

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- วินัย แก้วกมล. การวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงเหล็กข้อแฉ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- ทักษิณ เทพชาติศรี. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2529.
- บุญแสง สิริรัตน์ชูวงศ์. การวิเคราะห์โครงข้อแฉ่งด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกโดยคำนึงถึงผลจาก $P-\Delta$ และการย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. การวิเคราะห์โครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2533.
- สถาพร นิรันดโรภาส. การวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กที่มีรอยต่อระหว่างคานกับเสาเป็นแบบ กิ่งข้อแฉ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

ภาษาอังกฤษ

- American Institute of Steel Construction.(1992) Manual of Steel Construction
Volume II Connections. ASD 9th ed.,LRFD 1st ed.,Chicago:IL
- Azizinamini,A.,Bradburn,J.H. and Radziminski,J.B. Initial Stiffness of Semi - Rigid Steel Beam To Column Connection. Journal of Construction Steel Research. Vol.8 (1987): 71 - 90
- Bathe, K.J.,and Wilson, E.L. Numerical Methods in Finite Element Analysis. New Jersey: Prentice-Hall, 1976.
- Chen,W.F. and Lui,E.M. Effect of Joint Flexibility On The Behavior Of Steel Frames.Computer and Structural. Vol.26.,No.5(1987):719-732
- _____ . and Lui,E.M. Steel Beam - To - Column Building Connections. 1st ed. London and Newyork : Elsevier,1988.
- _____ . and Kishi,N. Semirigid Steel Beam-To-Column Connections:Data Base and Modeling. Journal of Structural Division ASCE,115(Jan. 1989):105 - 119

- _____, Duan, L., and Zhou, S.P. Second-Order Inelastic Analysis Of Braced Portal Frames. (Evaluation of Design Formulae in LRFD and GBJ Specifications). Journal of Singapore Structure Steel Society . 1(Dec. 1990) : 5-15
- _____, and Lui, E.M. Stability Design of Steel Frames. Florida: CRC press, 1991.
- _____, and Sohal, I. Plastic Design and Second - Order Analysis of Steel Frames. 1st ed. Newyork : Springer-Verlag, 1995.
- Gaylord, C., Gaylord, Jr. E., and Stallmeyer, J. Design of Steel Structures . 3rded. Singapore: McGraw-Hill, 1992.
- Goto, Y. and Chen, W.F. On The Computer - Based Design Analysis for The Flexibility Joint Frames. Journal of Construction Steel Research. Vol.8(1987):203 - 232
1813-1834
- Harrison, H.B. Computer Methods in Structural Analysis. New Jersey: Prentice- Hall, 1965.
- Kassimali, A. Large Deformation Analysis of Elastic-Plastic Frames. Journal of Structural Division ASCE, 109(August 1983): 1869-1886.
- Kishi, N., and Chen, W.F. Moment - Rotation Relations of Semirigid Connection with Angles. Journal of Structural Division ASCE, 116(July ,1990):
- Korn, A., and Galambos, T.V. Behavior of Elastic-Plastic Frames. Journal of -Structural Division ASCE, 94(May 1968): 1119-1142.
- Liew, J.Y.R., and Chen, W.F. Refining The Plastic Hinge Concept For Advanced Analysis/Design Of Steel Frames. Journal of Singapore Structure Steel Society . 2(Dec. 1991) : 13 - 28
- _____, White, D.W., and Chen, W.F. Limit State Design of Semi-Rigid Frames Using Advanced Analysis: Part 1: Connection Modeling and Classification. Journal of Construction Steel Research. Vol.26.No.1(1993): 1 - 28

- _____. Limit State Design of Semi-Rigid Frames Using Advanced Analysis: Part 2: Analysis And Design. Journal of Construction Steel Research. Vol.26.No.1(1993): 29 - 58
- Lui, E.M. and Chen, W.F. Steel Frame Analysis with Flexible Joints. Journal of Steel Construction Research .8(1987):161-202
- _____. Behavior of Braced and Unbraced Semi-Rigid Frames. Journal of Solids Structures. Vol.24, No.9.(1988):893 - 913.
- _____. Structural Stability (Theory and Implementation). New York: Elsevier, 1978.
- Nethercot, D.A. Joint Action and The Design of Steel Frames. The Structural Engineer. Vol.63A., No.12.(1985):371 - 379
- Salmon, C.G., and Johnson, J.E. Steel Structure Design and Behavior. 3rd ed. New York: Harper Collins, 1990.
- Yang, Y.B. Linear and Nonlinear Analysis of Space Frames with Nonuniform Torsion using Interactive Computer Graphics. Doctoral Dissertation, Cornell University. 1984.
- Zienkiewicz, O.C., and Taylor, R.L. The Finite Element Method. 4th ed. Vol.2. London: McGrawhill, 1991.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
รายการตารางประกอบ

ตารางที่ 4.1 ขนาดและคุณสมบัติขององค์อาคารของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1

ขนาด	A (in ²)	I (in ⁴)	Z _p (in ³)	กลุ่มชิ้นส่วน
8 WF20	5.88	69.20	19.10	1, 2

หมายเหตุ : E = 29,000 ksi

F_y = 36 ksi

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาในตัวอย่างที่ 1

การวิเคราะห์	First Order Elastic - Plastic (Hinge By Hinge)	Liew and Chen	งานวิจัยนี้
ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	9.000 (100.00)	8.910 (99.00)	9.001 (100.01)
การเปลี่ยนตำแหน่งในแนว ตั้งของจุด B ที่น้ำหนัก บรรทุกประลัย (นิ้ว)	0.0741 (100.00)	0.0750 (101.21)	0.0748 (100.94)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

- Liew and Chen (ใช้การวิเคราะห์แบบ Second Order Refined Plastic-Hinge
และมีการเคลื่อนที่แบบ Large Displacement and Small
Strain)

ตารางที่ 4.3 ขนาดและคุณสมบัติขององค์อาคารของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2

ขนาด	A (in ²)	I (in ⁴)	Z _p (in ³)	กลุ่มชิ้นส่วน
W 18 x 50	14.70	800.00	101.00	1, 2
W 21 x 83	24.30	1830.00	196.00	3, 4, 5

หมายเหตุ : E = 29,000 ksi

F_y = 36 ksi

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาในตัวอย่างที่ 2

การวิเคราะห์	Liew and Chen	Plastic - Mechanism Load(Upper Bound)	งานวิจัยนี้
ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	1.166 (100.00)	1.215 (104.20)	1.185 (101.63)
การเปลี่ยนตำแหน่งใน แนวตั้งของจุด C ที่น้ำหนัก บรรทุกประลัย (นิ้ว)	1.6192 (100.00)	—	1.3829 (85.41)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

- Liew and Chen (ใช้การวิเคราะห์แบบ Second Order Refined Plastic-Hinge และมีการเคลื่อนที่แบบ Large Displacement and Small Strain)

ตารางที่ 4.5 ค่าตัวแปร (Parameter) ของข้อต่อในตัวอย่างที่ 3

ข้อต่อที่ ปลายคาน ชั้นที่ 1			ข้อต่อที่ ปลายคาน ชั้นที่ 2		
ค่า สตีเฟเนส เริ่มต้น (kip-in/rad)	ค่าโมเมนต์ ต้านทานสูง สุด (kip-in.)	ค่า ตัวแปร รูปร่าง (n)	ค่า สตีเฟเนส เริ่มต้น (kip-in/rad)	ค่าโมเมนต์ ต้านทานสูง สุด (kip-in.)	ค่า ตัวแปร รูปร่าง (n)
954,013	1773	0.80	205,924	814	1.57

ตารางที่ 4.6 ขนาดและคุณสมบัติขององค์อาคารของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3

ขนาด	A (in ²)	I (in ⁴)	Z _p (in ³)	กลุ่มชิ้นส่วน
L - 3 x 2 x 1/4	1.19	0.392	-	13,14
W 8 x 31	9.13	110.0	30.4	1,2,3,4
W 16 x 31	10.30	510.0	66.5	9,10,11,12
W 18 x 35	9.12	375.0	54.0	5,6,7,8

หมายเหตุ : E = 29,000 ksi

F_y = 36 ksi

φ = 0.9

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาในตัวอย่างที่ 3

การวิเคราะห์	Liew and Chen	งานวิจัยนี้
ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	1.511 (100.00)	1.482 (98.08)
อัตราส่วนการเปลี่ยน ตำแหน่งที่จุดสูงสุด เทียบกับความสูงที่ น้ำหนักบรรทุกประลัย Δ / H	0.001042 (100.00)	0.000927 (88.96)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

- Liew and Chen (ใช้การวิเคราะห์แบบ Second Order Refined Plastic-Hinge และมีการเคลื่อนที่แบบ Large Displacement and Small Strain)

ตารางที่ 4.8 ค่าตัวแปร (Parameter) ของข้อต่อระหว่างคานกับเสาในตัวอย่างที่ 4

ค่าสติเฟเนลเริ่มต้น (Tons-in/rad)	ค่าโมเมนต์ต้านทาน สูงสุด (Tons-in.)	ค่าตัวแปรรูปร่าง (n)
500,000.0	2,450.0	2.0

ตารางที่ 4.9 ขนาดและคุณสมบัติขององค์อาคารของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 4

ขนาด	A (in ²)	I (in ⁴)	Z _p (in ³)	กลุ่มชิ้นส่วน
W 16 x 40	11.77	515.50	72.90	9,10,11,12, 13,14,15,16
W 10 x 60	17.66	343.70	74.94	3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8
W 12 x 75	21.16	663.00	119.18	1 , 2

หมายเหตุ : E = 13,000 tsi

F_y = 15.25 tsi

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาในตัวอย่างที่ 4

การวิเคราะห์	Lui and Chen	งานวิจัยนี้
ตัวประกอบน้ำหนัก	0.996	1.005
บรรทุกประลัย	(100.00)	(100.90)
อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดสูงสุดเทียบกับความสูงที่น้ำหนักบรรทุกประลัย Δ / H	0.0134 (100.00)	0.01613 (120.37)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

- Lui and Chen (ใช้การวิเคราะห์แบบ Second Order Elastic - Plastic Hinge มีการเคลื่อนที่แบบ Large Displacement and Small Strain และใช้ข้อต่อในรูป Exponential Function)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดทางกายภาพของข้อต่อในตัวอย่างที่ 5

ชนิดของข้อต่อ	Bolt Dia. d (in.)	Nut Width W (in.)	Top and Seat Angles			Web Angles		
			l _t (in.)	g _{ct} (in.)	k _t (in.)	g _{cw} (in.)	l _w (in.)	k _w (in.)
1. S	7/8	1+7/16				3	8	11/16
2. D	7/8	1+7/16				3	6	11/16
3.T&S	7/8	1+7/16	7	3	1.25			
4.T&S w/ D	1+1/4	1+13/16	10.20	3	1.75	3	8	11/16

หมายเหตุ : S = Single Web Angle Connection
 D = Double Web Angle Connection
 T&S = Top and Seat Angle Connection
 T&S w/D = Top and Seat with Double Web Angle Connection

ตารางที่ 4.12 ค่าตัวแปร (Parameter) ของข้อต่อในตัวอย่างที่ 5

ชนิดของข้อต่อ	คาน W - 16 x 40		
	R _{ki} (Tons-in./rad)	M _u (Tons-in.)	n
1.Single Web Angle	1159.0	33.0	1.49
2.Double Web Angle	939.0	32.0	2.00
3.Top and Seat Angle	346,983.0	576.0	0.50
4.T&S W/Double Web Angle	2,795,226.0	2,008.0	0.80

ตารางที่ 4.13 ขนาดขององค์อาคารในโครงสร้างตัวอย่างที่ 5

หน้าตัด	A (in ²)	I (in ⁴)	Z _p (in ³)	องค์อาคาร หมายเลข
W - 16 x 40	11.77	515.50	72.90	9,10,11,12, 13,14,15,16
W - 10 x 60	17.66	343.70	74.94	3, 4, 5, 6 , 7, 8
W - 12 x 79	21.16	663.00	119.18	1, 2

หมายเหตุ : E = 13,000 tsi

F_y = 15.25 tsi

ตารางที่ 4.14 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับงานวิจัยที่ผ่านมาในตัวอย่างที่ 5

โครงสร้าง	การวิเคราะห์	Lui and Chen , Kassimali	งานวิจัยนี้
โครงสร้างเหล็ก ข้อแข็ง	ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	1.00 (100.00)	1.008 (100.80)
	อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง ที่จุดสูงสุดเทียบกับความสูงที่ น้ำหนักบรรทุกประลัย	0.0160 (100.00)	0.01568 (98.80)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

- Lui and Chen (ใช้การวิเคราะห์แบบ Second Order Elastic - Plastic Hinge , มีการเคลื่อนที่แบบ Large Displacement and Small Strain และใช้ข้อต่อรูปแบบสมการ Exponential Function)

ตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กข้อต่อกึ่งแข็งในตัวอย่าง 5

การวิเคราะห์	ชนิดของข้อต่อ				
	Fully Rigid	Type S	Type D	Type T&S	Type T&S w/D
ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	1.008 (100.00)	0.540 (53.57)	0.540 (54.95)	0.830 (82.34)	1.007 (99.90)
อัตราส่วน การเปลี่ยนตำแหน่งที่ จุดสูงสุดเทียบกับความสูง ที่น้ำหนักบรรทุกประลัย	0.015 (100.0)	0.0440 (293.3)	0.044 (293.3)	0.025 (166.7)	0.016 (106.7)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ค่าตัวแปร (Parameter) ของข้อต่อในตัวอย่างที่ 6

ชนิดของ ข้อต่อ	ขนาดคาน	R_{ki} (kip-in./rad)	M_u (kip-in.)	n
1	8 WF 20 10 WF 25 12 WF 27	1,000,000	1600	0.80
2	12 WF 36 12 WF 45 14 WF 53	2,800,000	3,200	0.80
3	14 WF 61 14 WF 74 14 WF 78	10,000,000	5,000	0.80
4	14 WF 84 16 WF 88 16 WF 96 18 WF 96	17,000,000	7,420	0.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ขนาดขององค์อาคารในโครงสร้างตัวอย่างที่ 6

ชั้นที่	เสา	คาน
1	8WF17	8WF20
2	8WF28	10WF25
3	10WF39	12WF27
4	10WF39	12WF36
5	12WF40	12WF36
6	12WF50	12WF45
7	12WF58	14WF53
8	14WF61	14WF61
9	14WF74	14WF61
10	14WF84	14WF74
11	14WF111	14WF78
12	14WF111	14WF84
13	14WF111	16WF86
14	14WF127	16WF96
15	14WF136	18WF96

$E = 30,000 \text{ ksi}$

$F_y = 36 \text{ ksi}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 คุณสมบัติขององค์อาคารในตัวอย่างที่ 6

ตารางที่ 4.18 (ก) องค์อาคารที่เป็นเสา

ขนาด	A (in ²)	I (in ⁴)	Z _p (in ³)	ชั้นส่วน หมายเลข
8WF17	5.0	56.4	15.57	15 , 30
8WF28	8.23	97.8	26.63	14 , 29
10WF39	11.48	209.7	45.98	13 , 28
10WF39	11.48	209.7	45.98	12 , 27
12WF40	11.77	310.1	55.90	11 , 26
12WF50	14.71	394.5	70.83	10 , 25
12WF58	17.06	476.1	84.81	9 , 24
14WF61	17.94	641.5	100.37	8 , 23
14WF74	21.76	796.8	123.66	7 , 22
14WF84	24.71.	928.4	143.33	6 , 21
14WF111	32.65	1266.5	193.78	5 , 20
14WF111	32.65	1266.5	193.78	4 , 19
14WF111	32.65	1266.5	193.78	3 , 18
14WF127	37.33	1476.7	224.01	2 , 17
14WF136	39.98	1593.0	240.75	1 , 16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 (ข) องค์อาคารที่เป็นคาน

ขนาด	A (in ²)	I (in ⁴)	Z _p (in ³)	ชิ้นส่วน หมายเลข
8WF20	5.88	69.2	18.84	59 , 60
10WF25	7.35	133.2	29.26	57 , 58
12WF27	7.97	204.1	37.53	55 , 56
12WF36	10.59	280.8	50.97	53 , 54
12WF36	10.59	280.8	50.97	51 , 52
12WF45	13.24	350.8	63.19	49 , 50
14WF53	15.59	542.1	85.20	47 , 48
14WF61	17.94	641.5	100.37	45 , 46
14WF61	17.94	641.5	100.37	43 , 44
14WF74	21.76	796.8	123.66	41 , 42
14WF78	22.94	851.2	132.01	39 , 40
14WF84	24.71	928.4	143.33	37 , 38
16WF88	25.87	1222.6	167.25	35 , 36
16WF96	28.22	1355.1	184.25	33 , 34
18WF96	28.22	1674.7	204.04	31 , 32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กข้อแฉ่งเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 6

การวิเคราะห์	Korn & Galambos	วินัย แก้วกมล	งานวิจัยนี้
ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	1.375 (100.00)	1.3865 (100.84)	1.3865 (100.84)
การเปลี่ยนตำแหน่งที่ จุดสูงสุดเทียบกับ ความสูงที่น้ำหนัก บรรทุกประลัย	0.01730 (100.00)	0.01560 (90.17)	0.01560 (90.17)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบ

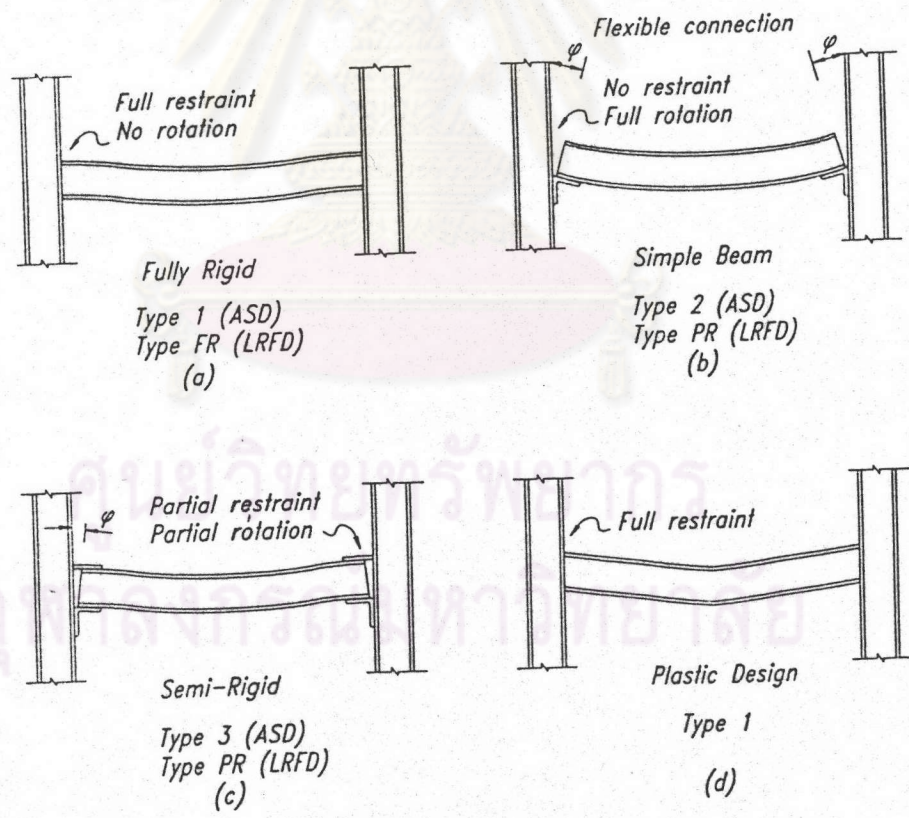
ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างเหล็กข้อแฉ่งกับโครงสร้างเหล็กข้อต่อกิ่งแฉ่ง
ในตัวอย่างที่ 6

การวิเคราะห์	งานวิจัยนี้ โครงสร้างเหล็กข้อต่อแฉ่ง	งานวิจัยนี้ โครงสร้างเหล็กข้อต่อกิ่งแฉ่ง
ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกประลัย	1.3865 (100.00)	1.3840 (99.82)
การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดสูงสุดเทียบกับ ความสูงที่น้ำหนักบรรทุกประลัย	0.0156 (100.00)	0.0195 (125.0)
การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดสูงสุดเทียบ กับความสูงที่น้ำหนัก บรรทุกใช้งาน	0.0076 (100.00)	0.0082 (107.89)

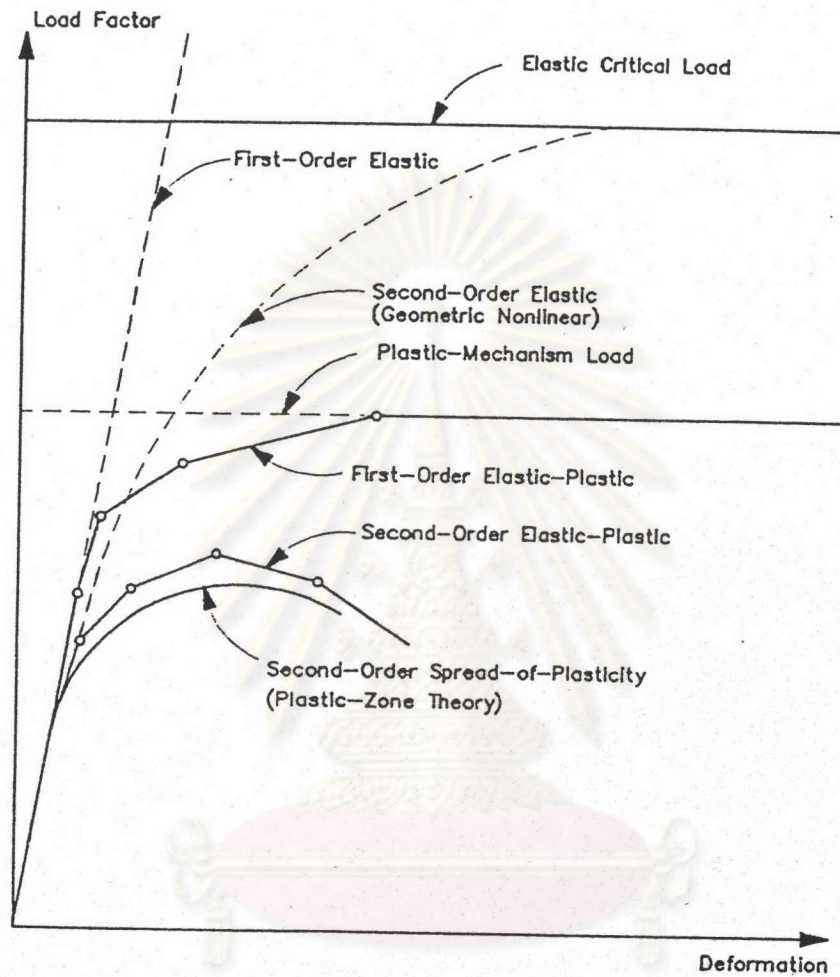
หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ () เป็นค่าเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบ



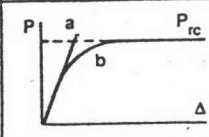
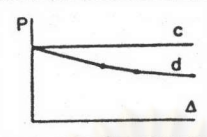
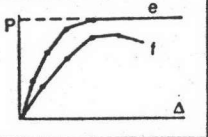
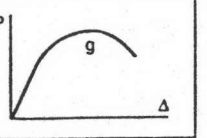
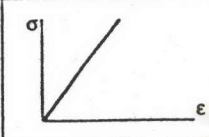
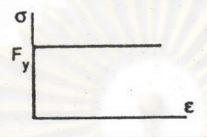
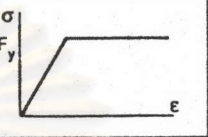
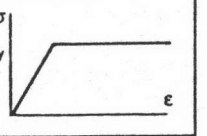
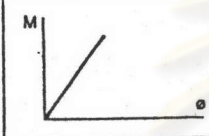
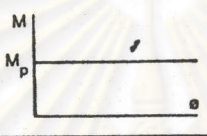
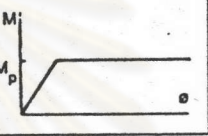
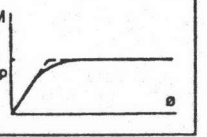
ภาคผนวก ข
รายการรูปประกอบ



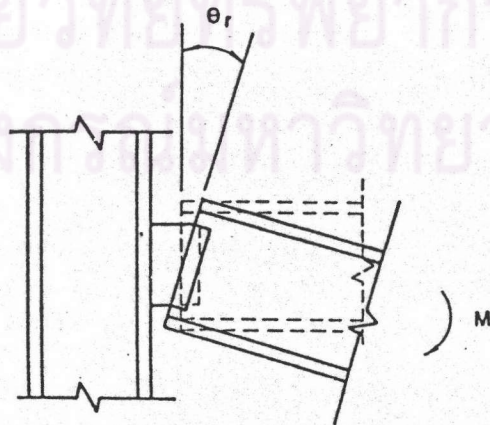
รูปที่ 1.1 แสดงงานก่อสร้างตามข้อกำหนดของ AISC - ASD และ AISC - LRFD



รูปที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมของโครงสร้างในรูปของความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการเปลี่ยนตำแหน่ง (Chen and Lui ,1991)

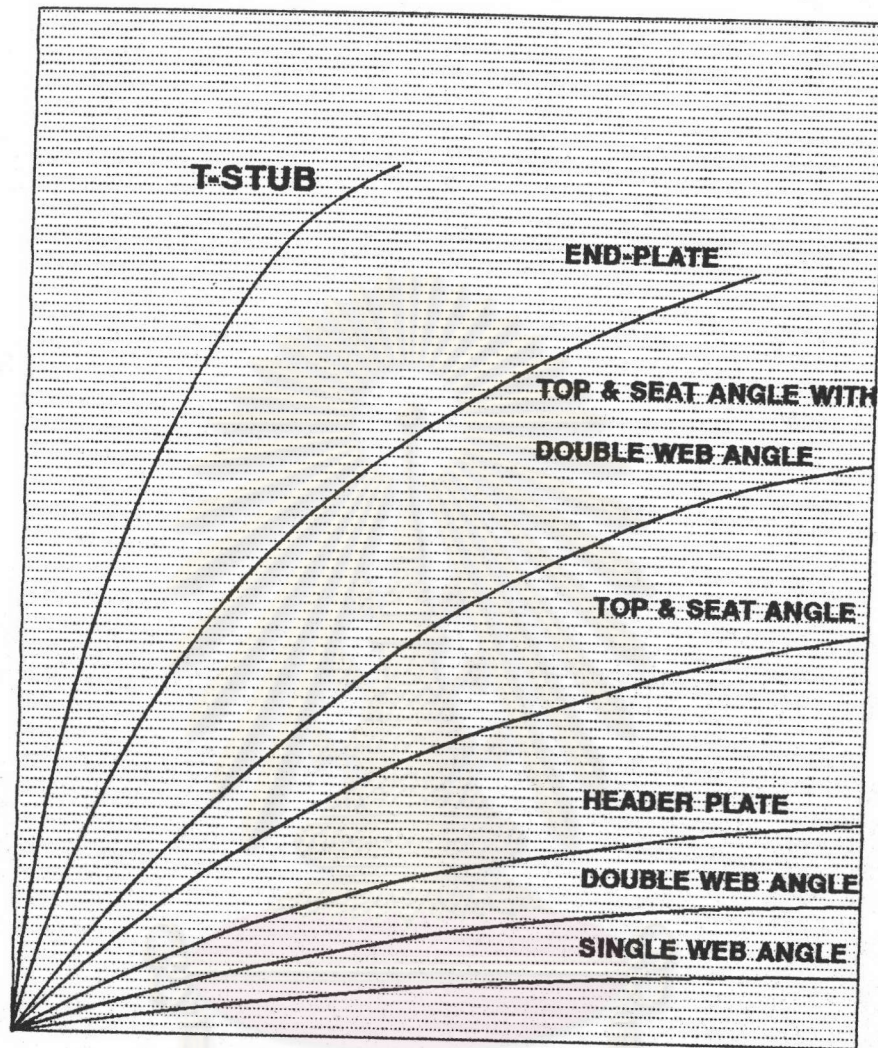
Analysis method	(a) first-order elastic	(c) first-order rigid-plastic	(e) first-order elastic-plastic hinge	(g) second-order inelastic
	(b) second-order elastic	(d) second-order rigid-plastic	(f) second-order elastic-plastic hinge	
$P - \Delta$ (load - deflection)				
$\sigma - \epsilon$ (stress - strain)				
$M - \phi$ (moment - curvature)				

รูปที่ 2.2 แสดงวิธีการวิเคราะห์และสมมุติฐานในการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็ก
(Chen ,Duan and Zhou ,1990)

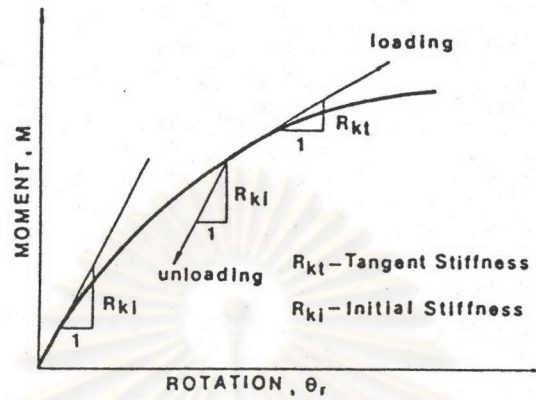


รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนรูปร่างของข้อต่อ

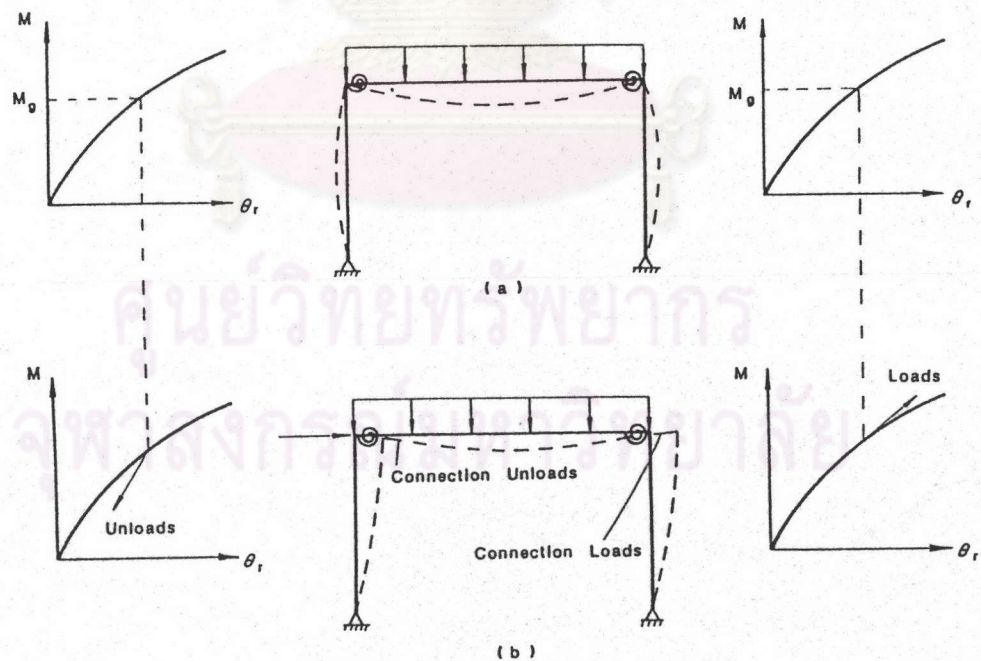
MOMENT , M

ROTATION , θ_r

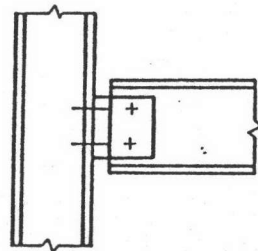
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับมุมเปลี่ยน (θ_r) ในข้อต่อประเภทต่างๆที่นิยมใช้
ทั่วไป



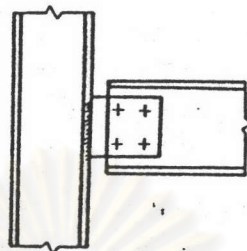
รูปที่ 2.5 แสดงพฤติกรรมของข้อต่อของความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับมุมเปลี่ยน



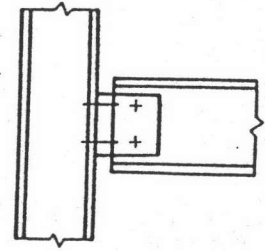
รูปที่ 2.6 แสดงพฤติกรรมของข้อต่อ ในการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกหรือลดน้ำหนักบรรทุก
(Loading and Unloading)



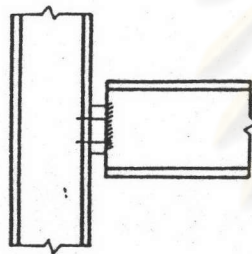
(a) Single web angle



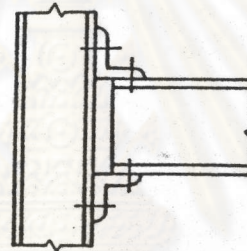
(b) Single plate



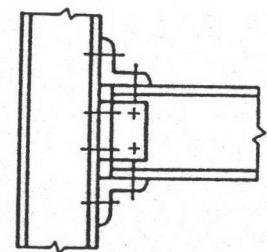
(c) Double web angle



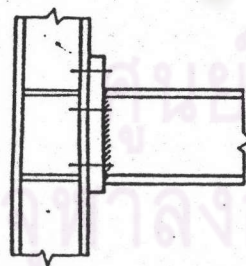
(d) Header plate



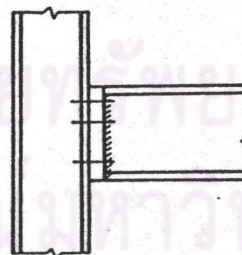
(e) Top and seat angle



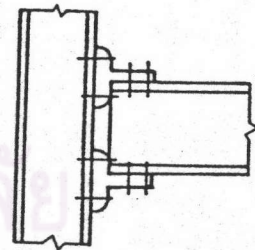
(f) Top and seat angle with double web angle



(g) Extended end plate

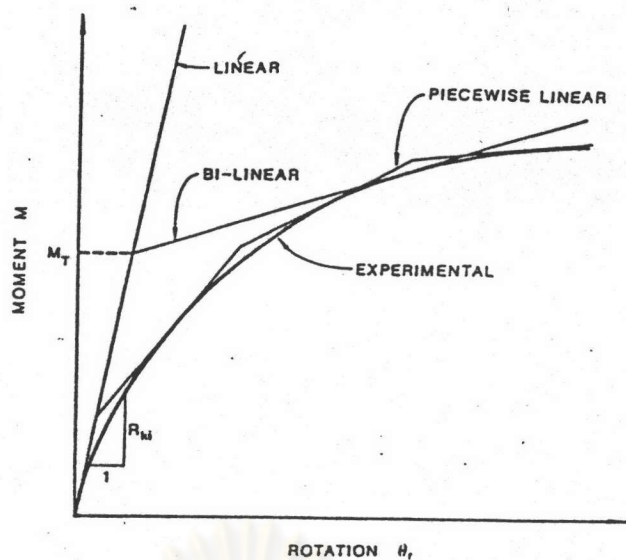


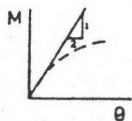
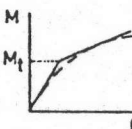
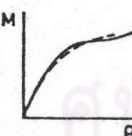
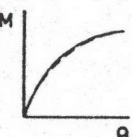
(h) Flush end plate



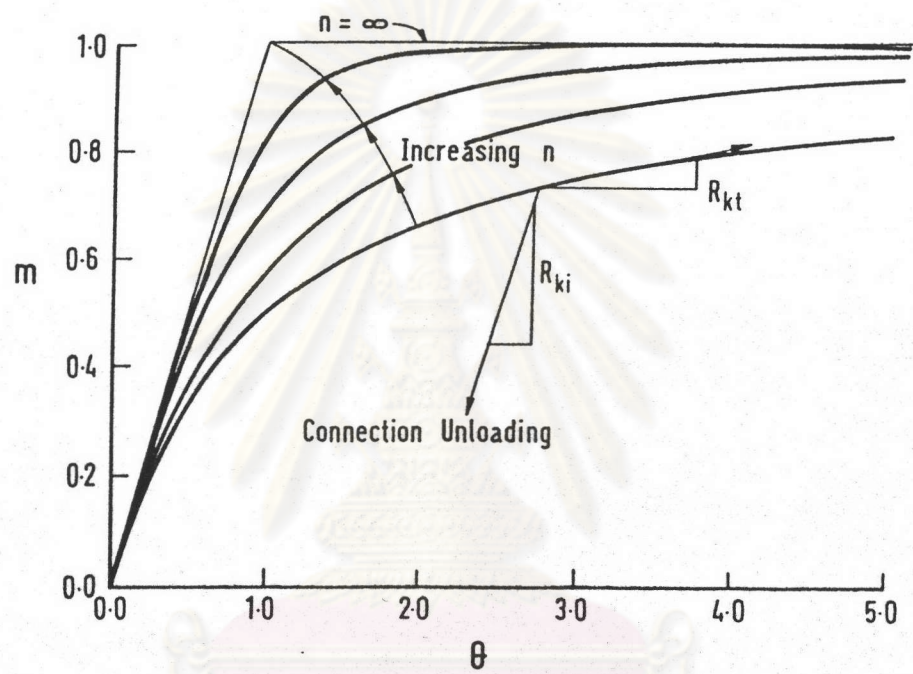
(i) T - stub

รูปที่ 2.7 รูปแบบทั่วไปของข้อต่อ



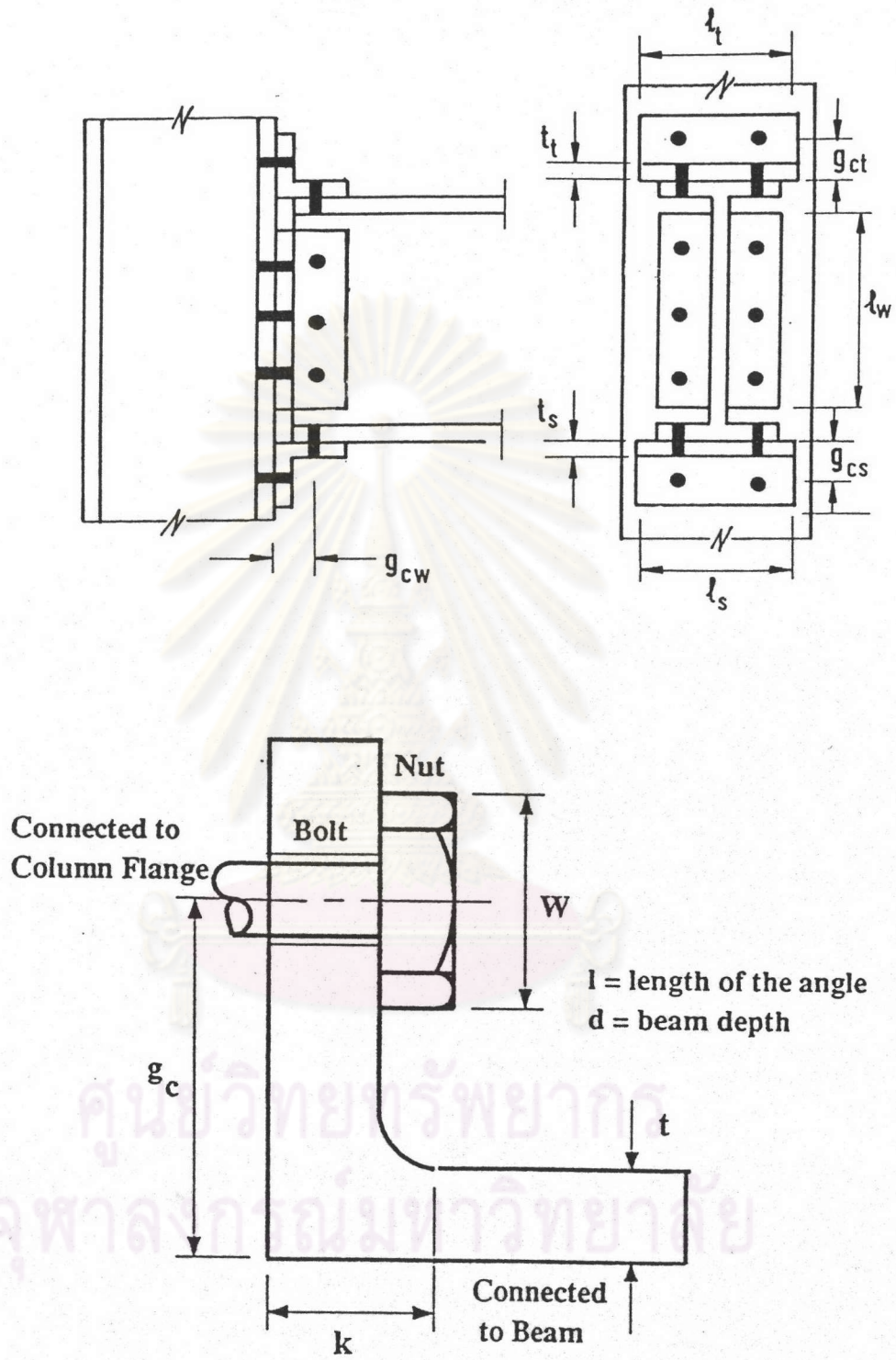
Type of Model	References	Year	Advantages	Disadvantages
1. Linear				
	Baker	1933	1. Simple to use	Inaccurate at high rotation values
	Rathbun	1936	2. Stiffness matrix only requires initial modification	
2. Bilinear				
	Lionberger & Weaver	1969	1. Simple to use	Inaccurate at some rotation values
	Romstad & Subramanian	1970	2. Curve follows M-θ curve more closely than Linear model	
3. Polynomial				
	Sommer	1970	Produce a close approximation to the shape of the M-θ data	1. Can produce inaccurate (even negative) connection tangent stiffness values
	Frye & Morris	1975		2. Nonlinear requires iterative evaluation
4. Cubic B-Spline				
	Jones et al.	1980	1. Produces a very close approximation to the M-θ data shape	1. Nonlinear, therefore requires iterative evaluation
			2. Produces accurate values of connection stiffness	2. Requires special numerical procedures for evaluation

รูปที่ 2.8 แสดง Model ของข้อต่อ

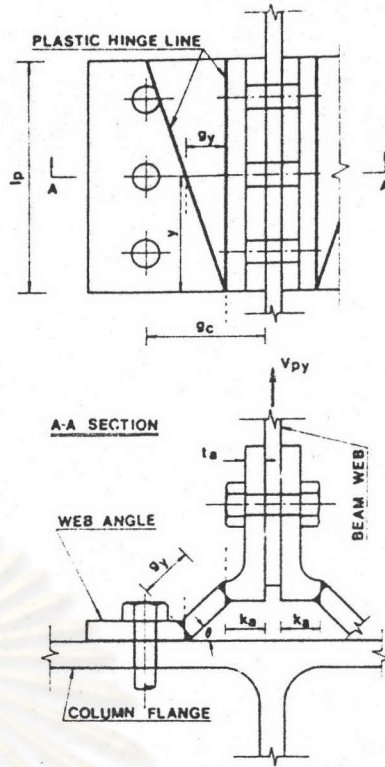
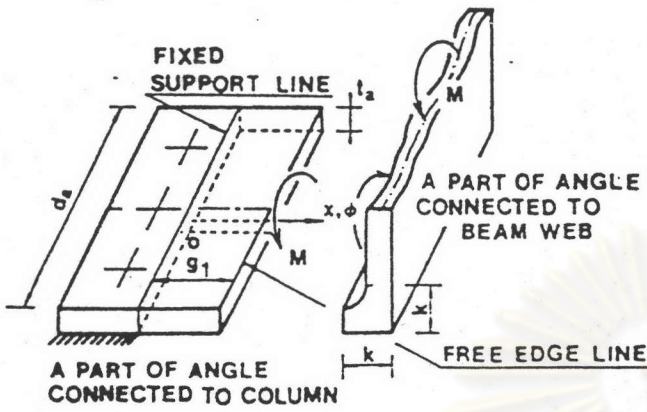


รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง m กับ θ ของข้อต่อรูปแบบ Three Parameter Power Model

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



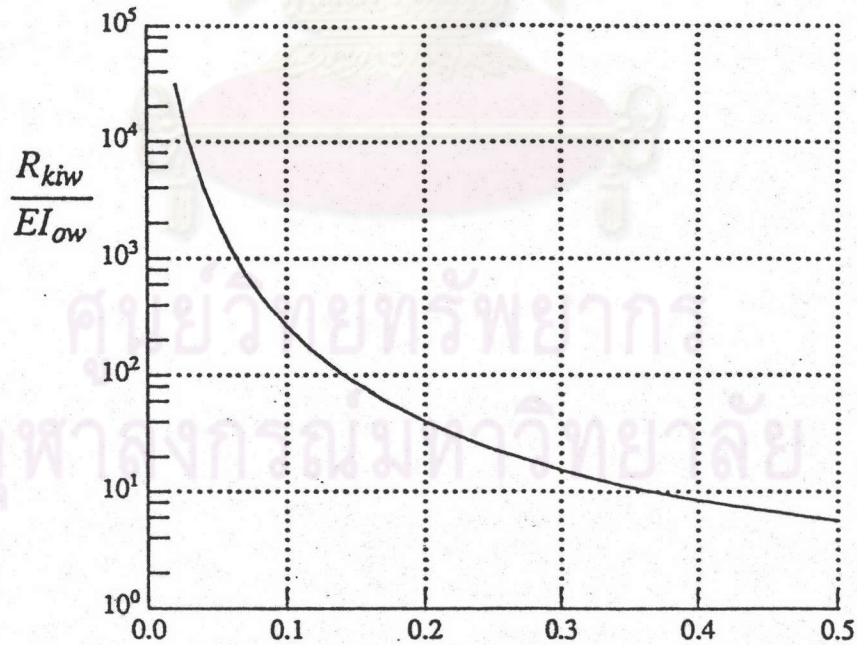
รูปที่ 2.10 แสดงค่ามาตรฐานของข้อต่อใช้เหล็กฉาก



Moderate Thick Plate

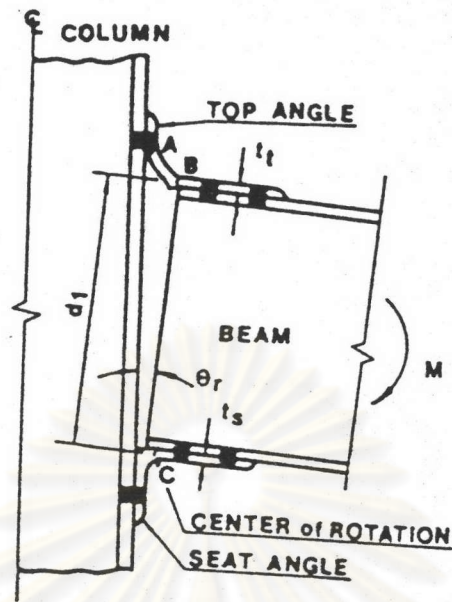
Mechanism ของ Web Angle ในช่วง Ultimate

รูปที่ 2.11 ข้อสมมติฐานของ Moderate Thick Plate และ Mechanism ของ Web Angle ในช่วง Ultimate

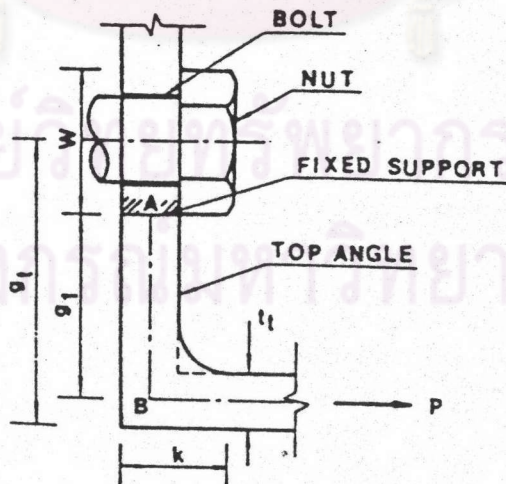


$$\beta'_w = \beta_w - \frac{1}{\gamma_w} \left(\kappa_w + \frac{\omega_w}{2} \right)$$

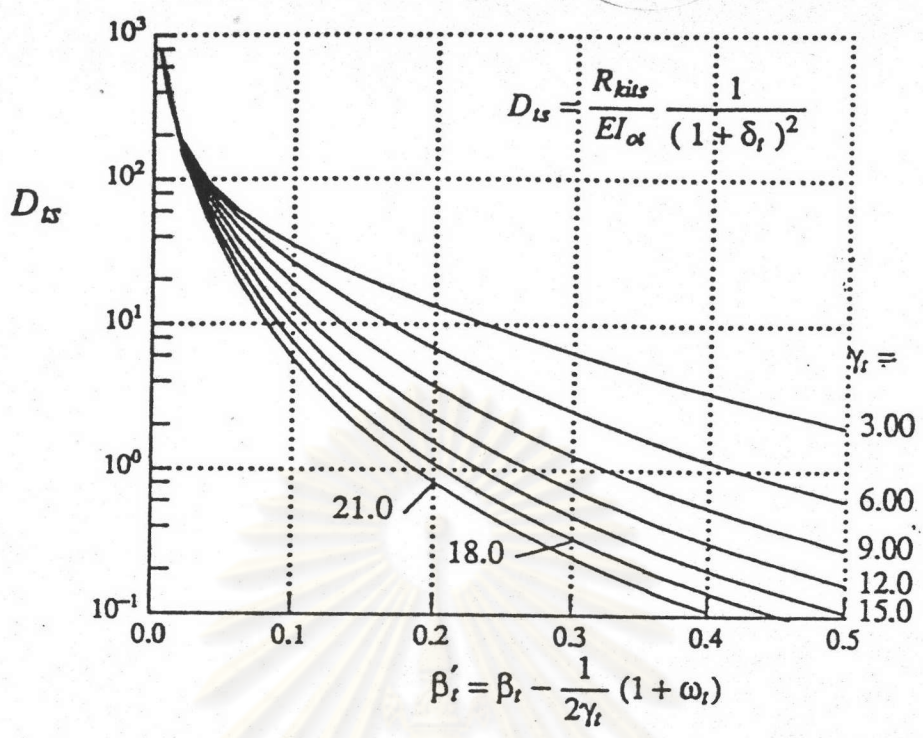
รูปที่ 2.12 Characteristic Curves สำหรับหาค่า Initial Stiffness ของข้อต่อแบบ Single Web Angle



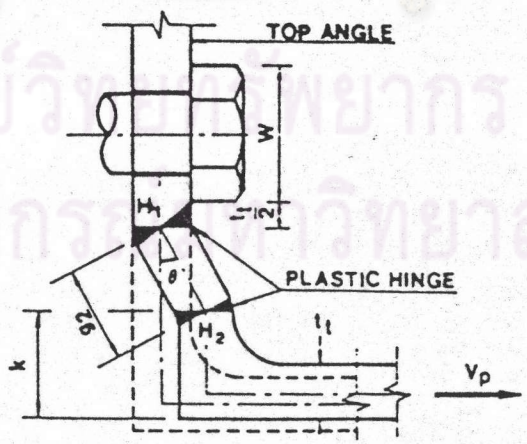
รูปที่ 2.13 รูปแบบการเปลี่ยนรูปร่างของเหล็กฉากบนและเหล็กฉากล่างในช่วงอิลาสติก



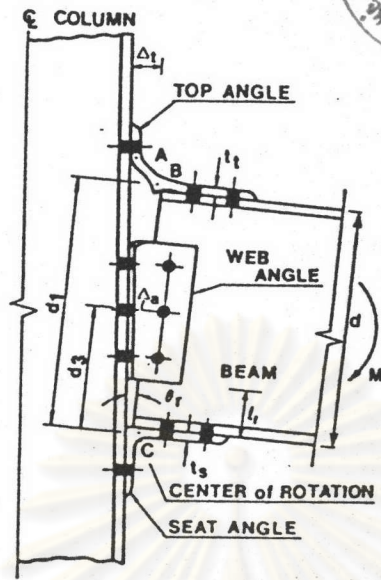
รูปที่ 2.14 พฤติกรรมของเหล็กฉากบน (Top Angle)



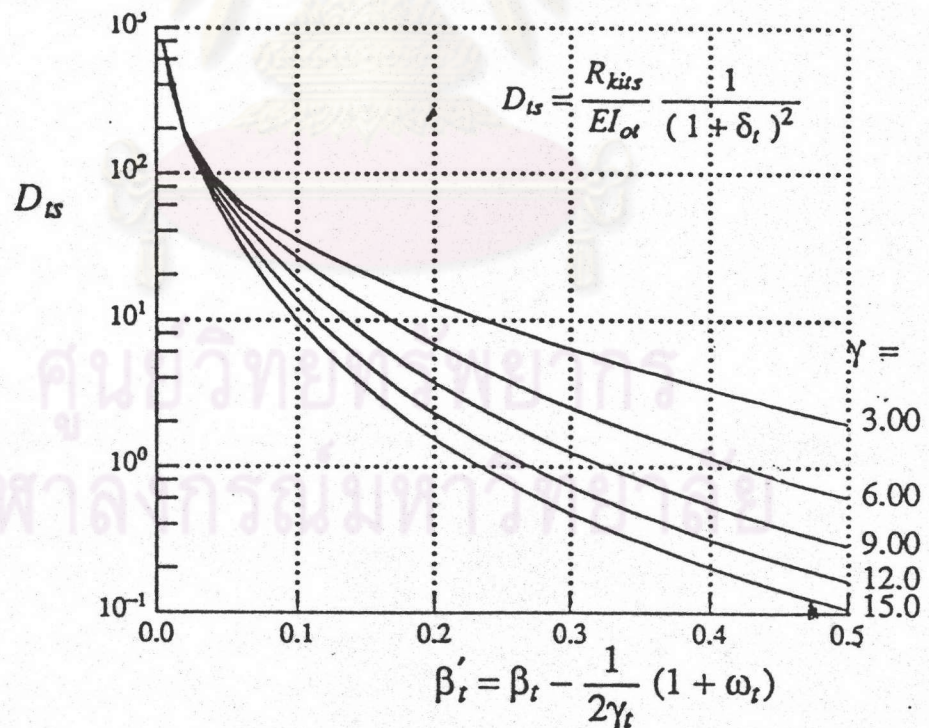
รูปที่ 2.15 Characteristic Curves สำหรับหาค่า Initial Stiffness ของข้อต่อแบบ Top and Seat Angle



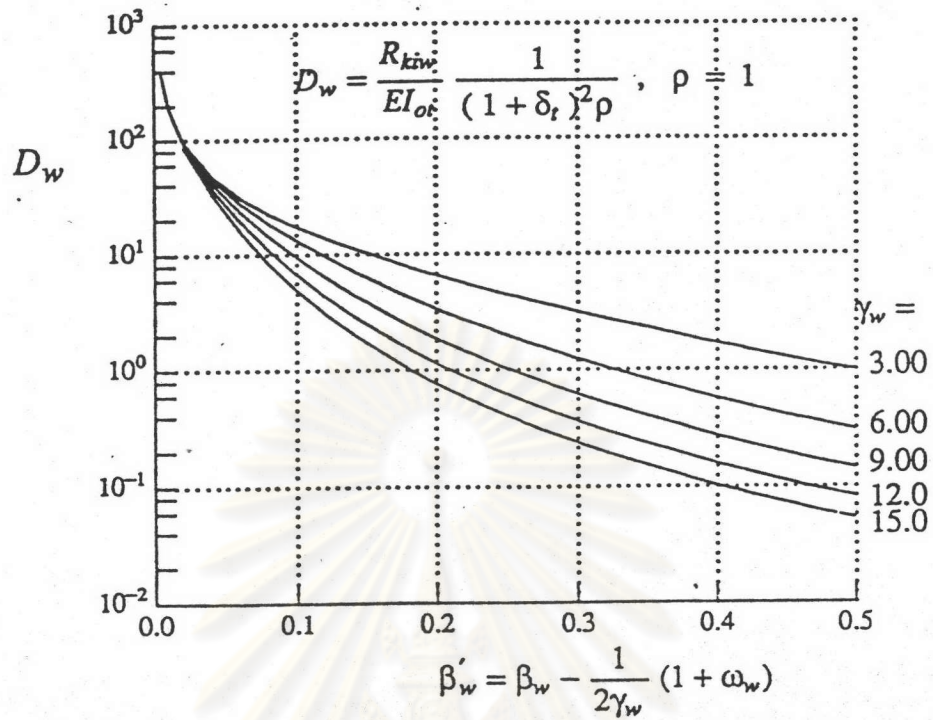
รูปที่ 2.16 พฤติกรรมของเหล็กฉากบนในช่วงกำลังประลัย (Ultimate State)



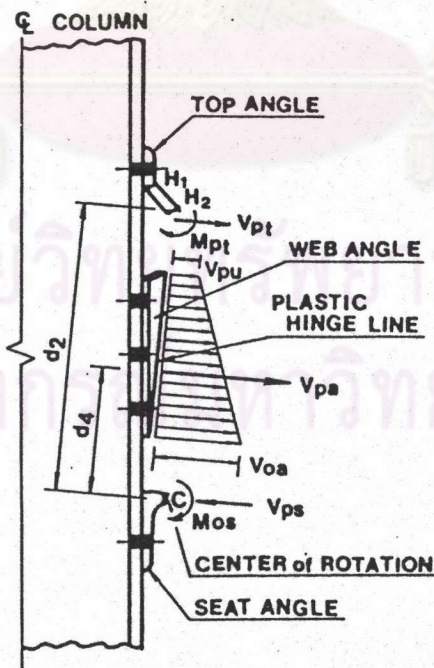
รูปที่ 2.17 รูปแบบการเสี้ยวรูปของข้อต่อแบบ Top and Seat Angle with Double Web Angle ในช่วงอิลาสติก



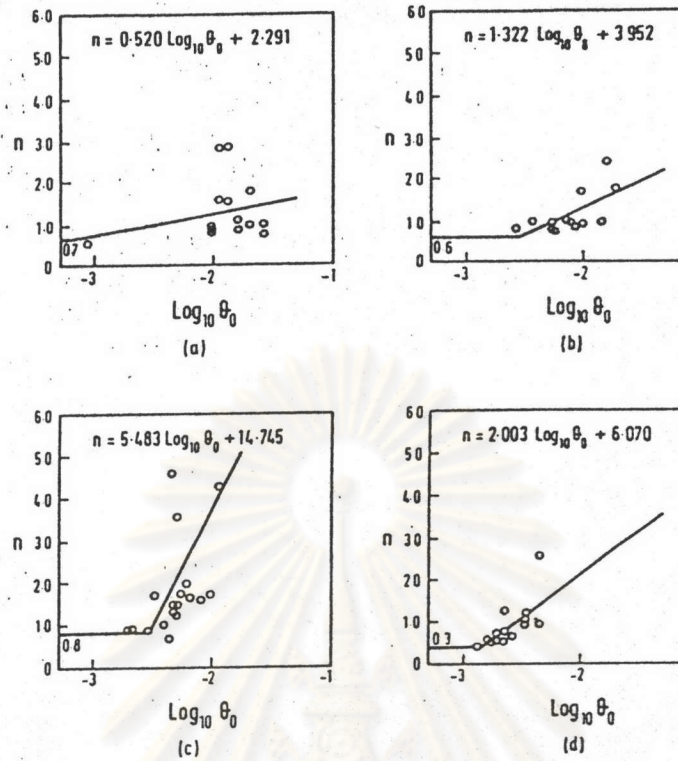
รูปที่ 2.18 Characteristic Curves สำหรับหาค่า Initial Stiffness ของข้อต่อแบบ Top and Seat Angle with Double Web Angle โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง D_{ts} กับ β'_t



รูปที่ 2.19 Characteristic Curves สำหรับหาค่า Initial Stiffness ของข้อต่อแบบ Top and Seat Angle with Double Web Angle โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง D_w กับ β'_w

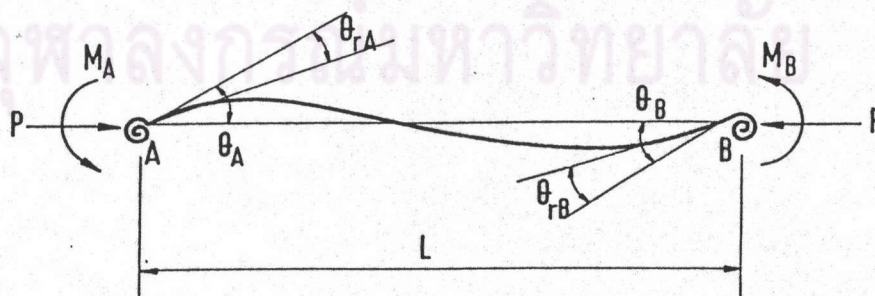


รูปที่ 2.20 พฤติกรรมการกระจายน้ำหนักกระทำในช่วงกำลังประลัย (Ultimate State)

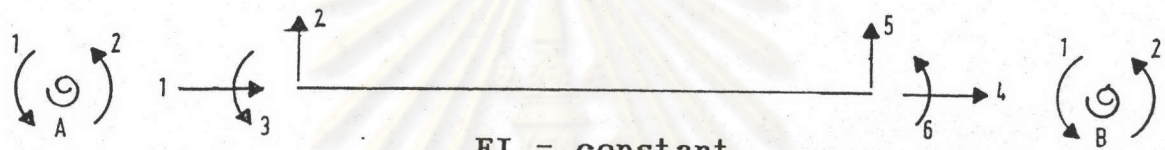


Comparisons of the shape parameter n with experimental test data
 (a) Single web-angle connections; (b) double web-angle connections; (c) top-and-seat angle with double web-angle connections; (d) top-and-seat-angle connections.

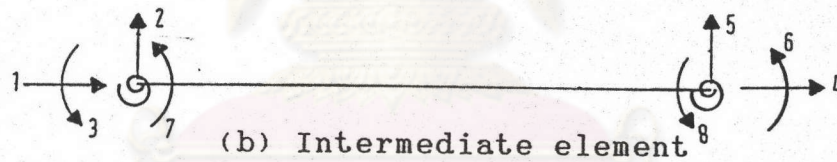
รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของค่า Shape Parameter เทียบกับผลการทดสอบ
 (Kishi et. al. (1991 a&b))



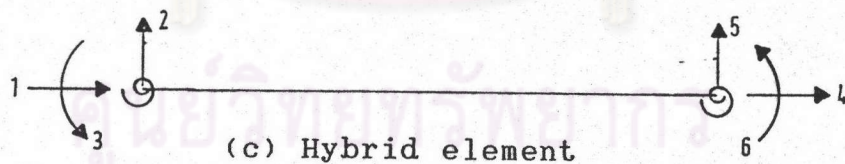
รูปที่ 2.22 องค์อาคารคาน - เสามีข้อต่อกึ่งแข็งที่ปลายทั้งสอง



(a) Individual element

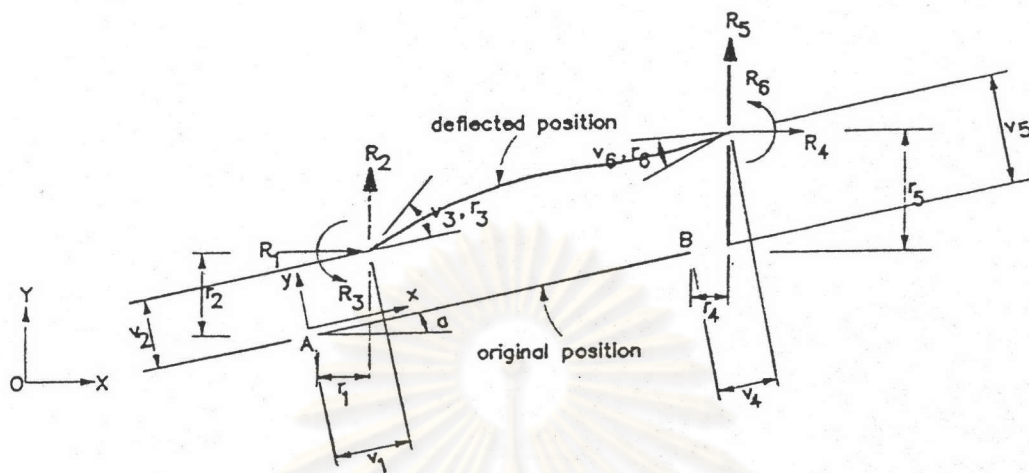


(b) Intermediate element

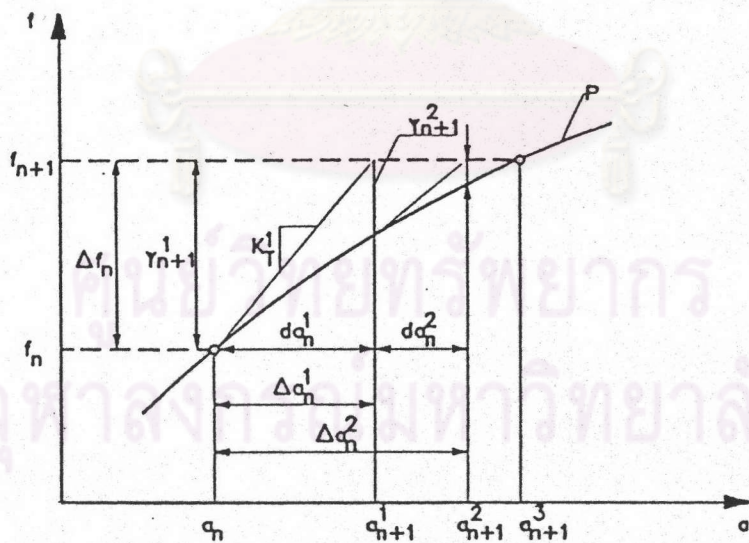


(c) Hybrid element

รูปที่ 2.23 Hybrid Beam Element

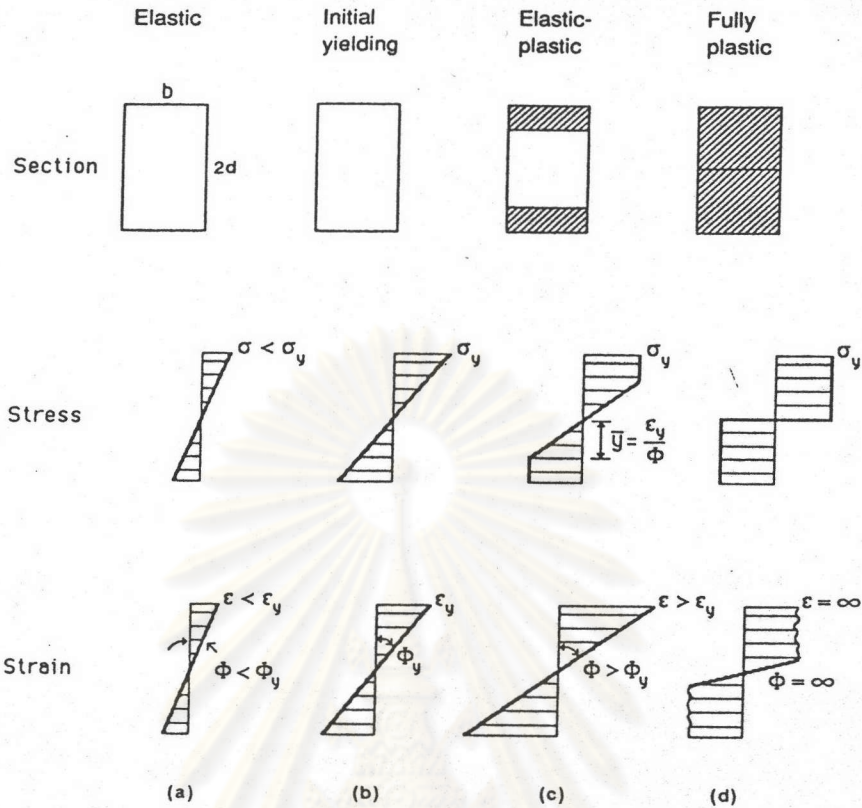
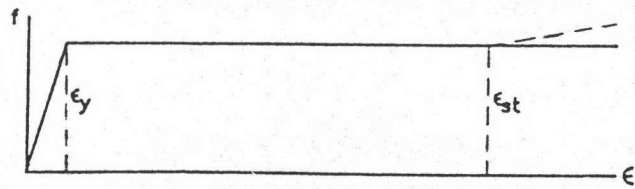


รูปที่ 2.24 องค์อาคารวางในระบบโคออดิเนตโกลบอล(Chen and Lui ,1991)

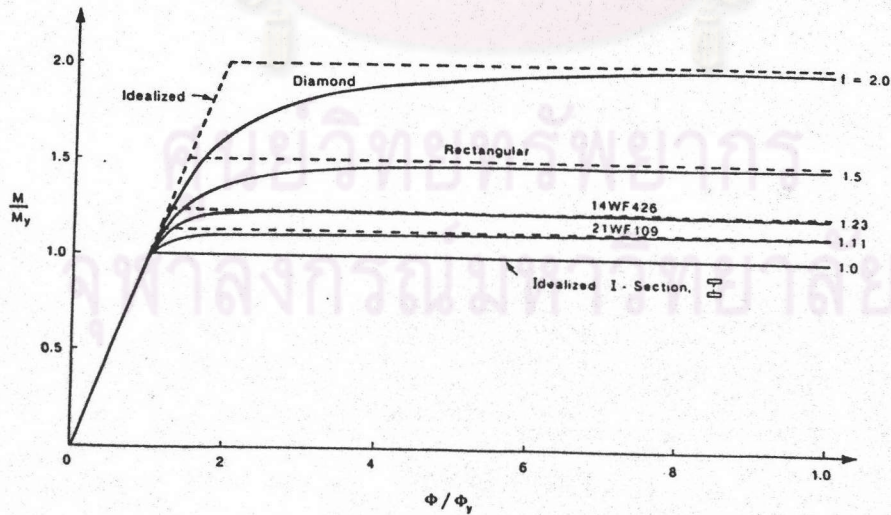


รูปที่ 2.25 การวิเคราะห์อันดับที่สองโดยใช้นิวตัน - แรพสัน (Zeinkiewicz and Taylor,1991)

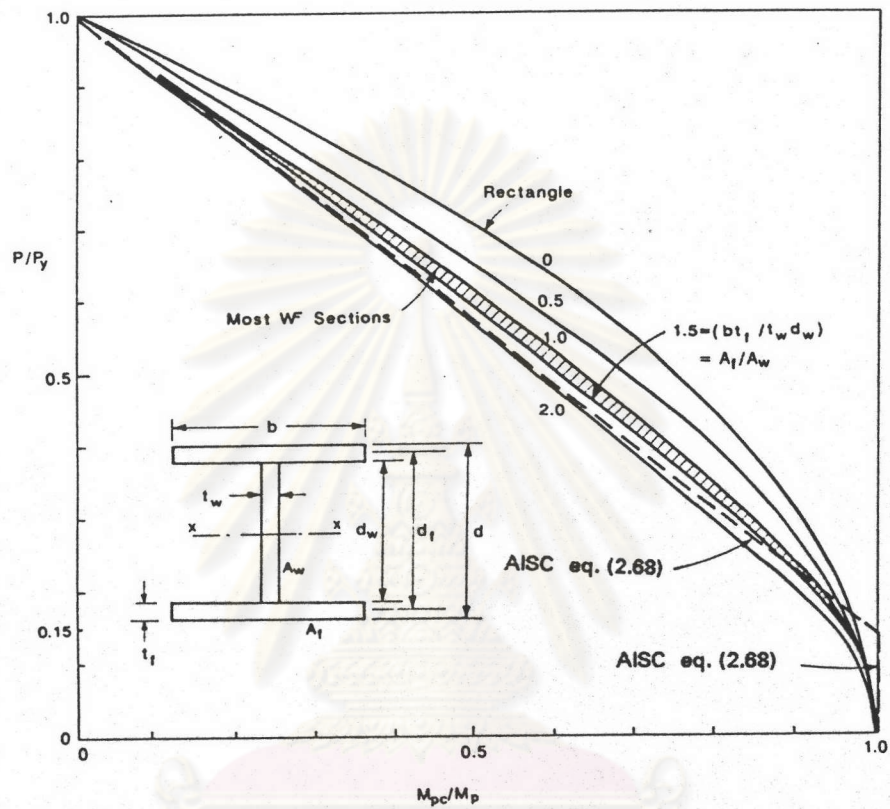
ความสัมพันธ์
ของหน่วยแรงกับ
ความเครียด



รูปที่ 2.26 การกระจายของหน่วยแรงและการเกิดจุดหมุนพลาสติก(ทักษิณ เทพชาติศรี ,2529)



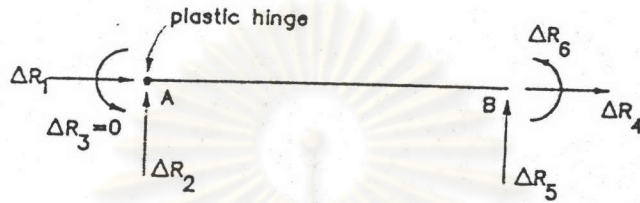
รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์และการโก่งของหน้าตัดใด ๆ



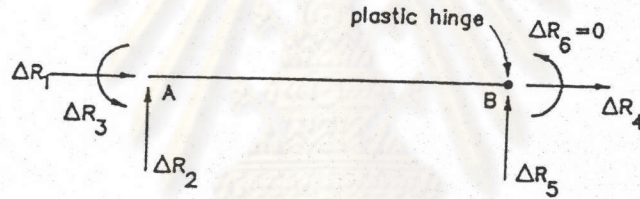
รูปที่ 2.28 ความสัมพันธ์ของความสามารถในการรับพลาสติกโมเมนต์กับแรงในแนวแกน
สำหรับหน้าตัดรูปตัว I รอบแกนเอก (ทักษิณ เทพชาติ ,2529)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

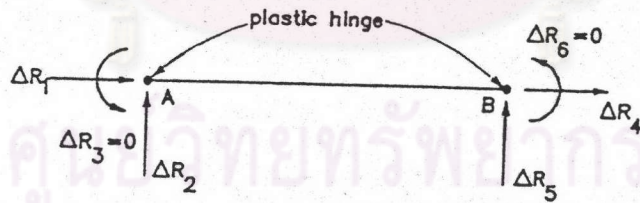
(ก) องค์กรอาคารเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกเฉพาะปลาย A



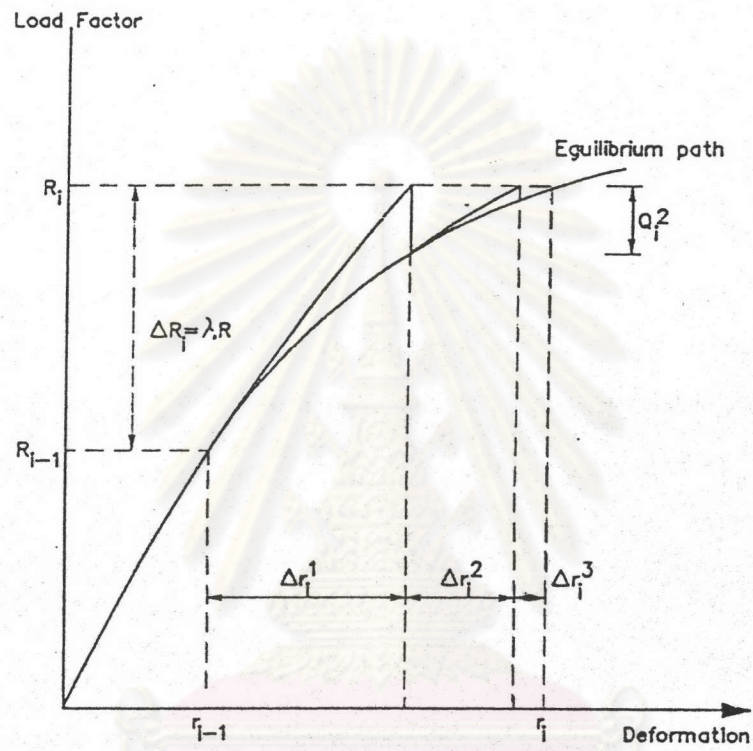
(ข) องค์กรอาคารเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกเฉพาะปลาย B



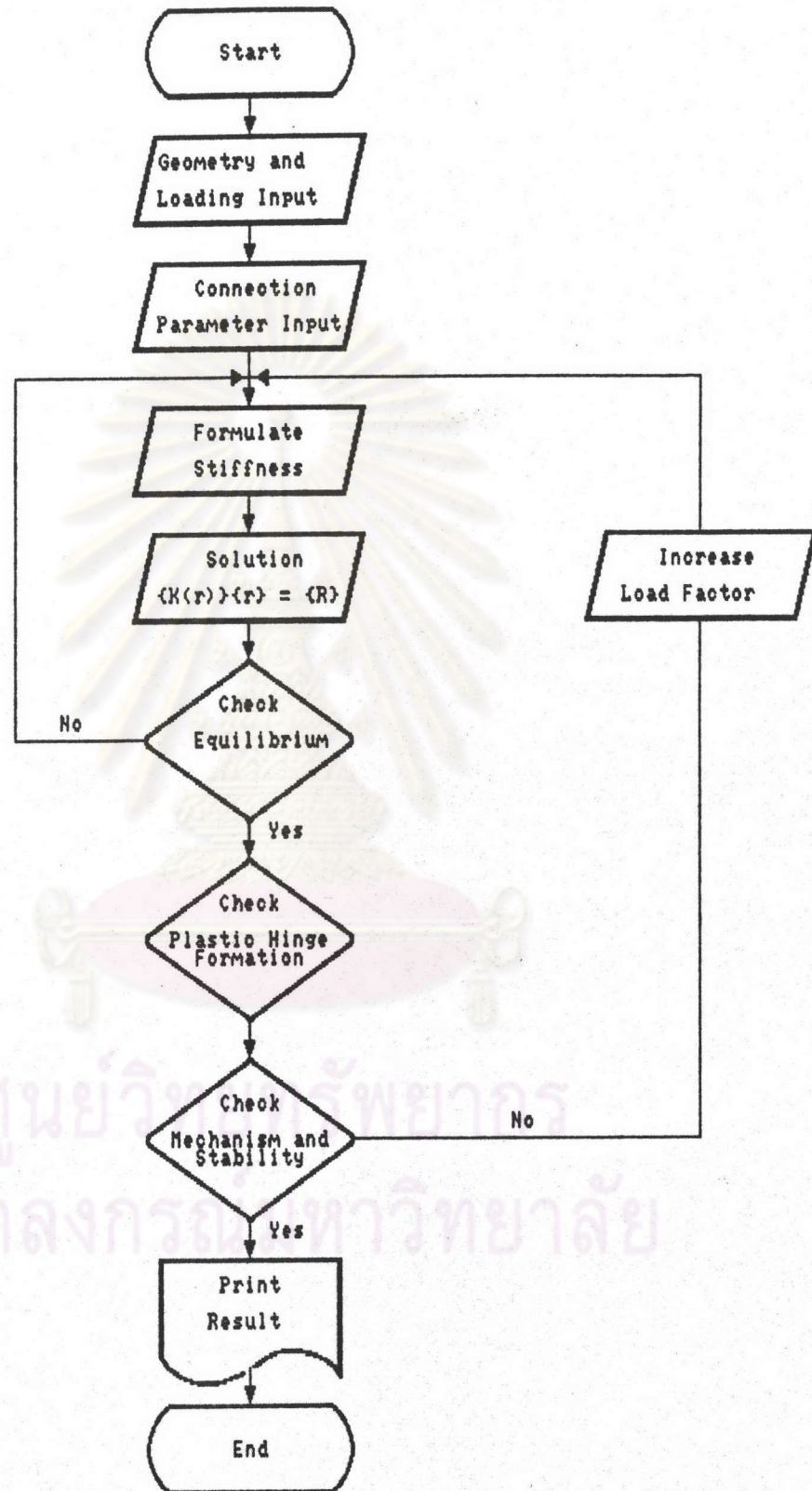
(ค) องค์กรอาคารเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกทั้งสองปลาย



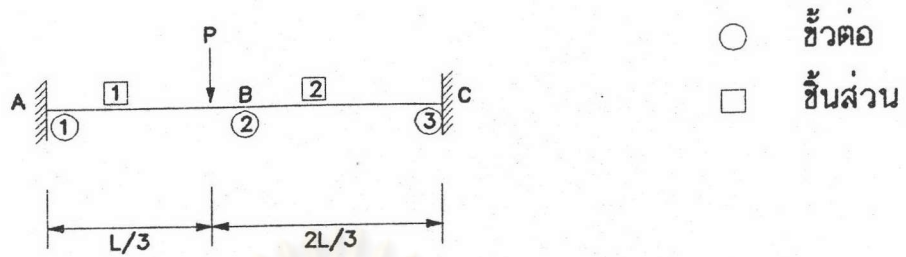
รูปที่ 2.29 องค์กรอาคารเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกที่ปลาย (Chen and Lui ,1991)



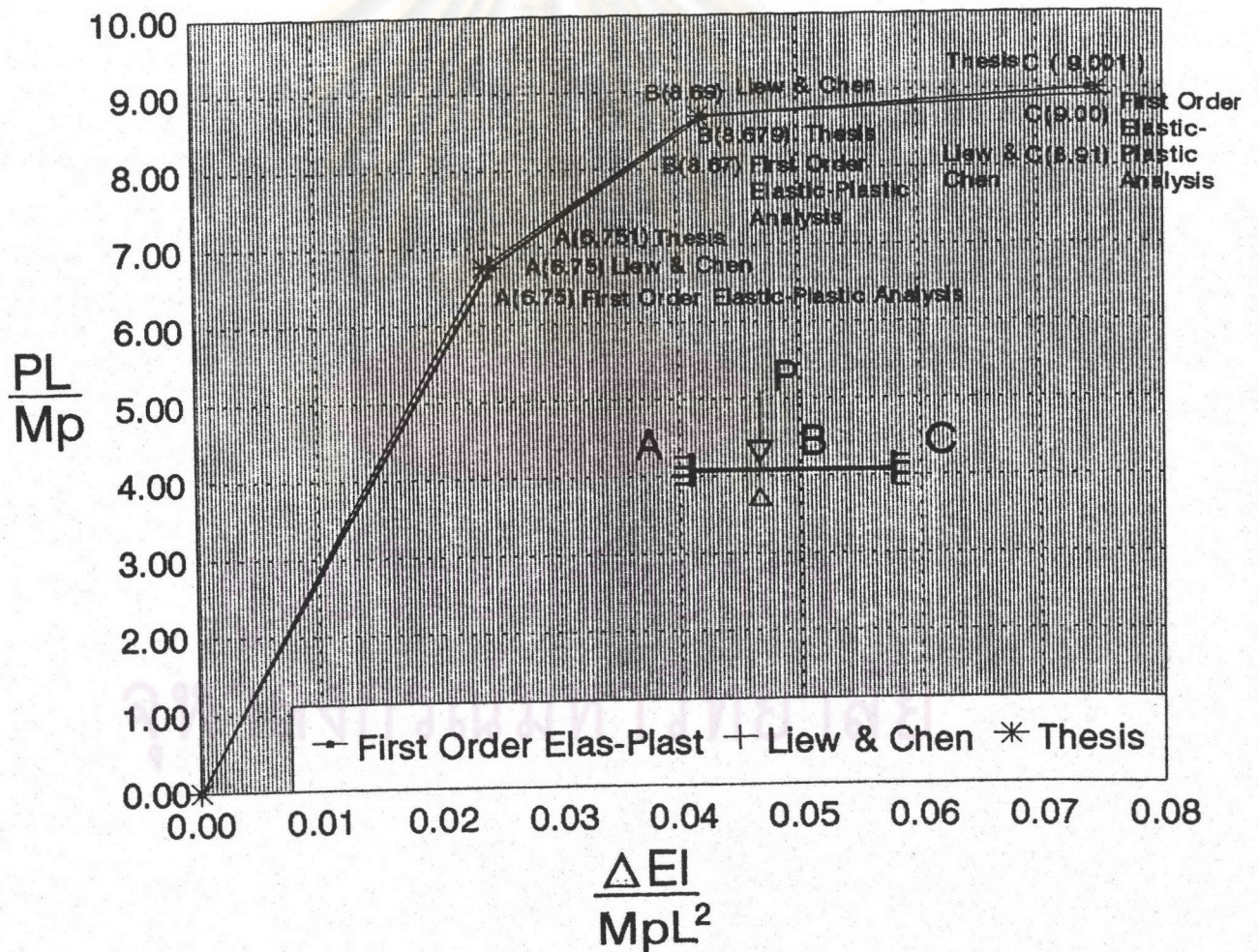
รูปที่ 2.30 การวิเคราะห์หีสถิติกพลาสติกอันดับที่สอง (Chen and Lui, 1991)



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำการวิเคราะห์



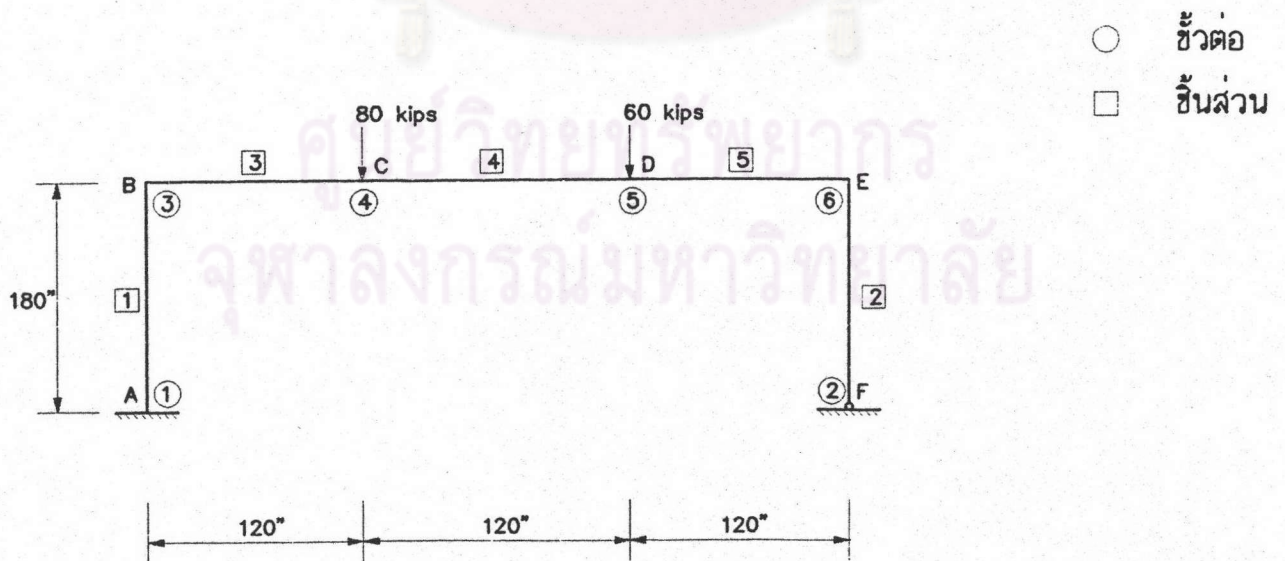
รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 1



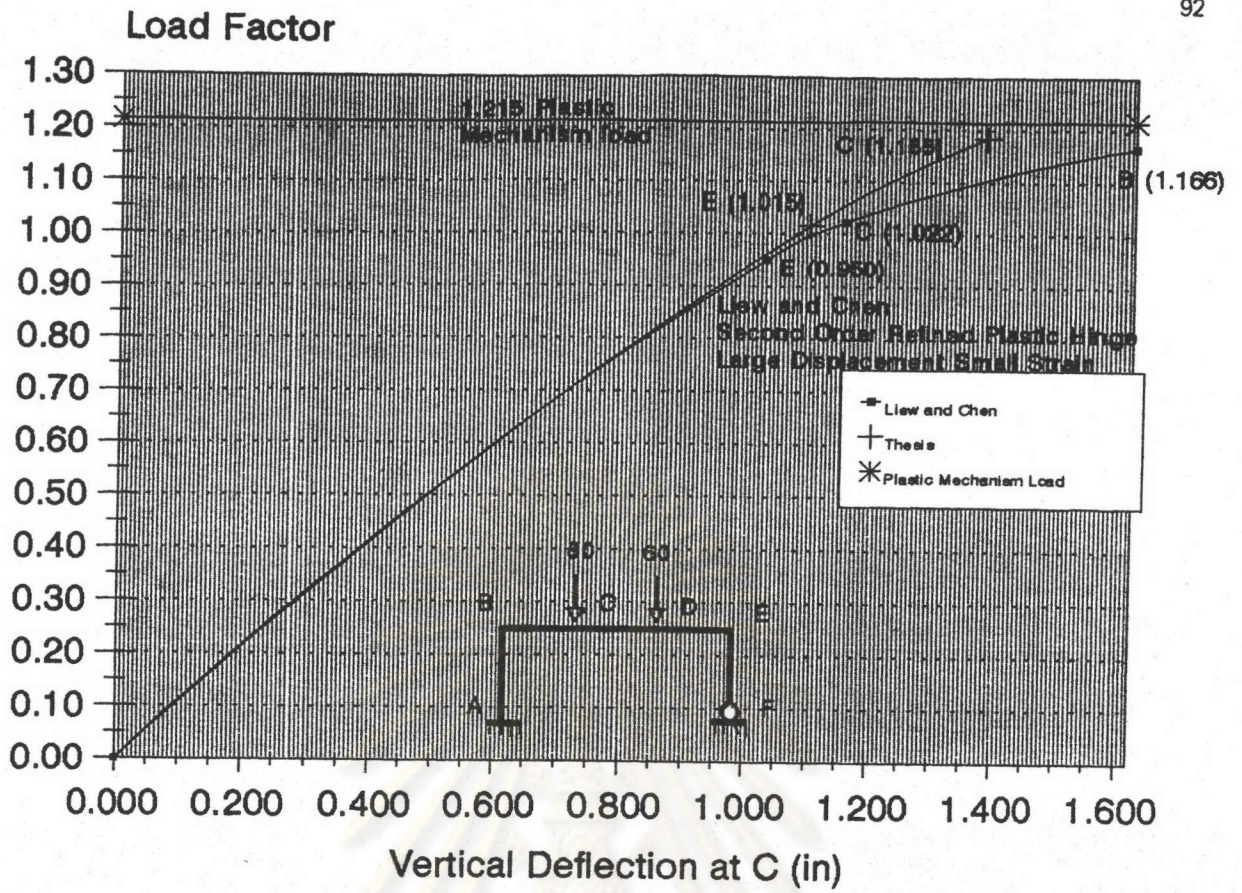
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้ง เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1



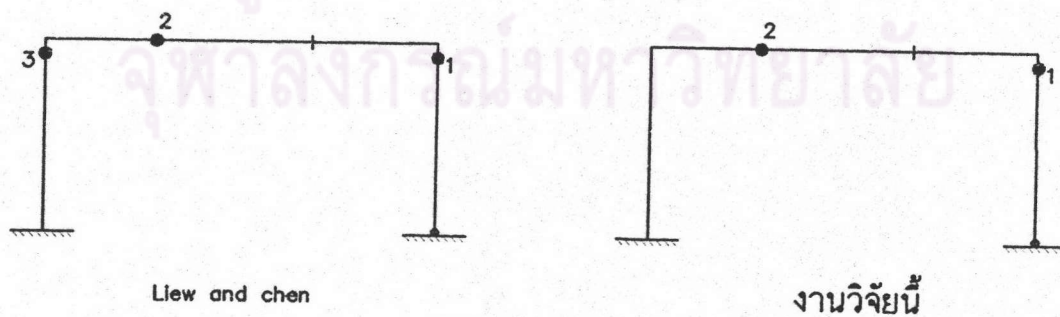
รูปที่ 4.3 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 1



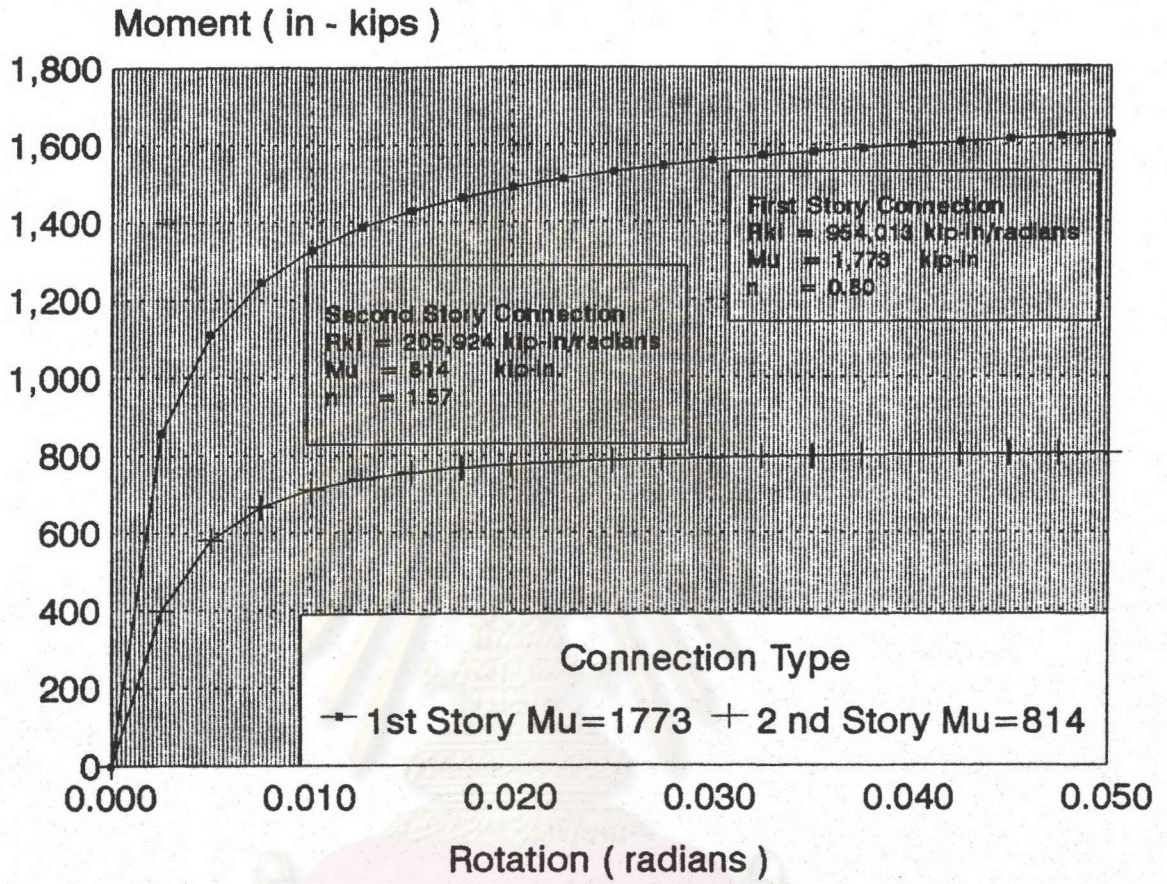
รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้ง เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2

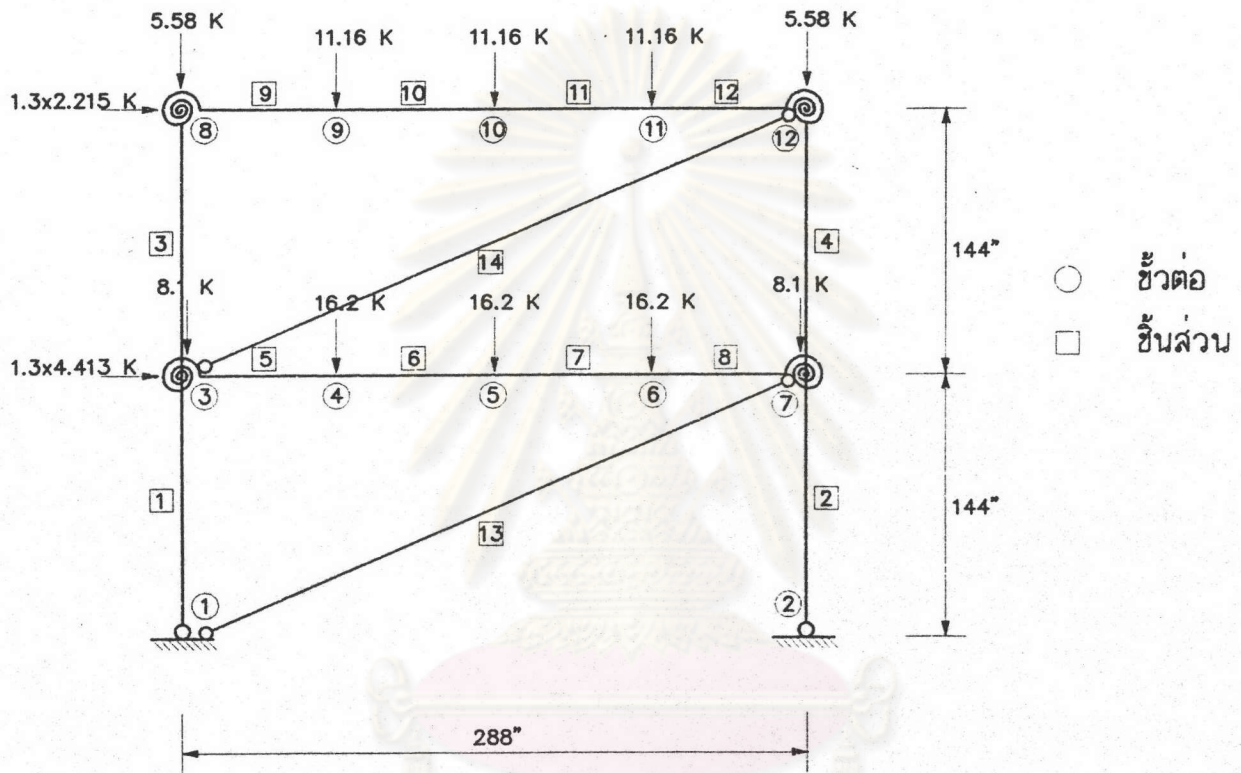


รูปที่ 4.6 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 2



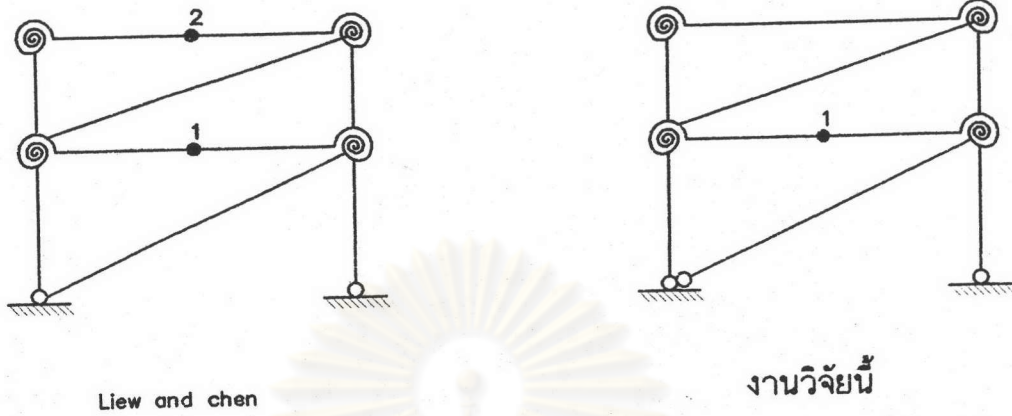
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ที่ข้อต่อกับมุมเปลี่ยน ตัวอย่างที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

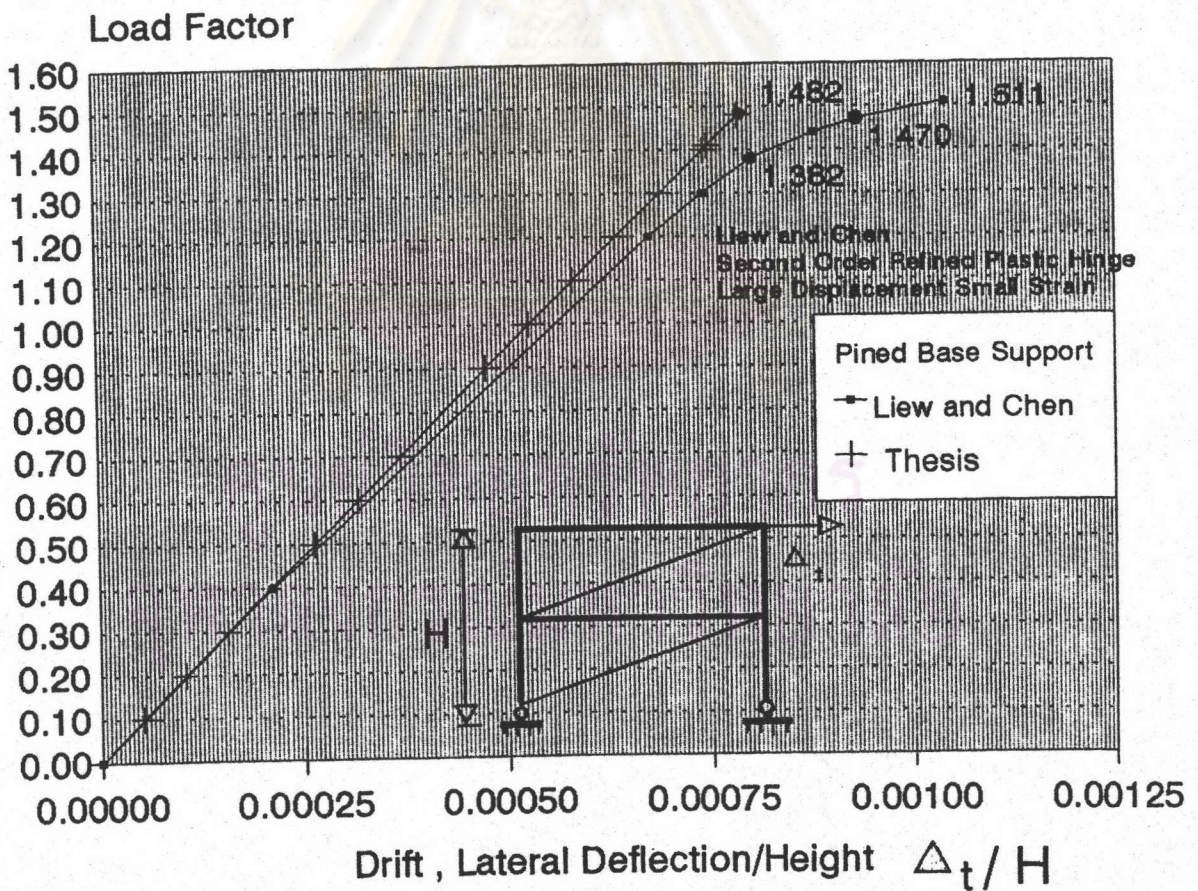


ศูนย์วิทยทรัพยากร

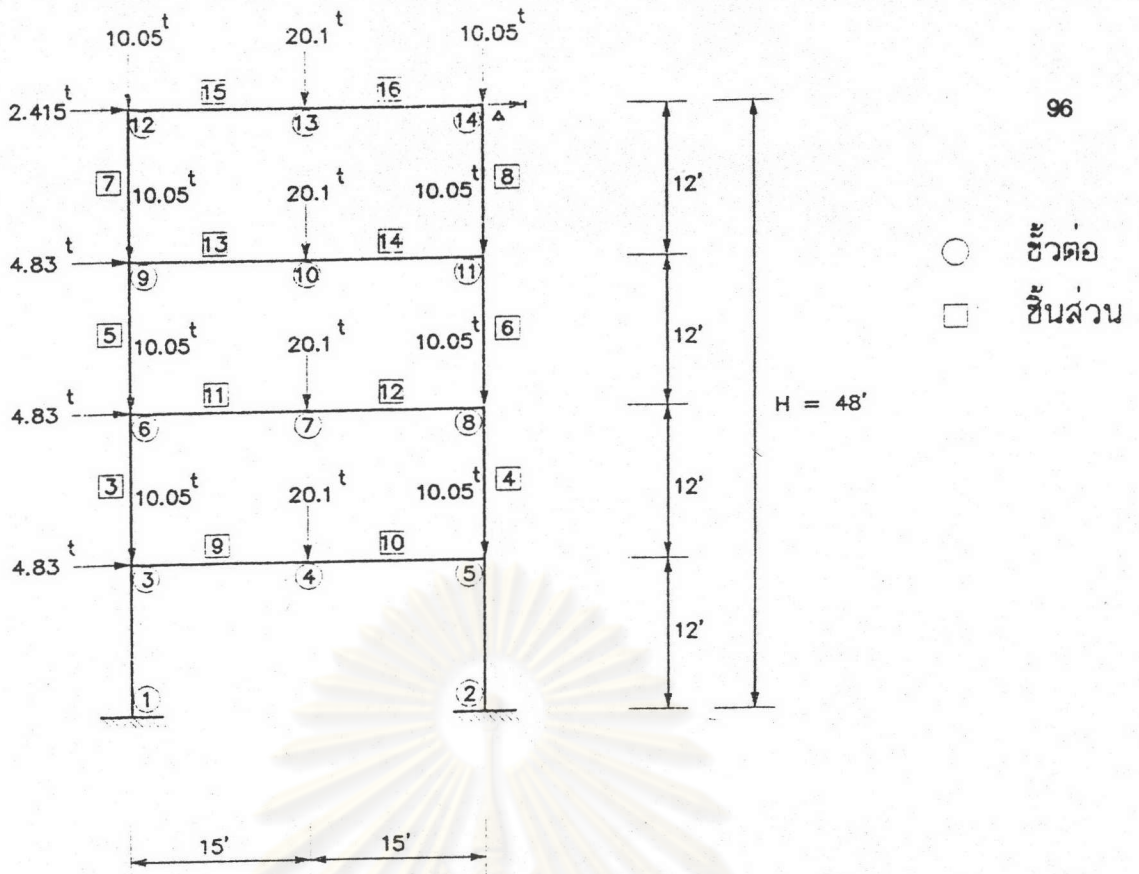
รูปที่ 4.8 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำ ตัวอย่างที่ 3
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3

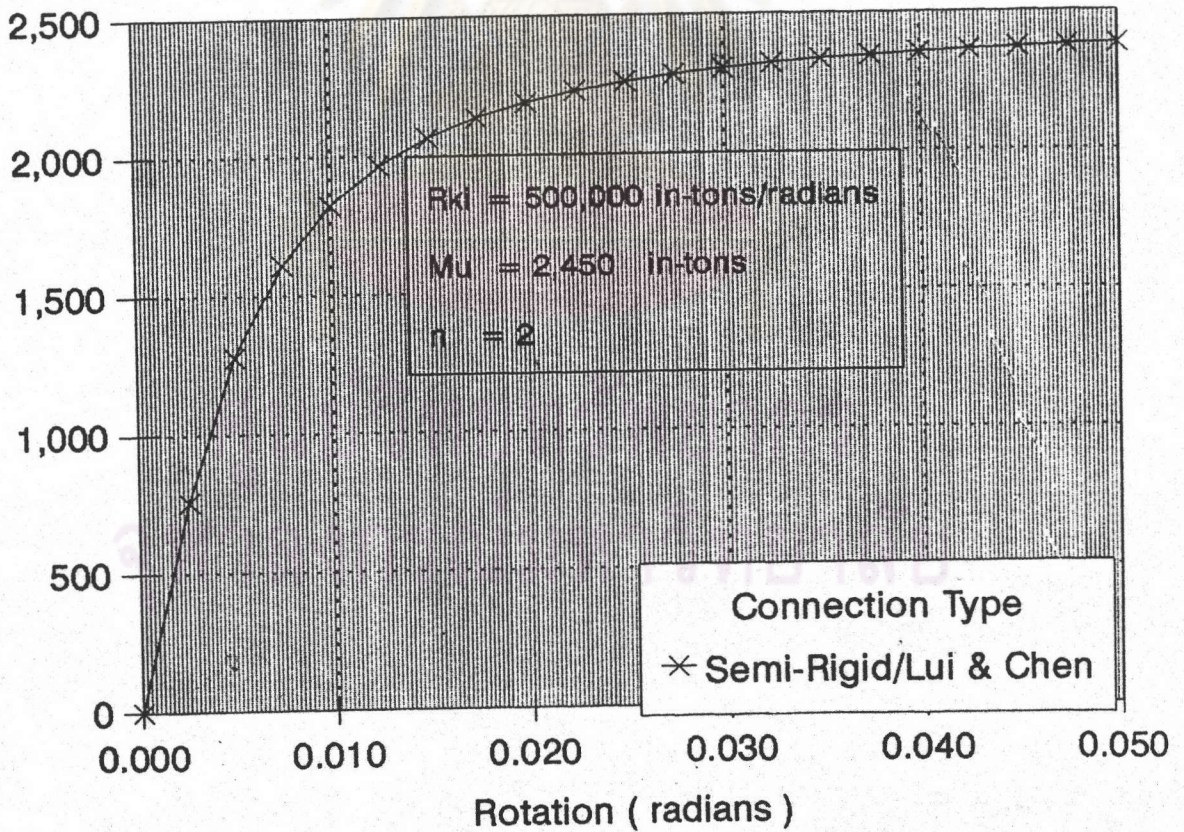


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3



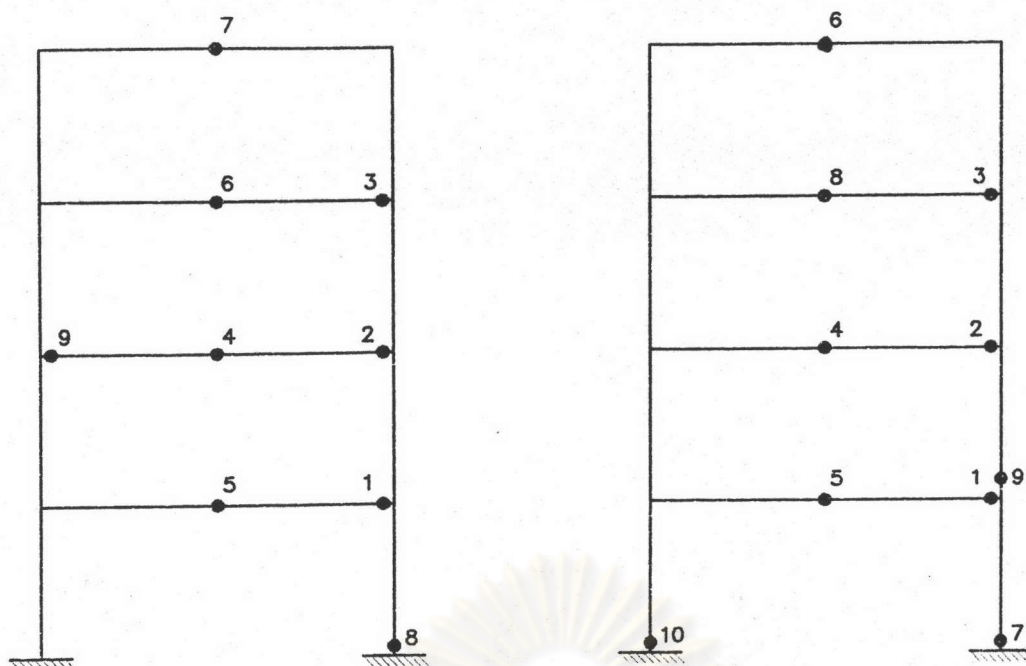
รูปที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำ ตัวอย่างที่ 4

Moment (In - Tons)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ที่ข้อต่อกับมุมเปลี่ยน ตัวอย่างที่ 4

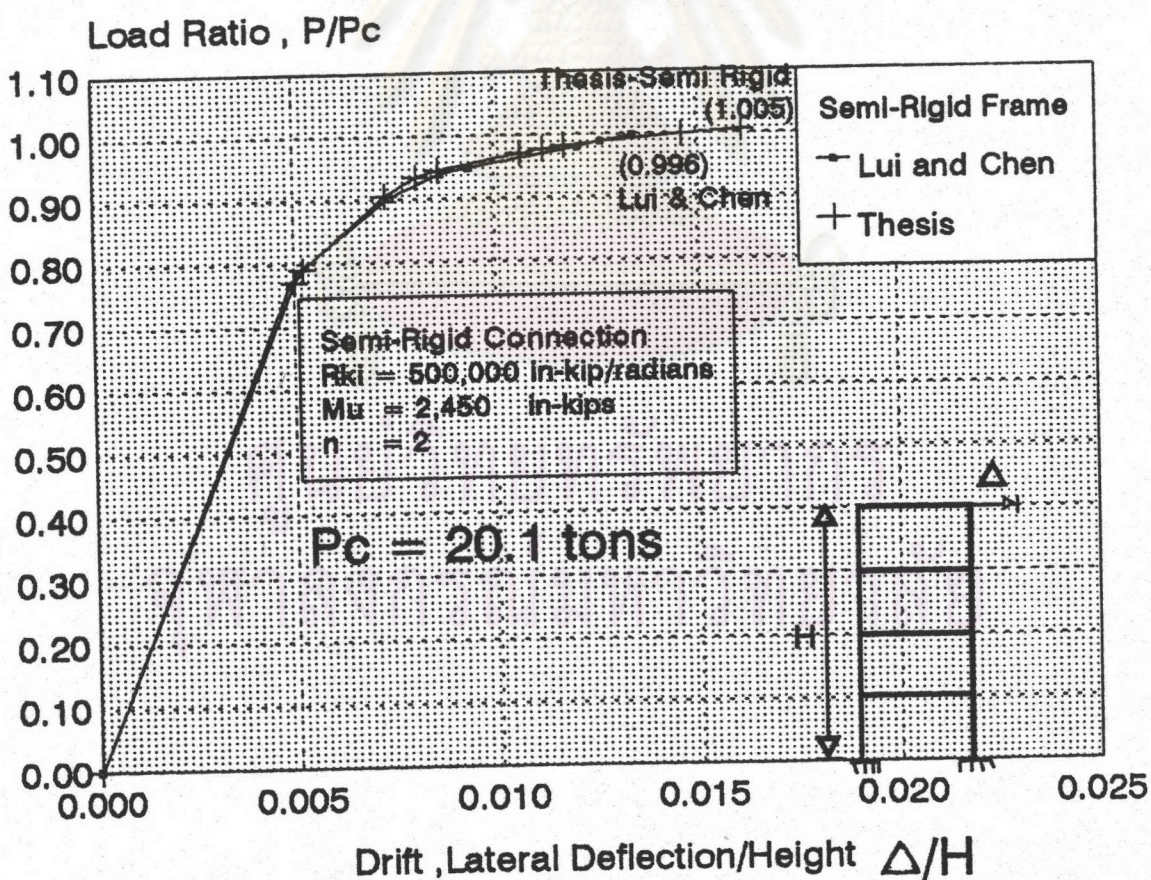
• ตำแหน่งจุดหมุน
พลาสติก



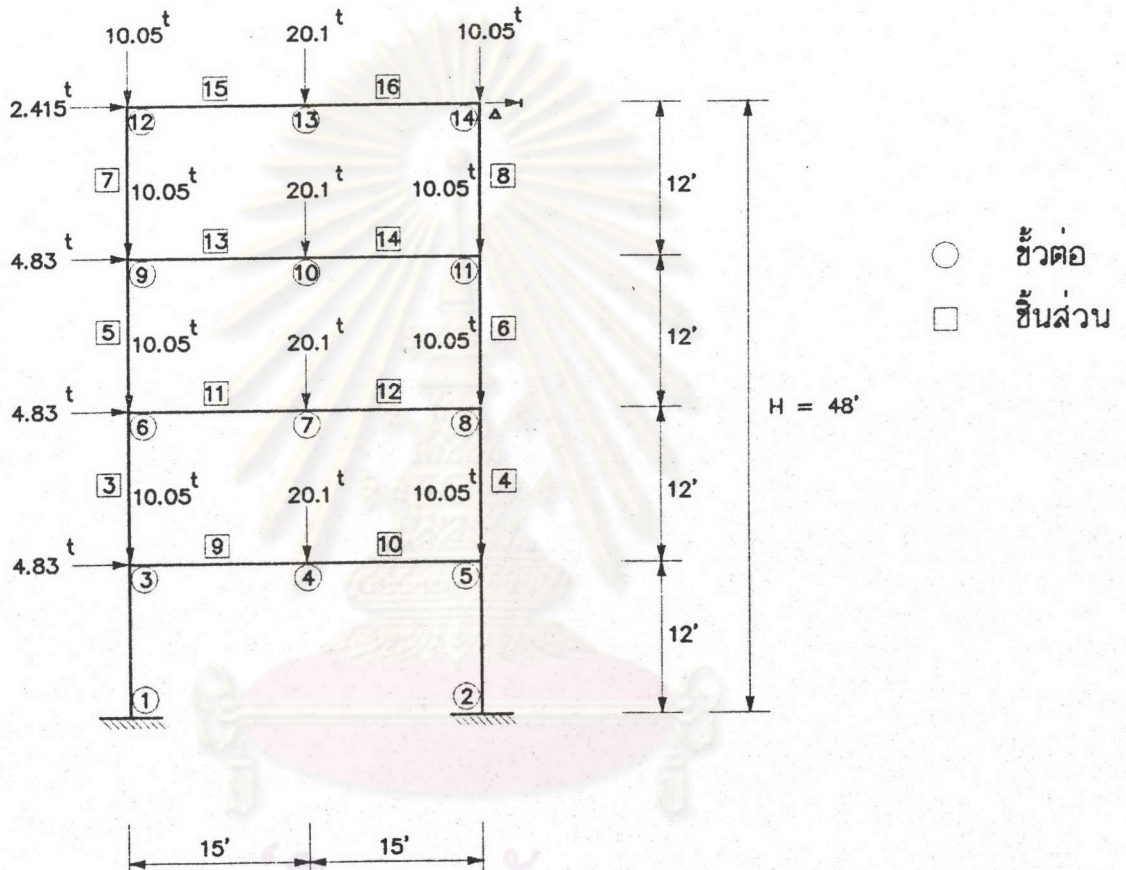
Lui and Chen , Kassimali

งานวิจัยนี้

รูปที่ 4.13 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 4

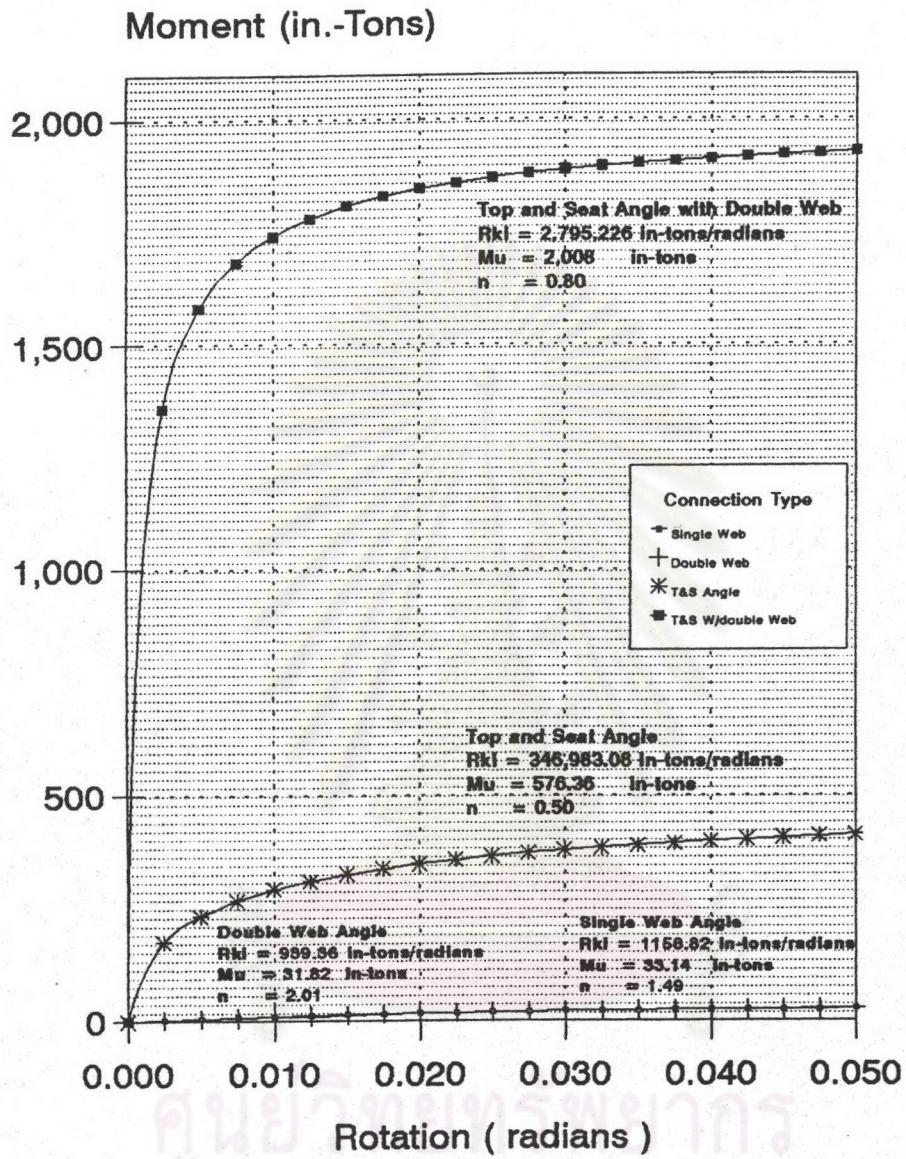


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 4

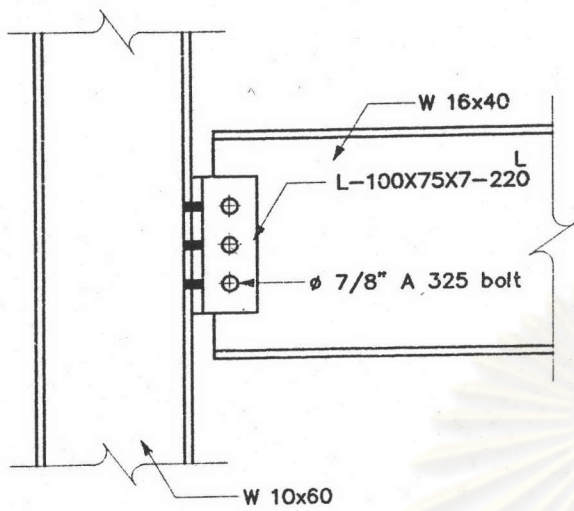


ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

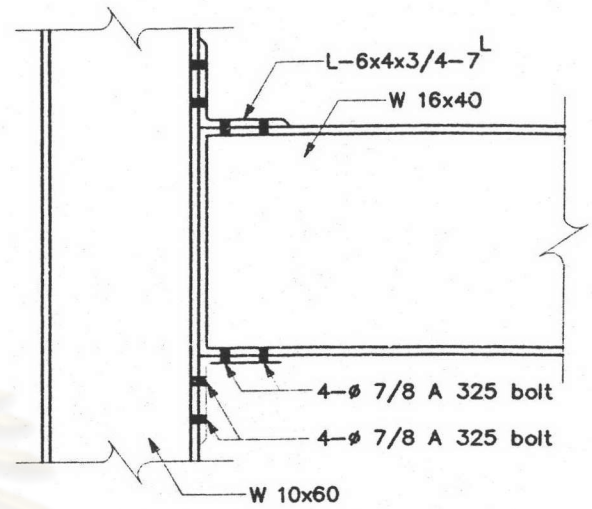
รูปที่ 4.15 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำ ตัวอย่างที่ 5



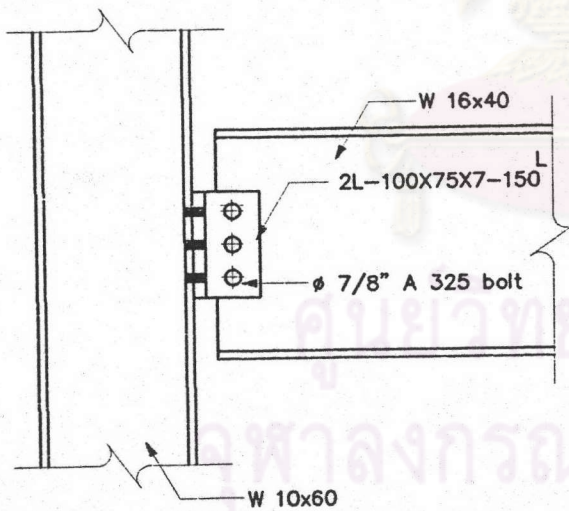
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ที่ข้อต่อกับมุมเปลี่ยน ตัวอย่างที่ 5



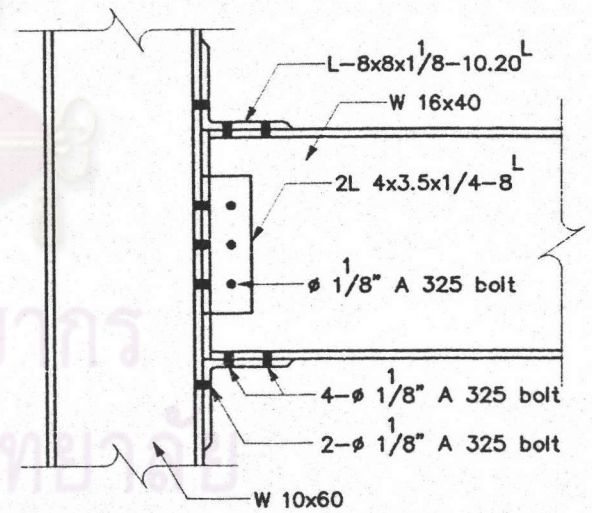
Single Web Angle



Top and Scat Angle

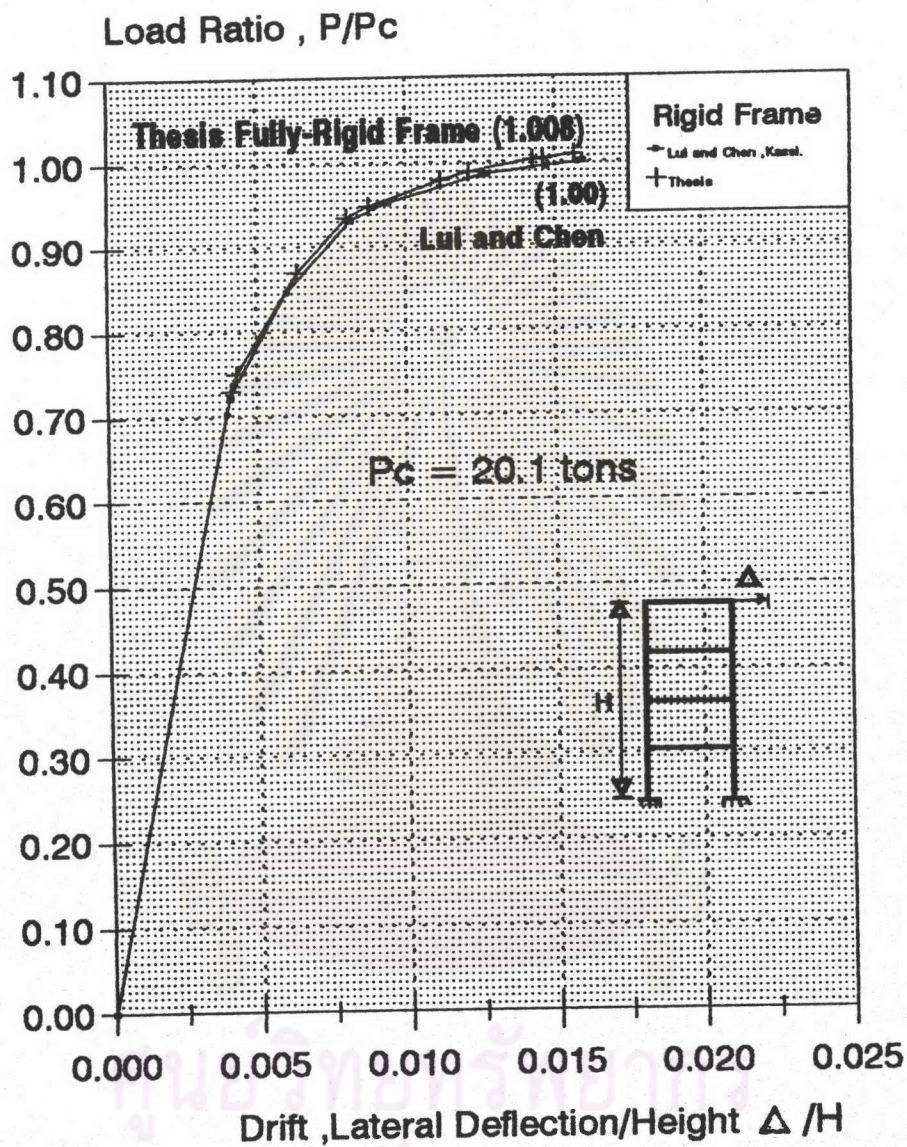


Double Web Angle

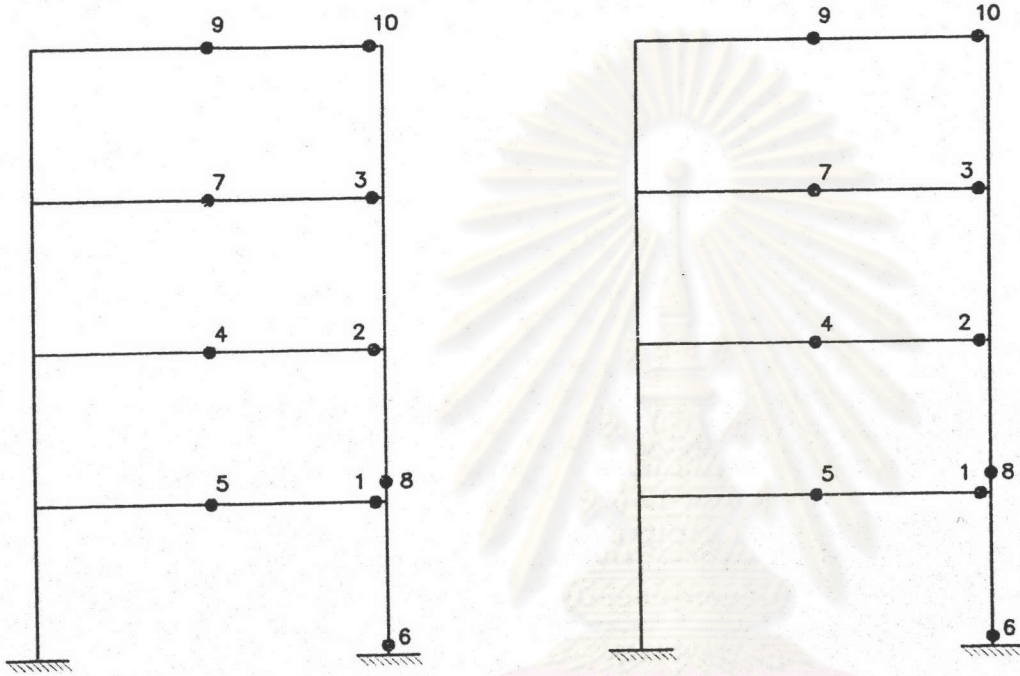


Top and Scat angle with Double Web Angle

รูปที่ 4.17 รายละเอียดของข้อต่อตัวอย่างที่ 5



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง
ในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 5



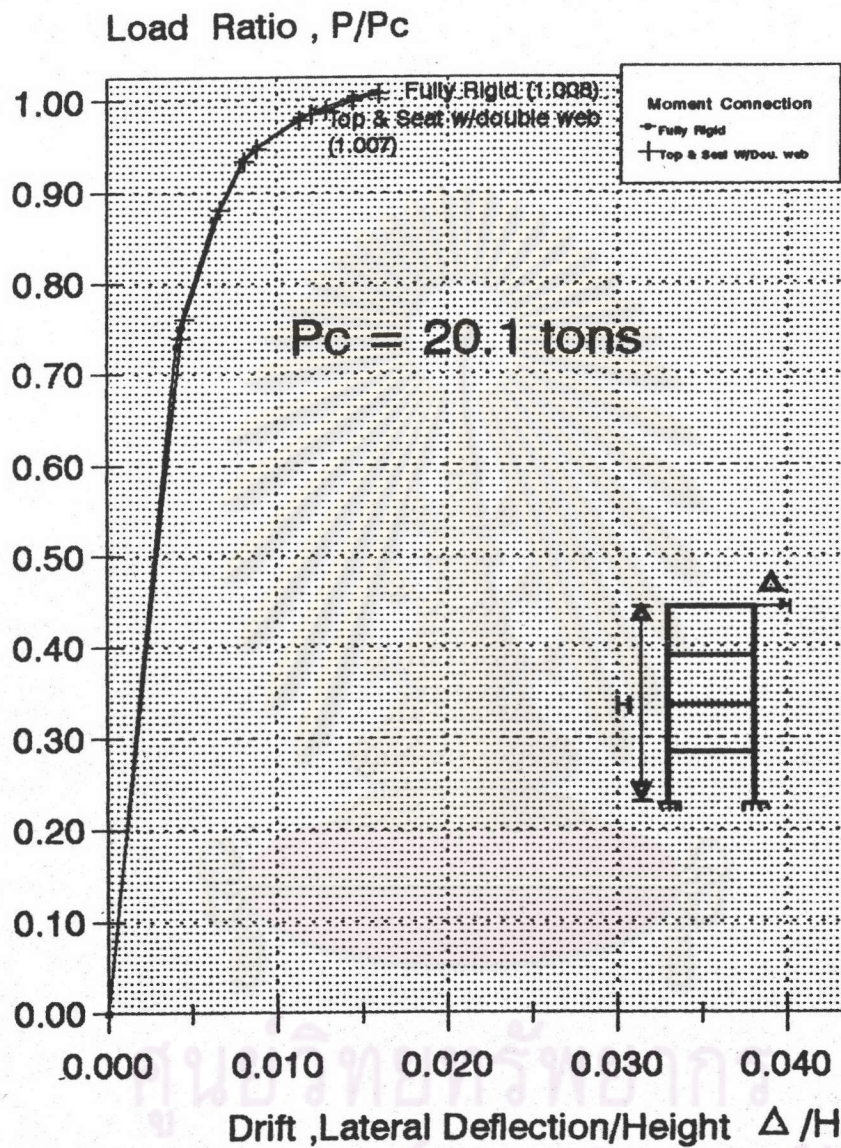
• ตำแหน่งจุดหมุน
พลาสติก

Liew and chen , Kassimali

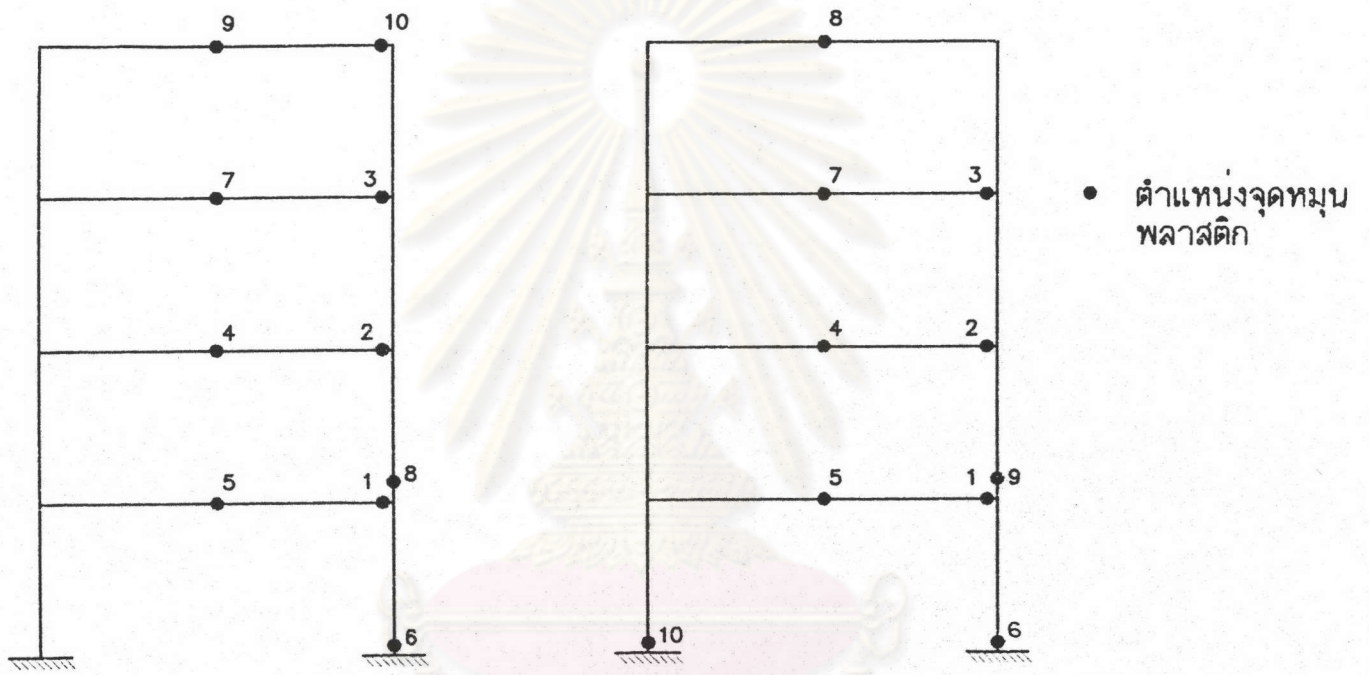
งานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.19 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 5



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง
ในแนวราบเทียบกับความสูงของโครงสร้างเหล็กซึ่งใช้ข้อต่อแบบ Moment Connection
ตัวอย่างที่ 5



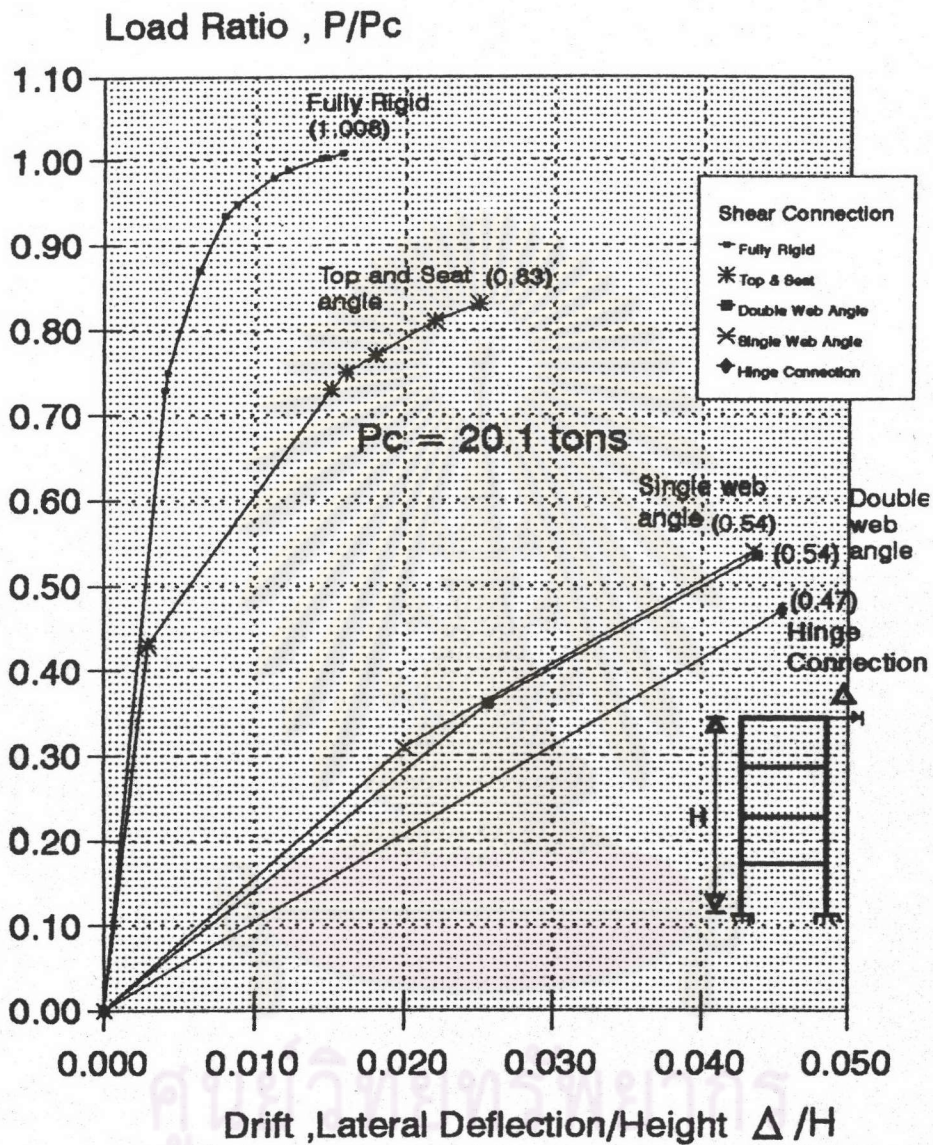
โครงสร้างเหล็กข้อแข็ง

โครงสร้างเหล็กข้อต่อกึ่งแข็ง

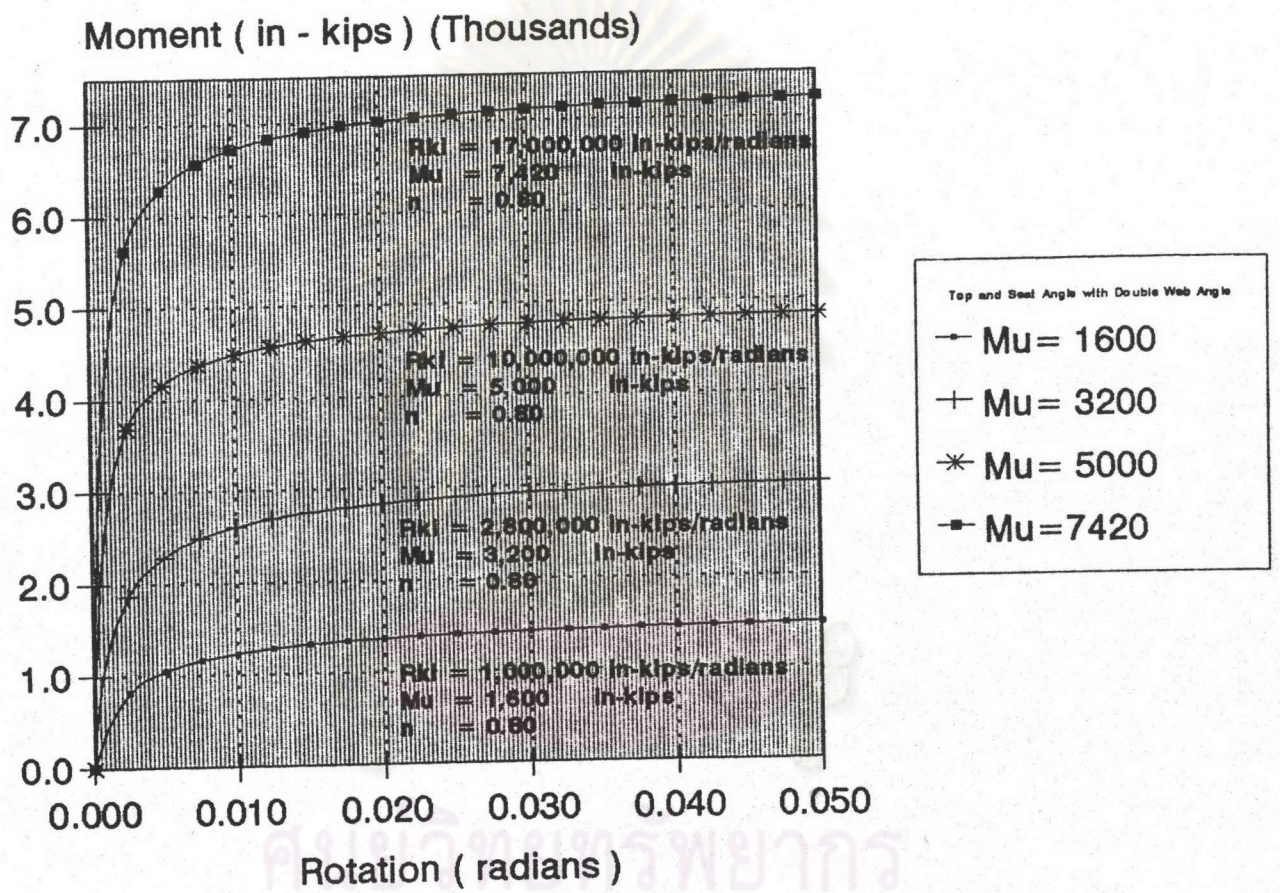
งานวิจัยนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

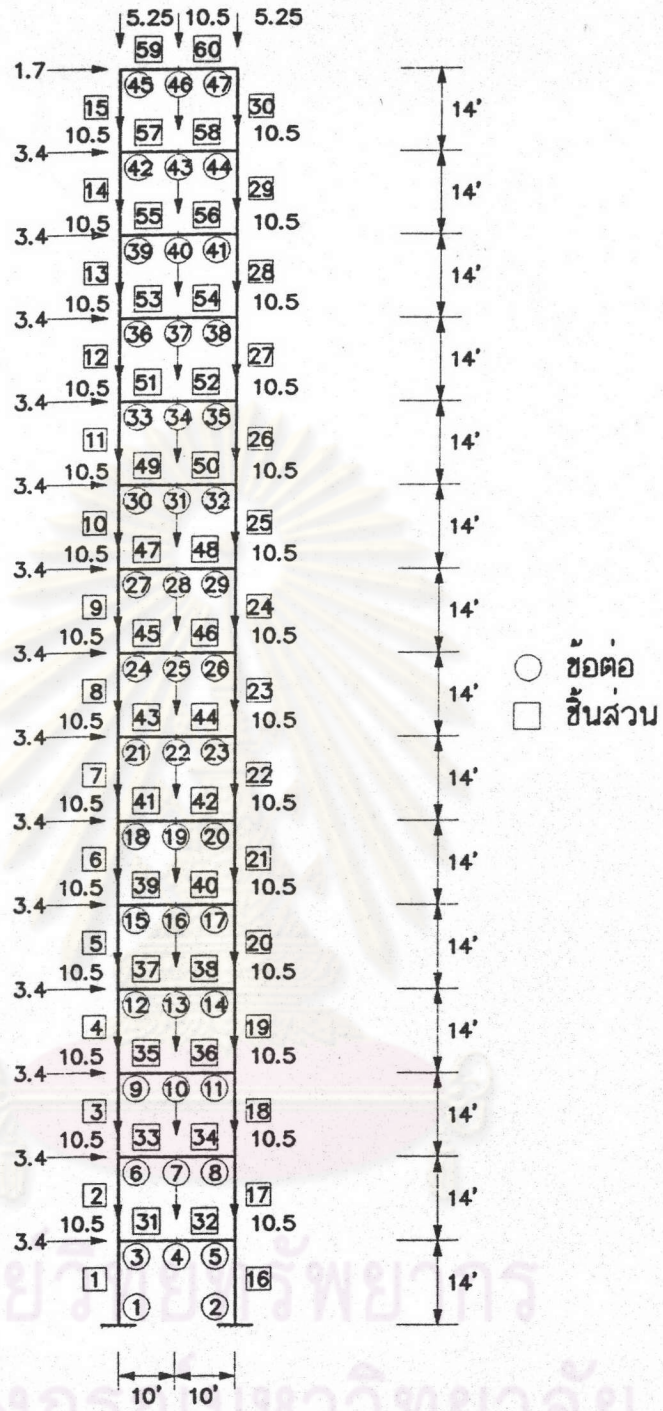
รูปที่ 4.21 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบ ระหว่างโครงสร้างเหล็กข้อแข็งกับโครงสร้างเหล็กข้อต่อกึ่งแข็งใช้ข้อต่อแบบ Top and Seat Angle with Double Web Angle ตัวอย่างที่ 5



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง
 ในแนวราบเทียบกับความสูงของโครงสร้างซึ่งใช้ข้อต่อแบบ Shear Connection
 ตัวอย่างที่ 5

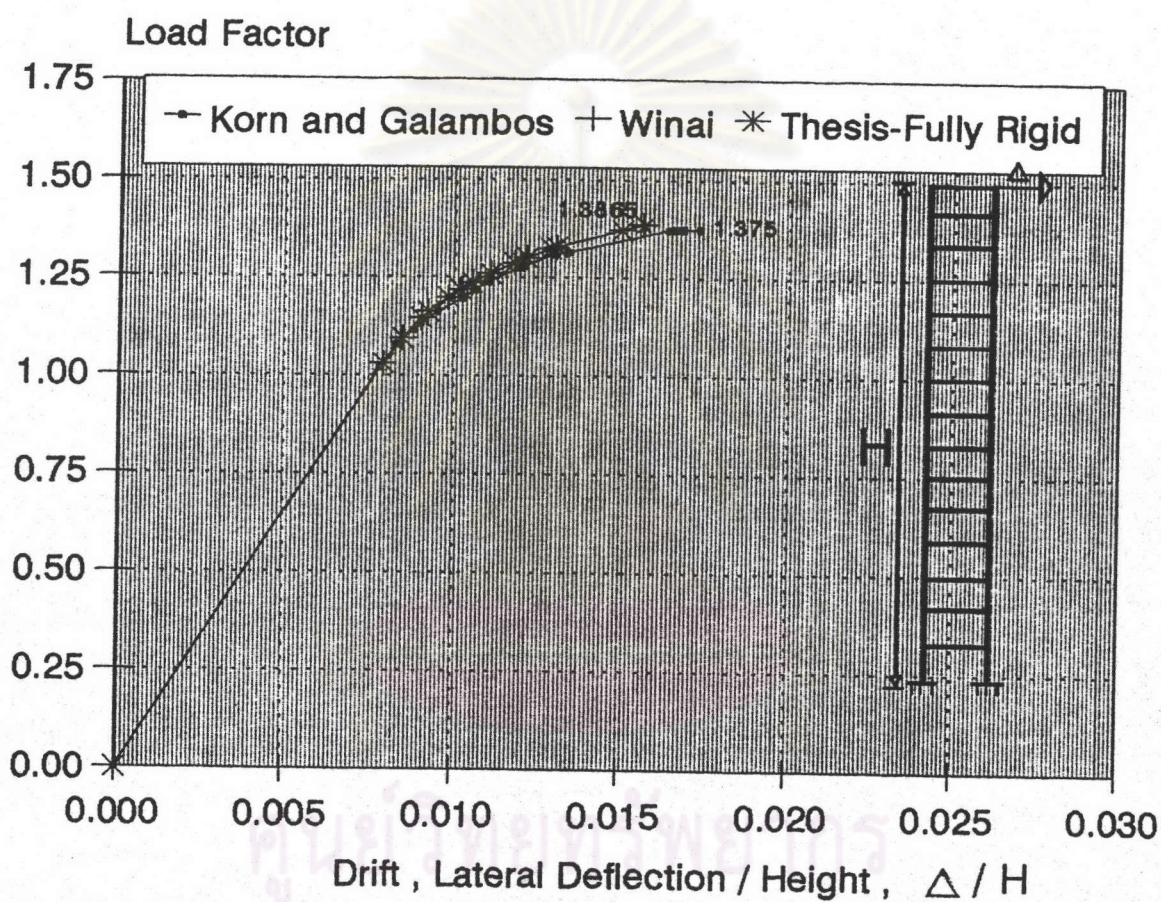


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ที่ข้อต่อกับมุมเปลี่ยน ตัวอย่างที่ 6

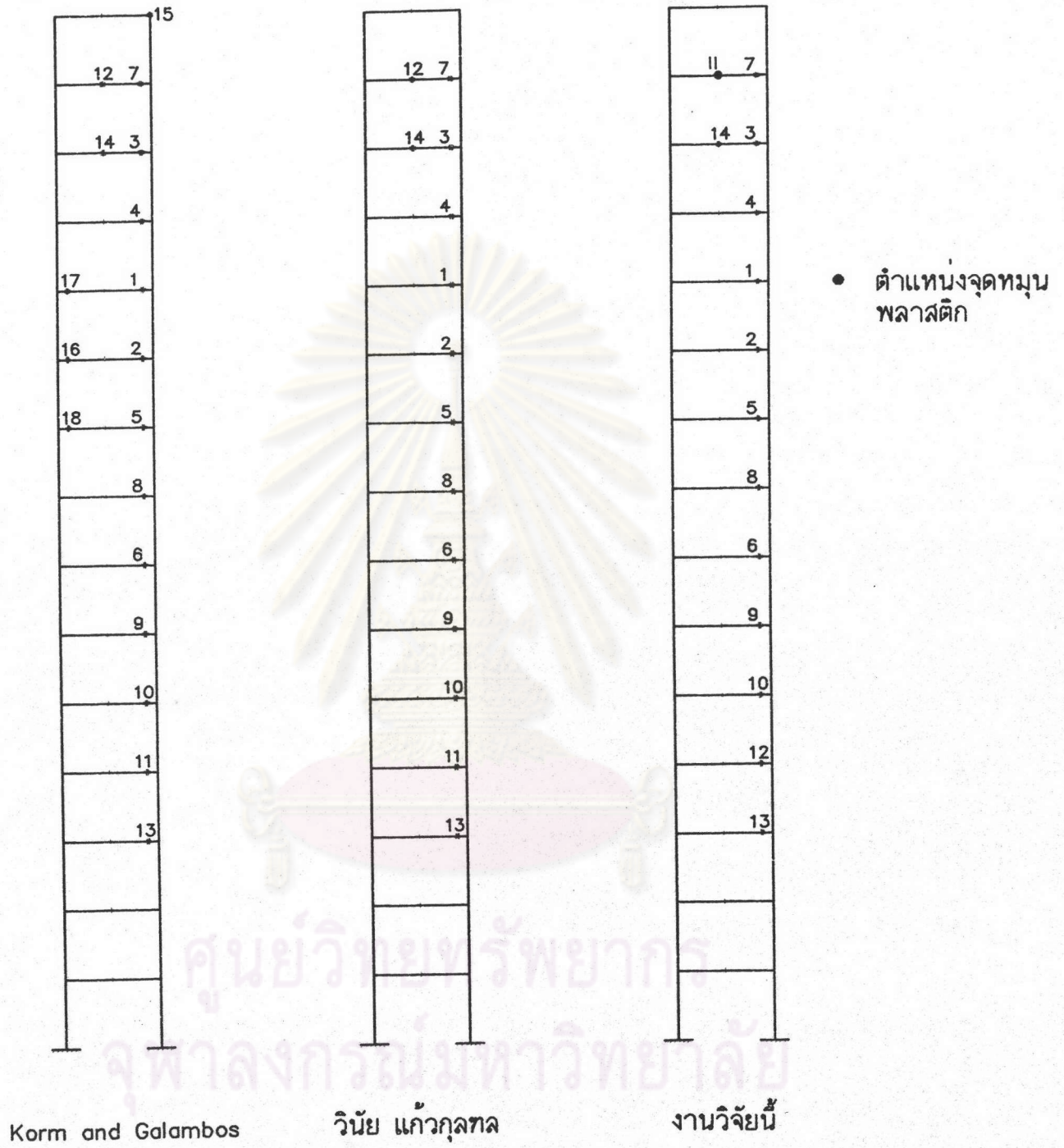


หมายเหตุ แรงกระทำทั้งหมดมีหน่วยเป็น kips

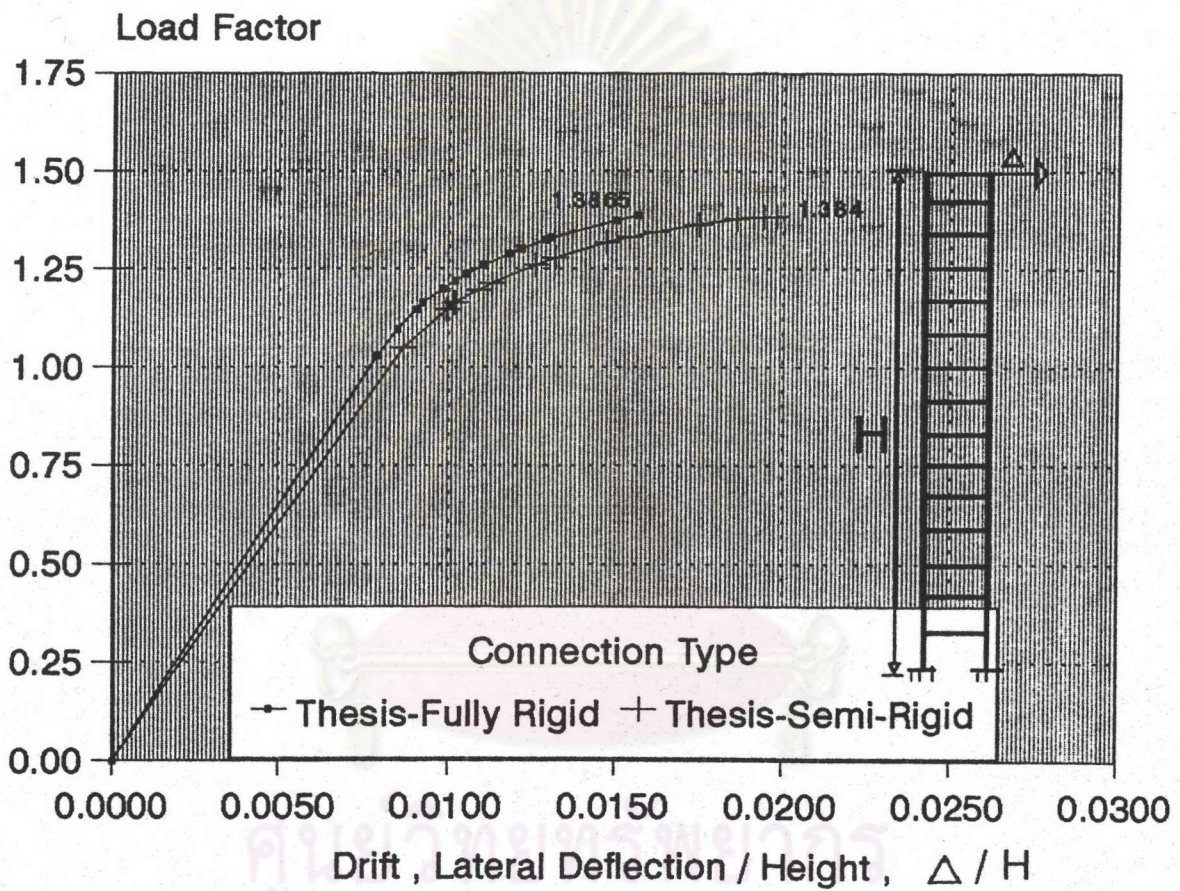
รูปที่ 4.24 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำ ตัวอย่างที่ 6



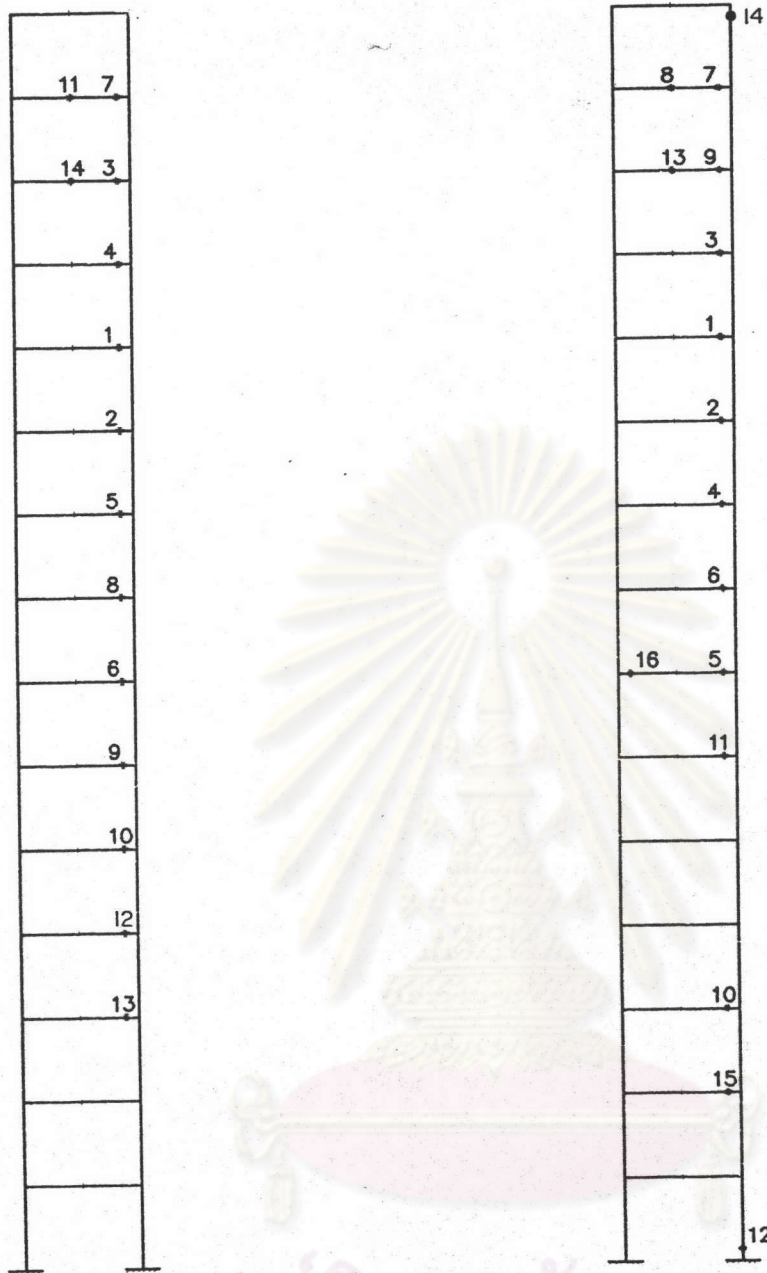
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง
ในแนวราบเทียบกับความสูงของโครงสร้างเหล็กข้อแข็งเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่
ผ่านมา ตัวอย่างที่ 6



รูปที่ 4.26 ลำดับการเกิดจุดทมนุพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 6



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง
ในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างเหล็กข้อแข็งกับ
โครงสร้างเหล็กข้อต่อกึ่งแข็ง ตัวอย่างที่ 6



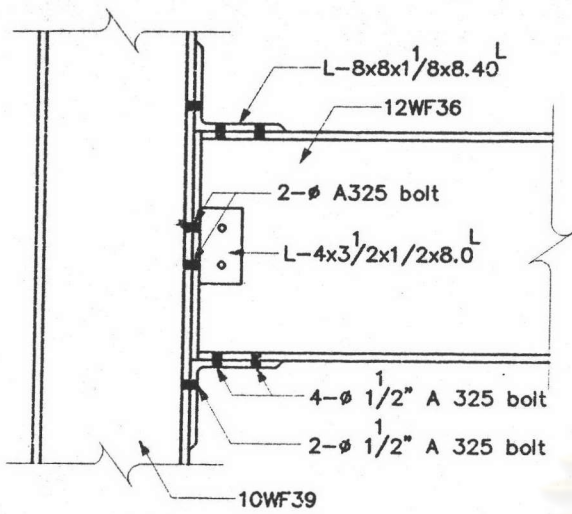
- ตำแหน่งจุดหมุนพลาสติก

โครงสร้างเหล็กข้อแฉ่ง

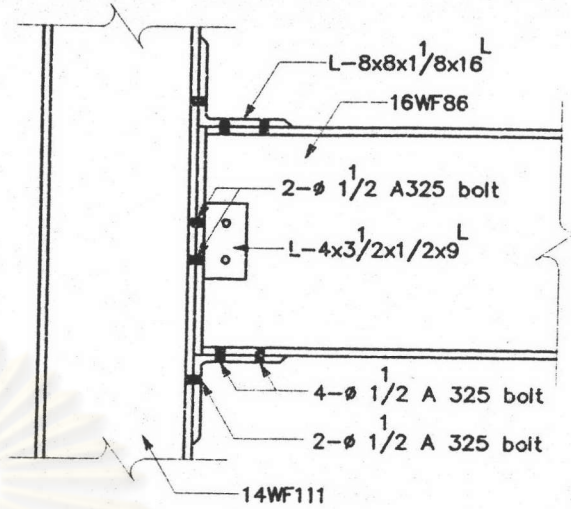
โครงสร้างเหล็กข้อต่อกิ่งแฉ่ง

งานวิจัยนี้

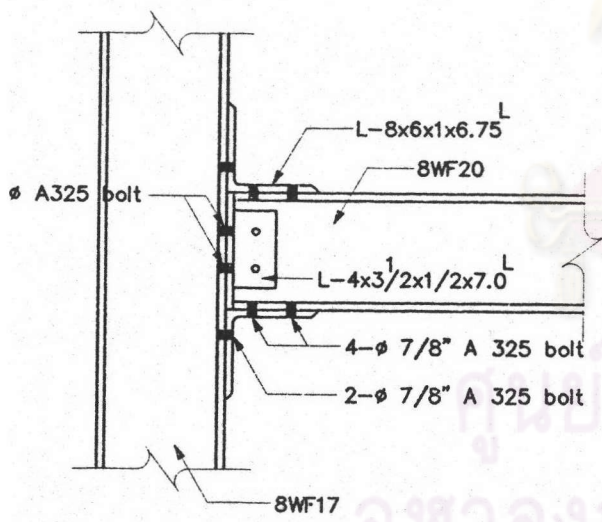
รูปที่ 4.28 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างเหล็กข้อแฉ่งกับโครงสร้างเหล็กข้อต่อกิ่งแฉ่ง ตัวอย่างที่ 6



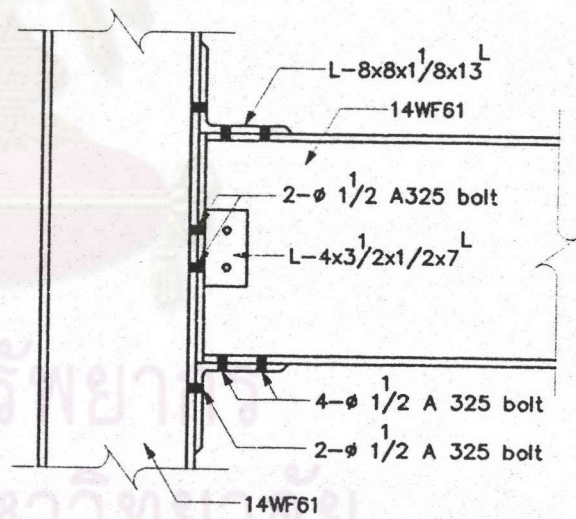
คานชั้นที่ 4 - 7



คานชั้นที่ 12 - 15



คานชั้นที่ 1 - 3



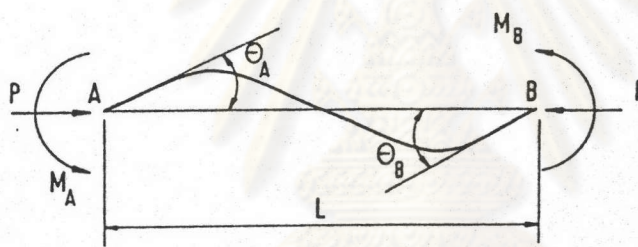
คานชั้นที่ 8 - 11

รูปที่ 4.29 รายละเอียดของข้อต่อ ตัวอย่างที่ 6



การหาฟังก์ชันเสถียรภาพ

การหาฟังก์ชันเสถียรภาพขององค์อาคารคาน-เสาสามารถกระทำได้โดยพิจารณาองค์อาคารที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A มีโมเมนต์ของความเฉื่อยของหน้าตัดเท่ากับ I และมีความยาวเท่ากับ L วางอยู่บนฐานรองรับด้านหนึ่งเป็นจุดหมุน (Hinge) ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นแบบจุดหมุนเคลื่อนที่ (Roller) มีแรงกระทำในแนวแกนที่เป็นแรงอัดขนาด P และโมเมนต์กระทำที่ปลายทั้งสองด้านในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาขนาด M_A และ M_B ตามลำดับ ดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 องค์อาคารคาน-เสาภายใต้โมเมนต์กระทำที่ปลาย

พิจารณาส่วนขององค์อาคารยาวห่างจากฐานรองรับเท่ากับ x ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ที่หน้าตัดกับแรงอื่น ๆ มีค่าเป็นไปตามสมการ (ค.1)

$$M = +M_A + Py - \frac{(M_A + M_B)}{L} \quad (ค.1)$$

จากความสัมพันธ์ของโมเมนต์กับการเปลี่ยนตำแหน่งตามสมการ (ค.2)

$$M = -EI y'' \quad (ค.2)$$

- เมื่อ y'' เป็นอนุพันธ์อันดับที่สองของการเปลี่ยนตำแหน่งเทียบกับระยะตามยาว
 E เป็นค่า Modulus of Elasticity

จะได้สมการอนุพันธ์อันดับที่สองของการเปลี่ยนตำแหน่งเทียบกับระยะตามยาวขององค์อาคารดังสมการ (ค.3)

$$EI y'' + Py = \frac{(M_A + M_B)}{L} x - M_A \quad (ค.3)$$

ถ้ากำหนดให้ $k^2 = \frac{P}{EI}$ ความสัมพันธ์ตามสมการ (ค.3) เขียนใหม่ได้เป็น

$$y'' + k^2 y = \frac{(M_A + M_B)}{LEI} x - \frac{M_A}{EI} \quad (ค.4)$$

คำตอบของสมการคือ

$$y = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + \frac{(M_A + M_B)}{LEIk^2} x - \frac{M_A}{EI k^2} \quad (ค.5)$$

เมื่อ C_1 และ C_2 เป็นค่าคงที่

พิจารณาเงื่อนไขขอบเขตตามรูปที่ (ค.1)

$$y(0) = 0 \quad , \quad y(L) = 0 \quad (ค.6)$$

แทนค่าสมการ (ค.6) ในสมการ (ค.5) จะได้

$$C_2 = \frac{M_A}{EI k^2} \quad (ค.7)$$

$$C_1 = \frac{-1}{EI k^2 \sin kL} (M_A \cos kL + M_B) \quad (ค.8)$$

แทนค่าตามสมการ (ค.7) และ (ค.8) ลงในสมการ (ค.5) จะได้

$$y = \frac{-(M_A \cos kL + M_B)}{EI k^2 \sin kL} \sin kx + \frac{M_A}{EI k^2} \cos kx + \frac{(M_A + M_B)}{LEIk^2} x - \frac{M_A}{EI k^2} \quad (ค.9)$$

หรือจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$y = \frac{-1}{EI k^2} \left[\frac{\cos kL}{\sin kL} \sin kx - \cos kx - \frac{x}{L} + 1 \right] M_A - \frac{1}{EI k^2} \left[\frac{1}{\sin kL} \sin kx - \frac{x}{L} \right] M_B \quad (\text{ค.10})$$

ค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของการเปลี่ยนตำแหน่ง (y') จะมีค่าเป็น

$$y' = -\frac{1}{EI k} \left[\frac{\cos kL}{\sin kL} \cos kx + \sin kx - \frac{1}{kL} \right] M_A - \frac{1}{EI k} \left[\frac{\cos kx}{\sin kL} - \frac{1}{kL} \right] M_B \quad (\text{ค.11})$$

ให้ θ_A และ θ_B เป็นมุมหมุนที่ปลาย A และ B ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาซึ่งจะมีค่าเท่ากับอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของการเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดนั้น ดังนั้น

$$\begin{aligned} \theta_A = y'(0) &= -\frac{1}{EI k} \left[\frac{\cos kL}{\sin kL} - \frac{1}{kL} \right] M_A - \frac{1}{EI k} \left[\frac{1}{\sin kL} - \frac{1}{kL} \right] M_B \\ &= \frac{L}{EI} \left[\frac{\sin kL - kL \cos kL}{(kL)^2 \sin kL} \right] M_A + \frac{L}{EI} \left[\frac{\sin kL - kL}{(kL)^2 \sin kL} \right] M_B \quad (\text{ค.12}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_B = y'(L) &= -\frac{1}{EI k} \left[\frac{1}{\sin kL} - \frac{1}{kL} \right] M_A - \frac{1}{EI k} \left[\frac{\cos kL}{\sin kL} - \frac{1}{kL} \right] M_B \\ &= \frac{L}{EI} \left[\frac{\sin kL - kL}{(kL)^2 \sin kL} \right] M_A + \frac{L}{EI} \left[\frac{\sin kL - kL \cos kL}{(kL)^2 \sin kL} \right] M_B \quad (\text{ค.13}) \end{aligned}$$

จากสมการ (ค.12) และ (ค.13) เขียนในรูปของเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} \theta_A \\ \theta_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M_A \\ M_B \end{Bmatrix} \quad (\text{ค.14})$$

$$\text{เมื่อ } f_{11} = f_{22} = \frac{L}{EI} \left[\frac{\sin kL - kL \cos kL}{(kL)^2 \sin kL} \right] \quad (\text{ค.15})$$

$$f_{21} = f_{12} = \frac{L}{EI} \left[\frac{\sin kL - kL}{(kL)^2 \sin kL} \right] \quad (\text{ค.16})$$

จากสมการ (ค.14) หาค่าอินเวอร์สของเมตริกซ์จะได้

$$\begin{Bmatrix} M_A \\ M_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \theta_A \\ \theta_B \end{Bmatrix} \quad (\text{ค.17})$$

$$\begin{Bmatrix} M_A \\ M_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_A \\ \theta_B \end{Bmatrix} \quad (\text{ค.18})$$

$$\text{เมื่อ } c_{11} = c_{22} = \frac{EI}{L} \left[\frac{kL \sin kL - (kL)^2 \cos kL}{2 - 2 \cos kL - kL \sin kL} \right] \quad (\text{ค.19})$$

$$c_{12} = c_{21} = \frac{EI}{L} \left[\frac{(kL)^2 - kL \sin kL}{2 - 2 \cos kL - kL \sin kL} \right] \quad (\text{ค.20})$$

เมื่อรวมการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกน สมการ (ค.18) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} P \\ M_A \\ M_B \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{A}{I} & 0 & 0 \\ 0 & c_{ii} & c_{ij} \\ 0 & c_{ji} & c_{jj} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e \\ \theta_A \\ \theta_B \end{Bmatrix} \quad (\text{ค.21})$$

เมื่อ e = การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกน

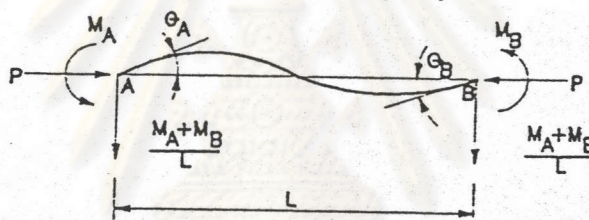
$$c_{ii} = c_{jj} = \left[\frac{kL \sin kL - (kL)^2 \cos kL}{2 - 2 \cos kL - kL \sin kL} \right] \quad (\text{ค.22})$$

$$c_{ij} = c_{ji} = \left[\frac{(kL)^2 - kL \sin kL}{2 - 2 \cos kL - kL \sin kL} \right] \quad (\text{ค.23})$$

ก. แรงและการเปลี่ยนตำแหน่งในโคออดิเนตประจำตัว



ข. แรงและการเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ในรูปแรงอิสระ 3 แรง



รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ของแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งขององค์อาคารคาน - เสาคาน

พิจารณาความสัมพันธ์และความสัมพันธ์ของแรงในรูป ค.2 (ก) และ ค.2 (ข)

$$s_1 = P \quad (ค.24)$$

$$s_2 = \frac{(M_A + M_B)}{L} \quad (ค.25)$$

$$s_3 = M_A \quad (ค.26)$$

$$s_4 = -P \quad (ค.27)$$

$$s_5 = -\frac{(M_A + M_B)}{L} \quad (\text{ค.28})$$

$$s_6 = M_B \quad (\text{ค.29})$$

หรือสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1/L & -1/L \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/L & 1/L \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P \\ M_A \\ M_B \end{Bmatrix} \quad (\text{ค.30})$$

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนตำแหน่งตามรูปที่ ค.2 (ก) และรูปที่ ค.2 (ข) เป็นดังนี้

$$e = -(v_4 + v_5) \quad (\text{ค.31})$$

$$\theta_A = v_3 + \frac{(v_5 - v_2)}{L} \quad (\text{ค.32})$$

$$\theta_B = v_6 + \frac{(v_3 - v_2)}{L} \quad (\text{ค.33})$$

หรือเขียนในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} e \\ \theta_A \\ \theta_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1/L & 1 & 0 & 1/L & 0 \\ 0 & -1/L & 0 & 0 & 1/L & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{Bmatrix} \quad (\text{ค.34})$$

แทนค่าตามสมการ (ค.30) และ (ค.34) ลงในสมการ (ค.21) จะได้

$$\begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{A}{I} & 0 & 0 & -\frac{A}{I} & 0 & 0 \\ \frac{2(c_{ii} + c_{ij})}{L^2} & -\frac{(c_{ii} + c_{ij})}{L} & 0 & -\frac{2(c_{ii} + c_{ij})}{L^2} & \frac{(c_{ii} + c_{ij})}{L} & 0 \\ & c_{ii} & 0 & \frac{(c_{ii} + c_{ij})}{L} & c_{ij} & 0 \\ & & \frac{A}{I} & 0 & 0 & 0 \\ \text{sym.} & & & \frac{2(c_{ii} + c_{ij})}{L^2} & \frac{(c_{ii} + c_{ij})}{L} & 0 \\ & & & & \frac{(c_{ii} + c_{ij})}{L} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{Bmatrix}$$

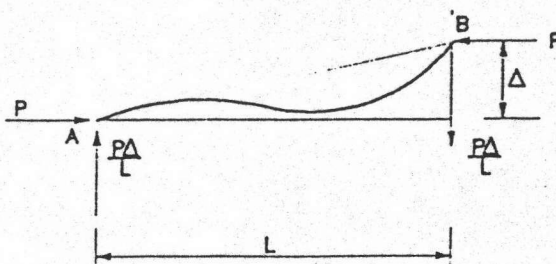
(ค.35)

หรือเขียนในรูปเมทริกซ์ได้เป็น

$$\{s\}_{ns} = [k]_{ns} \{v\} \tag{ ค.36 }$$

เมื่อ $[k]_{ns}$ หมายถึงเมทริกซ์สตีเฟนเนสที่ไม่พิจารณาผลของการเปลี่ยนตำแหน่งแบบเลื่อนด้านข้าง (Non Sidesway)

เนื่องจากองค์อาคารที่พิจารณาผ่านมาไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนตำแหน่งในทิศทางตั้งฉากกับองค์อาคารดังนั้นเพื่อให้ได้สตีเฟนเนสที่สมบูรณ์จะพิจารณาผลของการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งฉากกับองค์อาคารได้โดยพิจารณาองค์อาคารตามรูปที่ ค.1 แต่มีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ในทิศทางตั้งฉากกับองค์อาคารที่ปลาย B ขนาดเท่ากับ Δ ดังแสดงในรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างต่อการเพิ่มของแรงเฉือน

จากรูปที่ ค.3 จะเห็นว่า

$$\Delta = v_5 - v_2 \quad (\text{ค.37})$$

$$\begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & P & 0 & 0 & P & 0 \\ & -L & 0 & 0 & L & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 0 \\ \text{sym.} & & & & -P & 0 \\ & & & & L & 0 \\ & & & & & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{Bmatrix} \quad (\text{ค.38})$$

หรือ

$$\{s\}_s = [k]_s \{v\} \quad (\text{ค.39})$$

เมื่อ $[k]_s$ หมายถึงเมตริกซ์สติเฟเนสที่พิจารณาผลของการเปลี่ยนตำแหน่งแบบ เลื่อนด้านข้าง (Sidesway)

ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะได้

$$\{s\} = [[k]_{ns} + [k]_s] \{v\} \quad (\text{ค.40})$$

$$\{s\} = [k(v)] \{v\} \quad (\text{ค.41})$$

เมื่อ $[k(v)] = [[k]_{ns} + [k]_s]$ (ค.42)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หรือเขียนใหม่ได้เป็น

$$[k(v)] = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{A}{I} & 0 & 0 & -\frac{A}{I} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12\Phi_1}{L^2} & -\frac{6\Phi_2}{L} & 0 & -\frac{12\Phi_1}{L^2} & -\frac{6\Phi_2}{L} \\ 0 & 0 & 4\Phi_3 & 0 & \frac{6\Phi_2}{L} & 2\Phi_4 \\ \text{sym.} & & & \frac{A}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{12\Phi_1}{L^2} & \frac{6\Phi_2}{L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4\Phi_3 \end{bmatrix}$$

(ค.43)

เมื่อ

$$\Phi_1 = \frac{(kL)^3 \sin kL}{12(2 - 2 \cos kL - kL \sin kL)} \quad (ค.44)$$

$$\Phi_2 = \frac{(kL)^2 (1 - \cos kL)}{6(2 - 2 \cos kL - kL \sin kL)} \quad (ค.45)$$

$$\Phi_3 = \frac{(kL)(\sin kL - kL \cos kL)}{4(2 - 2 \cos kL - kL \sin kL)} \quad (ค.46)$$

$$\Phi_4 = \frac{(kL)(kL - \sin kL)}{2(2 - 2 \cos kL - kL \sin kL)} \quad (ค.47)$$

สมการ (ค.44) ถึง (ค.47) เป็นการพิจารณากรณีที่แรงในแนวแกนเป็นแรงอัด แต่ถ้าหากแรงในแนวแกนเป็นแรงดึงแรงในแนวแกน (P) จะถูกแทนที่โดยแรงที่มีเครื่องหมายเป็นลบ (- P) ดังนั้นในสมการ (ค.44) ถึง (ค.47) ค่าของ kL จะถูกแทนที่โดย i kL เมื่อ $i = \sqrt{-1}$

จากคุณสมบัติทางคณิตศาสตร์

$$-i \sin ikL = \sinh kL \quad (ค.48)$$

$$\cos ikL = \cosh kL \quad (ค.49)$$

แทนค่าตามสมการ (ค.48) และ (ค.49) ลงใน (ค.44) ถึง (ค.47) จะได้

$$\Phi_1 = \frac{(kL)^3 \sinh kL}{12(2-2 \cosh kL + kL \sinh kL)} \quad (ค.50)$$

$$\Phi_2 = \frac{(kL)^2 (\cosh kL - 1)}{6(2-2 \cosh kL + kL \sinh kL)} \quad (ค.51)$$

$$\Phi_3 = \frac{(kL)(kL \cosh kL - \sinh kL)}{4(2-2 \cosh kL + kL \sinh kL)} \quad (ค.52)$$

$$\Phi_4 = \frac{(kL)(\sinh kL - kL)}{2(2-2 \cosh kL + kL \sinh kL)} \quad (ค.53)$$

สมการ (ค.44) ถึง (ค.47) และ สมการ (ค.50) ถึง (ค.53) เรียกว่า ฟังก์ชันเสถียรภาพ (Stability Functions)

จากฟังก์ชันเสถียรภาพที่ได้จะเห็นว่าในกรณีที่แรงในแนวแกนมีทิศทางต่างกันจำเป็นที่จะต้องใช้ฟังก์ชันต่างกันทำให้ยุ่งยาก เพื่อแก้ปัญหานี้ จะใช้การกระจายฟังก์ชันโดยอาศัยอนุกรมเทเลอร์ ซึ่งจะสามารถใช้ออนุกรมเพียงชุดเดียวแทนฟังก์ชันได้ทั้งกรณีแรงในแนวแกนเป็นแรงอัดและแรงดึง ความสัมพันธ์ของอนุกรมเทเลอร์แสดงได้ดังสมการ (ค.54)

$$f(z) = f(a) + f'(a)(z-a) + \frac{f''(a)}{2!}(z-a)^2 + \dots + \frac{f^{(n-1)}(a)}{(n-1)!}(z-a)^{n-1} + \dots \quad (ค.54)$$

เมื่อ $f(z)$ ฟังก์ชันของตัวแปร z ไต ๆ

a จุดที่กำหนดให้ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ค่าเท่ากับ 0

$f^i(a)$ อนุพันธ์อันดับที่ i ที่จุด $z = a$

n จำนวนเทอมของอนุกรมที่ต้องการ

แทนค่าสมการ (ค.44) ถึง (ค.47) และสมการ (ค.49) ถึง (ค.53) ลงในสมการ (ค.54)
จะได้

$$\Phi_1 = 1 - \frac{1}{10}N - \frac{1}{8400}N^2 - \frac{1}{756000}N^3 - \frac{37}{2328480000}N^4 - \dots \quad (ค.55)$$

$$\Phi_2 = 1 - \frac{1}{60}N - \frac{1}{8400}N^2 - \frac{1}{756000}N^3 - \frac{37}{2328480000}N^4 + \dots \quad (ค.56)$$

$$\Phi_3 = 1 - \frac{1}{30}N - \frac{11}{25200}N^2 - \frac{1}{108000}N^3 - \frac{509}{2328480000}N^4 + \dots \quad (ค.57)$$

$$\Phi_4 = 1 + \frac{1}{60}N + \frac{13}{25200}N^2 + \frac{11}{756000}N^3 + \frac{907}{2328480000}N^4 + \dots \quad (ค.58)$$

เมื่อ

$$N = (kL)^2 = \frac{PL^2}{EI} \quad (ค.59)$$

P หมายถึง แรงในแนวแกนซึ่งมีค่าเป็นบวกเมื่อเป็นแรงอัด หรือมีค่าเป็นลบเมื่อ
เป็นแรงดึง

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการหาค่า Initial Stiffness , Ultimate Moment Capacity และ Shape Function ของข้อต่อแบบ Top and Seat Angle and Double Web Angle Connection

ตัวอย่างที่ 5

The Properties of the sections are

Type	Size	d	tf	tw
Beam	WF 16 x 40	16.00	0.50	0.31
Column	WF 12 x 79	12.38	0.74	0.47

The Properties of BOLT are

Grade	Dia.	W	Area
A 325	1.13	1.81	0.99

Solution Design requirements are

$$\text{Max Moment} = 2,520 \text{ in-kips}$$

$$\text{Max Shear} = 27.90 \text{ kips}$$

Nominal Strength of bolts is

$$F_t = 90.00 \text{ ksi} , \quad \Phi = 0.75$$

$$F_v = 60.00 \text{ ksi} , \quad \Phi = 0.75$$

Nominal bearing is

$$F_p = 139.20 \text{ ksi}$$

$$\text{Single Shear} \quad R_v = 44.75 \text{ kips}$$

$$\text{Double Shear} \quad R_v = 89.50 \text{ kips}$$

$$\text{Bearing ,Beam web} \quad R_p = 36.06 \text{ kips}$$

$$\text{Bearing ,Beam flange} \quad R_p = 59.08 \text{ kips}$$

$$\text{Tension} \quad R_t = 67.12 \text{ kips}$$

$$\text{Req 'd} = 18.81 \text{ in. USE 22 in.}$$

$$\text{With d} = 22 \text{ in.}$$

$$T = 114.77 \text{ kips}$$

$$\text{Gage on Top angle} = 3 \text{ in.}$$

Beam flange Connection

Bolt to Beam Flange = 1.71 Use 2 each

Try angle size : 8 x 8 x 1.125

$$a = 1.81$$

$$M = 104.01 \text{ in.-kips}$$

in the AISC - LRFD nominal moment capacity of the rectangular section is $(bd^2/4)F_y$, Which

$$\Phi = 0.90$$

$$\text{Req 'd } b = 10.15$$

Use Angle Size : L - 8 x 8 x 1.125 x 10.15

Web Connection . for Two angle

Double Shear Value of 89.50 kips is Greater Than value for bearing on the web

36.06 kips

$$R = 72.11 > 27.90 \text{ kip}$$

The bolt which connect to web angle to the column are single shear ,So

$$R_v = 44.75 \text{ kip.}$$

$$R = 179.00 \text{ kips} > 27.9 \text{ kip}$$

Use 2-bolt dia.= 1.13 in.

Calculation of Mu , Rki and n

Initial Stiffness for connection

$$E = 13,000.00 \text{ tsi } F_y = 15.25 \text{ tsi}$$

$$\text{For } g_{ct} = 3.0 \text{ in. } \quad l_t = 10.20 \text{ in. } \quad t_t = 1.13 \text{ in. } \quad k_t = 1.75 \text{ in. } \quad W_t = 1.8125 \text{ in.}$$

Determine

$$\beta_t = g_{ct}/l_t = 0.295 \quad \gamma_t = l_t/t_t = 9.026 \quad K_t = k_t/t_t = 1.549 \quad \omega_t = W_t/t_t = 1.603$$

Similar ,for $g_{cw} = 3.0 \text{ in. } , l_w = 8.0 \text{ in. } , t_w = 0.50 \text{ in. } , k_w = 0.69 \text{ in. } , W_w = 1.8125 \text{ in.}$

$$\beta_w = g_{cw}/l_w = 0.375 \quad \gamma_w = l_w/t_w = 16.0 \quad K_w = k_w/t_w = 1.38 \quad \omega_w = W_w/t_w =$$

3.625

Evaluate

$$\beta'_t = \beta_t - (1 + \omega_t)/(2\gamma_t) = 0.150591$$

$$\beta'_w = \beta_w - (1 + \omega_w)/(2\gamma_w) = 0.230468$$

For BEAM B1 (W 16 x 40) with $d = 16.0$ in. ,evaluat $\delta_t = d/tt = 14.15929$

Determine

$$Dts = 3 / (\beta_t' (\gamma_t^2 \beta_t'^2 + 0.78)) = 7.581156$$

and

$$Dw = 3 / (2\beta_w' (\gamma_w^2 \beta_w'^2 + 0.78)) = 0.452679$$

Evaluate $\rho = tw / tt = 0.4425$, $I_{ot} = t_t^3 / 12 = 0.120241$ in³ , and Finally compute

$$R_{ki} = EI_{ot}(Dts + \rho Dw)(1+\delta_t)^2 = 2,795,226 \text{ in.- tons}$$

Ultimate moment for Connection

For $\beta_w = 0.375$ $\gamma_w = 16.0$ $K_w = 1.38$,determine

$$\beta_w^* = \beta_w \gamma_w - K_w = 4.62$$

Evaluate ξ_w iteratively from equa. $\xi_w^4 - \beta_w^* \xi_w - 1 = 0$ of with $\xi_w = 0.21713$

For $\rho = 0.442477$, Solve for

$$M_{uw}/M_{ott} = \gamma_w (1 + \xi_w) \rho^3 (\gamma_w (\xi_w - 1) / (3(\xi_w + 1)) + \delta_w + 1 / \rho) = 52.0117$$

for Similar $\beta_t' = 0.1507$ $\gamma_t = 9.003$ $K_t = 1.546$,determine

$$\beta_t^* = \beta_t' \gamma_t - K_t = -0.189$$

Evaluate ξ_t iteratively from equa. $\xi_t^4 - \beta_t^* \xi_t - 1 = 0$ of with $\xi_t = 1.045$

For $\delta_t = 14.15929$, solve for

$$M_{uts}/M_{ott} = \gamma_t (1 + \xi_t [1 + \beta_t^* + 2(K_t + \delta_t)]) = 313.0115$$

Evaluate $M_{ot} t_t = 5.5010$, and finally solve for

$$M_u = M_{ot} t_t \left[\frac{M_{uts}}{M_{ot} t_t} + \frac{M_{uw}}{M_{ot} t_t} \right] = 2,008.0 \text{ in.-tons}$$

Shape Function

$$n = 5.483 \log_{10} \theta_0 + 14.745 \geq 0.80$$

$$= 0.80$$



ประวัติผู้เขียน

นาย อลงกรณ์ ก้าวระภูล เกิดเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2510 ที่จังหวัดแพร่ สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิตจาก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปีการศึกษา 2532 เข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา
2534



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย