.5. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัด F_a flowchart Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

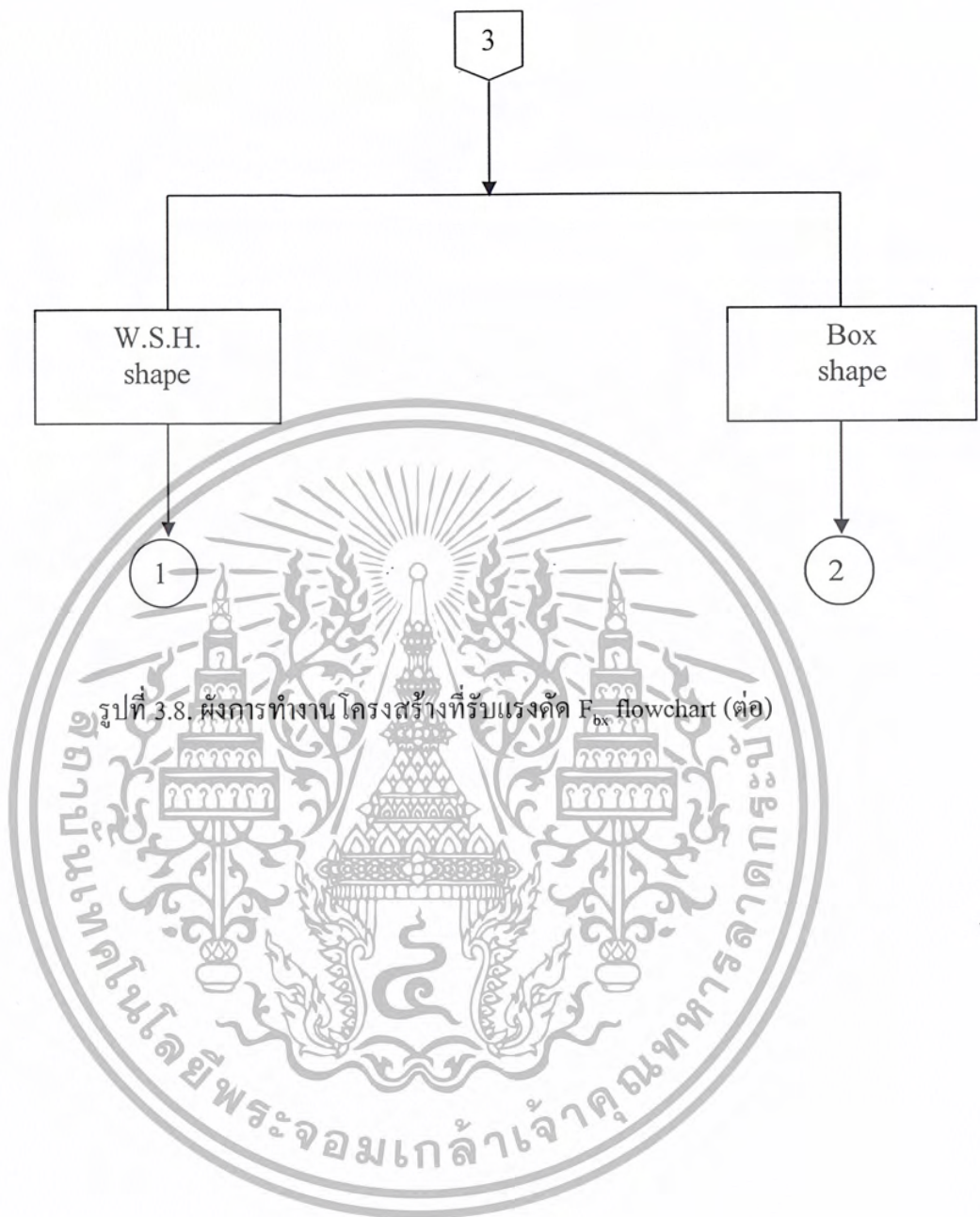


รูปที่ 3.6. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัด Check Mode

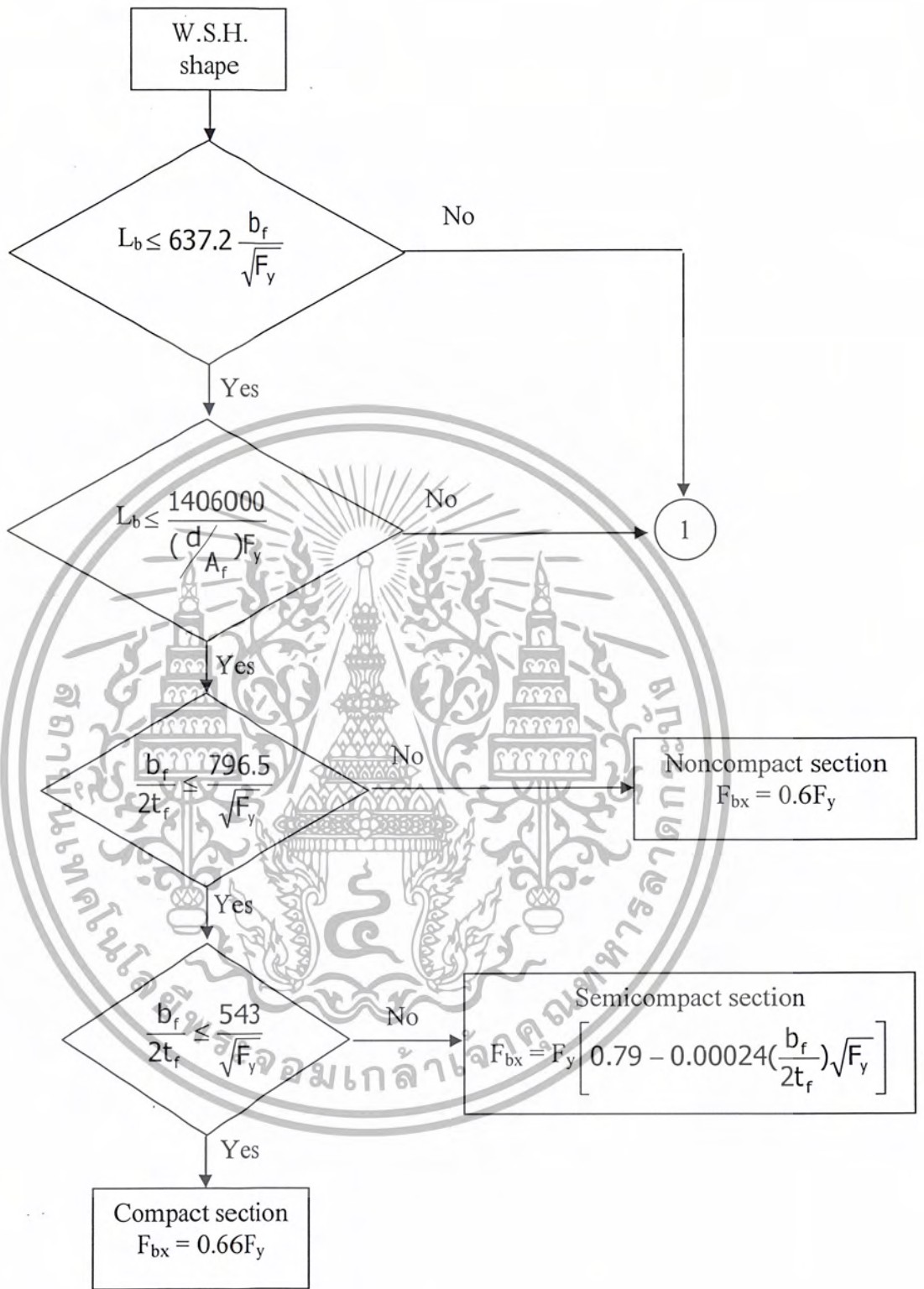


รูปที่ 3.7. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดัด F_{bx} flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

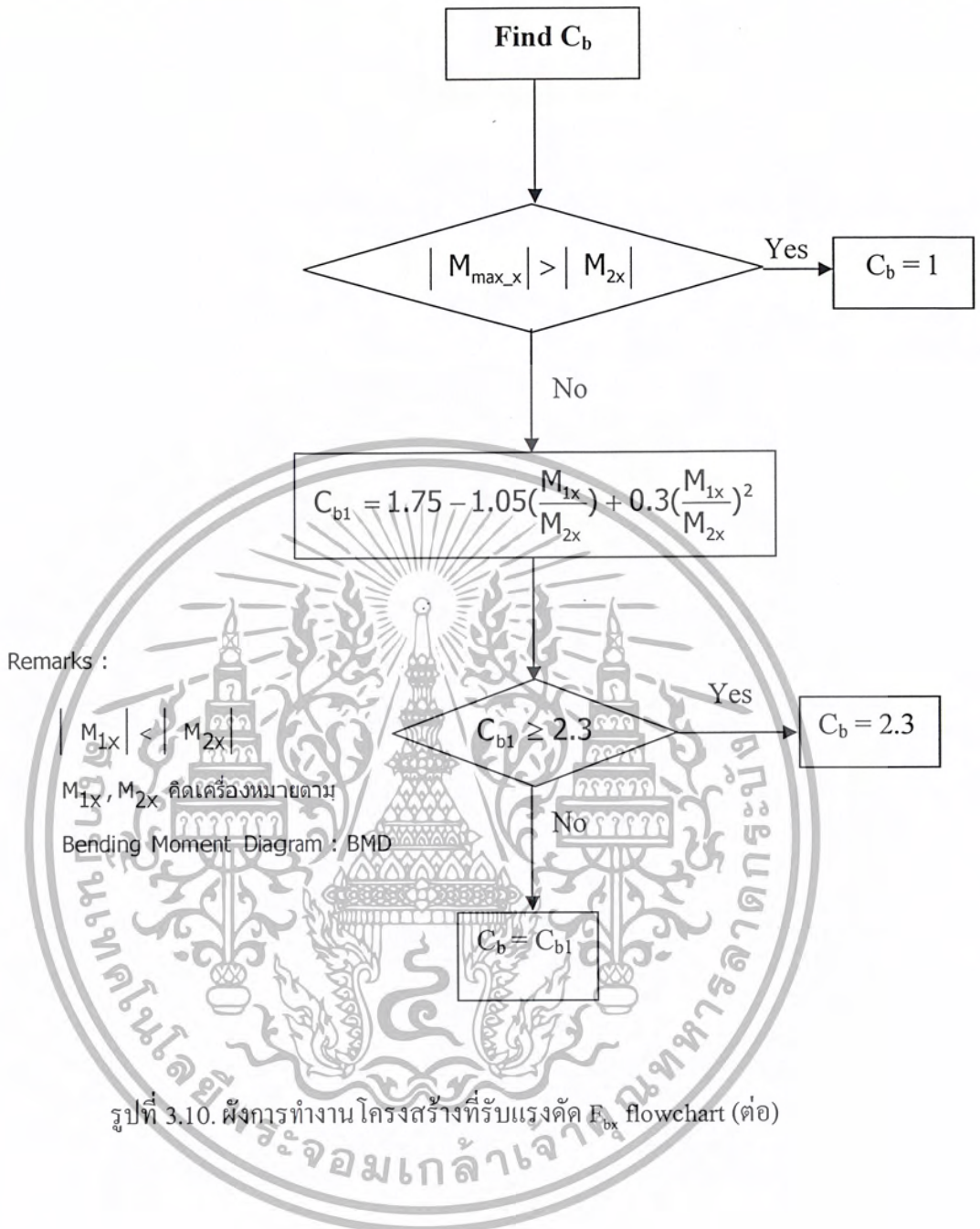


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



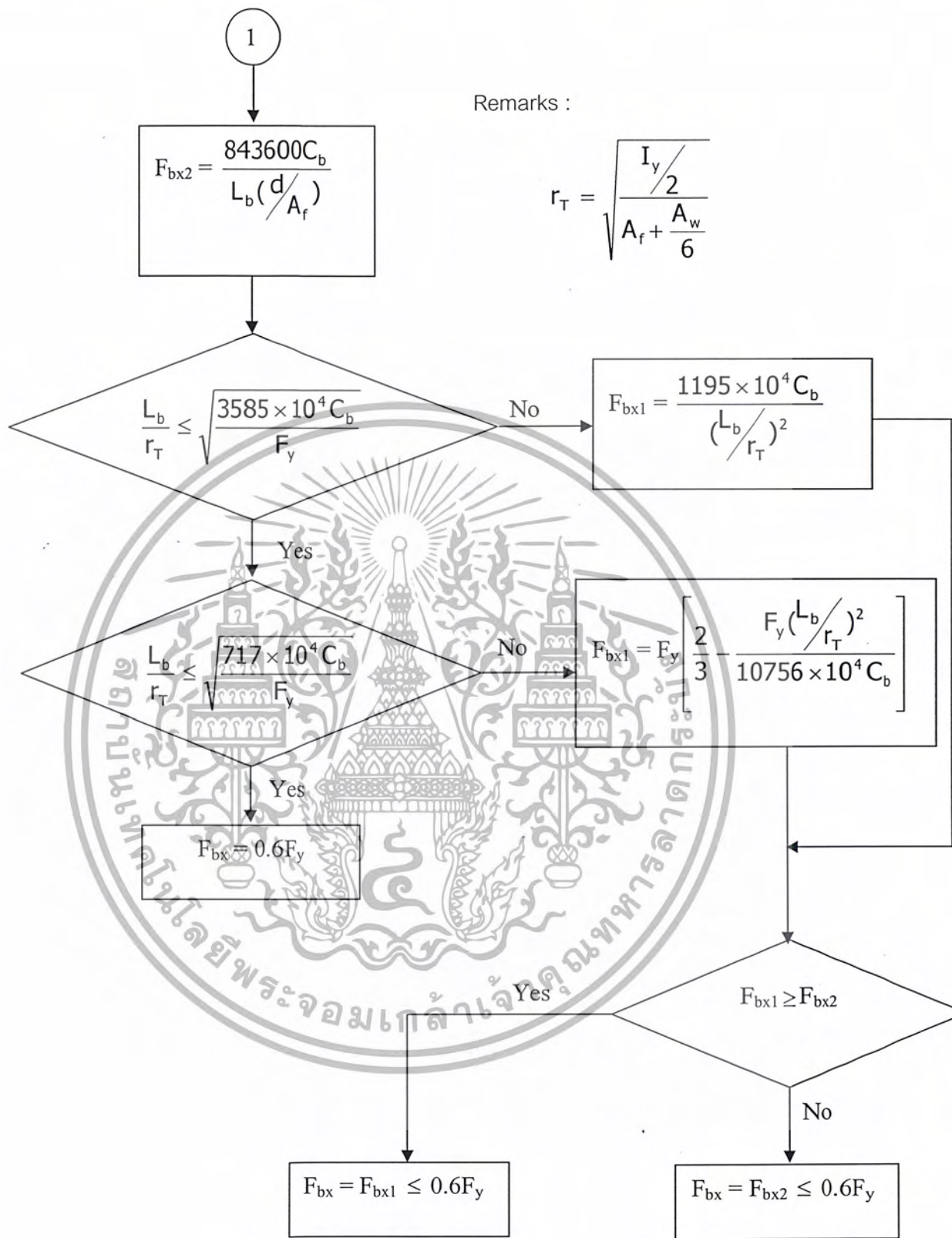
รูปที่ 3.9. ฟังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดัด F_{bx} flowchart (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



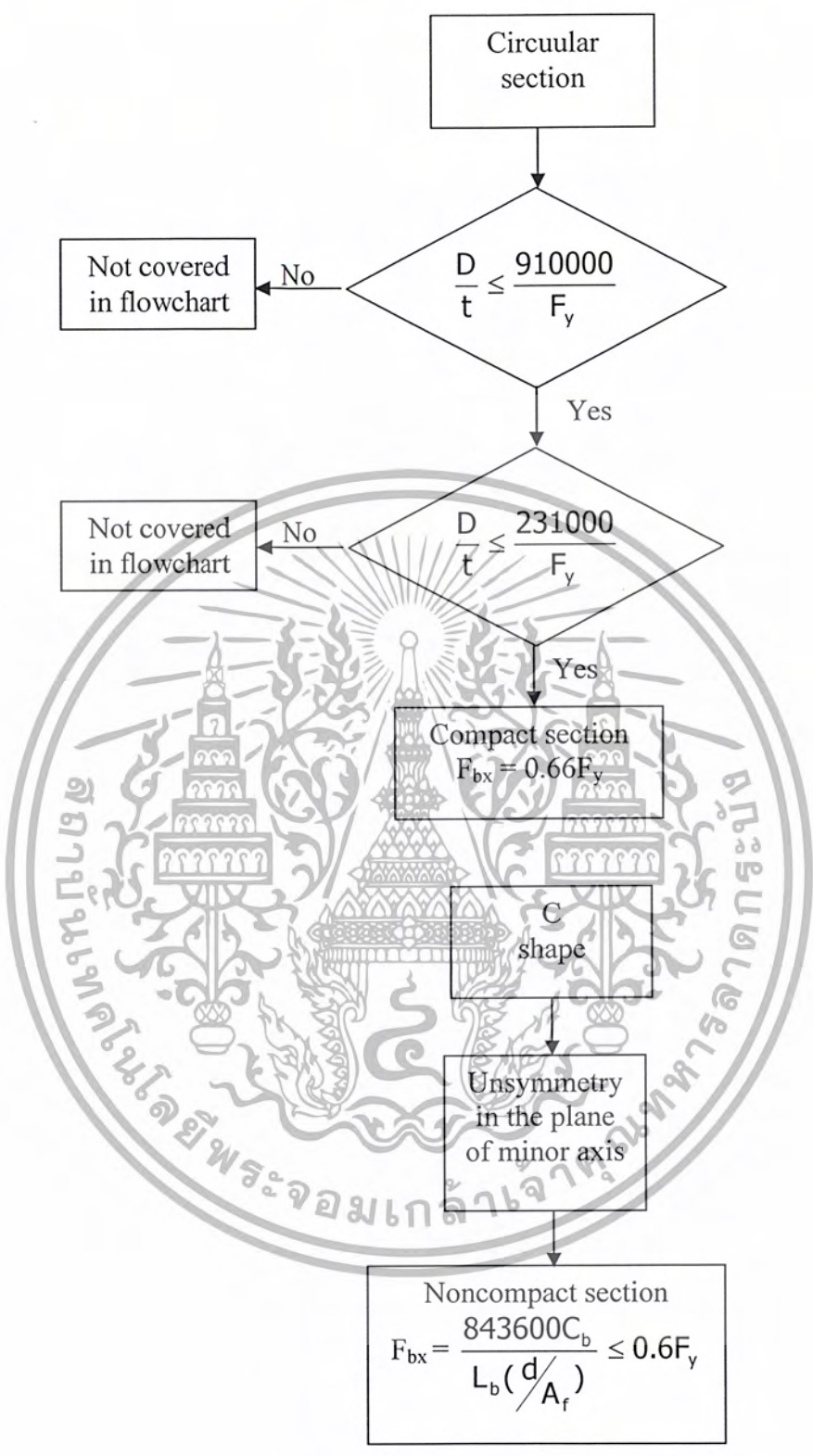
รูปที่ 3.10. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงคัต E_{bx} flowchart (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



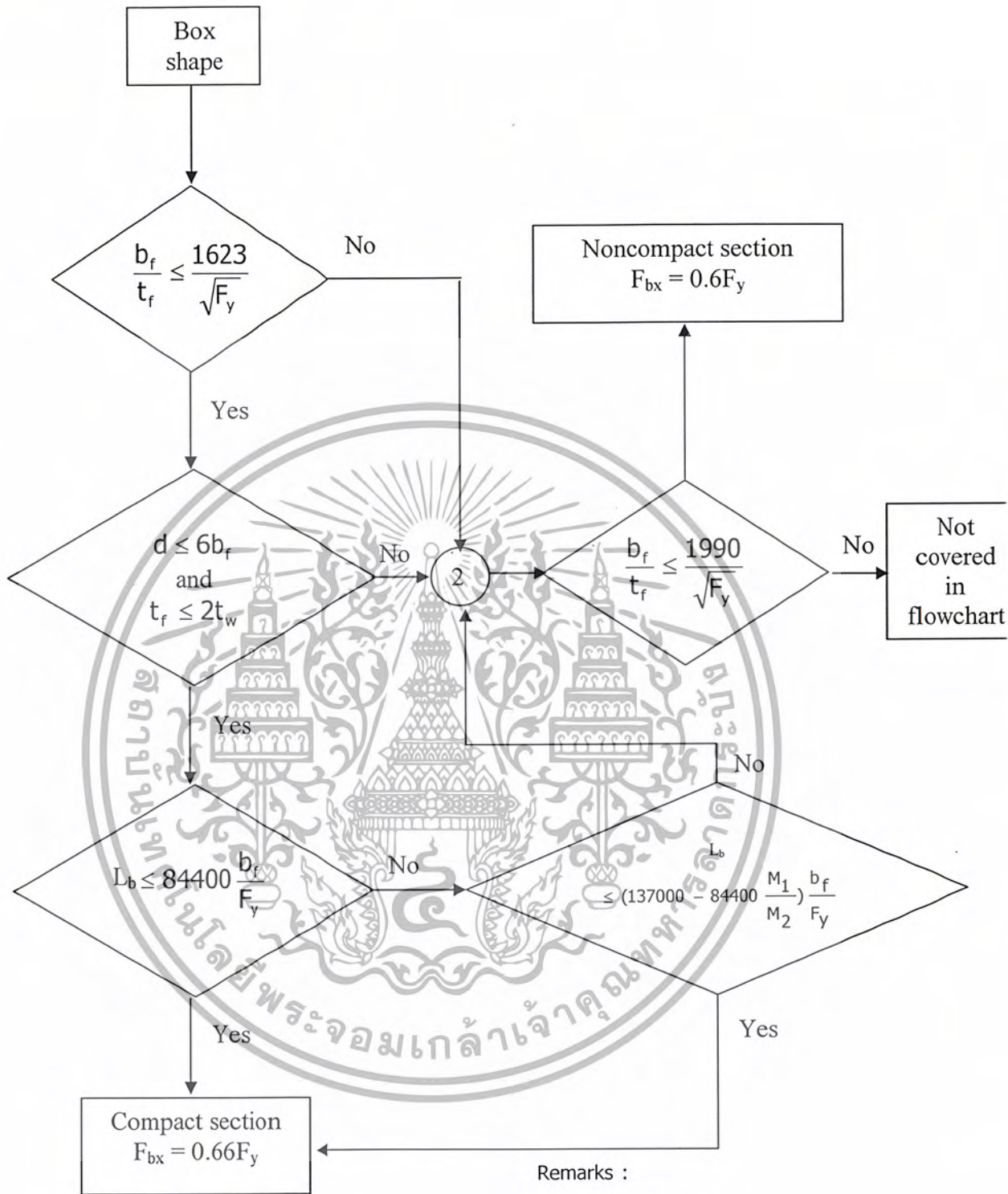
รูปที่ 3.11. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงคด F_{bx} flowchart (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดัด F_{bx} flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



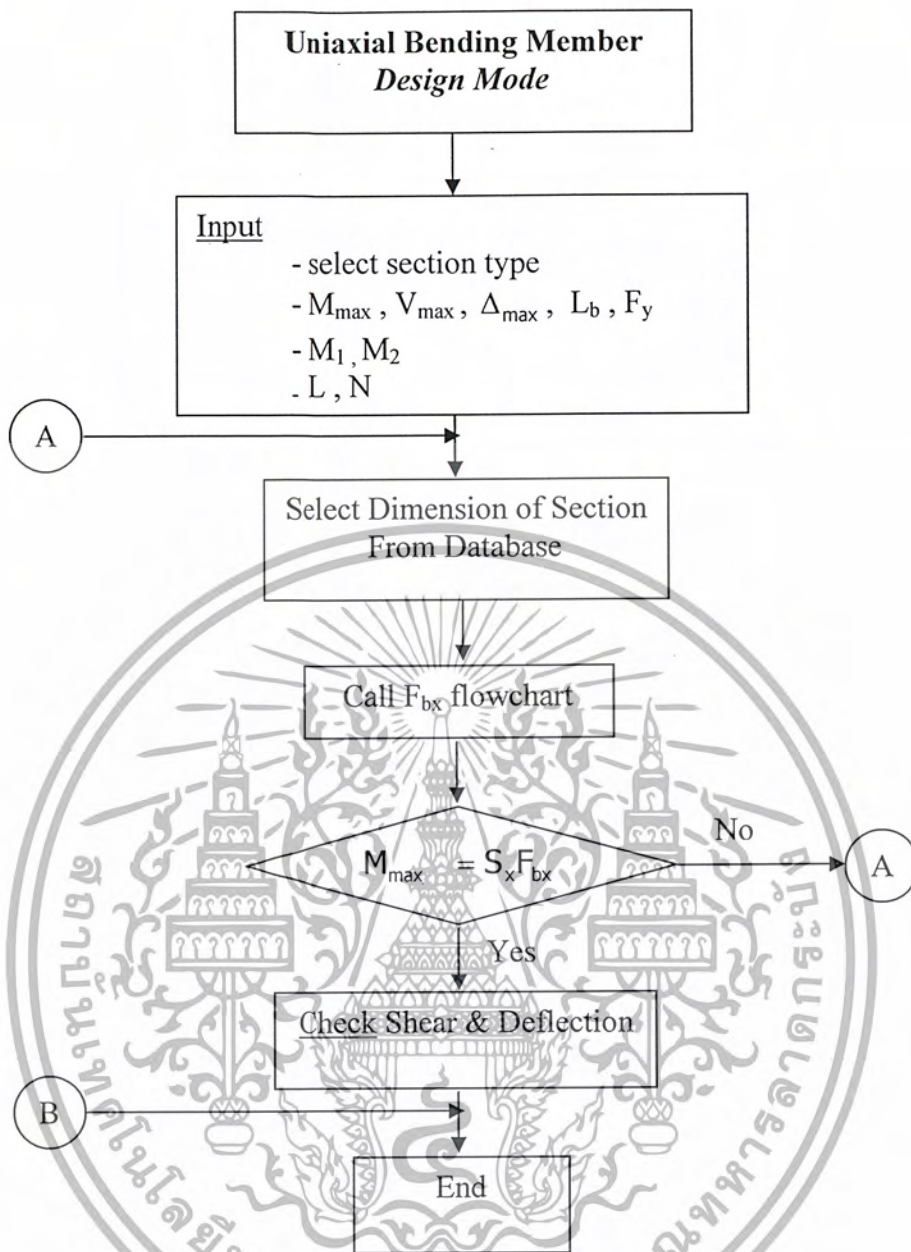
$$|M_{1x}| < |M_{2x}|$$

M_{1x}, M_{2x} คัดเครื่องหมายตาม

Bending Moment Diagram : BMD

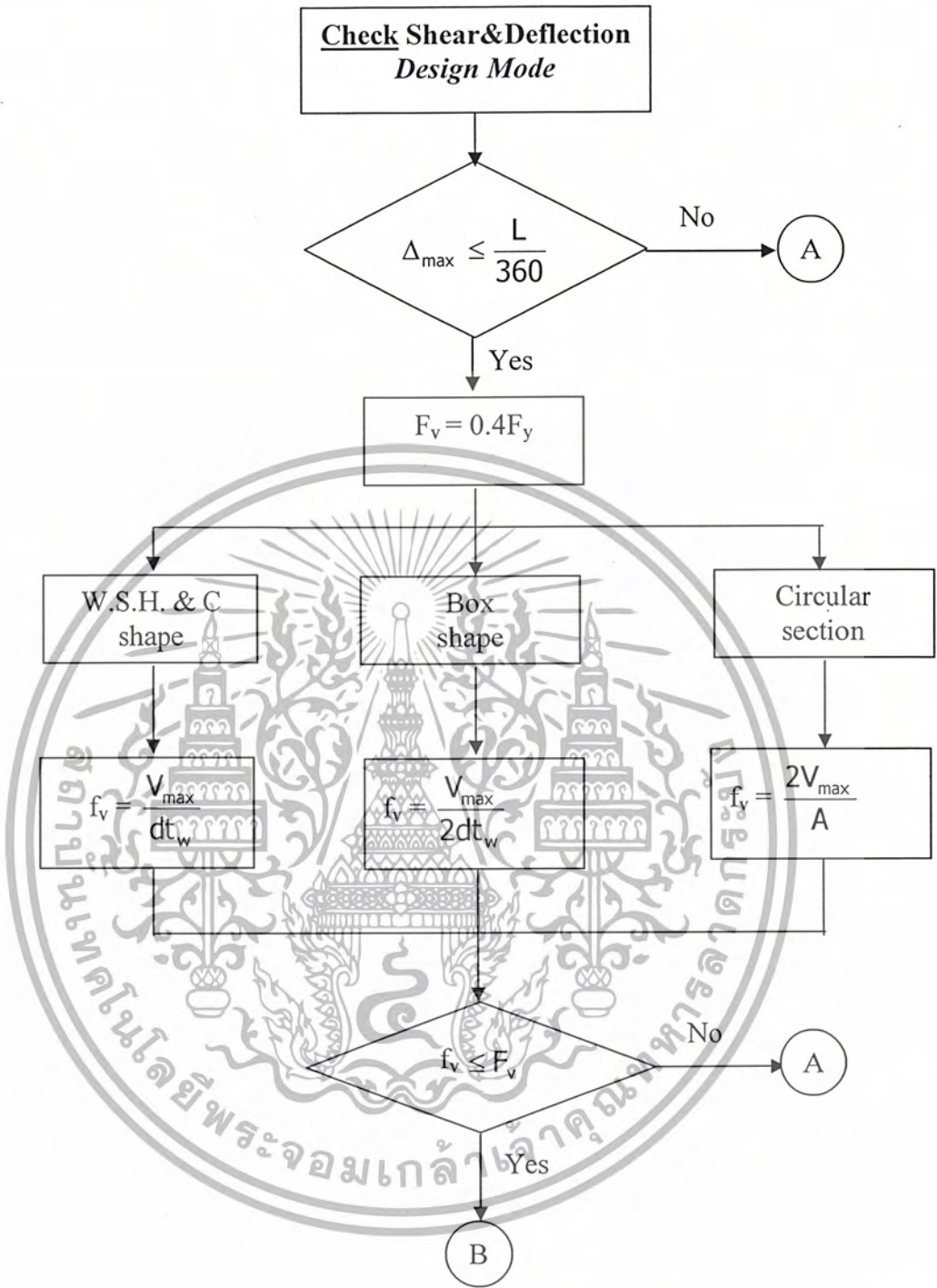
รูปที่ 3.13. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดัด F_{bx} flowchart(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



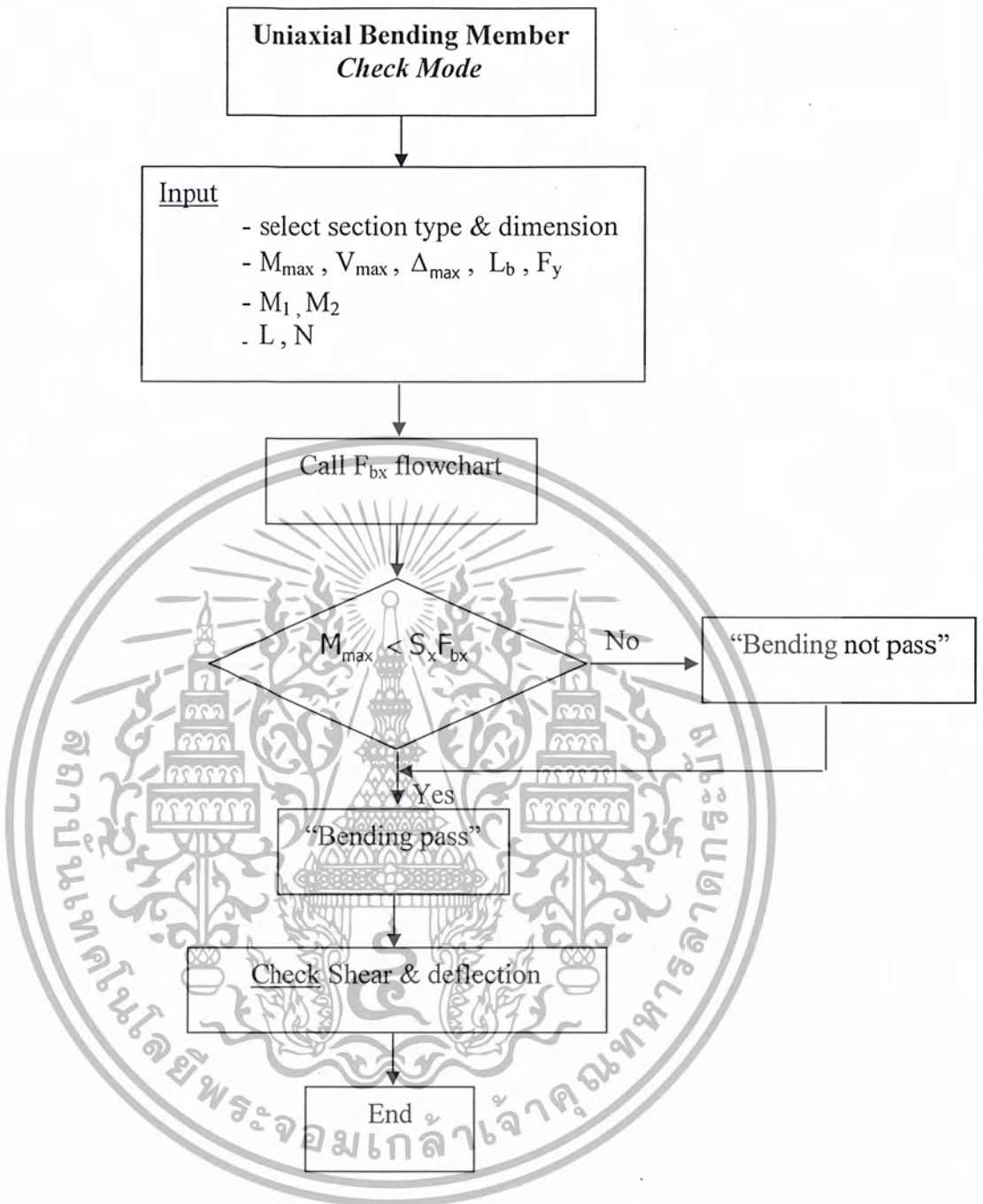
รูปที่ 3.14. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดัด Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



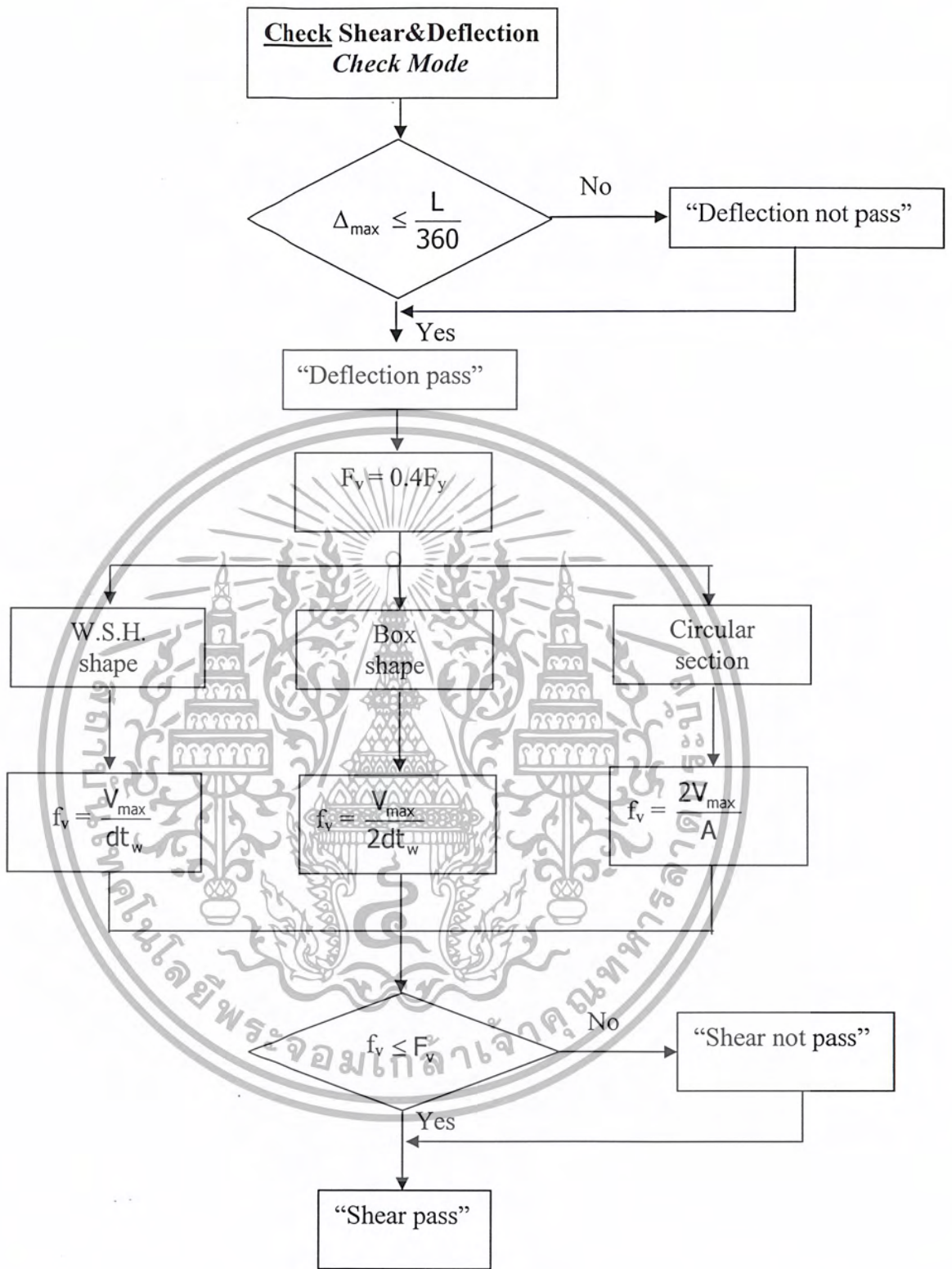
รูปที่ 3.15. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงคัต Design Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



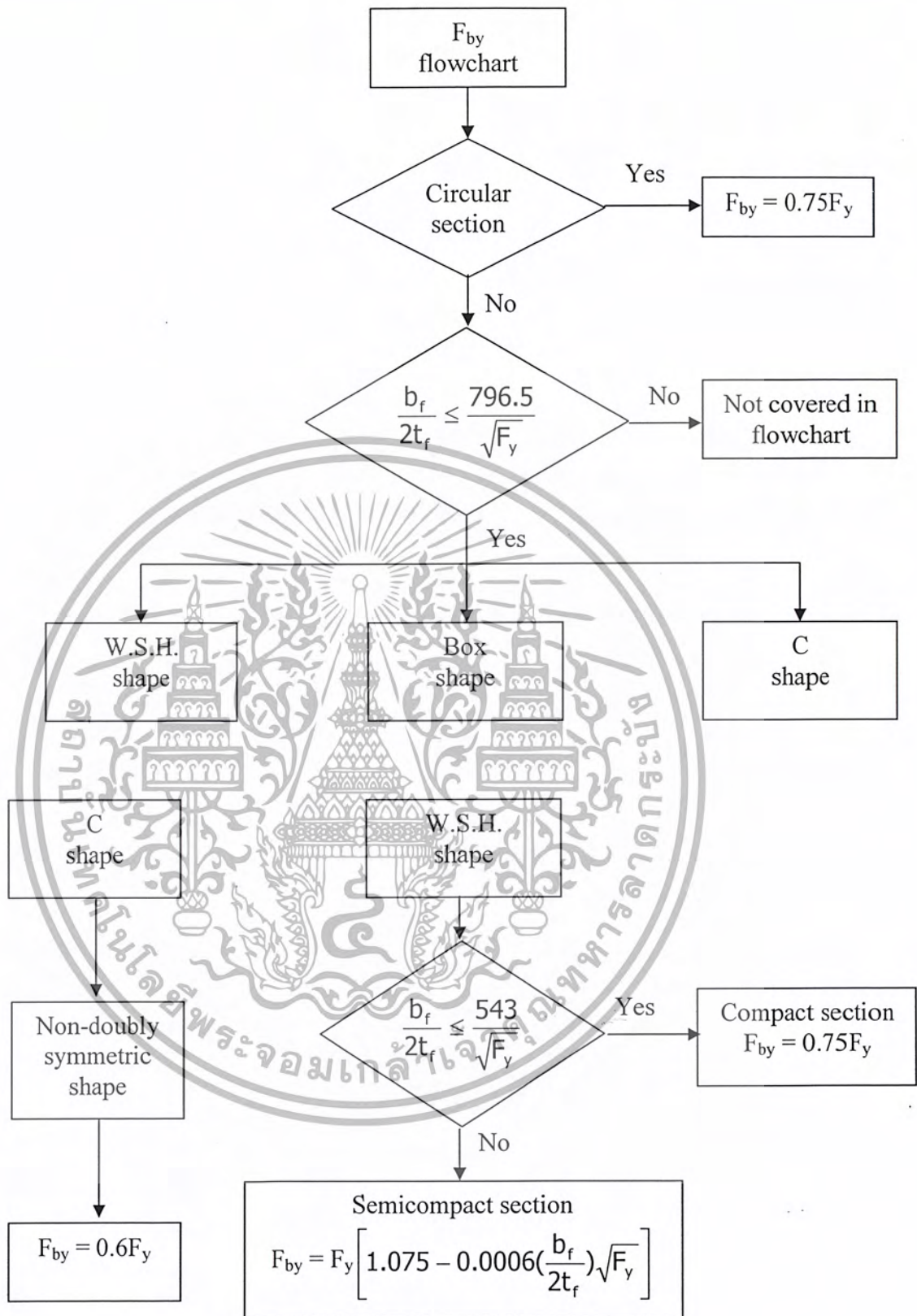
รูปที่ 3.16. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดัด Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



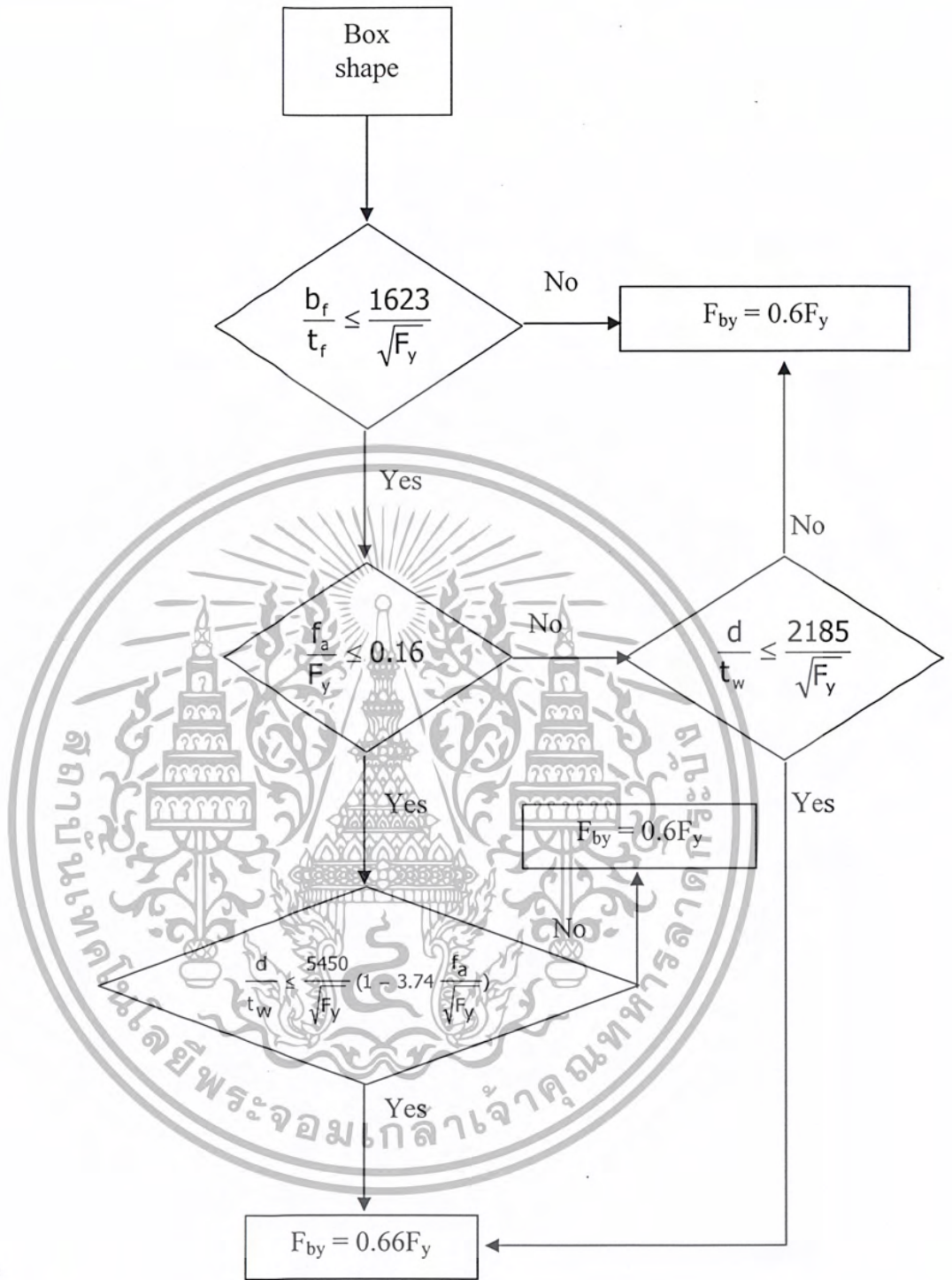
รูปที่ 3.17. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงคัต Check Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



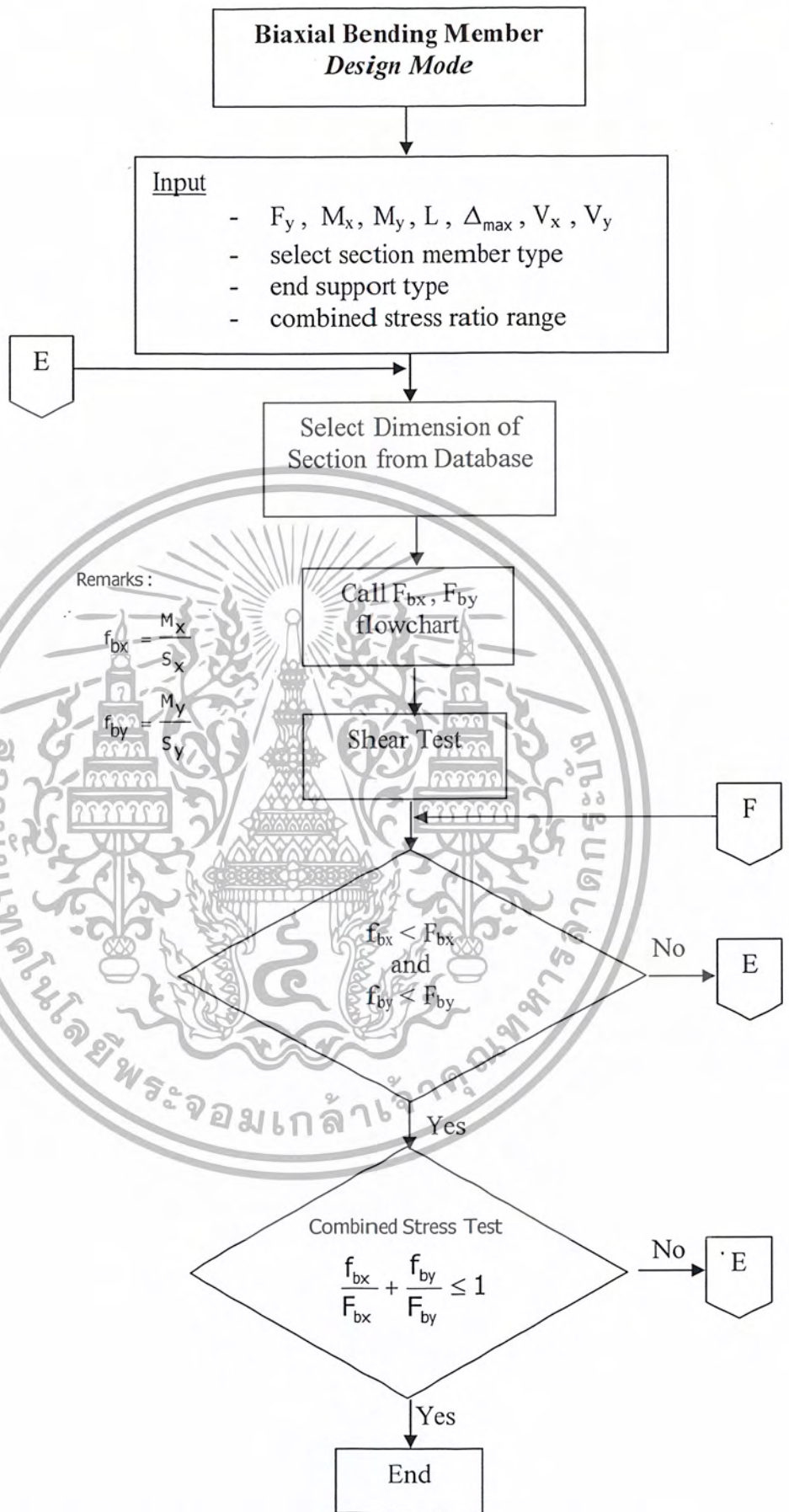
รูปที่ 3.18. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงดัด F_{by} flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



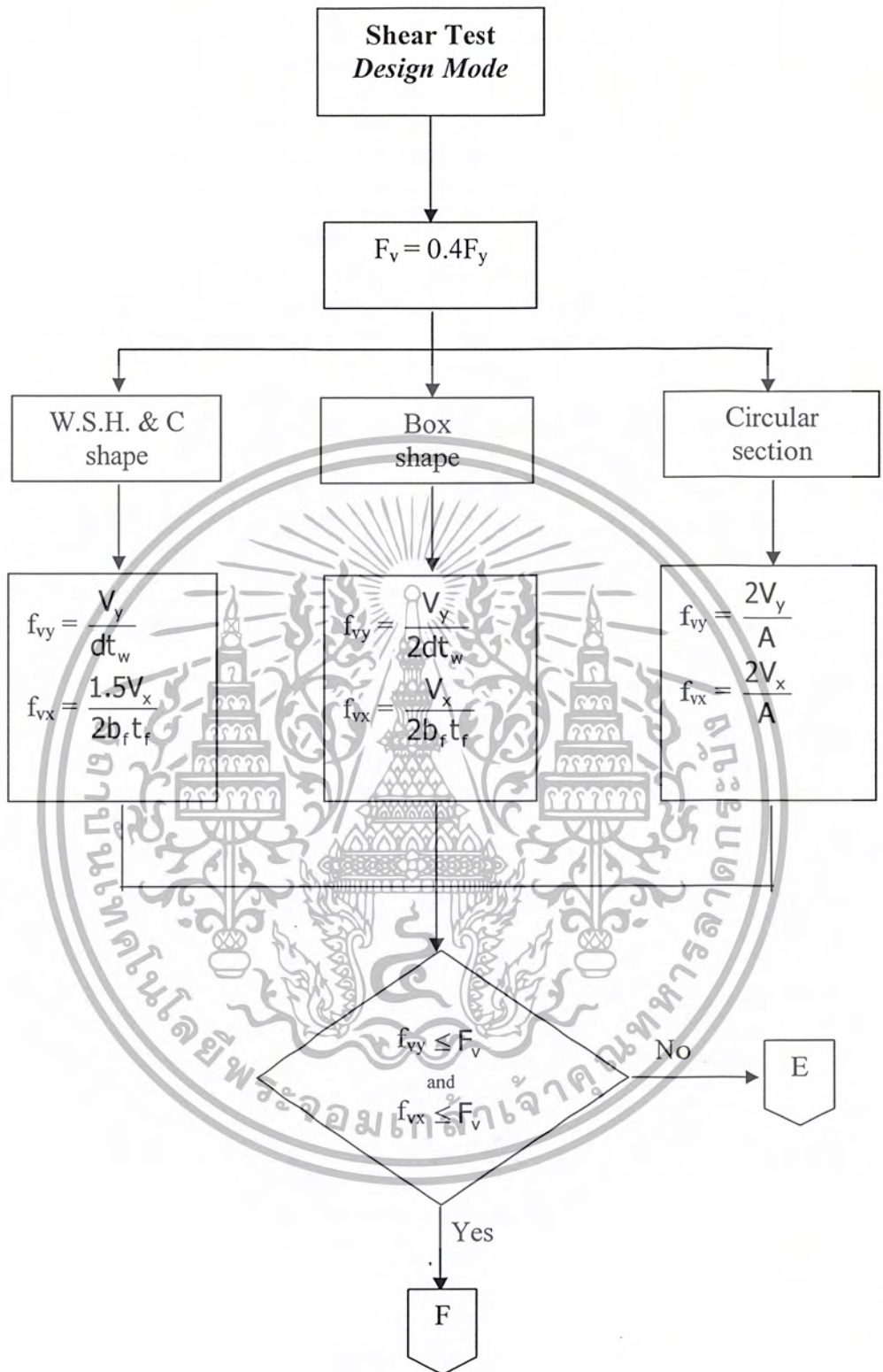
รูปที่ 3.19. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต F_{by} flowchart (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



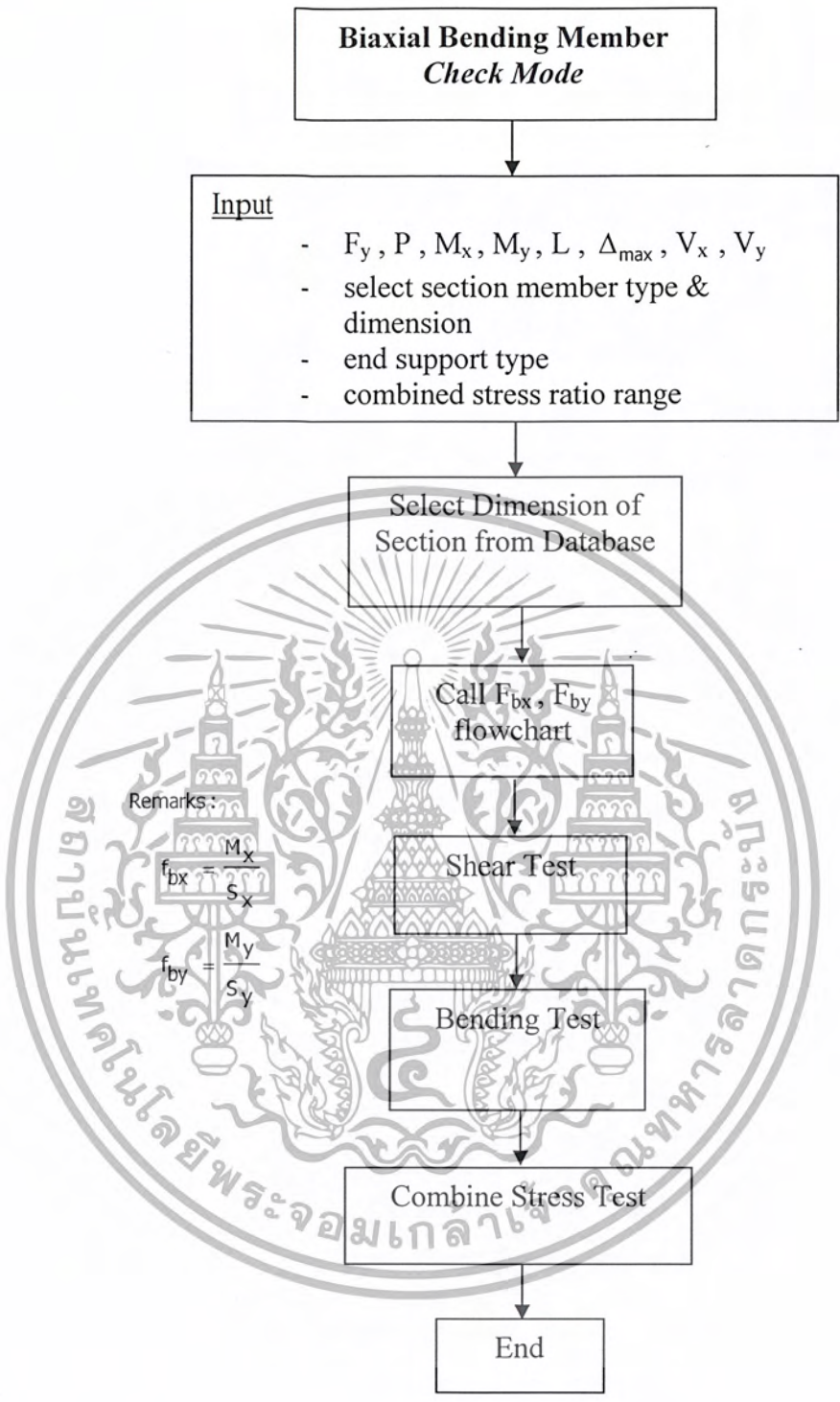
รูปที่ 3.20 ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคดสองแกน Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



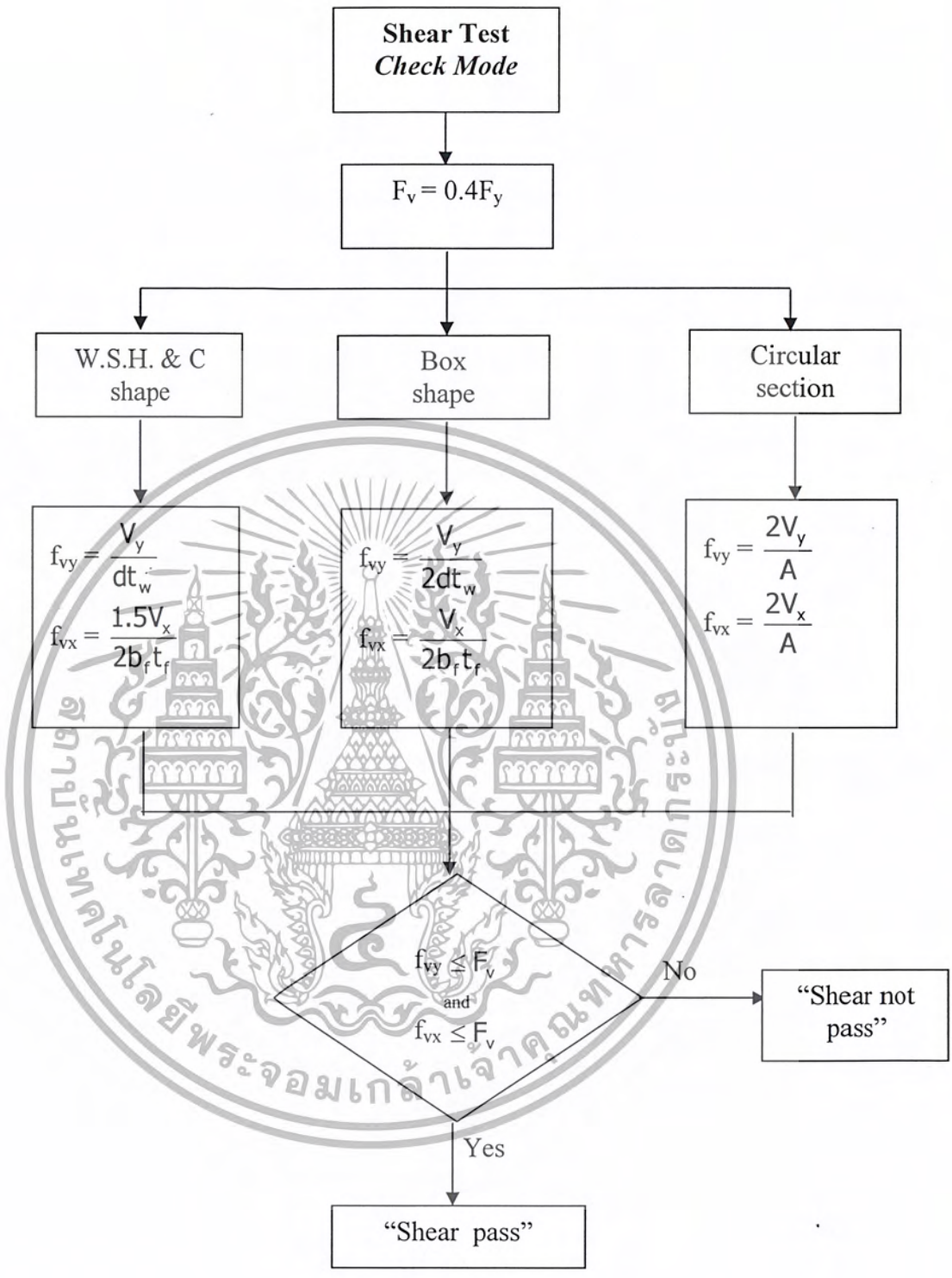
รูปที่ 3.21. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคดสองแกน Design Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



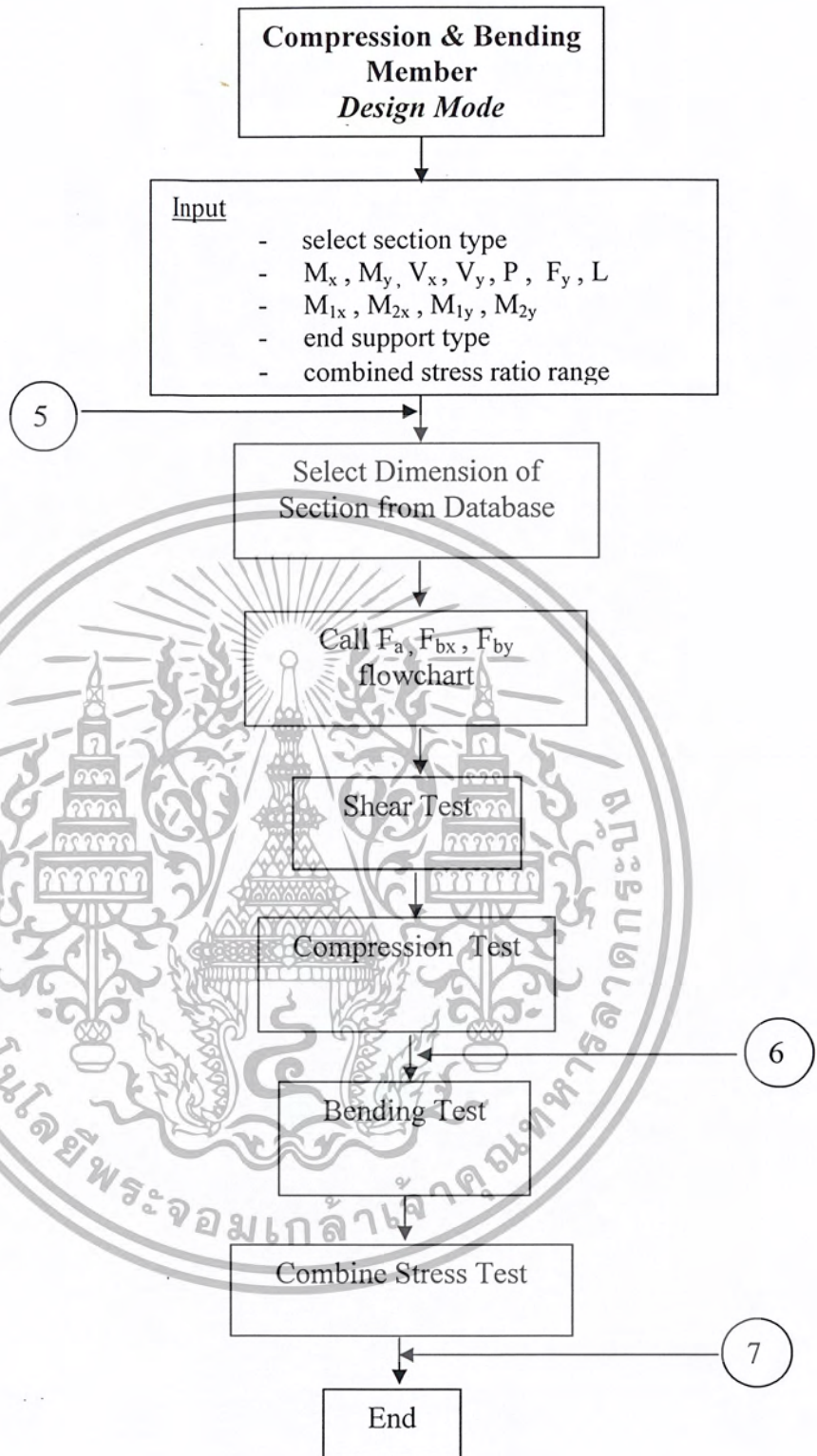
รูปที่ 3.22. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงคัดสองแกน Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



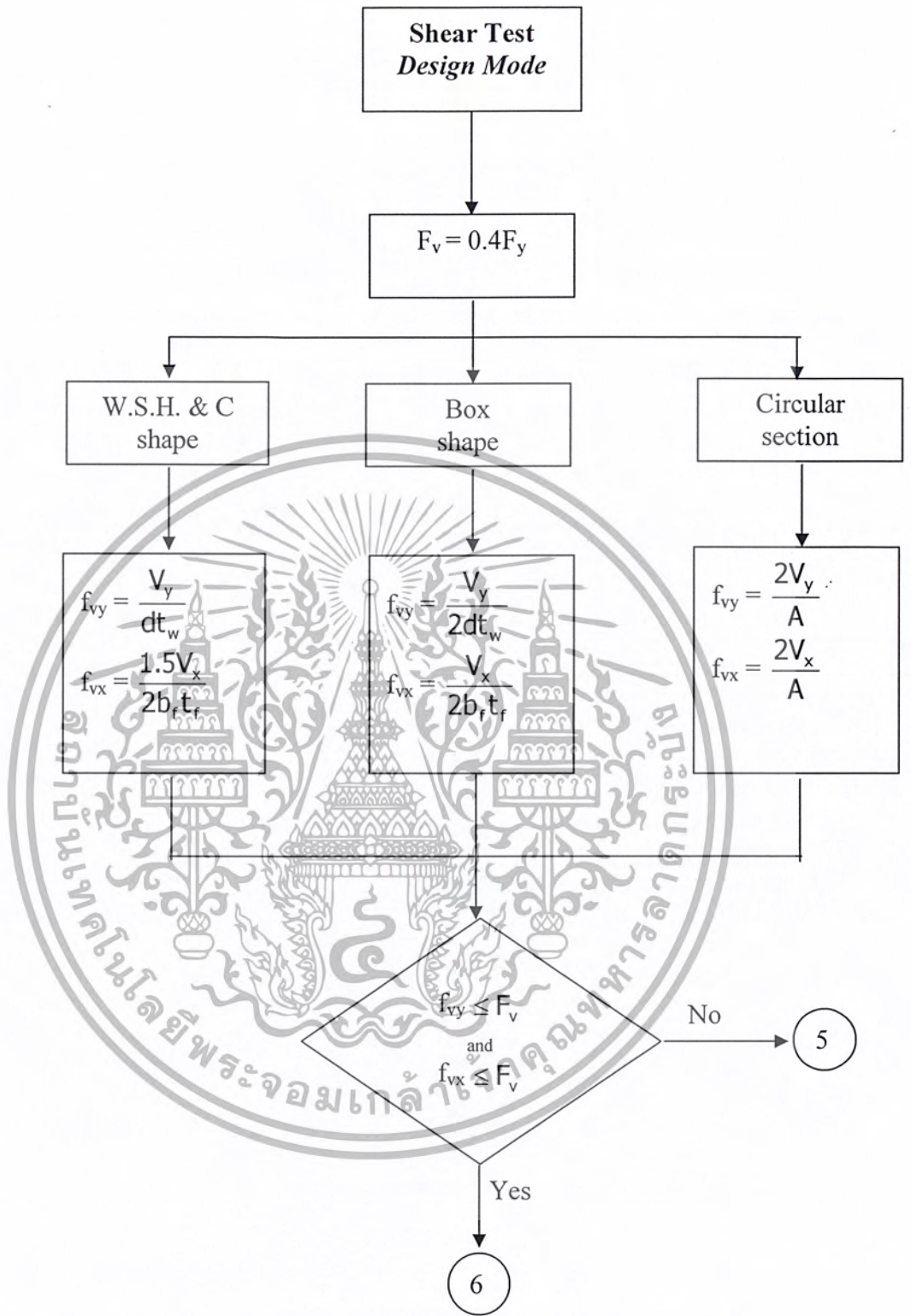
รูปที่ 3.23. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงคัดสองแกน Check Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



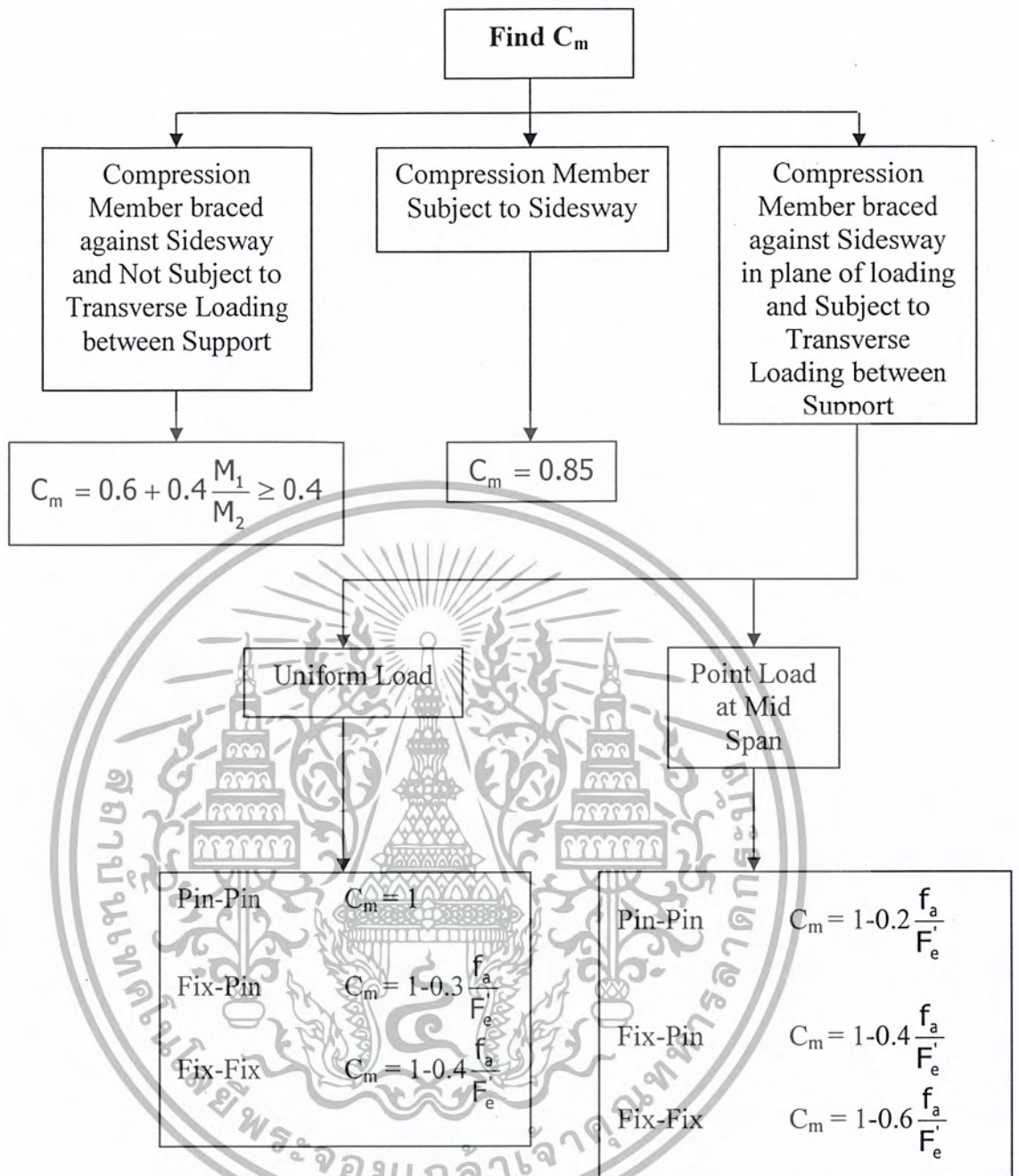
รูปที่ 3.24. ฟังก์ชันการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงดัด Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Design Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Remarks :

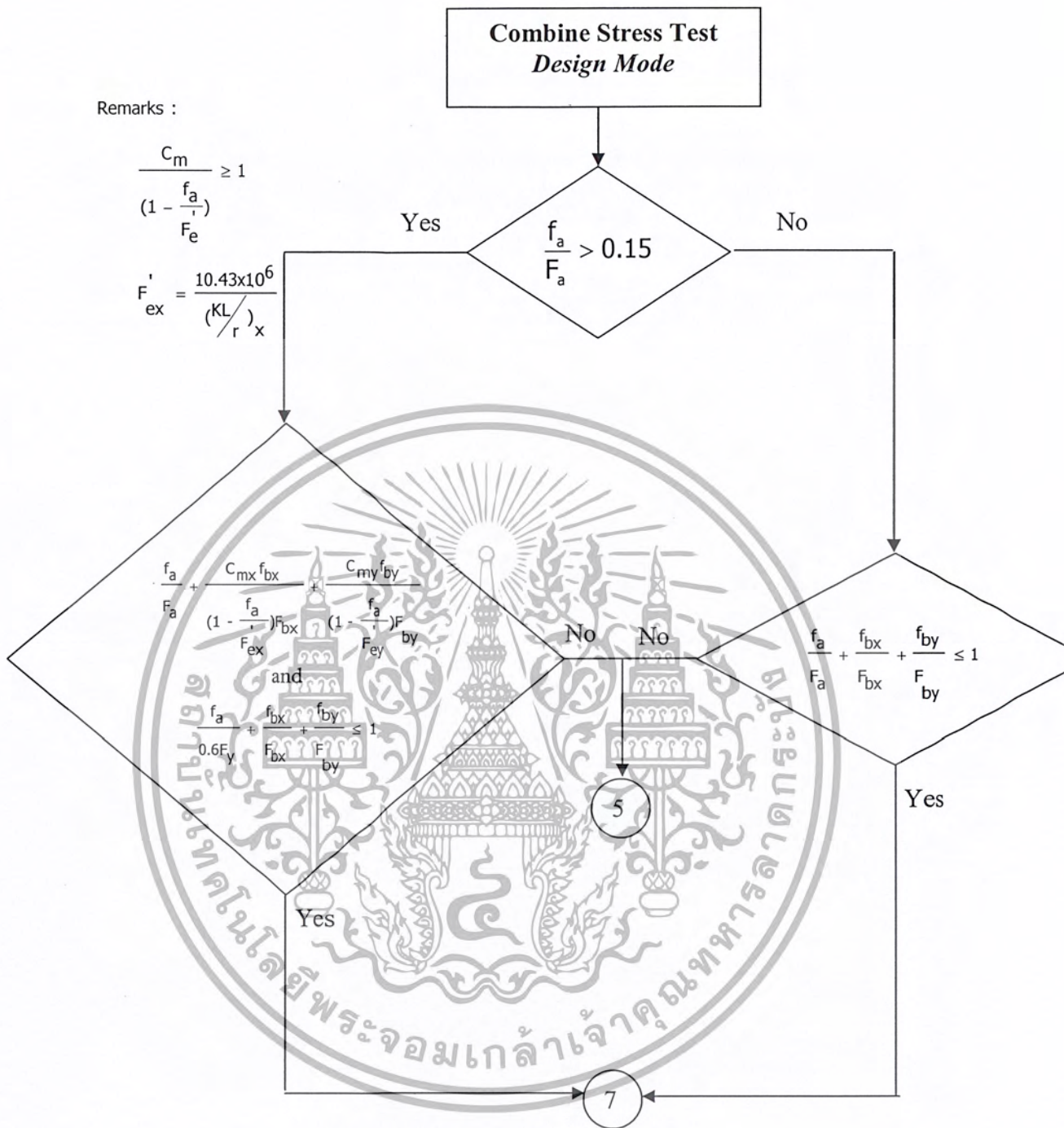
$$|M_{1x}| < |M_{2x}|$$

M_{1x}, M_{2x} คัดเครื่องหมายตาม

Bending Moment Diagram : BMD

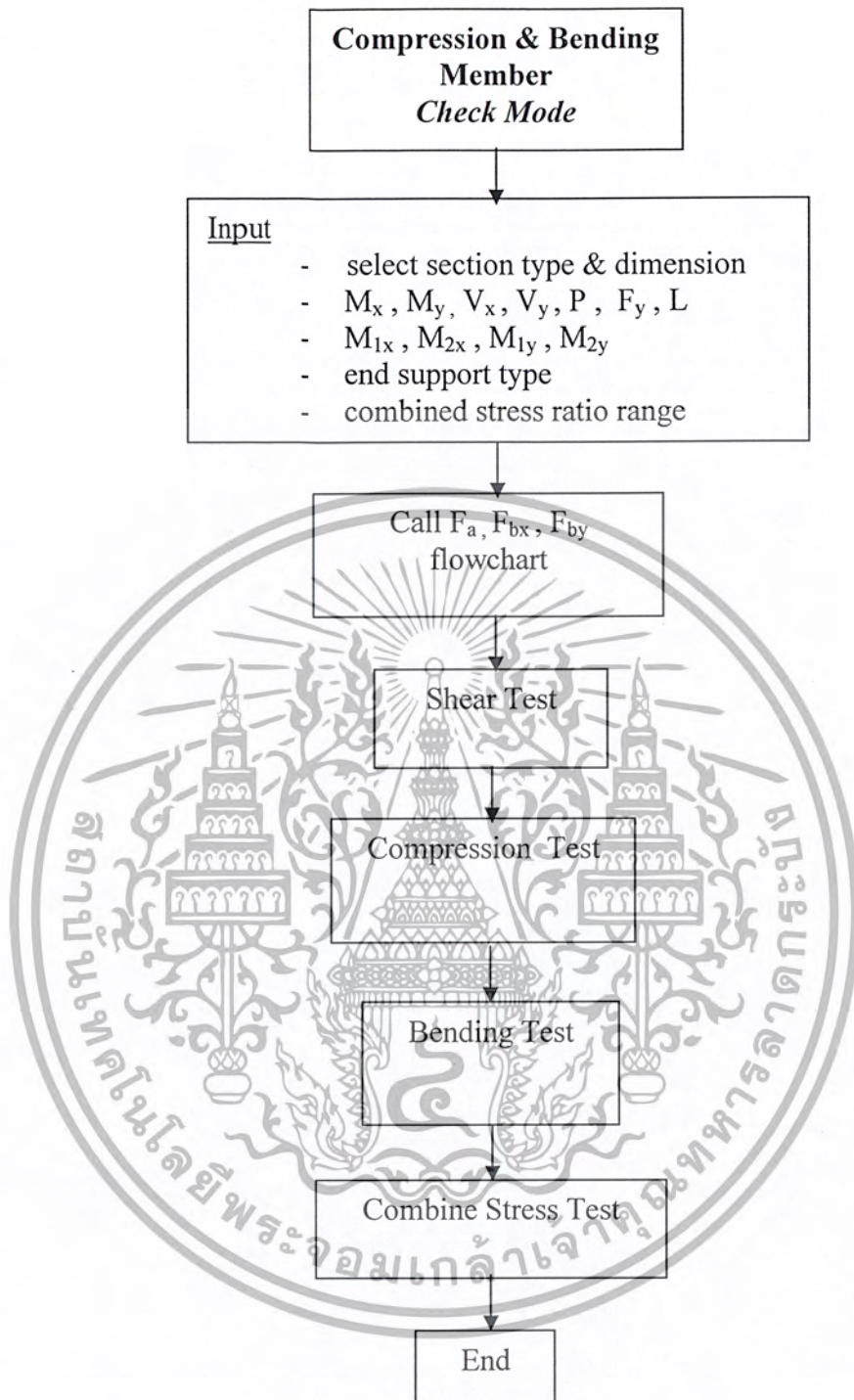
รูปที่ 3.26. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Design Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



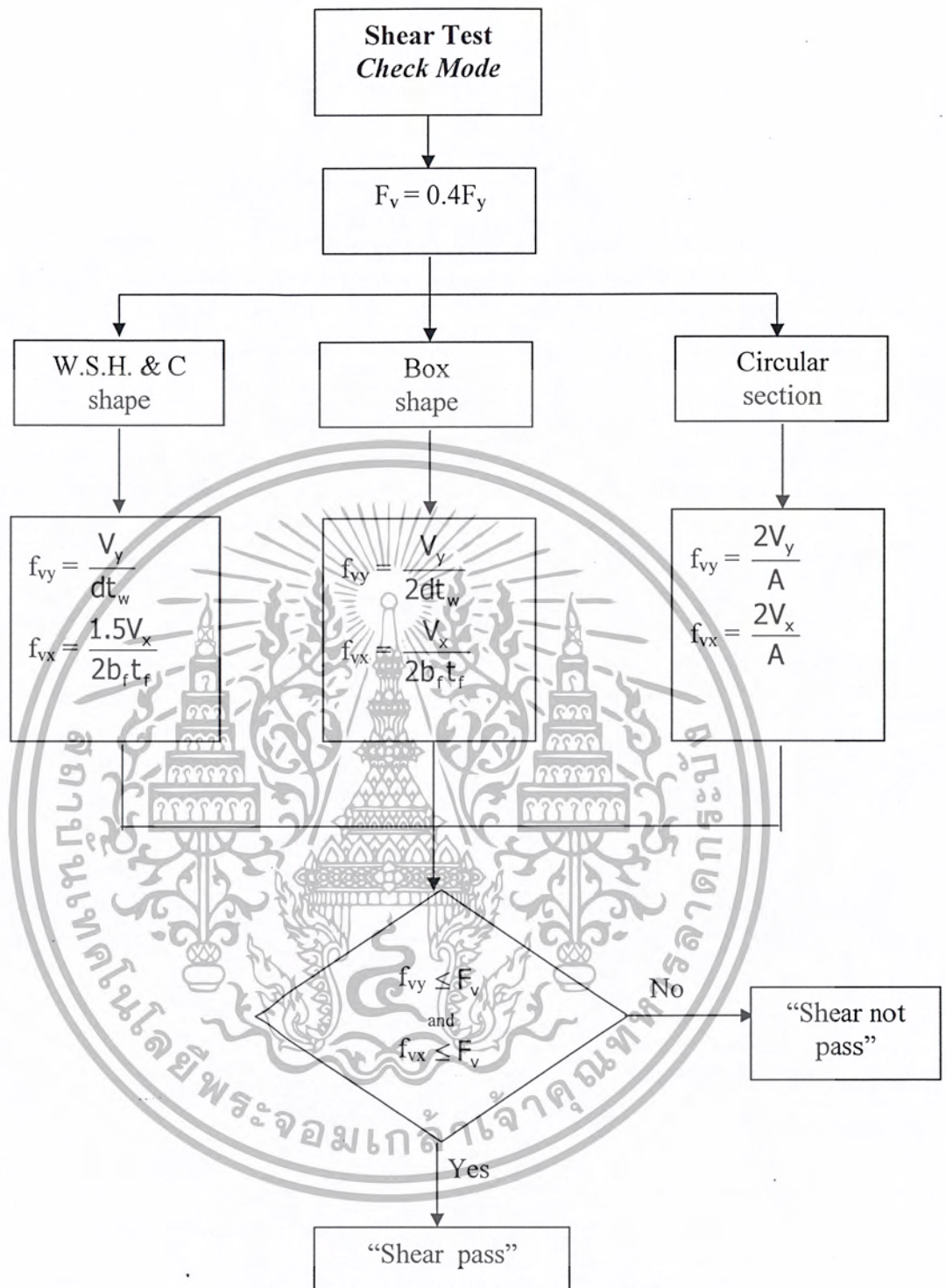
รูปที่ 3.27. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงดัด Design Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



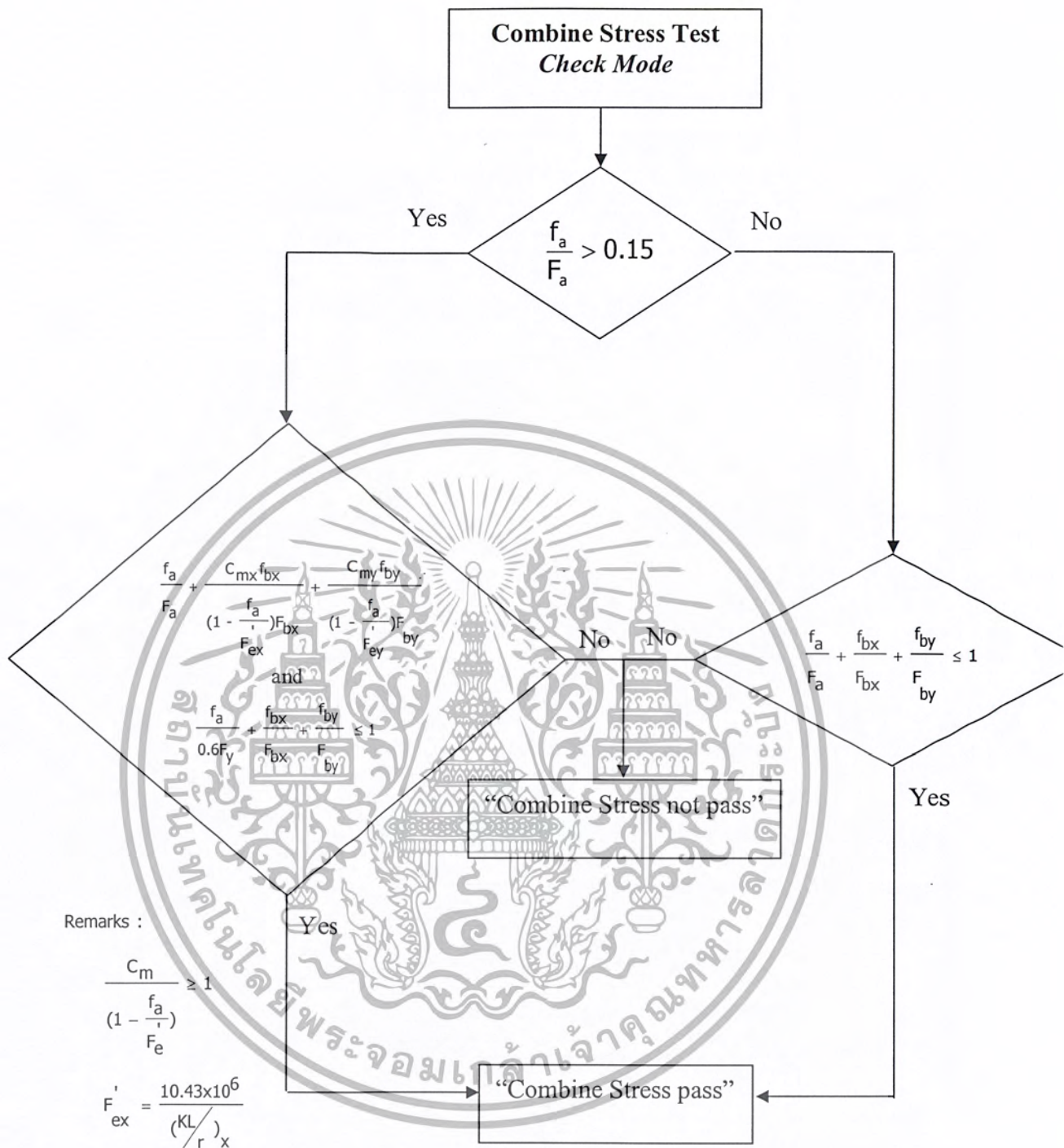
รูปที่ 3.28. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงคัต Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



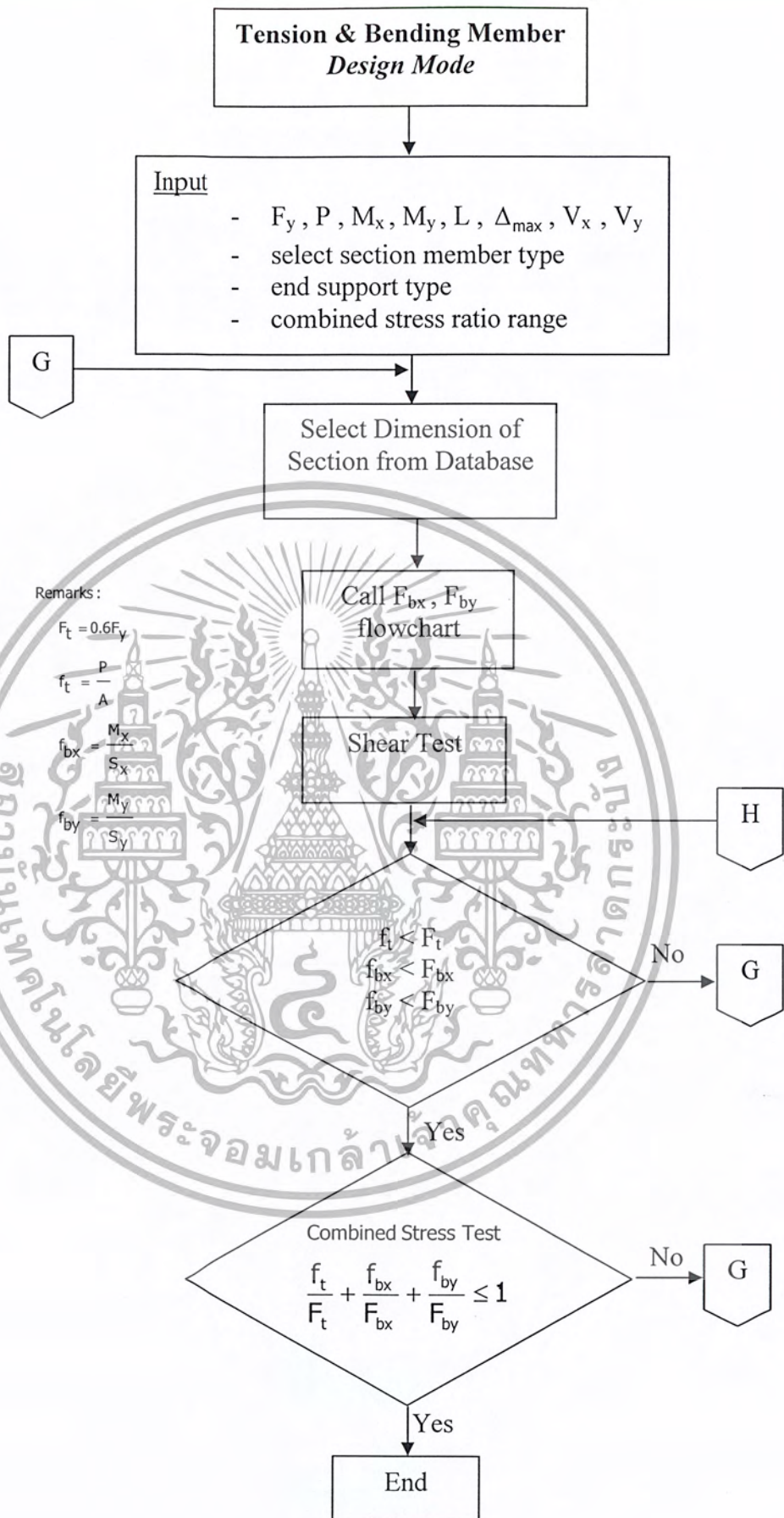
รูปที่ 3.29. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงดัด Check Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



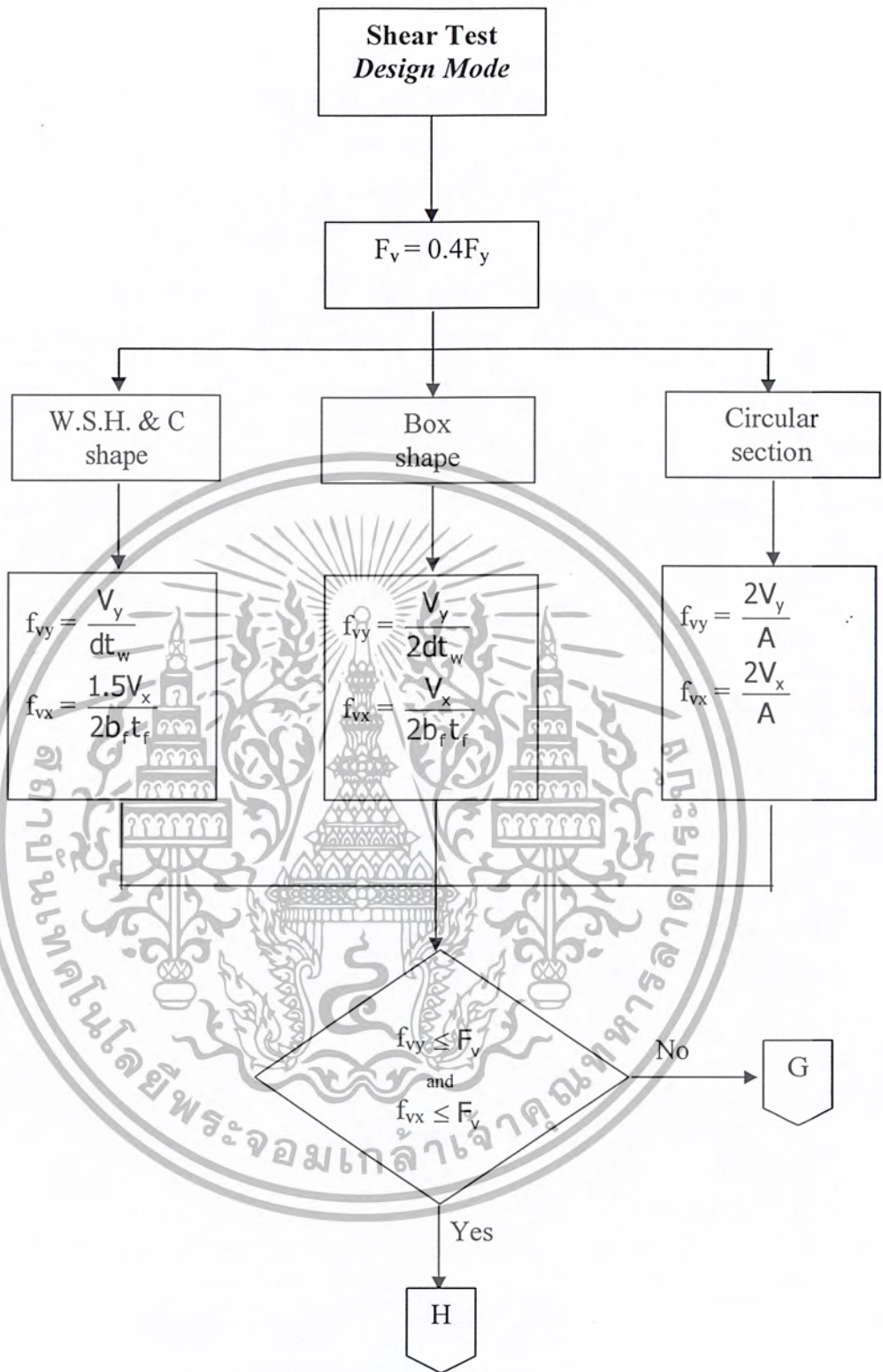
รูปที่ 3.30. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงอัดและแรงดัด Check Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



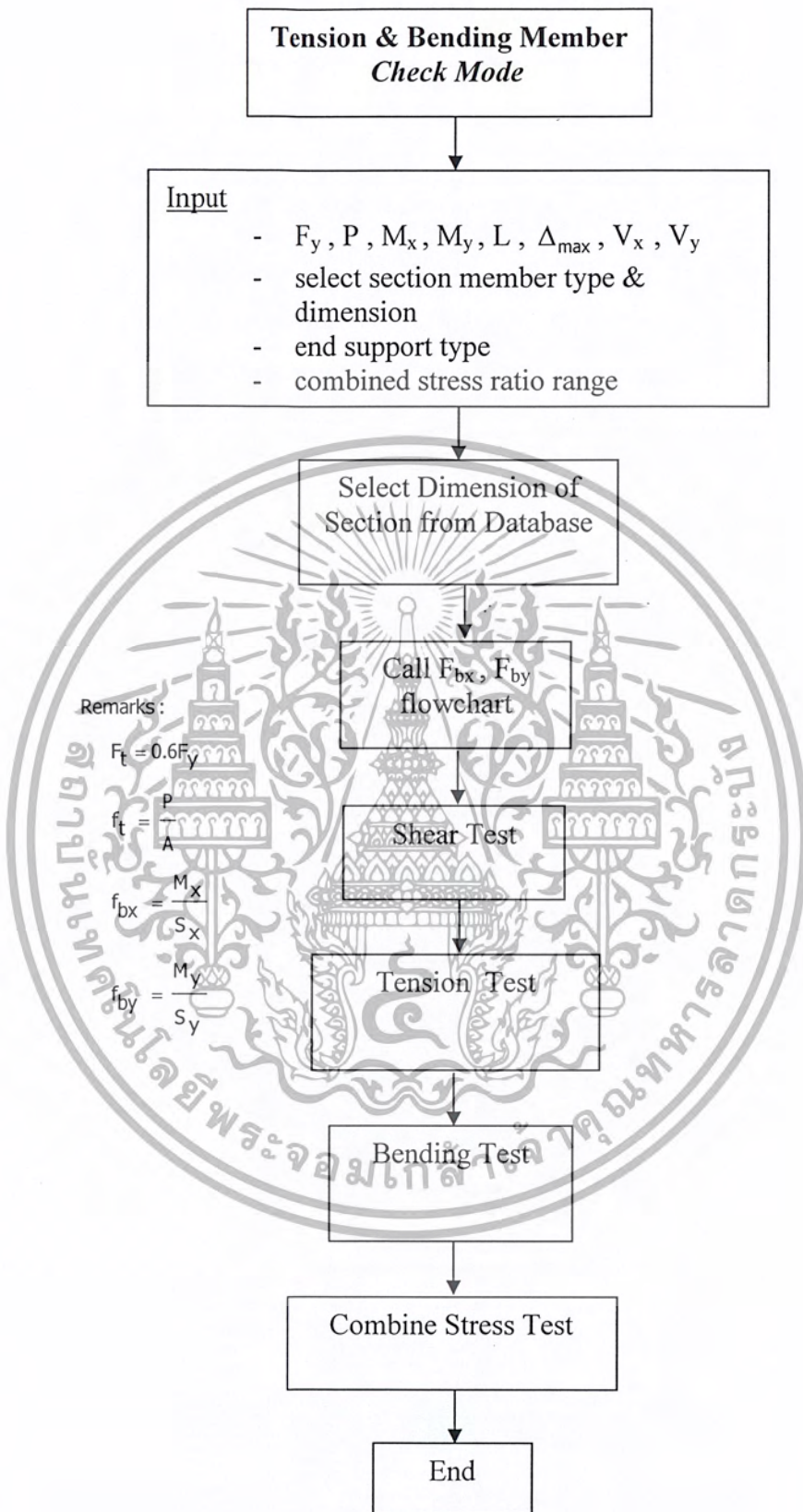
รูปที่ 3.31. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงดัด Design Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



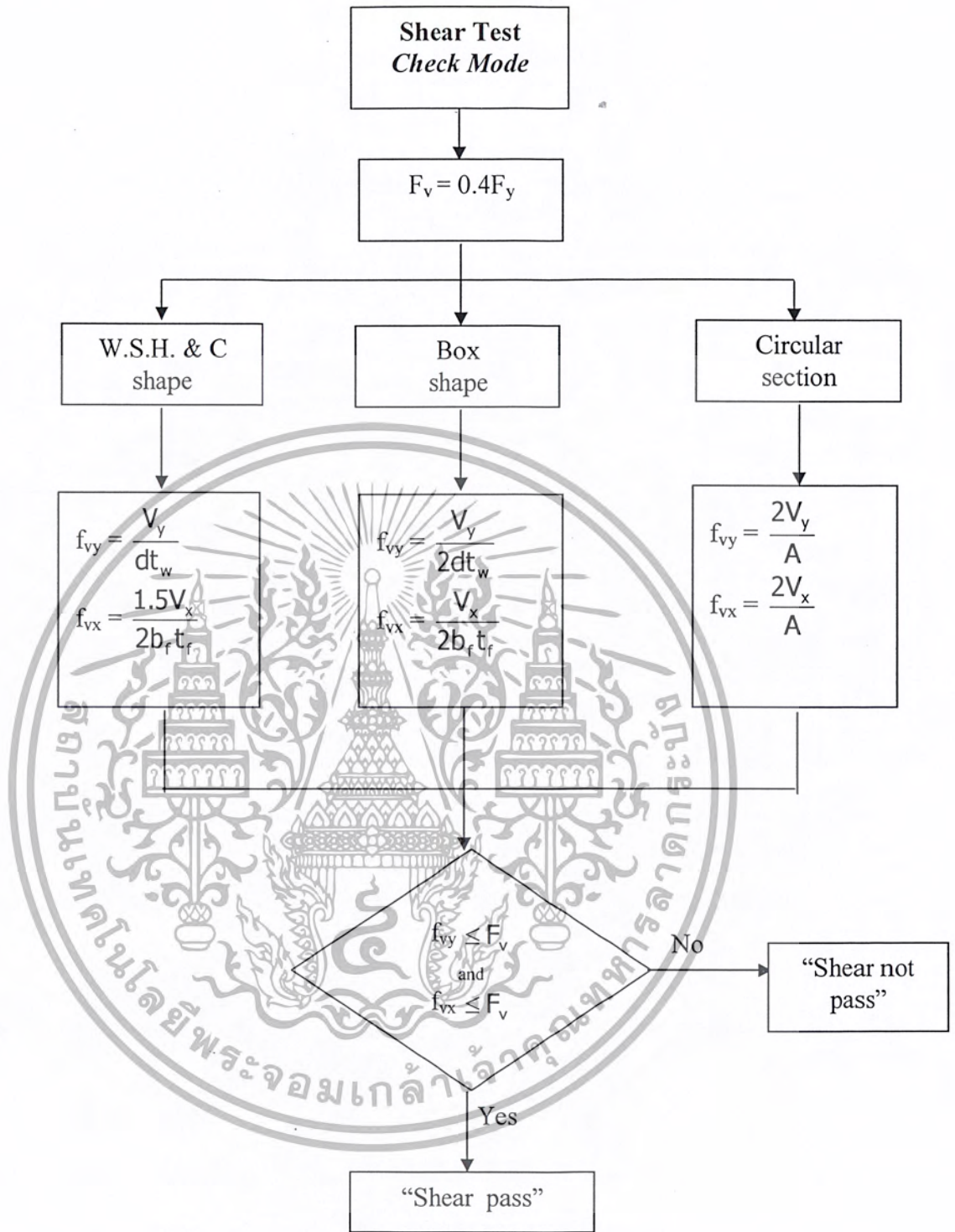
รูปที่ 3.32. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงคัต Design Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33. ผังการทำงาน โครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงคด Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34. ผังการทำงานโครงสร้างที่รับแรงดึงและแรงคัต Check Mode (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สถาปัตยกรรมของโปรแกรม

4.1. กล่าวนำ

หลังจากได้ทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบของค้ออาคารเหล็กแล้ว จะต้องทำการศึกษาภาษาที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม และทำการออกแบบหน้าตาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2. ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

PHP เกิดขึ้นในปี 1994 โดยโรแกรมเมอร์ชาวสหรัฐอเมริกาชื่อ Rasmus Lerdorf ได้พัฒนาเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างเว็บเพจส่วนตัวของเขา โดยตอนแรกใช้ภาษา Perl แต่ก็เกิดอุปสรรคในเรื่องความเร็ว เขาจึงพัฒนาเครื่องมือใหม่ขึ้นมาโดยใช้ไวยากรณ์ภาษา C และเรียกว่า Personal Home Page ในขณะที่เดียวกันก็พัฒนาส่วนที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูลที่เรียกว่า Form Interpreter (FI) ทั้งสองส่วนรวมกันเป็น PHP/FI ตรงนี้เองที่เป็นจุดเริ่มต้นของ PHP เนื่องจากเมื่อมีผู้เข้าชมเว็บเพจของเขาต่างนิยมชมชอบจึงติดต่อกขอ โค้ดเพื่อนำไปพัฒนาต่อในลักษณะที่เรียกว่า Open Source ด้วยเหตุนี้ในปี 1997 มีเว็บไซต์มากกว่า 50,000 แห่งที่ใช้ PHP/FI เพื่อทำงานในด้านต่าง ๆ ทั้ง การติดต่อกฐานข้อมูล, การแสดงข้อมูลแบบไกนามิก และอื่น ๆ อีกมากมาย

เมื่อมีผู้ใช้งานมากขึ้นก็มีคำร้องขอให้พัฒนาประสิทธิภาพของ PHP/FI ให้สูงยิ่งขึ้น การพัฒนาด้วยตนเองของ Rasmus Lerdorf ไม่เพียงพอ โชคดีที่มีผู้ช่วยเหลือ 2 คนที่ชื่อ Zeev Suraski กับ Andi Gutmans ชาวอิสราเอล เข้ามาปรับปรุงโค้ดเดิมของ Lerdorf โดยใช้ C++ และทีมงานเพิ่มเติมอีก 3 คนคือ Stig Bakken, Shane Caraveo และ Jim Winstead โดยนาย Stig Bakken รับผิดชอบเกี่ยวกับความสามารถในการสนับสนุน Oracle, Shane Caraveo ดูแล PHP บน Windows 9x/NT และ Jim Winstead คอยตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ อีกครั้ง และได้ชื่อเป็น Professional Home Page สำหรับ PHP3 ที่ออกสู่สายตาโปรแกรมเมอร์เมื่อ มิ.ย. 1998 ที่ผ่านมามีคุณสมบัติที่เด่นคือการสนับสนุนหลายแพลตฟอร์มของระบบปฏิบัติการ (ทั้ง Windows 95/98/ME/NT และ Linux) และเว็บเซิร์ฟเวอร์ (เช่น IIS, PWS, Apache, OmniHTTPd เป็นต้น) นอกจากนี้ยังสนับสนุนระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานข้อมูลหลายแบบ (SQL Server, MySQL, mSQL, Oracle, Informix, ODBC เป็นต้น) สนับสนุน SNMP (simple Network Management Protocol) และ IMAP (Internet Message Access Protocol)

ปัจจุบัน Zeev และ Andi Gutmans ได้ร่วมพัฒนาต่อเป็น PHP4 (พ.ย.43 ออกเวอร์ชันล่าสุดคือ 4.02) โดยตั้งชื่อว่า Zend โดย Zend (www.zend.com) จะเป็น compile script ซึ่งต่างจากที่เดิมเป็น embred script interpreter ซึ่งจะทำให้ทำงานได้เร็วกว่า

แต่เดิม PHP คือ Professional Home Page แต่ในปัจจุบัน PHP หมายถึง PHP Hypertext Preprocessor ซึ่งบ่งบอกได้ว่ามีประสิทธิภาพใน ระดับโปรเฟสเซอร์เบื้องต้นสำหรับไฮเปอร์เท็กซ์ ซึ่งเป็นภาษาสคริปต์แบบชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Server Side Script ที่ประมวลผลฝั่งเซิร์ฟเวอร์ แล้วส่งผลลัพธ์ ไปฝั่งไคลเอนต์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในการนำมาช่วยพัฒนางานบนเว็บที่เรียกว่า Web Development หรือ Web Programming เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการ รูปแบบภาษา PHP มีเค้าโครงมาจากภาษา C และ Perl ที่นำมาปรับปรุงทำให้มีประสิทธิภาพสูง และทำงานได้เร็วขึ้น

4.2.1. จุดเด่นของภาษาสคริปต์ PHP

ถึงแม้จะรู้จักและนำมาใช้งานได้ไม่นานนัก แต่ PHP กลับได้รับความนิยมในการใช้เป็นเครื่องมือเพื่อพัฒนาเว็บเพจ เนื่องจาก PHP มีจุดเด่นดังนี้

- Free เนื่องจากสิ่งที่ต้องการสูงสุดของ โปรแกรมเมอร์ในการพัฒนาเว็บ คือฟรี PHP ได้ตอบสนองโปรแกรมเมอร์เป็นอย่างดีเพราะเครื่องมือที่ใช้เพื่อพัฒนาทุกอย่างสามารถหาได้ฟรี ๆ (คุณสามารถเลือกใช้ได้จากแผ่นซีดี “พัฒนา Web Database ด้วย PHP”) ไม่ว่าจะเป็ระบบปฏิบัติการ (Windows, Linux), โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ (IIS, PWS , Apache, OmniHTTPd), โปรแกรมระบบฐานข้อมูล (MySQL, mSQL) และ Server Site Script อย่าง PHP
- Open Source เนื่องจากการพัฒนาของ PHP ไม่ได้ยึดติดกับบุคคลหรือกลุ่มคนเล็ก ๆ แต่เปิดโอกาสให้โปรแกรมเมอร์ทั่วไปได้เข้ามาช่วยพัฒนา ทำให้มีคนใช้งานจำนวนมาก และพัฒนาได้เร็ว
- Crossable Platform เนื่องจาก PHP ใช้ได้กับหลาย ๆ ระบบปฏิบัติการมีว่าบน Windows, Unix, Linux หรืออื่น ๆ โดยแทบจะไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโค้ดคำสั่งเลย
- Database Access เนื่องจาก PHP สามารถติดต่อกับฐานข้อมูลอย่าง dBASE, Access,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้อ่านต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหาและข้อมูลในเอกสารนี้ ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้

SQLServer, Oracle, Symbase, Informix, PostgreSQL, MySQL, Empress, FilePro, mSQL, PostgreSQL ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- Easy เนื่องจาก PHP เป็นภาษาสคริปต์ภาษาหนึ่ง ทำให้สามารถแทรกตำแหน่งใดก็ได้ในแท็กของ HTML

4.2.2. หลักการทำงานของภาษาสคริปต์ PHP

เนื่องจาก PHP จะทำงาน โดยมีตัวแปลภาษาและประมวลผลที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ อาจจะเรียกการทำงานว่าเป็นเซิร์ฟเวอร์ไซด์ (Server Side) ส่วนการทำงานของบราวเซอร์ของผู้ใช้เรียกว่าไคลเอ็นต์ไซด์ (Client Side) โดยการทำงานจะเริ่มต้นที่ผู้ใช้ส่งข้อความต้องการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ทาง HTTP (HTTP Request) ซึ่งอาจจะเป็นการกรอกแบบฟอร์ม หรือใส่ข้อมูลที่ต้องการ ข้อมูลเหล่านั้นจะเป็นเอกสาร PHP เมื่อข้อมูลจากแบบฟอร์มเข้ามาถึงเว็บเซิร์ฟเวอร์ก็จะถูกส่งไปให้ PHP เพื่อทำหน้าที่แปลคำสั่งแล้วประมวลผลคำสั่งนั้น หลังจากนั้น PHP จะสร้างผลลัพธ์ในรูปแบบเอกสาร HTML ส่งกลับไปให้เว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อส่งต่อไปให้บราวเซอร์แสดงผลทางฝั่งผู้ใช้ต่อไป (HTTP Response) ซึ่งลักษณะการทำงานแบบนี้จะคล้ายกับการทำงานของ CGI (Common Gateway Interface) หรืออาจจะกล่าวได้ว่า PHP คือโปรแกรม CGI ประเภทหนึ่งก็ได้

4.2.3. เหตุผลที่เลือกใช้ภาษา PHP

นอกจากภาษา PHP แล้ว ยังมีภาษาอื่น ๆ ที่สามารถตอบสนองในการเขียนโปรแกรมนี้ไม่ว่าจะเป็น CGI/Perl, ASP, JSP, Java Servlet ฯลฯ แต่ทางผู้จัดทำเลือกใช้ PHP เพราะทางผู้จัดทำมีความชำนาญในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา PHP มากที่สุด อีกทั้ง PHP ยังเป็นภาษาที่สามารถใช้งานได้ง่ายทุกระบบปฏิบัติการและมีผู้ให้บริการเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่รองรับภาษา PHP อยู่มาก จึงเป็นเหตุผลให้ผู้จัดทำจึงเลือกใช้ภาษา PHP ในการเขียนโปรแกรมนี้

4.3. ภาษาที่ใช้งานการติดต่อฐานข้อมูล

ภาษา SQL (Structured Query Language) เป็นภาษาที่มีรูปแบบเป็นภาษาอังกฤษง่ายต่อการเรียนรู้และการเขียนโปรแกรม เป็นภาษาที่ใช้อยู่ใน DBMS หลายตัว มีความสามารถในการนิยามโครงสร้างตารางภายในฐานข้อมูล การจัดการข้อมูล รวมไปถึงการควบคุมสิทธิการใช้งานฐานข้อมูล SQL จะประกอบด้วยภาษา 3 รูปแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Definition Language (DDL) เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับสร้างฐานข้อมูล หรือใช้กำหนดโครงสร้างให้กับ Relation ภายในฐานข้อมูล เช่น การเพิ่ม เปลี่ยนแปลง ลบ Attribute ของ Relation ฯลฯ เป็นต้น

Data Manipulation Language (DML) เป็นกลุ่มคำสั่งที่พัฒนาขึ้นตามแนวคิดของ Relational Algebra และ Record Relational Calculus โดยประกอบด้วย คำสั่งที่ใช้สำหรับ เพิ่ม ลบ หรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลในฐานข้อมูล

Data Control Language เป็นกลุ่มคำสั่ง DML ประเภทหนึ่ง ที่ใช้ในการเลือกข้อมูล จาก Relation ขึ้นมาแสดงผลตามรูปแบบที่ต้องการ

4.3.1. ระบบการประมวลผลฐานข้อมูล

จากการจำกัดของระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูล จึงได้มีการพยายามคิดหา เทคโนโลยีใหม่ เพื่อมาทำการประมวลผล ให้ชนะข้อจำกัดดังกล่าว เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมา แทนระบบเก่า คือ ระบบการประมวลผลฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล หมายถึง การเก็บระบบข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันได้ในที่เดียวกัน

ในระบบการประมวลผลฐานข้อมูล จะมีรูปแบบและวิธีการจัดการข้อมูลที่แตกต่างกันจากระบบเพิ่มข้อมูล คือ มีองค์ประกอบหนึ่งเพิ่มขึ้นมา จากระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูล ได้แก่ องค์ประกอบที่เรียกว่า ระบบจัดการฐานข้อมูล หรือ DBMS (Database Management System) เป็นโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูล

ในระบบการประมวลผลฐานข้อมูล เพิ่มข้อมูลต่าง ๆ จะความเกี่ยวข้องของข้อมูล และทำให้ข้อมูลถูกต้องทันสมัยอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ โปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้องยังไม่ขึ้นกับโครงสร้างข้อมูลอีกด้วย

DBMS จะทำหน้าที่เหมือนตัวกลางระหว่างผู้ใช้กับฐานข้อมูล ทำหน้าที่ในการสร้าง,เรียกใช้ข้อมูล หรือ ปรับปรุงฐานข้อมูล ในการทำงานกับฐานข้อมูลจะต้องผ่าน DBMS ทุกครั้งไป ผู้ใช้จะออกคำสั่งผ่าน DBMS แล้ว DBMS ก็จะทำหน้าที่ไปจัดการตามคำสั่งกับฐานข้อมูลเอง ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องทราบว่า ข้อมูลเก็บอยู่ที่ใด หรือเก็บในลักษณะใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในองค์กรเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. ข้อดีของการประมวลผลในระบบฐานข้อมูล

ข้อมูลมีการเก็บอยู่ร่วมกัน และสามารถใช้อ้างอิงข้อมูลร่วมกันได้ ในระบบฐานข้อมูล ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บรวมในที่เดียวกัน เรียกว่า ฐานข้อมูล สามารถออกคำสั่งผ่าน DBMS ให้ทำการอ่านข้อมูลจากหลายๆ ที่ได้ เพื่อให้นำมาสรุป DBMS จะทำหน้าที่เชื่อมข้อมูลจากที่ต่างๆ ในฐานข้อมูลให้

ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เนื่องจากในระบบฐานข้อมูลมีการเก็บข้อมูลได้ในที่เดียวกัน เป็นการประหยัดเนื้อที่ของหน่วยความจำสำรอง หากมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจะทำให้ฐานข้อมูลเพียงที่เดียว ทำให้ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลได้ และข้อมูลจะมีความถูกต้อง ไม่มี ความขัดแย้งในข้อมูล

สามารถหลีกเลี่ยงความขัดแย้งของข้อมูลได้ เนื่องจากข้อมูลถูกเก็บที่เดียวในฐานข้อมูล หากมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล จะมีการแก้ไขเพียงที่เดียว ทำให้ไม่เกิดความขัดแย้งของข้อมูล

การควบคุมความคงสภาพของข้อมูล ความคงสภาพ (Integrity) หมายถึง ความถูกต้อง ความคล่องของความสัมพันธ์ หรือ ความน่าเชื่อถือของข้อมูล ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของข้อมูลเช่นกัน เช่น ข้อมูลของเกรดนักศึกษาควรจะไม่เกิน 4.0, ข้อมูลจำนวนชั่วโมงไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง เป็นต้น ในระบบฐานข้อมูลสามารถควบคุมความคงสภาพนี้ได้โดยไม่ยากนัก

การจัดการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลสามารถทำได้ง่าย ๆ การจัดการกับข้อมูล เช่น การเพิ่ม การลบ การแก้ไข การเรียกใช้ข้อมูล ในระบบฐานข้อมูลสามารถกระทำได้ง่าย โดยผ่าน DBMS จะเป็นตัวจัดการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลให้เอง

ความเป็นอิสระระหว่าง โปรแกรมประยุกต์และข้อมูล โปรแกรมประยุกต์ที่เรียกอ่านกับระบบฐานข้อมูล จะไม่ขึ้นกับโครงสร้างของฐานข้อมูล หรือไม่ขึ้นกับตาราง การเปลี่ยนแปลงขนาดของฐานข้อมูล หรือขนาดของตารางจะไม่กระทบกระเทือนต่อ โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานอยู่

มีผู้ควบคุมระบบเพียงคนเดียว ผู้ควบคุมระบบฐานข้อมูล จะเรียกว่า DBA (Database Administrator) จะเป็นผู้ควบคุมและบริหารจัดการระบบฐานข้อมูลทั้งหมด สามารถจัดการกับโครงสร้างหรือฐานข้อมูลได้ รวมทั้งกำหนดสิทธิ์ของผู้ใช้งานว่าให้ใช้งานได้ในระดับใด เช่น ให้ดูข้อมูลได้อย่างเดียว หรือ ให้แก้ไขข้อมูลได้เป็นการป้องกันความเสียหายกับระบบฐานข้อมูล

4.3.3. ข้อเสียของการประมวลผลในฐานข้อมูล

แม้แต่ในการประมวลผล ในระบบฐานข้อมูลจะมีข้อมูลอยู่มากมายหลายประการ แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้าง ในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ราคาของ DBMS มีราคาแพง นอกจากนี้ฐานข้อมูลจะต้องใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ประสิทธิภาพสูง เช่น มีความเร็วสูง มีหน่วยความจำมาก หน่วยเก็บข้อมูล ความจำสูง เป็นต้น ทำให้ต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีราคาแพงทำให้ทั้งระบบมีราคาสูง

การสูญเสียของข้อมูล โดยที่ข้อมูลในระบบฐานข้อมูลถูกเก็บอยู่ที่เดียวกับดิสก์ที่เก็บข้อมูล เกิดชำรุด อาจทำให้สูญเสียข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูลแตกต่างจากระบบแฟ้มข้อมูล ซึ่งเก็บข้อมูลไว้หลาย ๆ ที่ถ้าดิสก์ตัวใดเสียข้อมูลได้จากดิสก์อื่น แต่ในปัจจุบันระบบฐานข้อมูลได้มีวิธีการแก้ไขปัญหานี้ เช่น ทำการสำรองข้อมูลไว้ในเทปแม่เหล็ก เป็นประเภท

4.3.4. เหตุผลที่เลือกใช้ภาษา SQL ในการจัดเก็บฐานข้อมูล

ในการเก็บฐานข้อมูลหลักกรุปพรรณนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการเก็บในรูปแบบของไฟล์ตัวอักษร (Text File) หรือใช้โปรแกรมประยุกต์อย่างเช่น Microsoft Excel หรือ Microsoft Access เก็บข้อมูล แต่การเก็บโดยใช้ภาษา SQL นั้นถือได้ว่าเป็นภาษาสากลที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นหมวดหมู่มีโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการบริหารฐานข้อมูล (DBMS) ออกมามากมาย อย่างเช่น MSSQL, Oracle, MySQL ฯลฯ ไม่ว่าจะใช้โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการบริหารฐานข้อมูล (DBMS) ตัวไหนก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลหลักกรุปพรรณที่ผู้จัดทำได้ทำไว้ และโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการบริหารฐานข้อมูล (DBMS) ที่ทางผู้จัดทำได้เลือกคือโปรแกรม MySQL เพราะเป็นโปรแกรมที่ฟรีไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานแต่อย่างใด อีกทั้งยังสามารถติดตั้งและใช้งานได้หลายระบบปฏิบัติการ ไม่ว่าจะเป็น Microsoft Windows หรือ

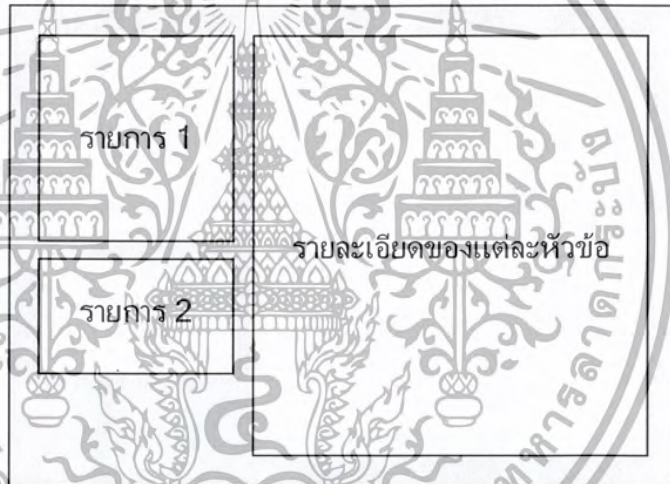
Linux เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. โครงสร้างของโปรแกรม

โครงสร้างของโปรแกรมจะประกอบไปด้วย

4.4.1. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (Client Side)

ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ไว้อย่างเป็นหมวดหมู่ เพื่อที่ง่ายต่อการใช้โปรแกรม ผู้ใช้โปรแกรมไม่ต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจกับตัวโปรแกรมมากก็สามารถใช้งานตัวโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ โดยจะออกแบบไว้ดังรูป 4.1.



รูปที่ 4.1. แสดงการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้

โดยผู้จัดทำได้วางรายการที่ผู้ใช้ต้องการเลือกใช้ออกแบบ, ตรวจสอบ หรือ รายการหลักรูปพรรณ ไว้ทางด้านซ้ายมือเป็นหมวดหมู่ และทางขวามือจะเป็นรายละเอียดที่ผู้เลือกได้เลือกไว้ ไม่ว่าจะเป็นรายละเอียดทางด้านการออกแบบ, การตรวจสอบ หรือการรายละเอียดของหลักรูปพรรณ

4.4.2. ส่วนประมวลผล (Server Side)

ส่วนประมวลผลก็จะประกอบไปด้วยตัวแปลภาษา PHP, โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการบริหารฐานข้อมูล (DBMS), โปรแกรมที่ให้บริการเว็บ (Web Server) โดยเมื่อ โปรแกรมที่ให้บริการเว็บ ได้รับข้อมูลจากทางฝั่งผู้ใช้ก็จะส่งให้ตัวแปลภาษา PHP ทำการคำนวณผลลัพธ์และทำการติดต่อฐานข้อมูลเพื่อเรียกใช้ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ส่งกลับไปให้โปรแกรมที่ให้บริการเว็บ จากนั้นโปรแกรมที่ให้บริการเว็บก็จะส่งรูปร่างหน้าตาที่ออกมากลับไปยังผู้ใช้โดยจะแสดงผลออกมาที่เว็บเบราว์เซอร์ดังรูป 4.2.



รูปที่ 4.2. แสดงการทำงานของโปรแกรม

4.5. ความสามารถของโปรแกรมที่คาดคิดไว้

สามารถทำงานได้ทั้งในส่วนของการออกแบบและการตรวจสอบโดยส่วนของการออกแบบจะแบ่งออกเป็นส่วนย่อยได้อีก คือ

- โครงสร้างรับแรงดึง
- โครงสร้างรับแรงอัด
- โครงสร้างรับแรงดัด
- โครงสร้างรับแรงดึงและดัดร่วมกัน
- โครงสร้างรับแรงอัดและดัดร่วมกัน

และในส่วนของการตรวจสอบจะแบ่งออกเป็นส่วนย่อย คือ

- โครงสร้างรับแรงดึง
- โครงสร้างรับแรงอัด
- โครงสร้างรับแรงดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครงสร้างรับแรงดึงและค้ำร่วมกัน
- โครงสร้างรับแรงอัดและค้ำร่วมกัน

โดยทางผู้จัดทำหวังว่าโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจในการใช้ได้
อย่างรวดเร็ว ง่ายต่อการใช้งาน การทำงานของโปรแกรมจะทำได้ถูกต้องใช้เวลาในการทำงาน
รวดเร็ว และผลลัพธ์ที่ได้จะตรงหน้าตัดของชิ้นส่วนในกรณีต่าง ๆ ที่ถูกประหยัดที่สุด

4.6. ขอบเขตการทำงานและข้อจำกัดของโปรแกรม

การที่ผู้ใช้จะใช้โปรแกรมได้นั้น เครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้จำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อกับ
อินเทอร์เน็ตในขณะที่ใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ไม่ได้
เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต



บทที่ 5

คู่มือการใช้งานโปรแกรม “LSteel Design”

5.1. กล่าวนำ

ก่อนที่จะใช้โปรแกรม ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องมีความเข้าใจในวิธีการใช้โปรแกรม เพื่อที่จะทำให้การนำโปรแกรมไปใช้เกิดความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสามารถศึกษารูปร่างหน้าตา และวิธีการใช้โปรแกรมได้ดังนี้ คือ

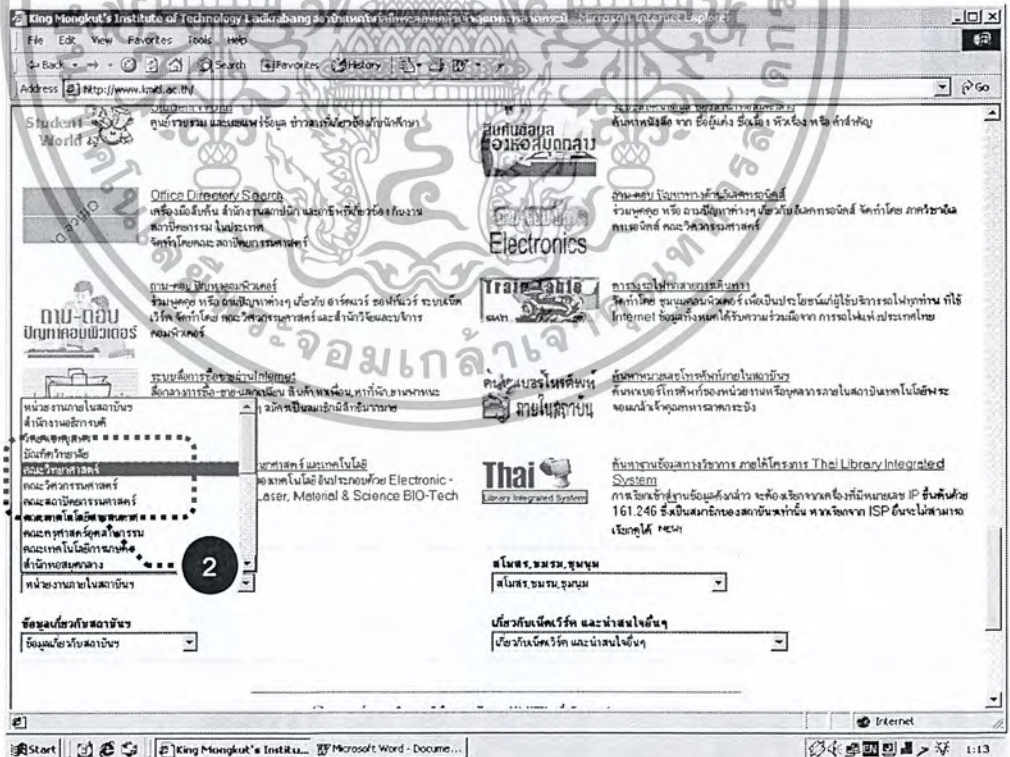
5.2. การเข้าถึงโปรแกรม

ในการเข้าถึงโปรแกรมสามารถทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ให้เข้าไปที่ <http://www.kmitl.ac.th/> ซึ่งเป็นเว็บไซต์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ที่หน่วยงานภายในสถาบัน เลือก คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมา
3. ให้ไปเลือกที่ Civil Engineering เพื่อเข้าสู่เว็บเพจของภาควิชาวิศวกรรมโยธา
4. จากนั้นดูที่ News ที่หัวข้อ Projects Online เลือกที่ Design of Steel Members Through Internet Program จะปรากฏเว็บเพจของโปรแกรม “LSteel Design”
5. หรือจะเข้าไปโดยตรงได้ที่ <http://161.246.21.111/projects/2002/steeld/> ก็จะปรากฏเว็บเพจของโปรแกรม “LSteel Design” เช่นกัน

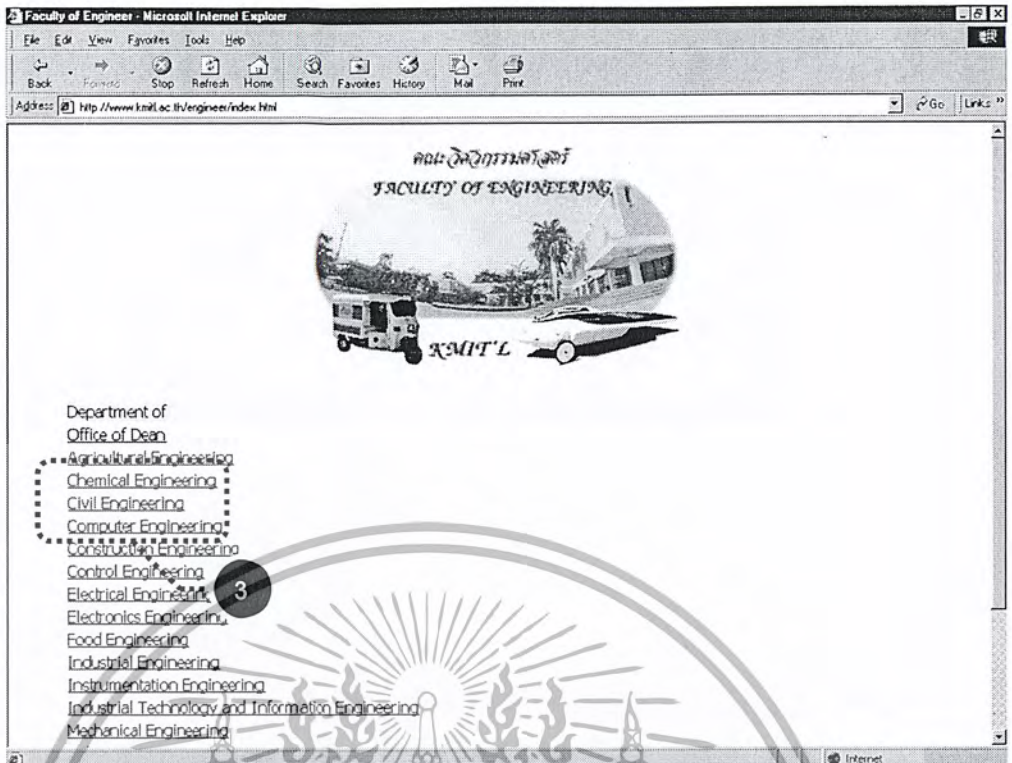


รูปที่ 5.1. แสดงเว็บไซต์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

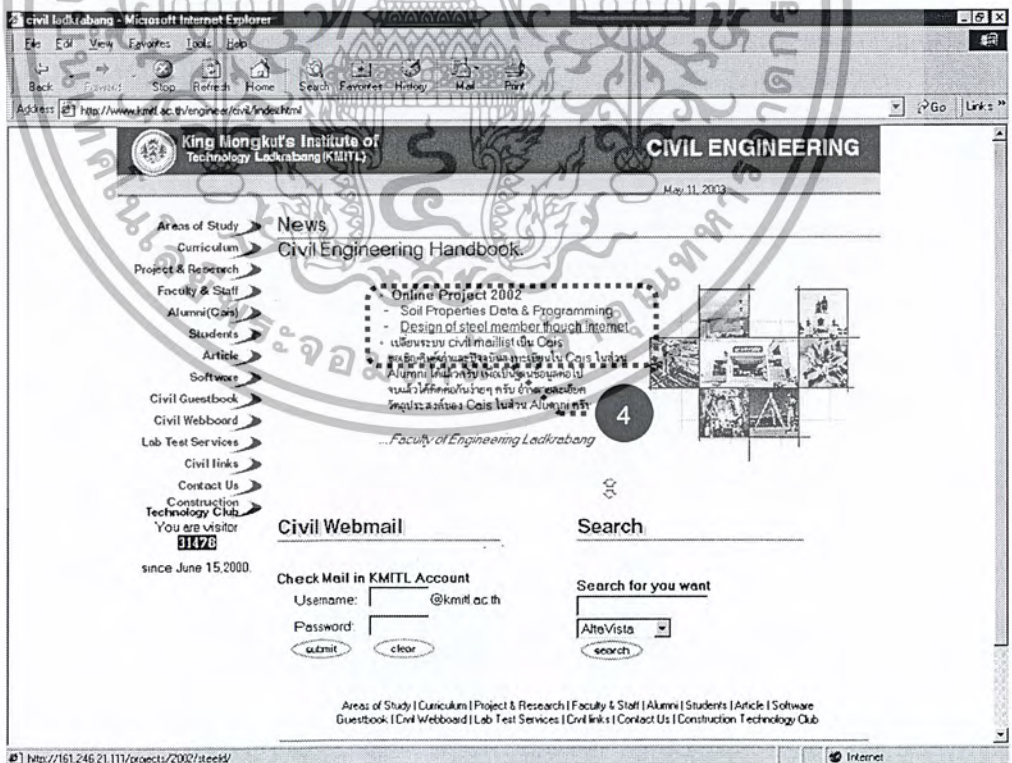


รูปที่ 5.2. แสดงการเข้าถึงโปรแกรม “LSteel Design”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

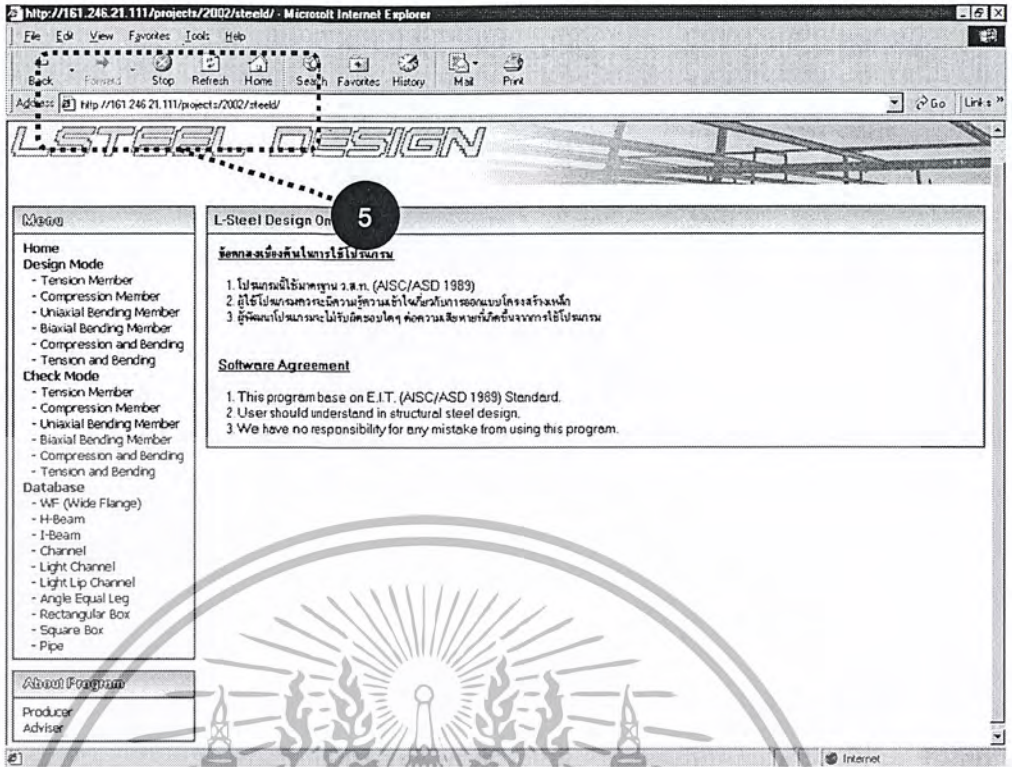


รูปที่ 5.3. แสดงการเข้าถึง โปรแกรม “LSteel Design”



รูปที่ 5.4. แสดงการเข้าถึง โปรแกรม “LSteel Design”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5. เว็บเพจของ โปรแกรม “LSteel Design”

5.3. ส่วนประกอบของโปรแกรม “LSteel Design”

โปรแกรม “LSteel Design” ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. Menu Box โดยในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นส่วยย่อยลงไปอีก 4 ส่วน คือ Home , Design Mode , Check Mode และ Database ถัดลงมาจาก Menu Box จะเป็น About Program โดยมีรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- Home เป็นเว็บเพจหน้าแรก que แสดงข้อตกลงเบื้องต้นในการใช้โปรแกรม โดยผู้เข้ามาใช้โปรแกรมจะต้องยอมรับเงื่อนไขทั้งหมดก่อนที่จะใช้โปรแกรม
- Design Mode เป็นส่วนของการออกแบบของค้ำอาคารเหล็ก ประกอบด้วย

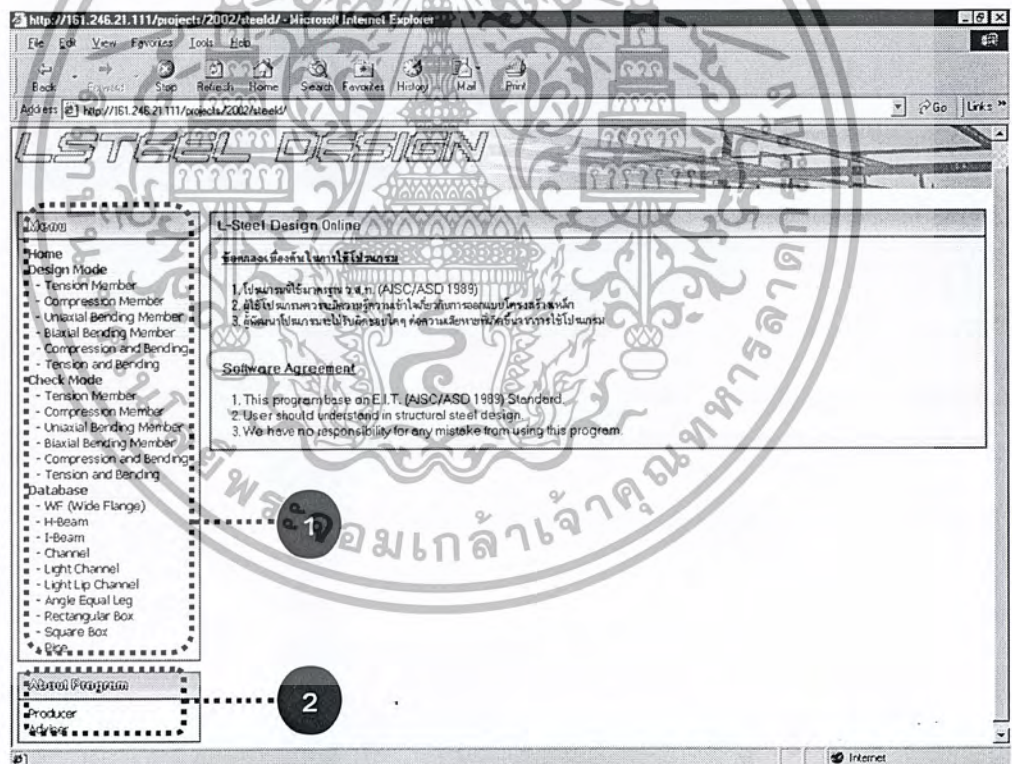
Tension Members	องค้ำอาคารรับแรงดึง
Compression Members	องค้ำอาคารรับแรงอัด
Uniaxial Bending Members	องค้ำอาคารรับแรงดัดแกนเดียว
Biaxial Bending Members	องค้ำอาคารรับแรงดัดสองแกน
Compression and Bending Members	องค้ำอาคารรับแรงอัดและดัดร่วมกัน
Tension and Bending Members	องค้ำอาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Check Mode เป็นส่วนของการออกตรวจสอบองค์อาคารเหล็ก ประกอบด้วย
 - Tension Members องค์อาคารรับแรงดึง
 - Compression Members องค์อาคารรับแรงอัด
 - Uniaxial Bending Members องค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว
 - Biaxial Bending Members องค์อาคารรับแรงดัดสองแกน
 - Compression and Bending Members องค์อาคารรับแรงอัดและดัดร่วมกัน
 - Tension and Bending Members องค์อาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน
- Database เป็นส่วนของฐานข้อมูลชนิดและขนาดของหน้าตัดเคเหล็กรูปพรรณ ที่โปรแกรมเอาไว้ใช้ออกแบบและตรวจสอบองค์อาคารเหล็ก

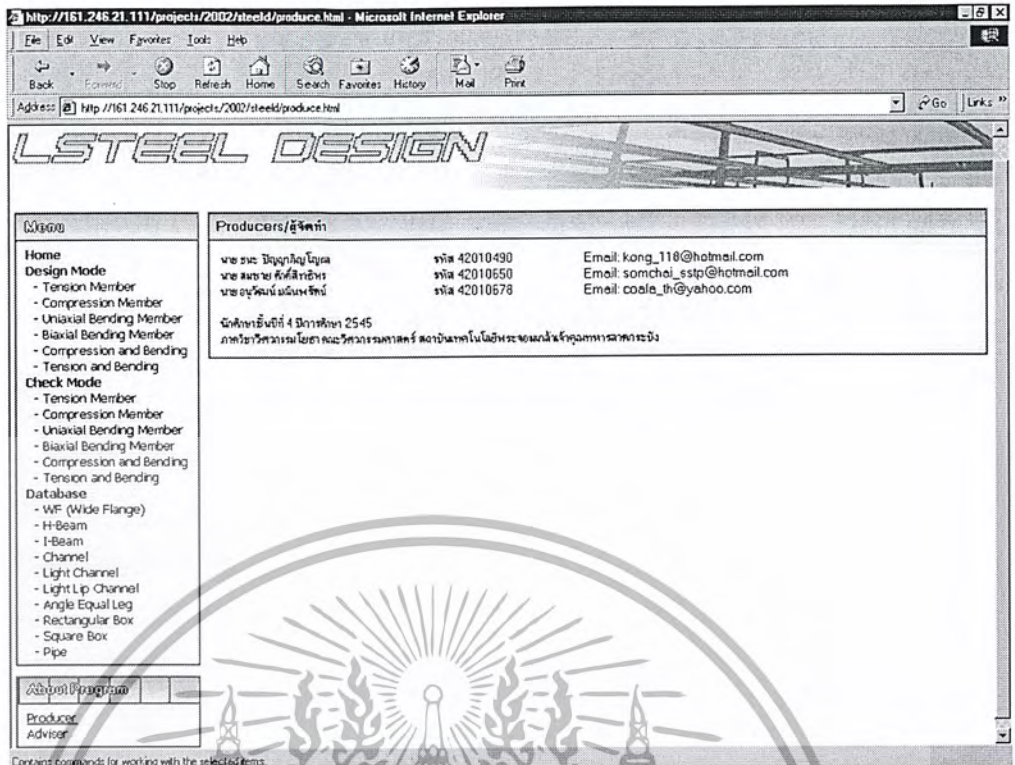
2. About Program ประกอบด้วย

- ผู้จัดทำ/Producers แสดงรายชื่อของผู้จัดทำโครงการพิเศษ
- ที่ปรึกษา/Adviser แสดงชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ

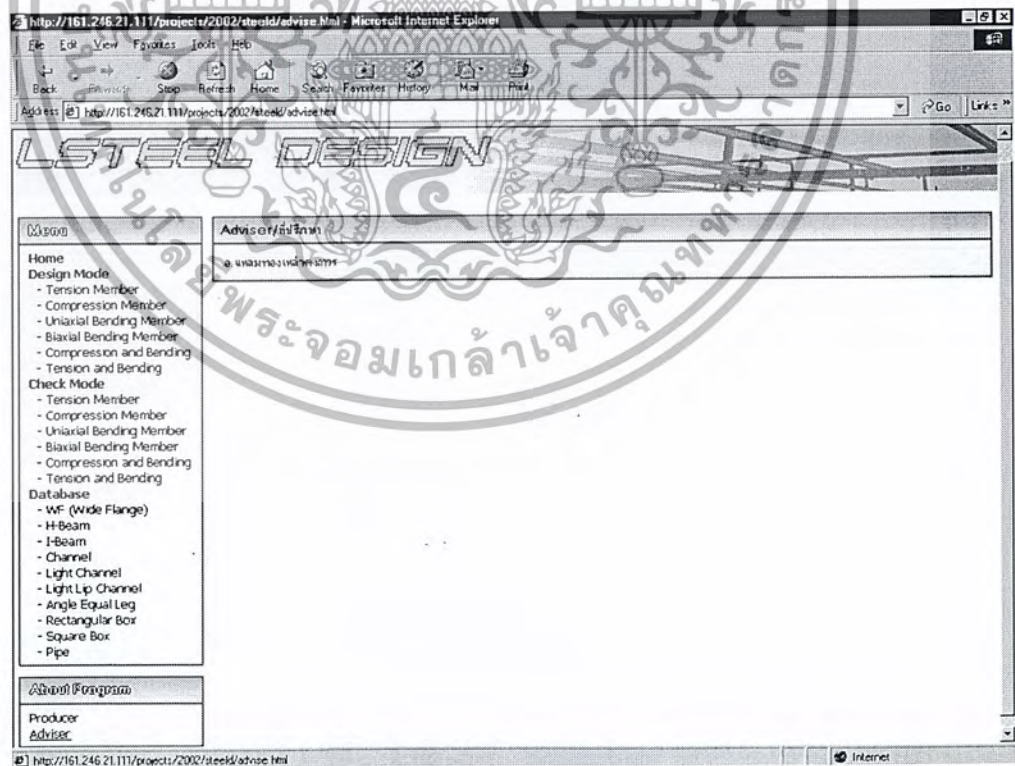


รูปที่ 5.6. ส่วนประกอบของโปรแกรม “LSteel Design”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7. แสดงรายชื่อของผู้จัดทำโครงการพิเศษ



รูปที่ 5.8. แสดงชื่อของอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

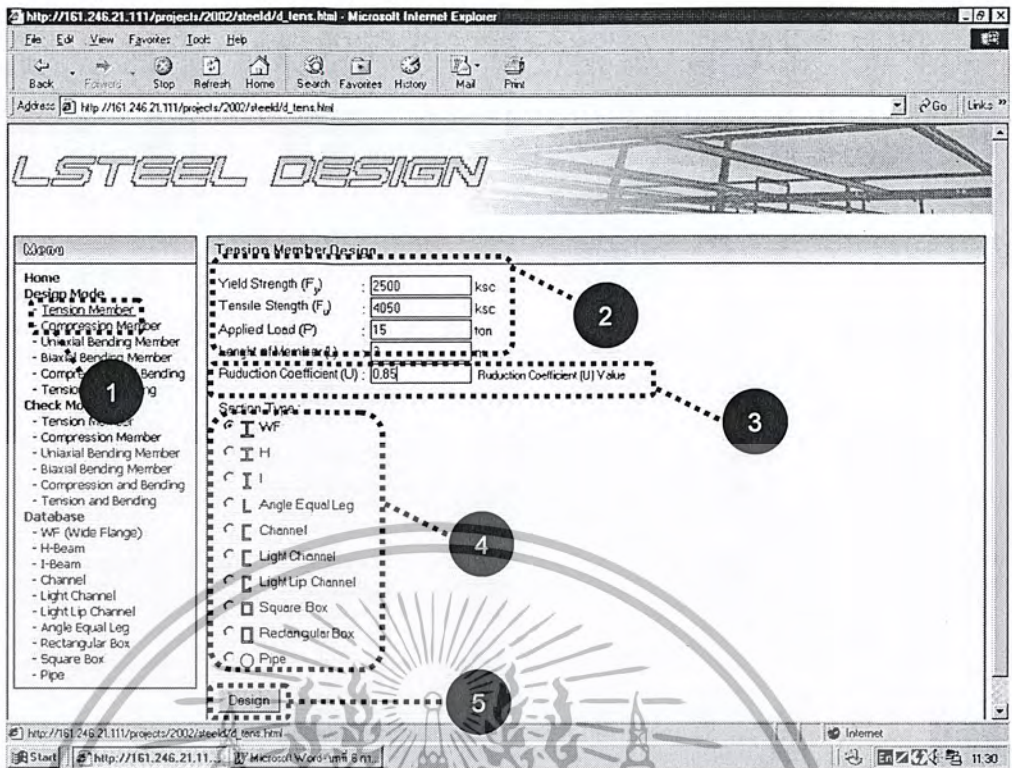
5.4. การออกแบบและตรวจสอบโครงสร้างรับแรงดึง

5.4.1. การออกแบบ (Design Mode)

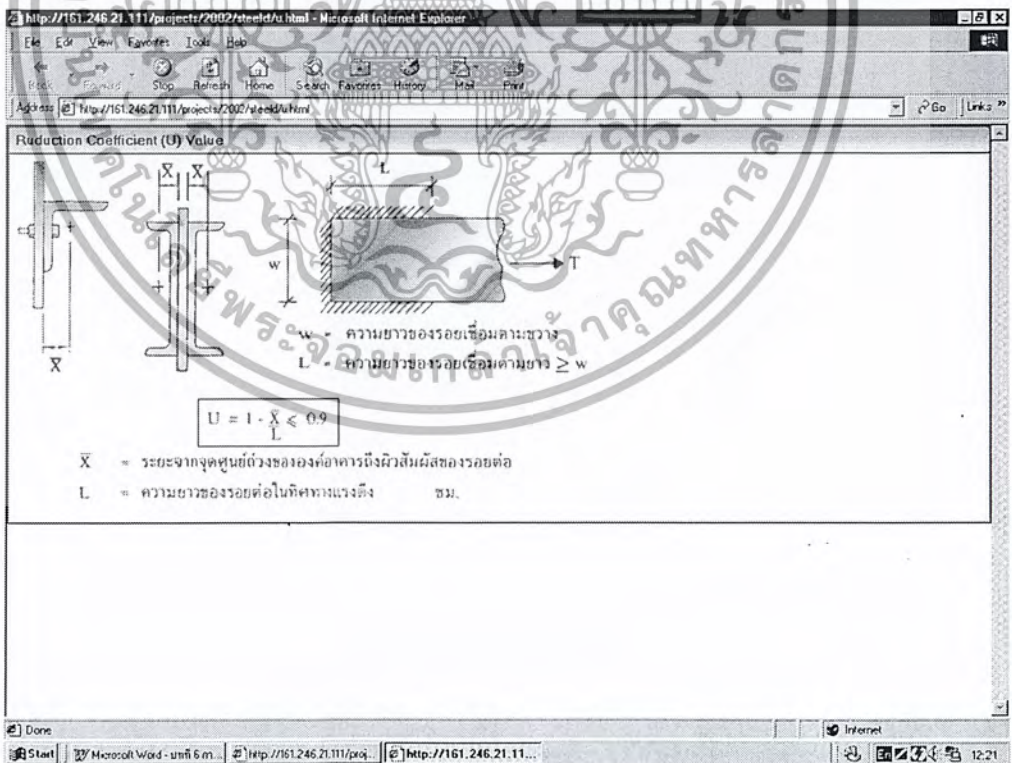
ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างรับแรงดึง โปรแกรมสามารถหา หน้าตัดที่เหมาะสม ให้ได้ โดยจะเป็นหน้าตัดที่เหมาะสมในแง่ของเศรษฐศาสตร์ด้วย กล่าวคือ ได้ขนาดของหน้าตัดที่สามารถรับแรงดึงได้ และมีน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Tension Members ใน Design Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง
2. ทำการใส่ข้อมูลดังต่อไปนี้
 - กำลังที่จุดครากของเหล็ก (F_y)
 - กำลังที่จุดประลัย (F_u)
 - แรงดึงที่กระทำต่อโครงสร้าง (P)
 - ความยาวของโครงสร้าง (L)
3. ใส่ค่าลดกำลัง (Reduction Coefficient : U) ซึ่งค่านี้จะมีค่าไม่เกิน 0.9 ขึ้นอยู่กับ ความยาวของรอยเชื่อม และระยะจากจุดศูนย์กลางของหน้าตัด ไปยังจุดเชื่อมต่อ สามารถดูรายละเอียดได้โดยคลิกที่ Reduction Coefficient (U) Value
4. เลือกชนิดของหน้าตัด
5. เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วให้คลิกที่ Design เพื่อให้โปรแกรมหาหน้าตัดที่เหมาะสมได้

หลังจากออกแบบแล้ว รายการคำนวณจะแสดงทางหน้าจอ ดังรูปที่ 5.9.

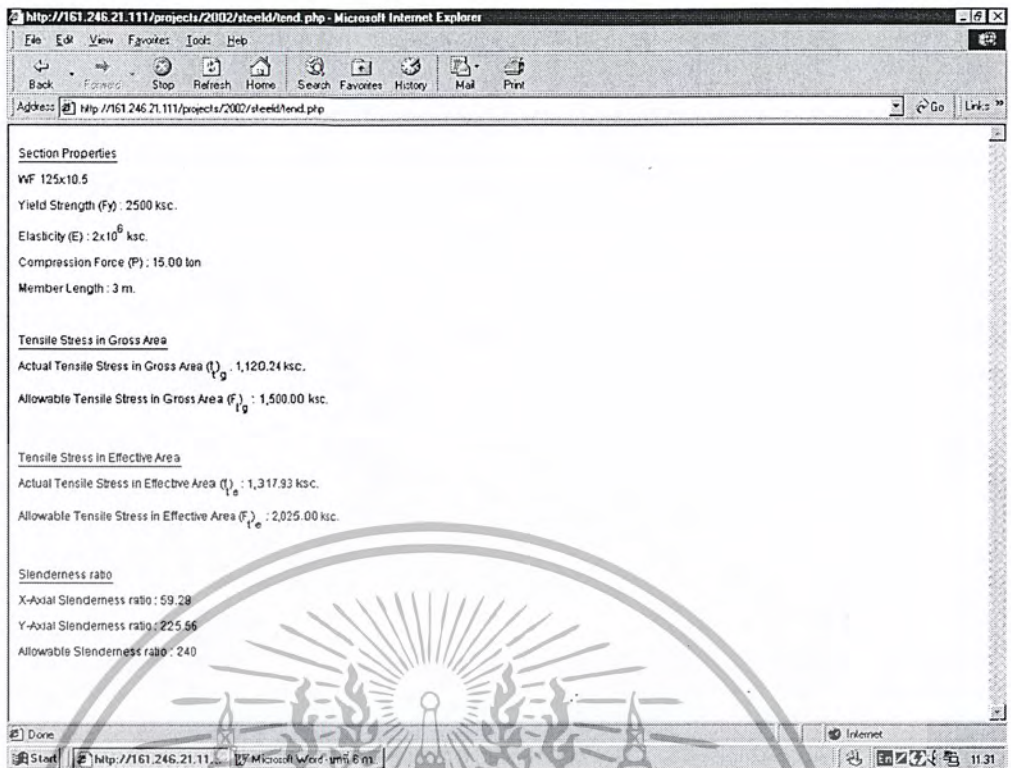


รูปที่ 5.9. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงดึง Design Mode



รูปที่ 5.10. แสดงรายละเอียดของ Reduction Coefficient (U) Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



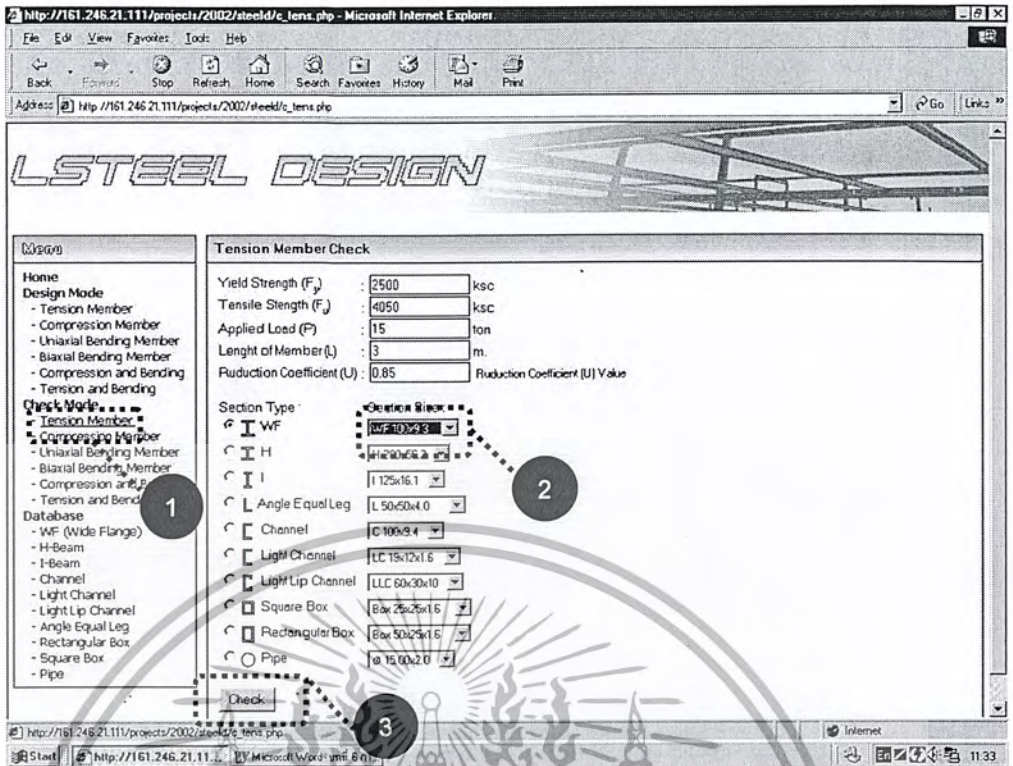
รูปที่ 5.11. รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงดึง Design Mode

5.4.2. การตรวจสอบ (Check Mode)

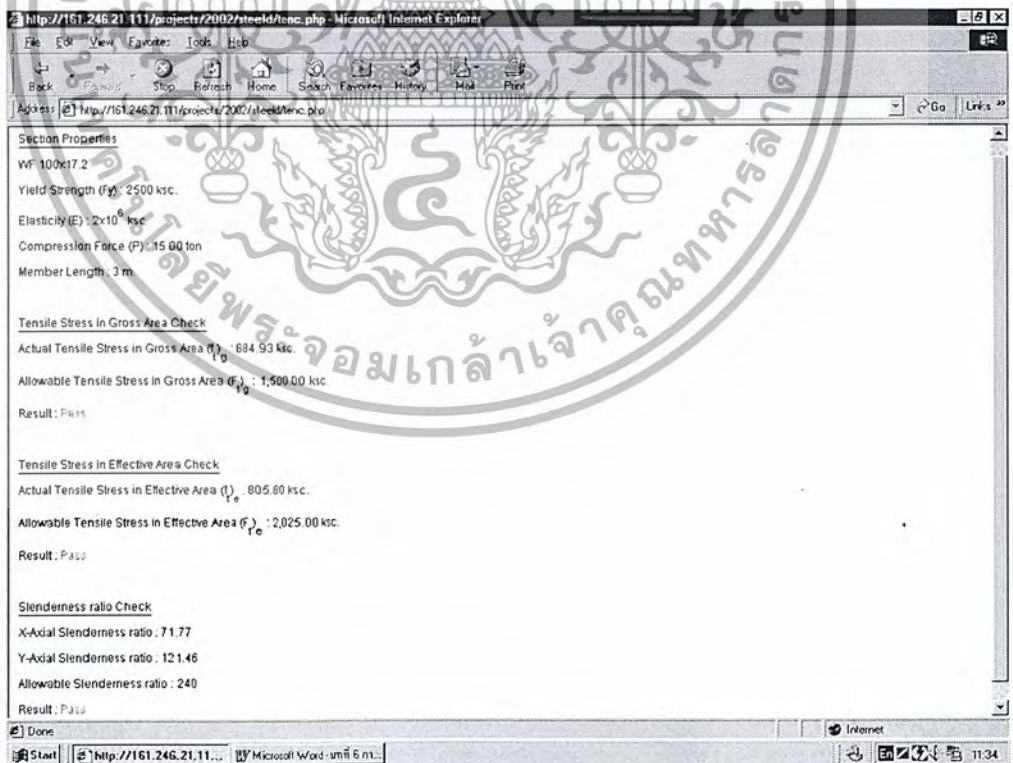
ในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าหน้าตัดที่เลือกมาสามารถรับแรงดึงที่ป้อนมาได้หรือไม่ โดยจะแยกการแสดงผลออกเป็นหมวดๆ มีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Tension Members ใน Check Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึง
2. สำหรับการใส่ข้อมูล จะเหมือนกับส่วนของ Design Mode แต่ใน Check Mode นอกจากชนิดของหน้าตัดแล้ว จะต้องเลือกขนาดของหน้าตัดด้วย
3. คลิก Check เพื่อให้โปรแกรมทำการตรวจสอบกำลังรับแรงของหน้าตัด

หลังจากนั้น โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณออกมา ดังรูปที่ 5.12.



รูปที่ 5.12. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงดึง Check Mode



รูปที่ 5.13. รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงดึง Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

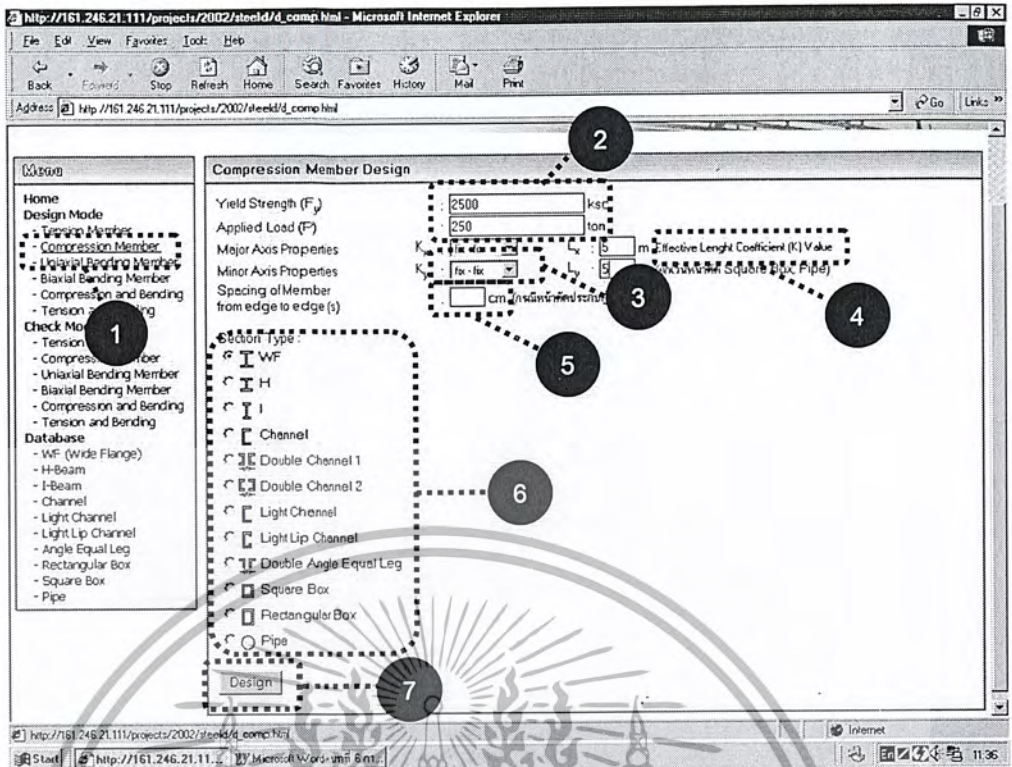
5.5. การออกแบบและตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัด

5.5.1. การออกแบบ (Design Mode)

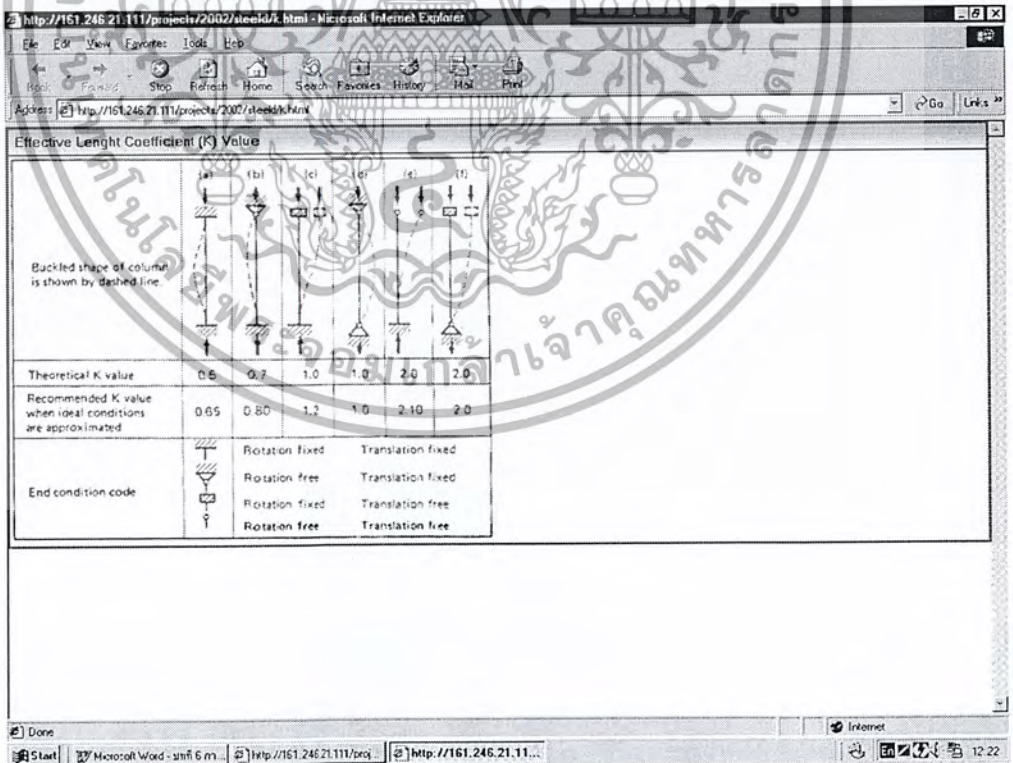
ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด โปรแกรมสามารถหา หน้าตัดที่เหมาะสม ให้ได้ โดยจะเป็นหน้าตัดที่เหมาะสมในแง่ของเศรษฐศาสตร์ด้วย กล่าวคือ ได้ขนาดของหน้าตัดที่สามารถรับแรงอัดได้ และมีน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Compression Members ใน Design Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด
2. ทำการใส่ข้อมูลดังต่อไปนี้
 - กำลังที่จุดครากของเหล็ก (F_y)
 - แรงอัดที่กระทำต่อโครงสร้าง (P)
 - ความยาวของโครงสร้าง (L_x, L_y)
3. เลือกลักษณะการยึดที่ปลาย (K_x, K_y)
4. ลักษณะการยึดที่ปลายสามารถดูรายละเอียดได้โดยคลิกที่ Effective Length Coefficient (K) Value
5. สำหรับหน้าตัดประกอบ จะต้องทำการใส่ค่าระยะห่างระหว่างปีกของหน้าตัดด้วย (Spacing of member : S) ถ้าไม่กรอกโปรแกรมจะตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ค่าเท่ากับศูนย์
6. เลือกชนิดของหน้าตัด
7. เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วให้คลิกที่ Design เพื่อให้โปรแกรมหาหน้าตัดที่เหมาะสมได้

หลังจากออกแบบแล้ว รายการคำนวณจะแสดงทางหน้าจอ ดังรูปที่ 5.14.

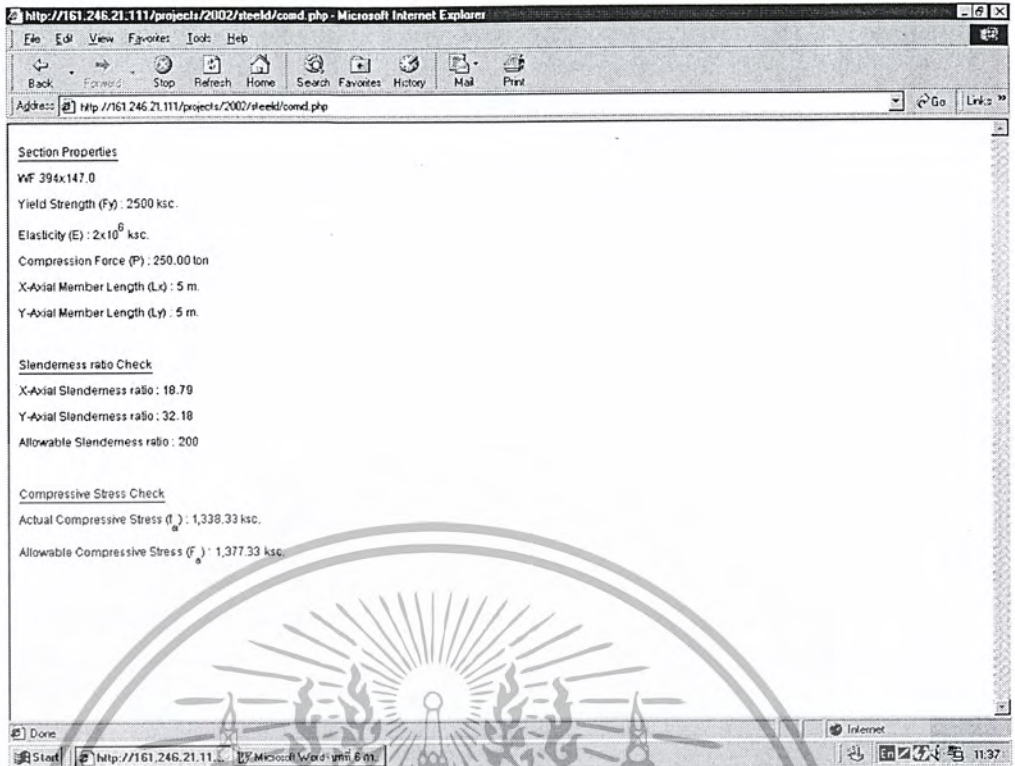


รูปที่ 5.14. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัด Design Mode



รูปที่ 5.15. แสดงรายละเอียดของ Effective Length Coefficient (K) Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



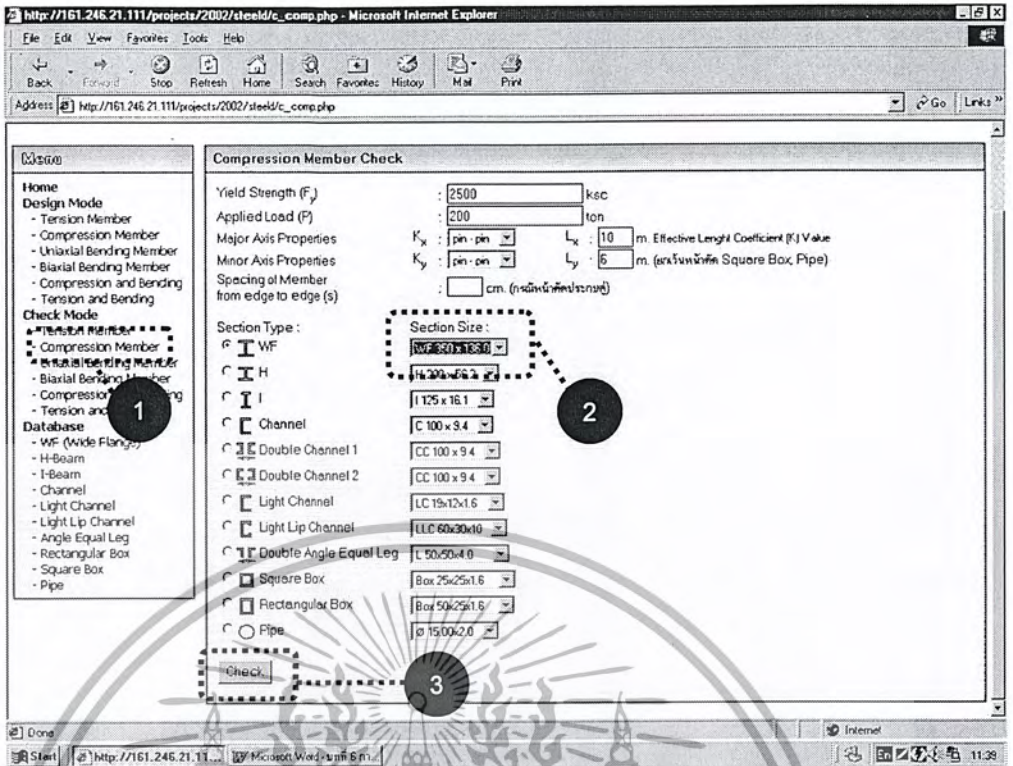
รูปที่ 5.16. รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงอัด Design Mode

5.5.2. การตรวจสอบ (Check Mode)

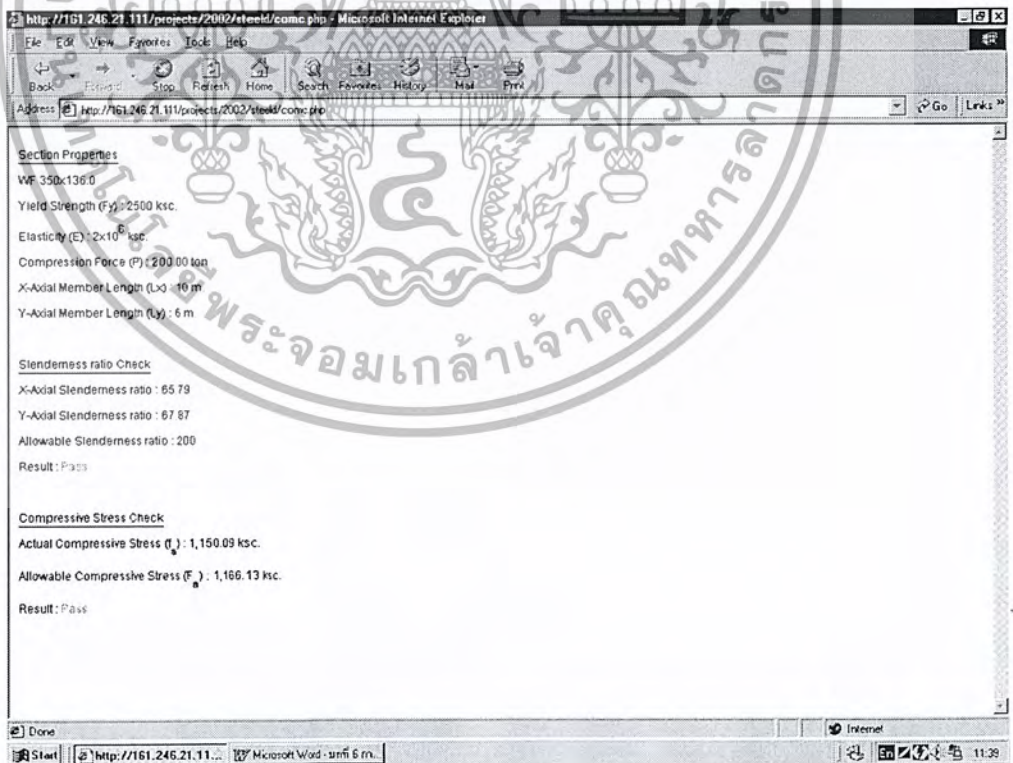
ในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าหน้าตัดที่เลือกมาสามารถรับแรงอัดที่ป้อนมาได้หรือไม่ โดยจะแยกการแสดงผลออกเป็นหมวดๆ มีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Compression Members ใน Check Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัด
2. สำหรับการใส่ข้อมูล จะเหมือนกับส่วนของ Design Mode แต่ใน Check Mode นอกจากชนิดของหน้าตัดแล้ว จะต้องเลือกขนาดของหน้าตัดด้วย
3. คลิก Check เพื่อให้โปรแกรมทำการตรวจสอบกำลังรับแรงของหน้าตัด

หลังจากนั้น โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณออกมา ดังรูป 5.17.



รูปที่ 5.17. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัด Check Mode



รูปที่ 5.18. รายการคำนวณขององค์อาคารรับแรงอัด Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

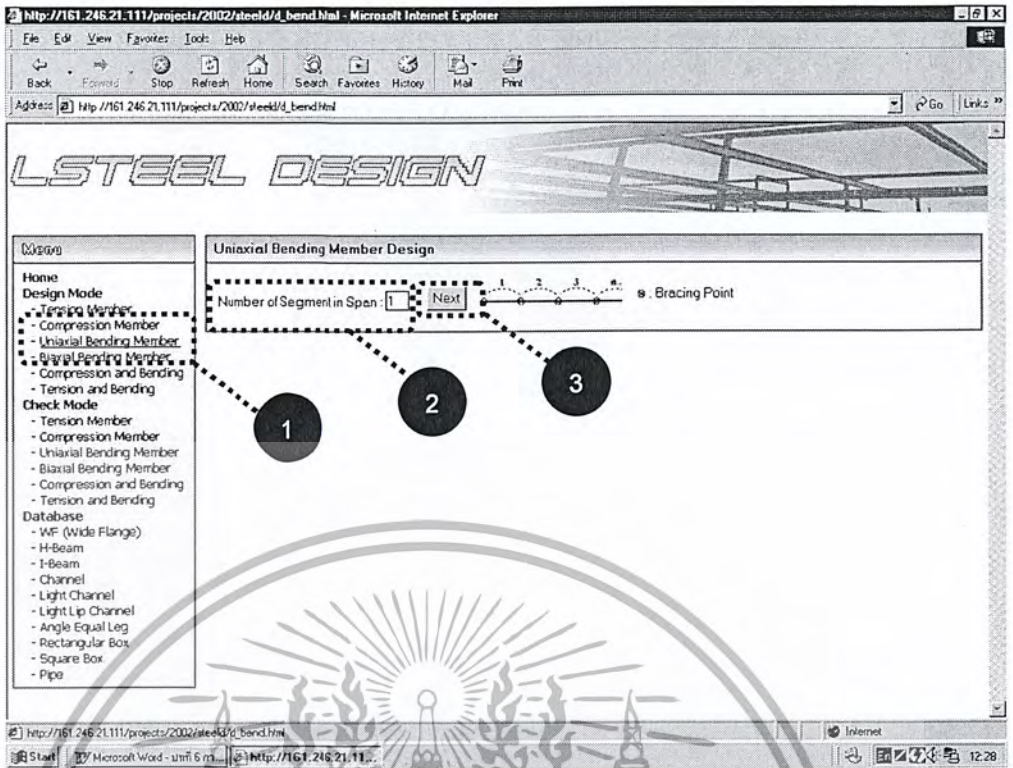
5.6. การออกแบบและตรวจสอบโครงสร้างรับแรงดัดแกนเดียว

5.6.1 การออกแบบ (Design Mode)

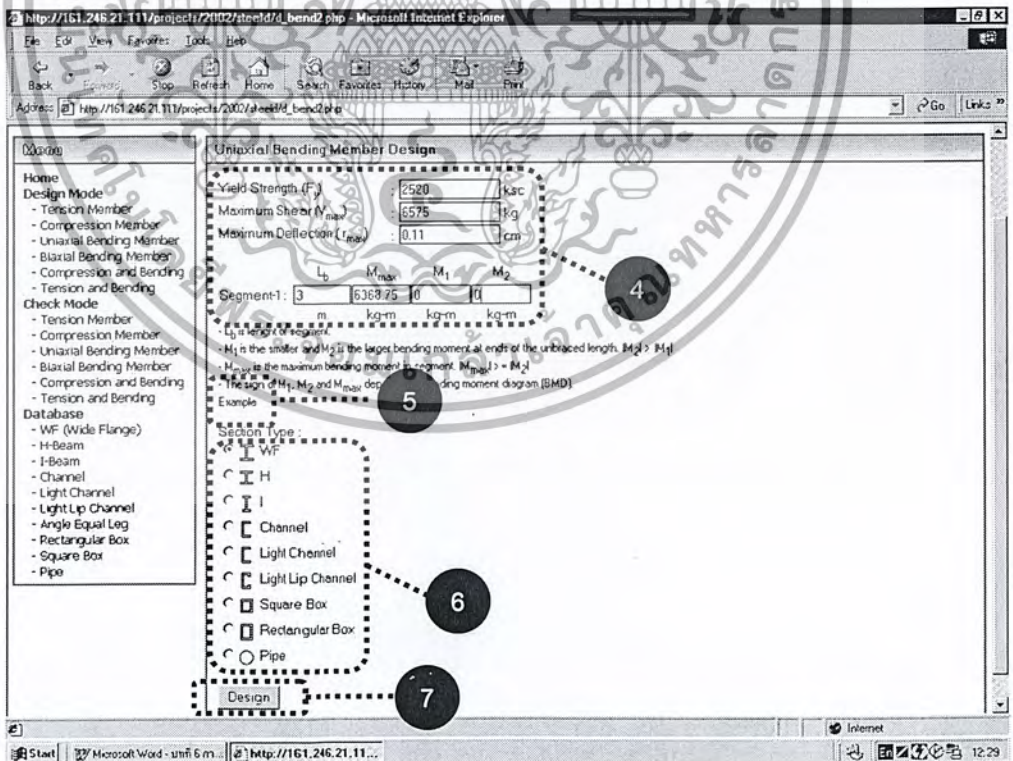
ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างรับแรงดัดแกนเดียว โปรแกรมสามารถหาหน้าตัดที่เหมาะสม ให้ได้ โดยจะเป็นหน้าตัดที่เหมาะสมในแง่ของเศรษฐศาสตร์ด้วย กล่าวคือ ได้ขนาดของหน้าตัดที่สามารถรับแรงดัดแกนเดียวได้ และมีน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Uniaxial Bending Members ใน Design Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดัดแกนเดียว
2. ใส่จำนวนช่วงของการค้ำยัน
3. คลิกที่ Next เพื่อทำการป้อนในเว็บเพจหน้าถัดไป
4. ทำการใส่ข้อมูลดังต่อไปนี้
 - กำลังที่จุดครากของเหล็ก (F_y)
 - แรงเฉือนที่มากที่สุด (V_{max})
 - การเอนตัวที่มากที่สุด (Δ_{max})
 - ระยะค้ำยัน (L_c) ของแต่ละช่วงค้ำยัน
 - โมเมนต์ที่มากที่สุดภายในช่วงค้ำยัน (M_{max})
 - โมเมนต์ค่าน้อยที่ปลายของจตุรรองรับ (M_1)
 - โมเมนต์ค่ามากที่ปลายของจตุรรองรับ (M_2)
5. ในการป้อนข้อมูลสามารถดูตัวอย่างได้โดยคลิกที่ Example
6. เลือกชนิดของหน้าตัด
7. เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วให้คลิกที่ Design เพื่อให้โปรแกรมหาหน้าตัดที่เหมาะสมได้

หลังจากออกแบบแล้ว รายการคำนวณจะแสดงทางหน้าจอ ดังรูป 5.19.

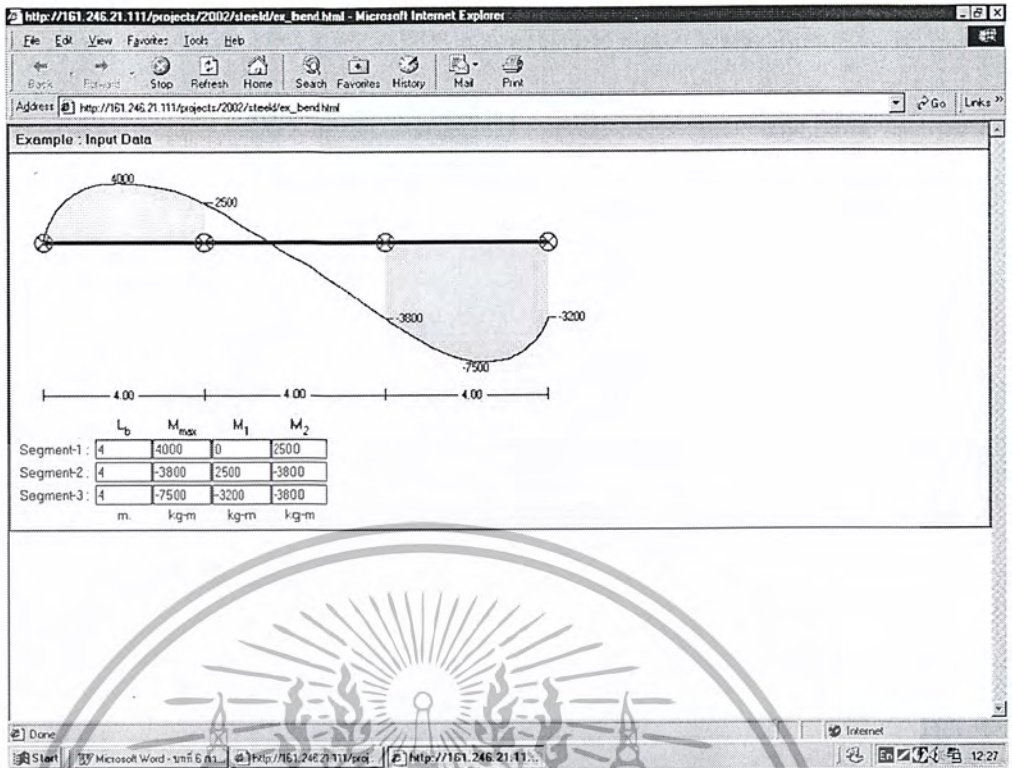


รูปที่ 5.19. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว Design Mode

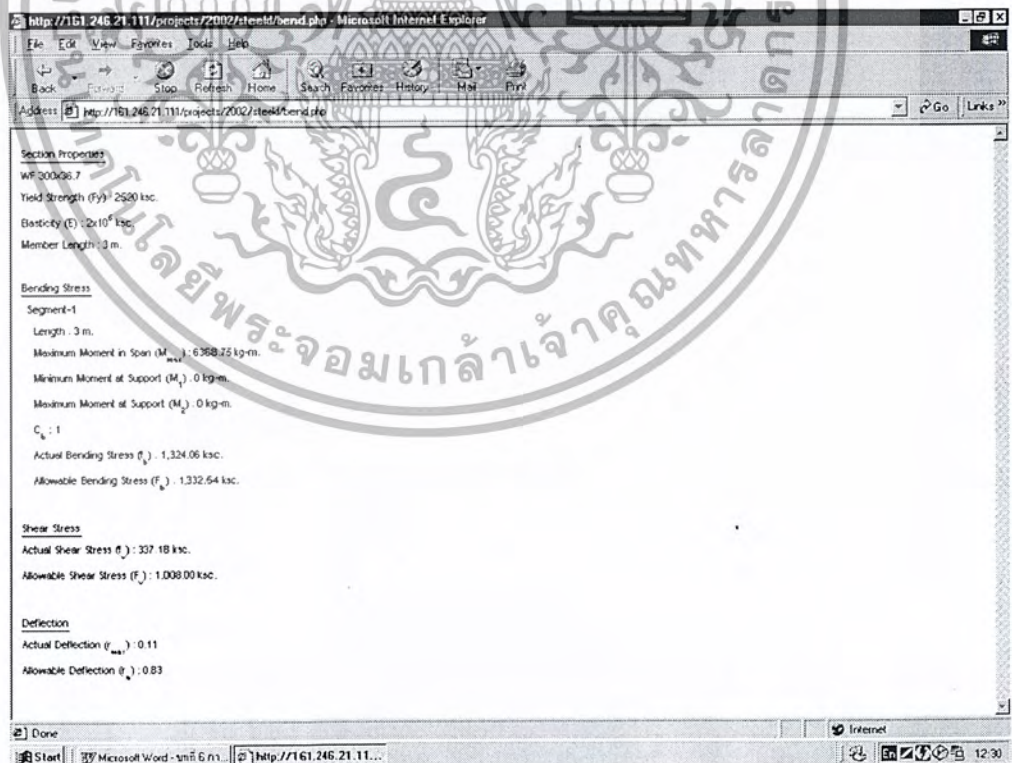


รูปที่ 5.20. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21. แสดงตัวอย่างในการป้อนข้อมูล



รูปที่ 5.22. รายการคำนวณองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว Design Mode

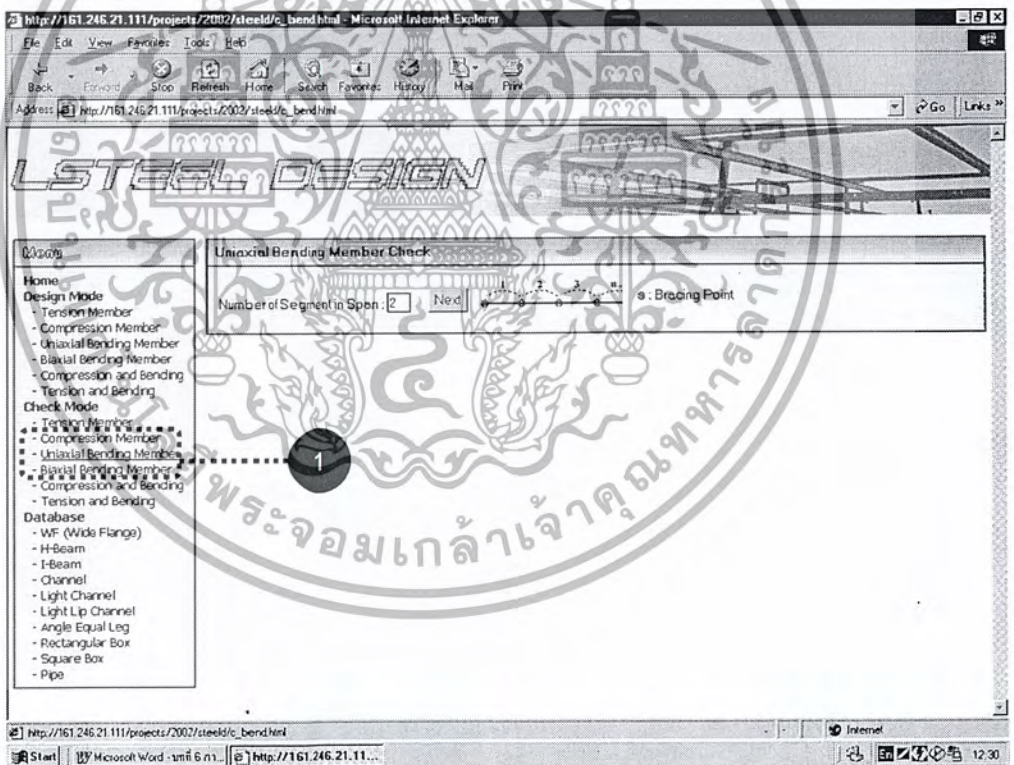
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2. การตรวจสอบ (Check Mode)

ในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าหน้าตัดที่เลือกมาสามารถรับแรงคดแกนเดียวที่ป้อนมาได้หรือไม่ โดยจะแยกการแสดงผลออกเป็นหมวด ๆ มีวิธีการใช้งานดังนี้

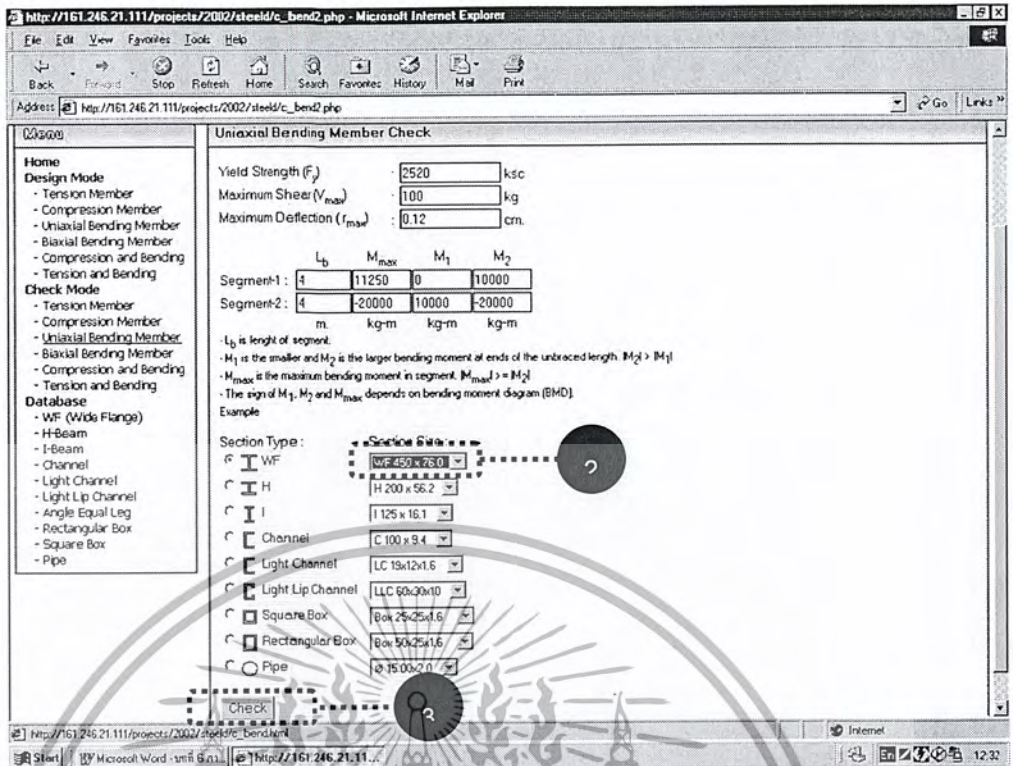
1. คลิกที่ Uniaxial Bending Members ใน Check Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงคดแกนเดียว
2. สำหรับการใส่ข้อมูล จะเหมือนกับส่วนของ Design Mode แต่ใน Check Mode นอกจากชนิดของหน้าตัดแล้ว จะต้องเลือกขนาดของหน้าตัดด้วย
3. คลิก Check เพื่อให้โปรแกรมทำการตรวจสอบกำลังรับแรงของหน้าตัด

หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณออกมา ดังรูปที่ 5.23.



รูปที่ 5.23. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงคดแกนเดียว Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงคดแกนเดียว Check Mode

5.7. การออกแบบและตรวจสอบโครงสร้างรับแรงคดสองแกน

5.7.1. การออกแบบ (Design Mode)

ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างรับแรงคดสองแกน โปรแกรมสามารถหา หน้าคดที่เหมาะสม ให้ได้ โดยจะเป็นหน้าคดที่เหมาะสมในแง่ของเศรษฐศาสตร์ด้วย กล่าวคือ ใต้ขนาดของหน้าคดที่สามารถรับแรงคดสองแกนได้ และมีน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

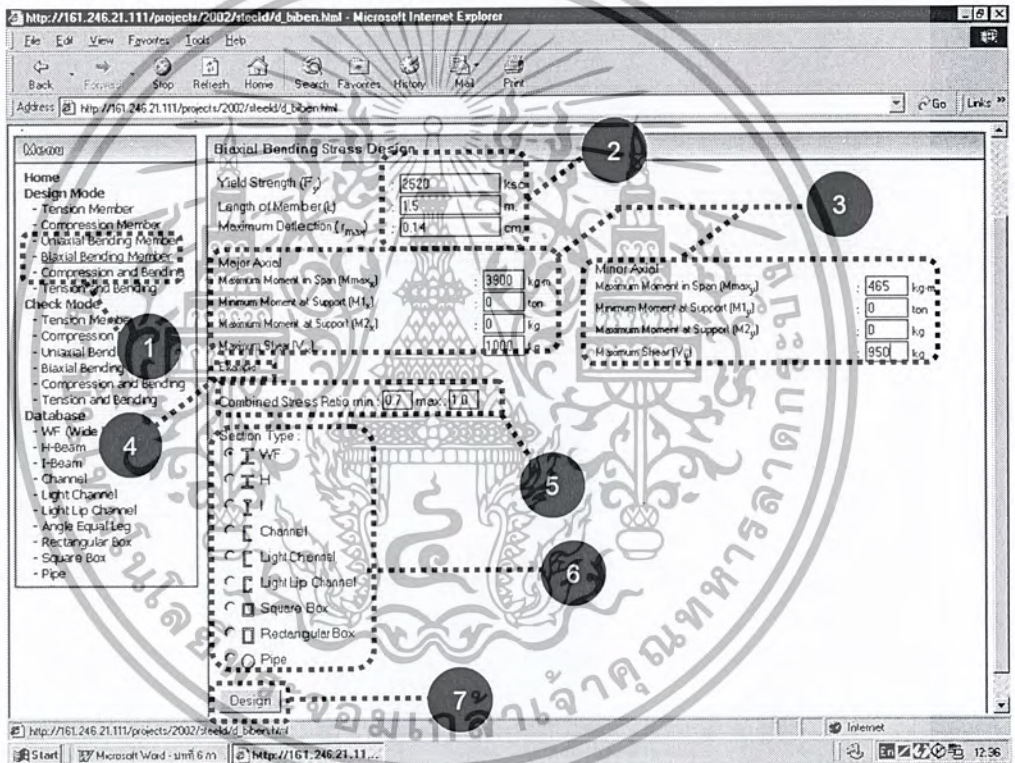
1. คลิกที่ Biaxial Bending Members ใน Design Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการออกแบบขององค์อาคารรับแรงคดสองแกน
2. ใส่จำนวนช่วงของการค้ำยัน
3. ทำการใส่ข้อมูลดังต่อไปนี้
 - กำลังที่จุดครากของเหล็ก (F_y)
 - ความยาวของโครงสร้าง (L)
 - การแอ่นตัวที่มากที่สุด (Δ_{max})

โมเมนต์ที่มากที่สุดภายในช่วงรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{max_x} , M_{max_y}) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โมเมนต์ค่าน้อยที่ปลายของจตุรกรรับรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{1x} , M_{1y})
- โมเมนต์ค่ามากที่ปลายของจตุรกรรับรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{2x} , M_{2y})
- แรงเฉือนที่มากที่สุดทางด้านแกนหลักและทางด้านแกนรอง (V_x , V_y)

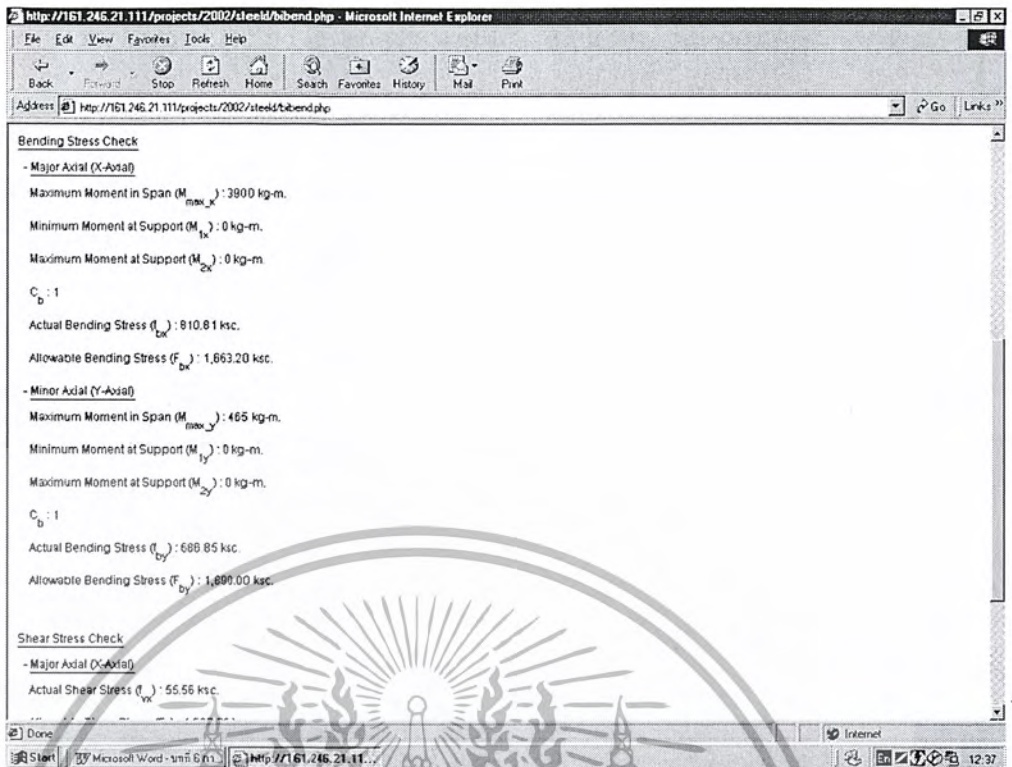
4. ในการป้อนข้อมูลสามารถดูตัวอย่างได้โดยคลิกที่ Example
5. กำหนดช่วงของ Combine Stress Ratio เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกหน้าตัดของโปรแกรม
6. เลือกชนิดของหน้าตัด
7. เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วให้คลิกที่ Design เพื่อให้โปรแกรมหาหน้าตัดที่เหมาะสมได้

หลังจากออกแบบแล้ว รายการคำนวณจะแสดงทางหน้าจอดังรูปที่ 5.25.

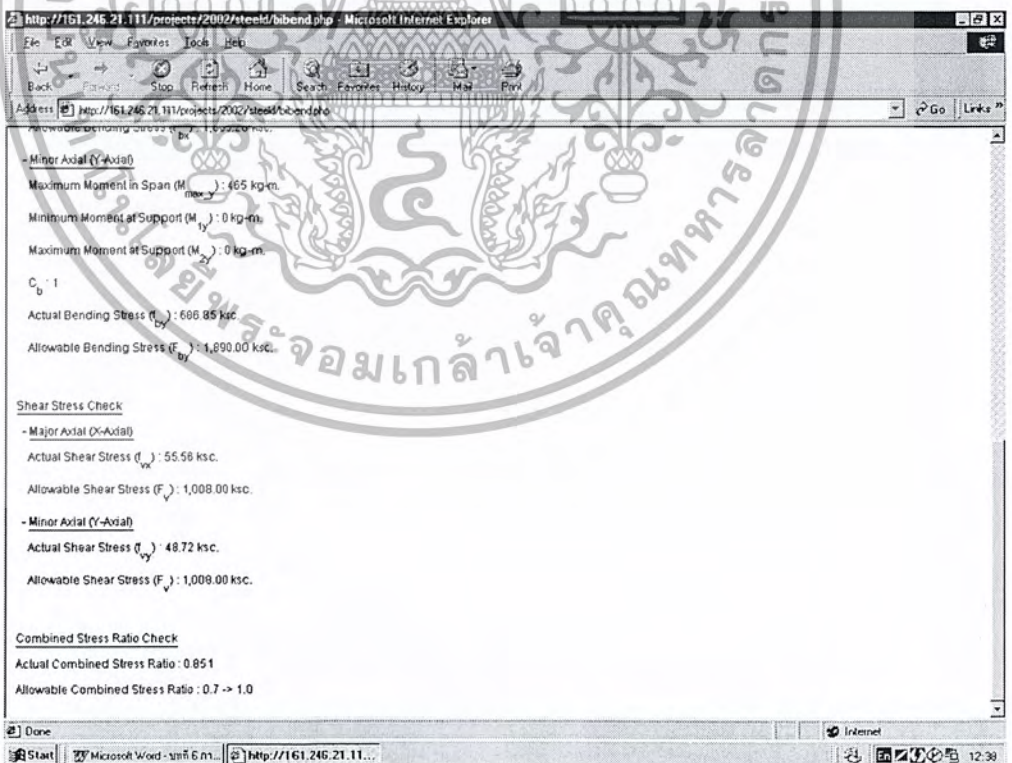


รูปที่ 5.25. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงคัดสองแกน Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงคัตสองแกน Design Mode



รูปที่ 5.27. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงคัตสองแกน Design Mode

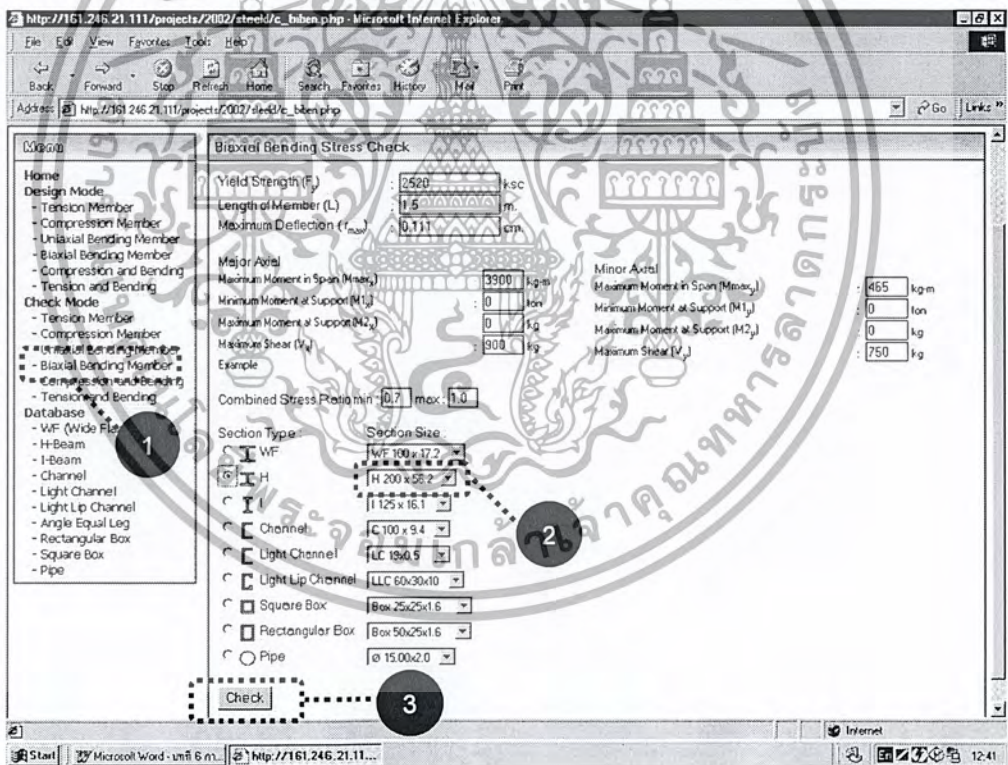
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.2. การตรวจสอบ (Check Mode)

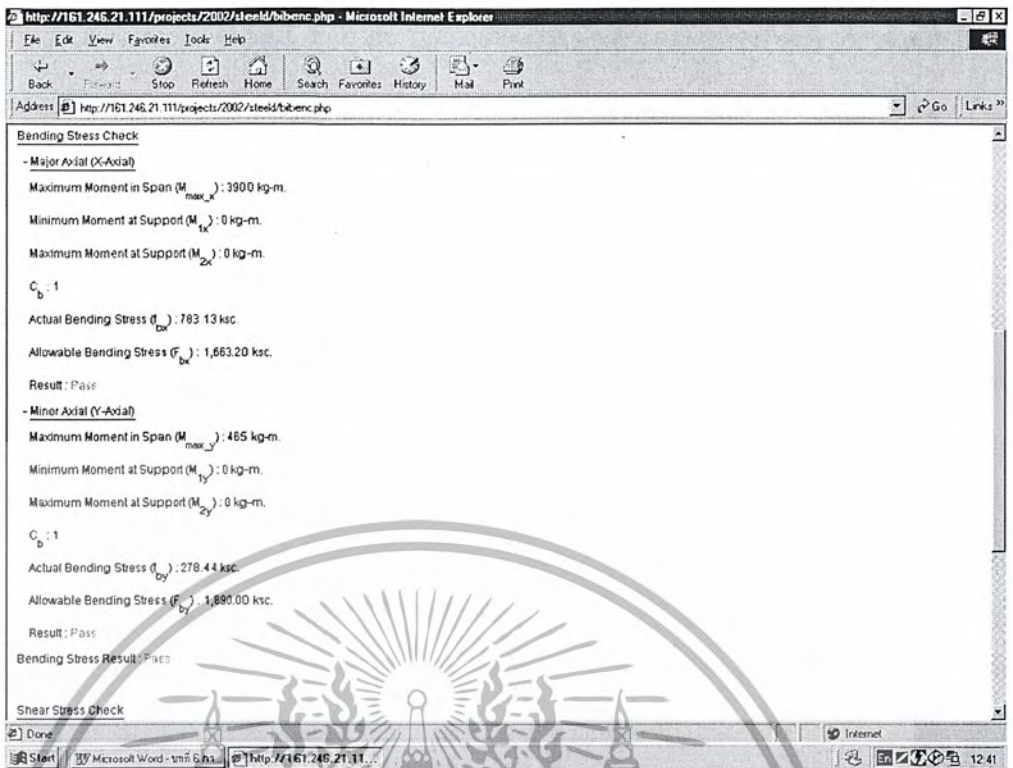
ในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าหน้าตัดที่เลือกมาสามารถรับแรงคดสองแกนที่ป้อนมาได้หรือไม่ โดยจะแยกการแสดงผลออกเป็นหมวด ๆ มีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Biaxial Bending Members ใน Check Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงคดสองแกน
2. สำหรับการใส่ข้อมูล จะเหมือนกับส่วนของ Design Mode แต่ใน Check Mode นอกจากชนิดของหน้าตัดแล้ว จะต้องเลือกขนาดของหน้าตัดด้วย
3. คลิก Check เพื่อให้โปรแกรมทำการตรวจสอบกำลังรับแรงของหน้าตัด

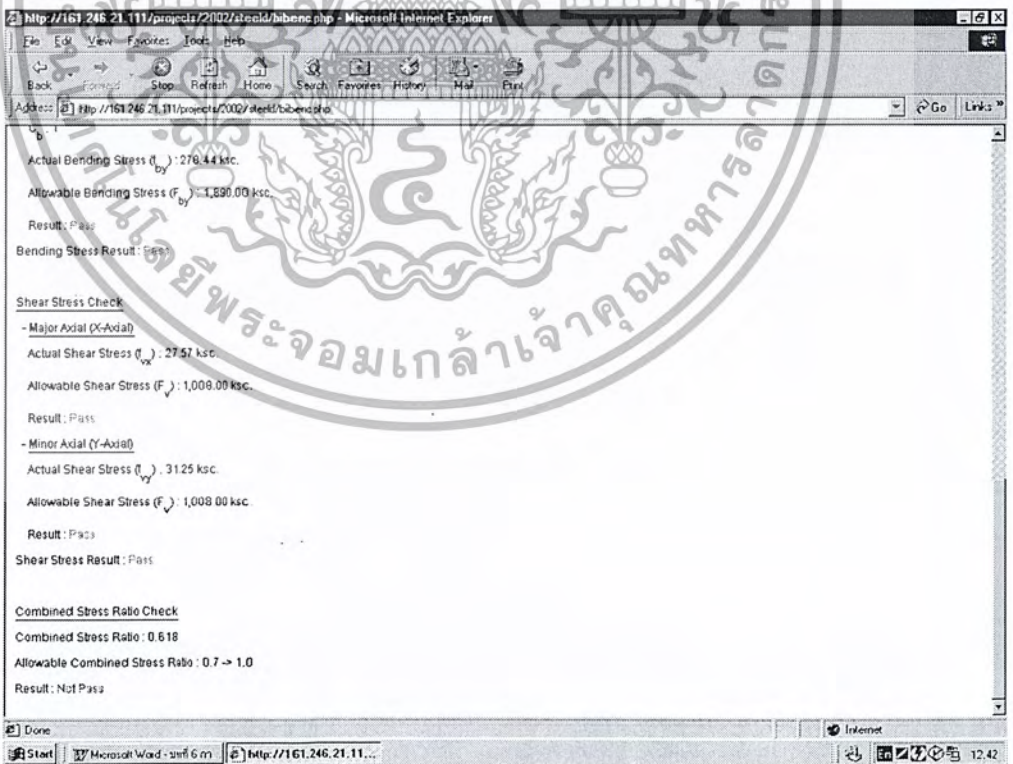
หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณออกมา ดังรูปที่ 5.28.



รูปที่ 5.28. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับค้ำอาคารรับแรงคดสองแกน Check Mode



รูปที่ 5.29. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงดัดสองแกน Check Mode



รูปที่ 5.30. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงดัดสองแกน Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8. การออกแบบและตรวจสอบโครงสร้างรับแรงอัดและค้ำคร่อมกัน

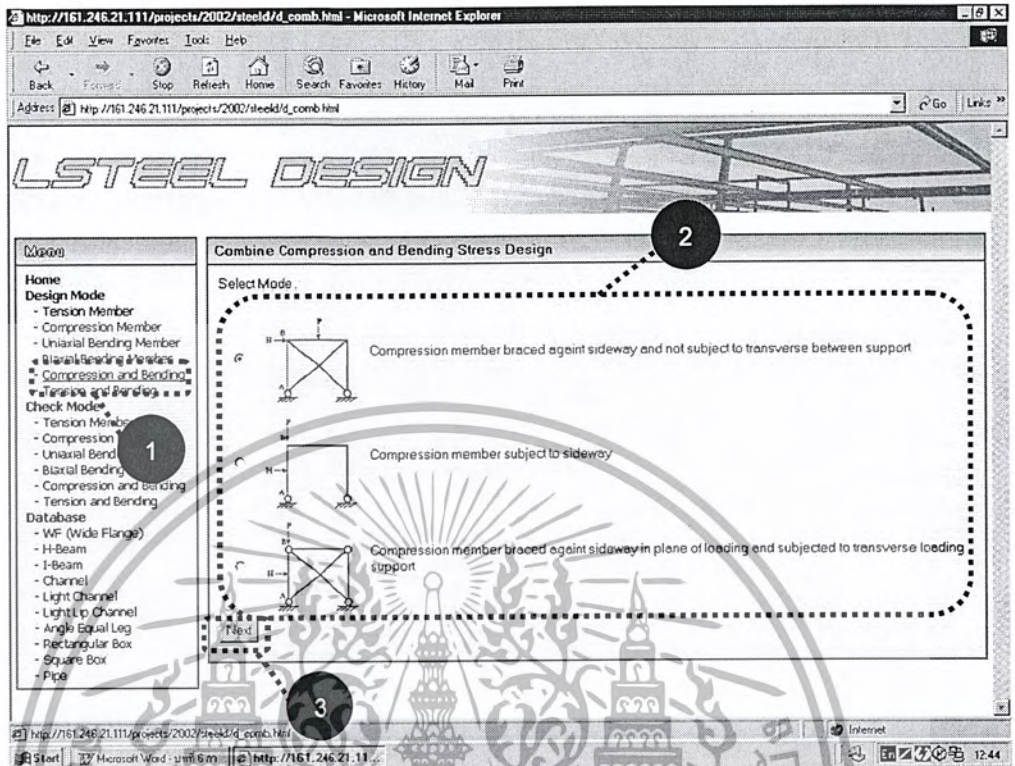
5.8.1. การออกแบบ (Design Mode)

ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างรับแรงอัดและค้ำคร่อมกัน โปรแกรมสามารถหาหน้าตัดที่เหมาะสม ให้ได้ โดยจะเป็นหน้าตัดที่เหมาะสมในแง่ของเศรษฐศาสตร์ด้วย กล่าวคือได้ขนาดของหน้าตัดที่สามารถรับแรงอัดและค้ำคร่อมกัน ได้ และมีน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Compression and Bending Members ใน Design Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการออกแบบของค้ำคร่อมรับแรงอัดและค้ำคร่อมกัน
2. เลือกลักษณะการรับแรงแบ่งเป็น
 - ชั้นส่วนที่ไม่มี การเคลื่อนของจุดปลาย และ ไม่มีแรงกระทำระหว่างช่วง
 - ชั้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ของจุดปลาย
 - ชั้นส่วนที่ไม่มี การเคลื่อนที่ของจุดปลาย และ ไม่มีแรงกระทำระหว่างช่วง
3. คลิกที่ Next จะเข้าสู่ Web Page หน้าถัดไป เพื่อกรอกข้อมูลต่อ
4. ทำการใส่ข้อมูลดังต่อไปนี้
 - กำลังที่จุดครากของเหล็ก (F_c)
 - แรงอัด (P)
 - ความยาวของ โครงสร้าง (L)
 - การแอ่นตัวที่มากที่สุด (Δ_{max})
 - โมเมนต์ที่มากที่สุดภายในช่วงรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{max_x}, M_{max_y})
 - โมเมนต์ค่าน้อยที่ปลายของจตุรกรรับรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{1x}, M_{1y})
 - โมเมนต์ค่ามากที่สุดที่ปลายของจตุรกรรับรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{2x}, M_{2y})
 - แรงเฉือนที่มากที่สุดทางด้านแกนหลักและทางด้านแกนรอง (V_x, V_y)
5. เลือกลักษณะการยึดที่ปลายของโครงสร้างทั้งทางแกนหลักและแกนรอง (K_x, K_y)
6. การยึดที่ปลายของ โครงสร้างทั้งทางแกนหลักและแกนรองสามารถดูรายละเอียดได้โดยคลิกที่ Effective Length Coefficient (K) Value และในการป้อน โมเมนต์ที่กระทำต่อ โครงสร้างสามารถดูตัวอย่างได้โดยคลิกที่ Example
7. กำหนดช่วงของ Combine Stress Ratio เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกหน้าตัดของ โปรแกรม
8. เลือกชนิดของหน้าตัด
9. เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วให้คลิกที่ Design เพื่อให้ โปรแกรมหาหน้าตัดที่เหมาะสมได้

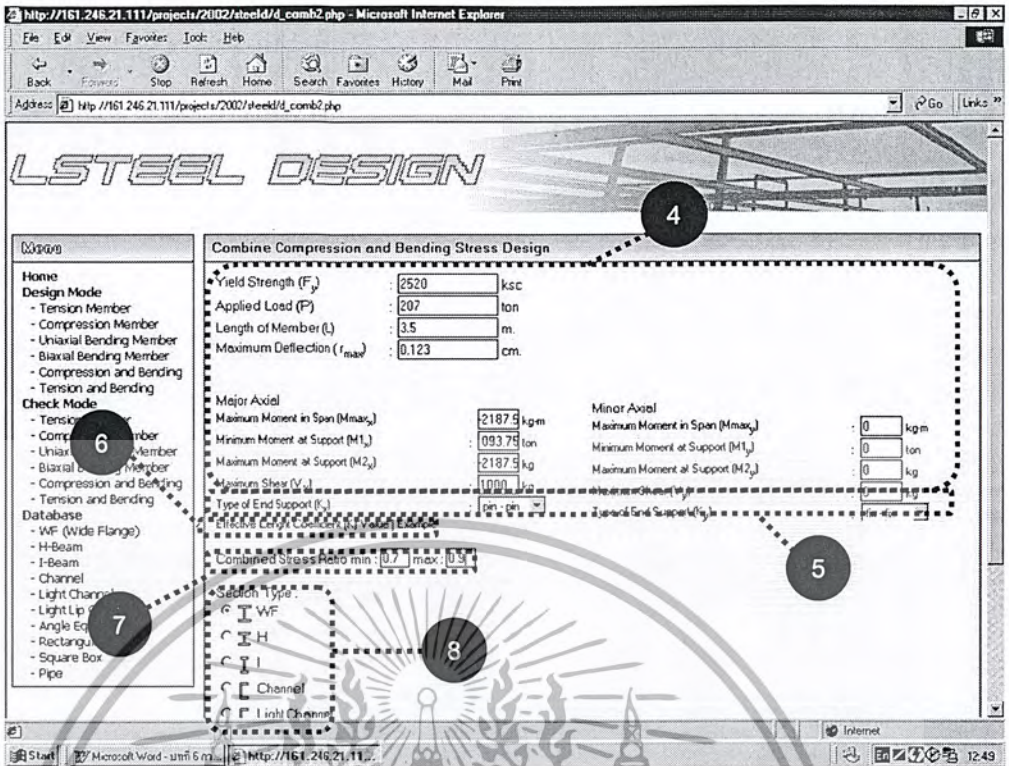
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากออกแบบแล้ว รายการคำนวณจะแสดงทางหน้าจอ ดังรูปที่ 5.31.

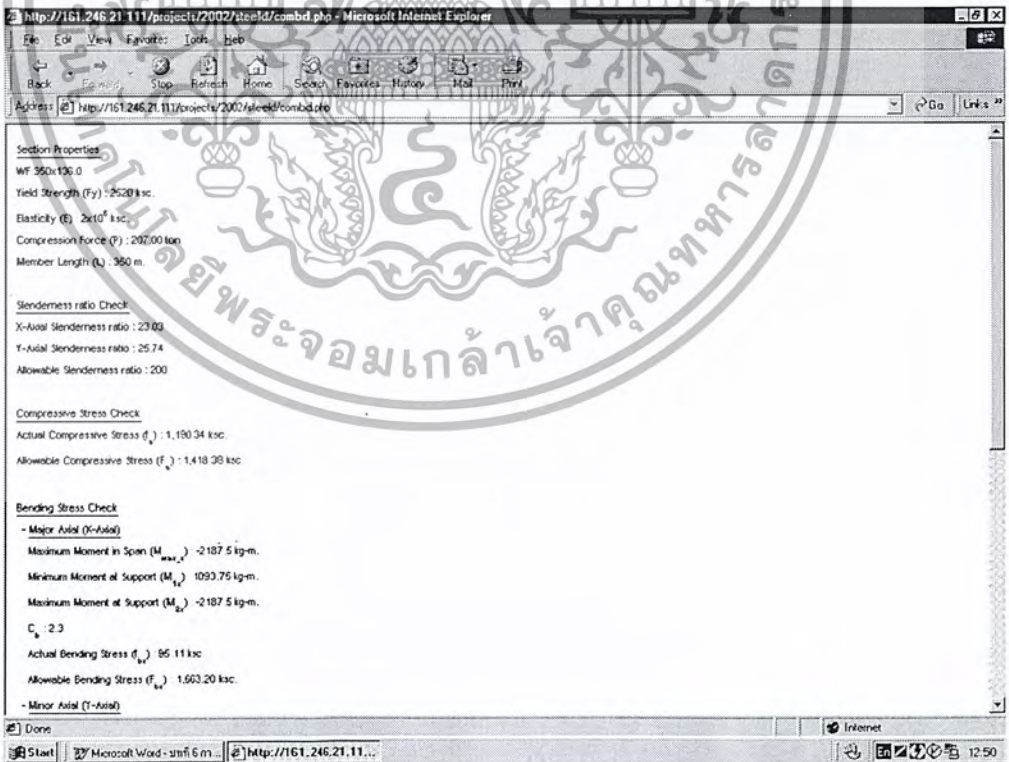


รูปที่ 5.31. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและดัดรวมกัน Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

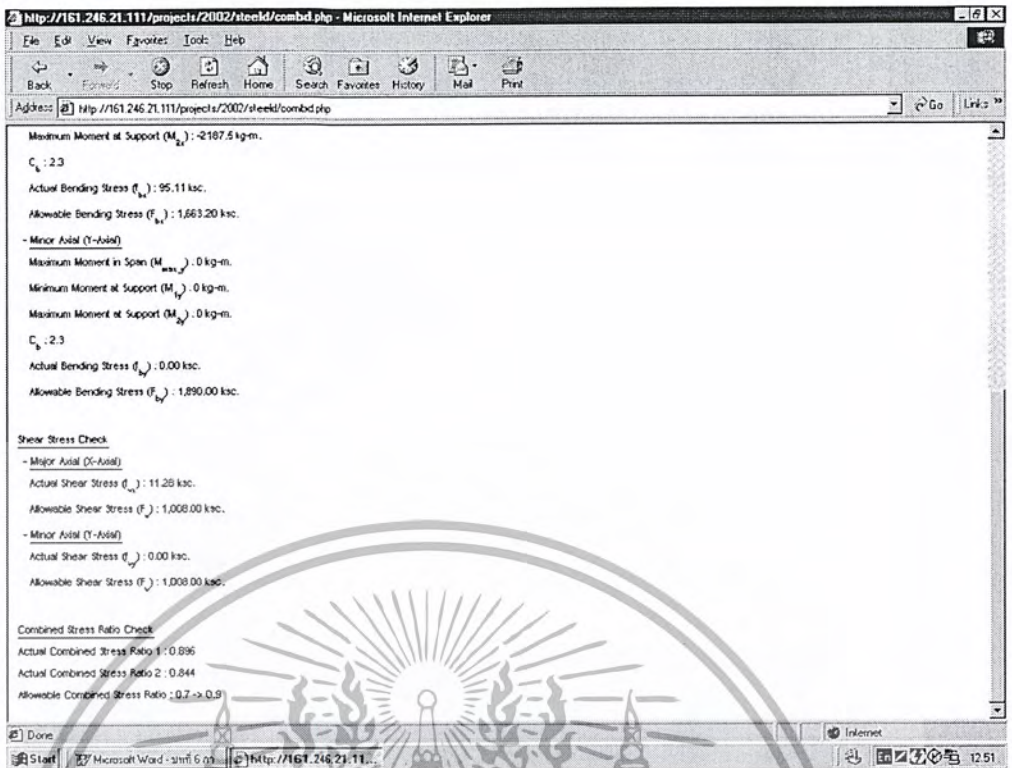


รูปที่ 5.32. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและดัดร่วมกัน Design Mode



รูปที่ 5.33. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและดัดร่วมกัน Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



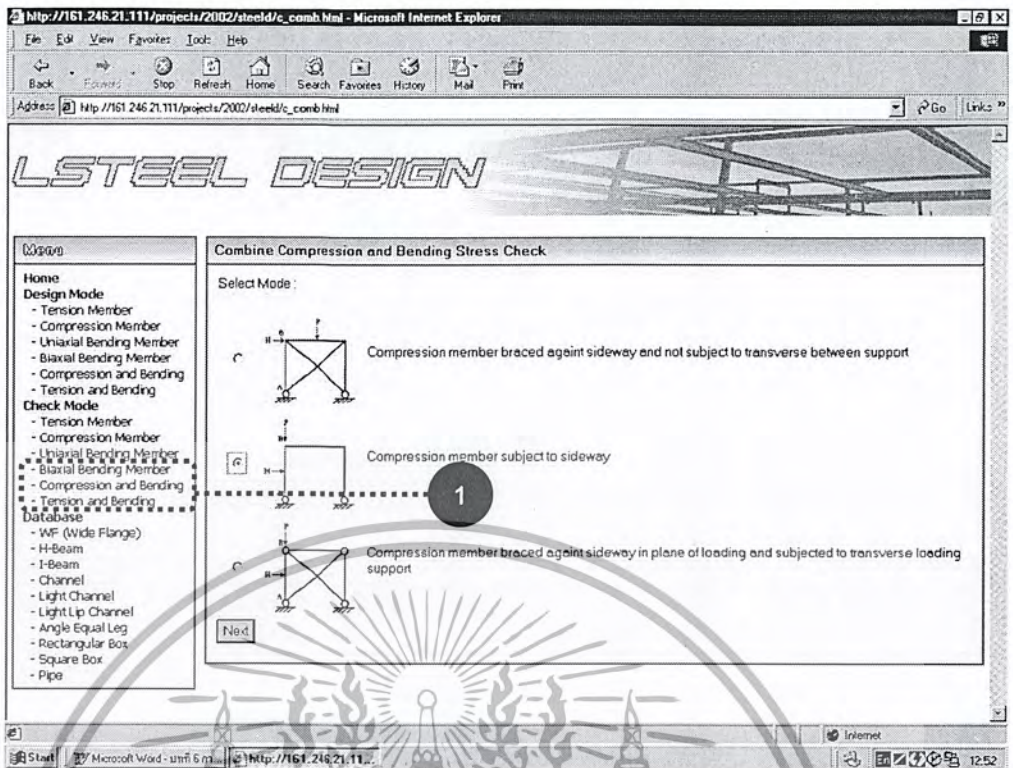
รูปที่ 5.34. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและค้ำยัน Design Mode

5.8.2. การตรวจสอบ (Check Mode)

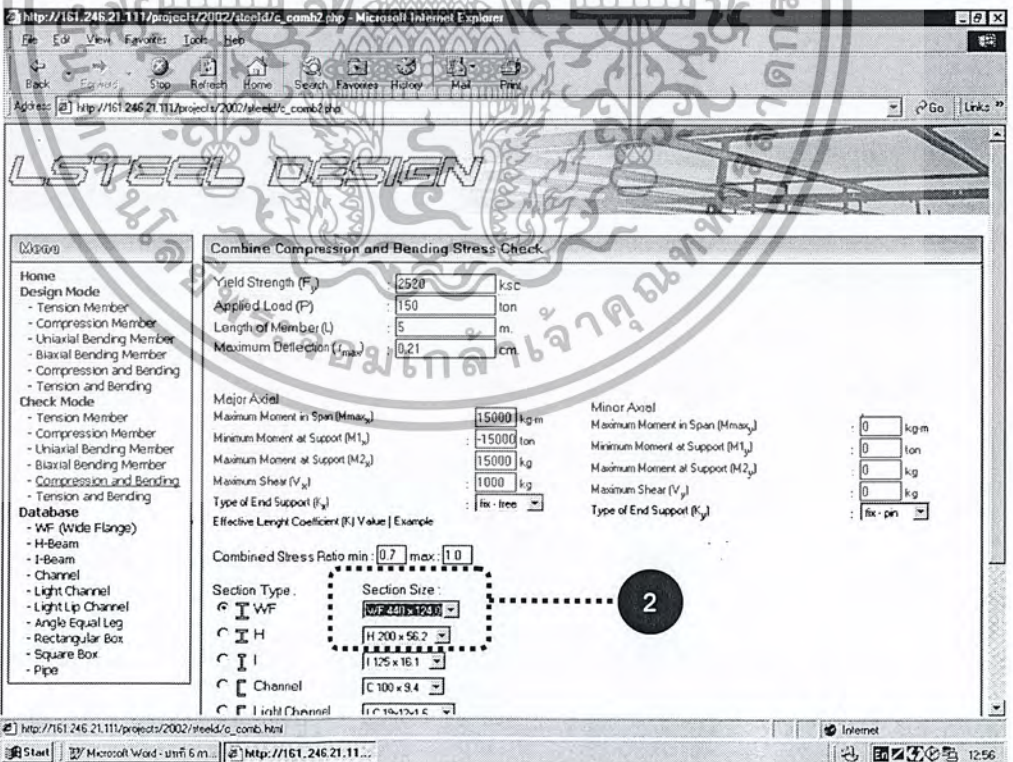
ในส่วนนี้ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าหน้าตัดที่เลือกมาสามารถรับแรงอัดและค้ำยันที่ป้อนมาได้หรือไม่ โดยจะแยกการแสดงผลออกเป็นหมวดๆ มีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Compression and Bending Members ใน Check Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัดและค้ำยัน
2. สำหรับการใส่ข้อมูล จะเหมือนกับส่วนของ Design Mode แต่ใน Check Mode นอกจากชนิดของหน้าตัดแล้ว จะต้องเลือกขนาดของหน้าตัดด้วย
3. คลิก Check เพื่อให้โปรแกรมทำการตรวจสอบกำลังรับแรงของหน้าตัด

หลังจากนั้น โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณออกมา ดังรูปที่ 5.35.

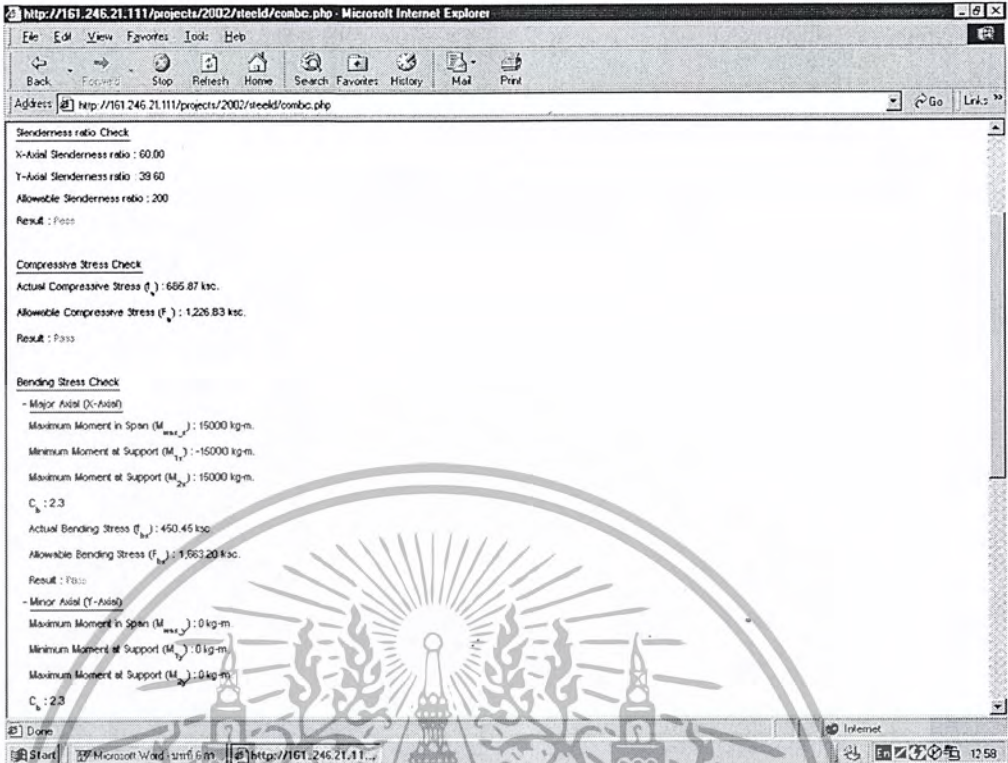


รูปที่ 5.35. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและดัดร่วมกัน Check Mode

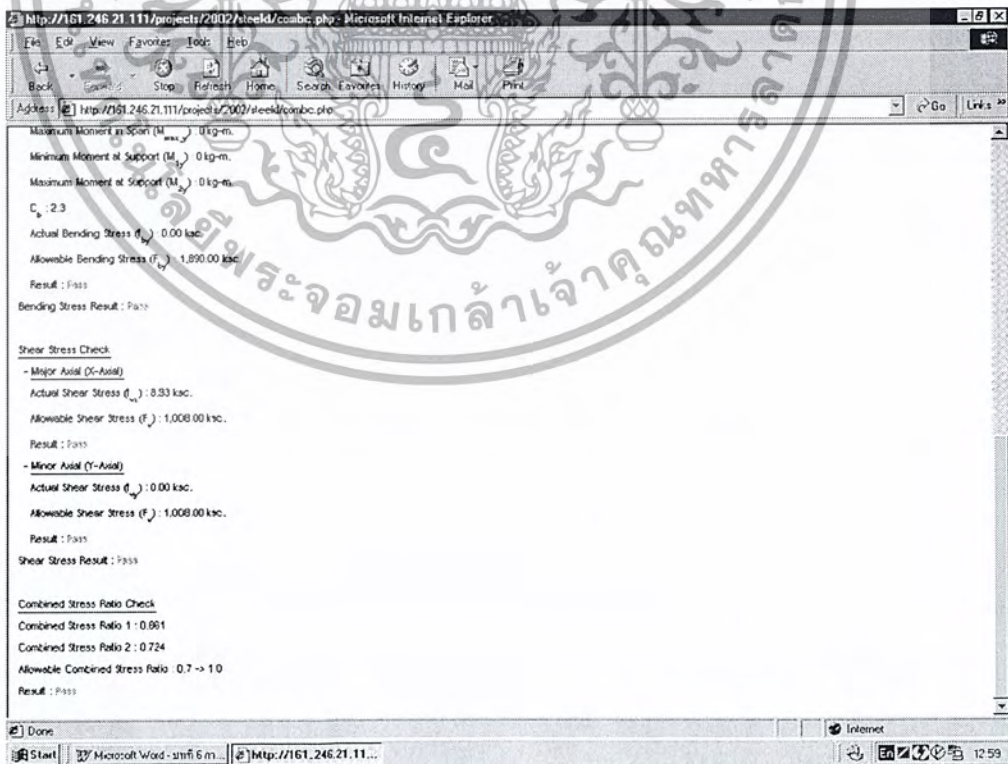


รูปที่ 5.36. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและดัดร่วมกัน Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและดัดรวมกัน Check Mode



รูปที่ 5.38. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดและดัดรวมกัน Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เห็นได้เห็นไปเชิงพาณิชย์หรือการนำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

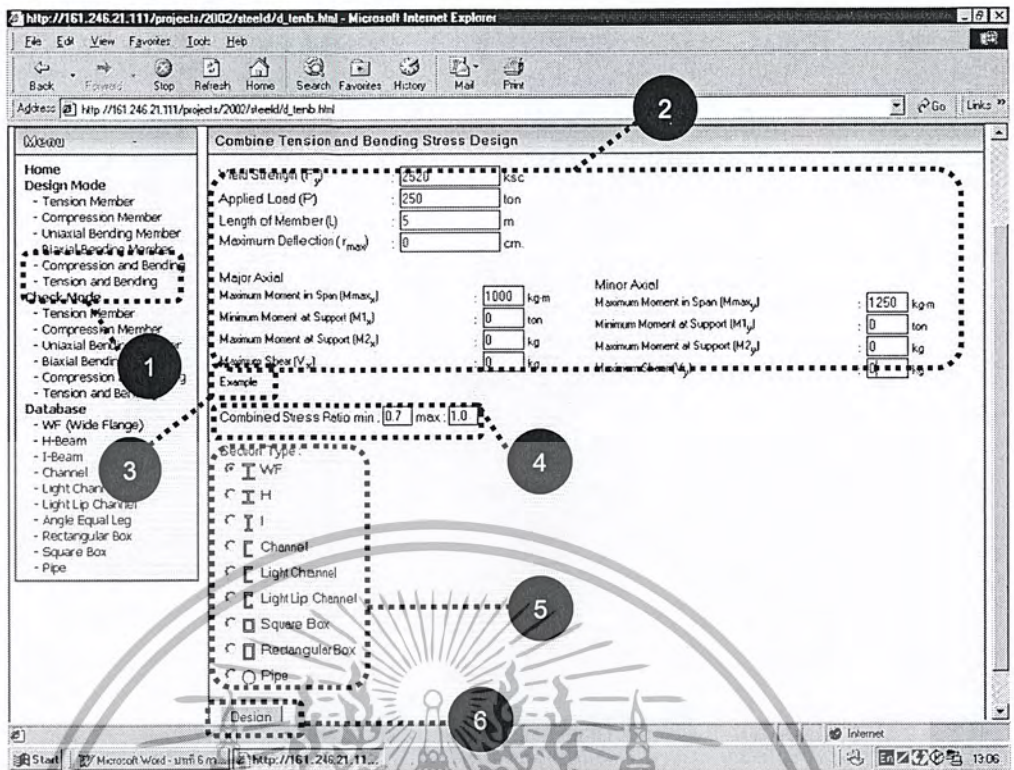
5.9. การออกแบบและตรวจสอบโครงสร้างรับแรงดึงและดัดร่วมกัน

5.9.1. การออกแบบ (Design Mode)

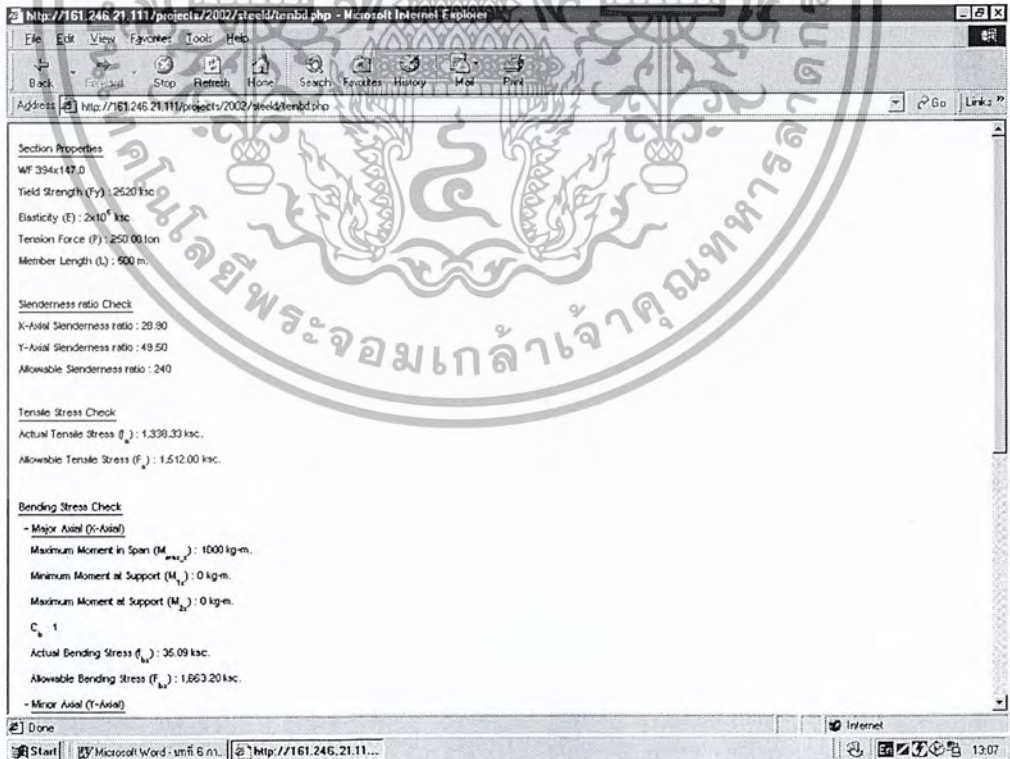
ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างรับแรงดึงและดัดร่วมกัน โปรแกรมสามารถหาหน้าตัดที่เหมาะสม ให้ได้ โดยจะเป็นหน้าตัดที่เหมาะสมในแง่ของเศรษฐศาสตร์ด้วย กล่าวคือได้ขนาดของหน้าตัดที่สามารถรับแรงดึงและดัดร่วมกัน ได้ และมีน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Tension and Bending Members ใน Design Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน
2. ทำการใส่ข้อมูลดังต่อไปนี้
 - กำลังที่จุดครากของเหล็ก (F_y)
 - แรงดึง (P)
 - ความยาวของโครงสร้าง (L)
 - การแอ่นตัวที่มากที่สุด (Δ_{max})
 - โมเมนต์ที่มากที่สุดภายในช่วงรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{max_x}, M_{max_y})
 - โมเมนต์ค่าน้อยที่ปลายของจตุรกรงรับรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{1x}, M_{1y})
 - โมเมนต์ค่ามากที่สุดที่ปลายของจตุรกรงรับรอบแกนหลักและรอบแกนรอง (M_{2x}, M_{2y})
 - แรงเฉือนที่มากที่สุดทางด้านแกนหลักและทางด้านแกนรอง (V_x, V_y)
3. ในการป้อนโมเมนต์ที่กระทำต่อโครงสร้างสามารถดูตัวอย่างได้ โดยคลิกที่ Example
4. กำหนดช่วงของ Combine Stress Ratio เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกหน้าตัดของโปรแกรม
5. เลือกชนิดของหน้าตัด
6. เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วให้คลิกที่ Design เพื่อให้โปรแกรมหาหน้าตัดที่เหมาะสมได้

หลังจากออกแบบแล้ว รายการคำนวณจะแสดงทางหน้าจอดังรูปที่ 5.39.

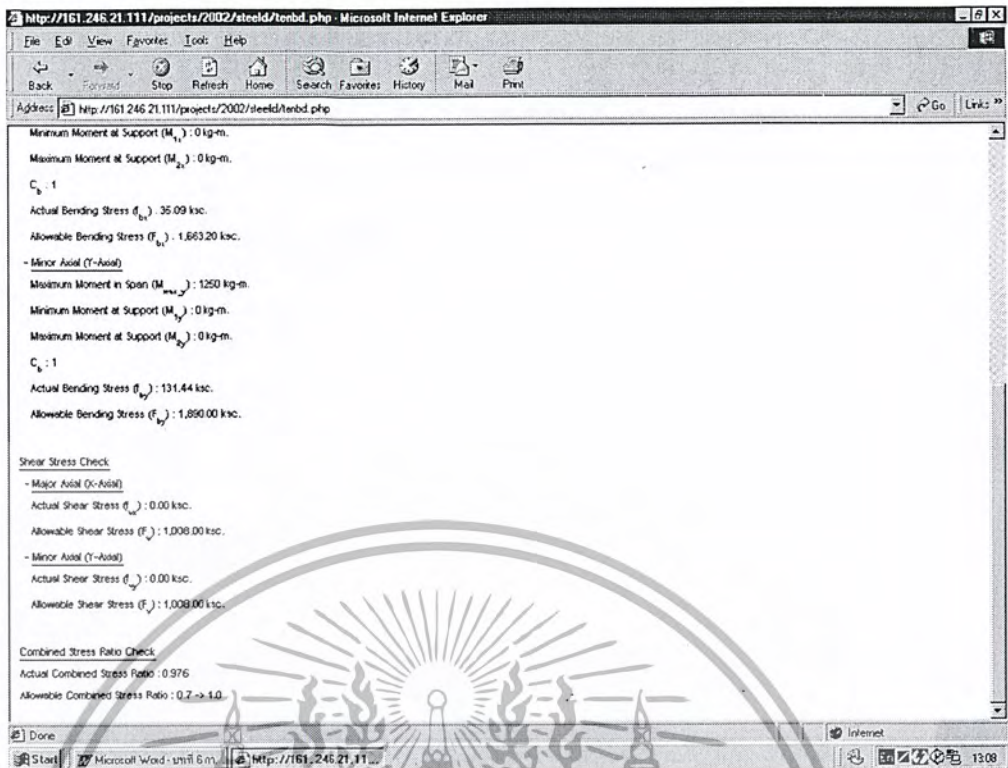


รูปที่ 5.39. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน Design Mode



รูปที่ 5.40. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน Design Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



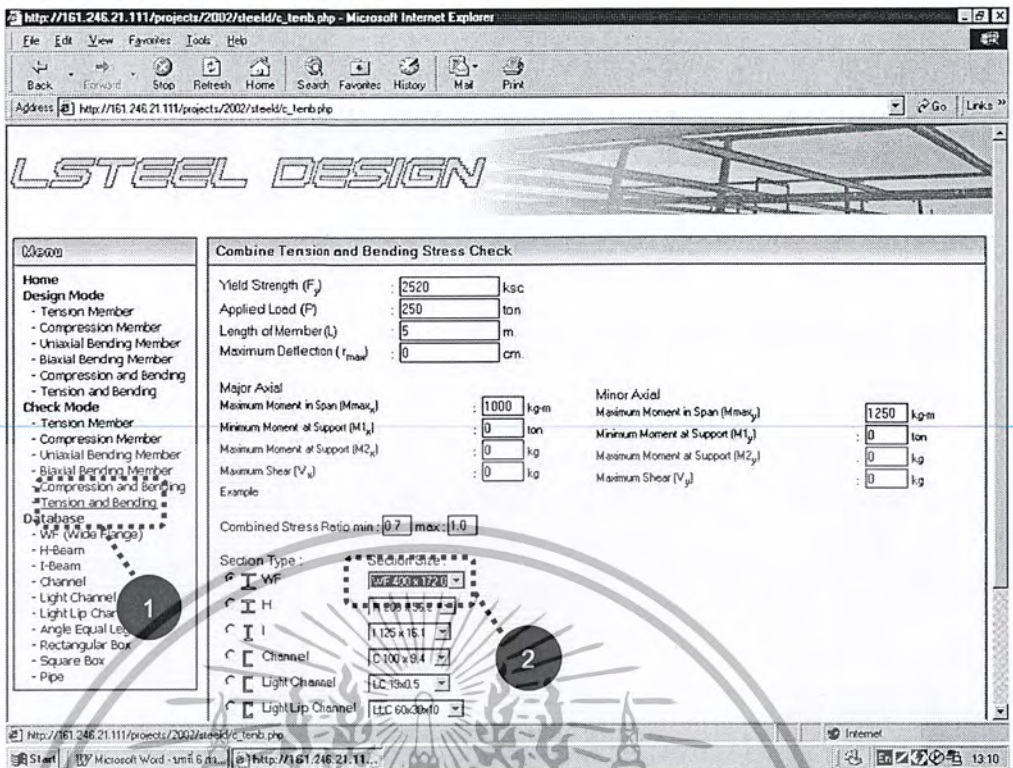
รูปที่ 5.41. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน Design Mode

5.9.2. การตรวจสอบ (Check Mode)

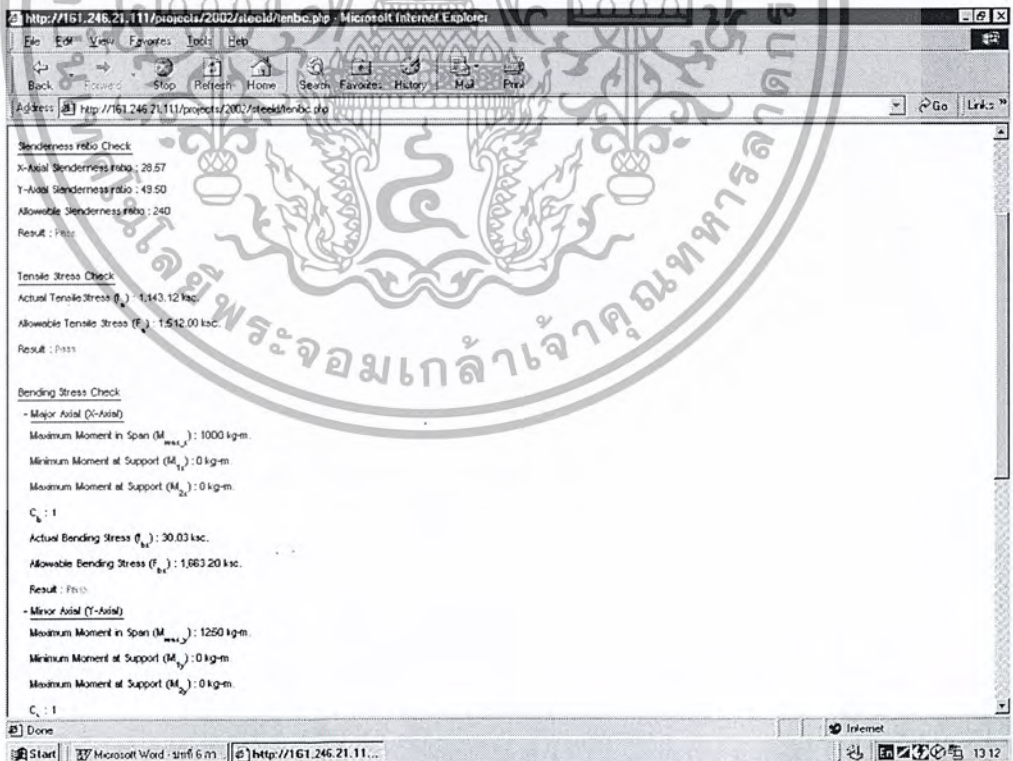
ในส่วนนี้ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าหน้าตัดที่เลือกมาสามารถรับแรงดึงและดัดร่วมกันที่ป้อนมาได้หรือไม่ โดยจะแยกการแสดงผลออกเป็นหมวด ๆ มีวิธีการใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ Tension and Bending Members ใน Check Mode ที่ Menu Box เพื่อเข้าสู่ส่วนของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน
2. สำหรับการใส่ข้อมูล จะเหมือนกับส่วนของ Design Mode แต่ใน Check Mode นอกจากชนิดของหน้าตัดแล้ว จะต้องเลือกขนาดของหน้าตัดด้วย
3. คลิก Check เพื่อให้โปรแกรมทำการตรวจสอบกำลังรับแรงของหน้าตัด

หลังจากนั้น โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณออกมา ดังรูปที่ 5.42.

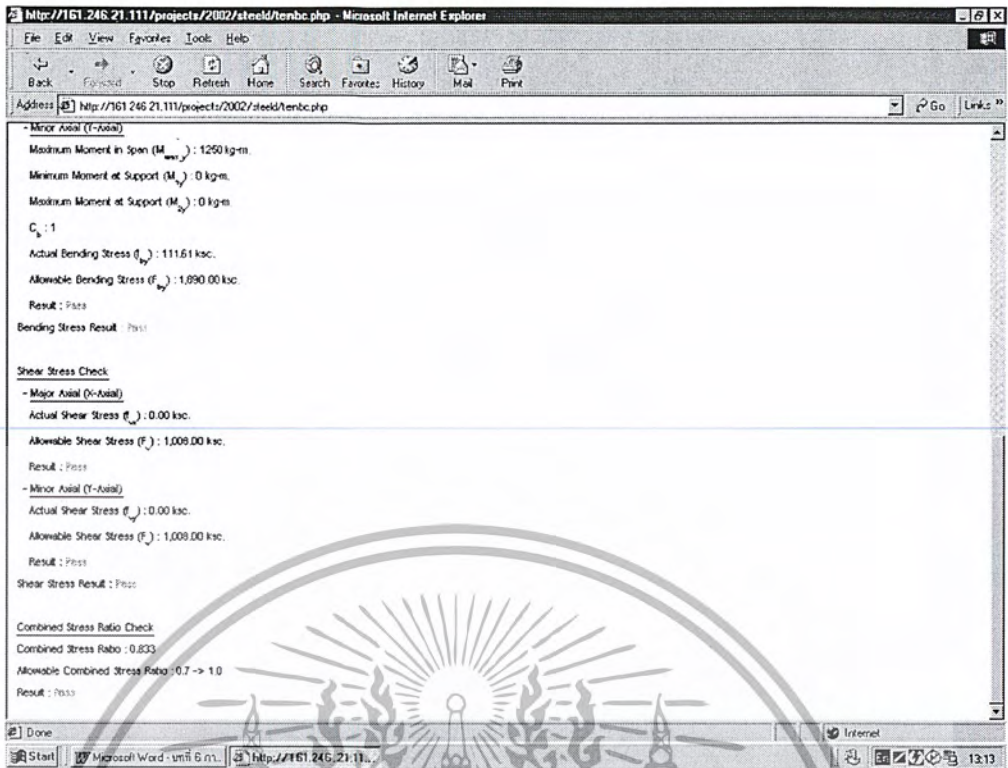


รูปที่ 5.42. แสดงการป้อนข้อมูลสำหรับองค์อาคารรับแรงดึงและค้ำคร่อมกัน Check Mode



รูปที่ 5.43. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงดึงและค้ำคร่อมกัน Check Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.44. แสดงรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารรับแรงดึงและดัดร่วมกัน Check Mode

5.10. ฐานข้อมูลหลักรูปพรรณ

ในการคำนวณออกแบบและตรวจสอบองค์อาคารหลักของโปรแกรม “LSteel Design” โปรแกรมจะดึงข้อมูลของค่าตัวแปรต่าง ๆ มาใช้ โดยผู้ใช้สามารถดูรายละเอียดได้โดยคลิกที่ ชนิดของหน้าตัดเหล็ก ใน Menu Box ที่ Database ดังแสดงในรูปที่ 5.45.

http://161.246.21.111/projects/2002/steeldb/db.php?aa=wf - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Refresh Home Search Favorites History Mail Print

Address http://161.246.21.111/projects/2002/steeldb/db.php?aa=wf

LSTEEL DESIGN

Home

Design Mode

- Tension Member
- Compression Member
- Uniaxial Bending Member
- Biaxial Bending Member
- Compression and Bending
- Tension and Bending

Check Mode

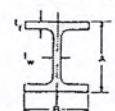
- Tension Member
- Compression Member
- Uniaxial Bending Member
- Biaxial Bending Member
- Compression and Bending
- Tension and Bending

Database

- WF (Wide Flange)
- H-Beam
- I-Beam
- Channel
- Light Channel
- Light Lip Channel
- Angle Equal Leg
- Rectangular Box
- Square Box
- Pipe

Steel Database

WIDE FLANGE SHAPES



Dimension mm				Area cm ²	Weight kg/m	Moment Inertia cm ⁴		Radius of Gyration cm		Modulus of Section cm ³	
a	b	tw	tf			I _x	I _y	r _x	r _y	S _x	S _y
100	100	6.00	8.00	21.90	17.20	383	134	4.18	2.47	76.50	26.70
125	125	6.50	9.00	30.31	23.80	847	294	5.23	3.11	136.00	47.00
150	150	7.00	10.00	40.14	31.50	1640	563	6.33	3.75	219.00	75.00
175	175	7.50	11.00	51.21	40.20	2880	984	7.43	4.35	269.00	90.90
198	198	8.00	12.00	63.53	49.90	4720	1600	8.62	5.02	472.00	160.00
248	248	8.00	13.00	84.70	66.50	9970	3350	10.80	6.29	801.00	269.00
250	250	9.00	14.00	92.18	72.40	10800	3650	10.80	6.29	867.00	292.00
298	298	9.00	14.00	110.80	87.00	16800	6240	13.00	7.51	1270.00	417.00
300	300	10.00	15.00	119.80	94.00	20400	6750	13.10	7.51	1360.00	450.00
344	344	10.00	16.00	146.00	115.00	33000	11200	15.10	8.78	1940.00	646.00
350	350	12.00	18.00	173.30	136.00	40300	13600	16.20	8.84	2300.00	776.00
394	394	11.00	18.00	186.80	147.00	56100	18900	17.30	10.10	2850.00	951.00
400	400	13.00	21.00	218.70	172.00	66600	22400	17.50	10.10	3330.00	1120.00
100	50	4.00	6.00	9.94	7.80	163	12	4.05	1.13	32.60	5.04
100	50	5.00	7.00	11.85	9.30	187	14	3.98	1.12	37.50	5.91
125	60	4.50	6.50	13.39	10.50	343	23	5.06	1.33	54.90	7.88
125	60	6.00	8.00	16.84	13.20	413	28	4.95	1.32	66.10	9.73

http://161.246.21.111/projects/2002/steeldb/db.php?aa=wf

Internet

รูปที่ 5.45. แสดงฐานข้อมูลของเหล็กรูปพรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบผลการทำงานของโปรแกรม

6.1. กล่าวนำ

ก่อนที่โปรแกรมจะสามารถนำไปใช้ได้ นั้น จะต้องมี การทดสอบเพื่อตรวจสอบดูว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ทั้งด้านการคำนวณ และแสดงผลทางหน้าจอ ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยใช้โจทย์ตัวอย่างจากบทเรียนในหนังสือ และคิด โจทย์ขึ้นมาเอง โดยจะทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยตนเองและผลการคำนวณ โดยโปรแกรมได้ผลดังนี้

6.2. องค์อาคารรับแรงดึง

6.2.1. การออกแบบ

6.2.1.1. การออกแบบของอาคารรับแรงดึงด้วยตนเอง

Input

- $P = 15 \text{ ton}$
- $F_y = 2500 \text{ ksc}$
- $L = 3 \text{ m}$
- $F_u = 4050 \text{ ksc}$
- $U = 0.85$

ลองเลือกหน้าตัดขนาด WF125x10.5 ($A=13.39 \text{ cm}^2$ $r_{\min} = 1.33 \text{ cm}$)

$$(F_t)_g = 0.6F_y = 1500 \text{ ksc}$$

$$(F_t)_c = 0.5F_u = 2025 \text{ ksc}$$

$$(f_t)_g = \frac{P}{A} = \frac{15000}{13.39} = 1120.23 \text{ ksc} < (F_t)_g \quad \text{ผ่าน}$$

$$(f_t)_c = \frac{P}{UA} = \frac{15000}{0.85 \times 13.39} = 1317.92 \text{ ksc} < (F_t)_c \quad \text{ผ่าน}$$

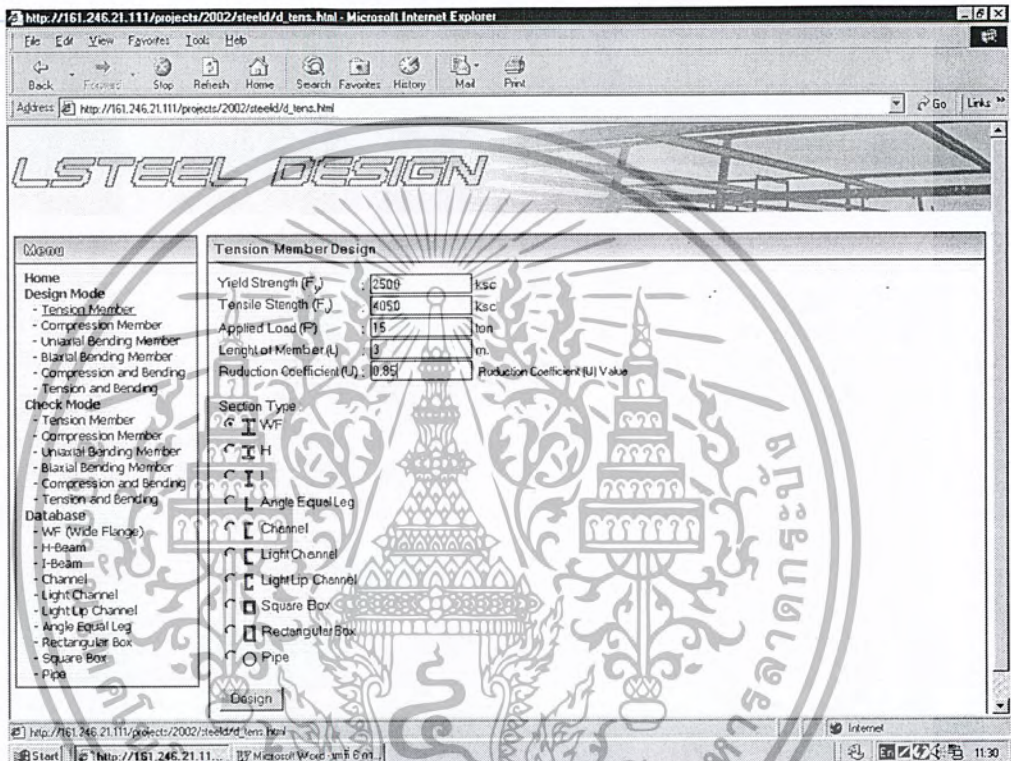
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{L}{r_{\min}} = \frac{300}{1.33} = 225.56 < 240$$

ผ่าน

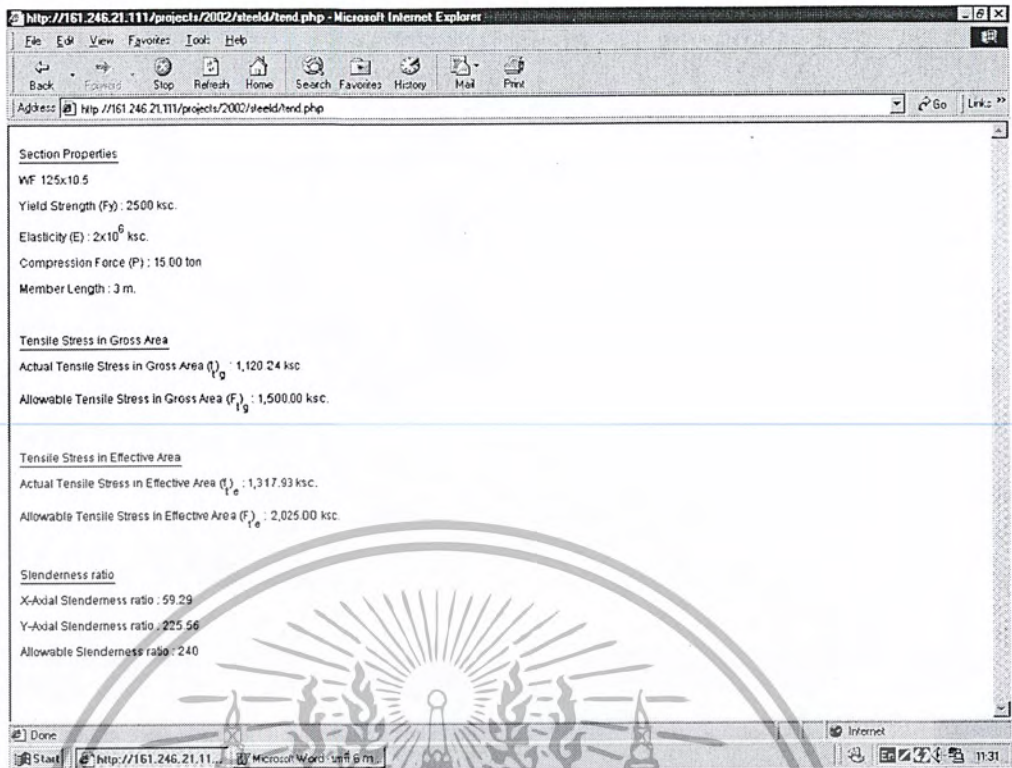
∴ ใช้หน้าตัดขนาด WF125x10.5

6.2.1.2. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงโดยโปรแกรม “LSteel Design”



รูปที่ 6.1. แสดงกรป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2. แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ำการรับแรงดึง

6.2.2. การตรวจสอบ

6.2.2.1. การตรวจสอบของค้ำการรับแรงดึงด้วยตนเอง

Input

- P = 15 ton
- $F_y = 2500 \text{ ksc}$
- L = 3 m
- $F_u = 4050 \text{ ksc}$
- U = 0.85

หน้าตัดขนาด WF100x9.3 ($A=11.85 \text{ cm}^2$ $r_{\min} = 1.12 \text{ cm}$)

$$(F)_g = 0.6F_y = 1500 \text{ ksc}$$

$$(F)_c = 0.5F_u = 2025 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

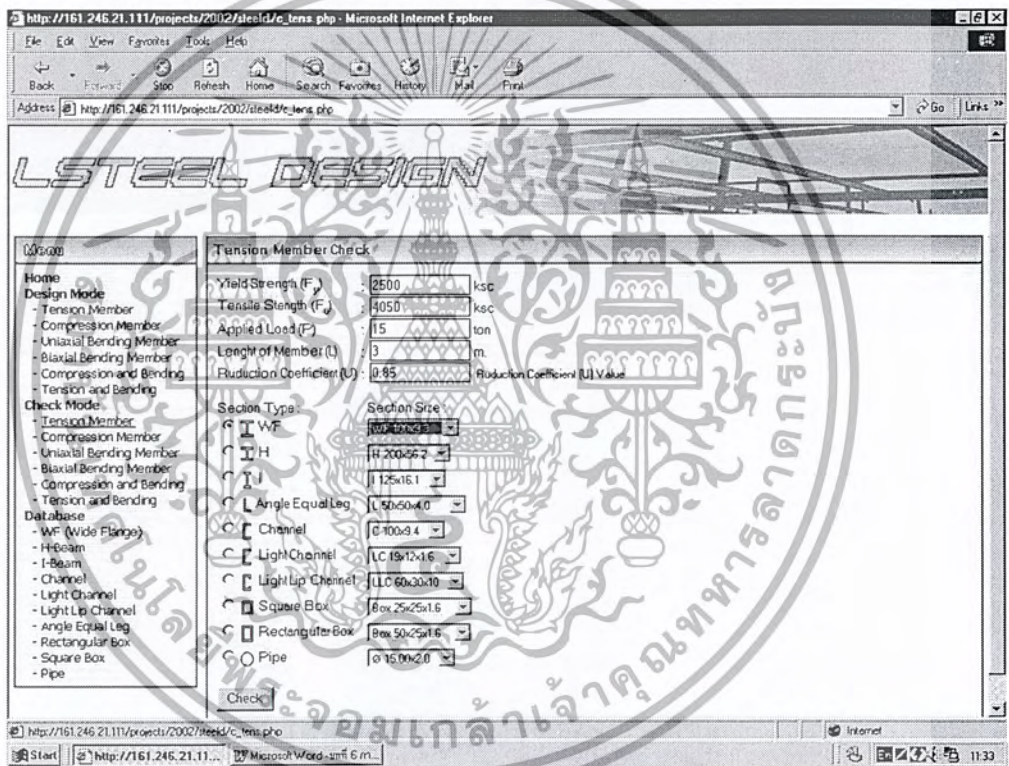
$$(f)_g = \frac{P}{A} = \frac{15000}{11.85} = 1265.8 \text{ ksc} < (F_t)_g \quad \text{ผ่าน}$$

$$(f)_c = \frac{P}{UA} = \frac{15000}{0.85 \times 11.85} = 1489.2 \text{ ksc} < (F_t)_c \quad \text{ผ่าน}$$

$$\frac{L}{r_{\min}} = \frac{300}{1.12} = 267.9 > 240 \quad \text{ไม่ผ่าน}$$

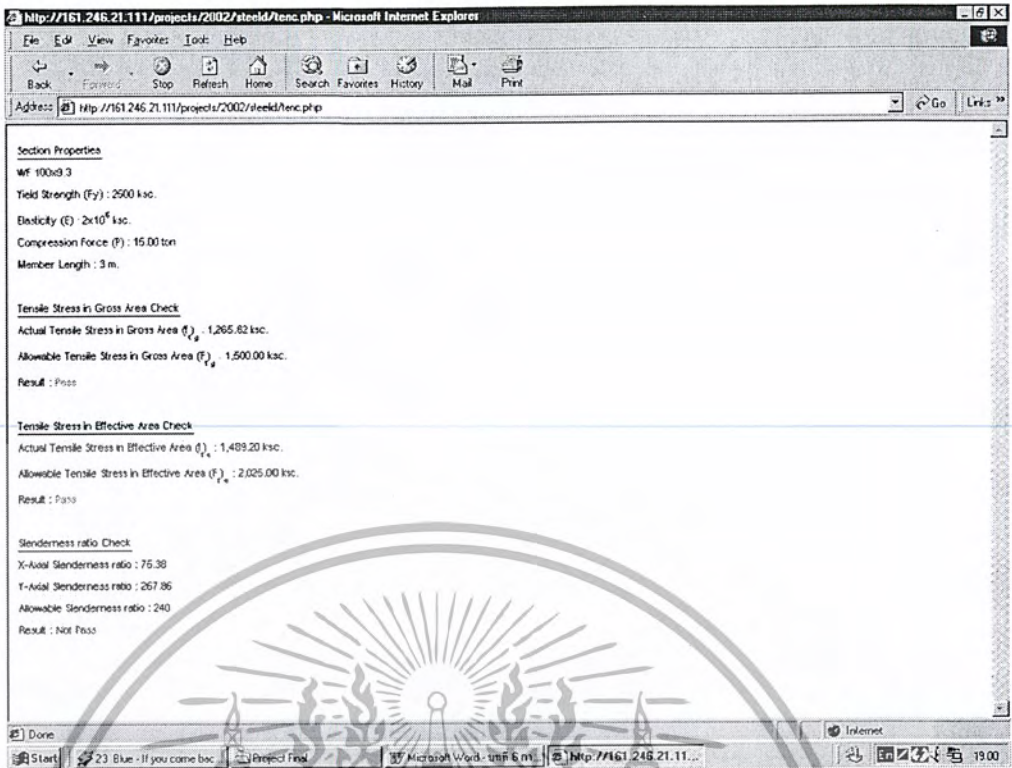
∴ ใช้หน้าตัดขนาด WF100x9.3 ไม่ได้

6.2.2.2. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึงโดยโปรแกรม “LSteel Design”



รูปที่ 6.3. แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึง

6.3. องค์อาคารรับแรงอัด

6.3.1. การออกแบบ

6.3.1.1. การออกแบบอาคารรับแรงอัดด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$
- $P = 250 \text{ ton}$
- $L_x = L_y = 5 \text{ m}$
- $K_x = K_y = 0.65 \text{ Fix-Fix}$

สมมติ P/A ที่ยอมให้ = 1365 ksc

$$A_{req} = 250 \times 100 / 1365 = 183.2 \text{ cm}^2$$

ลองเลือก WF394x147 ($A = 186.8 \text{ cm}^2, r_{min} = 10.1 \text{ cm}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_c = \sqrt{\frac{2(3.14^2)(2.1 \times 10^6)}{2520}} = 128.2$$

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{(0.65)(5 \times 100)}{10.1} = 32.2 < C_c$$

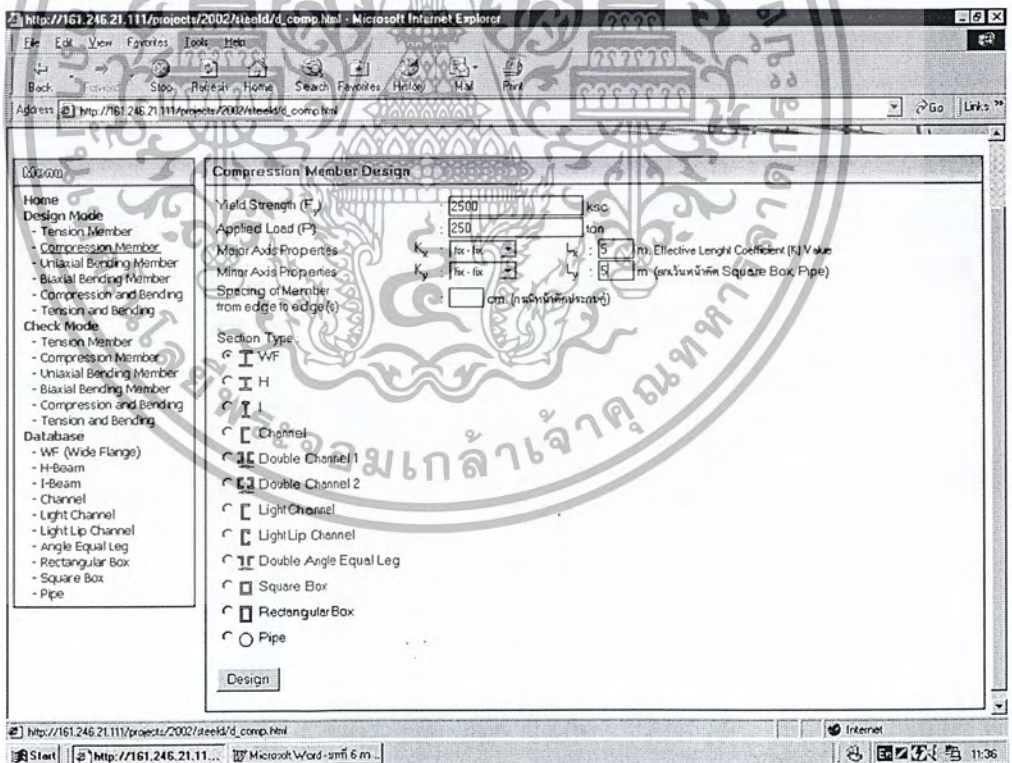
$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^3 = 1.76 \text{ ksc}$$

$$F_a = \frac{F_y}{F.S.} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2 \right] = \frac{2444}{1.76} = 1389 \text{ ksc}$$

$$\text{หน้าตัดรับน้ำหนักได้} = \frac{1389}{1000} \times 186.8 = 259 > 250 \text{ ton}$$

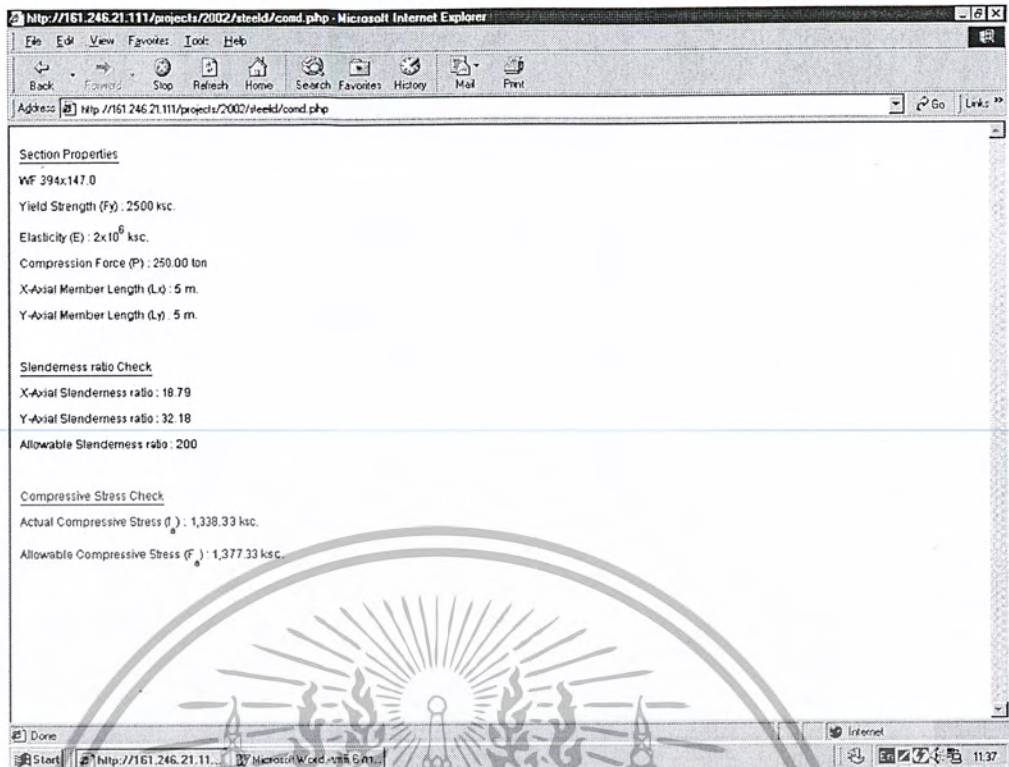
∴ ใช้หน้าตัด WF394x147

6.3.1.2. การออกแบบอาคารรับแรงอัดโดยโปรแกรม “LSteel Design”



รูปที่ 6.5. แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6. แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัด

6.3.2. การตรวจสอบ

6.3.2.1. การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$
- $P = 200 \text{ ton}$
- $L_x = 10 \text{ m.}$
- $L_y = 6 \text{ m.}$
- $K_x = K_y = 1.00 \text{ Pin-Pin}$

เลือก WF350x136 ($A = 173.9 \text{ cm}^2$, $r_x = 15.2 \text{ cm}$, $r_y = 8.84 \text{ cm}$)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{1 \times (10 \times 100)}{15.2} = 65.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{1 \times (6 \times 100)}{8.84} = 67.9$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2(3.14^2)(2.1 \times 10^6)}{2520}} = 128.2$$

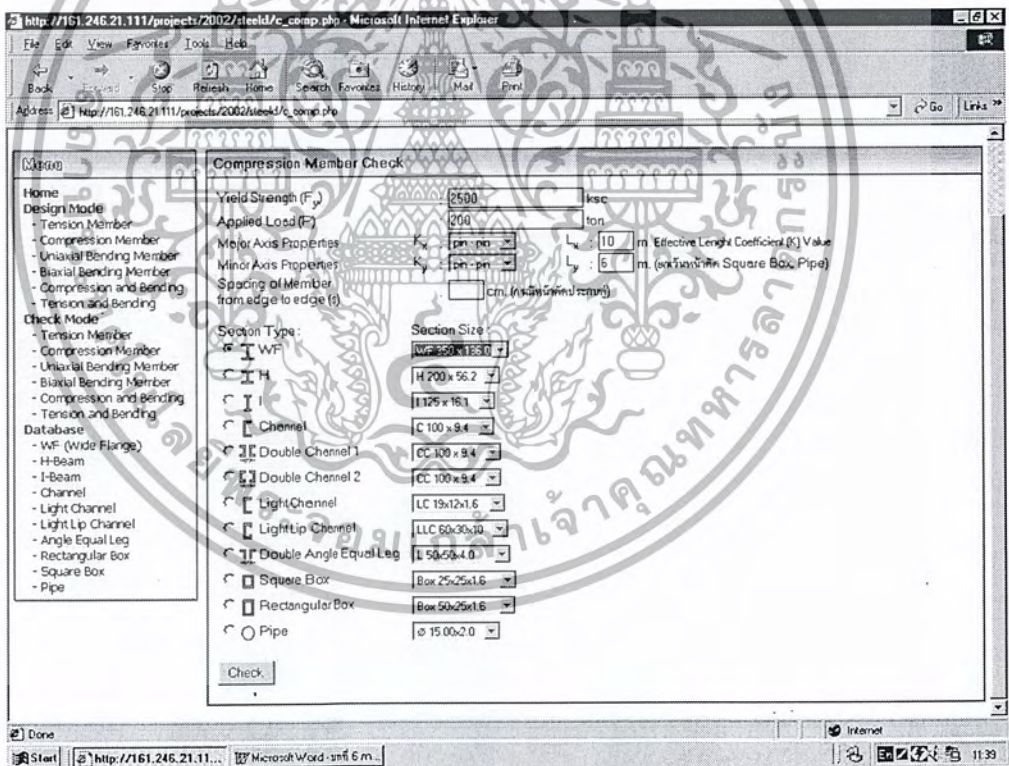
$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^3 = 1.85 \text{ ksc}$$

$$F_a = \frac{F_y}{F.S.} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{KL/r}{C_c}\right)^2 \right] = \frac{2167.4}{1.85} = 1171.5 \text{ ksc}$$

$$\text{หน้าตัดรับน้ำหนักได้} = \frac{1171.5}{1000} \times 173.9 = 203.7 > 200 \text{ ton}$$

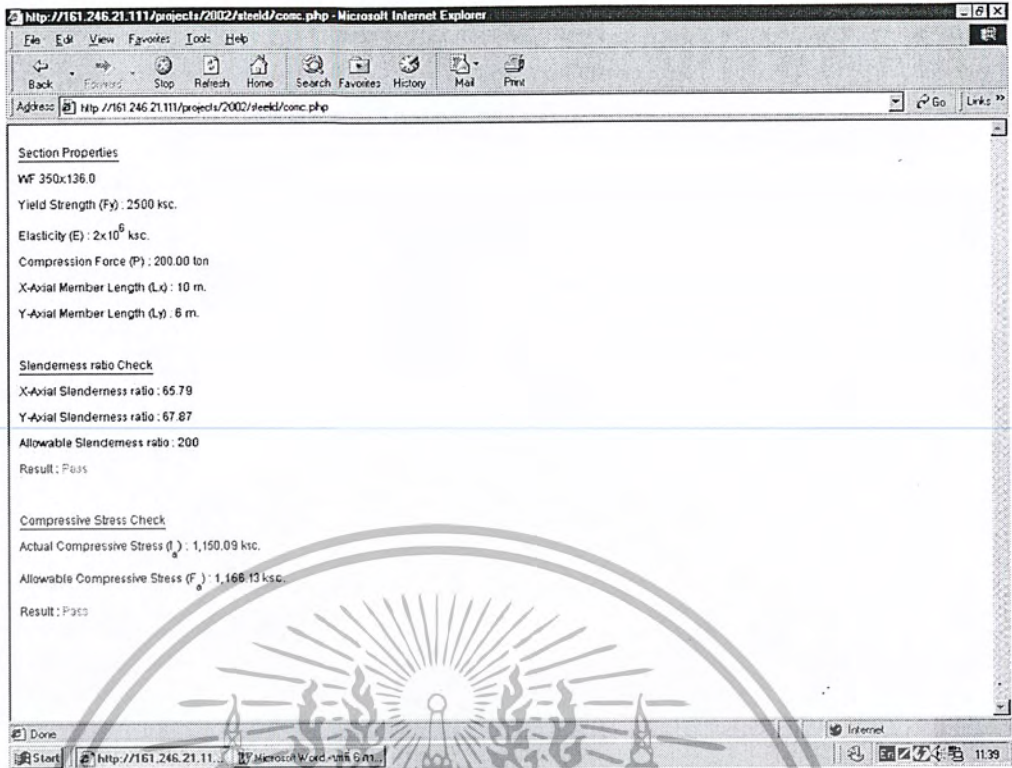
∴ ใช้หน้าตัด WF350x136 ได้

6.3.2.2. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัดโดยโปรแกรม “LSteel Design”



รูปที่ 6.7. แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงอัด

6.4. องค์อาคารรับแรงอัดคดแกนเดียว

6.4.1. การออกแบบ

6.4.1.1. การออกแบบขององค์อาคารรับแรงอัดคดแกนเดียวด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$
- $M_{\max} = 6368.75 \text{ kg-m}$
- $M_1 = M_2 = 0 \text{ kg-m}$
- $V_{\max} = 6575 \text{ kg}$.
- $L_b = 3 \text{ m}$.

สมมติ $F_b = 1400 \text{ ksc}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{req} = \frac{6368.75 \times 100}{1400} = 455 \text{ cm}^3$$

เลือก WF300x36.7 (S = 481 cm³)

$$A_f + \frac{1}{6} A_w = (15)(0.9) + \left(\frac{1}{3}\right) \left(\frac{28.2}{2}\right) (0.65) = 16.55 \text{ cm}^2$$

$$r_T = \sqrt{\frac{(508/2)}{16.55}} = 3.92 \text{ cm.}$$

$$\sqrt{\frac{707 \times 10^4 \times 1}{2520}} = 53 < \frac{L}{r_T} = 76.53 < \sqrt{\frac{3585 \times 10^4 \times 1}{2520}} = 119$$

$$\therefore F_{bx1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{(2520)(76.53)^2}{10756 \times 10^4 \times 1} \right] (2520) = 1334 \text{ ksc}$$

$$F_{bx2} = \frac{843600 \times 1}{(300 \times 30) / (15 \times 0.9)} = 1265 \text{ ksc}$$

$$F_{bx} = 1334 < 0.6 F_y$$

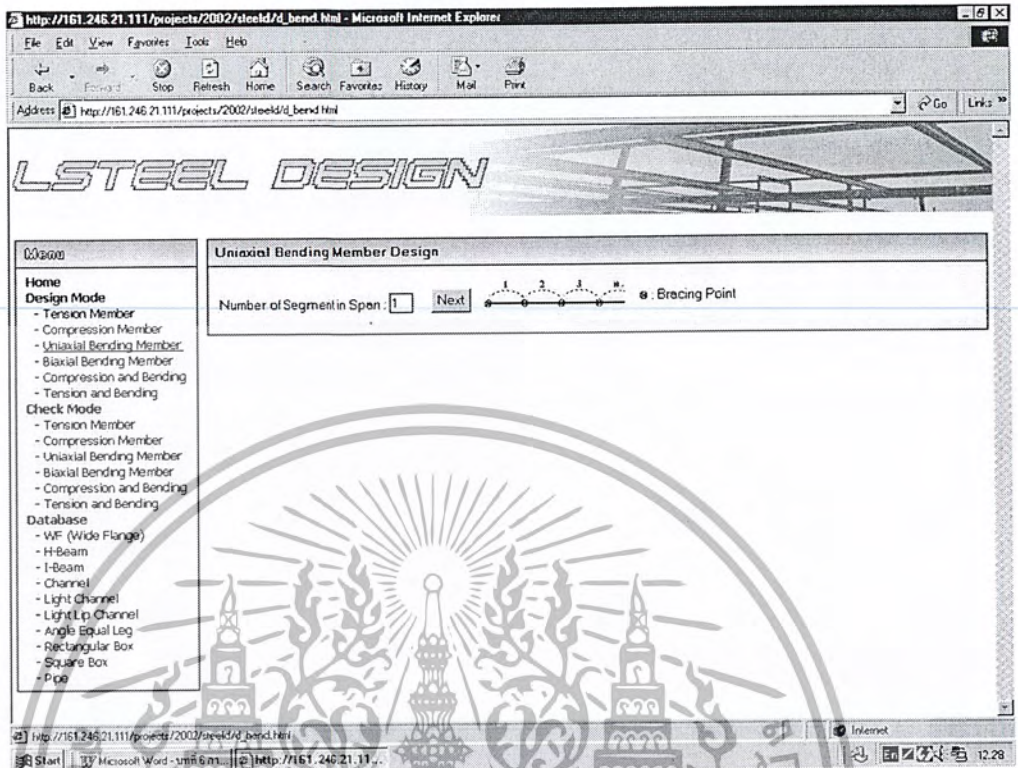
$$S_{req} = \frac{6368.75 \times 100}{1334} = 477 \text{ cm}^3 < 481 \text{ cm}^3$$

ตรวจสอบแรงเฉือน

$$F_v = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{6575}{30 \times 0.65} = 357.2 \text{ ksc} < 0.4 F_y$$

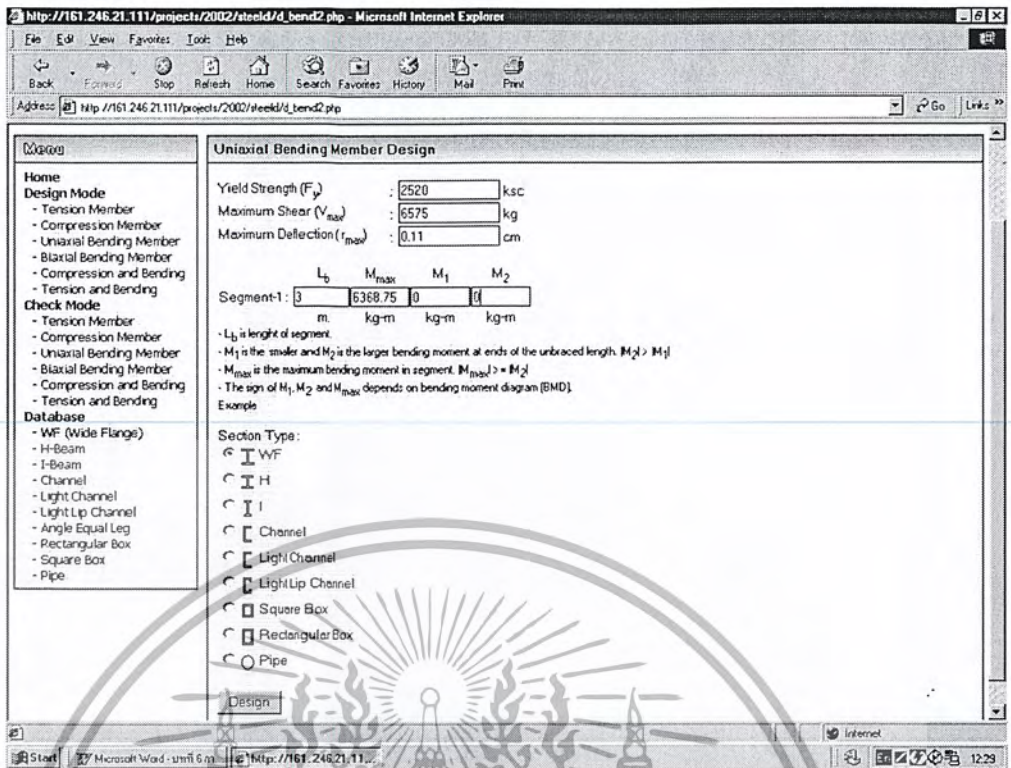
\therefore ใช้หน้าตัด WF300x36.7

6.4.1.2. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดัดแกนเดียว โดย “LSteel Design”

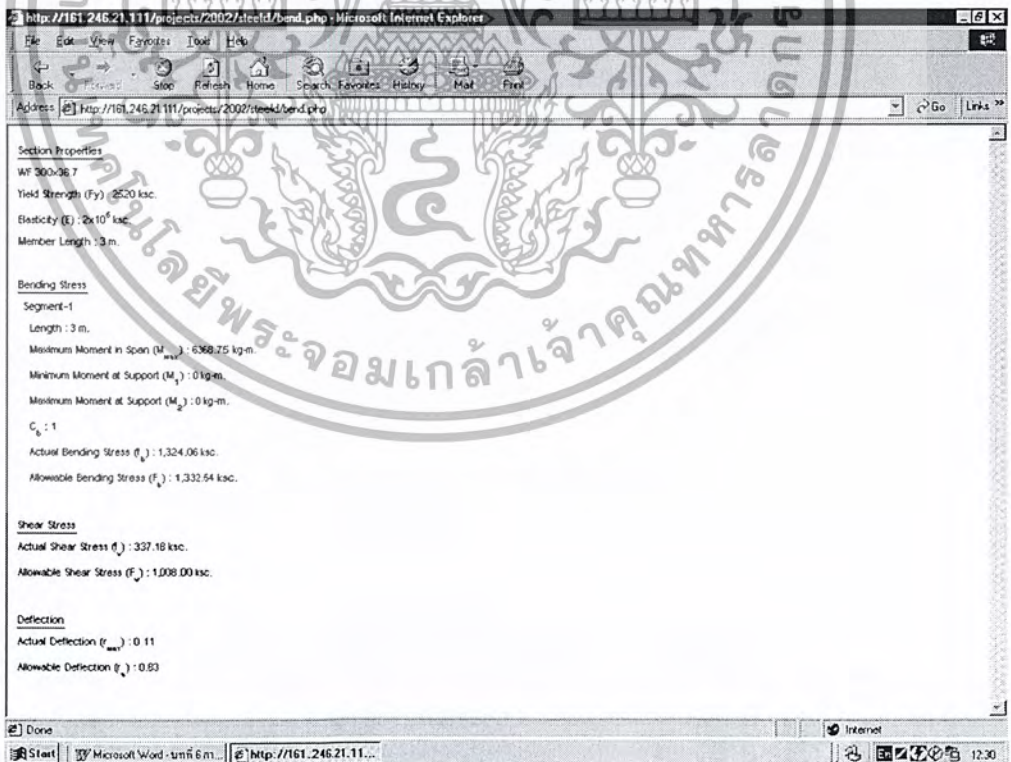


รูปที่ 6.9 แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดัดแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10. แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงค้ำแกนเดียว (ต่อ)



รูปที่ 6.11. แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงค้ำแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.2. การตรวจสอบ

6.4.2.1. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงคดแกนด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$

ช่วง 1

- $L_b = 4 \text{ m.}$
- $M_{\max} = 11250 \text{ kg-m}$
- $M_1 = 0 \text{ kg-m}$
- $M_2 = 10000 \text{ kg-m}$

ช่วง 2

- $L_b = 4 \text{ m.}$
- $M_{\max} = -20000 \text{ kg-m}$
- $M_1 = 10000 \text{ kg-m}$
- $M_2 = -20000 \text{ kg-m}$

$$\text{ความกว้างของปีกอย่างน้อย} = \frac{(400) \sqrt{F_y}}{637.2} = 31.5 > b_f = 20 \text{ cm.}$$

∴ ระยะค้ำยันไม่เพียงพอ

$$\text{สมมติ } F_b = 1400 \text{ ksc}$$

$$S_{\text{req}} = \frac{20 \times 1000 \times 100}{1400} = 1428.6 \text{ cm}^3$$

เลือกใช้ WF450x76 ($S_x = 1450 \text{ cm}^3$, $r_T = 0.26 \times b_f = 5.2 \text{ cm}$, $d = 45 \text{ cm}$, $A_f = 25 \text{ cm}^2$, $b_f = 20 \text{ cm}$)

ช่วงที่ 1

$$C_b = 1$$

$$\sqrt{\frac{707 \times 10^4 \times 1}{2520}} = 53 < \frac{L}{r_T} = 76.53 < \sqrt{\frac{3585 \times 10^4 \times 1}{2520}} = 119$$

$$F_{bx1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (L/r_T)^2}{10756 \times 10^4 \times 1} \right] (2520) = 1335.6 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{bx2} = \frac{843600 \times 1}{400 \times 45 / 28} = 1312.3 \text{ ksc}$$

$$F_{bx} = 1335.6 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{11250 \times 100}{1490} = 760 \text{ ksc} < F_b$$

ช่วงที่ 2

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left(\frac{10000}{-20000} \right) + 0.3 \left(\frac{10000}{-20000} \right)^2 = 2.35 > 2.3 = 2.3$$

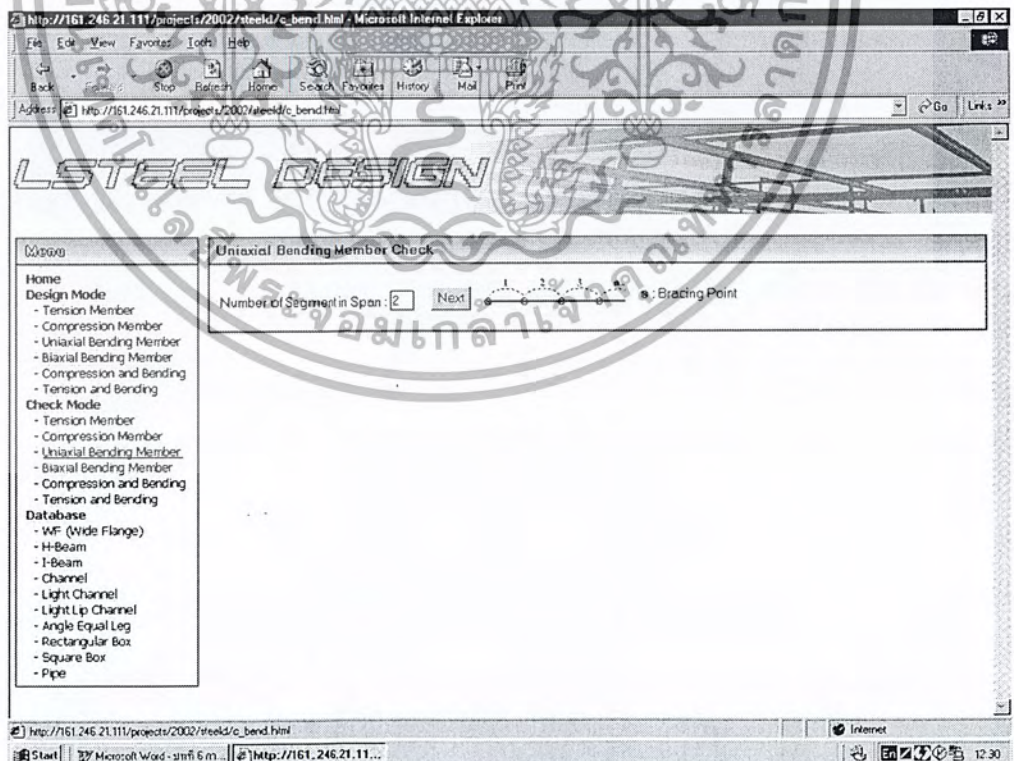
$$\sqrt{\frac{707 \times 10^4 \times 2.3}{2520}} = 80.4 > \frac{L}{r_T} = 76.92$$

$$F_{bx} = 0.6 F_y = 1510 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{20000 \times 100}{1490} = 1342.3 < F_b$$

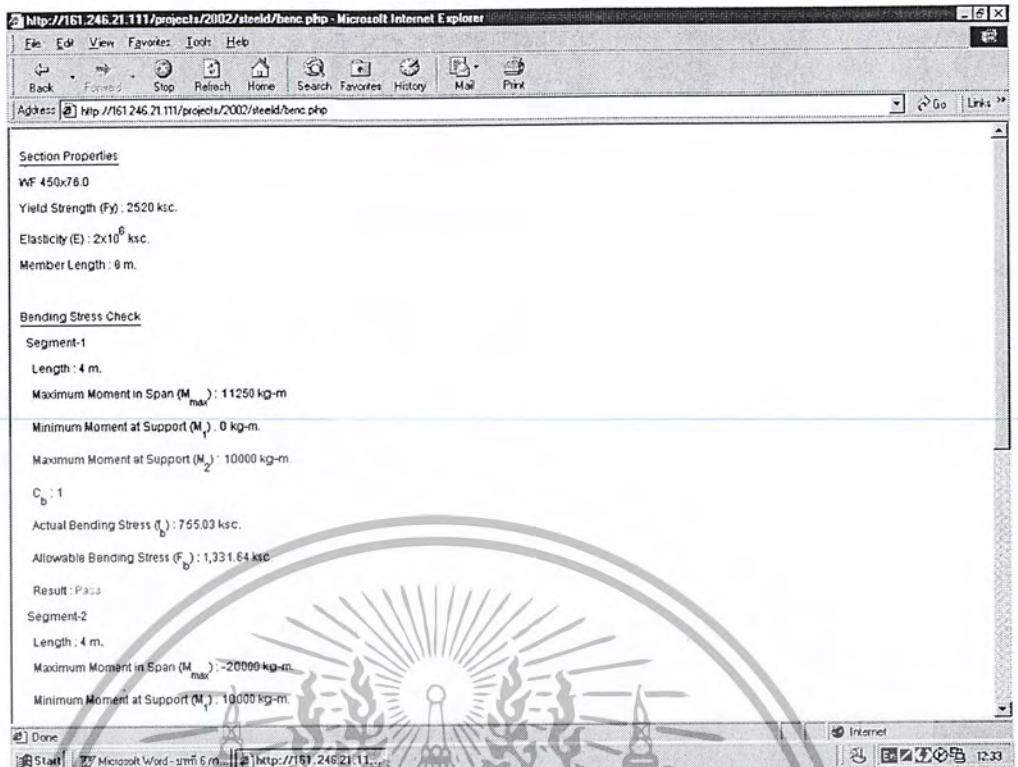
∴ ใช้น้ำตัด WF450x76 ได้

6.4.2.2. การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงดัดแกนเดียว โดย "LSteel Design"

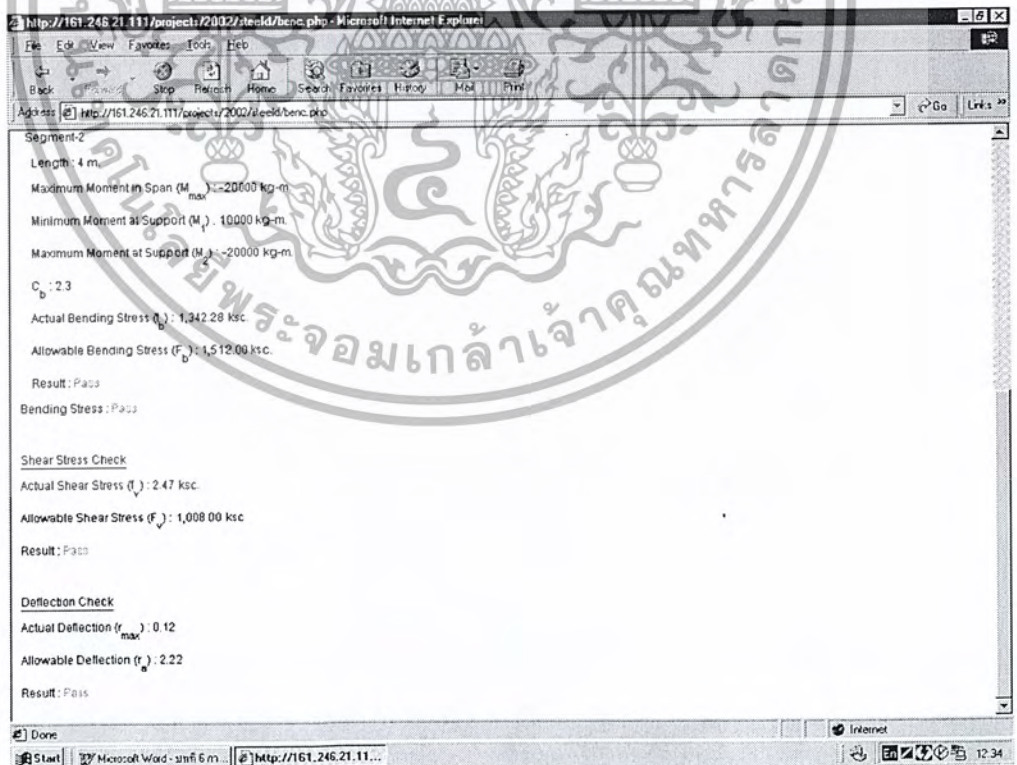


รูปที่ 6.12. แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงดัดแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว



รูปที่ 6.14. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดัดแกนเดียว (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5. องค์อาคารรับแรงดัดสองแกน

6.5.1. การออกแบบ

6.5.1.1. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดัดสองแกนด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$
- $M_{\max_x} = 3900 \text{ kg-m}$
- $M_{\max_y} = 465 \text{ kg-m}$
- $M_{1x} = M_{2x} = M_{1y} = M_{2y} = 0 \text{ kg-m}$
- $L_b = 1.5 \text{ m.}$

เลือก WF300x36.7 ($S_x = 481 \text{ cm}^3$, $S_y = 67.7 \text{ cm}^3$)

หน่วยแรงดัดทางด้านแกนหลัก

$$(L_b = 150) < \left(\frac{637.2b_f}{\sqrt{F_y}} = 190.4 \right)$$

$$(L_b = 150) < \left(\frac{1406000}{\left(\frac{d}{A_f} \right) F_y} = 251 \right)$$

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 8.3 \right) < \left(\frac{796.5}{\sqrt{F_y}} = 15.87 \right)$$

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 8.3 \right) < \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.82 \right)$$

∴ Compact Section

$$F_{bx} = 0.66F_y = 1663.2 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\max_x}}{S_x} = \frac{3900 \times 100}{481} = 811 \text{ ksc} < F_{bx} \quad \text{ใช้ได้}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงคัดทางด้านแกนรอง

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 8.3\right) < \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.82\right) \therefore \text{Compact Section}$$

$$F_{by} = 0.75F_y = 1890 \text{ ksc}$$

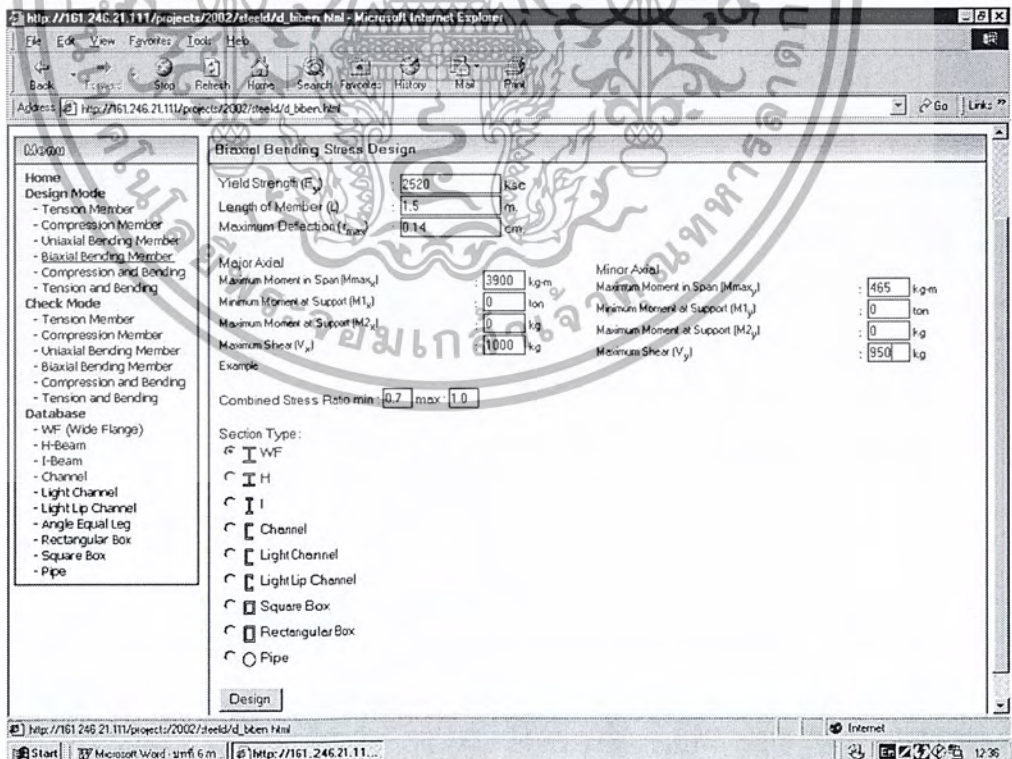
$$f_{by} = \frac{M_{\max_y}}{S_y} = \frac{465 \times 100}{67.7} = 680 \text{ ksc} < F_{by} \quad \text{ใช้ได้}$$

Interaction Equation

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = \frac{811}{1663.2} + \frac{680}{1890} = 0.85 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

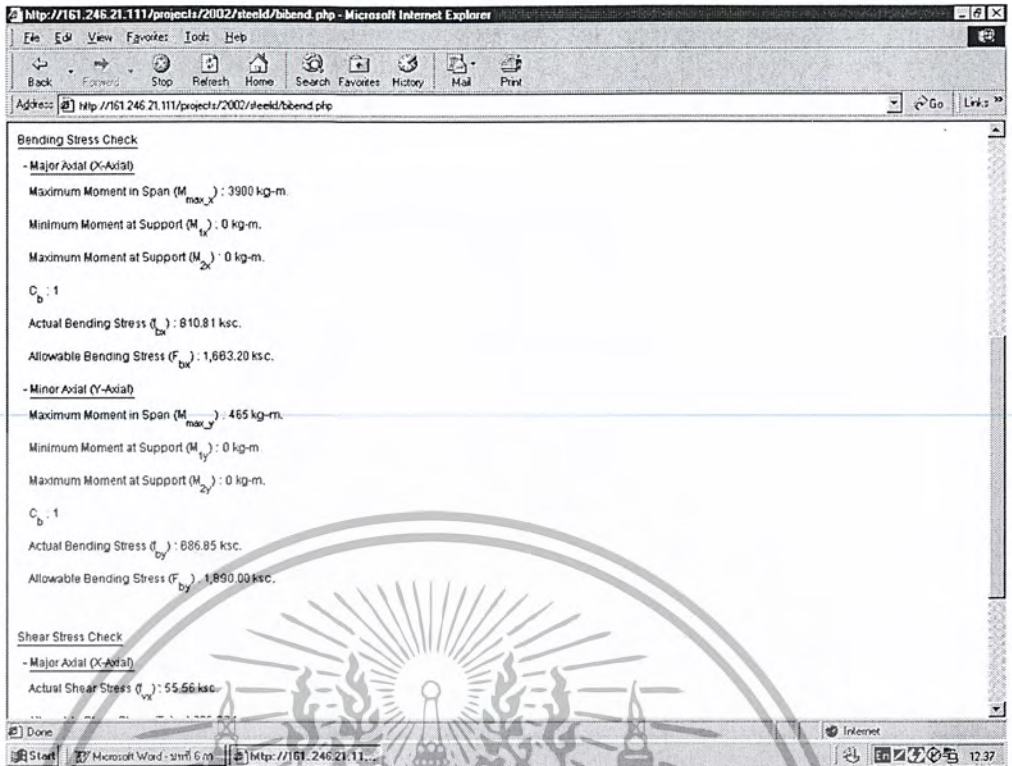
\therefore ใช้หน้าตัด WF 300x36.7

6.5.1.2. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงคัดสองแกน โดย "LSteel Design"

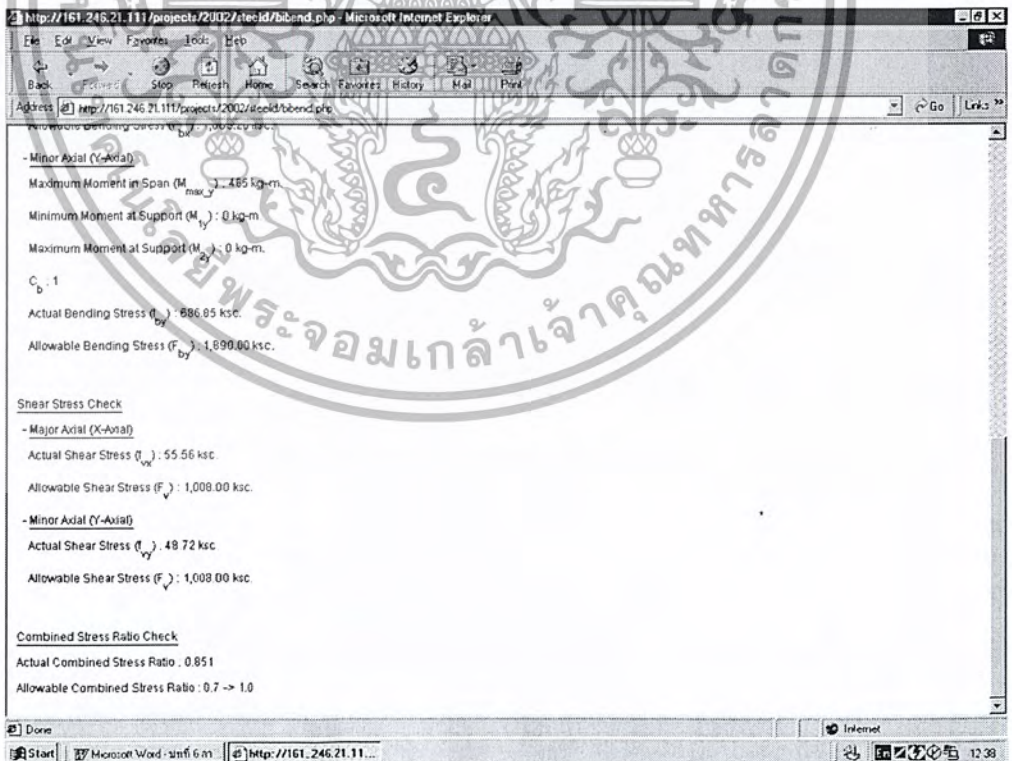


รูปที่ 6.15. แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงคัดสองแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.16. แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงค้ำสองแกน



รูปที่ 6.17. แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงค้ำสองแกน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.2. การตรวจสอบ

6.5.2.1. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงคัตสองแกนด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$
- $M_{\max_x} = 3900 \text{ kg-m}$
- $M_{\max_y} = 465 \text{ kg-m}$
- $M_{1x} = M_{2x} = M_{1y} = M_{2y} = 0 \text{ kg-m}$
- $L_b = 1.5 \text{ m.}$

เลือก H200x56.2 ($S_x = 498 \text{ cm}^3, S_y = 167 \text{ cm}^3$)

หน่วยแรงคัตทางด้านแกนหลัก

$$(L_b = 150) < \left(\frac{637.2b_f}{\sqrt{F_y}} = 259 \right)$$

$$(L_b = 150) < \left(\frac{1406000}{\left(\frac{d}{A_f} \right) F_y} = 682.9 \right)$$

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 8.5 \right) < \left(\frac{796.5}{\sqrt{F_y}} = 15.9 \right)$$

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 8.5 \right) < \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.8 \right)$$

∴ Compact Section

$$F_{bx} = 0.66F_y = 1663.2 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\max_x}}{S_x} = \frac{3900 \times 100}{498} = 783.13 \text{ ksc} < F_{bx} \quad \text{ผ่าน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงดัดทางด้านแกนรอง

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 8.5\right) < \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.8\right) \quad \therefore \text{Compact Section}$$

$$F_{by} = 0.75F_y = 1890 \text{ ksc}$$

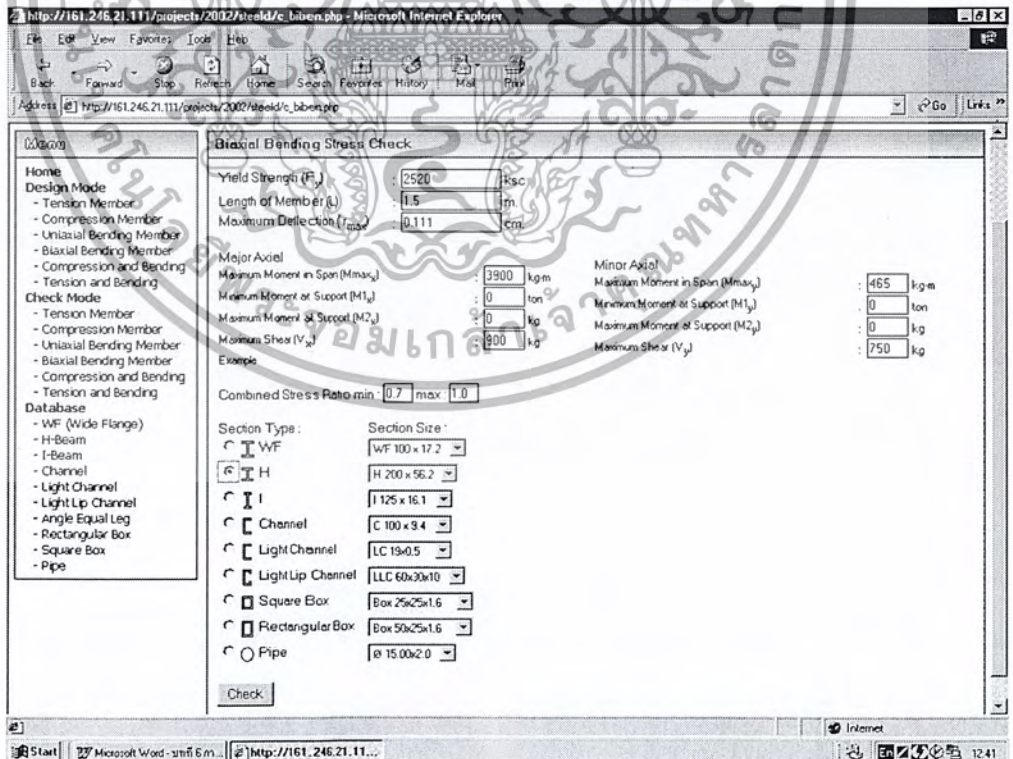
$$f_{by} = \frac{M_{\max y}}{S_y} = \frac{465 \times 100}{167} = 278.4 \text{ ksc} < F_{by} \quad \text{ผ่าน}$$

Interaction Equation

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = \frac{783.13}{1663.2} + \frac{278.4}{1890} = 0.62 < 1 \quad \text{ผ่าน}$$

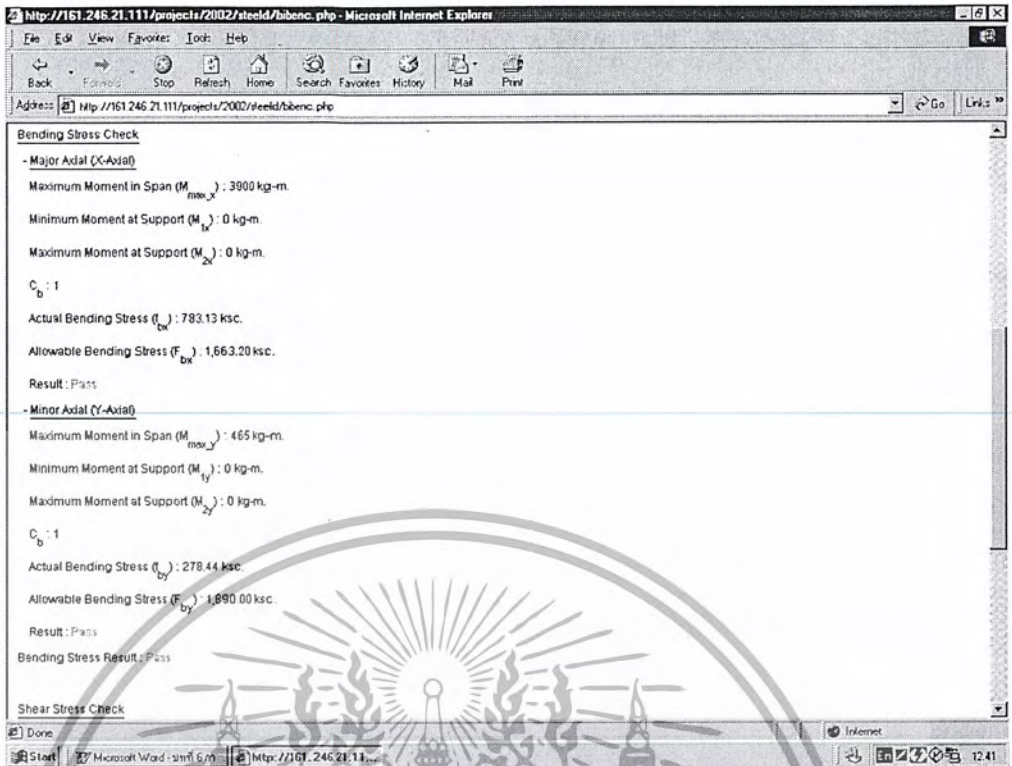
\therefore ใช้หน้าตัด H200x56.2 ได้

6.5.2.2. การตรวจสอบองค์การรับแรงดัดสองแกนโดยโปรแกรม "LSteel Design"

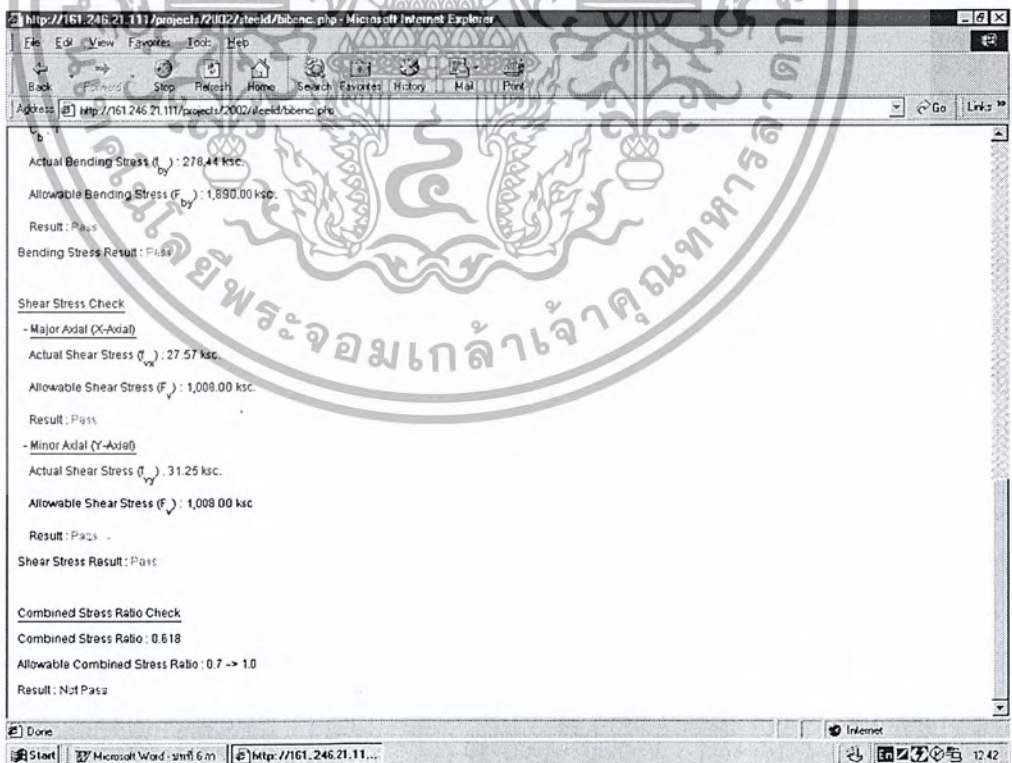


รูปที่ 6.18. แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบองค์การรับแรงดัดสองแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงคดสองแกน



รูปที่ 6.20. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบองค์อาคารรับแรงคดสองแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6. องค์อาคารรับแรงอัดและแรงคัตร่วมกัน

6.6.1. การออกแบบ

6.6.1.1. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงคัตร่วมกันด้วยตนเอง

Input

- Compression member braced against sideway and not subject to transverse between support
- $K_y = 1$ Pin-Pin
- $K_x = 0.8$ Fix-Fix
- $F_y = 2520$ ksc
- $L = 3.5$ m
- $P = 207$ Ton
- $M_{max} = -2187.5$ kg.m
- $M_1 = 1093.75$ kg.m
- $M_2 = -2187.5$ kg.m

ลองใช้ WF350x136 ($A = 173.9$ $I_x = 40300$ $d = 35$ $r_y = 8.84$ $r_x = 15.2$)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{0.8 \times 350}{15.2} = 18.42$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{1 \times 350}{8.84} = 39.6$$

$$\left(\frac{KL}{r} = 39.6\right) < (C_C = 126.1)$$

$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_C}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^3 = 1.78$$

$$f_a = \frac{207 \times 1000}{173.9} = 1190 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{218750 \times 17.5}{40300} = 95 \text{ ksc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F'_{ex} = \frac{10.43 \times 10^6}{(18.42)^2} = 30740 \text{ ksc}$$

$$F_a = \frac{2520}{1.78} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{39.6}{126.1} \right)^2 \right] = 1346 \text{ ksc}$$

$$C_{mx} = 0.6 + 0.4 \left(\frac{1093.75}{-2187.5} \right) = 0.4$$

ตรวจสอบระยะค้ำยัน

$$(L_b = 350 \text{ cm}) < \left(\frac{637.2 b_f}{\sqrt{F_y}} = 444.3 \text{ cm} \right)$$

∴ ระยะค้ำยันเพียงพอ

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = \frac{35}{2 \times 1.9} = 9.2 \right) < \frac{543}{\sqrt{F_y}} \quad \therefore \text{Compact Section}$$

$$F_{bx} = 0.66 F_y = 1663 \text{ ksc}$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{1190}{1346} = 0.88 > 0.15$$

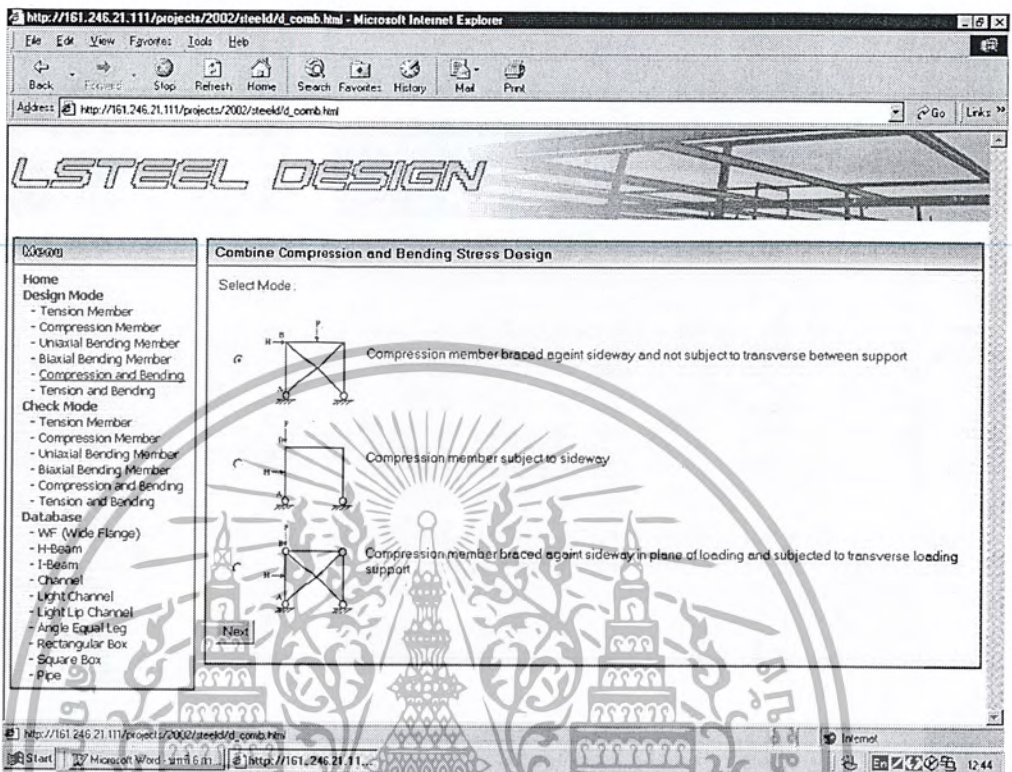
$$\frac{C_{mx}}{1} = 0.42 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

$$\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}} \right) + \left(1 - \frac{f_a}{F_{bx}} \right) = 0.94 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

$$\frac{1190}{(0.6)(2520)} + \frac{95}{1663} = 0.84 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

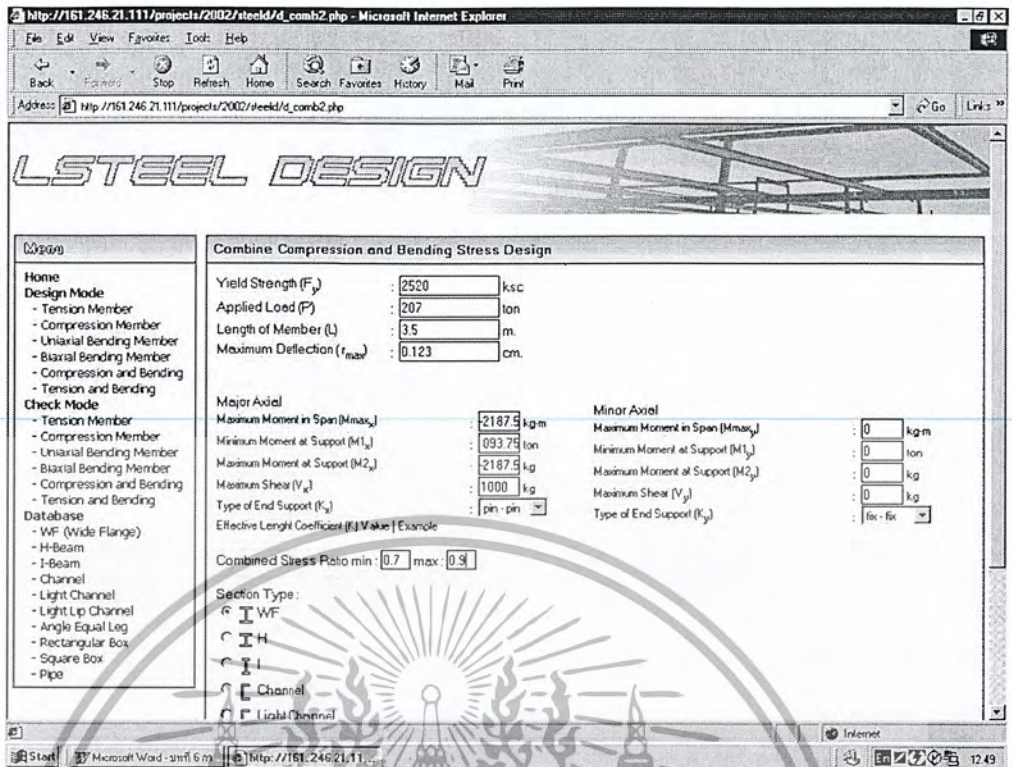
∴ ใช้หน้าตัด WF350x136

6.5.1.2. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกันโดยโปรแกรม “LSteel Design”

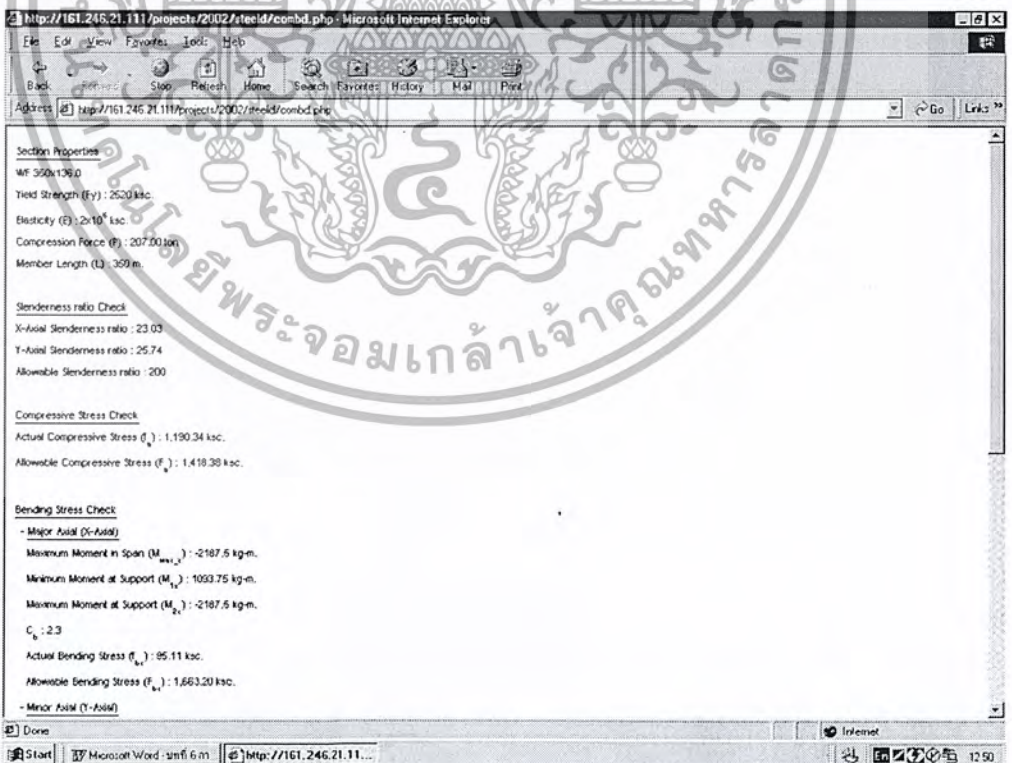


รูปที่ 6.21. แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

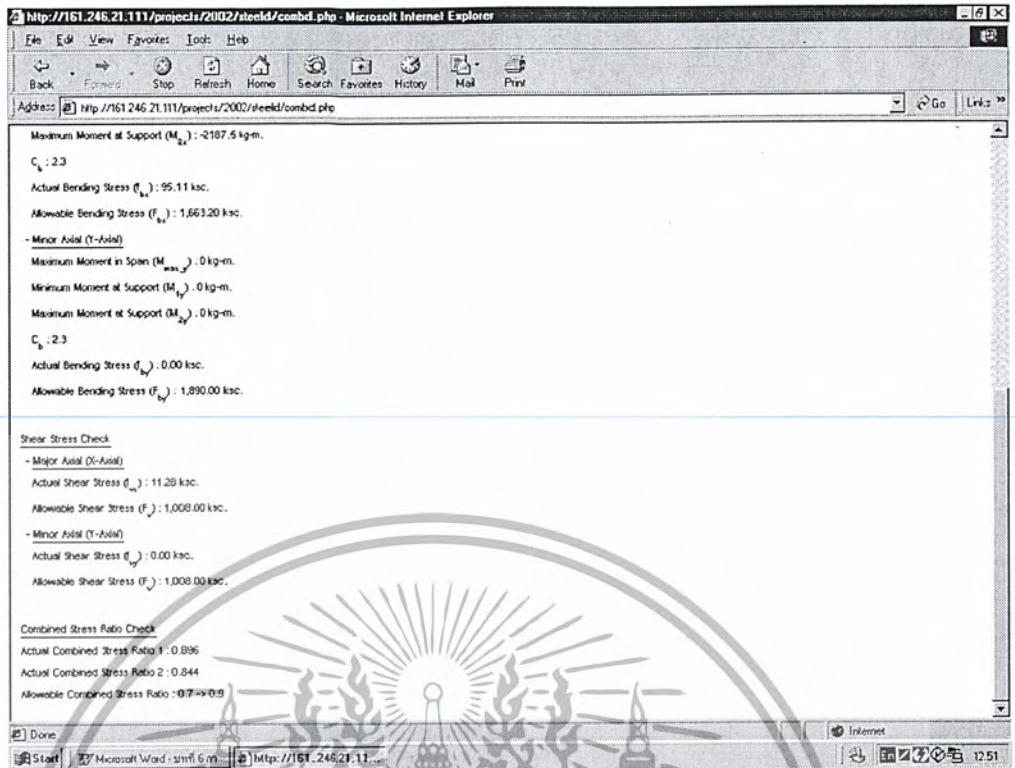


รูปที่ 6.22. แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน (ต่อ)



รูปที่ 6.23. แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.24. แสดงผลการคำนวณของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน (ต่อ)

6.6.2. การตรวจสอบ

6.6.2.1. การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกันด้วยตนเอง

Input

- Compression member subject to sideway
- $K_x = 2.1$ Fix-Free
- $K_y = 0.8$ Fix-Pin
- $F_y = 2520$ ksc
- $L = 5.0$ m
- $P = 150$ Ton
- $M_{max} = 15000$ kg.m
- $M_1 = 15000$ kg.m
- $M_2 = -15000$ kg.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางวิศวกรรมโยธา (WF400x172 (A = 218.7 S_x = 3330 S_y = 10.1 I_x = 17.5)) กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_a = \frac{150 \times 1000}{218.7} = 685.9 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{15 \times 100 \times 1000}{3300} = 450.5 \text{ ksc}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{2.1 \times 500}{17.5} = 60$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{0.8 \times 500}{10.1} = 39.6$$

$$\left(\frac{KL}{r} = 60\right) < (C_C = 128.2)$$

$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_C}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_C}\right)^3 = 1.83$$

$$F_a = \frac{2520}{1.83} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{60}{128.2}\right)^2\right] = 1226.2 \text{ ksc}$$

ตรวจสอบระยะค้ำยัน

$$(L_b = 500 \text{ cm}) < \left(\frac{637.2 b_f}{\sqrt{F_y}} = 507.7 \text{ cm}\right)$$

∴ ระยะค้ำยันเพียงพอ

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = \frac{4}{2 \times 2.1} = 9.52\right) < \frac{543}{\sqrt{F_y}} \therefore \text{Compact Section}$$

$$F_{bx} = 0.66 F_y = 1663 \text{ ksc}$$

$$F'_{ex} = \frac{10.43 \times 10^6}{(60)^2} = 2897.2 \text{ ksc}$$

$$C_{mx} = 0.85 \text{ (Sidesway)}$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{685.9}{1226.2} = 0.56 > 0.15$$

$$\frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right)} = 1.1131 > 1$$

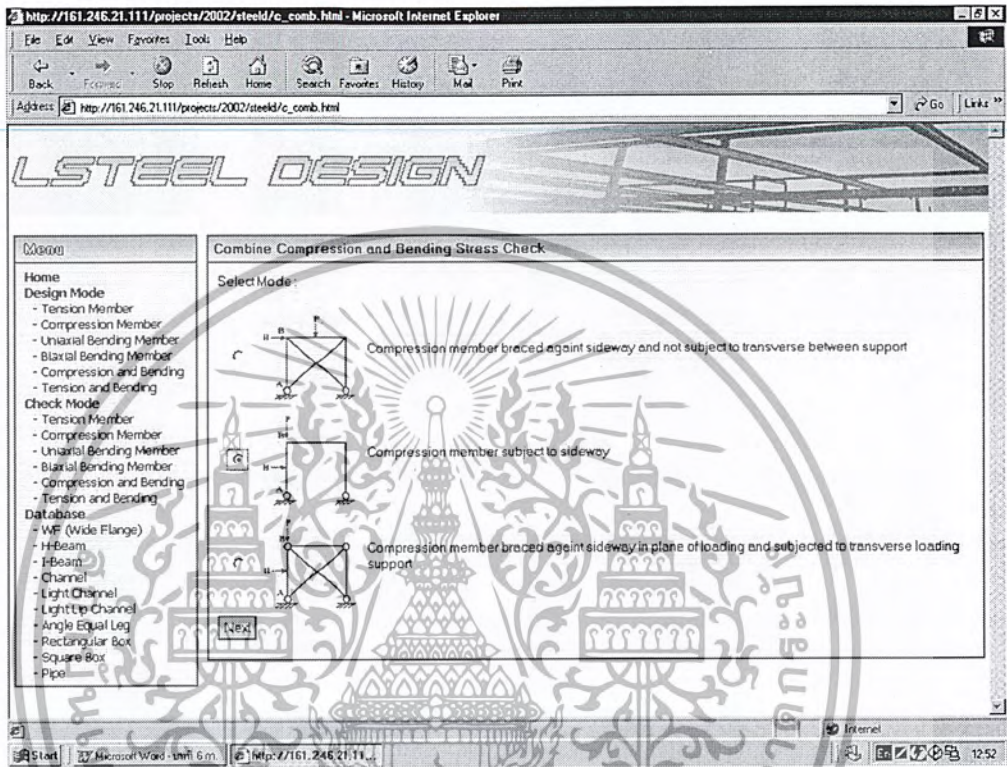
$$\frac{685.9}{1226.2} + (1.113) \frac{450.5}{1663} = 0.86 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

$$\frac{685.9}{(0.6)(2520)} + \frac{450.5}{1663} = 0.725 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

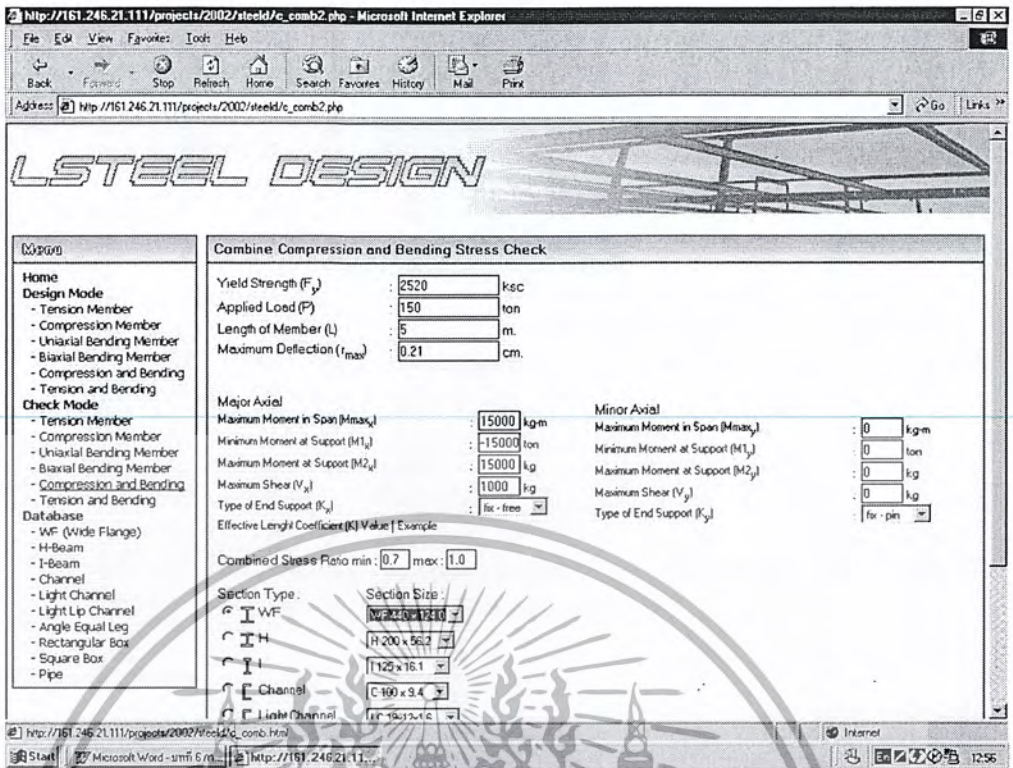
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ ใช้หน้าตัด WF400x172 ได้

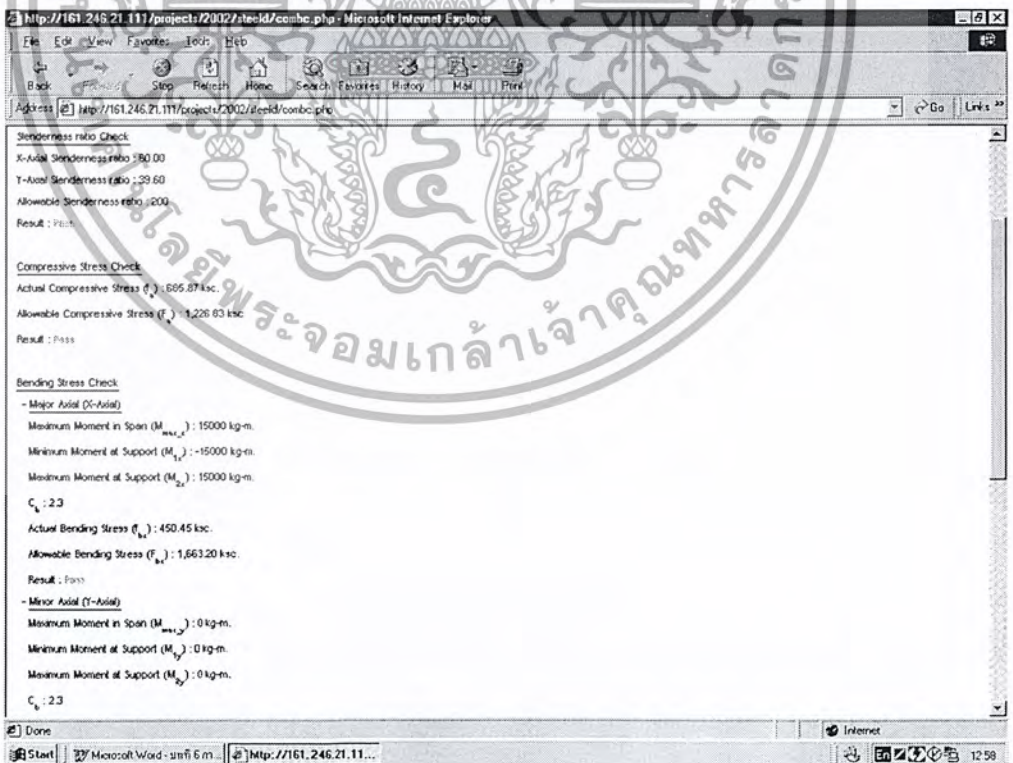
6.6.2.2. การตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกันโดยโปรแกรม “LSteel Design”



รูปที่ 6.25. แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน

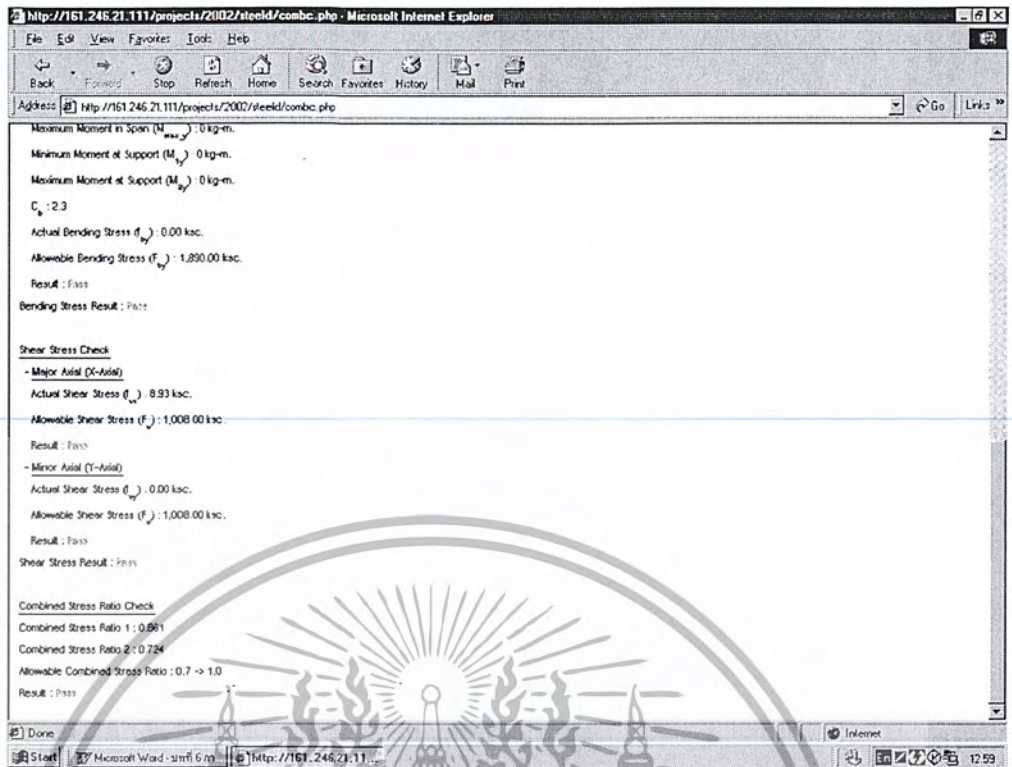


รูปที่ 6.26. แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน (ต่อ)



รูปที่ 6.27. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ำอาคารรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.28. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค่าการรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน (ต่อ)

6.7. องค์การรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน

6.7.1. การออกแบบ

6.7.1.1. การออกแบบขององค์การรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกันด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$
- $L_b = 5 \text{ m.}$
- $P = 250 \text{ ton}$
- $M_{\max_x} = 1000 \text{ kg-m}$
- $M_{\max_y} = 1250 \text{ kg-m}$
- $M_{1x} = 0 \text{ kg-m}$
- $M_{2x} = 0 \text{ kg-m}$
- $M_{1y} = 0 \text{ kg-m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $M_{2y} = 0 \text{ kg-m}$
- $V_x = 0 \text{ kg}$
- $V_y = 0 \text{ kg}$

ลองใช้หน้าตัดขนาด WF394x147

หน่วยแรงดึง

$$\frac{f_t}{A} = \frac{250 \times 1000}{186.8} = 1338.3 \text{ ksc}$$

$$F_t = 0.6F_y = 0.6 \times 2520 = 1512 \text{ ksc} > f_t \quad \text{ใช้ได้}$$

หน่วยแรงดัดทางด้านแกนหลัก

$$(L_b = 500) < \left(\frac{637.2 b_f}{\sqrt{F_y}} = 505.2 \right)$$

$$(L_b = 500) < \left(\frac{1406000}{(d/A_f) F_y} = 1014.5 \right)$$

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 11.06 \right) < \left(\frac{796.5}{\sqrt{F_y}} = 15.87 \right), \left(\frac{b_f}{2t_f} = 11.06 \right) > \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.82 \right)$$

∴ Semicompact Section

$$F_{bx} = F_y \left[0.79 - 0.00024 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] = 1655.01 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\max_x}}{S_x} = \frac{1000 \times 100}{2850} = 35.08 \text{ ksc} < F_{bx} \quad \text{ใช้ได้}$$

หน่วยแรงดัดทางด้านแกนรอง

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 11.06 \right) > \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.82 \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ Semicompact Section

$$F_{by} = F_y \left[1.075 - 0.0006 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] = 189.53 \text{ ksc}$$

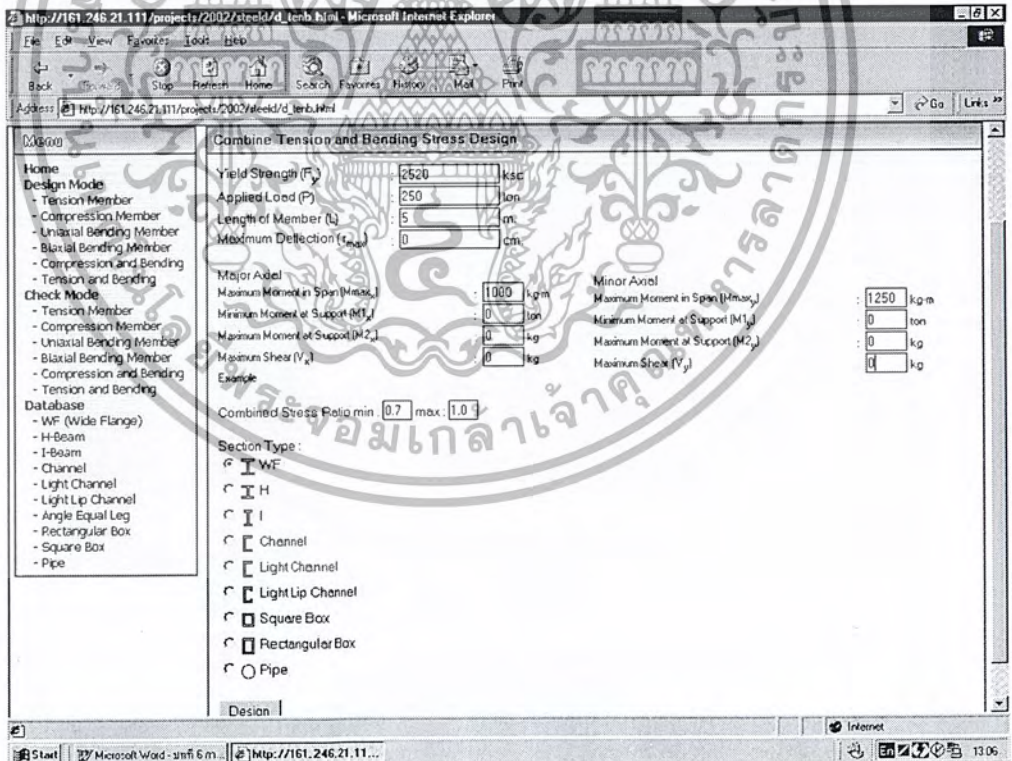
$$f_{by} = \frac{M_{\max_y}}{S_y} = \frac{1250 \times 100}{951} = 131.44 \text{ ksc} < F_{by} \quad \text{ใช้ได้}$$

Interaction Equation

$$\frac{f_t}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = \frac{1338.3}{1512} + \frac{35.08}{1655.01} + \frac{131.44}{1869.53} = 0.977 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

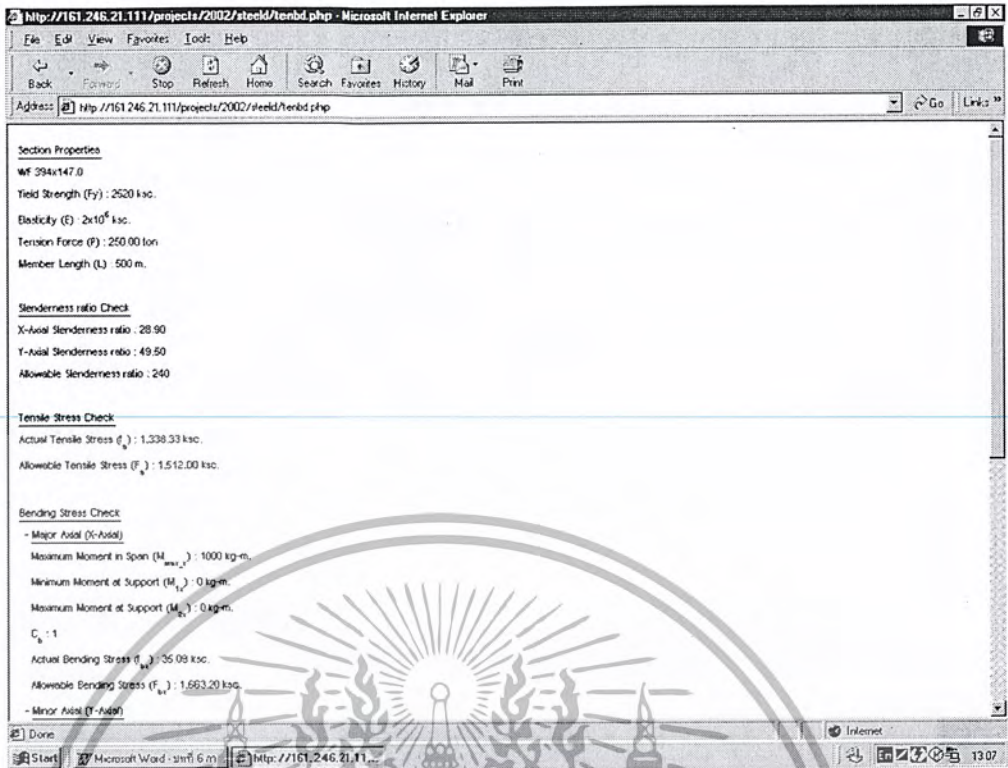
∴ ใช้น้ำตัด WF 394x147

6.7.1.2. การออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกันโดยโปรแกรม “LSteel Design”

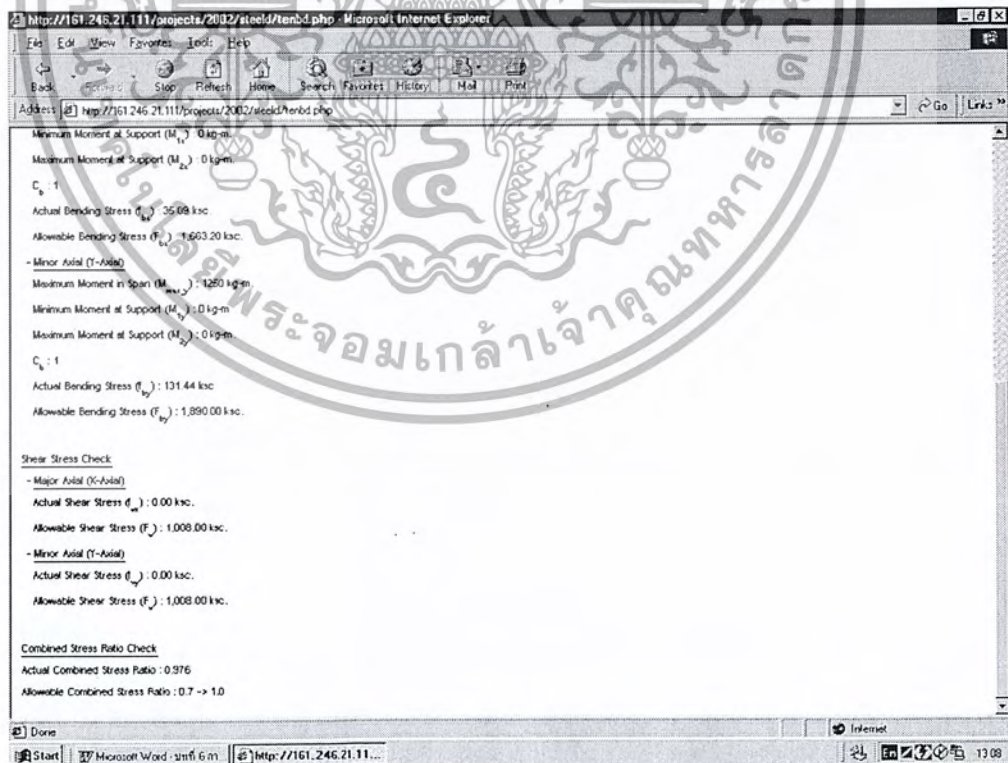


รูปที่ 6.29. แสดงการป้อนข้อมูลของการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.30. แสดงผลการคำนวณของกรอกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน



รูปที่ 6.31. แสดงผลการคำนวณของกรอกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7.2. การตรวจสอบ

6.7.2.1. การตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกันด้วยตนเอง

Input

- $F_y = 2520 \text{ ksc}$
- $E = 2.1 \times 10^6 \text{ ksc}$
- $L_b = 5 \text{ m.}$
- $P = 250 \text{ ton}$
- $M_{\max_x} = 1000 \text{ kg-m}$
- $M_{\max_y} = 1250 \text{ kg-m}$
- $M_{1x} = 0 \text{ kg-m}$
- $M_{2x} = 0 \text{ kg-m}$
- $M_{1y} = 0 \text{ kg-m}$
- $M_{2y} = 0 \text{ kg-m}$
- $V_x = 0 \text{ kg}$
- $V_y = 0 \text{ kg}$

ลองใช้หน้าตัดขนาด WF400x172

หน่วยแรงดึง

$$\frac{f_t}{A} = \frac{250 \times 1000}{218.7} = 1143.12 \text{ ksc}$$

$$F_t = 0.6F_y = 0.6 \times 2520 = 1512 \text{ ksc} > f_t \quad \text{ใช้ได้}$$

หน่วยแรงดัดทางด้านแกนหลัก

$$(L_b = 500) < \left(\frac{637.2 b_f}{\sqrt{F_y}} = 507.7 \right)$$

$$(L_b = 500) < \left(\frac{1406000}{\left(\frac{d}{A_f} \right) F_y} = 1171 \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 9.52\right) < \left(\frac{796.5}{\sqrt{F_y}} = 15.87\right)$$

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 9.52\right) < \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.82\right)$$

∴ Compact Section

$$F_{bx} = 0.66F_y = 1663.2 \text{ ksc}$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\max_x}}{S_x} = \frac{1000 \times 100}{3330} = 30.03 \text{ ksc} < F_{bx} \quad \text{ใช้ได้}$$

หน่วยแรงดัดทางด้านแกนรอง

$$\left(\frac{b_f}{2t_f} = 9.52\right) < \left(\frac{543}{\sqrt{F_y}} = 10.82\right) \quad \therefore \text{Compact Section}$$

$$F_{by} = 0.75F_y = 1890 \text{ ksc}$$

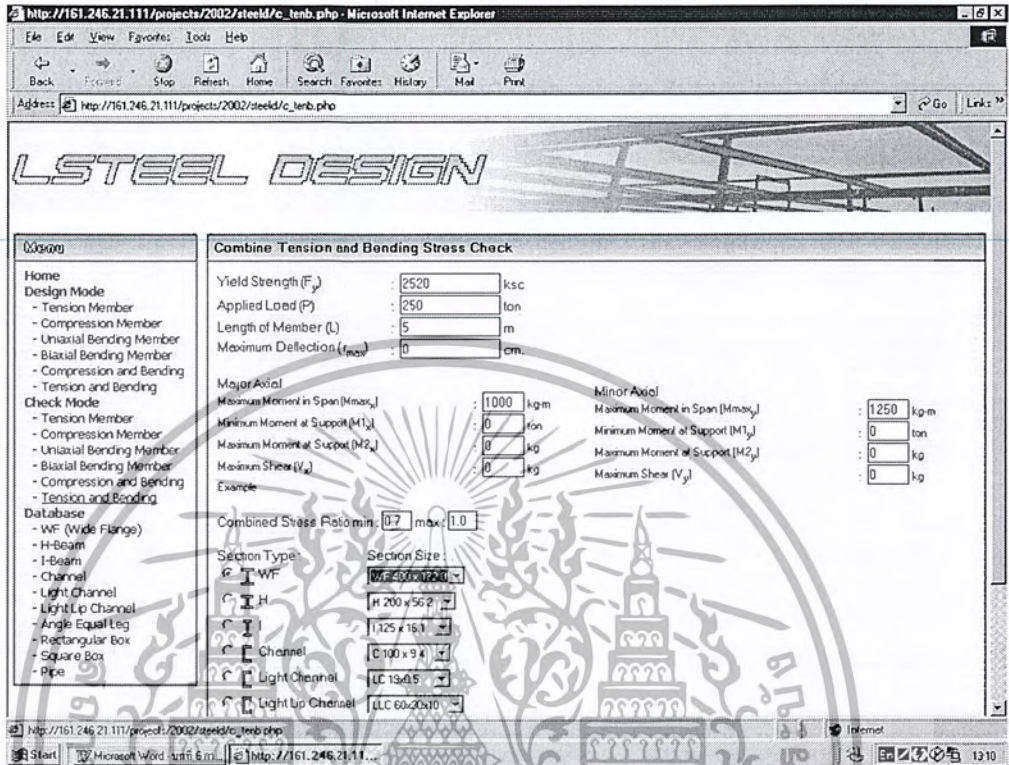
$$f_{by} = \frac{M_{\max_y}}{S_y} = \frac{1250 \times 100}{1120} = 111.61 \text{ ksc} < F_{by} \quad \text{ใช้ได้}$$

Interaction Equation

$$\frac{f_t}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = \frac{1143.12}{1512} + \frac{30.03}{1663.2} + \frac{111.61}{1890} = 0.833 < 1 \quad \text{ใช้ได้}$$

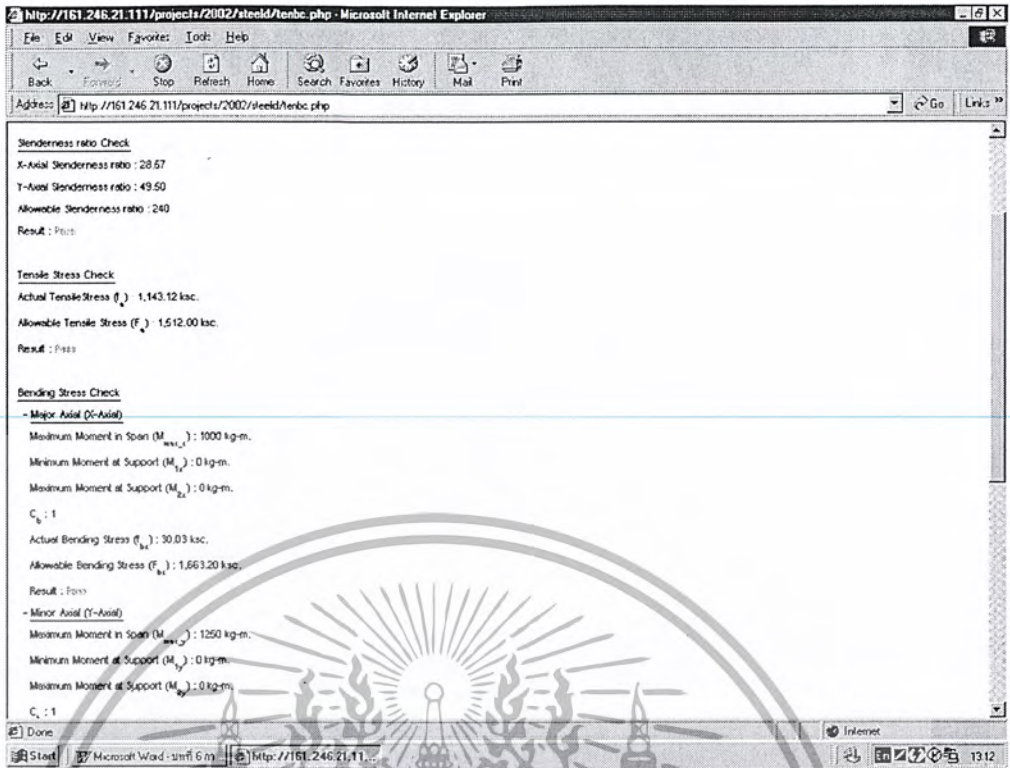
∴ ใช้น้ำตัด WF 400x172 ได้

6.7.2.2. การตรวจสอบของค้ำการรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกันโดยโปรแกรม “LSteel Design”

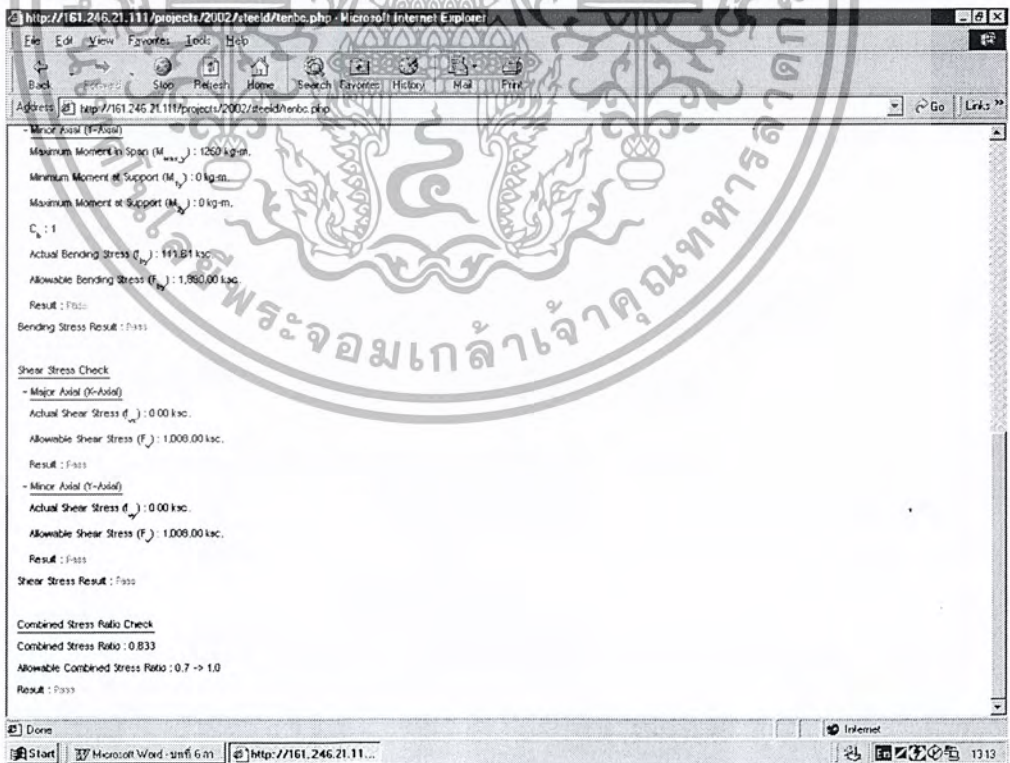


รูปที่ 6.32. แสดงการป้อนข้อมูลของการตรวจสอบของค้ำการรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.33. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ำารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน



รูปที่ 6.34. แสดงผลการคำนวณของการตรวจสอบของค้ำารรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1. กล่าวนำ

โปรแกรม LSteel Design เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบของค้ำอาคารเหล็ก โดยอาศัยทฤษฎีที่ศึกษาในระดับปริญญาตรีเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจในหลักทฤษฎี และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของความถูกต้องของผลลัพธ์ได้ด้วยตนเอง

7.2. สรุปผล

โดยโปรแกรมพัฒนาขึ้นสำหรับนำไปใช้ ออกแบบของค้ำอาคารเหล็ก ที่รับแรงกระทำในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ องค์กรรับแรงดึง องค์กรรับแรงอัด องค์กรรับแรงดัดแกนเดียว องค์กรรับแรงดัดสองแกน องค์กรรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน และองค์กรรับแรงดึงและแรงดัดร่วมกัน โดยในบทที่ 6 ได้แสดงการเปรียบเทียบรายการคำนวณระหว่าง ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยตนเอง และผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม โดยจะพบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ดี โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา นี้ ก็ยังเป็นแค่เครื่องมือที่ช่วยวิศวกรในการคำนวณ โดยให้ผลเป็นไปตามทฤษฎีเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากผลการคำนวณทางทฤษฎีเข้ามา ประกอบการตัดสินใจ

เนื่องจากผู้พัฒนายังขาดประสบการณ์ในการออกแบบงานจริง และข้อจำกัดในด้านเวลาในการทำโครงการ ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา นี้ยังมีข้อจำกัดต่าง ๆ โดยโปรแกรมไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ในกรณีที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่ไม่สมจริงได้ ดังนั้นผู้ใช้ควรจะต้องมีความรู้พอสมควรในเรื่องของการออกแบบของค้ำอาคารเหล็ก

7.3. ข้อเสนอแนะ

ในการจัดทำโครงการพิเศษครั้งนี้ ผู้จัดทำได้พบกับปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะได้ดังนี้

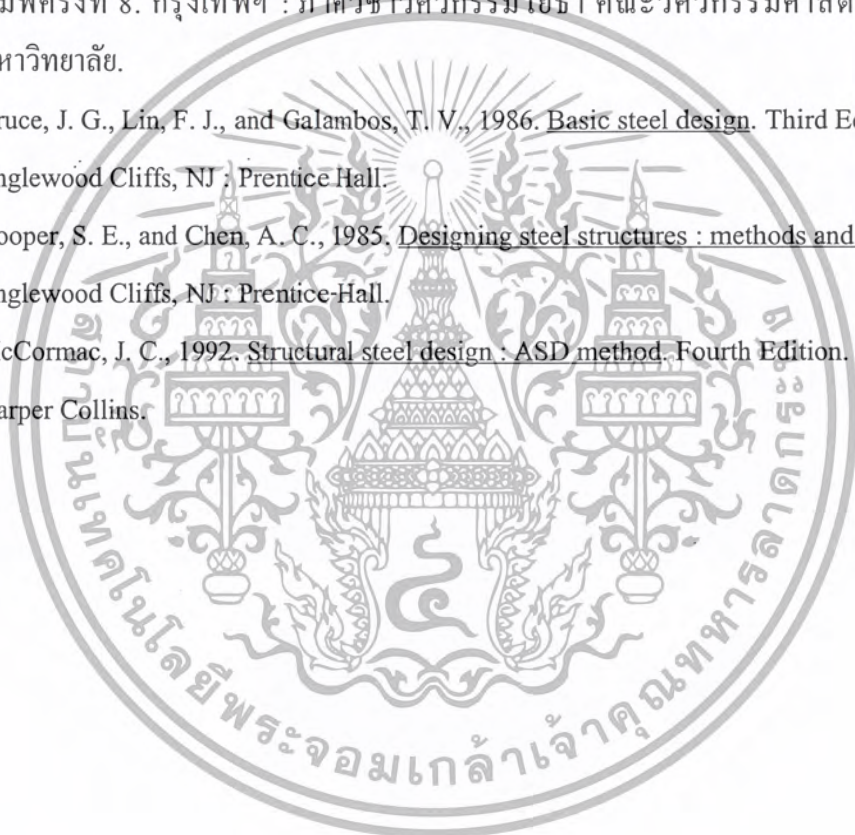
1. จะต้องศึกษาทฤษฎีที่ใช้ให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนที่จะเริ่มทำการพัฒนาโปรแกรม เพื่อที่จะทำให้ไม่เสียเวลาในการกลับมาแก้ไข
2. ควรที่จะมีการวางแผนก่อนที่จะเริ่มทำการพัฒนาโปรแกรม เช่น การกำหนดขอบเขต และองค์ประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม เป็นต้น เพื่อที่จะได้กำหนดแนวทางของโปรแกรมที่จะพัฒนาต่อไป
3. ในการเขียน โปรแกรมควรที่จะแยกการทำงานของโปรแกรมให้เป็น โมดูลย่อย ๆ เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบความผิดพลาด ทำให้โปรแกรมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่อย่างไรก็ดี ทางผู้จัดทำโครงการ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะที่กล่าวมาข้างต้น จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำโปรแกรมไปพัฒนาต่อไป



หนังสืออ้างอิง

- ทักษิณ เทพชาตรี, 2541. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก (ASD, PD, LRFD). แก้ไขปรับปรุงครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2519. มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์รวมมิตรไทย.
- สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร, 2539. การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Bruce, J. G., Lin, F. J., and Galambos, T. V., 1986. Basic steel design. Third Edition. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.
- Cooper, S. E., and Chen, A. C., 1985. Designing steel structures : methods and cases. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- McCormac, J. C., 1992. Structural steel design : ASD method. Fourth Edition. New York : Harper Collins.



บรรณานุกรม

- ทักยิณ เทพชาตรี, 2541. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก (ASD, PD, LRFD). แก้ไขปรับปรุงครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2519. มาตรฐานสำหรับอาคารเหล็กรูปพรรณ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์รวมมิตรไทย.
- สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร, 2539. การออกแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริลักษณ์ โรจนกิจอำนวย, 2542. ภาษาฐานข้อมูล SQL. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Bakken, S. S., Aulbach, A., Schmid, E., Winstead, J., Wilson, L. T., Lerdorf, R., Zmievski, A., and Ahto, J., 2002, December. PHP Manual. PHP Documentation Group.
<URL: <http://www.php.net/manual/en/>>
- Bruce, J. G., Lin, F. J., and Galambos, T. V., 1986. Basic steel design. Third Edition. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.
- Cooper, S. E., and Chen, A. C., 1985. Designing steel structures : methods and cases. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- McCormac, J. C., 1992. Structural steel design : ASD method. Fourth Edition. New York : Harper Collins.
- Widenius, M., and Axmark, D., 2002, December. MySQL Reference Manual. MySQL AB.
<URL: <http://www.mysql.com/documentation/index.html>>