



ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ กับกำลังรับน้ำหนักที่ลดลงของเสาเหล็ก

THE ALLOWABLE TOLERANCE AND REDUCED FORCE OF THE STEEL COLUMN



โดย

นาย สุรัชย์ ปรัชญาโณทัย 37014524

นาย นิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ 38014241

วัน เดือน ปี.....15.ค.ค.2541.....
เลขทะเบียน.....038995.....
เลขเรียกหนังสือ.....ท 40136 ศ 815๗.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

ปล.ท.
845๗
2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด 038995

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ALLOWABLE TOLERANCE AND REDUCED FORCE OF THE STEEL COLUMN

BY

MR. SURACHAI PHARTYANOTAI 37014524

MR. NIPON TANGTIRAWAT 38014241

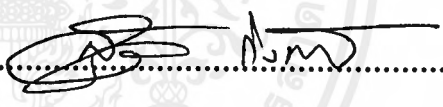
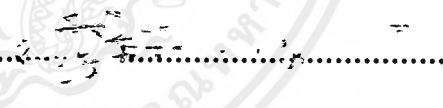
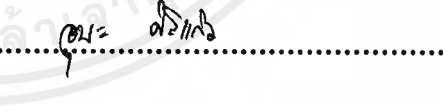
**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE BACHELOR'S DEGREE OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1997

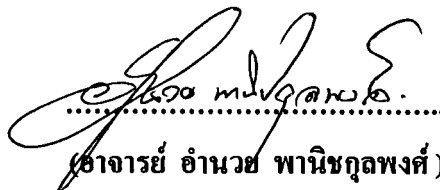
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ กับกำลังรับน้ำหนักที่ลดลงของเสาเหล็ก
นักศึกษา นาย สุรัชย์ ปรัชญาโณทัย 37014524
นาย นิพนธ์ ตั้งติรวัฒน์ 38014241
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
2. อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล	
3. อาจารย์ อูบะ สิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


.....
(อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ กับกำลังรับน้ำหนักที่ลดลงของเสาเหล็ก

The Allowable Tolerance and Reduced Force of The Steel Column

โดย นายสุรชัย ปรัชญาโทย
นายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์

บทคัดย่อ

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับเสาเหล็กจะมีผลต่อความสามารถในการรับกำลังของเสาเหล็ก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุด (Critical Force) ของเสาเหล็ก ภายใต้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยคำนึงถึง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัติของวัสดุและการติดตั้งเป็นหลัก เพื่อนำค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับน้ำหนักจากการออกแบบของเสา แสดงผลเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานของเสาเหล็กดังกล่าว ทั้งนี้ได้จัดทำ โปรแกรม SCE (Steel Column Error) สำหรับเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการตรวจสอบความปลอดภัย

ABSTRACT

Loading capacity of the perfected steel columns has been changed due to the error of construction material and of erection. It is necessary to study on the value of the critical force of those tolerant steel column, in order to compare those value with the value of the allowable force. The SCE (Steel Column Error) program has been developed for analysis the factor of safety of the tolerant steel column.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการพิเศษนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนประสิทธิประสาทความรู้ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนขอขอบคุณ นาย บุญชัย เอี่ยมเมตตา เพื่อนนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จนกระทั่งทำให้โครงการพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้เขียนยังใคร่ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่า กรุณาตรวจ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง อันเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญ ที่ทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลาย อันพึงได้รับจากโครงการพิเศษนี้ขอมอบให้บุคคลที่สำคัญยิ่งของผู้เขียน อันได้แก่ บิดามารดา ผู้อุปการะ และครูอาจารย์ทุกท่านเพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณที่ได้ให้ผู้เขียนมีโอกาสศึกษาเล่าเรียน และให้การอบรมศึกษา แก่ผู้เขียนจนได้รับความสำเร็จขั้นต้นในชีวิตทุกวันนี้

นาย สุรชัย ปรัชญาโณทัย

นาย นิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์

7 เมษายน 2541

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทคัดย่อ	(i)
กิตติกรรมประกาศ	(ii)
สารบัญ	(iii)
สารบัญตาราง	(v)
สารบัญรูป	(vi)
คำอธิบายสัญลักษณ์	(ix)

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการพิเศษ	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2

บทที่ 2 ทฤษฎีการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาที่เกิดความคลาดเคลื่อน

2.1 ปัจจัยที่มีผลให้กำลังรับน้ำหนักของเสาน้อยลง	3
2.2 ค่ามาตรฐานความคลาดเคลื่อนของเสาเหล็ก	4
2.3 ทฤษฎีกำลังรับน้ำหนักของเสา	11
2.4 ความยาวประสิทธิผลของเสา (Effective Length of Columns)	13
2.5 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กเมื่อเกิดหน่วยแรงคงค้าง (Residual stress)	14
2.6 กำลังรับน้ำหนักของเสาเมื่อเสามีการ โกงงอเริ่มต้น	18
2.7 กำลังรับน้ำหนักของเสาเมื่อเสารับแรงเยื้องศูนย์กลาง	22
2.8 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก เมื่อเสามีการเอียง	25
2.9 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก เมื่อเสามีการ โกงงอเริ่มต้น การรับแรงเยื้องศูนย์กลาง และการเอียงของเสาพร้อมกัน	27
2.10 การ โกงงอของเสาเนื่องจากการบิด (Torsional Buckling)	41
2.11 การ โกงงอเฉพาะแห่ง (Local Buckling)	44

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.12 กำลังรับน้ำหนักเมื่อเสาเกิดความคลาดเคลื่อนของขนาดหน้าตัด	45
2.13 ตัวอย่างการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาที่เกิดความคลาดเคลื่อน	46
2.14 เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาขนาดเดียวกันเมื่อคำนวณตามมาตรฐาน AISC โดยไม่คำนึงถึงค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ	55
บทที่3 โปรแกรม SCE	
3.1 การทำงานของโปรแกรม	58
3.2 คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ที่จะใช้กับโปรแกรม	59
3.3 การติดตั้งโปรแกรม SCE	59
3.4 การเข้าโปรแกรม	60
3.5 การใช้งานโปรแกรม	60
3.6 การเก็บเพิ่มข้อมูล	71
3.7 การเปิดเพิ่มข้อมูล	72
3.8 การแสดงผลข้อมูลก่อนทำการพิมพ์	73
3.9 การพิมพ์ผลข้อมูล	74
3.10 การตั้งค่าเครื่องพิมพ์	78
3.11 การเริ่มชิ้นงานใหม่	79
3.12 การออกจากโปรแกรม	79
3.13 About	80
บทที่4 บทสรุปและวิเคราะห์	81
บรรณานุกรม	84
ภาคผนวก ก ตัวอย่างผลการใช้โปรแกรมคำนวณ	85
ภาคผนวก ข โปรแกรม SCE พร้อม Source Code และเพิ่มข้อมูล Presentation บรรจุใน Diskette	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ	5
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน	6
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน	7
ตารางที่ 2.4 ความคลาดเคลื่อนจากการตัดและเจาะวัสดุ	8
ตารางที่ 2.5 ความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งและประกอบเสาเหล็ก	9
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความยาวเสาสำหรับการยึดปลายแบบต่างๆ	13
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าโมเมนต์ที่เกิดกับเสาเอียง เมื่อมีการยึดปลายลักษณะต่างๆ	25
ตารางที่ 2.8 แสดงสมการหาค่า P_u/P_y ในกรณีที่มีเสามีการยึดปลายแบบต่างๆ	40
ตารางที่ 2.9 แสดงค่า k สำหรับหน้าตัดต่างๆ	45
ตารางที่ 2.10 แสดงคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงภาพเสาตามทฤษฎีของEuler	11
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะหน่วยแรงคดโค้งที่เกิดกับหน้าตัดเสา	14
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงผลการทดสอบเสาเมื่อเกิดหน่วยแรงคดโค้ง	15
รูปที่ 2.4 กราฟแสดง E_T ของเสา	15
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรง และความชะลูดของเสา เมื่อคำนึงถึงค่าTangent Modulus ที่เกิดจากหน่วยแรงคดโค้ง	16
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้กับการ โกงตัวของเสา	18
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดการ โกงงอของเสา	19
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าของ P/P_y เมื่อ มีการ โกงเริ่มต้น และหน่วยแรงคดโค้ง	21
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้ กับการ โกงตัวทางข้างของเสาเมื่อเสามีการ โกงงอเริ่มต้น	21
รูปที่ 2.10 แสดงเสารับแรงเยื้องศูนย์กลาง	22
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการเอียงของเสา และลักษณะ โมเมนต์ที่เกิดขึ้น	26
รูปที่ 2.12 แสดงผลรวมโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับเสา	27
รูปที่ 2.13 แสดงค่าคงที่การบิดเบี้ยว C_w ของหน้าตัดต่างๆ	42
รูปที่ 2.14 แสดงภาพเสา โทษตัวอย่าง	46
รูปที่ 2.15 แสดงขนาดหน้าตัดเสาที่เปลี่ยนแปลง	47
รูปที่ 2.16 แสดงการ โกงของเสาในระนาบ xz	47
รูปที่ 2.17 แสดงการ โกงของเสาในระนาบ yz	47
รูปที่ 2.18 แสดงการเอียงของเสาในระนาบ yz	48
รูปที่ 2.19 แสดงตำแหน่งรับแรงเยื้องศูนย์กลางของเสา	48
รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของโปรแกรม SCE	58
รูปที่ 3.2 แสดงโปรแกรม SCE	61
รูปที่ 3.3 แสดงส่วน Project Data	60
รูปที่ 3.4 แสดงส่วน Column Data	60
รูปที่ 3.5 แสดงการเลือกเสาจาก Combobox List of Column	62
รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนและเลือกลักษณะการยึดปลาย	62
รูปที่ 3.7 แสดงรูปลักษณะการยึดปลายที่เปลี่ยนไปตามที่ผู้ใช้กำหนด	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

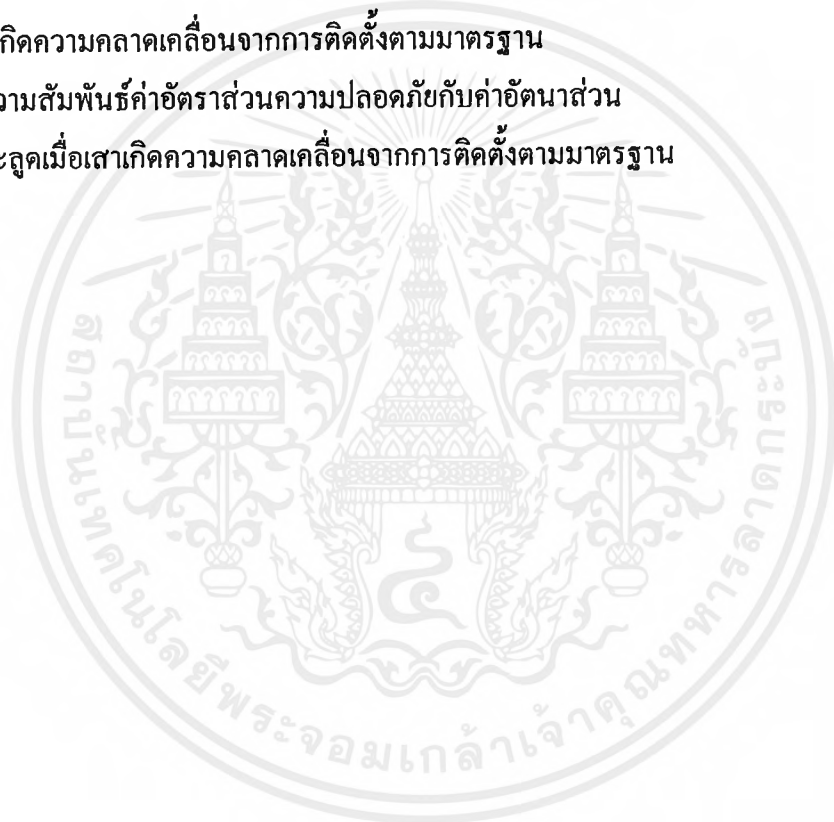
สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่3.8 แสดงส่วน Material Data	63
รูปที่3.9 แสดงการเลือก Typeเหล็กจาก Combobox	64
รูปที่3.10 แสดงกรณีผู้ใช้เลือกค่าเหล็กมาตรฐาน	64
รูปที่3.11 แสดงกรณีผู้ใช้เลือก User Data	65
รูปที่3.12 แสดงส่วน Section Data	65
รูปที่3.13 แสดงช่อง Use Standard และ Use user data	66
รูปที่3.14 แสดง Dialog Type of Section	66
รูปที่3.15 แสดงการเปลี่ยนหน้าตัดตามที่ใช้เลือก	67
รูปที่3.16 แสดงการเลือก Section จาก Database	67
รูปที่3.17 แสดงข้อมูลที่ Load จาก Database	68
รูปที่3.18 แสดงการแก้ไขข้อมูลในช่อง Correct	68
รูปที่3.19 แสดงการป้อนข้อมูลในกรณีเลือก Use user data	69
รูปที่3.20 แสดงส่วน Error of Erection	69
รูปที่3.21 แสดงข้อความเตือนในกรณีที่ข้อมูลที่ป้อนเกินค่ามาตรฐาน	70
รูปที่3.22 แสดงส่วน Result	70
รูปที่3.23 แสดงผลการคำนวณ	71
รูปที่3.24 แสดงการเลือก File แล้ว Save	71
รูปที่3.25 แสดงการ Safe โดยปุ่ม speed button	71
รูปที่3.26 แสดง Dialog Save	72
รูปที่3.27 แสดงการเลือก File แล้ว Open	72
รูปที่3.28 แสดงการ Open โดยปุ่ม speed button	72
รูปที่3.29 แสดง Dialog Open	73
รูปที่3.30 แสดงการเลือก File แล้ว Print preview	73
รูปที่3.31 แสดงการ Print preview โดยปุ่ม speed button	73
รูปที่3.32 แสดงหน้าจอ Print preview	75
รูปที่3.33 แสดงการเลือก File แล้ว Print	74
รูปที่3.34 แสดงการ Print โดยปุ่ม speed button	74
รูปที่3.35 แสดงตัวอย่างผลข้อมูล	76
รูปที่3.36 แสดงการเลือก File แล้ว Print Setup	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่3.37 แสดง Dialog Print setup	78
รูปที่3.38 แสดงการเลือก File แล้ว New	79
รูปที่3.39 แสดงการเลือก File แล้ว Exit	79
รูปที่3.40 แสดงการ Exit โดยปุ่ม speed button	79
รูปที่3.41 Dialog About	80
รูปที่4.1 กราฟความสัมพันธ์น้ำหนักที่เสารับได้กับค่าอัตราส่วนความชะลูด เมื่อเสากเกิดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งตามมาตรฐาน	82
รูปที่4.2 กราฟความสัมพันธ์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยกับค่าอัตราส่วน ความชะลูดเมื่อเสากเกิดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งตามมาตรฐาน	83



คำอธิบายสัญลักษณ์

A	= พื้นที่หน้าตัด
A_{net}	= พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
A_{los}	= พื้นที่หน้าตัดที่สูญเสียไป
b	= ความกว้างของชิ้นส่วน
C_c	= $\sqrt{2\pi^2 E / F_y}$
C_w	= ค่าคงที่การบิดเบี้ยวของหน้าตัด
e	= ระยะเยื้องศูนย์กลาง
E	= โมดูลัสยืดหยุ่น
E_T	= Tangent Modulus
E^{\wedge}	= P_E / P_t
F_{cr}	= หน่วยแรงวิกฤตที่ชิ้นส่วนของหน้าตัดเสาสามารถรับได้
F_t	= หน่วยแรงวิกฤตที่เสามาสามารถรับได้เมื่อคำนึงถึงหน่วยแรงคงค้าง
F_y	= หน่วยแรงที่จุดคราก
$F_{torsion}$	= หน่วยแรงวิกฤตที่เสามาสามารถรับได้ เมื่อคำนึงถึงการ โกงงอเนื่องจากการบิด
G	= โมดูลัสการเฉือน
I_x	= โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน X
I_y	= โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Y
I_{ps}	= โพลาร์โมเมนต์อินเนอร์เซีย เทียบกับจุดศูนย์กลางการเฉือน
J	= โมเมนต์อินเนอร์เซียของการบิด
K	= ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล
k	= ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการยึดปลายของชิ้นส่วน
L	= ความยาวเสา
$M_{primary}$	= Primary Moment
$M_{secondary}$	= Secondary Moment
M_n	= Moment ที่เสามาสามารถรับได้
M	= Moment ที่เกิดขึ้นกับเสา
P	= น้ำหนักที่กระทำต่อเสา
P_E	= น้ำหนักที่เสามาสามารถรับ ได้ตามทฤษฎีของ Euler
P_{cr}	= น้ำหนักวิกฤตที่เสามาสามารถรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

- P_t = น้ำหนักวิกฤตที่เสาสามารถรับได้ตามทฤษฎี Tangent Modulus
 P_y = $F_y \times A$
 r_e = รัศมีไจเรชั่นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด และการคดทั้งสองแกน
 r_t = รัศมีไจเรชั่นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด
 r_y = รัศมีไจเรชั่นรอบแกน Y
 r_x = รัศมีไจเรชั่นรอบแกน X
 r_{tb} = รัศมีไจเรชั่นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด และการคด
 r_{ps} = $\sqrt{I_{ps} / A}$
 S_y = ค่าโมดูลัสของหน้าตัดรอบแกน Y
 S_x = ค่าโมดูลัสของหน้าตัดรอบแกน X
 s = ระยะเยื้องของปลายเสา
 t = ความหนาของชิ้นส่วน
 ν = อัตราส่วนพิวซอง (Poisson's ratio)
 $W_{PER LENGTH}$ = น้ำหนักเสา/หน่วยความยาวที่แท้จริง kg/m
 y_0 = ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางการเฉือนทางแนวแกน Y
 x_0 = ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางการเฉือนทางแนวแกน X
 y = ระยะโค้งเมื่อเสารับน้ำหนัก
 λ = $\sqrt{P_y / P_E}$
 δ_0 = ระยะโค้งเริ่มต้นที่กลางเสา
 η^{\wedge} = $\delta_0 \cdot A / S$
 η^{\prime} = eA / S
 $\eta^{\prime\prime}$ = sA / S
 ρ = ความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาทำเสา kg/m³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในงานก่อสร้างอาคารที่มีการใช้เสาเหล็กรับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนต่างๆ มักจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นกับเสาเหล็กนั้น เช่น คุณภาพของวัสดุไม่ได้มาตรฐาน ความผิดพลาดจากการติดตั้ง ซึ่งผลที่ตามมาคือ ค่าความสามารถในการรับกำลังของเสาเหล็กนั้นลดลง แต่เนื่องจากการออกแบบโครงสร้างต่างๆ จะมีการใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) มาเพิ่มความสามารถในการรับกำลังของโครงสร้าง จึงทำให้เสาเหล็กยังสามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย ซึ่งแม้ว่าจะมีมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เป็นตัวควบคุมไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจนไม่ปลอดภัย แต่สำหรับผู้ควบคุมงานก่อสร้างก็ยังไม่สามารถมั่นใจได้ว่าความสามารถในการรับกำลังของเสาเหล็กหลังจากเกิดความคลาดเคลื่อนแล้วมีค่าเป็นเท่าใด มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลงเหลือเท่าไร ปลอดภัยพอหรือไม่ที่จะใช้งานเสาเหล็กนั้น เนื่องจากยังไม่ได้มีการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

จากปัญหาข้างต้นที่ได้กล่าวมานักศึกษาจึงได้จัดทำโครงการขึ้นเพื่อ

1.2.1 เพื่อแสดงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเหล็กเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

1.2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาที่สามารถรับได้จริงเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นกับกำลังการรับน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้ว่ายังสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยหรือไม่

1.2.3 เพื่อจัดทำ Program Computer สำหรับการวิเคราะห์กำลังการรับน้ำหนักของเสาที่สามารถรับได้จริงเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับกำลังการรับน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้ว่ายังสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยหรือไม่

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

กำลังการรับน้ำหนักที่ลดลงของเสาเหล็ก เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะวิเคราะห์หาโดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength) ซึ่งจะให้ได้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กที่จุดประลัย ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกำลังการรับน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้ในรูปอัตราส่วนจะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นมีผลให้เสาเหล็กยังสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยหรือไม่ และเพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติจึงได้จัดทำในรูปของ Program Computer เพื่อสะดวกในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ในการทำโครงการพิเศษได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

1.4.1 ศึกษาถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่มีผลกระทบต่อ กำลังการรับน้ำหนักของเสาเหล็กเดี่ยว

1.4.2 เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กที่สามารถรับได้จริง หลังจากเกิดความคลาดเคลื่อนกับกำลังรับน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้

1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

ในการทำโครงการพิเศษได้ใช้วิธีในการดำเนินโครงการดังนี้

1.5.1 ศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเหล็ก

1.5.2 รวบรวมข้อมูลของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับเสาเหล็ก ซึ่งมีผลกระทบกับกำลังของเหล็ก

1.5.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อน และกำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กที่สามารถรับได้จริงหลังจากเกิดความคลาดเคลื่อน

1.5.4 นำข้อมูลที่ทำมาจัดทำ Program Computer เพื่อใช้ในการหาค่ากำลังการรับน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้ว่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ในการทำโครงการพิเศษคาดว่าจะได้รับผลดังนี้

1.6.1 ทำให้ทราบถึงความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก

1.6.2 โปรแกรม SCE ทำให้วิศวกรสนามสามารถตัดสินใจยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดกับเสาเหล็กได้ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างอาคารมีความปลอดภัยในการใช้งาน

บทที่ 2

ทฤษฎีการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาที่เกิดความคลาดเคลื่อน

ปกติเมื่อเสาต้องรับน้ำหนักหรือแรงกดอัด เสาจะเกิดการโก่งตัวเนื่องจากโมเมนต์ดัด เมื่อน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น เสาจะโก่งตัวมากขึ้นตามลำดับ หากหน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของเสายังไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ขีดจำกัดยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ เมื่อลดน้ำหนักที่กระทำ เสาจะค่อยๆคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม แต่หากเสาต้องรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงน้ำหนักวิกฤต นั่นคือหน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของเสา มีค่าอย่างน้อยเท่ากับหน่วยแรงวิกฤต (Critical Stress) เสาจะเริ่มสูญเสียความมีเสถียรภาพและจะเริ่มเกิดวิบัติ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการวิบัติแบบ โค้งโก่งเคาะที่เกิดจากการดัด (Flexural Buckling)

2.1 ปัจจัยที่มีผลให้กำลังรับน้ำหนักของเสาน้อยลง

2.1.1 คุณสมบัติของเหล็กที่ใช้ (Material Properties) ค่าหน่วยแรงที่จุดคราก (Yield Strength, F_y) และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E) จะเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากสำหรับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสา ในเสาสั้นค่ากำลังของเสาจะขึ้นอยู่กับ F_y โดยตรงสำหรับเสายาว ค่า F_y จะมีบทบาทต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาน้อยลงเพราะกำลังของเสายาวจะขึ้นอยู่กับรูปของความแข็งแรง (Stiffness) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของโมดูลัสยืดหยุ่น (E)

2.1.2 วิธีการผลิตเสา (Manufacturing Method) กรรมวิธีในการทำวัสดุที่นำมาทำเสา ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา เนื่องจากมีผลกระทบจากหน่วยแรงคงค้าง (Residual Stress) ในหน้าตัดเสานั้นซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความร้อนที่ให้กับวัสดุ ลักษณะของหน้าตัด การเชื่อมต่อ การตัดชิ้นส่วน ตลอดจนลักษณะการควบคุมการเย็นตัวของวัสดุเมื่อหลอมเหล็ก เชื่อมเหล็ก ตัดเหล็ก ล้วนแต่มีผลต่อการทำให้เกิดหน่วยแรงคงค้างทั้งสิ้น

2.1.3 รูปร่างของหน้าตัดเสา (Shape of Cross Section) ขนาดของรูปร่างหน้าตัดของเสาจะมีผลต่อการรับน้ำหนักของเสา เพราะเสาที่มีขนาดพื้นที่มากกว่า ย่อมสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าเสาที่มีหน้าตัดน้อยกว่าเมื่อเสาเหล็กสามารถรับหน่วยแรงได้เท่ากัน รวมทั้งรูปร่างหน้าตัดจะมีผลต่อการเกิดหน่วยแรงคงค้าง (Residual stress) โดยหน้าตัดที่มีความหนาแน่นมากมักจะเกิดหน่วยแรงคงค้างมากกว่าหน้าตัดที่บาง เนื่องจากการคายความร้อนของเหล็กเมื่อหลอมเสร็จไม่สม่ำเสมอจนตลอด ทั้งหน้าตัด รูปร่างหน้าตัดจะมีผลต่อค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย (Moment of Inertia, I) ซึ่งถ้าหน้าตัดมีความลึกมากก็จะมีค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียมากตามไปด้วย

2.1.4 ความยาว (Length) ความยาวของเสาเป็นปัจจัยสำคัญของกำลังรับน้ำหนักของเสาดัวหนึ่ง กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาตลอดจนลักษณะของการวิบัติ ขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของเสาระหว่างจุดยึดที่รองรับหรือค้ำยันเป็นส่วนใหญ่ ที่มีเรียกในพจน์ของความชะลูดของเสา (Slenderness) กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาที่มีความยาวน้อยหรือที่เรียกว่าเสาสั้น สามารถรับน้ำหนักได้จนกระทั่งหน่วยแรงอัดวิกฤตที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของเสามีค่าเท่ากับหน่วยแรงที่จุดคราก การวิบัติของเสาสั้นเป็นลักษณะที่รูปตัดของเสาถูกกดอัดจะบิดบีบเบี้ยวและเสียรูป (Crushing) โดยทั่วไปถือว่าหน่วยแรงอัดวิกฤตบนหน้าตัดเท่ากับหน่วยแรงที่จุดคราก

เสาที่มีความยาวปานกลาง (Intermediate Column) การวิบัติจะเป็นลักษณะของการโก่งคาะจากแรงดัดในช่วงอินอีลาสติก (Inelastic Buckling) โดยหน่วยแรงอัดวิกฤตที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดมีค่าสูงเกินกว่าหน่วยแรง ที่ขีดพิักัดขีดหุ่่นของวัสดุ ซึ่งบางส่วนของหน้าตัดอาจต้องรับหน่วยแรงอัดวิกฤตสูงถึงหน่วยแรงที่จุดคราก แต่บางส่วนของหน้าตัดอาจรับหน่วยแรงอัดวิกฤตไม่ถึงจุดคราก

เสายาว (Long Column) การวิบัติจะเป็นลักษณะของการโก่งคาะจากแรงดัดในช่วงอีลาสติก (Elastic Buckling) โดยหน่วยแรงอัดวิกฤตที่เกิดขึ้นตลอดหน้าตัดมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ขีดพิักัดขีดหุ่่น (Proportional Limit) ของวัสดุ

2.1.5 การโก่งงอเริ่มแรกของเสา (Initial Out-of-Straightness) การโก่งงอของวัสดุที่นำมาทำเสาจะส่งผลทำให้เกิด โมเมนต์ดัดขึ้นเมื่อเสารับน้ำหนัก ซึ่งส่งผลให้กำลังการรับน้ำหนักของเสาลดลงซึ่งค่าการโก่งงอเริ่มต้นนี้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1227-2537 และ มอก.1308-2538) จะกำหนดให้มีค่าไม่เกิน $L/1000$ เมื่อ L คือความยาวของเสา

2.1.6 การรับแรงเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Axial load) การที่เสาจะรับแรงเยื้องจากศูนย์กลางจะทำให้เสานั้นเกิด โมเมนต์ดัดขึ้นซึ่ง จะส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักของเสาลดลง

2.1.7 ลักษณะการยึดปลายเสา (End support conditions) ลักษณะการยึดปลายเสาจะมีผลต่อค่าความยาวประสิทธิผล (Effective Length) ของเสา

2.2 ค่ามาตรฐานความคลาดเคลื่อนของเสาเหล็ก

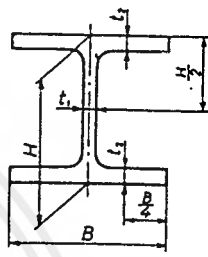
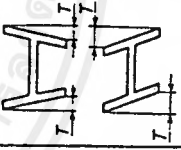
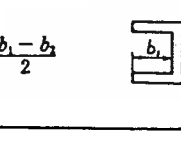

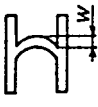
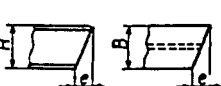
2.2.1 ความคลาดเคลื่อนจากการผลิต ในประเทศไทยมีการควบคุมโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) มีการกำหนดความคลาดเคลื่อนในส่วนต่างๆ ที่ยอมให้ อาทิ มิติ ความโค้ง ความได้ฉาก ของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเชื่อมประกอบ และเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนหน้าตัดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1 ถึงตารางที่ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ (มอก. 2538 [10])

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
ความกว้าง (B) และความสูง (H)		± 1.5	
ความหนา (t)	3.15 ถึงน้อยกว่า 4.0	± 0.24	
	4.0 ถึงน้อยกว่า 5.0	± 0.45	
	5.0 ถึงน้อยกว่า 6.30	± 0.50	
	6.30 ถึงน้อยกว่า 16.0	± 0.55	
	16.0 ถึงน้อยกว่า 25.0	± 0.65	
	25.0 ถึงน้อยกว่า 40.0	± 0.70	
	40.0 ถึงน้อยกว่า 63.0	± 0.80	
ความยาว		+ ไม่จำกัด 0	
ความโค้ง	H ไม่เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของความยาวทั้งหมด	
	H เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 0.1 ของความยาวทั้งหมด	
ความได้ฉาก (T)	H ไม่เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 1.0 ของความกว้าง(B) และต้องไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร	
	H เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 1.2 ของความกว้าง (B)	
ระยะเยื้องศูนย์กลาง (เฉพาะรูปตัวเอส) (s)		± 2.0	$S = \frac{b_1 - b_2}{2}$
ความได้ฉากของปลายตัด (e)		ไม่เกินร้อยละ 1.6 ของความกว้าง(B)หรือความสูง (H) และต้องไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร	

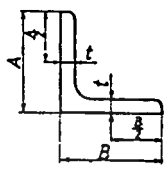
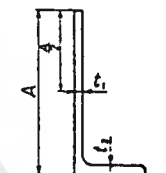
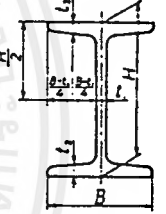
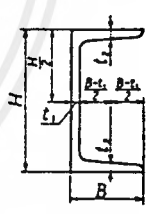
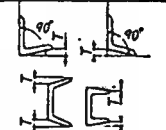

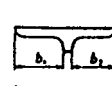
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนหน้าตัดปีกกว้าง (มอก., 2537 [9])

		หน่วยเป็นมิลลิเมตร		
		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	หมายเหตุ	
H	น้อยกว่า 400	+ 2.0		
	400 ถึงน้อยกว่า 600	+ 3.0		
	600 และมากกว่า	+ 4.0		
B	น้อยกว่า 100	+ 2.0		
	100 ถึงน้อยกว่า 200	+ 2.5		
	200 และมากกว่า	+ 3.0		
ความหนา (t ₁ , t ₂)	t ₁	น้อยกว่า 16		+ 0.7
		16 ถึงน้อยกว่า 25		+ 1.0
		25 ถึงน้อยกว่า 40		+ 1.5
	t ₂	น้อยกว่า 16		+ 1.0
		16 ถึงน้อยกว่า 25	+ 1.5	
		25 ถึงน้อยกว่า 40	+ 1.7	
ความยาว	ไม่เกิน 7 เมตร	+ 40		
	เกิน 7 เมตร	ส่วนเกิน 40 มิลลิเมตร บวก 5 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความยาว 1 เมตรที่มากกว่า 7 เมตร ส่วนขาด ไม่มี		
ความโค้งจาก (T)	H ไม่เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 1.0 ของมิติ B และต้องไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร		
	H เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 1.2 ของมิติ B และต้องไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร		
ความโก่ง	H ไม่เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 0.15 ของความยาว		
	H เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 0.10 ของความยาว		
ระยะเยื้องศูนย์กลาง (S)	H ไม่เกิน 300 และ B ไม่เกิน 200	+ 2.5	$S = \frac{b_1 - b_2}{2}$ 	
	H เกิน 300 และ B เกิน 200	+ 3.5		
ความเว้าของลำตัว (concavity of web) (W)	H	น้อยกว่า 400	2.0	
		400 ถึงน้อยกว่า 600	2.5	
		600 และมากกว่า	3.0	
ความโค้งจากของปลายตัด (squareness of cut end) (e)		ไม่เกินร้อยละ 1.6 ของมิติ B หรือ H และต้องไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนหน้าตัดเหล็กฉาก เหล็กรูปตัวไอ เหล็กรูปรางน้ำและเหล็กรูปตัวที (มอก. 2537 [9])


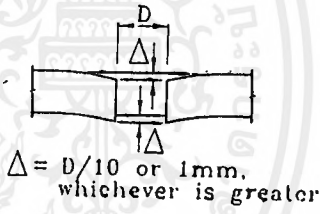
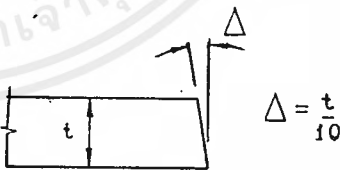
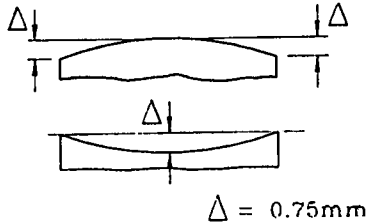
หน่วยเป็นมิลลิเมตร

		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	หมายเหตุ	
A หรือ B	น้อยกว่า 50	+ 1.5		
	50 ถึงน้อยกว่า 100	+ 2.0		
	100 ถึงน้อยกว่า 200	+ 3.0		
	200 และมากกว่า	+ 4.0		
H	น้อยกว่า 100	+ 1.5		
	100 ถึงน้อยกว่า 200	+ 2.0		
	200 ถึงน้อยกว่า 400	+ 3.0		
	400 และมากกว่า	+ 4.0		
ความหนา (t หรือ t ₁ , t ₂)	H ไม่เกิน 130	น้อยกว่า 6.3	+ 0.6	
		6.3 ถึงน้อยกว่า 10	+ 0.7	
		10 ถึงน้อยกว่า 16	+ 0.8	
		16 และมากกว่า	+ 1.0	
	H เกิน 130	น้อยกว่า 6.3	+ 0.7	
		6.3 ถึงน้อยกว่า 10	+ 0.8	
H เกิน 130	10 ถึงน้อยกว่า 16	+ 1.0		
	16 ถึงน้อยกว่า 25	+ 1.2		
ความยาว	ไม่เกิน 7 เมตร	+ 40		
	เกิน 7 เมตร	0		
ความได้ฉาก (squareness) (T)	เหล็กรูปตัวไอ	ส่วนเกิน 40 มิลลิเมตร บวก 5 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความยาว 1 เมตรที่มากกว่า 7 เมตร		
	เหล็กฉากและเหล็กรูปรางน้ำ	ส่วนขาด ไม่มี		
ความโค้ง (bend)	เหล็กรูปตัวไอและตัวที	ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของความยาว		
	เหล็กฉากและเหล็กรูปรางน้ำ	ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของความยาว		
ระยะเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity) (S)	เหล็กรูปตัวที	+ 3.0	$s = \frac{b_1 - b_2}{2}$ 	

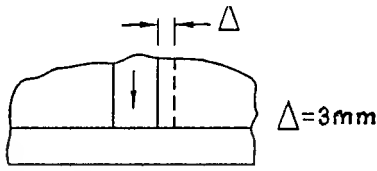
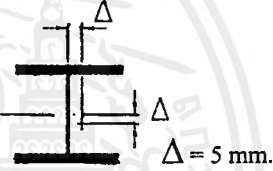
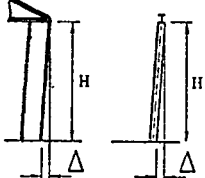
2.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งของเสาเหล็ก อ้างอิงมาตรฐาน British Standard Institution (BS5950)

ค่าความคลาดเคลื่อนของการตัดและเจาะวัสดุ การติดตั้งและประกอบเสาเหล็กแสดงในตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ความคลาดเคลื่อน จากการตัดและเจาะวัสดุ อนุญาตให้ระยะคลาดเคลื่อนไม่เกินระยะ Δ คัดแปลงจาก (Graham et al , 1994 [4])

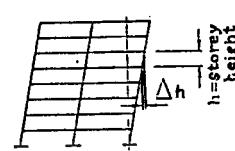
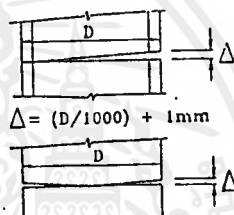
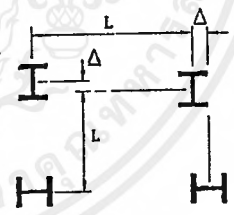
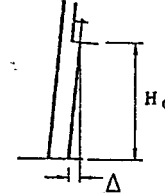
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของรูเจาะ</p>	 <p>$\Delta = 2\text{mm}$</p>
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของการเจาะทะลุ การบิดเบี้ยวซึ่งมีสาเหตุมาจากการเจาะทะลุ</p>	 <p>$\Delta = D/10 \text{ or } 1\text{mm, whichever is greater}$</p>
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของการตัดหรือเอียงของปลาย Plate หรือเหล็กฉาก</p>	 <p>$\Delta = \frac{t}{10}$</p>
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของความราบเรียบของจุดที่รับแรงกดเมื่อวัดจากแนวตรง อนุญาตให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.75 mm. ต่อความยาว 1 เมตร</p>	 <p>$\Delta = 0.75\text{mm}$</p>

ตารางที่ 2.5 ความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งและประกอบเสาเหล็ก อนุญาตให้ระยะคลาดเคลื่อนไม่เกิน Δ ดังแสดงจาก (Graham et al , 1994 [4])

<p>ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของการติดตั้งส่วนประกอบที่รับแรงของโครงสร้าง</p>	
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งฐานเสาต้นแรก ที่อนุญาตให้คลาดเคลื่อนได้จากแนวกลาง</p>	
<p>ระยะคลาดเคลื่อน โดยรวมตลอดความสูงของเสา เมื่อ $L < 30$ เมตร แล้ว $\Delta = 20$ mm. เมื่อ $L > 30$ เมตร แล้ว $\Delta = 20$ mm. + $0.25(L-30)$ mm. โดย L = ความยาวเสาโดยรวมตลอดอาคาร</p>	
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของการลัด หรือ เฉลี่ยของเสาชั้นเดียว เมื่อวัดจากยอดเสา เทียบกับที่ฐาน</p>	 <p>$\Delta = \pm H/600$ or 5mm whichever is greater Max = ± 25mm</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

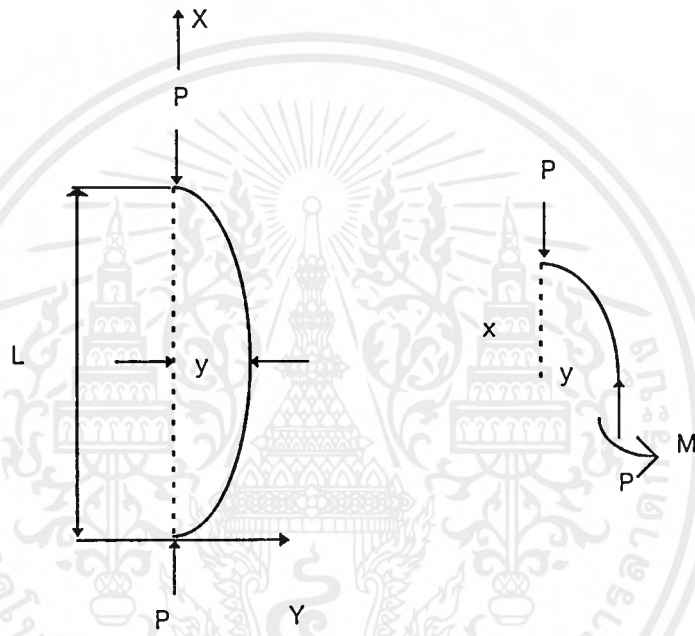
ตารางที่ 2.5 (ต่อ) ความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งและประกอบเสาเหล็ก อนุญาตให้ระยะคลาดเคลื่อนไม่เกิน Δ ดังแสดงจาก (Graham et al, 1994 [4])

<p>ระยะคลาดเคลื่อนการลัด หรือ เจตุนย์ของเสา อาคารหลายชั้น ค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละชั้น และค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมเมื่อเทียบกับที่ฐาน</p>	 <p>$\Delta h = h/600$ or 5mm whichever is greater</p>
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของช่องว่างระหว่างพื้นผิวรับแรงกด</p>	 <p>$\Delta = (D/1000) + 1\text{mm}$</p>
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของแนวเสา เมื่อเทียบกับเสา อีกต้นหนึ่งที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน</p>	 <p>$\Delta = 5\text{mm}$</p>
<p>ระยะคลาดเคลื่อนของการลัด หรือ เจตุนย์ของเสารองรับคาน</p>	 <p>$\Delta = \pm H_c/1000$ or 5mm whichever is greater Max $= \pm 25\text{mm}$</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีกำลังรับน้ำหนักของเสา

น้ำหนักวิกฤตของเสายาวหรือน้ำหนักของออยเลอร์ (Euler Critical Load) เมื่อปีค.ศ. 1757 Leonhard Euler ได้เสนอวิธีพิจารณากำลังรับน้ำหนักของเสาโดยสมมติว่า เสามีแนวตรงและรับน้ำหนักหรือแรงอัดตามแนวแกนไม่เอียงศูนย์ (Axially loaded column) เสานี้มีหน้าตัดสม่ำเสมอและทำด้วยวัสดุเนื้อเดียวกันตลอดความยาวเสา ที่ปลายทั้งสองข้างของเสามีที่รองรับแบบยึดหมุน (Pin-Ended) ถ้าให้ E เป็นโมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus) ของวัสดุ I เป็นโมเมนต์อินเนอร์เซีย (Moment of inertia) ของรูปตัดรอบแกนที่รับโมเมนต์ดัด และ L เป็นความยาวของเสา การวิเคราะห์แบบอิลาสติกเพื่อหา น้ำหนักวิกฤต (P_c) ที่ทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัด ทำได้ดังต่อไปนี้ ตั้งแกน X และ Y ดังรูป



รูปที่ 2.1 แสดงภาพเสาดังตามทฤษฎีของ Euler (ทักษิณ เทพชาติ 2539 [6])

เมื่อเสารับน้ำหนักถึง P_c สมมติให้เสาโก่งตัวดังรูปที่ 2.1 ได้สมการเส้นโค้งอิลาสติกของ Euler ดังสมการ(2.1)

$$EI \left[\frac{d^2 y}{dx^2} \right] = -P_e y \quad (2.1)$$

หรือ $\frac{d^2 y}{dx^2} + P_e y / EI = 0$

เมื่อให้ $k^2 = P_e / EI$

ดังนั้น $\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 y = 0 \quad (2.2)$

ทำการแก้สมการ โดยสมมติให้เป็นคำตอบเป็น $y = e^{mx}$ เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการ (2.2) แก้สมการหาค่า y ได้

$$y = A \sin kx + B \cos kx \quad (2.3)$$

ที่ $x=0, y=0$ ได้ $B=0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $y = A \sin kx$

ที่ $x=L, y=0$ ได้ $A \sin kL = 0$

ความสัมพันธ์นี้อาจจะได้ว่า $A = 0$ หรือ $\sin kL = 0$ ซึ่งต้องพิจารณาได้ดังนี้
ถ้า $A = 0$ แสดงว่าเมื่อเสารับน้ำหนัก เสาไม่มีการโก่งงอเลย (ซึ่งเป็นไปไม่ได้)

ดังนั้น $\sin kL = 0$ ซึ่งจะได้ว่า $kL = n\pi$ (เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$)

แต่จากที่สมมุติให้ $k^2 = P_E/EI$ ดังนั้น น้ำหนักวิกฤต

$$P_E = (n^2 \pi^2 EI) / L^2$$

และค่าการโก่งของเสาจะมีค่าดังสมการ(2.4)

$$y = A \sin((n \pi x) / L) \tag{2.4}$$

น้ำหนักบรรทุกที่น้อยสุดที่ทำให้เสาโก่งเดาะ เกิดเมื่อ $n = 1$ ดังนั้นน้ำหนักวิกฤตจะมีค่าดังสมการ(2.5)

$$P_E = (\pi^2 EI) / L^2 \tag{2.5}$$

เรียกสมการ (2.5) ว่า สมการของ ออยเลอร์ (Euler) น้ำหนักวิกฤตที่ได้จากสมการ(2.5) คือน้ำหนักของออยเลอร์ (Euler Load)

ถ้าเสามีพื้นที่หน้าตัด A และ $I = Ar^2$ ดังนั้นหน่วยแรงอัดวิกฤตเฉลี่ยจะมีค่าดังสมการ(2.6)

$$P_E/A = (\pi^2 E) / (L/r)^2 \tag{2.6}$$

ค่าของ L/r เรียกว่า อัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) ของเสา

จากค่าของน้ำหนักวิกฤตที่ได้ จะเห็นว่าเมื่อเสามีความยาวเท่ากัน กำลังรับน้ำหนักของเสาขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงของวัสดุ (EI) และถ้าใช้วัสดุอย่างเดียวกันจะเห็นว่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเป็น สัดส่วนโดยตรงกับค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) ของรูปตัด

โดยทั่วไป รูปตัดของเสาเหล็กรูปพรรณมีค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกนที่ตั้งฉากกันสองค่า คือ โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกนหลัก X เรียกว่า I_x ซึ่งมีค่ามาก และรอบแกนรอง Y เรียกว่า I_y ซึ่งมีค่าน้อย ดังนั้น เสาที่ถูกยึดปลายทั้งสองข้าง การโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัดจะเกิดรอบแกน Y เสมอเพราะค่า โมเมนต์อินเนอร์เซียที่น้อยที่สุด นั่นคือ กำลังรับน้ำหนักของเสา เท่ากับ $\pi^2 EI_y/L^2$ แต่หากทำค้ำยัน ระหว่างช่วงเสาในทิศที่ตั้งฉากกับแกน Y ซึ่ง เป็นการลดความยาวของการโก่งเดาะทางแกน Y ให้น้อยลง กำลังรับน้ำหนักของเสาก็จะเพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นผู้ออกแบบสามารถเลือกระยะค้ำยันที่เหมาะสม ที่จะทำให้อัตราส่วนความชะลูดทั้งสองแกน (แกน X และแกน Y) มีค่าเท่ากันได้

จากการทดลองพบว่า สมการออยเลอร์ให้ค่าคาดหมายกำลังรับน้ำหนักของเสาได้เฉพาะเสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดมากๆ (หรือเสายาวนั่นเอง)และเป็นการโก่งเดาะในช่วงอิลาสติกทั้งสิ้น โดยมีหน่วยแรงอัดวิกฤตที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดเสาไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ขีดพิทักยึดหยุ่นของวัสดุ

ถ้าให้ F_p เป็นหน่วยแรงที่ขีดพิทักยึดหยุ่นของวัสดุ ดังนั้น จะได้พิทักต่ำสุดของอัตราส่วนความชะลูดที่เสาจะเกิดการโก่งเดาะในช่วงอิลาสติกคือ $L/r = (\pi^2 E/F_p)^{1/2}$ นั่นคือ เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเกินกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านี้ เสาจะโก่งเคาะในช่วงอีลาสติก หรือในทำนองกลับกันเมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดต่ำกว่าค่านี้ เสาจะโก่งเคาะในช่วงอินอีลาสติก

2.4 ความยาวประสิทธิผลของเสา (Effective Length of Columns)

ลักษณะของการบิดปลายเสาส่งผลทำให้ค่าความยาวประสิทธิผลของเสาเปลี่ยนแปลงไป โดยค่าความยาวประสิทธิผลของเสาแสดงได้ดังนี้

$$\text{ความยาวประสิทธิผล} = KL$$

เมื่อ K = ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการยึดปลายเสาดังตารางที่ 2.6

$$L = \text{ความยาวของเสา}$$

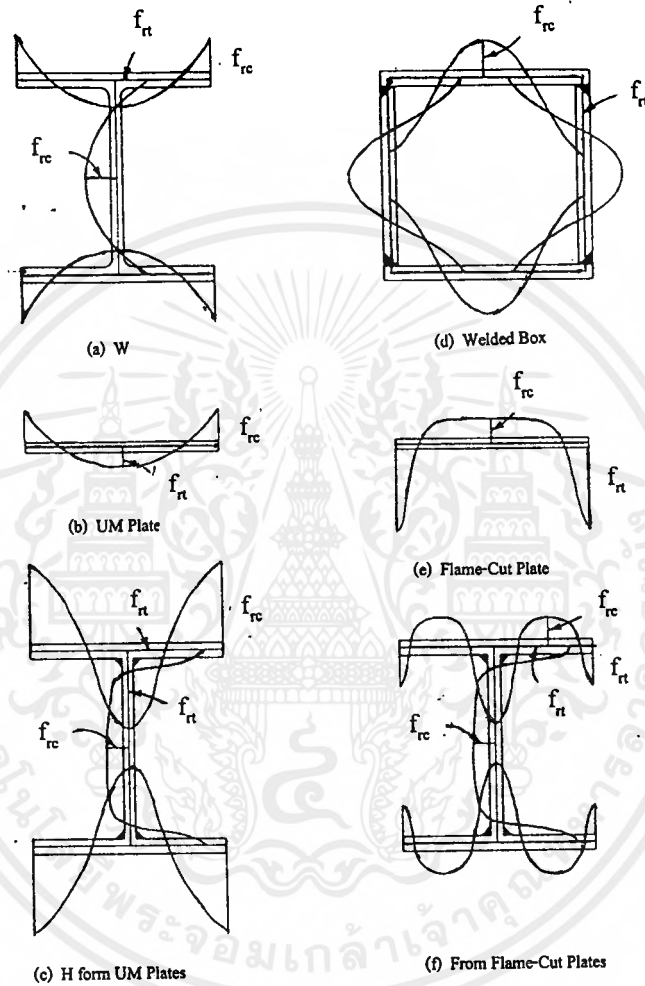
ตาราง 2.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความยาวเสาดำหรับการยึดปลายแบบต่างๆ (ทักษิณ เทพชาตรี 2539 [6])

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
ลักษณะการโค้งงอของเสาแสดงโดยเส้นประ						
ค่า K (ทฤษฎี)	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K (ออกแบบ)	0.65	0.8	1:2	1.0	2.1	2.0
สัญลักษณ์ของการยึดปลาย		การหมุนที่ปลายเสา		การเคลื่อนที่ของปลายเสา		
		ไม่มี		ไม่มี		
		มี		ไม่มี		
		ไม่มี		มี		
	มี		มี			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กเมื่อเกิดหน่วยแรงคงค้าง (Residual Stress)

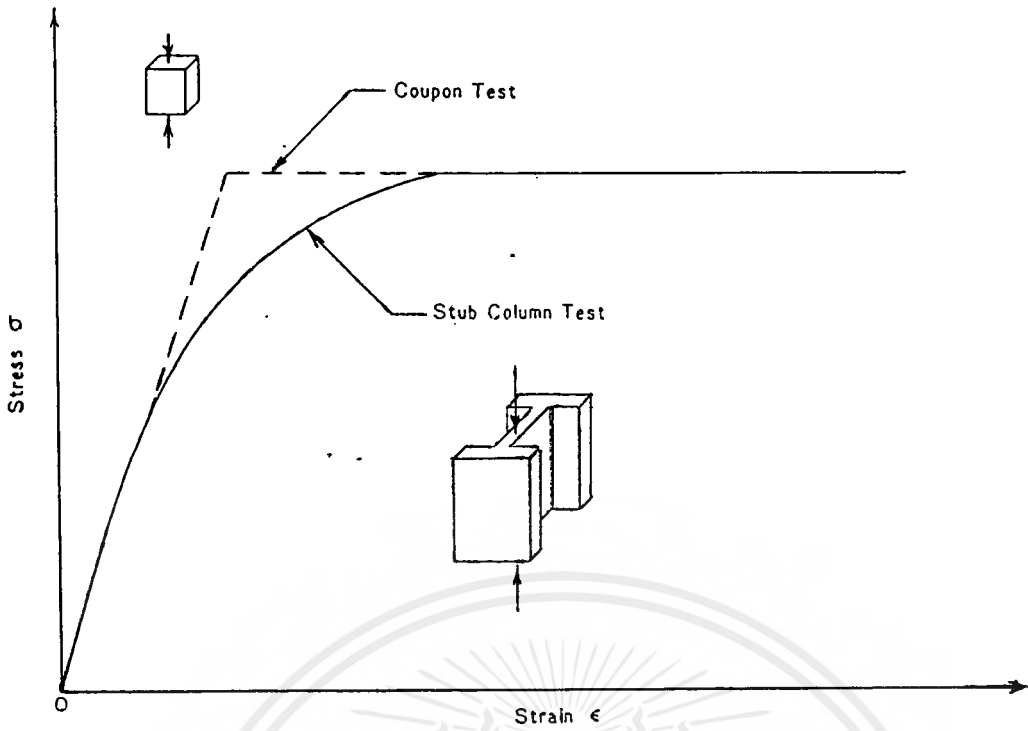
กระบวนการผลิตวัสดุที่จะนำมาทำเสาเหล็กต่าง ๆ นั้นจะส่งผลให้เกิดหน่วยแรงคงค้าง (Residual Stress) ขึ้นกับหน้าตัดเสาเหล็ก ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ลักษณะหน้าตัด วิธีการผลิต และการควบคุมการผลิต เป็นต้น ซึ่งหน่วยแรงคงค้างจะมีทั้งค่าที่เป็นแรงดึงและแรงอัด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะหน่วยแรงคงค้างที่เกิดกับหน้าตัดเสา (Edwin et al, 1992 [3])

จากการทดลองนำชิ้นส่วนมาทำการรับแรงอัด โดยใช้ชิ้นตัวอย่างลักษณะบาง (Coupon) ซึ่งมีค่าหน่วยแรงคงค้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดกับเสาตัวอย่างเหล็กปีกกว้าง (Stub Column) ซึ่งมีค่าหน่วยแรงคงค้าง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

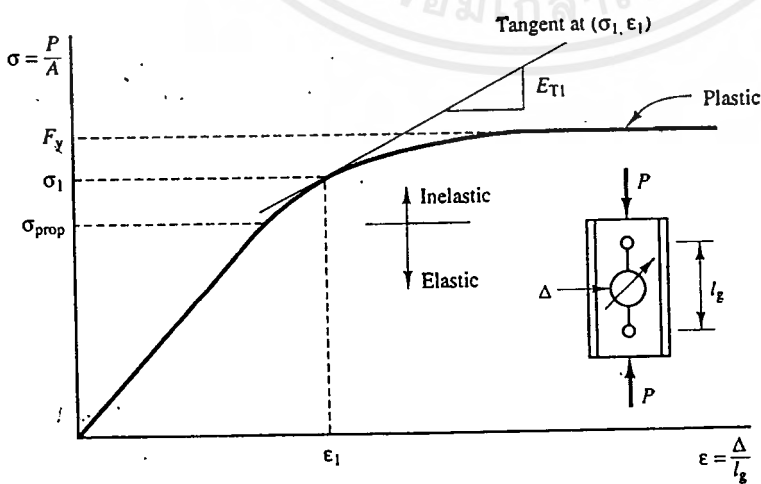


รูปที่ 2.3 กราฟแสดงผลการทดสอบเสาเมื่อเกิดหน่วยแรงคงค้าง (LUI & CHEN, 1984 [2])

จะเห็นว่าค่าหน่วยแรงคงค้าง (Residual Stress) จะมีผลทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงได้มีการวิเคราะห์หาหน้าตัดของเสาโดยใช้ทฤษฎีโมดูลัสสัมผัส (Tangent Modulus, E_T)

ทฤษฎีโมดูลัสสัมผัส อาศัยสมมติฐานว่า เสาจะยังไม่โค้งตัวจนกว่าจะรับน้ำหนักถึงน้ำหนักวิกฤต และในขณะที่เสาเกิดการโก่งเดาะ หน่วยแรงอัดวิกฤตในเสาให้เป็นไปตามค่าโมดูลัสสัมผัส E_T

ค่าโมดูลัสสัมผัส E_T เป็นค่าความชันของจุดต่างๆบนเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับการหดตัวมีค่าเท่ากับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E เมื่อหน่วยแรงอัดเท่ากับหน่วยแรงที่ ชิดพิคัดยืดหยุ่น และมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อหน่วยแรงอัดเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งเป็นศูนย์ที่จุดคราก ดังรูปที่ 2.4



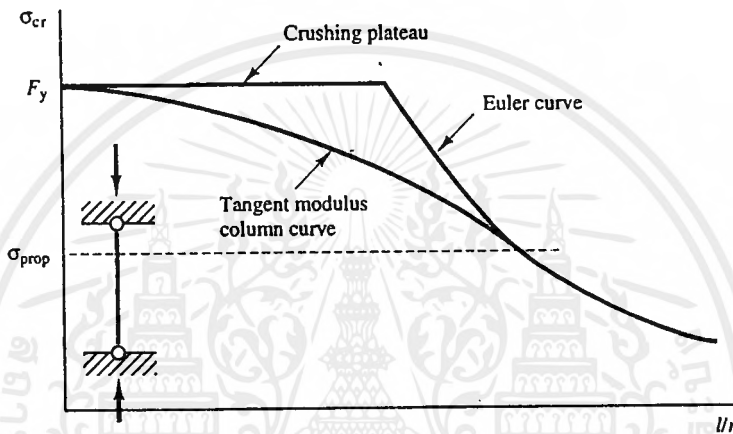
รูปที่ 2.4 กราฟแสดง E_T ของเสา (Louis et al ,1994 [5])

Engesser ได้ทำกำลังรับน้ำหนักของเสาโดยใช้สมการออยเลอร์ แต่แทนค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E ด้วยค่าโมดูลัสสัมผัส E_T ดังสมการ (2.7)

เมื่อกำลังรับน้ำหนักวิกฤต

$$P_{cr} = P_i = \pi^2 E_T I / L^2 \quad (2.7)$$

ในปี ค.ศ. 1960 เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน Column Research Council (CRC) ได้กำหนดสูตรขึ้นโดยอ้างอิงผลจากการทดสอบเสา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชะลุดในแนวแกน X และหน่วยแรงในแนวแกน Y ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรง และความชะลุดของเสาเมื่อคำนึงถึงค่า Tangent Modulus ที่เกิดจากหน่วยแรงคงค้าง (Louis et al ,1994 [5])

ทำให้ได้สมการ (2.8) และสมการ (2.9) ซึ่งคำนึงถึงผลกระทบจากค่าหน่วยแรงคงค้าง เป็นรูปของสมการพาราโบลา โดยมีจุดยอดของกราฟ พาราโบลาอยู่ที่ $F_i = F_y$ และสัมพันธ์กับกราฟสมการของ Euler ที่จุด $F_i = F_y/2$ ดังการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาดังนี้

$$F_i = F_y [1 - (KL/r)^2 / 2C_c^2] \quad \text{เมื่อ} \quad KL/r \leq C_c \quad (2.8)$$

$$F_i = \pi^2 E / (KL/r)^2 \quad \text{เมื่อ} \quad KL/r > C_c \quad (2.9)$$

โดยที่ F_i = หน่วยแรงวิกฤตที่เสาสามารถรับได้เมื่อคำนึงถึงหน่วยแรงคงค้าง

F_y = หน่วยแรงที่จุดคราก

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

และ กำลังรับน้ำหนักเมื่อคำนึงถึงหน่วยแรงคงค้าง มีค่าเท่ากับ $P = F_i \times$ พื้นที่หน้าตัดเสา

$$\begin{aligned} \text{กำหนด } \lambda &= \sqrt{P_y/P_E} \\ &= \sqrt{\{F_y A\} / \{\pi^2 EI / (KL)^2\}} \\ &= \sqrt{\{F_y / (\pi^2 E)\} \times \{(KL)^2 / (IA)\}} \end{aligned}$$

$$\text{จาก } r = \sqrt{I/A}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้ } \lambda &= \sqrt{\{F_y / (\pi^2 E)\} \times \{(KL/r)^2\}} \\ &= (1/\pi) (\sqrt{\{F_y/E\}}) \times (KL/r) \end{aligned}$$

เมื่อ $\lambda \leq \sqrt{2}$ หรือ $P_t/P_y \geq 0.5$

$$\text{ได้ } KL/r \leq C_c$$

$$\text{ดังนั้น } F_t = F_y [1 - (KL/r)^2 / 2C_c^2]$$

คูณด้วย A (พื้นที่หน้าตัด) ทั้งสองข้างของสมการ

$$F_t A = (F_y A) [1 - (KL/r)^2 / 2C_c^2]$$

เนื่องจาก $P_t = F_t A$ และ $P_y = F_y A$ ดังนั้น

$$P_t = P_y [1 - (KL/r)^2 / 2C_c^2]$$

$$P_t/P_y = [1 - (KL/r)^2 / 2C_c^2]$$

$$\text{แทนค่า } C_c = \sqrt{2\pi^2 E / F_y}$$

$$\text{ได้ } P_t/P_y = [1 - (KL/r)^2 / \{2(\sqrt{2\pi^2 E / F_y})^2\}]$$

$$\text{จาก } \lambda = (1/\pi) (\sqrt{\{F_y/E\}}) (KL/r)$$

$$\text{ได้ } P_t/P_y = 1 - 0.25\lambda^2$$

$$\text{หรือ } P_y/P_t = 4 / (4 - \lambda^2)$$

(2.10)

สมการ(2.10) แสดงถึงอัตราส่วนของแรงที่จุดครากต่อแรงเนื่องจากTangent Modulusเมื่อ $\lambda \leq \sqrt{2}$

เมื่อ $\lambda > \sqrt{2}$ หรือ $P_t/P_y < 0.5$

$$\text{ได้ } KL/r > C_c$$

$$\text{ดังนั้น } F_t = \pi^2 E / (KL/r)^2$$

คูณด้วย $1/F_y$ ทั้งสองข้างของสมการ

$$F_t / F_y = \pi^2 E / \{F_y (KL/r)^2\}$$

เนื่องจาก $F_t / F_y = P_t / P_y$ ดังนั้นได้

$$P_t / P_y = \pi^2 E / \{F_y (KL/r)^2\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $\lambda = (1/\pi) \sqrt{F_y/E} (KL/r)$ แทนค่าในสมการ

$$\lambda^2 = (1/\pi)^2 (F_y/E) (KL/r)^2$$

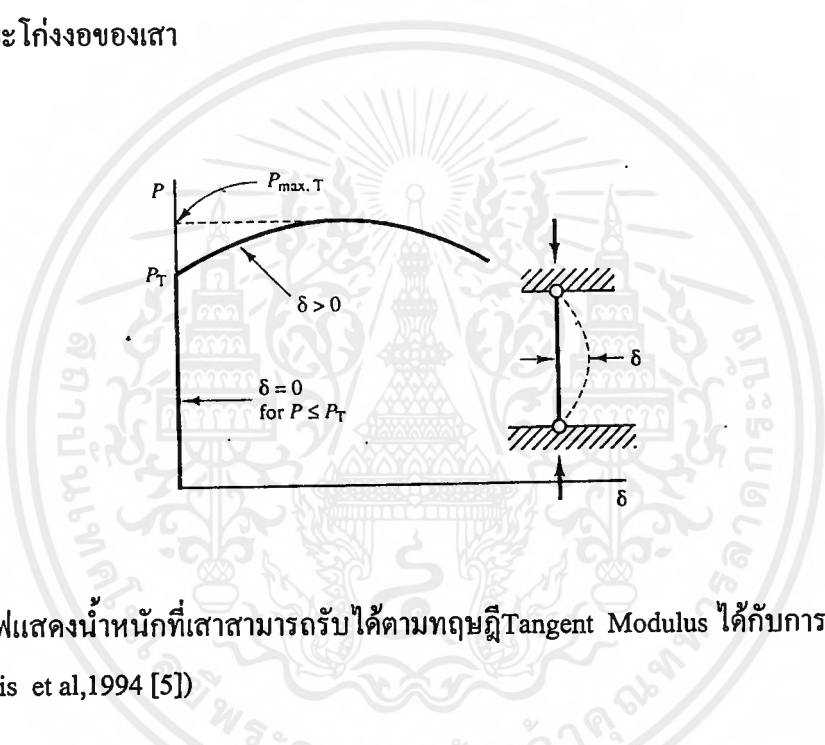
$$\lambda^{-2} = \pi^2 E / \{F_y (KL/r)^2\}$$

ได้ $P_t/P_y = \lambda^{-2}$

หรือ $P_y/P_t = \lambda^2$ (2.11)

สมการ (2.11) แสดงถึงอัตราส่วนของแรงที่จุดครากต่อแรงเนื่องจาก Tangent Modulus เมื่อ $\lambda > \sqrt{2}$

ในรูปที่ 2.6 จะแสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักเสารับได้ตามทฤษฎี Tangent Modulus และระยะ โกงงอของเสา



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้ตามทฤษฎี Tangent Modulus ได้กับการ โกงงอตัวของเสา (Louis et al,1994 [5])

2.6 กำลังรับน้ำหนักของเสาเมื่อเสามีการ โกงงอเริ่มต้น

ในกระบวนการผลิตการขนส่งหรือการติดตั้งอาจก่อให้เกิดการคดงอของวัสดุที่นำมาทำเสาได้ซึ่งโดยปกติกำหนดระยะ โกงที่บริเวณกึ่งกลางเสาให้มีค่ามากที่สุดไม่เกิน $L/1000$ เมื่อ L เป็นความยาวของเสานั้น เมื่อเสาเกิดการ โกงงอเมื่อเสานั้นรับน้ำหนักจะมีผลทำให้เกิดโมเมนต์ขึ้น โดยโมเมนต์นี้จะถูกแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

(1) Primary Moment หรือ First-order Moment เกิดจากค่าน้ำหนักที่กระทำ (P) คูณกับระยะซึ่ง โกงงออยู่ก่อนแล้ว (y_0)

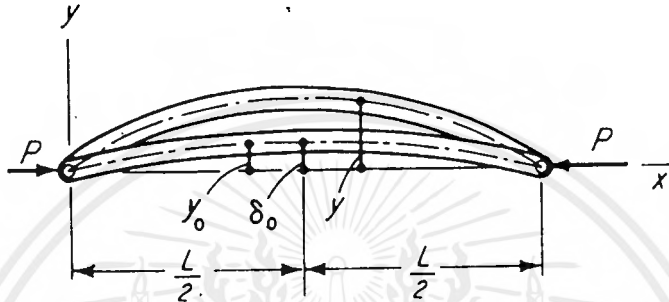
หรือ $M_{\text{Primary}} = P y_0$



(2) Secondary Moment หรือ Secondary-order Moment เกิดจากค่าน้ำหนักที่กระทำ (P) คูณกับระยะที่เสาโค้งเพิ่มขึ้นเมื่อรับน้ำหนัก ($y - y_0$)

$$\text{หรือ } M_{\text{Secondary}} = P(y - y_0)$$

จะเห็นว่าค่า Moment รวมมีค่าเท่ากับ $P \times y$ ซึ่งค่า y มีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางเสาซึ่งมี $y_0 = \delta_0$ สามารถแสดงค่า y ที่จุดสูงสุดไว้ในรูปของ δ_0 ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดการ โค้งงอของเสา (Edwin et al, 1992 [3])

จากรูปที่ 2.7 ได้สมการเส้น โค้งอิลาสติกของ Euler ดังสมการ (2.12)

$$EI \{d^2y/dx^2 - d^2y_0/dx^2\} = -Py \tag{2.12}$$

$$\text{ให้ } k^2 = P/EI$$

สมมติความ โค้งเดิมอยู่ในรูป $y_0 = \delta_0 \sin \pi x/L$

$$\text{จะได้ว่า } d^2y/dx^2 + k^2y = -\delta_0(\pi^2/L^2) \sin \pi x/L$$

แก้สมการหาค่า y จะได้ว่า

$$y = A \sin kx + B \cos kx + \{\delta_0 / (1 - k^2 L^2 / \pi^2)\} \sin \pi x/L$$

$$\text{ที่ } x=0, y=0 \quad \therefore B = 0$$

$$\text{ที่ } x=L, y=0 \quad \therefore A \sin kL = 0 \text{ แต่ } k \neq 0 \text{ ดังนั้น } A = 0$$

$$\therefore y = \{\delta_0 / (1 - k^2 L^2 / \pi^2)\} \sin \pi x/L$$

$$y = \{\delta_0 / [1 - (P/P_E)]\} \sin \pi x/L$$

ค่า y จะมากที่สุด เมื่อ $x = L/2$ ดังสมการ (2.13)

$$\therefore y_{\text{max}} = \delta_0 / [1 - (P/P_E)] \tag{2.13}$$

จะได้ว่าค่าโมเมนต์สูงสุดเนื่องจากการโก่งงอเริ่มต้นดังสมการ (2.14)

$$M = P y_{\max} = P \delta_o / [1 - (P / P_E)] \quad (2.14)$$

จากสมการ Interaction $P_\alpha / P_t \pm M / M_n \leq 1$

เมื่อ $P_\alpha =$ น้ำหนักวิกฤตที่เสารับได้

$P_t =$ น้ำหนักวิกฤตที่เสาสามารถรับได้ตามทฤษฎีโมดูลัสสัมผัส

$M =$ โมเมนต์ที่เสาต้องรับ

$M_n =$ ค่าโมเมนต์ที่เสาสามารถต้านทานได้

แทนค่า $M = P_\alpha \delta_o / [1 - (P_\alpha / P_E)]$ และ $M_n = S F_y$ เมื่อ $S =$ ค่าโมดูลัสของหน้าตัด

$$\text{ได้ } P_\alpha / P_t + \frac{\{P_\alpha \delta_o\}}{\{[1 - (P_\alpha / P_E)] S F_y\}} = 1 \quad (2.15)$$

$$\frac{(P_\alpha / P_y)(P_y / P_E)(P_E / P_t) + \{(P_\alpha / P_y) \delta_o A\}}{\{[1 - (P_\alpha / P_y)(P_y / P_E)] S\}} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

$$\text{เมื่อ } P_y / P_E = \lambda^2$$

$$\lambda = \sqrt{P_y / P_E}$$

$$E^\wedge = P_E / P_t = (P_E / P_y)(P_y / P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2}$$

$$= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2}$$

และให้ $\eta^\wedge = \delta_o A / S$

$$\text{ได้ } \frac{(P_\alpha / P_y) \lambda^2 E^\wedge + \{(P_\alpha / P_y) \eta^\wedge\}}{\{1 - (P_\alpha / P_y) \lambda^2\}} = 1$$

แก้สมการหาค่า P_α / P_y ได้ดังสมการ (2.16)

$$P_\alpha / P_y = \frac{\{\eta^\wedge + (1 + E^\wedge) \lambda^2\} - \sqrt{[\eta^\wedge + (1 + E^\wedge) \lambda^2]^2 - 4 E^\wedge \lambda^4}}{2 E^\wedge \lambda^4} \quad (2.16)$$

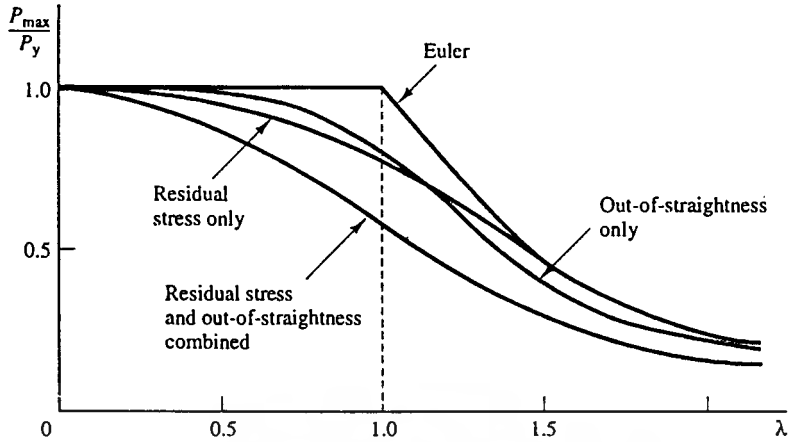
เราสามารถหาค่าน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสามีการโก่งงอเริ่มต้น โดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_\alpha / P_y) A F_y$$

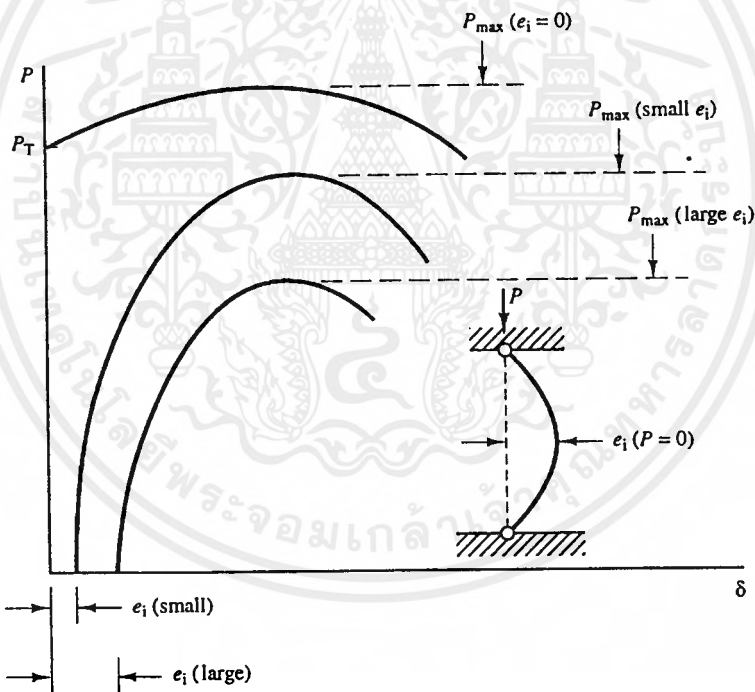
ในรูปที่ 2.8 จะแสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนแรงสูงสุดต่อแรงที่จุดครากกับค่า λ เมื่อเสามีการโก่งงอเริ่มต้น และคำนึงถึงหน่วยแรงคงค้าง ส่วนรูปที่ 2.9 จะแสดงถึงกราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง น้ำหนักที่เสารับได้ตามทฤษฎี Tangent Modulus และระยะโก่งงอของเสา เมื่อเสามีการโก่งงอเริ่มต้น

เอกสักรีนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เฉพาะในเขตประเทศไทยไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าของ P/P_y เมื่อมีการโก่งเริ่มต้นและหน่วยแรงคงค้าง (Louis et al, 1994 [5])



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้กับการโก่งตัวทางข้างของเสาเมื่อเสามีการโก่งงอเริ่มต้น (Louis et al, 1994 [5])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 กำลังรับน้ำหนักของเสาเมื่อเสารับแรงเยื้องศูนย์กลาง

แรงที่กระทำที่ปลายเสาในบางครั้งจะกระทำเยื้องจากศูนย์กลาง ของหน้าตัดเสา ซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การต่อเสาแล้วเกิดความคลาดเคลื่อนศูนย์กลางเสาไม่ตรงกัน ซึ่งจะมีผลทำให้เสาต้องรับ Primary Moment ที่เกิดจากระยะเยื้องศูนย์กลาง และ Secondary Moment ซึ่งเกิดจากระยะโก่งงอของเสาเมื่อเสารับน้ำหนัก คล้ายกับการเกิด Moment เนื่องจากเสามีการโก่งงอเริ่มต้น โดยแสดงค่าในสมการ (2.17)

$$M = P(e + y) \tag{2.17}$$

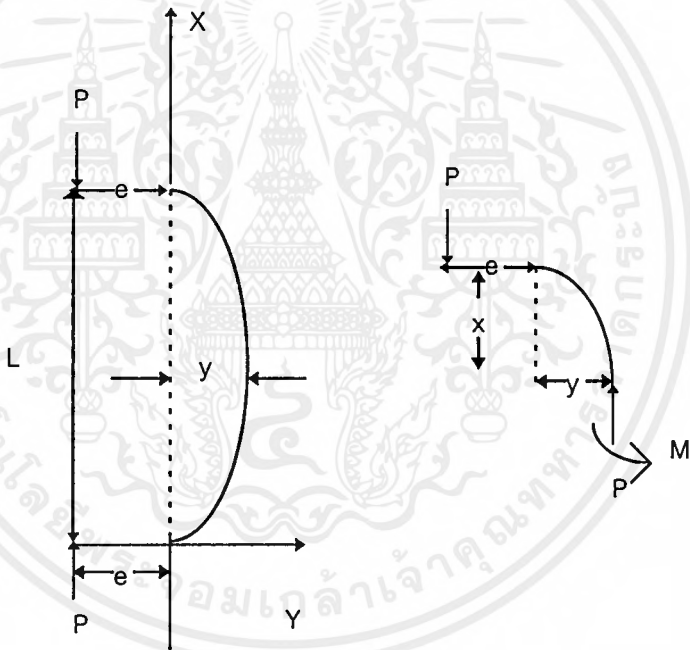
เมื่อ M = โมเมนต์ ที่เกิดจากแรงเยื้องศูนย์กลาง

P = น้ำหนักที่กระทำต่อเสา

e = ระยะเยื้องศูนย์กลาง

y = ระยะโก่งเมื่อเสารับน้ำหนัก

สามารถแสดงค่า $(e + y)$ ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงเสารับแรงเยื้องศูนย์กลาง (ทักษิณ เทพชาตรี 2539 [6])

ให้เสาสูงปลายสองข้างใส่หมุด อยู่ภายใต้แรงเยื้องศูนย์กลาง e

ได้ $EI d^2y / dx^2 = -Py$

กำหนดให้ $k^2 = P/EI$

ได้ $d^2y / dx^2 + k^2y = 0$

แก้สมการหาค่า y ได้

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

ที่ $x=0$ เป็น $y=e$ ที่สอง จะได้ $B=e$ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $x = L/2$, $dy/dx = 0$ ได้ $A \cos kL/2 + B \sin kL/2 = 0$
 ได้ $A = e \tan kL/2$

ดังนั้น $y = e [(\tan kL/2)(\sin kx) + \cos kx]$ (2.18)

ค่า y สูงสุดที่ระยะ $x = L/2$

ดังนั้น $y_{\max} = e [(\tan kL/2)(\sin kL/2) + \cos kL/2]$
 $= e [\sin^2 kL/2 + \cos^2 kL/2] / \cos kL/2$
 $= e \sec kL/2$
 $= e \sec [(\pi/2) \sqrt{P/P_E}]$

โดยในที่นี้ $y_{\max} = (e + y)$

ดังนั้น $(e + y) = e \sec [(\pi/2) \sqrt{P/P_E}]$ (2.19)

เนื่องจาก $\sec [(\pi/2) \sqrt{P/P_E}] \cong [1 + 0.25(P/P_E)] / [1 - (P/P_E)]$

ดังนั้น $(e + y) = e \frac{[1 + 0.25(P/P_E)]}{[1 - (P/P_E)]}$ (2.20)

ได้ $M = P e \frac{[1 + 0.25(P/P_E)]}{[1 - (P/P_E)]}$ (2.21)

จากสมการ Interaction $P_c/P_t \pm M/M_n \leq 1$

แทนค่า $M = \frac{P_c e [1 + 0.25(P_c/P_E)]}{[1 - (P_c/P_E)]}$ และ $M_n = S F_y$ $S =$ ค่าโมดูลัสของหน้าตัด

ได้ $P_c/P_t + \left\{ \frac{P_c e [1 + 0.25(P_c/P_E)]}{[1 - (P_c/P_E)] S F_y} \right\} = 1$ (2.22)

$$\frac{(P_c/P_t)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + \left\{ (P_c/P_t) A e [1 + 0.25(P_c/P_t)(P_y/P_E)] \right\}}{\{[1 - (P_c/P_t)(P_y/P_E)] S\}} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$
 $\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$
 $E^* = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2)\lambda^2]$ เมื่อ $\lambda \leq \sqrt{2}$
 $= 1$ เมื่อ $\lambda > \sqrt{2}$

และให้ $\eta' = eA/S$

$$\text{ได้ } (P_c/P_y)\lambda^2 E^{\wedge} + \frac{\{(P_c/P_y)[1+0.25(P_c/P_y)\lambda^2]\eta'\}}{\{1-(P_c/P_y)\lambda^2\}} = 1$$

แก้สมการหาค่า P_c/P_y ได้ดังสมการ (2.23)

$$P_c/P_y = \frac{\{[\eta' + (1+E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta' + (1+E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta']\lambda^2}\}}{\{2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta'\}\lambda^2} \quad (2.23)$$

เราสามารถหาค่าน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสารับแรงเยื้องศูนย์กลาง โดย
น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้ = $(P_c/P_y)A F_y$



2.8 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก เมื่อเสามีการเอียง

เมื่อเสาเกิดการเอียงหรือไม่ได้ตั้ง จะทำให้เสาต้องรับโมเมนต์ซึ่งจะมีค่าสูงสุดที่ปลายเสาด้านที่มีการขีดยิ่ง ซึ่งจะแตกต่างจากค่าโมเมนต์ที่เกิดจากการโค้งงอเริ่มต้นของเสา และการรับแรงเอียงศูนย์กลางของเสา ซึ่งจะเกิดค่าโมเมนต์สูงสุดที่กึ่งกลางเสา โดยเมื่อปลายเสาเอียงเป็นระยะ s โมเมนต์ที่เกิดจะมีลักษณะแตกต่างกันแยกตามลักษณะการขีดยปลายเสาได้ดังแสดงในตารางที่ 2.7

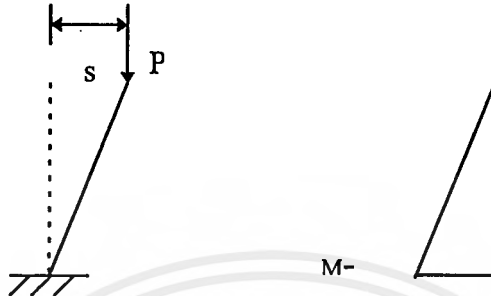
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าโมเมนต์ที่เกิดกับเสาเอียง เมื่อมีการขีดยปลายลักษณะต่างๆ (Louis , 1994 [5])

ลักษณะการขีดยปลาย	โมเมนต์สูงสุดที่ปลายเสา	โมเมนต์ที่กึ่งกลางเสา	ลักษณะ โมเมนต์ที่เกิด
	$\pm 6IPs / AL^2$	-	
	$-3IPs / AL^2$	$-3IPs / 2AL^2$	
	$\pm Ps / 2$	-	
	-	-	-
	$-Ps$	$-Ps / 2$	
	Ps	$Ps / 2$	

ในการหาค่ารับน้ำหนักของเสาเหล็กหาได้จากสมการ Inter action คือ

$$P_u/P_t \pm M/M_n \leq 1$$

ค่า M เปลี่ยนแปลงแยกตามลักษณะของการยึดปลายเสา ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการแก้สมการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาที่ปลายเสาเอียงเป็นระยะ s โดยมีโคนเสายึดแน่นส่วนปลายปล่อยอิสระดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการเอียงของเสา และลักษณะ โมเมนต์ที่เกิดขึ้น

แทนค่า
ได้

$$M = -(P_u s) = P_{cr} s \text{ และ } M_n = S F_y \text{ เมื่อ } S = \text{ค่าโมดูลัสของหน้าตัด}$$

$$\frac{P_u}{P_t} + \frac{P_{cr} s}{S F_y} = 1 \quad (2.24)$$

$$\left(\frac{P_u}{P_y}\right)\left(\frac{P_y}{P_E}\right)\left(\frac{P_E}{P_t}\right) + \frac{(P_u/P_y) s A}{S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } P_y/P_E &= \lambda^2 \\ \lambda &= \sqrt{P_y/P_E} \\ E^{\wedge} = P_E/P_t &= (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ &= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{aligned}$$

$$\text{และให้ } \eta'' = sA / S$$

$$\text{ได้ } \left(\frac{P_u}{P_y}\right) \lambda^2 E^{\wedge} + (P_u/P_y) \eta'' = 1$$

แก้สมการหาค่า P_u/P_y ได้ดังสมการ(2.25)

$$P_u/P_y = 1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta''] \quad (2.25)$$

เราสามารถหาค่าน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสาเกิดการเอียง โดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_u/P_y) A F_y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 กำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก เมื่อเสามีการโก่งงอเริ่มต้น การรับแรงเยื้องศูนย์กลาง และ

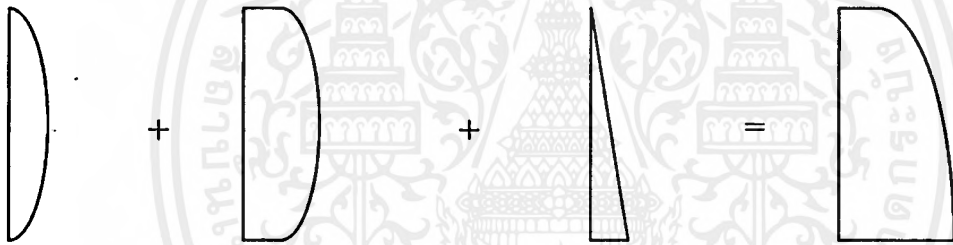
การเอียงของเสาพร้อมกัน

ในกรณีที่เสามีการโก่งงอเริ่มต้น รับแรงเยื้องศูนย์กลาง และเกิดการเอียงของเสา ขึ้นพร้อมๆกัน จะแยกพิจารณากำลังรับน้ำหนักของเสาออกเป็น 2 จุด คือบริเวณกึ่งกลางเสาซึ่งมีผลของโมเมนต์จากการโก่งงอเริ่มต้น การรับแรงเยื้องศูนย์กลาง และการเอียงของเสา กับบริเวณโคนเสาซึ่งมีผลของโมเมนต์จากการรับแรงเยื้องศูนย์กลาง และการเอียงของเสา โดยจะเลือกค่าน้ำหนักที่สามารถรับได้ที่มีค่าน้อยกว่า เป็นค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา

ในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กหาได้จากสมการ Inter action คือ

$$P_u/P_c \pm M/M_n \leq 1$$

ลักษณะ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความคลาดเคลื่อนต่างๆรวมกัน แสดงดังรูปที่ 2.12



เนื่องจากการโก่งงอเริ่มต้น เนื่องจากรับแรงเยื้องศูนย์กลาง เนื่องจากการเอียงของเสา ผลรวมโมเมนต์ที่เกิดทั้งหมด

รูปที่ 2.12 แสดงผลรวมโมเมนต์ ที่เกิดขึ้นกับเสา เนื่องจากความคลาดเคลื่อนต่างๆรวมกัน

ค่า M เปลี่ยนแปลงแยกตามลักษณะของการขีปลายเสา แก่สมการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาที่ มีการโก่งงอเริ่มต้น รับแรงเยื้องศูนย์กลาง และเกิดการเอียงของเสา ขึ้นพร้อมๆกันตามกรณีต่างๆดังนี้

กรณี 1 ปลายทั้งสองข้างยึดแน่น

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่โคนเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = 6IP_{cr}s/AL^2$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.26)

$$\frac{(P_{cr}/P_t) + (P_{cr}e + (6IP_{cr}s/AL^2))}{SF_y} = 1 \quad (2.26)$$

$$(P_{cr}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + \frac{[(P_{cr}/P_y)eA + (6IP_{cr}/P_yAL^2)sA]}{S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4/[4 - \lambda^2 \lambda^2] \quad \begin{matrix} \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{matrix}$$

$$= 1$$

และให้ $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

$$\text{ได้ } (P_{cr}/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + \{(P_{cr}/P_y)(\eta' + (6I/AL^2)\eta'')\} = 1$$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่ปลายเสาได้ดังสมการ (2.27)

$$P_{cr}/P_y = 1/[\lambda^2 E^{\wedge} + \eta' + 6\eta''/AL^2] \quad (2.27)$$

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่กลางเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อมีการโก่งงอที่กลางเสา เป็นระยะ $\delta_0 = P_{cr}\delta_0/(1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e(1 + 0.25 P_{cr}/P_E)/(1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = 0$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.28)

$$(P_{\alpha}/P_t) + \frac{P_{\alpha}\delta_0 + P_{\alpha}e(1+0.25 P_{\alpha}/P_E)}{(1-P_{\alpha}/P_E)SF_y} + 0 = 1 \quad (2.28)$$

$$\frac{(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + (P_{\alpha}/P_y)\delta_0 A + (P_{\alpha}/P_y)eA[1+0.25(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E)]}{(1-(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E))S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \begin{matrix} \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{matrix}$$

$$= 1$$

และให้ $\eta^{\wedge} = \delta_0 A/S$, $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

ได้
$$\frac{(P_{\alpha}/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + (P_{\alpha}/P_y) \eta^{\wedge} + (P_{\alpha}/P_y)[1+0.25(P_{\alpha}/P_y) \lambda^2] \eta'}{(1-(P_{\alpha}/P_y)\lambda^2)} = 1$$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่กลางเสาได้ดังสมการ(2.29)

$$P_{\alpha}/P_y = \frac{[\eta^{\wedge} + \eta' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta']\lambda^2}}{\{2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta'\}\lambda^2} \quad (2.29)$$

เมื่อนำค่า P_{α}/P_y จากทั้งสองจุดมาเปรียบเทียบกันแล้ว ค่า P_{α}/P_y ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำไปใช้ในการหาค่าลึงรับน้ำหนักของเสาโดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_{\alpha}/P_y)A F_y$$

กรณี2 ปลายข้างหนึ่งยึดแน่น อีกข้างยึดหุ้ม

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่โคนเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเอียงศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{\alpha}e$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = 6IP_{\alpha}s / AL^2$

แทนค่าลงในสมการ Interaction ได้ดังสมการ (2.30)

$$\frac{(P_{\alpha}/P_t) + (P_{\alpha}e + (3IP_{\alpha}s/AL^2))}{SF_y} = 1 \quad (2.30)$$

$$(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + \frac{[(P_{\alpha}/P_y)eA + (3IP_{\alpha}/P_yAL^2)sA]}{S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ

$$P_y/P_E = \lambda^2$$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2}$$

$$= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2}$$

และให้ $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

$$\text{ได้ } (P_{\alpha}/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + \{(P_{\alpha}/P_y)(\eta' + \eta'')\} = 1$$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่ปลายเสาได้ดังสมการ (2.31)

$$P_{\alpha}/P_y = 1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta' + 3\eta'' / AL^2] \quad (2.31)$$

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่กลางเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อมีการโค้งงอที่กลางเสา เป็นระยะ $\delta_0 = P_{\alpha}\delta_0 / (1 - P_{\alpha}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเอียงศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{\alpha}e(1 + 0.25 P_{\alpha}/P_E) / (1 - P_{\alpha}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = 6IP_{\alpha}s / AL^2$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.32)

$$(P_{\alpha}/P_t) + \frac{P_{\alpha}\delta_0 + P_{\alpha}e(1+0.25 P_{\alpha}/P_E)}{(1-P_{\alpha}/P_E)SF_y} + \frac{(1.5IP_{\alpha}s/AL^2)}{SF_y} = 1 \quad (2.32)$$

$$\frac{(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + (P_{\alpha}/P_y)\delta_0 A + (P_{\alpha}/P_y)eA[1+0.25(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E)] + (1.5IP_{\alpha}/P_yAL^2)sA}{(1-(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E))S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4/[(4-\lambda^2)\lambda^2] \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2}$$

$$= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2}$$

และให้ $\eta^{\wedge} = \delta_0 A/S$, $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

ได้
$$\frac{(P_{\alpha}/P_y)\lambda^2 E^{\wedge} + (P_{\alpha}/P_y)\eta^{\wedge} + (P_{\alpha}/P_y)[1+0.25(P_{\alpha}/P_y)\lambda^2]\eta' + 1.5\eta''}{(1-(P_{\alpha}/P_y)\lambda^2)AL^2} = 1$$

แก้สมการหาค่า P_{α}/P_y ที่กลางเสาได้ดังสมการ (2.33)

$$P_{\alpha}/P_y = \frac{[\eta^{\wedge} + \eta' + 1.5\eta''/AL^2 + (1+E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta' + 1.5\eta''/AL^2 + (1+E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta' + 1.5\eta''/AL^2]\lambda^2}}{\{2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta' + 3\eta''/AL^2\}\lambda^2}$$

(2.33)

เมื่อนำค่า P_{α}/P_y จากทั้งสองจุดมาเปรียบเทียบกันแล้ว ค่า P_{α}/P_y ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำไปใช้ในการหา กำลังรับน้ำหนักของเสาโดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_{\alpha}/P_y)A F_y$$

กรณี 3 ปลายข้างหนึ่งยึดแน่น อีกข้างไม่มีการหมุนที่ปลายเสา แต่มีการเคลื่อนที่ที่ปลาย
 หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่โคนเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเชิงศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = P_{cr}s/2$

แทนค่าลงในสมการ Interaction ได้ดังสมการ (2.34)

$$\frac{(P_{cr}/P_t) + (P_{cr}e + P_{cr}s/2)}{SF_y} = 1 \quad (2.34)$$

$$\frac{(P_{cr}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + [(P_{cr}/P_y)eA + 0.5(P_{cr}/P_y)sA]}{S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \begin{matrix} \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ = 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{matrix}$$

และให้ $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

ได้ $(P_{cr}/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + \{ (P_{cr}/P_y)(\eta' + \eta''/2) \} = 1$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่ปลายเสาได้ดังสมการ (2.35)

$$P_{cr}/P_y = 1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta' + \eta''/2] \quad (2.35)$$

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่กลางเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อมีการโก่งงอที่กลางเสา เป็นระยะ $\delta_0 = P_{cr}\delta_0 / (1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเชิงศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e(1 + 0.25 P_{cr}/P_E) / (1 - P_{cr}/P_E)$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.36)

$$(P_c/P_t) + \frac{P_c \delta_0 + P_c e(1+0.25 P_c/P_e)}{(1-P_c/P_e)SF_y} + 0 = 1 \quad (2.36)$$

$$\frac{(P_c/P_y)(P_y/P_e)(P_e/P_t) + (P_c/P_y)\delta_0 A + (P_c/P_y)eA[1+0.25(P_c/P_y)(P_y/P_e)]}{(1-(P_c/P_y)(P_y/P_e))S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_e = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_e}$$

$$E^{\wedge} = P_e/P_t = (P_e/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \begin{matrix} \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{matrix}$$

และให้ $\eta^{\wedge} = \delta_0 A/S$, $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

ได้
$$\frac{(P_c/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + (P_c/P_y) \eta^{\wedge} + (P_c/P_y)[1+0.25(P_c/P_y) \lambda^2] \eta'}{(1-(P_c/P_y)\lambda^2)} = 1$$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่กลางเสาได้ดังสมการ (2.37)

$$P_c/P_y = \frac{[\eta^{\wedge} + \eta' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta']\lambda^2}}{\{2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta'\}\lambda^2} \quad (2.37)$$

เมื่อนำค่า P_c/P_y จากทั้งสองจุดมาเปรียบเทียบกันแล้ว ค่า P_c/P_y ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำไปใช้ในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาโดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_c/P_y)A F_y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 4 ปลายทั้งสองข้างยึดหมุด

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่โคนเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = 0$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.37)

$$\frac{(P_{cr}/P_t) + (P_{cr}e)}{SF_y} = 1 \quad (2.38)$$

$$(P_{cr}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + \frac{[(P_{cr}/P_y)eA]}{S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } P_y/P_E &= \lambda^2 \\ \lambda &= \sqrt{P_y/P_E} \\ E^{\wedge} = P_E/P_t &= (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4/[4 - \lambda^2] \lambda^2 \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ &= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{aligned}$$

และให้ $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

$$\text{ได้ } (P_{cr}/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + \{(P_{cr}/P_y) \eta'\} = 1$$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่ปลายเสาได้ดังสมการ (2.39)

$$P_{cr}/P_y = 1/[\lambda^2 E^{\wedge} + \eta'] \quad (2.39)$$

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่กลางเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อ มีการโก่งงอที่กลางเสา เป็นระยะ $\delta_0 = P_{cr}\delta_0/(1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e(1 + 0.25 P_{cr}/P_E)/(1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = P_{cr}s/2$

แทนค่าลงในสมการ Interaction ได้ดังสมการ (2.40)

$$(P_{\alpha}/P_t) + \frac{P_{\alpha}\delta_0 + P_{\alpha}e(1+0.25 P_{\alpha}/P_E)}{(1 - P_{\alpha}/P_E)SF_y} + 0 = 1 \quad (2.40)$$

$$\frac{(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + (P_{\alpha}/P_y)\delta_0 A + (P_{\alpha}/P_y)eA[1+0.25(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E)]}{(1-(P_{\alpha}/P_y)(P_y/P_E))S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \begin{matrix} \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ = 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{matrix}$$

และให้ $\eta^{\wedge} = \delta_0 A/S$, $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

$$\frac{(P_{\alpha}/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + (P_{\alpha}/P_y) \eta^{\wedge} + (P_{\alpha}/P_y)[1+0.25(P_{\alpha}/P_y) \lambda^2] \eta'}{(1-(P_{\alpha}/P_y)\lambda^2)} = 1$$

แก้สมการหาค่า P_{α}/P_y ที่กลางเสาได้ดังสมการ (2.41)

$$P_{\alpha}/P_y = \frac{[\eta^{\wedge} + \eta' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta']\lambda^2}}{\{2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta'\}\lambda^2} \quad (2.41)$$

เมื่อนำค่า P_{α}/P_y จากทั้งสองจุดมาเปรียบเทียบกันแล้ว ค่า P_{α}/P_y ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำไปใช้ในการหาค่ารับน้ำหนักของเสาโดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_{\alpha}/P_y)A F_y$$

กรณี 5 ปลายข้างหนึ่งยึดแน่น อีกข้างอิสระ

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่โคนเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเอียงศูนย์ เป็นระยะ $e = P_{cr}e$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = P_{cr}s$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.42)

$$\frac{(P_{cr}/P_t) + (P_{cr}e + P_{cr}s)}{SF_y} = 1 \quad (2.42)$$

$$\frac{(P_{cr}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + [(P_{cr}/P_y)eA + (P_{cr}/P_y)sA]}{S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$
 $\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$
 $E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4/[(4 - \lambda^2)\lambda^2]$ เมื่อ $\lambda \leq \sqrt{2}$
 $= 1$ เมื่อ $\lambda > \sqrt{2}$

และให้ $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

ได้ $(P_{cr}/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + \{ (P_{cr}/P_y)(\eta' + \eta'') \} = 1$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่ปลายเสาได้ดังสมการ (2.42)

$$P_{cr}/P_y = 1/[\lambda^2 E^{\wedge} + \eta' + \eta''] \quad (2.43)$$

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่กลางเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อมีการโค้งงอที่กลางเสา เป็นระยะ $\delta_0 = P_{cr}\delta_0/(1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเอียงศูนย์ เป็นระยะ $e = P_{cr}e(1 + 0.25 P_{cr}/P_E)/(1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = P_{cr}s/2$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ตั้งสมการ (2.44)

$$(P_c/P_t) + \frac{P_c \delta_0 + P_c e(1+0.25 P_c/P_E)}{(1-P_c/P_E)SF_y} + \frac{P_c s}{2SF_y} = 1 \quad (2.44)$$

$$(P_c/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + \frac{(P_c/P_y)\delta_0 A + (P_c/P_y)eA[1+0.25(P_c/P_y)(P_y/P_E)]}{(1-(P_c/P_y)(P_y/P_E))S} + \frac{(P_c/P_y)sA}{2S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^{\wedge} = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2}$$

$$= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2}$$

และให้ $\eta^{\wedge} = \delta_0 A/S$, $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

$$\text{ได้ } \frac{(P_c/P_y) \lambda^2 E^{\wedge} + (P_c/P_y) \eta^{\wedge} + (P_c/P_y)[1+0.25(P_c/P_y) \lambda^2] \eta' + (P_c/P_y) \eta''}{(1-(P_c/P_y)\lambda^2)} = 1$$

* แก้สมการหาค่า P/P_y ที่กลางเสาได้ตั้งสมการ (2.45)

$$P_c/P_y = \frac{[\eta^{\wedge} + \eta' + 0.5\eta'' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta' + 0.5\eta'' + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta' + 0.5\eta'']\lambda^2}}{\{2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta' + \eta''\}\lambda^2} \quad (2.45)$$

เมื่อนำค่า P_c/P_y จากทั้งสองจุดมาเปรียบเทียบกับกันแล้ว ค่า P_c/P_y ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำไปใช้ในการหา

กำลังรับน้ำหนักของเสาโดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_c/P_y)A F_y$$

กรณี 6 ปลายข้างหนึ่งยึดแน่น อีกข้าง ไม่มีการหมุนที่ปลายเสา แต่มีการเคลื่อนที่ที่ปลาย
 หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่โคนเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเชิงศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = -P_{cr}s$

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.46)

$$\frac{(P_{cr}/P_t) + (P_{cr}e - P_{cr}s)}{SF_y} = 1 \quad (2.46)$$

$$\frac{(P_{cr}/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + [(P_{cr}/P_y)eA - (P_{cr}/P_y)sA]}{S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } P_y/P_E &= \lambda^2 \\ \lambda &= \sqrt{P_y/P_E} \\ E^\wedge = P_E/P_t &= (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2} \\ &= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2} \end{aligned}$$

และให้ $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

$$\text{ได้ } (P_{cr}/P_y) \lambda^2 E^\wedge + \{(P_{cr}/P_y)(\eta' - \eta'')\} = 1$$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่ปลายเสาได้สมการ (2.47)

$$P_{cr}/P_y = 1 / [\lambda^2 E^\wedge + \eta' - \eta''] \quad (2.47)$$

หาค่า กำลังรับน้ำหนักที่กลางเสา โดยจะมีผลของโมเมนต์ดังนี้

ค่าโมเมนต์เมื่อมีการ โกงงอที่กลางเสา เป็นระยะ $\delta_0 = P_{cr} \delta_0 / (1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เมื่อแรงกระทำเชิงศูนย์กลาง เป็นระยะ $e = P_{cr}e(1 + 0.25 P_{cr}/P_E) / (1 - P_{cr}/P_E)$

ค่าโมเมนต์เนื่องจากเสาเอียงที่ปลายเสาเป็นระยะ $s = -P_{cr}s/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าลงในสมการ Inter action ได้ดังสมการ (2.48)

$$(P_c/P_t) + \frac{P_c \delta_0 + P_c e(1+0.25 P_c/P_E)}{(1-P_c/P_E)SF_y} - \frac{P_c s}{2SF_y} = 1 \quad (2.48)$$

$$(P_c/P_y)(P_y/P_E)(P_E/P_t) + \frac{(P_c/P_y)\delta_0 A + (P_c/P_y)eA[1+0.25(P_c/P_y)(P_y/P_E)]}{(1-(P_c/P_y)(P_y/P_E))S} - \frac{(P_c/P_y)sA}{2S} = 1$$

จากหัวข้อ 2.5

เมื่อ $P_y/P_E = \lambda^2$

$$\lambda = \sqrt{P_y/P_E}$$

$$E^\wedge = P_E/P_t = (P_E/P_y)(P_y/P_t) = 4 / [(4 - \lambda^2) \lambda^2] \quad \text{เมื่อ } \lambda \leq \sqrt{2}$$

$$= 1 \quad \text{เมื่อ } \lambda > \sqrt{2}$$

และให้ $\eta^\wedge = \delta_0 A/S$, $\eta' = eA/S$, $\eta'' = sA/S$

$$\text{ได้ } (P_c/P_y) \frac{\lambda^2 E^\wedge + (P_c/P_y) \eta^\wedge + (P_c/P_y)[1+0.25(P_c/P_y) \lambda^2] \eta'}{(1-(P_c/P_y)\lambda^2)} - \frac{(P_c/P_y) \eta''}{2} = 1$$

แก้สมการหาค่า P/P_y ที่กลางเสาได้ดังสมการ(2.49)

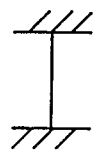
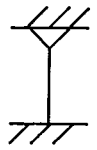
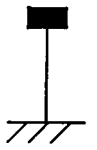
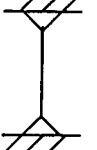

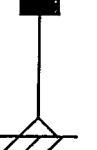
$$P_c/P_y = \frac{[\eta^\wedge + \eta' - 0.5\eta'' + (1 + E^\wedge)\lambda^2] - \sqrt{[\eta^\wedge + \eta' - 0.5\eta'' + (1 + E^\wedge)\lambda^2]^2 - 4[E^\wedge \lambda^2 - 0.25\eta' - 0.5\eta''] \lambda^2}}{\{2E^\wedge \lambda^2 - 0.5\eta' - \eta''\} \lambda^2} \quad (2.49)$$

เมื่อนำค่า P_c/P_y จากทั้งสองจุดมาเปรียบเทียบกันแล้ว ค่า P_c/P_y ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำไปใช้ในการหาค่ารับน้ำหนักของเสาโดย

$$\text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} = (P_c/P_y) A F_y$$

สมการที่ใช้หาค่า P_u/P_y เมื่อเสาเกิดการโก่งงอเริ่มต้น รับแรงเยื้องศูนย์กลางและเสาเอียงในกรณีที่มี การยึดปลายแบบต่างๆ ได้สรุปรวมไว้ในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงสมการหาค่า P_u/P_y ในกรณีที่มี การยึดปลายแบบต่างๆ

การยึด ปลายเสา	ตำแหน่ง	สมการแสดงค่า P_u/P_y
	โคนเสา	$1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta^{\wedge} + 6\eta^{\wedge} / AL^2]$
	กึ่งกลาง เสา	$\frac{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta^{\wedge}] \lambda^2}}{(2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta^{\wedge})\lambda^2}$
	โคนเสา	$1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta^{\wedge} + 3\eta^{\wedge} / AL^2]$
	กึ่งกลาง เสา	$\frac{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + 1.5\eta^{\wedge} / AL^2 + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + 1.5\eta^{\wedge} / AL^2 + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta^{\wedge} + 1.5\eta^{\wedge} / AL^2] \lambda^2}}{(2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta^{\wedge} + 3\eta^{\wedge} / AL^2)\lambda^2}$
	โคนเสา	$1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} / 2]$
	กึ่งกลาง เสา	$\frac{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta^{\wedge}] \lambda^2}}{(2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta^{\wedge})\lambda^2}$
	โคนเสา	$1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta^{\wedge}]$
	กึ่งกลาง เสา	$\frac{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta^{\wedge}] \lambda^2}}{(2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta^{\wedge})\lambda^2}$
	โคนเสา	$1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta^{\wedge} + \eta^{\wedge}]$
	กึ่งกลาง เสา	$\frac{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + 0.5\eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} + 0.5\eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta^{\wedge} + 0.5\eta^{\wedge}] \lambda^2}}{(2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge})\lambda^2}$
	โคนเสา	$1 / [\lambda^2 E^{\wedge} + \eta^{\wedge} - \eta^{\wedge}]$
	กึ่งกลาง เสา	$\frac{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} - 0.5\eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2] - \sqrt{[\eta^{\wedge} + \eta^{\wedge} - 0.5\eta^{\wedge} + (1 + E^{\wedge})\lambda^2]^2 - 4[E^{\wedge}\lambda^2 - 0.25\eta^{\wedge} - 0.5\eta^{\wedge}] \lambda^2}}{(2E^{\wedge}\lambda^2 - 0.5\eta^{\wedge} - \eta^{\wedge})\lambda^2}$

2.10 การโค้งงอของเสาเนื่องจากการบิด (Torsional Buckling)

เสาทนแรงตามแกนส่วนมากจะเกิดการโค้งงอเนื่องจากการคด (Bend Buckling) อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเสาน้ำตัดประเภทผนังบาง (Thin-walled Sections) เช่น เหล็กฉาก เหล็กตัวที เหล็กทรงงู เป็นต้น อาจเกิดการโค้งงอเนื่องจากการบิดได้ เพราะเหล็กทรงงูมีค่าสตีฟเนสการบิด (Torsional Stiffness) ต่ำ

2.10.1 เมื่อหน้าตัดมีแกนสมมาตรสองแกน

เมื่อหน้าตัดเสามีแกนสมมาตรสองแกนเช่นเหล็ก Wide Flange การโค้งงอของเสาอาจเกิดได้อย่างอิสระ ลักษณะใดลักษณะหนึ่งใน 3 ลักษณะ คือ

ก. การโค้งงอด้วยการคดรอบแกน X

ข. การโค้งงอด้วยการคดรอบแกน Y

ค. การโค้งงอด้วยการบิดรอบแกน Z

จะสามารถหาค่าหน่วยแรงวิกฤตที่เสาทนรับได้ เมื่อบังคับถึงโค้งงอของเสาเนื่องจากการบิดตัวของเสา ดังนี้คือ

$$F_{\text{torsion}} = GJ/I_{ps} + \pi^2 E C_w / (KL)^2 I_{ps} \quad (2.50)$$

เมื่อ G = โมดูลัสการเฉือน (kg/cm^2)

J = โมเมนต์อินเนอร์เซียของการบิด (cm^4)

I_{ps} = โพลาร์โมเมนต์อินเนอร์เซีย เทียบกับจุดศูนย์กลางการเฉือน (cm^4)

E = โมดูลัสยืดหยุ่น (kg/cm^2)

C_w = ค่าคงที่การบิดเบี้ยวของหน้าตัด (cm^6) แสดงดังรูปที่ 2.13

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล

L = ความยาวเสา (m)

จัดรูปสมการใหม่ ในรูปสมการของ Euler ได้

$$F_{\text{torsion}} = [\pi^2 E / (KL)^2] \times [GJ(KL)^2 / \pi^2 E + C_w] \times [1 / I_{ps}]$$

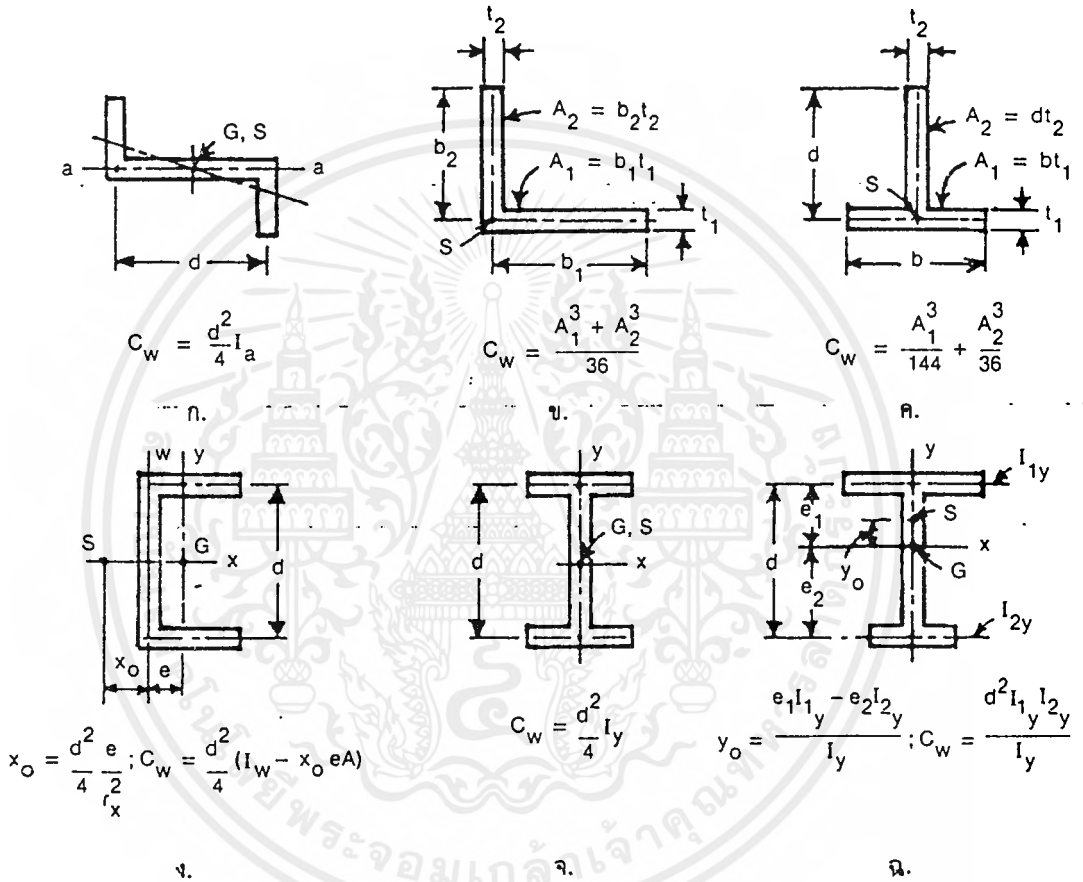
เพื่อความสะดวก กำหนดให้ $\pi^2 \cong 10$ และ $G/E \cong 0.4$ ได้ว่า

$$F_{\text{torsion}} = [\pi^2 E / (KL)^2] \times [(0.04 J(KL)^2 + C_w) / I_{ps}]$$

เปรียบเทียบกับสมการของ Euler ได้ $F_{\text{torsion}} = [\pi^2 E / (KL/r_t)^2]$ จะได้คั้งสมการ(2.51)

$$r_t = \sqrt{(0.04 J(KL)^2 + C_w) / I_{ps}} \quad (2.51)$$

เมื่อ $r_t =$ รัศมีไจเรชั่นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด



รูปที่ 2.13 แสดงค่าคั้งที่การบิดเบี้ยว C_w ของหน้าตัดต่างๆ (ทักษิณ เทพชาตรี, 2539 [6])

จากสมการ เมื่อ r_t มีค่าน้อยกว่า r_x และ r_y เสาจะเกิดการโค้งงอภายใต้การบิดเป็นหลัก ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาจะใช้ค่า r_t แทน r_x และ r_y

2.10.2 เมื่อหน้าตัดมีแกนสมมาตรแกนเดียว

เมื่อหน้าตัดเสามีแกนสมมาตรแกนเดียวเช่น เหล็กทรงน้ำ (Chanel) เมื่อสมมาตรรอบแกน Y การโค้งงอของเสาอาจเกิดได้อย่างอิสระ ลักษณะใดลักษณะหนึ่งใน 2 ลักษณะ คือ

ก. การโค้งงอด้วยการดัดรอบแกน X

ข. การโค้งงอด้วยการดัดรอบแกน Y และการบิดรอบแกน Z

เมื่อหน้าตัดเสามีแกนสมมาตรแกนเดียวจะสามารถหาค่ารัศมีไจเรชั่น (r_{ib}) เมื่อคำนึงถึงการโค้งงอของเสา เนื่องจากการบิดตัวของเสา และการดัดร่วมกันดังนี้คือ

$$r_{ib} = \sqrt{\frac{(r_x^2 + r_y^2) - \sqrt{(r_x^2 + r_y^2)^2 - 4(1 - y_0^2/r_{ps}^2)(r_x^2 r_y^2)}}{2(1 - y_0^2/r_{ps}^2)}} \quad (2.52)$$

เมื่อ r_{ib} = รัศมีไจเรชั่นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด และการดัด

r_x = รัศมีไจเรชั่นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด

r_y = รัศมีไจเรชั่นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การดัด รอบแกนที่สมมาตร

$r_{ps} = \sqrt{I_{ps} / A}$

y_0 = ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางการเลื่อน

ถ้า $r_{ib} < r_x$ เสาจะเกิดการโค้งงอด้วยการดัดและการบิดร่วมกัน

ถ้า $r_{ib} > r_x$ เสาจะเกิดการโค้งงอด้วยการดัดรอบแกน X

จากสมการ เมื่อ r_{ib} มีค่าน้อยกว่า r_x เสาจะเกิดการโค้งงอภายใต้การบิด และการดัดร่วมกัน ในกา
คำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาจะใช้ค่า r_{ib} แทน r_x และ r_y

2.10.3 เมื่อหน้าตัดไม่มีแกนสมมาตร

เมื่อหน้าตัดเสาไม่มีแกนสมมาตร การโค้งงอของเสาอาจเกิดได้อย่างอิสระ ลักษณะเดียวคือการโค้งงอด้วยการดัดรอบแกน X รอบแกน Y และการบิดรอบแกน Z พร้อมกัน

เมื่อหน้าตัดเสามีแกนสมมาตรแกนเดียวจะสามารถหาค่ารัศมีไจเรชั่น (r_c) เมื่อคำนึงถึงการโค้งงอของเสา เนื่องจากการบิดตัวของเสา และการดัดร่วมกัน ได้โดยการแก้สมการหาค่า r_c จากสมการ(2.53)

$$(r_{ps}^2 - x_0^2 - y_0^2) r_c^6 - [r_y^2(r_{ps}^2 - x_0^2) + r_x^2(r_{ps}^2 - y_0^2) + r_{ps}^2 r_x^2] r_c^4 + r_{ps}^2(r_x^2 r_y^2 + r_x^2 r_x^2 + r_y^2 r_y^2) r_c^2 = 1 \quad (2.53)$$

- เมื่อ r_c = รัศมีโงเรชั้นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด และการตัดทั้งสองแกน
 r_t = รัศมีโงเรชั้นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การบิด
 r_x = รัศมีโงเรชั้นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การตัด รอบแกนที่ X
 r_y = รัศมีโงเรชั้นเมื่อเกิดการโค้งงอของเสาภายใต้การตัด รอบแกนที่ Y
 $r_{ps} = \sqrt{I_{ps} / A}$
 x_0 = ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางการเลื่อนทางแนวแกน X
 y_0 = ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางการเลื่อนทางแนวแกน Y

จากสมการ เมื่อ r_c มีค่าน้อยกว่า r_x และ r_y เสาจะเกิดการโค้งงอภายใต้การบิด และการตัดร่วมกันทั้งสองแกน ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาจะใช้ค่า r_c แทน r_x และ r_y

2.11 การโค้งงอเฉพาะแห่ง (Local Buckling)

การโค้งงอเฉพาะแห่งจะเกิดขึ้นกับบางส่วนของหน้าตัดเสา ซึ่งมีค่าอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา มาก หรือมีความบางมากนั่นเอง ดังนั้นในชั้นส่วนที่มีความบางมากจะมีโอกาสโก่งเคาะก่อนส่วนอื่นของหน้าตัดทำให้กำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดต่ำกว่าที่คาดไว้

เราสามารถหาค่าหน่วยแรงวิกฤตที่แต่ละส่วนของหน้าตัดเสาสามารถรับได้ดังสมการ (2.54)

$$F_{cr} = k\pi^2 E / \{12(1-\nu^2)(b/t)^2\} \quad (2.54)$$

โดยที่ F_{cr} = หน่วยแรงวิกฤตที่ชั้นส่วนของหน้าตัดเสาสามารถรับได้

k = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการยึดปลายของชั้นส่วนดังแสดงในตารางที่ 2.9

E = โมดูลัสยืดหยุ่น

ν = 0.3 = อัตราส่วน Poisson's

b = ความกว้างของชั้นส่วน

t = ความหนาของชั้นส่วน

ตารางที่ 2.9 แสดงค่า k สำหรับหน้าตัดเสาต่างๆ (ทักษิณ เทพชาตรี 2539 [6])

องค์อาคาร	ค่า ส.ป.ส. k
1. ยื่นปลาย	
ก. เหล็กฉากเดี่ยว	0.425
ข. ปีก	0.70
ค. เหวของตัวที	1.277
2. ยึดปลาย	
ก. แผ่นเหล็กประกบเจาะรู	6.97
ข. เหว และอื่นๆ	5.00

โดยปกติหน้าตัดของเสาจะถูกออกแบบมาให้มีค่า b/t ที่ให้ค่า F_c ไม่น้อยกว่า F_y แต่ในบางกรณีอาจเกิดความคลาดเคลื่อนที่ทำให้ขนาดหน้าตัดเสาเปลี่ยนแปลงจนมีผลให้ F_c น้อยกว่า F_y ในกรณีนี้จะใช้ค่า F_c ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักแทน F_y

2.12 กำลังรับน้ำหนักเมื่อเสาเกิดความคลาดเคลื่อนของขนาดหน้าตัด

2.12.1 ขนาดของพื้นที่หน้าตัดเสาเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเสา

ปริมาณของพื้นที่หน้าตัดเสาจะมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา เสาที่มีลักษณะหน้าตัดเหมือนกันถ้าหากมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า ย่อมสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าเสาที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่า ถ้าหากทราบถึงน้ำหนักต่อหน่วยความยาวของเสาแล้ว ก็จะสามารถหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเสาได้ดังสมการ (2.55)

$$A = W_{\text{PER LENGTH}} / \rho \quad (2.55)$$

เมื่อ $A =$ พื้นที่หน้าตัดเสาที่แท้จริง m^2

$W_{\text{PER LENGTH}} =$ น้ำหนักเสา/หน่วยความยาวที่แท้จริง kg/m

$\rho =$ ความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาทำเสา kg/m^3

2.12.2 ขนาดของพื้นที่หน้าตัดเสาเมื่อหน้าตัดมีการสูญเสีย

การสูญเสียของหน้าตัดเสาเกิดได้จากหลายสาเหตุเช่น เกิดการผุกร่อนของหน้าตัดเสา หรือมีการเจาะช่องเสา (การเจาะรูเพื่อยึด Bolt หรือ สลักเกลียว ไม่ถือว่าเป็นการลดพื้นที่หน้าตัด สำหรับ โครงสร้างรับแรงอัด) เราสามารถหาพื้นที่หน้าตัดสุทธิของเสาได้ดังสมการ(2.56)

$$A_{\text{net}} = A - A_{\text{loss}} \quad (2.56)$$

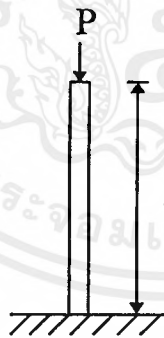
เมื่อ $A_{net} =$ พื้นที่หน้าตัดสุทธิ
 $A =$ พื้นที่หน้าตัดที่หาได้จากน้ำหนัก/หน่วยความยาว
 $A_{loss} =$ พื้นที่หน้าตัดที่สูญเสียไป

2.12.3 ผลจากความคลาดเคลื่อนของขนาดและรูปร่างของหน้าตัดเสา

ในการผลิตวัสดุที่นำมาทำเสา บางครั้งขนาดและรูปร่างของหน้าตัดเสา อาจผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด เช่น หน้าตัดเสาบิดเบี้ยว ชิ้นส่วนของหน้าตัดเสายาวกว่าที่ต้องการ หรือความไม่สมบูรณ์ของหน้าตัดเสาจากสาเหตุอื่นๆ เช่น การเจาะหน้าตัดเสาซึ่งส่งผลให้รูปร่างของหน้าตัดเสาเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา เมื่อชิ้นส่วนของเสาที่บางกว่าที่กำหนดยอมเกิดการโก่งคาะเฉพาะแห่ง (Local Buckling) หากขนาดที่เปลี่ยนแปลง และรูปทรงของหน้าตัดที่เปลี่ยนแปลง จะมีผลต่อค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย (Moment of Inertia) ซึ่งต้องหาค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย ที่แท้จริงของหน้าตัดเสา เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาลำดับรับน้ำหนักของเสาต่อไป

2.13 ตัวอย่างการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาที่เกิดความคลาดเคลื่อน

กำหนดให้เสาเหล็ก WF ขนาด 400 x 172 ต้นหนึ่งยาว 5.00 เมตร เป็นเหล็ก โครงสร้างชนิด A36 ($F_y = 2520 \text{ kg/cm}^2$) มีลักษณะการยึดปลายเป็นแบบโคนเสายึดแน่น ปลายปล่อยอิสระ ดังรูปที่ 2.14

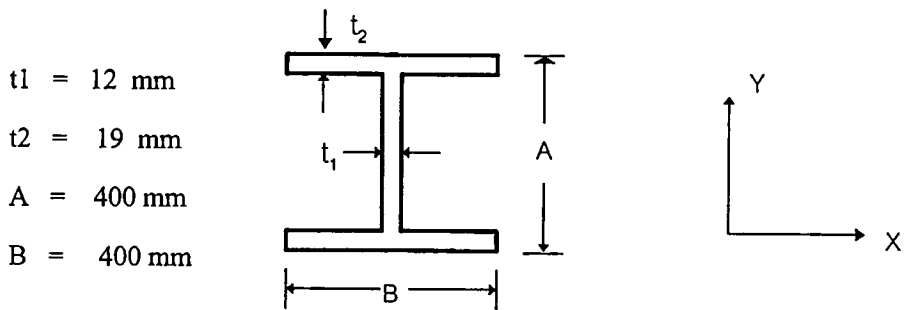


รูปที่ 2.14 แสดงภาพเสาโงทซ์ตัวอย่าง

จากการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเสาพบความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 2.15

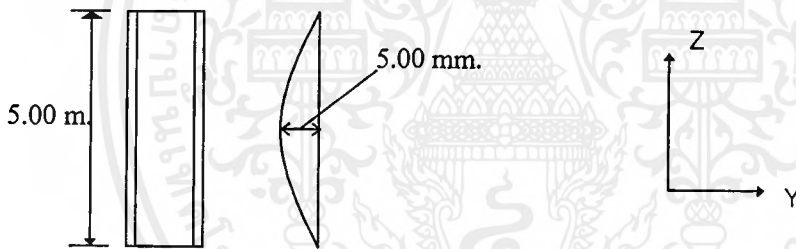
- 1) น้ำหนักเสา = 153.42 kg/m
- 2) ขนาดของหน้าตัดเสาเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



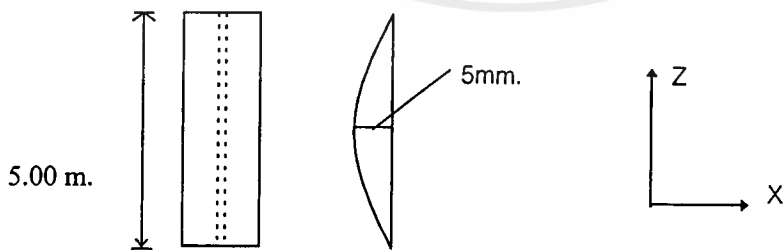
รูปที่ 2.15 แสดงขนาดหน้าตัดเสาที่เปลี่ยนแปลง

- ค่า F_y จากการทดสอบตัวอย่าง มีค่า 2480 kg/cm^2
- เสามีการโค้งของระนาบ xz ที่กึ่งกลางเสา = 5 mm ทางด้าน $-Y$ ดังรูปที่ 2.16



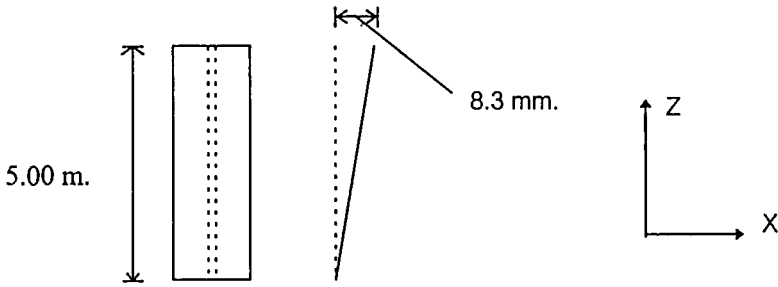
รูปที่ 2.16 แสดงการโค้งของเสาในระนาบ xz

เสามีการโค้งของระนาบ yz ที่กึ่งกลางเสา = 5 mm ทางด้าน $-X$ ดังรูปที่ 2.17



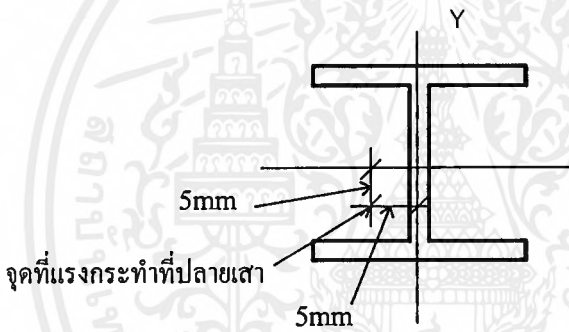
รูปที่ 2.17 แสดงการโค้งของเสาในระนาบ yz

5. เสามีการเอียงของระนาบ yz ที่ปลายเสา = 8.3 mm. ไปทาง $+X$ ในระนาบ xz ไม่มีการเอียงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการเอียงของเสาในระนาบ yz

6. เสามีการรับแรงเยื้องศูนย์กลาง ห่างจากแกน x -5 mm
 เสามีการรับแรงเยื้องศูนย์กลาง ห่างจากแกน y -5 mm ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงตำแหน่งรับแรงเยื้องศูนย์กลางของเสา

กำลังรับน้ำหนักของเสาที่จะสามารถรับได้สามารถหาได้ดังนี้

วิธีทำ จากตารางแสดงค่ามาตรฐานเหล็ก โครงสร้าง ได้ข้อมูลของเหล็ก โครงสร้าง ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 แสดงคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก (ทักษิณ เทพชาติ 2539 [6])

ชนิดเหล็ก	น้ำหนัก (kg/m)	พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	r_x (cm)	r_y (cm)	S_x (cm ³)	S_y (cm ³)
WF400x172	172	218.7	66,600	22,400	17.5	10.1	3,330	1,120

แต่จากความคลาดเคลื่อนของหน้าตัดเสาทำให้ได้ค่าของคุณสมบัติของหน้าตัดเสากำนวนได้ตามขั้นตอนดังนี้

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล $K = 2.1$ (ใช้ค่า K สำหรับการออกแบบจริง)

พื้นที่หน้าตัด หน่วยน้ำหนักของเหล็ก $A_{36} = 7850 \text{ kg/m}^3$

$$\text{น้ำหนักของเสา} = 153.42 \text{ kg/m}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดเสา} = 153.42 / 7850$$

$$= 0.019544 \text{ m}^2$$

$$= 195.44 \text{ cm}^2$$

ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย (I)

$$I_x = 2x(1/12)x(40x1.9^3) + 2x(40x1.9)x[(40-1.9)/2]^2 + (1/12)x1.2x[40-(1.9x2)]^3$$

$$= 59,950 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2x(1/12)x(1.9x40^3) + (1/12)x[40-(1.9x2)]x1.2^3$$

$$= 20,272 \text{ cm}^4$$

$$I_{ps} = I_x + I_y$$

$$= 59,950 + 20,272$$

$$= 80,222 \text{ cm}^4$$

ค่าเรเดียส ไจเรชั่น (r)

$$r_x = \sqrt{I_x/A}$$

$$= \sqrt{59,950/195.44}$$

$$= 17.51 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{I_y/A}$$

$$= \sqrt{20,272/195.44}$$

$$= 10.18 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 C_w &= (A-t_2)^2 \times (I_y / 4) \\
 &= (40-1.9)^2 \times (20,272 / 4) \\
 &= 7,356,759 \text{ cm}^6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J &= (1/3) \sum bt^3 \\
 &= (1/3) [2 \times 40 \times 1.9^3 + (40-2 \times 1.9) 1.2^3] \\
 &= 203.76 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_t &= \sqrt{(0.04 J(KL)^2 + C_w) / I_{ps}} \\
 &= \sqrt{[0.04 \times 203.76 (2.1 \times 500)^2 + 7,356,759] / 80,222} \\
 &= 14.27 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$r_t < r_x$ ดังนั้นใช้ r_t แทน r_x
 $r_t > r_y$ ดังนั้นใช้ r_y เท่าเดิม

ค่าโมเมนต์หน้าตัด (S)

$$\begin{aligned}
 S_x &= I_x / c \\
 &= 59,950 / 20 \\
 &= 2,997.5 \text{ cm}^3 \\
 S_y &= I_y / c \\
 &= 20,272 / 20 \\
 &= 1,013.6 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

หาค่าอัตราส่วนความชะลูด

$$\begin{aligned}
 Kl/r_t &= (2.1 \times 500) / 14.27 \\
 &= 73.58 \\
 Kl/r_y &= (2.1 \times 500) / 10.18 \\
 &= 103.14
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบ F_{CR} กรณีเกิด Local Bucking จากสมการ

$$F_{cr} = k\pi^2 E / \{12(1-\nu^2)(b/t)^2\}$$

สำหรับปีกเสา ใช้ค่า $k = 0.70$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0.70 \times \pi^2 \times 2.04 \times 10^6 / \{12(1-0.3^2)(20/1.9)^2\} \\ &= 11,648 \text{ kg/cm}^2 > 2,480 \text{ kg/cm}^2 \text{ O.K.} \end{aligned}$$

สำหรับ web เสา ใช้ค่า $k = 5.00$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 5 \times \pi^2 \times 2.04 \times 10^6 / \{12(1-0.3^2)(40/1.2)^2\} \\ &= 8,297 \text{ kg/cm}^2 > 2,480 \text{ kg/cm}^2 \text{ O.K.} \end{aligned}$$

ดังนั้น ใช้ $F_y = 2,480 \text{ kg/cm}^2$

หากำลังรับน้ำหนัก เมื่อคิดการ โกงเดาะของเสาทางด้านแกนหลักจากตารางที่ 2.8 ได้สมการหาค่า P_u/P_y ดังนี้

ที่โคนเสา $P_u/P_y = 1 / [\lambda^2 E' + \eta' + \eta'']$

ที่กลางเสา

$$P_u/P_y = \frac{[\eta' + \eta'' + 0.5\eta'' + (1 + E')\lambda^2] - \sqrt{[\eta' + \eta'' + 0.5\eta'' + (1 + E')\lambda^2]^2 - 4[E'\lambda^2 - 0.25\eta' + 0.5\eta'']\lambda^2}}{\{2E'\lambda^2 - 0.5\eta' + \eta''\}\lambda^2}$$

สามารถหาค่าตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_x \\ &= (1/\pi)(\sqrt{F_y/E})(Kl/r) \\ &= (1/\pi)(\sqrt{2480 / 2.04 \times 10^6})(73.58) \\ &= 0.817 \end{aligned}$$

การ โกงของระนาบ $xz = 0.5 \text{ cm}$.

$$\begin{aligned} \eta' &= \delta_{oy} A / S_x \\ &= (0.5 \times 195.44) / 2,997.5 \\ &= 0.0326 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับแรงเยื้องศูนย์กลาง เสาร์รับแรงเยื้องศูนย์กลางจากแนวแกน $X = -0.5$ cm.

$$\begin{aligned}\text{ได้ } \eta' &= e_y A / S_x \\ &= (-0.5 \times 195.44) / 2997.5 \\ &= -0.0326\end{aligned}$$

การเอียงของปลายเสาจากแกน $X = 0$

$$\begin{aligned}\text{ได้ } \eta'' &= s_y A / S_x \\ &= 0\end{aligned}$$

หาค่า E^{\wedge} เนื่องจาก $\lambda_x < \sqrt{2}$

$$\begin{aligned}\text{ได้ } E^{\wedge} &= 4 / [(4 - \lambda_x^2) \lambda_x^2] \\ &= 4 / [(4 - 0.817^2) 0.817^2] \\ &= 1.798\end{aligned}$$

แทนค่าตัวแปรลงในสมการหาค่า P_u/P_y ได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{ที่โคนเสา } P_u/P_y &= 1 / [0.817^2 \times 1.798 + (-0.0326) + 0] \\ &= 0.856\end{aligned}$$

ที่กลางเสา

$$\begin{aligned}P_u/P_y &= [0.0326 + (-0.0326) + 0 + (1 + 1.798) 0.817^2] \\ &\quad \frac{\{2 \times 1.798 \times 0.817^2 - 0.5(-0.0326) + 0\} 0.817^2}{-\sqrt{[0.0326 + (-0.0326) + 0 + (1 + 1.798) 0.817^2]^2 - 4[1.798 \times 0.817^2 - 0.25(-0.0326) + 0] 0.817^2}} \\ &\quad \frac{\{2 \times 1.798 \times 0.817^2 - 0.5(-0.0326) + 0\} 0.817^2}{\{2 \times 1.798 \times 0.817^2 - 0.5(-0.0326) + 0\} 0.817^2} \\ &= 0.841\end{aligned}$$

แต่เมื่อคิดถึงกรณีที่จะเกิดหน่วยแรง สูงสุดที่ด้านตรงข้ามกับที่พิจารณาในตอนแรกจะต้องคูณค่า -1 กับ

ค่า η^{\wedge} , η' และ η'' แล้วแทนค่ากลับเข้าไปในสมการได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{ที่โคนเสา } P_u/P_y &= 1 / [0.817^2 \times 1.798 + 0.0326 + 0] \\ &= 0.811\end{aligned}$$

ที่กลางเสา

$$P_c/P_y = \frac{[(-0.0326)+0.0326+0+ (1+1.798)0.817^2]}{\{2 \times 1.798 \times 0.817^2 - 0.5 \times 0.0326 + 0\} 0.817^2}$$
$$= \frac{-\sqrt{[(-0.0326)+0.0326+0+ (1+1.798)0.817^2]^2 - 4[1.798 \times 0.817^2 - 0.25 \times 0.0326 + 0]} 0.817^2}{\{2 \times 1.798 \times 0.817^2 - 0.5 \times 0.0326 + 0\} 0.817^2}$$
$$= 0.827$$

จะได้ค่า P_c/P_y น้อยสุดเท่ากับ 0.811

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} &= (P_c/P_y) A F_y \\ &= 0.811 \times 195.44 \times 2480 \\ &= 393,084 \text{ kg} \\ &= 393.084 \text{ ton} \end{aligned}$$

หากำลังรับน้ำหนัก เมื่อคิดการ โกงเดาะของเสาทางด้านแกนรอง สามารถหาค่าตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_y \\ \lambda &= (1/\pi) (\sqrt{F_y/E}) (Kl/r_y) \\ &= (1/\pi) (\sqrt{2480 / 2.04 \times 10^6}) (103.14) \\ &= 1.145 \end{aligned}$$

การ โกงของระนาบ yz = 0.5 cm.

$$\begin{aligned} \eta &= \delta_{ox} A / S_y \\ &= (0.5 \times 195.44) / 1013.6 \\ &= 0.0964 \end{aligned}$$

การรับแรงเยื้องศูนย์กลาง เสารับแรงเยื้องศูนย์กลางจากแนวแกน X = - 0.5 cm.

$$\begin{aligned} \eta' &= e_x A / S_y \\ &= [(-0.5) \times 195.44] / 1013.6 \\ &= -0.0964 \end{aligned}$$

การเอียงของเสาไปทางแนวแกน+X = 0.83 cm.

$$\begin{aligned}\eta'' &= s_x A / S_y \\ &= [0.83 \times 195.44] / 1013.6 \\ &= 0.16\end{aligned}$$

หาค่า E^{\wedge} เนื่องจาก $\lambda_y < \sqrt{2}$

$$\begin{aligned}\text{จะได้ } E^{\wedge} &= 4 / [(4 - \lambda_y^2) \lambda_y^2] \\ &= 4 / [(4 - 1.145^2) 1.145^2] \\ &= 1.135\end{aligned}$$

แทนค่าตัวแปรลงในสมการหาค่า P_{cr}/P_y ได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{ที่โคนเสา } P_{cr}/P_y &= 1 / [1.145^2 \times 1.135 + (-0.0964) + 0.16] \\ &= 0.644\end{aligned}$$

ที่กลางเสา

$$\begin{aligned}P_{cr}/P_y &= \frac{[0.0964 + (-0.0964) + 0.5 \times 0.16 + (1 + 1.135) 1.145^2]}{\{2 \times 1.145^2 \times 1.135 - 0.5(-0.0964) + 0.16\} 1.145^2} \\ &\quad - \frac{\sqrt{[0.0964 + (-0.0964) + 0.5 \times 0.16 + (1 + 1.135) 1.145^2]^2 - 4[1.145^2 \times 1.135 - 0.25(-0.0964) + 0.5 \times 0.16] 1.145^2}}{\{2 \times 1.145^2 \times 1.135 - 0.5(-0.0964) + 0.16\} 1.145^2} \\ &= \frac{2.879 - \sqrt{-0.06}}{4.174}\end{aligned}$$

ได้คำตอบเป็นจำนวนจินตภาพซึ่งไม่เป็นจริง

แต่เมื่อคิดถึงกรณีที่จะเกิดหน่วยแรง สูงสุดที่ด้านตรงข้ามกับที่พิจารณาในตอนแรกจะต้องคูณค่า -1 กับค่า η^{\wedge} , η' และ η'' แล้วแทนค่ากลับเข้าไปในสมการได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{ที่โคนเสา } P_{cr}/P_y &= 1 / [1.03^2 \times 1.283 + 0.0964 - 0.16] \\ &= 0.702\end{aligned}$$

ทกลางเสา

$$P_u/P_y = \frac{[(-0.0964)+0.0964 -0.5 \times 0.16 + (1+1.135)1.145^2]}{\{2 \times 1.145^2 \times 1.135 - 0.5 \times 0.0964 - 0.16\} 1.145^2}$$

$$= \frac{-\sqrt{[(-0.0964)+0.0964 -0.5 \times 0.16 + (1+1.135)1.145^2]^2 - 4[1.145^2 \times 1.135 - 0.25 \times 0.0964 + 0.5 \times (-0.16)] 1.145^2}}{\{2 \times 1.145^2 \times 1.135 - 0.5 \times 0.0964 - 0.16\} 1.145^2}$$

$$= 0.648$$

จะได้ค่า P_u/P_y น้อยสุดเท่ากับ 0.644

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้} &= (P_u/P_y) A F_y \\ &= 0.644 \times 195.44 \times 2480 \\ &= 312,141 \text{ kg} \\ &= 312.141 \text{ ton} \end{aligned}$$

ค่าน้ำหนักที่ทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะทางแกนรอง น้อยกว่าค่าน้ำหนักที่ทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะทางแกนหลัก ดังนั้นกำลังรับน้ำหนักของเสาที่จุดประลัยมีค่าเท่ากับ 312.141 ton

2.14 เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาขนาดเดียวกันเมื่อคำนวณตามมาตรฐาน American Institute of Steel Construction (AISC) โดยไม่คำนึง ถึงค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ

AISC ได้กำหนดสูตรในการหากำลังรับน้ำหนักอนุญาตใช้งานขอลเสาดังสมการ (2.57) และสมการ (2.58)

$$F_a = \frac{F_y [1 - (KL/r)^2/2C_c^2]}{5/3 + 3/8[(KL/r)/C_c] - 1/8[(KL/r)/C_c]^3} \quad \text{เมื่อ } KL/r \leq C_c \quad (2.57)$$

$$F_a = (12/23)[\pi^2 E / (KL/r)^2] \quad \text{เมื่อ } KL/r > C_c \quad (2.58)$$

โดยที่ F_a = หน่วยแรงที่ยอมให้
 F_y = หน่วยแรงที่จุดคราก
 C_c = $\sqrt{2\pi^2 E / F_y}$
 L = ความยาวเสาช่วงที่ไม่มีค้ำยัน

- r = รัศมีไจเรชั่น(ที่น้อยที่สุด) ของพื้นที่รอบแกนที่เกิดการโก่งงอ
 E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
 K = ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล

จากตารางที่ 2.10 ค่า $r_x < r_y$ ดังนั้นจะเกิดการโก่งเคาะทางด้านแกนรอง

ค่า $K = 2.1$ และ คุณสมบัติของวัสดุตามมาตรฐานมีค่าดังนี้

$$F_y = 2520 \text{ kg/cm}^2 \text{ (มาตรฐานเหล็ก A36)}$$

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

$$L = 500 \text{ cm}$$

$$r_y = 10.1 \text{ cm}$$

$$E = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = 218.7 \text{ cm}^2$$

$$\text{ค่า } KL/r_y = (2.1 \times 500) / 10.1 = 103.96$$

$$\text{ค่า } C_c = \sqrt{2\pi^2 \times 2.04 \times 10^6 / 2520} = 126.41$$

ดังนั้น $K_y L / r_y < C_c$ ใช้สมการหาหน่วยแรงที่ยอมให้จากสมการ(2.57)

$$\begin{aligned}
 F_a &= \frac{F_y [1 - (KL/r)^2 / 2C_c^2]}{5/3 + 3/8[(KL/r) / C_c] - 1/8[(KL/r) / C_c]^3} \\
 &= \frac{2520 [1 - (103.96)^2 / (2 \times 126.41^2)]}{5/3 + 3/8[103.96 / 126.41] - 1/8[103.96 / 126.41]^3} \\
 &= 875.239 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยที่เสาสามารถรับได้มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 P_{all} &= F_a \times A \\
 &= 875.239 \times 218.7 \\
 &= 191,414 \text{ kg} \\
 &= 191.414 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

เปรียบเทียบกับกำลังรับน้ำหนักประลัยได้ว่ากำลังรับน้ำหนักประลัยมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกจาก
สูตร AISC เท่ากับ

$$\begin{aligned} P_{cr}/P_{all} &= 312.141 / 191.414 \\ &= 1.631 \text{ เท่า} \end{aligned}$$



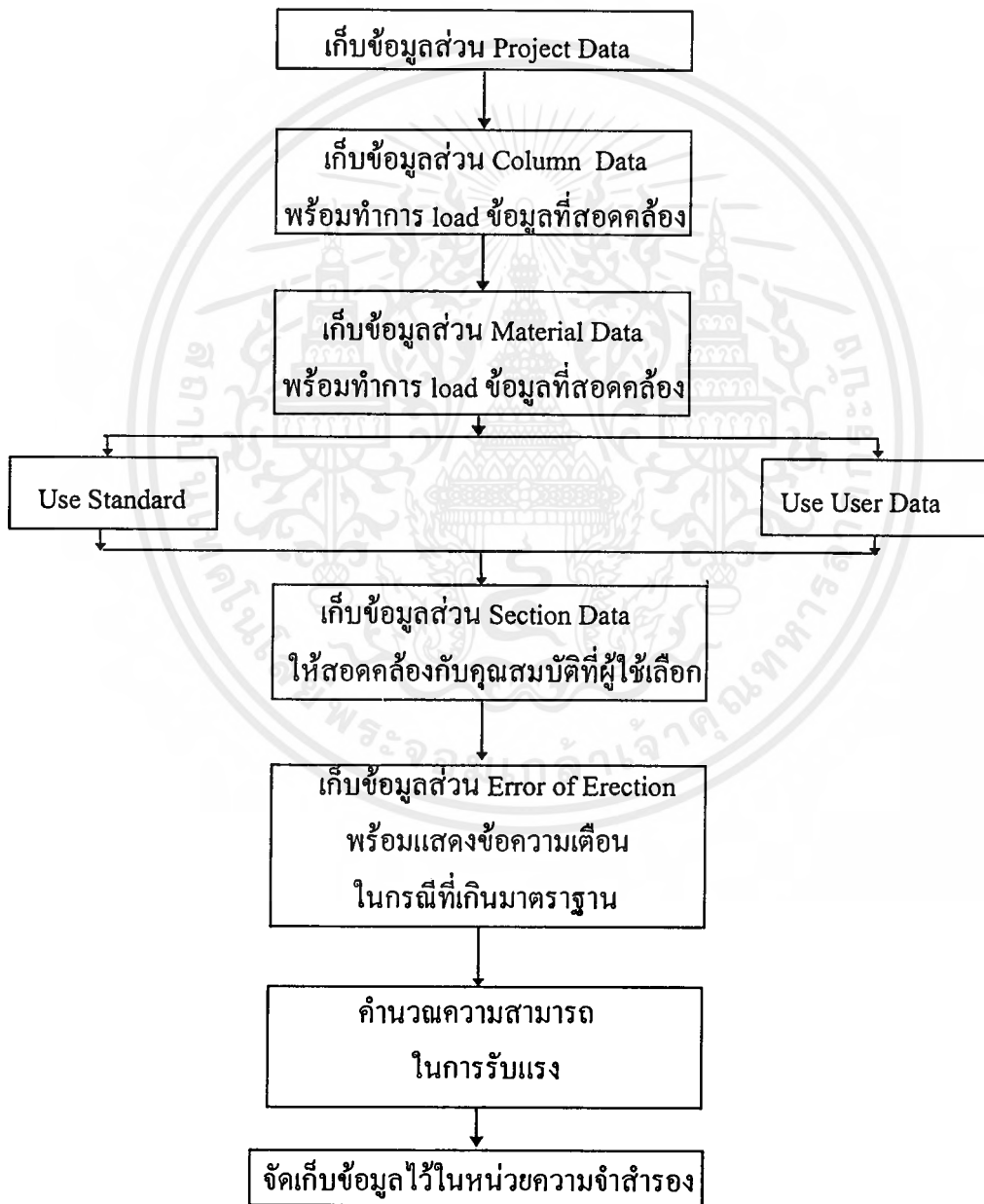
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โปรแกรม SCE

3.1 การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรม SCE พัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักที่เสาสามารถรับได้ในกรณีที่เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นทั้งยังแสดงถึงค่าแรงอนุญาต และค่าความปลอดภัย โดยโปรแกรม SCE พัฒนาขึ้นจากภาษา Dephi 2.0 โดยมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของโปรแกรม SCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีรายละเอียดแต่ละส่วนดังนี้

3.1.1 ส่วน Project Data

เป็นส่วนที่ผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับชื่อโครงการ ชื่อวิศวกร และที่ตั้งโครงการ พร้อมกันนี้โปรแกรมยังแสดงวัน และ เวลาในขณะที่ทำงาน

3.1.2 ส่วน Column Data

ในส่วนนี้โปรแกรมจะมีการโหลดข้อมูลที่สอดคล้องกับสภาพการยึดปลายที่ผู้ใช้กำหนด

3.1.3 ส่วน Material Data

เป็นส่วนที่ผู้ใช้ทำการเลือกคุณสมบัติค่าหน่วยแรงที่จุดคลากโดยสามารถเลือกจากค่ามาตรฐาน หรือ ข้อมูลของผู้ใช้เอง โดยโปรแกรมจะเก็บค่าไว้เพื่อทำการคำนวณ

3.1.4 ส่วน Section Data

ในส่วนนี้ผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลโดยเลือกว่าจะอ้างอิงค่ามาตรฐาน (User standard) หรือจะใช้ข้อมูลในส่วนที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นเอง (Use user data) โปรแกรมจะเก็บค่าต่างๆ ไว้เพื่อการคำนวณตามลักษณะที่ผู้ใช้เลือก

3.1.5 ส่วน Error of Erection

ส่วนนี้โปรแกรมจะทำการเก็บค่า Error จากกรณีต่างๆ ที่ผู้ใช้กำหนด พร้อมแสดงค่าเดือนในกรณีค่าที่ผู้ใช้ป้อนเกินค่ามาตรฐาน โดยตัวหนังสือจะปรากฏเป็นสีแดง

3.1.6 ส่วนคำนวณผล

โปรแกรมจะทำการคำนวณผลจากข้อมูลในส่วนที่ผ่านมา พร้อมแสดงผลการคำนวณในลักษณะ Critical Load Allowable Load และ Factor of Safety

3.1.7 ส่วนเก็บข้อมูล

โปรแกรมจะจัดเก็บสถานะต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และผลการคำนวณไว้ในหน่วยความจำสำรอง

3.2 คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ที่จะใช้กับโปรแกรม

3.2.1 คอมพิวเตอร์รุ่น 80486 ขึ้นไป

3.2.2 มีระบบปฏิบัติการ 32 bit (Widow95 ขึ้นไป)

3.2.3 มีเนื้อที่ใน Drive C:\ อย่างน้อย 1.4 Megabyte

3.2.4 มีระบบจัดการ Database ของ Delphi2.0

3.3 การติดตั้งโปรแกรม SCE

ผู้ใช้ต้องทำการสร้าง Directory ใน Drive C:\ ให้มีชื่อว่า C:\SCE จากนั้นทำการคัดลอก files ทั้งหมดลงไปไว้ใน Directory ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเข้าโปรแกรม

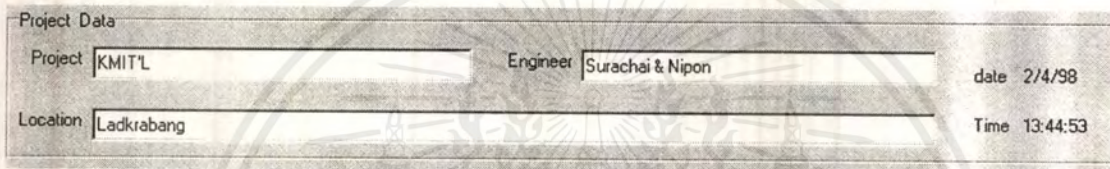
ทำการ Runระบบปฏิบัติการ 32 bit จากนั้นเข้าไปใน Directory SCE ทำการเรียก File SCE.exe โปรแกรมจะปรากฏบนหน้าจอดังรูปที่ 3.2

3.5 การใช้งานโปรแกรม

ผู้ใช้ต้องทำการป้อนข้อมูลในส่วนต่างๆให้ครบถ้วนโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 ส่วน Project Data

ผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลต่างๆ เริ่มจากชื่อ โครงการ ชื่อวิศวกรคุมงาน และสถานที่ตั้งตามช่องที่กำหนด โปรแกรมจะแสดงวันและเวลาที่ทำการใช้งานดังรูปที่ 3.3

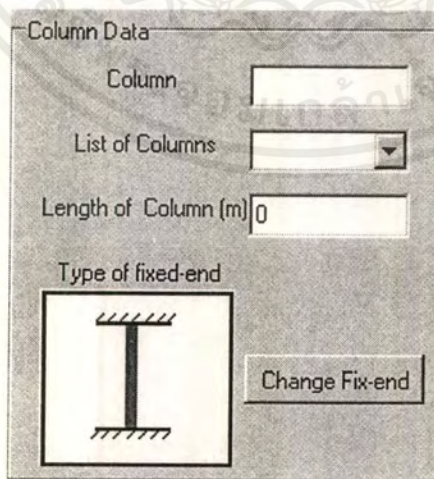


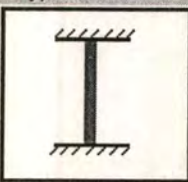
Project Data					
Project	KMITL	Engineer	Surachai & Nipon	date	2/4/98
Location	Ladkrabang			Time	13:44:53

รูปที่ 3.3 แสดงส่วน Project Data

3.5.2 ส่วน Column Data

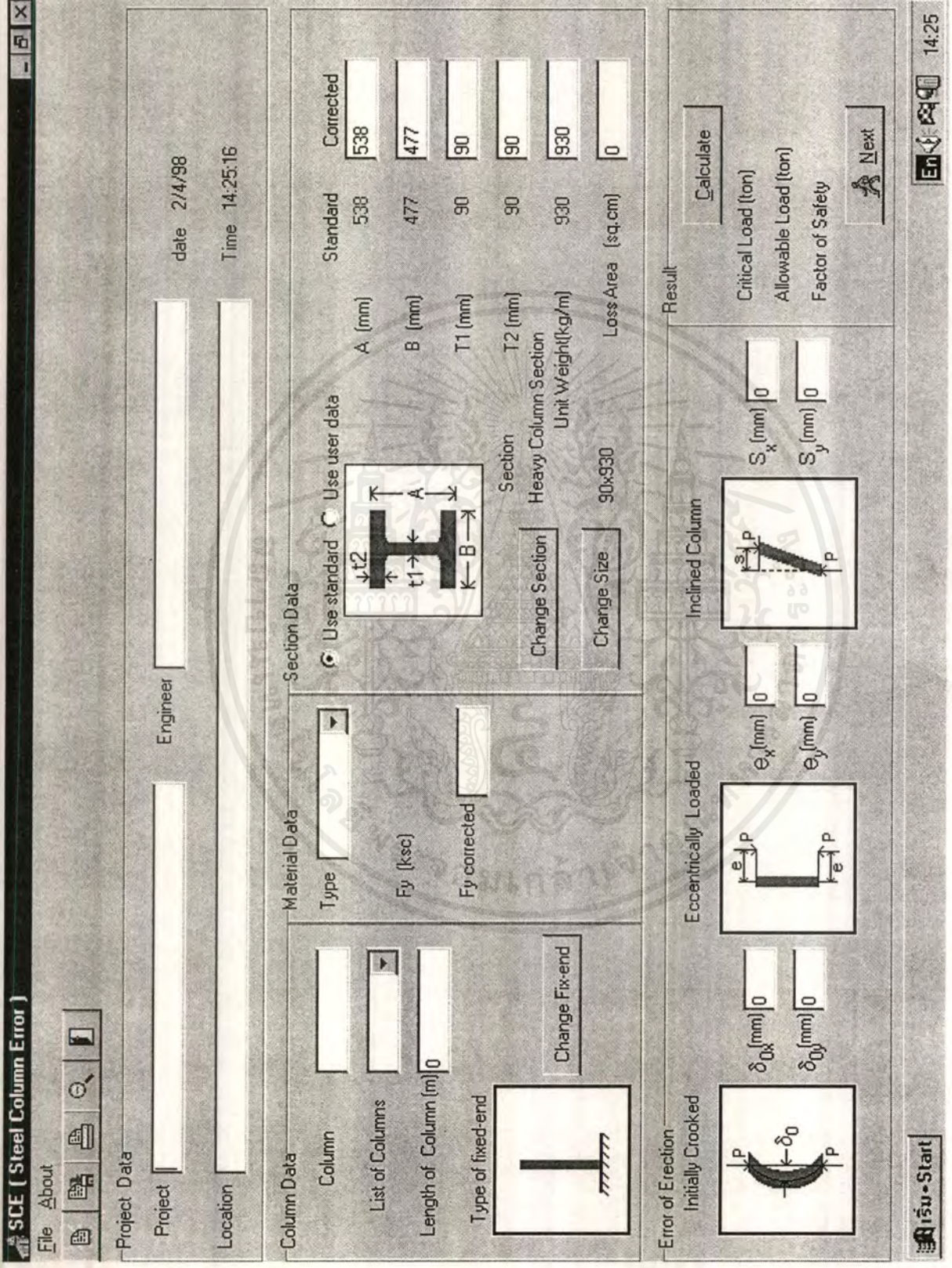
ส่วน Column Data ประกอบด้วย ชื่อเสา (Column) รายการเสา (List of Column) ความยาวเสา (Length of Column) และลักษณะการยึดปลาย (Type of Fix-end) ดังรูปที่ 3.4



Column Data	
Column	<input type="text"/>
List of Columns	<input type="text"/>
Length of Column (m)	0
Type of fixed-end	
	<input type="button" value="Change Fix-end"/>

รูปที่ 3.4 แสดงส่วน Column Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



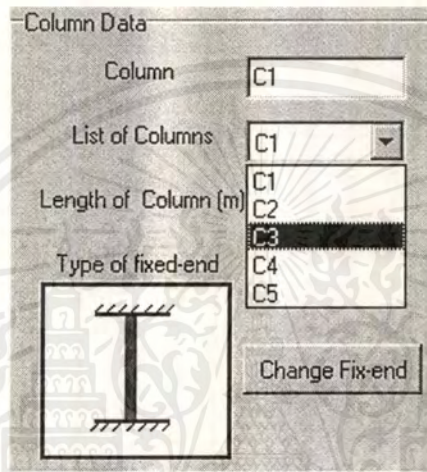
รูปที่ 3.2 แสดงโปรแกรม SCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีรายละเอียดแต่ละส่วนดังนี้

ช่อง Column ให้ผู้ใช้ทำการป้อนชื่อเสาที่จะทำการคำนวณ ถ้ากำหนดชื่อเสาเหมือนกัน โปรแกรมจะมองว่าเป็นเสาดันเดียวกัน

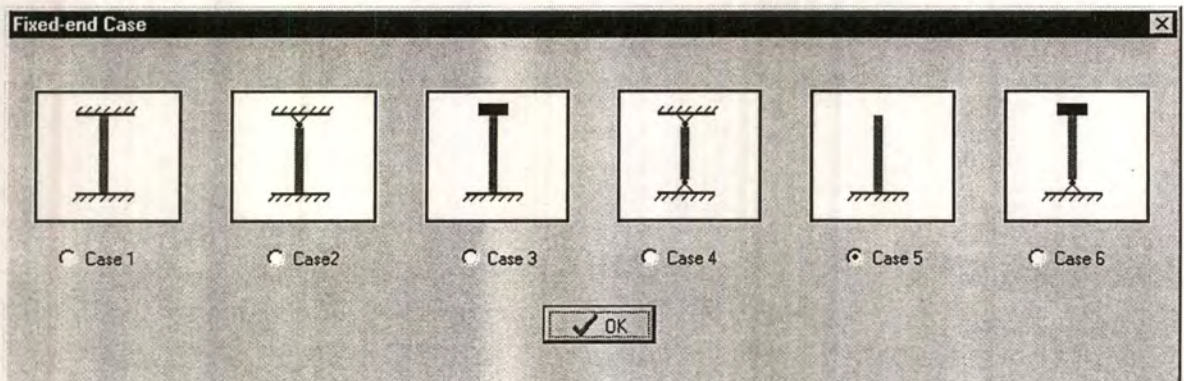
ช่อง List of Column จะมีลักษณะการทำงานโดยให้ผู้ใช้ทำการเลือกเสาที่ทำการคำนวณผ่านมาแล้ว (ภายในการ Run โปรแกรมครั้งหนึ่งๆ) ข้อมูลจะถูก Load จากหน่วยความจำสำรองมาแสดงให้ผู้ใช้เห็น การเลือกเสาทำได้โดยการคลิกปุ่มลง โปรแกรมจะแสดงรายชื่อเสาจากนั้นเลื่อนแถบสว่างไปยังชื่อเสาที่ต้องการทำการคลิกเลือกชื่อเสาที่ต้องการดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการเลือกเสาจาก Combobox List of Column

ช่อง Length of Column (m) เป็นช่องที่ให้ผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลความยาวเสาที่นำมาทำการคำนวณ มีหน่วยเป็นเมตร

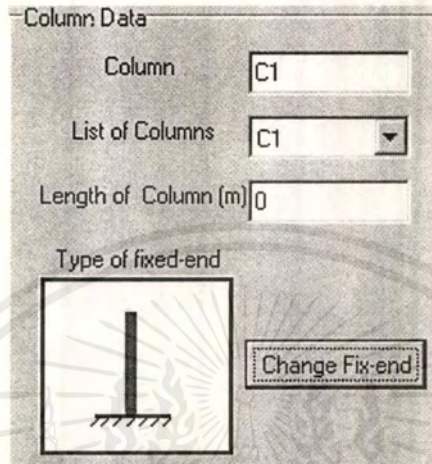
ปุ่ม Change จะเป็นการเปลี่ยนลักษณะการยึดปลายโดยเมื่อทำการกดปุ่มนี้จะปรากฏ Dialog รูป ลักษณะการยึดปลายลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนและเลือกลักษณะการยึดปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

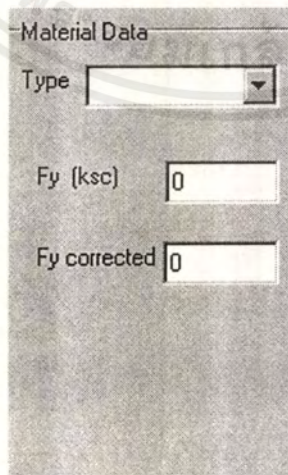
การเลือกลักษณะการยึดปลายทำได้โดยคลิก Mouse ใน Case ที่ต้องการ หรือ Double click ที่รูปที่ต้องการ จากนั้นทำการกดปุ่ม O.K. ข้อมูลที่สัมพันธ์กับลักษณะการยึดปลายที่เลือก จะถูกเลือก และรูปเปลี่ยนตามลักษณะการยึดปลายที่เลือกเช่นรูปที่3.7



รูปที่ 3.7 แสดงรูปลักษณะการยึดปลายที่เปลี่ยนไปตามที่ผู้ใช้กำหนด

3.5.3 ส่วน Material Data

ส่วน Material Data ประกอบด้วย ชนิดเหล็ก (Type) หน่วยแรงที่จุดคานมาตรฐาน (F_y) หน่วยแรงที่จุดคานแก้ไข (F_y corrected) ดังรูปที่3.8

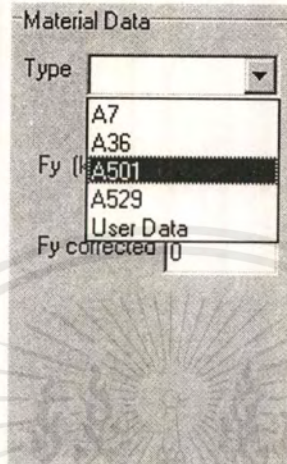


รูปที่ 3.8 แสดงส่วน Material Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

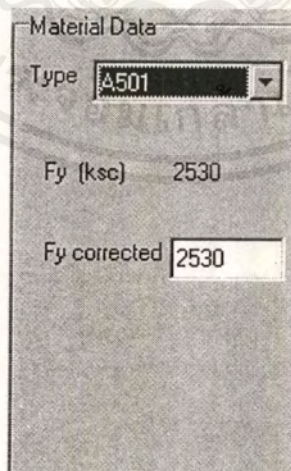
โดยมีรายละเอียดแต่ละส่วนดังนี้

ช่อง Type ใช้งานโดยคลิกที่ปุ่มลงเลื่อนแถบสว่างไปยังค่าที่ต้องการ ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการใช้ข้อมูลของผู้ใช้เองให้ทำการเลือกใน User Data ดังรูปที่3.9



รูปที่3.9 แสดงการเลือก Type เหล็กจาก Combobox

ช่อง Fy (ksc) ในช่องนี้ถ้าผู้ใช้ทำการเลือกชนิดเหล็กในส่วน Type ตามค่าเหล็กมาตรฐานค่าจะแสดงโดยอัตโนมัติดังรูปที่3.10



รูปที่3.10 แสดงกรณีผู้ใช้เลือกค่าเหล็กมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในกรณีที่ผู้ใช้เลือกตัวเลือก User Data ในช่อง Type ในช่อง Fy (ksc) จะปรากฏช่องให้ป้อนข้อมูล หน่วยเป็น kg/cm^2 ดังรูปที่3.11

รูปที่3.11 แสดงกรณีผู้ใช้เลือก User Data

ช่อง Fy (ksc)corrected ในช่องจะมีค่า Default เป็นค่าเดียวกับ ช่อง Fy (ksc) ผู้ใช้สามารถแก้ไขได้ตามต้องการในกรณีที่เกิดความคลาดเคลื่อนของวัสดุ

3.5.4 ส่วน Section Data

ส่วน Section Data ประกอบด้วย การเลือกชนิดข้อมูล การเปลี่ยนชนิดหน้าตัด (Change Section) การเปลี่ยนขนาด (Change Size) ค่ามิติต่างๆ ดังรูปที่3.12

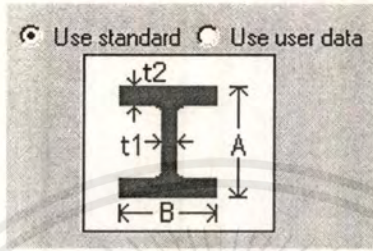
	Standard	Corrected
A (mm)	538	538
B (mm)	477	477
T1 (mm)	90	90
T2 (mm)	90	90
Unit Weight(kg/m)	930	930
Loss Area (sq.cm)		0

รูปที่3.12 แสดงส่วน Section Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

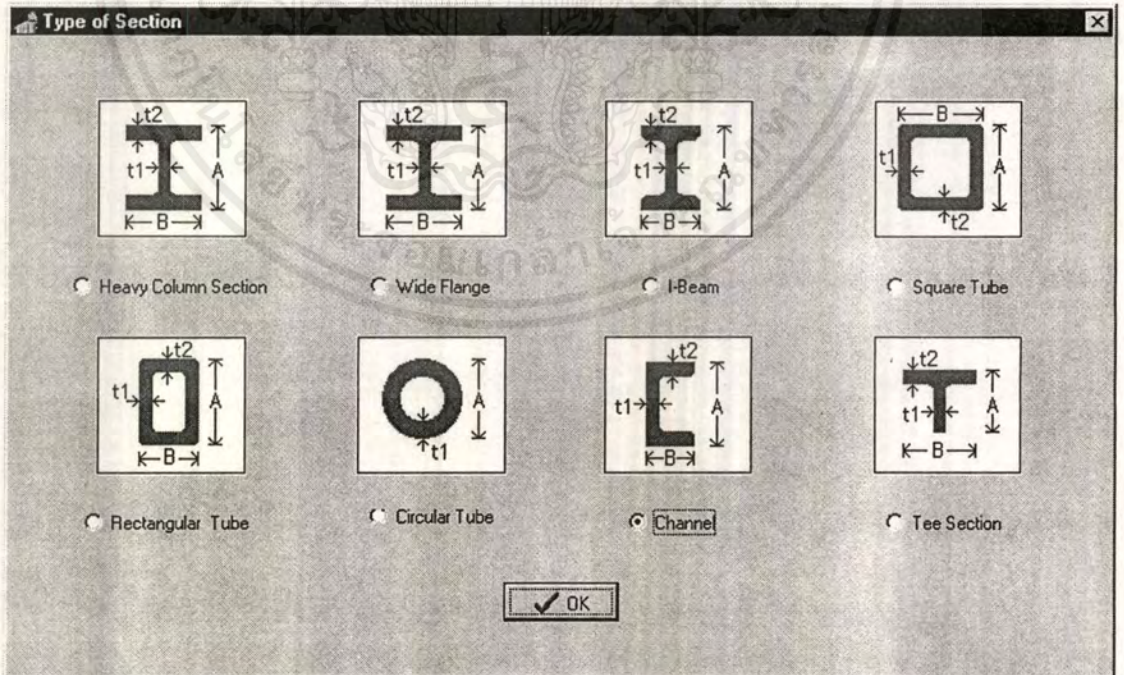
โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วน Use standard และ Use user data ผู้ใช้ต้องทำการคลิกเลือกช่องใดช่องหนึ่ง โดยเมื่อผู้ใช้ต้องการใช้หน้าตัดมาตรฐานให้เลือก Use Standard และเมื่อผู้ใช้ต้องการใช้ข้อมูลที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นเองให้เลือกที่ช่อง Use user data ดังรูปที่3.13



รูปที่3.13 แสดงช่อง Use Standard และ Use user data

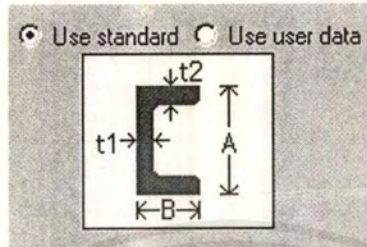
ปุ่ม Change Section จะเป็นการเปลี่ยนหน้าตัดโดยเมื่อกดปุ่มนี้จะปรากฏ Dialog แสดงรูปหน้าตัดต่างๆ ดังรูปที่3.14



รูปที่3.14 แสดง Dialog Type of Section

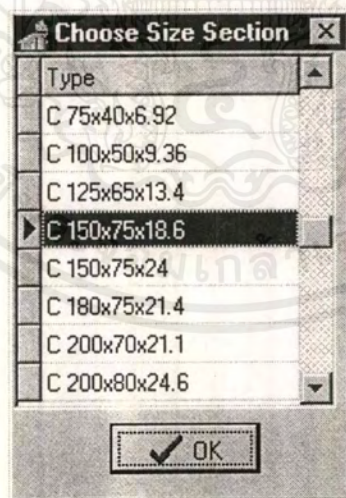
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเลือกชนิดหน้าตัดโดยคลิก Mouse ในช่องที่ตรงกับชนิดหน้าตัดที่ต้องการ หรือทำการ Double Click ที่รูปหน้าตัดที่ต้องการ จากนั้นคลิกปุ่ม O.K. ข้อมูลที่สัมพันธ์กับหน้าตัดจะถูกเลือก และรูปเปลี่ยนตามชนิดหน้าตัดที่เลือกเช่นรูปที่3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการเปลี่ยนหน้าตัดตามที่ผู้ใช้เลือก

ช่อง Section เมื่อผู้ใช้เลือก Use Standard และทำการกดปุ่ม Change Size Dialog Box Change Section จะปรากฏขึ้น



รูปที่3.16 แสดงการเลือก Section จาก Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเลือกหน้าตัด เมื่อได้หน้าตัดตามต้องการให้กดปุ่ม O.K. ข้อมูลจาก Database จะถูก Load มาไว้ในหน่วยความจำ หน้าจอจะปรากฏดังรูปที่3.17

Section Data		Standard	Corrected
<input checked="" type="radio"/> Use standard	<input type="radio"/> Use user data		
	A (mm)	150	150
	B (mm)	75	75
	T1 (mm)	6.5	6.5
	T2 (mm)	10	10
Section	Channel		
Unit Weight(kg/m)		18.6	18.6
Change Section	C 150x75x18.6		
Change Size		Loss Area (sq.cm)	0

รูปที่3.17 แสดงข้อมูลที่ Load จาก Database

ในส่วนต่อมาจะสังเกตเห็น Column 2 Column คือ Standard กับ Corrected และ แถว6 แถว คือ A(mm) B(mm) T1(mm) T2(mm) Unit weight (kg/m) และ Loss Area โดยแถว Loss Area จะปรากฏเฉพาะช่อง Corrected โดยช่อง Column Corrected ข้อมูลใน Column นี้จะถูก Set ค่า Default ไว้ที่ค่าเดียวกับค่า Standard ผู้ใช้สามารถเลือกได้ตามต้องการ

ในกรณีหน้าตัดของผู้ใช้มีความคลาดเคลื่อน ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนค่าได้ในช่อง Correct ดังรูปที่3.18

Section Data		Standard	Corrected
<input checked="" type="radio"/> Use standard	<input type="radio"/> Use user data		
	A (mm)	150	145
	B (mm)	75	73
	T1 (mm)	6.5	6.2
	T2 (mm)	10	9.5
Section	Channel		
Unit Weight(kg/m)		18.6	18.1
Change Section	C 150x75x18.6		
Change Size		Loss Area (sq.cm)	5

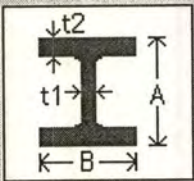
รูปที่3.18 แสดงการแก้ไขข้อมูลในช่อง Correct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ ถ้าผู้ใช้เลือก Use user data ผู้ใช้จะต้องทำการป้อนค่าเองดังรูปที่3.19

Section Data

Use standard Use user data



	Standard	Corrected
A (mm)	400	398
B (mm)	400	402
T1 (mm)	13	12.5
T2 (mm)	21	20.5
Unit Weight(kg/m)	172	171
Loss Area (sq.cm)		3

Change Section

Section: Wide Flange

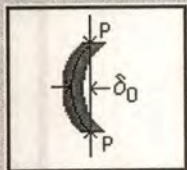
รูปที่3.19 แสดงการป้อนข้อมูล ในกรณีเลือก Use user data

3.5.5 ส่วน Error of Erection

ส่วน Error of Erection ประกอบด้วยระยะ โกงงอเริ่มต้นแกน X (δ_{0x}) ระยะ โกงงอเริ่มต้นแกน Y (δ_{0y}) ระยะเยื้องศูนย์กลางแกน X (E_x) ระยะเยื้องศูนย์กลางแกน Y (E_y) ระยะเอียงของเสาแกน X (S_x) และระยะเอียงของเสาแกน Y (S_y) ดังรูปที่3.20

Error of Erection

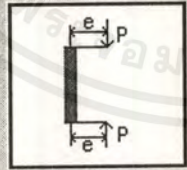
Initially Crooked



δ_{0x} (mm)

δ_{0y} (mm)

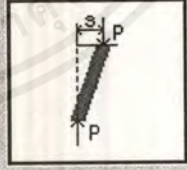
Eccentrically Loaded



e_x (mm)

e_y (mm)

Inclined Column



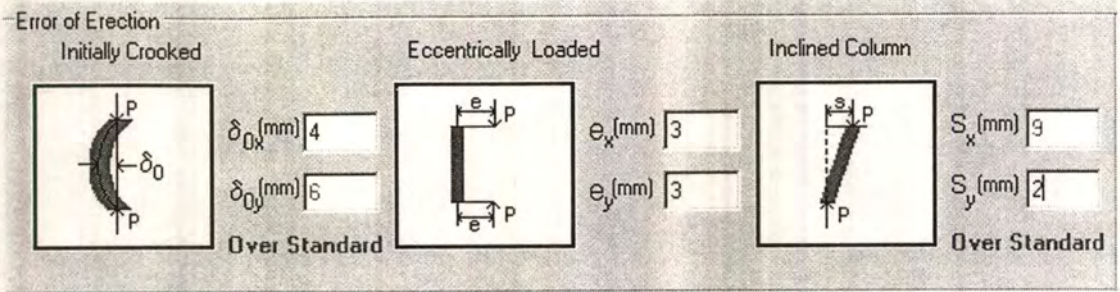
S_x (mm)

S_y (mm)

รูปที่3.20 แสดงส่วน Error of Erection

โดยช่อง δ_{0x} (mm) , δ_{0y} (mm) , E_x (mm) , E_y (mm) , S_x (mm) และ S_y (mm) มีลักษณะการทำงานคล้ายกัน โดยให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลลงไป ซึ่งค่าerror มีทิศทางเป็นบวกเมื่อเป็นทิศทางเป็นไปดังรูปที่3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

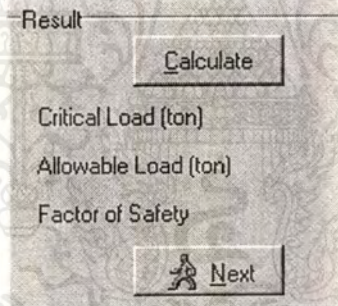


รูปที่3.21 แสดงข้อความเตือนในกรณีที่มีข้อมูลที่ป้อนเกินค่ามาตรฐาน

ถ้าค่า Error เกินข้อกำหนด ตัวเลขจะเป็นสีแดง และ ข้อความ Over Standard จะปรากฏให้เห็น

3.5.6 ส่วน Result

ส่วน Result ประกอบด้วย ปุ่มสั่งทำการคำนวณ (Calculate) ค่ากำลังรับแรงวิกฤติ (Critical Load) ค่ากำลังรับแรงอนุญาต (Allowable Load) ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) และปุ่มสั่งการทำงานต่อไป (Next) ดังรูปที่3.22

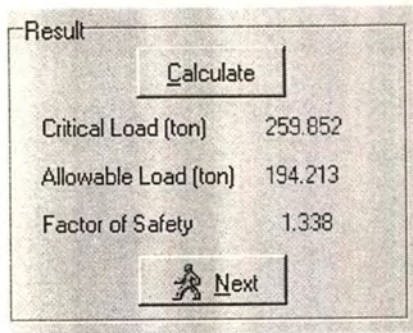


รูปที่3.22 แสดงส่วน Result

โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปุ่ม Calculate เมื่อผู้ใช้ทำการกดปุ่มนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก โดยจะแสดงการคำนวณเป็น Critical Load(ton) Allowable Load(ton) และ Factor of Safety ดังรูปที่3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

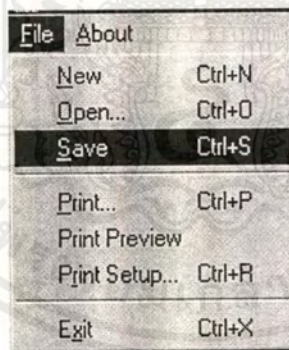


รูปที่3.23 แสดงผลการคำนวณ

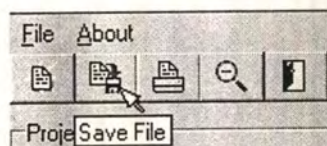
ปุ่ม Next เป็นการกดปุ่มเพื่อที่จะทำงานต่อไปเมื่อกดปุ่มนี้ โปรแกรมจะทำการเก็บค่าต่างๆ เอาไว้ในหน่วยความจำสำรอง

3.6 การเก็บเพิ่มข้อมูล

เมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน ผู้ใช้สามารถเก็บเพิ่มข้อมูลได้โดยคลิกไปที่เมนู File เลือก Save หรือใช้ Hot Key Ctrl+S หรือใช้ปุ่ม Speed ดังรูปที่3.24 และ3.25 ตามลำดับ

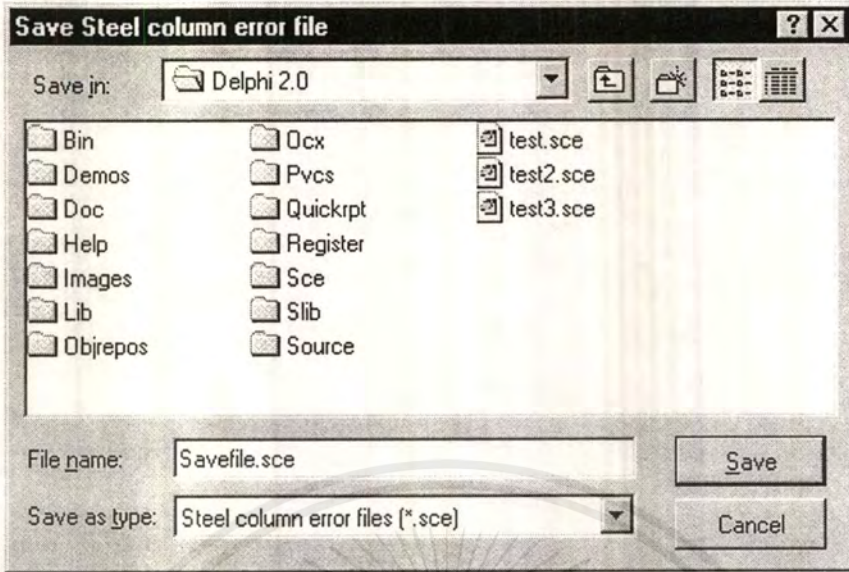


รูปที่3.24 แสดงการเลือก File แล้ว Save



รูปที่3.25 แสดงการ Safe โดยปุ่ม Speed Button

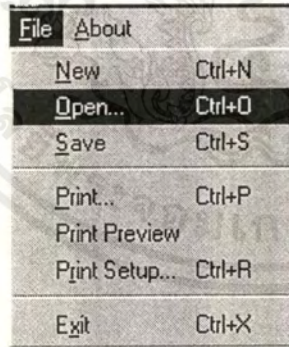
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



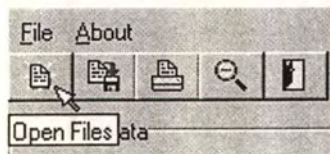
รูปที่3.26 แสดง Dialog Save

3.7 การเปิดเพิ่มข้อมูล

ผู้ใช้สามารถเปิดเพิ่มข้อมูลได้โดยการคลิกไปที่เมนู File เลือก Open หรือใช้ Hot Key Ctrl+O หรือใช้ปุ่ม Speed ดังรูปที่3.27 และ3.28 ตามลำดับ

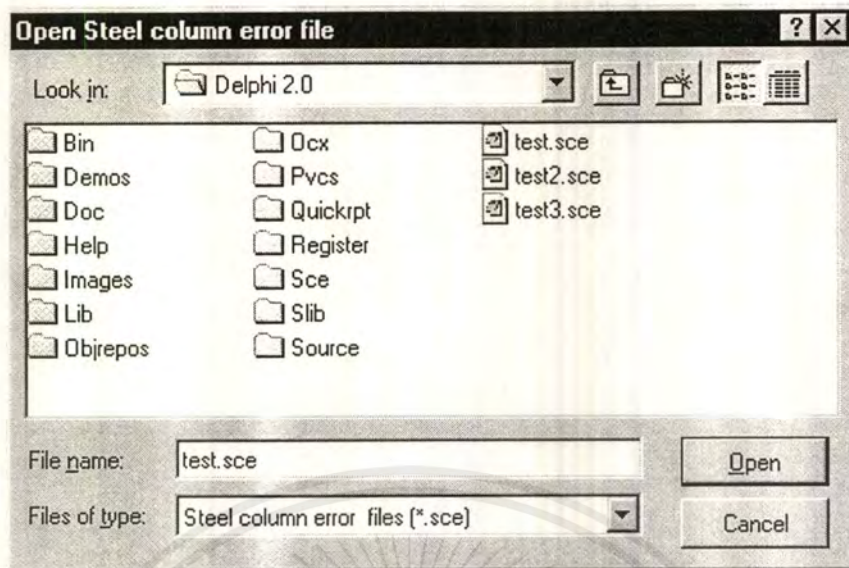


รูปที่3.27 แสดงการเลือก File แล้ว Open



รูปที่3.28 แสดงการ Open โดยปุ่ม Speed Button

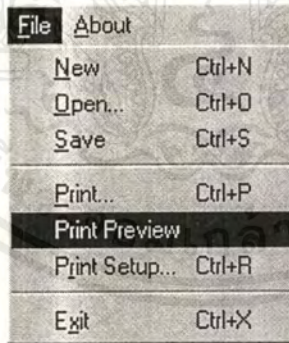
เอกสาร เมื่อเลือกคำสั่งเปิดเพิ่มข้อมูลจะปรากฏ Dialog Open ดังรูปที่3.29 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



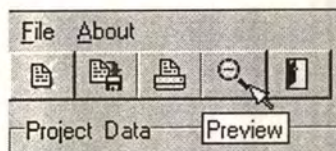
รูปที่3.29 แสดง Dialog Open

3.8 การแสดงผลข้อมูลก่อนทำการพิมพ์

ผู้ใช้สามารถ Preview ข้อมูลก่อนทำการพิมพ์ได้โดยการคลิกไปที่เมนู File เลือก Print Preview หรือใช้ Hot Key Ctrl+V หรือใช้ปุ่ม Speed ดังรูปที่3.30 และ3.31 ตามลำดับ



รูปที่3.30 แสดงการเลือก File แล้ว Print Preview



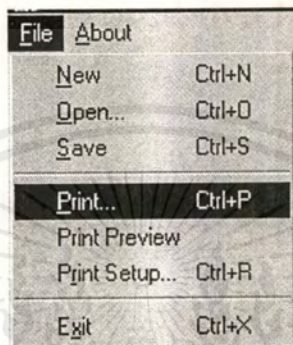
รูปที่3.31 แสดงการ Print Preview โดยปุ่ม Speed Button

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

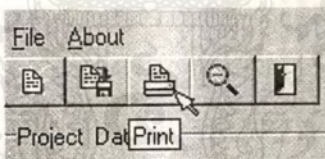
ในหน้าจอ Print preview เมื่อผู้ใช้พอใจสามารถทำการ Print โดยกดปุ่มสั่งการพิมพ์ (สังเกตุลูกศร) ดังรูปที่3.32

3.9 การพิมพ์ผลข้อมูล

เมื่อผู้ใช้ทำการคำนวณเสร็จสามารถพิมพ์ ผลข้อมูลในหน้านั้นได้โดยคลิกไปที่เมนู File เลือก Print หรือใช้ Hot Key Ctrl+P หรือใช้ปุ่ม Speed ดังรูปที่3.33 และ3.34 ตามลำดับ



รูปที่3.33 แสดงการเลือก File แล้ว Print

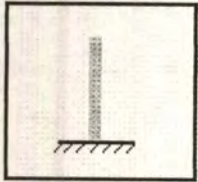


รูปที่3.34 แสดงการ Print โดยปุ่ม Speed Button

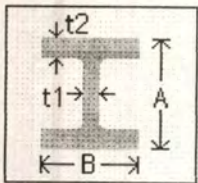
ตัวอย่างผลข้อมูลแสดงในรูปที่3.35 ประกอบด้วย รายละเอียดโครงการ ลักษณะเสา ลักษณะหน้าตัด ชนิดวัสดุ ความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้ง ผลการคำนวณ และรายละเอียดดังรูปที่3.35

Project Special Project **Engineer** Surachai Phartyanotai **Date** 11/4/98

Location 301/120 M.Rungaruan2 Lumpratil Ladkrabang Bangkok Thailand 10520 **Time** 11:24:09



Column Data Column C1 Length of Column (m) 5



Section Data

Standard Corrected

A (mm)	400	400
B (mm)	400	400
T1 (mm)	13	12
T2 (mm)	21	19
Unit weight (kg/m)	172	153.42
Loss area (sq.cm)		0

Wide Flange

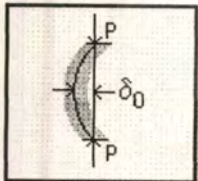
W 400x400x172

Material Data

Material Type	A36
Fy (ksc)	2520
Fy corrected (ksc)	2480

Error of Erection Data

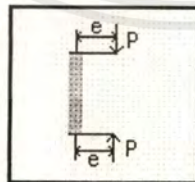
Initially Crooked



δ_{0x} (mm) 5

δ_{0y} (mm) 5

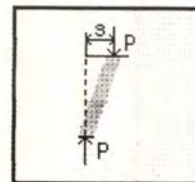
Eccentrically Loaded



e_x (mm) -5

e_y (mm) -5

Inclined Column



S_x (mm) 8.3

S_y (mm) 0

Result	Critical Load	312.663	Ton
	Allowable Load	192.025	Ton
	Factor of Safety	1.628	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงนิตยสารหรือสิ่งพิมพ์ใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	65361.587	59950.699	cm ⁴
Iy	22406.554	20271.879	cm ⁴
Rx	17.272	17.514	cm
Ry	10.112	10.185	cm

Area Data

Section Area

219.108

cm²

Loss Area

0.000

cm²

Net Area

195.439

cm²**Torsional Buckling**

Local Buckling Stress

2480.000

ksc

Torsional Stiffness

203.758

cm⁴

Ips

80222.579

cm⁴

Cw

7356715.738

cm⁶

Rt

14.273

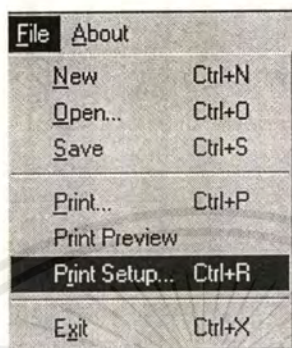
cm

รูปที่ 3.35 แสดงตัวอย่างผลข้อมูล(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

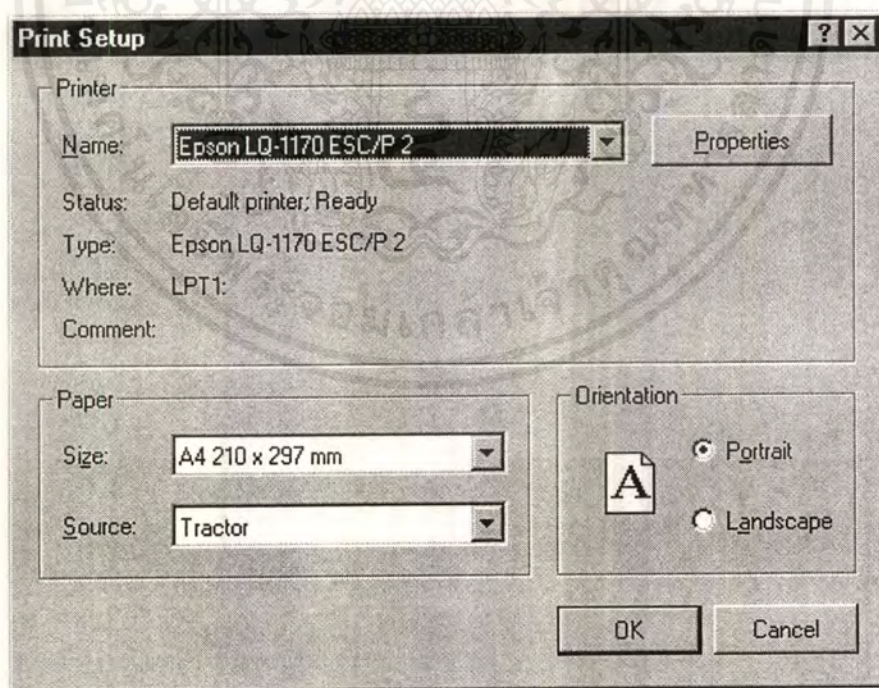
3.10 การตั้งค่าเครื่องพิมพ์

ผู้ใช้งานสามารถทำการตั้งค่าเครื่องพิมพ์ได้โดยการคลิกไปที่เมนู File เลือก Print Setup หรือใช้ Hot Key Ctrl+R หรือใช้ดังรูปที่3.36



รูปที่3.36 แสดงการเลือก File แล้ว Print Setup

เมื่อเลือกคำสั่งตั้งค่าเครื่องพิมพ์จะปรากฏ Dialog Open ดังรูปที่3.37

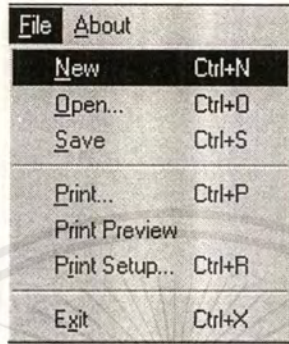


รูปที่3.37 แสดง Dialog Print Setup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การเริ่มชิ้นงานใหม่

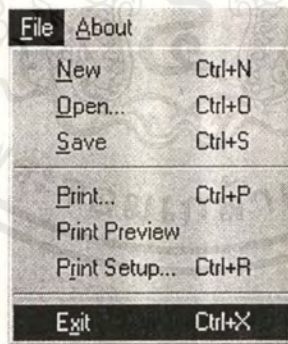
ผู้ใช้สามารถทำการเริ่มชิ้นงานใหม่ได้โดยการคลิกไปที่เมนู File เลือก New หรือใช้ Hot Key Ctrl+N ดังรูปที่3.38



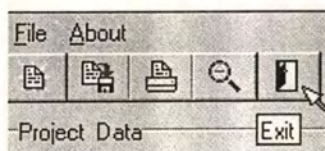
รูปที่3.38 แสดงการเลือก File แล้ว New

3.12 การออกจากโปรแกรม

เมื่อผู้ใช้ต้องการออกจากโปรแกรม สามารถทำได้โดยคลิกที่เมนู File เลือก Exit หรือใช้ Hot Key Ctrl+X หรือใช้ปุ่ม Speed ดังรูปที่3.39 และ3.40 ตามลำดับ



รูปที่3.39 แสดงการเลือก File แล้ว Exit

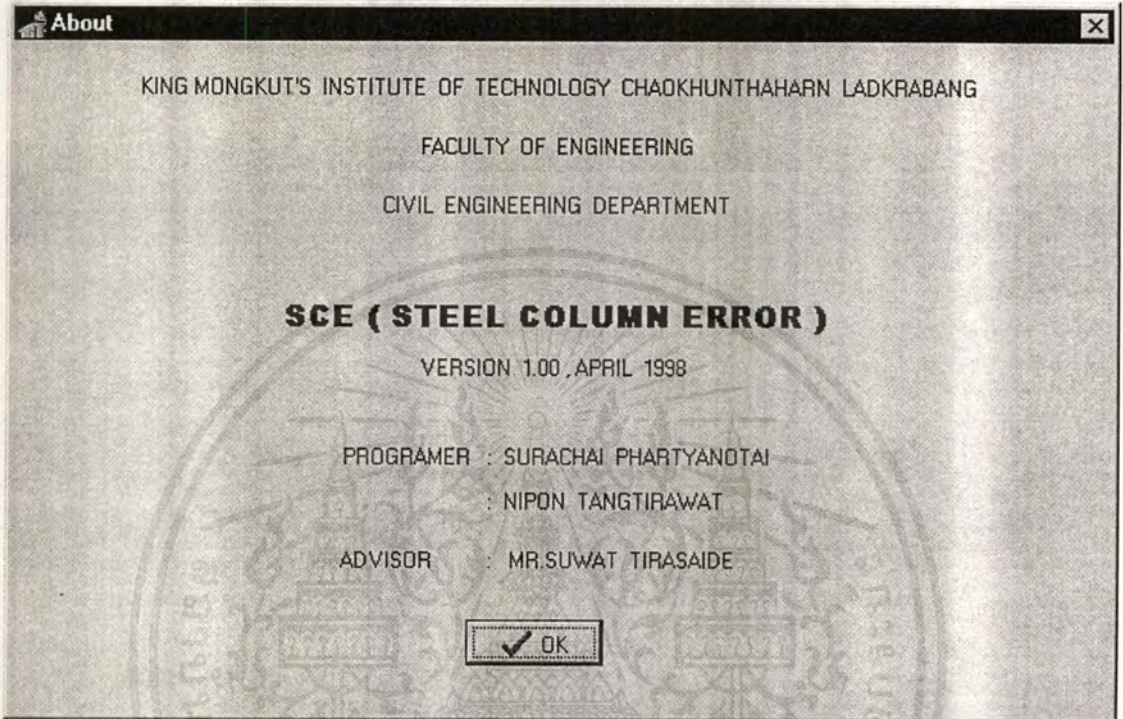


รูปที่3.40 แสดงการ Exit โดยปุ่ม Speed Button

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 About

ส่วนนี้จะเป็นรายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม และ ผู้เขียน ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดยคลิก Mouse ที่เมนู About หรือใช้ Hot Key Alt+A จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 Dialog About

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

บทสรุปและวิเคราะห์

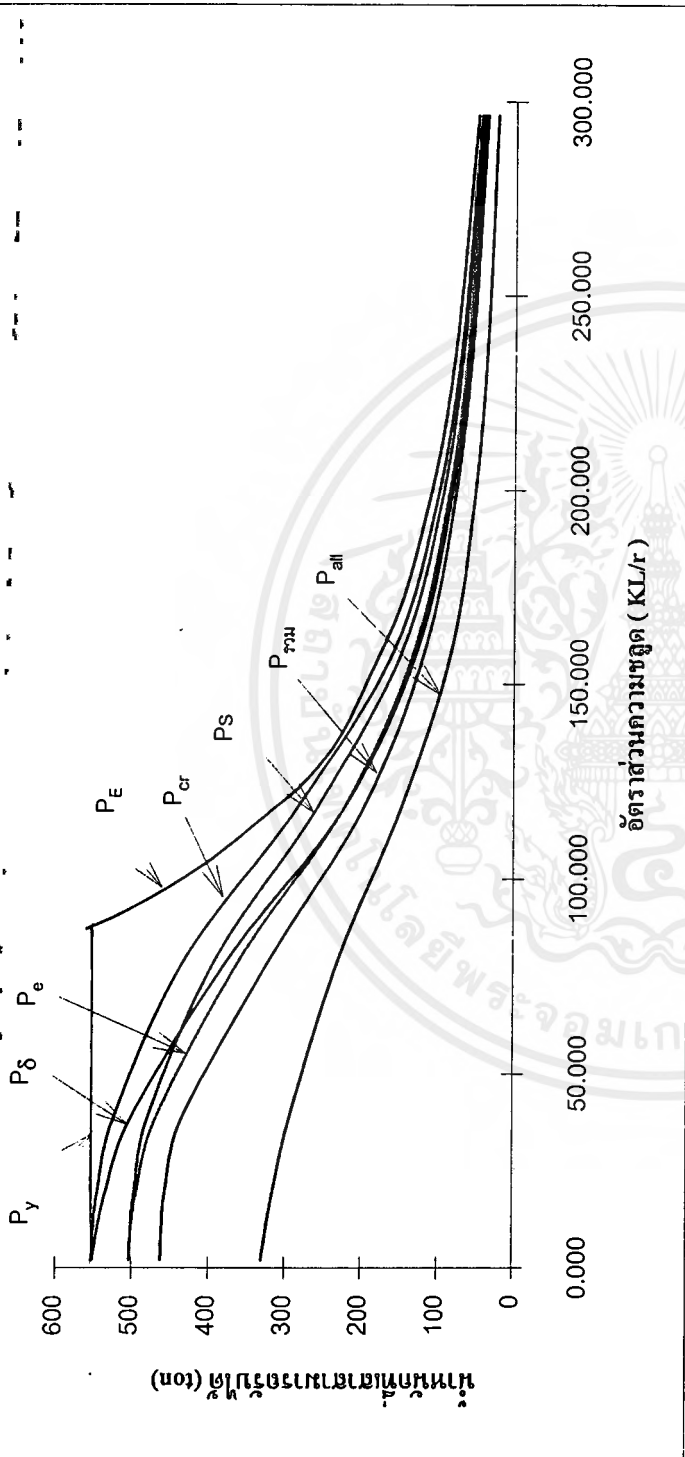
จากการศึกษาถึงผลกระทบของความคลาดเคลื่อนต่างๆที่เกิดขึ้นกับเสาเหล็ก ทำให้สามารถหาค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก เมื่อเสาเหล็กเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ได้สรุปเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนัก

พบว่าเมื่อได้จัดทำโปรแกรม SCE (Steel Column Error) สำหรับคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก เมื่อเสาเหล็กเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นจะทำให้ง่ายและสะดวกต่อการคำนวณมากยิ่งขึ้น โดยในการทำโครงการพิเศษผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม SCE ที่พัฒนาขึ้น ทำการวิเคราะห์ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กเมื่อเสาเหล็กเกิดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้ง เท้ากับความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาจะแปรผันตามค่าอัตราส่วนความขรุขระของเสาดังรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าเมื่อเสาเหล็กเกิดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งในลักษณะต่างๆค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาจะมีค่าอยู่ใต้กราฟกำลังรับน้ำหนักของ Euler และกราฟกำลังรับน้ำหนักที่จุดคราก รวมทั้งค่ากำลังรับน้ำหนักเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐาน จะมีค่าสูงกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักอนุญาตใช้งาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าหากเสาเหล็กเกิดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งไม่เกินมาตรฐานที่ยอมให้แล้ว เสาเหล็กยังคงสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

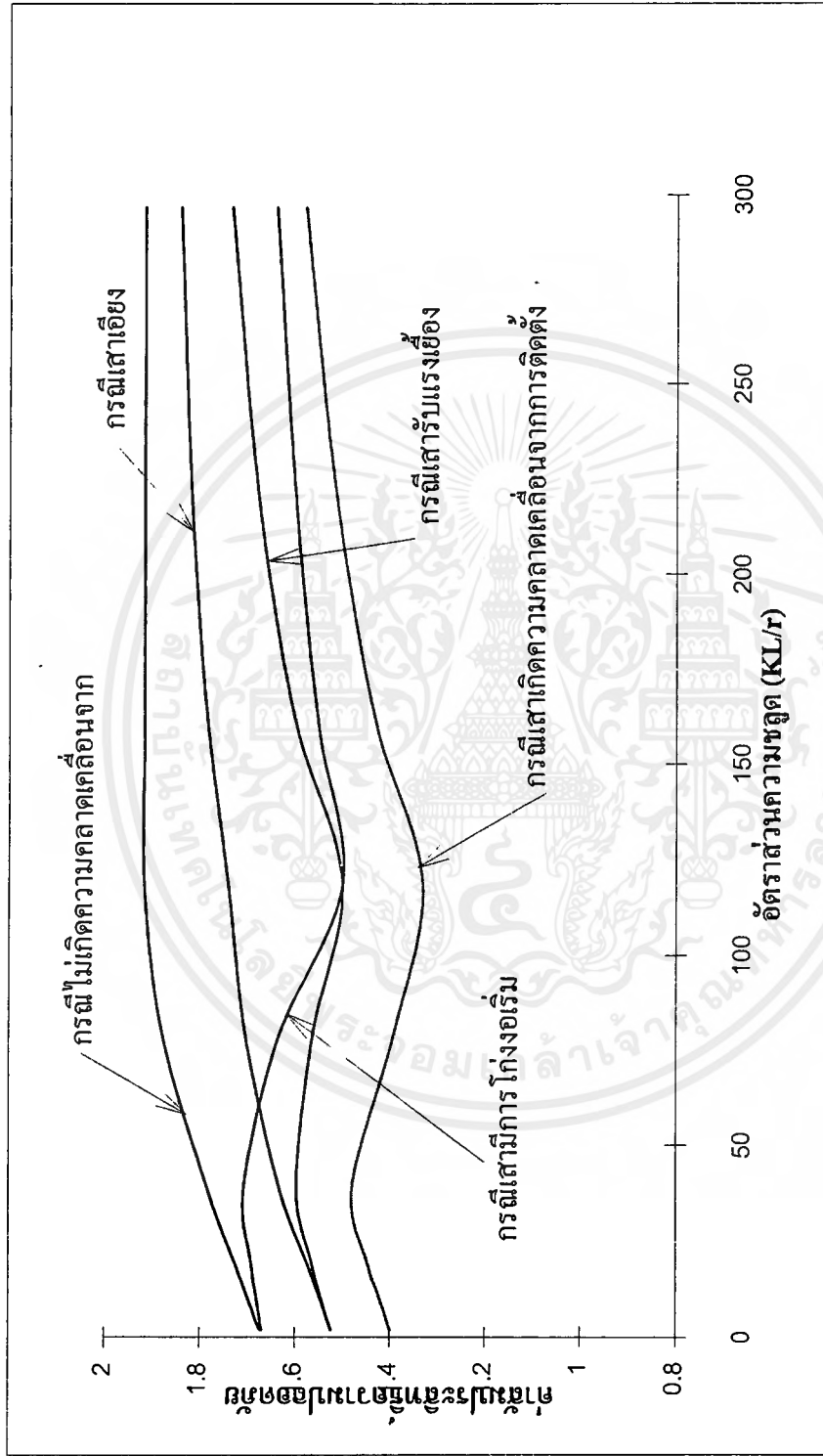
จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับค่าอัตราส่วนความขรุขระ พบว่าในกรณีที่เสาไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง และกรณีที่เสาเกิดการเอียง เสาเหล็กจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสูงขึ้น เมื่อค่าอัตราส่วนความขรุขระของเสาสูงขึ้น สำหรับกรณีที่เสามีการโค้งงอเริ่มต้นรับแรงเยื้องศูนย์กลาง และกรณีเกิดความคลาดเคลื่อนทั้ง 3 แบบพร้อมกัน เสาเหล็กจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่ำที่สุดเมื่อค่าอัตราส่วนความขรุขระมีค่าเข้าใกล้ค่า $C_c (\sqrt{2\pi^2 E/F_y})$ ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยจะมีค่าสูงขึ้นอีกเมื่อค่าอัตราส่วนความขรุขระของเสามีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าอัตราส่วนความขรุขระยังคงมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเสาเหล็กยังคงสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย แต่ในทางปฏิบัติผู้ควบคุมงานจะเป็นผู้ตัดสินใจว่าค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่เหลือนั้นปลอดภัยเพียงพอหรือไม่สำหรับเสาเหล็กที่พิจารณา

อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็ก จากวิธีการคำนวณที่คำนึงถึงผลจากความคลาดเคลื่อนนี้เป็นค่าที่ได้ตามทฤษฎี ในการจะนำไปใช้งานจริงควรที่จะมีการทำ Model ทดสอบเพื่อตรวจสอบค่ากำลังรับน้ำหนักที่ได้จริงว่ามีค่าเป็นไปตามทฤษฎีที่คำนวณไว้หรือไม่



- | | | | |
|-------|-----------|---|---|
| เมื่อ | P_y | = | น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้ที่จุดคานง |
| | P_E | = | น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้ตามสมการของEuler |
| | P_{cr} | = | น้ำหนักสูงสุดที่เสาสามารถรับได้เมื่อไม่เกิดความคลาดเคลื่อนกับเสา |
| | P_{all} | = | น้ำหนักบรรทุกอนุญาติที่เสาสามารถรับได้ |
| | P_d | = | น้ำหนักสูงสุดที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสาคัดการโก่งงอเริ่มต้นตามมาตรฐาน |
| | P_e | = | น้ำหนักสูงสุดที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสารับแรงเยื้องศูนย์กลางตามมาตรฐาน |
| | P_s | = | น้ำหนักสูงสุดที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสายึดตามมาตรฐาน |
| | $P_{รวม}$ | = | น้ำหนักสูงสุดที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสาคัดความคลาดเคลื่อนในการติดตั้งตามมาตรฐานพร้อมกัน |

รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้ กับอัตราส่วนความชูด เมื่อเสาคัดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งตามมาตรฐาน



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับอัตราส่วนความขจัดเมื่อเสถียรความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งตามมาตรฐาน

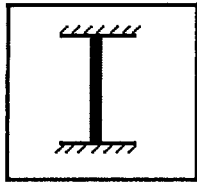
บรรณานุกรม

- [1] Alexander Chajes. (1974), Principles of structural stability theory, Prentice hall ,New Jersey, 336p.
- [2] E.M. LUI and W.F. CHEN.(1984), Simplified Approach to the Analysis and Design of column with Imperfection, Engineering Journal AISC 2nd Quarter volume 21 No. 2 ., 190p.
- [3] Edwin H.Gaylord , Jr. , Charles N. Gaylord , James E. Stallmeyer.(1992), Design of steel structure, Mc Graw-Hill International Editions, Singapore, 792p.
- [4] Graham W. Owens , Peter R. Knowles , Patrick J. Dowling .(1994), Steel designers manual, Blackwell Scientific Publications, Britain, 1226p.
- [5] Louis F. Geschwindner , Robert O. Bisque , Reider Bjorhovde. (1994), Load and Resistance Factor Design of Steel Structure, Prentice hall, United States of America, 456p.
- [6] ทักษิณ เทพชาตรี. 2539.พฤติกรรม และ การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย . กรุงเทพฯ. 321น.
- [7] ดร.วินิต ช่อวิเชียร. 2539 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพฯ. 394น.
- [8] ดร. สุจริต ฤกษ์กุลวงศ์, ทักษิณ เทพชาตรี. 2538. การก่อสร้าง โครงสร้างเหล็ก. สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ. 111น.
- [9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2537.มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม มอก.1227-2537 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน. กระทรวง อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 23น.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2538. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1303-2538 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ . 27น.

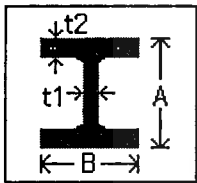
ภาคผนวก ก

ตัวอย่างผลการคำนวณเสาทีที่เกิดความคลาดเคลื่อน
โดยใช้โปรแกรม SCE

Project Special Project Engineer Surachai & Nipon Date 4/19/98
 Location KMITL Ladkrabang Bangkok Thailand 10520 Time 5:59:03 AM



Column Data Column C1 Length of Column (m) 5



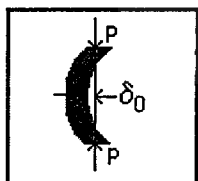
Section Data Standard Corrected

Heavy Column Section	A (mm)	568	565
70x953	B (mm)	457	455
	T1 (mm)	70	69
	T2 (mm)	105	103
	Unit weight (kg/m)	953	948
	Loss area (sq.cm)		0.25

Material Data Material Type A7
 Fy (ksc) 2310
 Fy corrected (ksc) 2300

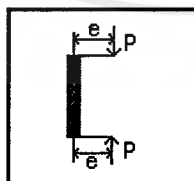
Error of Erection Data

Initially Crooked



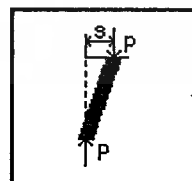
δ_{0x} (mm) 2
 δ_{0y} (mm) 1

Eccentrically Loaded



e_x (mm) 5
 e_y (mm) -2

Inclined Column



S_x (mm) 3
 S_y (mm) 6

Result Critical Load 2408.879 Ton
 Allowable Load 1572.835 Ton
 Factor of Safety 1.532

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	549906.982	535043.427	cm ⁴
Iy	168050.271	162686.567	cm ⁴
Rx	21.283	21.051	cm
Ry	11.765	11.608	cm

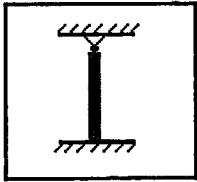
Area Data

Section Area	1214.013	cm ²
Loss Area	0.250	cm ²
Net Area	1207.393	cm ²

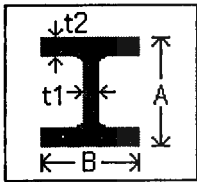
Torsional Buckling

Local Buckling Stress	2300.000	ksc
Torsional Stiffness	37077.210	cm ⁴
Ips	697729.993	cm ⁴
Cw	86811178.755	cm ⁶
Rt	18.680	cm

Project Special Project Engineer Surachai & Nipon Date 4/19/98
 Location KMITL Ladkrabang Bangkok Thailand 10520 Time 6:00:46 AM



Column Data Column C2 Length of Column (m) 4



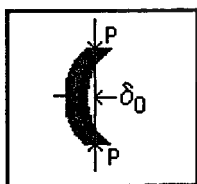
Section Data Standard Corrected

Wide Flange	A (mm)	594	590
W 600x300x175	B (mm)	302	299
	T1 (mm)	14	13.5
	T2 (mm)	23	22
	Unit weight (kg/m)	175	160
	Loss area (sq.cm)		0.3

Material Data Material Type A36
 Fy (ksc) 2520
 Fy corrected (ksc) 2500

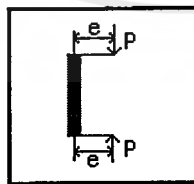
Error of Erection Data

Initially Crooked



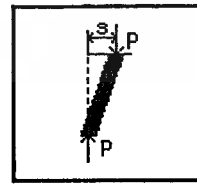
δ_{0x} (mm) 4
 δ_{0y} (mm) 9

Eccentrically Loaded



e_x (mm) 7
 e_y (mm) 2

Inclined Column



S_x (mm) -1
 S_y (mm) 4

Result	Critical Load	340.054	Ton
	Allowable Load	291.285	Ton
	Factor of Safety	1.167	

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	132494.716	124475.871	cm ⁴
Iy	10570.914	9812.524	cm ⁴
Rx	24.379	24.731	cm
Ry	6.886	6.944	cm

Area Data

Section Area	222.930	cm ²
Loss Area	0.300	cm ²
Net Area	203.522	cm ²

Torsional Buckling

Local Buckling Stress	2500.000	ksc
Torsional Stiffness	257.029	cm ⁴
Ips	134288.396	cm ⁴
Cw	7914389.631	cm ⁶
Rt	8.172	cm

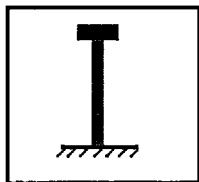
Project Special Project

Engineer Surachai & Nipon

Date 4/19/98

Location KMIT'L Ladkrabang Bangkok Thailand 10520

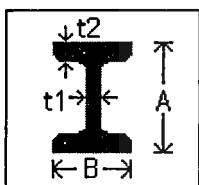
Time 6:03:46 AM



Column Data

Column C3

Length of Column (m) 3.5



Section Data

Standard

Corrected

I-Beam

S 600x190x176

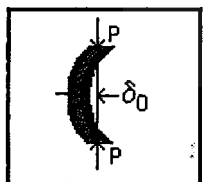
A (mm)	600	588
B (mm)	190	185
T1 (mm)	16	15
T2 (mm)	35	33
Unit weight (kg/m)	176	169
Loss area (sq.cm)		2

Material Data

Material Type	A501
Fy (ksc)	2530
Fy corrected (ksc)	2525

Error of Erection Data

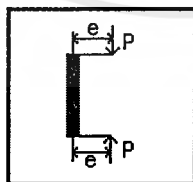
Initially Crooked



δ_{0x} (mm) 1

δ_{0y} (mm) 2

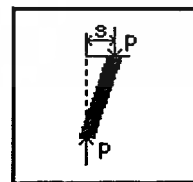
Eccentrically Loaded



e_x (mm) 0

e_y (mm) -1

Inclined Column



S_x (mm) 0.2

S_y (mm) 3

Result

Critical Load	307.103	Ton
Allowable Load	206.175	Ton
Factor of Safety	1.490	

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	126128.350	111915.018	cm ⁴
Iy	4019.174	3497.075	cm ⁴
Rx	23.718	22.907	cm
Ry	4.234	4.049	cm

Area Data

Section Area	224.204	224.204	cm ²
Loss Area	2.000	2.000	cm ²
Net Area	213.287	213.287	cm ²

Torsional Buckling

Local Buckling Stress	2525.000	2525.000	ksc
Torsional Stiffness	501.948	501.948	cm ⁴
Ips	115412.093	115412.093	cm ⁴
Cw	2692966.317	2692966.317	cm ⁶
Rt	7.350	7.350	cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

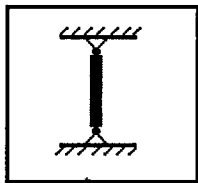
Project Special Project

Engineer Surachai & Nipon

Date 4/19/98

Location KMITL Ladkrabang Bangkok Thailand 10520

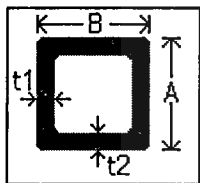
Time 6:05:15 AM



Column Data

Column C4

Length of Column (m) 6



Section Data

Standard

Corrected

Square Tube

50x50x3.34

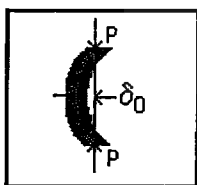
A (mm)	50	49
B (mm)	50	49
T1 (mm)	2.3	2.2
T2 (mm)	2.3	2.2
Unit weight (kg/m)	3.34	3.30
Loss area (sq.cm)		1

Material Data

Material Type	A529
Fy (ksc)	2950
Fy corrected (ksc)	2930

Error of Erection Data

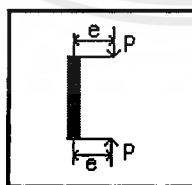
Initially Crooked



δ_{0x} (mm) 4

δ_{0y} (mm) 2

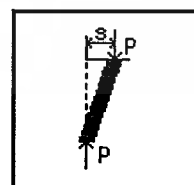
Eccentrically Loaded



e_x (mm) 0

e_y (mm) -1

Inclined Column



s_x (mm) 0.2

s_y (mm) 3

Result	Critical Load	0.735	Ton
	Allowable Load	0.487	Ton
	Factor of Safety	1.510	

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	16.680	15.067	cm ⁴
Iy	16.680	15.067	cm ⁴
Rx	1.980	2.169	cm
Ry	1.980	2.169	cm

Area Data

Section Area	4.255	cm ²
Loss Area	1.000	cm ²
Net Area	3.204	cm ²

Torsional Buckling

Local Buckling Stress	2930.000	ksc
-----------------------	----------	-----

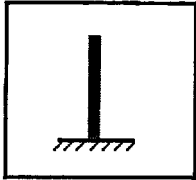
Project Special Project

Engineer Surachai & Nipon

Date 4/19/98

Location KMITL Ladkrabang Bangkok Thailand 10520

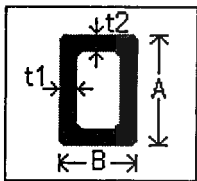
Time 6:06:21 AM



Column Data

Column C5

Length of Column (m) 7



Section Data

Standard

Corrected

Rectangular Tube

200x100x20.15

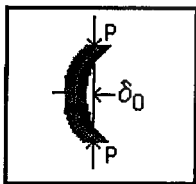
A (mm)	200	198
B (mm)	100	99
T1 (mm)	4.5	4.4
T2 (mm)	4.5	4.4
Unit weight (kg/m)	20.15	19.99
Loss area (sq.cm)		1

Material Data

Material Type	A529
Fy (ksc)	2950
Fy corrected (ksc)	2930

Error of Erection Data

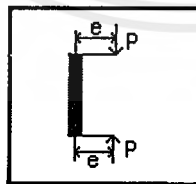
Initially Crooked



δ_{0x} (mm) 4

δ_{0y} (mm) 2

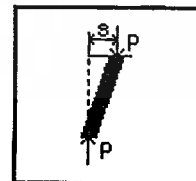
Eccentrically Loaded



e_x (mm) 0

e_y (mm) -1

Inclined Column



s_x (mm) 8

s_y (mm) 0

Result	Critical Load	3.809	Ton
	Allowable Load	2.271	Ton
	Factor of Safety	1.677	

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	1382.698	1313.142	cm ⁴
Iy	467.233	443.924	cm ⁴
Rx	7.339	7.326	cm
Ry	4.266	4.260	cm

Area Data

Section Area	25.669	cm ²
Loss Area	1.000	cm ²
Net Area	24.465	cm ²

Torsional Buckling

Local Buckling Stress	2930.000	ksc
-----------------------	----------	-----

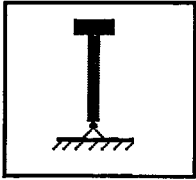
Project Special Project

Engineer Surachai & Nipon

Date 4/19/98

Location KMIT'L Ladkrabang Bangkok Thailand 10520

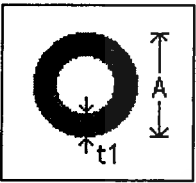
Time 6:07:49 AM



Column Data

Column C6

Length of Column (m) 7.5



Section Data

Standard

Corrected

Circular Tube

225x35.29

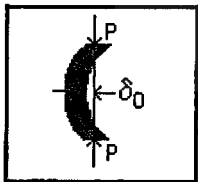
A (mm)	244.5	237
B (mm)	0	0
T1 (mm)	6	5.9
T2 (mm)	0	0
Unit weight (kg/m)	35.29	34.88
Loss area (sq.cm)		2.5

Material Data

Material Type	A36
Fy (ksc)	2520
Fy corrected (ksc)	2520

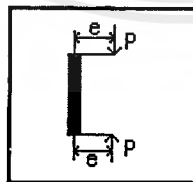
Error of Erection Data

Initially Crooked



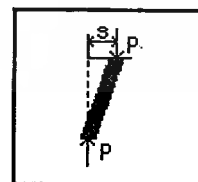
δ_{0x} (mm) 5
 δ_{0y} (mm) 3

Eccentrically Loaded



e_x (mm) 4
 e_y (mm) -5

Inclined Column



S_x (mm) -8
 S_y (mm) -5

Result	Critical Load	20.745	Ton
	Allowable Load	14.933	Ton
	Factor of Safety	1.389	

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	3198.510	2861.484	cm ⁴
Iy	3198.510	2861.484	cm ⁴
Rx	8.435	8.261	cm
Ry	8.435	8.261	cm

Area Data

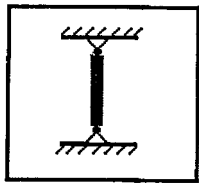
Section Area	44.955	cm ²
Loss Area	2.500	cm ²
Net Area	41.933	cm ²

Torsional Buckling

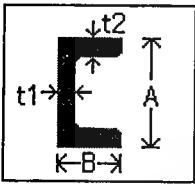
Local Buckling Stress	2520.000	ksc
-----------------------	----------	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Special Project Engineer Surachai & Nipon Date 4/19/98
 Location KMITL Ladkrabang Bangkok Thailand 10520 Time 6:09:12 AM



Column Data Column C7 Length of Column (m) 7



Section Data

Standard Corrected

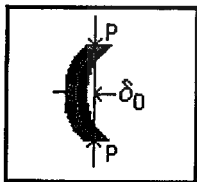
	A (mm)	380	378
	B (mm)	100	99
	T1 (mm)	13	12.8
Channel	T2 (mm)	16.5	16.3
C 380x100x62	Unit weight (kg/m)	62	57
	Loss area (sq.cm)		4

Material Data

Material Type A7
 Fy (ksc) 2310
 Fy corrected (ksc) 2300

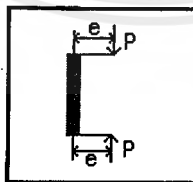
Error of Erection Data

Initially Crooked



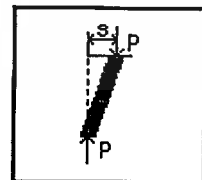
δ_{0x} (mm) 5
 δ_{0y} (mm) 3

Eccentrically Loaded



e_x (mm) 4
 e_y (mm) -5

Inclined Column



s_x (mm) -12
 s_y (mm) -25

Result	Critical Load	17.714	Ton
	Allowable Load	13.763	Ton
	Factor of Safety	1.287	

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	15434.772	14958.286	cm ⁴
Iy	641.980	616.181	cm ⁴
Rx	13.979	14.765	cm
Ry	2.851	2.997	cm

Area Data

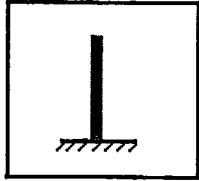
Section Area	78.981	cm ²
Loss Area	4.000	cm ²
Net Area	68.611	cm ²

Torsional Buckling

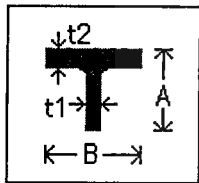
Local Buckling Stress	2300.000	ksc
Torsional Stiffness	52.728	cm ⁴
Ips	16993.051	cm ⁴
Cw	164405.610	cm ⁶
Rt	8.242	cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Special Project Engineer Surachai & Nipon Date 4/19/98
 Location KMIT'L Ladkrabang Bangkok Thailand 10520 Time 6:10:24 AM



Column Data Column C8 Length of Column (m) 8



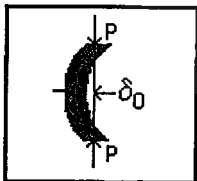
Section Data Standard Corrected

Tee Section	A (mm)	445	443
T 900x300x106	B (mm)	299	288
	T1 (mm)	15	14
	T2 (mm)	23	22
	Unit weight (kg/m)	106	104.3
	Loss area (sq.cm)		2.3

Material Data		Material Type	A501
	Fy (ksc)		2530
	Fy corrected (ksc)		2525

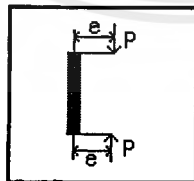
Error of Erection Data

Initially Crooked



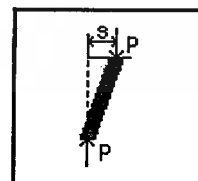
δ_{0x} (mm) 15
 δ_{0y} (mm) 3

Eccentrically Loaded



e_x (mm) 4
 e_y (mm) -12

Inclined Column



s_x (mm) -12
 s_y (mm) -2

Result	Critical Load	23.175	Ton
	Allowable Load	19.113	Ton
	Factor of Safety	1.213	

Properties Data

	Standard	Correct	
Ix	25741.934	23712.232	cm ⁴
Iy	5135.291	4389.070	cm ⁴
Rx	13.807	13.476	cm
Ry	6.167	5.798	cm

Area Data

Section Area	135.032	cm ²
Loss Area	2.300	cm ²
Net Area	130.566	cm ²

Torsional Buckling

Local Buckling Stress	2525.000	ksc
Torsional Stiffness	140.728	cm ⁴
Ips	42979.342	cm ⁴
Cw	7453.960	cm ⁶
Rt	5.703	cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรม SCE พร้อม Source Code และเพิ่มข้อมูล Presentation

บรรจุใน Diskette

Disk 1 A:\SCE\ บรรจุโปรแกรม SCE

Disk 2 A:\SOURCECODE\ บรรจุ SOURCECODE ของโปรแกรม SCE

A:\PRESENTATION\ บรรจุเพิ่มข้อมูล PRESENTATION