

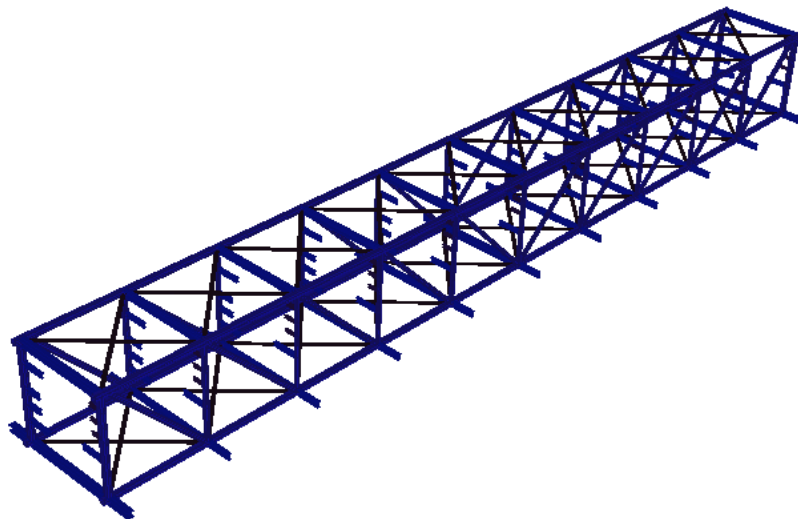
บทที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้าง

2.1 โครงสร้างในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical Structures)

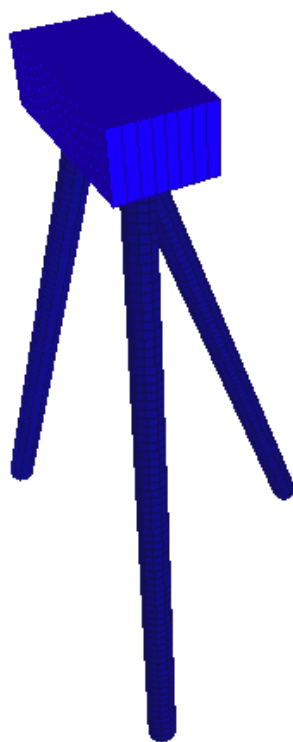
โครงสร้างสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามรูปแบบการใช้งานได้ 4 ประเภท ได้แก่ โครงสร้างฐานรองรับถังเก็บสารเคมีหรืออุปกรณ์เครื่องจักร (Tank/Equipment Foundation) โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีบนชายฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge) โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่ง (Jetty Bridge) และ โครงสร้างรองรับอุปกรณ์การแยกสาร (Process Structures)

2.1.1 โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่ง (Jetty Bridge)

เป็นโครงสร้างที่ใช้รองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในทะเลที่รับมาจากเรือหรือท่อส่งก๊าซใต้ทะเลเพื่อนำสารไปขึ้นมabenชายฝั่งและส่งต่อไปให้โครงสร้างที่รองรับท่อบนฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge) ต่อไป โดยประกอบเป็น 2 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างที่รองรับท่อส่ง (Jetty Bridge) และโครงสร้างที่เป็นฐานรองรับโครงสร้างด้านบน (Jetty Bridge Sub-Structures) แสดงดังรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 ตามลำดับ



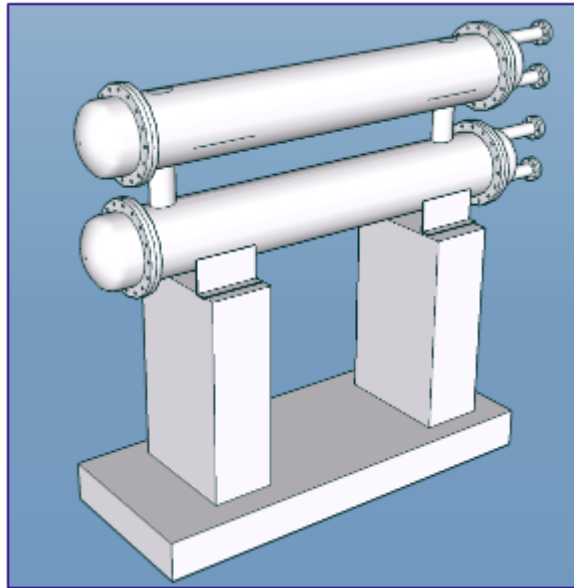
รูปที่ 2.1 โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่ง (Jetty Bridge)



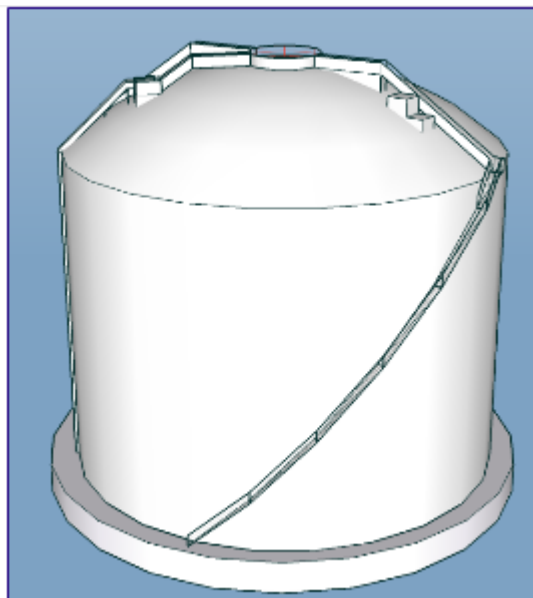
รูปที่ 2.2 โครงสร้างที่รองรับของโครงสร้างด้านบน (Jetty Bridge Sub-Structures)

2.1.2 โครงสร้างอื่นๆในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical Structures)

สำหรับโครงสร้างอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนอกจากโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่งแล้วยังมีโครงสร้างที่ใช้รองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่รับมาจากชายฝั่งเพื่อนำปิโตรเคมีไปยังโรงกลั่นหรือโรงแยกก๊าซบนฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge) แสดงดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 และโครงสร้างที่ใช้รองรับเครื่องจักรต่างๆ รวมถึงถังเก็บผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานปิโตรเคมี เช่น ถังความดัน (Pressure Vessel) ถังบรรจุสารเคมี (Chemical Tank) ปั๊ม (Pump) และอุปกรณ์แยกสาร (Process Structures) เป็นต้น โดยรูปแบบโครงสร้างของแต่ละอุปกรณ์จะแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.5 ถึง รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.5 โครงสร้างรองรับภาชนะความดัน (Pressure Vessel Foundation) [8]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างรองรับภาชนะบรรจุสารเคมี (Chemical Tank Foundation) [8]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างรองรับอุปกรณ์การแยกสาร (Process Structures)

2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติ (Critical Load Analysis)

การวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งเคาะในชิ้นส่วนโครงสร้างภายใต้กำลังรับแรงอัดตามแนวนอน มีความสำคัญต่อการพิจารณาเสถียรภาพของโครงสร้าง โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหรือใกล้เคียงกับโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่งมากที่สุดคือ ทฤษฎีการโก่งเคาะของเสาเดี่ยวและโครงสร้างข้อแข็ง

2.2.1 การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติในเสาเดี่ยว

การวิบัติโดยการโก่งเคาะในเสาเดี่ยวนั้นคือการที่เสาเสียเสถียรภาพและโก่งตัวออกนอกแนวนอนโดยน้ำหนักวิกฤติค่าหนึ่งและจากทฤษฎีเสาอีลาสติคที่ Leonard Euler ได้ทำการศึกษาสมการหาน้ำหนักวิกฤติที่มีจุดรองรับแต่ละประเภทได้จากสมการดังนี้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (2.1)$$

โดยที่ค่า L_e เป็นความยาวประสิทธิผลซึ่งมีค่าเท่ากับ KL โดยที่ค่า K คือค่าคงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะจุดยึดที่ปลายดังรูปที่ 2.8

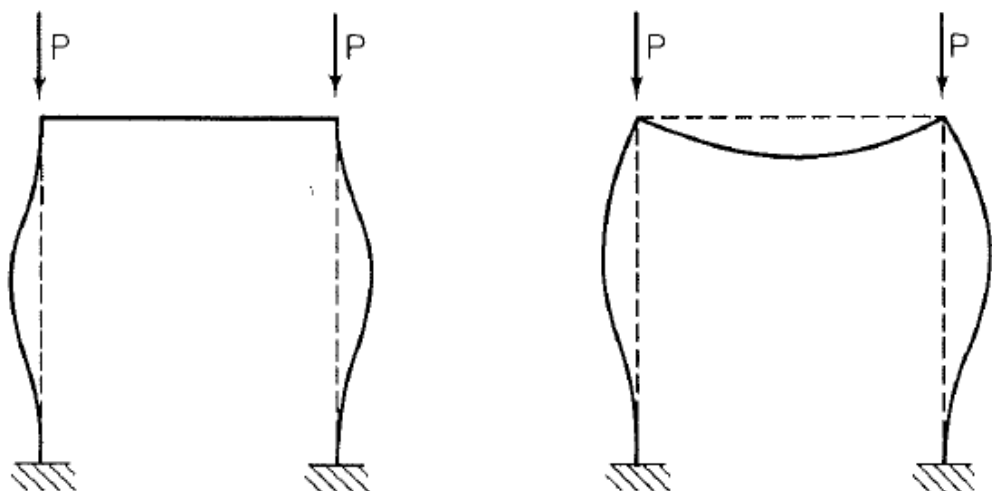
Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical k value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
End-condition code	   	Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free				

รูปที่ 2.8 ค่า K ในรูปแบบฐานรองรับต่างๆ [6]

2.2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติในโครงข้อแข็ง

การวิบัติของโครงข้อแข็งนั้นจะมีรูปแบบการวิบัติอยู่ 2 ประเภทด้วยกันคือ การวิบัติของโครงสร้างที่ไม่มีการเสียด้านข้าง และการวิบัติของโครงสร้างที่มีการเสียด้านข้าง โดยสมการจากทฤษฎีความเสถียรภาพของโครงสร้างโดย Alexander Chajes จะได้สมการดังนี้

1. โครงสร้างที่ไม่มีการเสียด้านข้าง

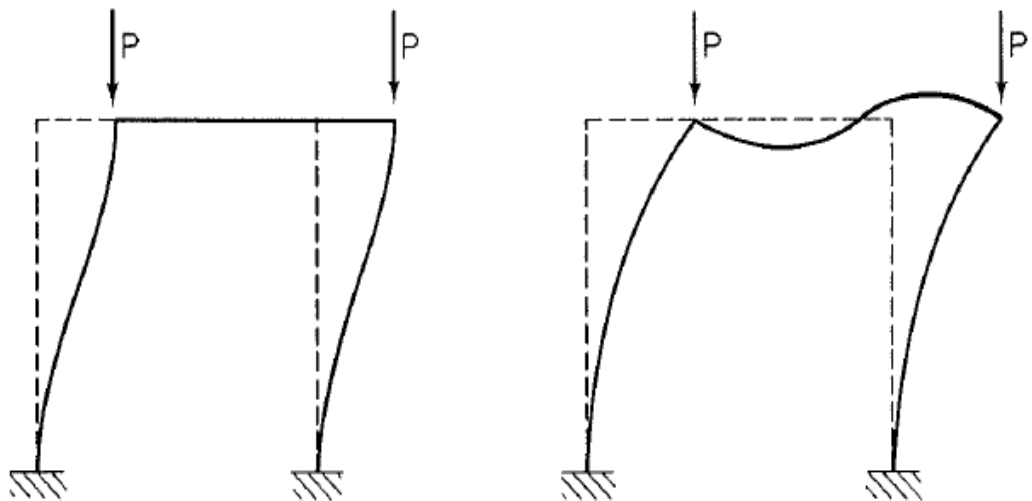


รูปที่ 2.9 การโก่งเดาะของโครงข้อแข็งที่ไม่มีการเสียด้านข้าง

สมการหาน้ำหนักวิกฤติสำหรับโครงข้อแข็งสองมิติที่ไม่มีการเซด้านข้างเป็นดังสมการนี้ [6]

$$P_{cr} = \frac{25.2EI}{L^2} \quad (2.2)$$

2. โครงสร้างที่มีการเซด้านข้าง



รูปที่ 2.10 การ โกงเดาะของ โครงข้อแข็งที่มีการเซด้านข้าง

สมการหาน้ำหนักวิกฤติสำหรับโครงข้อแข็งสองมิติที่มีการเซด้านข้างเป็นดังสมการนี้ [6]

$$P_{cr} = \frac{7.34EI}{L^2} \quad (2.3)$$

สำหรับโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเลในงานวิจัยนี้ซึ่งตามความจริงมีการวางตัวใน 3 มิติ แต่เมื่อทำการพิจารณาโครงสร้างให้เป็น 2 มิติแล้วจะมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับเสาเดี่ยวและโครงข้อแข็งที่มีการเซ เนื่องจากโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่ได้มีการป้องกันการเซด้านข้าง ดังนั้นการวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปกับทฤษฎีการวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติทั้งรูปแบบโครงสร้างที่เป็นเสาเดี่ยวและโครงข้อแข็งที่มีการเซด้านข้างเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4 ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของการใช้โปรแกรม อันจะทำให้มีความเชื่อมั่นในการใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างใน 3 มิติต่อไป

2.3 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกออกแบบตามมาตรฐาน AISC ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design by AISC Code)

ในการวิจัยนี้นอกจากจะวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างแล้ว ยังมุ่งหาความสามารถในการรับกำลังของโครงสร้างตามมาตรฐานการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานให้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอีกด้วย โดยข้อกำหนดต่างๆตามมาตรฐาน สามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

2.3.1 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (Allowable Tensile Stress)

แรงดึงที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานเป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_t = 0.6 F_y \quad (2.15)$$

โดยที่ F_t คือ ความเค้นดึงที่สามารถรับได้ (Allowable Tensile Stress)
 F_y คือ ความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress)

2.3.2 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (Allowable Shear Stress)

แรงเฉือนที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานเป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_v = 0.4 F_y \quad (2.16)$$

โดยที่ F_v คือ ความเค้นแรงเฉือนที่สามารถรับได้ (Allowable Shear Stress)

2.3.3 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (Allowable Compressive Stress)

แรงอัดตามแนวแกนที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานในกรณีที่กำลัง $\frac{KL}{r}$ มากกว่าค่า C_c เป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} \quad (2.17)$$

เมื่อ

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (2.18)$$

โดยที่ F_a คือ ความเค้นแรงอัดที่สามารถรับได้ (Allowable Compressive Stress)
 r คือ รัศมีจายเรชั่น (Radius of Gyration)

สำหรับกรณีที่กำลัง $\frac{KL}{r}$ น้อยกว่าค่า C_c เป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad (2.19)$$

2.3.4 แรงดัดที่ยอมให้ (Allowable Bending Stress)

แรงดัดตามแนวแกนที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานตามสมการดังนี้

$$F_b = 0.66F_y \quad (2.20)$$

โดยที่ F_b คือ ความเค้นดัดที่สามารถรับได้ (Allowable Bending Stress)

ถ้าชิ้นส่วนที่เป็นหน้าตัดสมมาตรและเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

$$1. \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}}$$

$$2. \frac{b_f}{t_f} \leq \frac{190}{\sqrt{F_y}}$$

$$3. \frac{d}{t} \leq \frac{640(1-3.74(\frac{f_a}{F_y}))}{\sqrt{F_y}} \text{ เมื่อ } \frac{f_a}{F_y} < 0.16 \text{ หรือ } \frac{d}{t} \leq \frac{250}{\sqrt{F_y}} \text{ เมื่อ } \frac{f_a}{F_y} > 0.16$$

$$4. \text{ ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางกลางหารด้วยความหนาขึ้นในหน้าตัดที่เป็นท่อน้อยกว่าหรือเท่ากับ } \frac{3300}{F_y}$$

โดยที่	b_f	คือ ความกว้างของปีกในหน้าตัด I และ H (Flange width of rolled beam)
	t_f	คือ ความหนาของปีกในหน้าตัด I และ H (Web thickness)
	t	คือ ความหนาของท่อในหน้าตัดกลม (Wall thickness)
	d	คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อในหน้าตัดกลม (Nominal diameter)
	f_a	คือ แรงดัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน (Computed bending stress)

ถ้าชิ้นส่วนที่เป็นหน้าตัดสมมาตรที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดที่ 1 แต่ไม่เกินในข้อกำหนดที่ 2 จะใช้สมการดังนี้

$$F_b = F_v(0.79 - 0.002 \left(\frac{b_f}{2t_f}\right) \sqrt{F_y}) \quad (2.21)$$

โดยที่ F_v คือ ความเค้นแรงเฉือนที่สามารถรับได้ (Allowable Shear Stress)

แต่ถ้าชิ้นส่วนที่เป็นหน้าตัดสมมาตรที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้น สามารถคำนวณหาค่ามากที่สุดจากสมการต่อไปนี้

เมื่อ

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{F_y}} \leq \frac{l}{r_t} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y(l/r_T)^2}{1530 \times 10^3 C_b} \right] F_y \leq 0.60 F_y \quad (2.22)$$

เมื่อ

$$\frac{l}{r_t} \geq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$$

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 C_b}{(l/r_T)^2} F_y \leq 0.60 F_y \quad (2.23)$$

และสำหรับค่าใดๆของ $\frac{l}{r_t}$

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 C_b}{ld/A_f} F_y \leq 0.60 F_y \quad (2.23)$$

โดยที่

l คือ ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันที่เหล็กปีกคานรับแรงอัด

(Actual unbraced length of member)

r_t คือ รัศมีไจเรชันรอบแกนในระนาบของเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของหน้าตัดที่ประกอบด้วยเนื้อที่ของเหล็กปีกคานรับแรงอัด และหนึ่งในสามของเนื้อที่ของเหล็กแผ่นตั้งที่รับแรงอัด

A_f คือ เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปีกคานรับแรงอัด (Area of compression flange)

C_b คือ สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์คด (Bending coefficient dependent upon Moment gradient)

2.3.5 การรวมหน่วยระหว่างแรงอัดและแรงดัดในชิ้นส่วน (Combined Stresses)

ข้อกำหนดการรวมแรงระหว่างแรงอัดและแรงดัดที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989

[4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานตามสมการดังนี้

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1.0 \quad (2.24)$$

และ

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (2.25)$$

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

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (2.26)$$

เมื่อ
$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23\left(\frac{Kl_b}{r_b}\right)^2}$$

- โดยที่
- l_b คือ ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันรับแรงดัด (The actual unbraced length in the plane of bending)
 - r_b คือ รัศมีไจเรชันรอบแกนในระนาบที่รับแรงดัด (Radius of gyration about Axis of concurrent bending)
 - C_m คือ สัมประสิทธิ์สำหรับส่วนของโครงสร้างในโครงเฟรมที่ไม่เซ