หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. ทักษิณ เทพชาตรี, พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร, 2529.
2. ทักษิณ เทพชาตรี, การออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธีพลาสติก, ภาควิชาวิศวกรรม โยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, การวิเคราะห์โครงสร้าง, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร, 2527.
4. American Institute of Steel Construction, Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design, Part 5, AISC, Chicago, Illinois, 1989.
5. Wang, C.K.,General Computer Program for Limit Analysis, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 89, No. ST 6, Proc. Paper 3719, Dec., 1963, pp. 101-117.
6. Harrison, H.B., Computer Methods in Structural Analysis, Prentice-Hall, New Jersey, 1973.
7. Korn, A., and Galambos, T.V., Behavior of Elastic - Plastic Frames, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.94, No.ST5, May, 1968, pp.1119 - 1142.
8. Cohn, M.Z., and Franchi, A., Structural Plasticity Computer System : STRUPL, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.105, No.ST4, April, 1979, pp. 789 - 804.
9. Kassimali, A., Large Deformation Analysis of Elastic - Plastic Frames, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 109, No.8, August, 1983, pp.1869 - 1886.

10. Maxolis, G.D., Beskos, D.E., and Brand, B.J., Elastoplastic Analysis and Design of Gabled Frames, Computers and Structures, Vol.22, No.4, 1986, pp.693 - 697.

11. Duan, L., and Chen, W.F., Effective Length Factor for Columns in Braced Frames, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.114, No.10, October, 1988, pp.2357 - 2370.

12. Duan, L., and Chen, W.F., Effective Length Factor for Columns in Unbraced Frames, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.115, No.1, January, 1989, pp.149 - 165.

13. Salmon, C.G. and Johnson, J.E., Steel Structural Design and Behavior, Harper and Row Co. Ctd., New York, 2nd Ed., 1980.

14. Gaylord, E.H. and Gaylord, C.N., Design of Steel Structures, 2nd Edition, McGraw - Hill Kogakusha, Tokyo, 1972.

15. Beedle, L.S., Plastic Design of Steel Frames, New York, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., 1958.

16. Lu, L.W., Frame Stability, Structural Steel Design, Fritz Engineering Laboratory, Civil Engineering Department, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, 1962.

17. Lok, T.S. and Anderson, D., Optimum Elasto - Plastic Design of Multi - Storey Unbraced Frames, Steel Structures, Advances, Design and construction, Cardiff, UK, 1987.

18. Horne, M.R. and Morris, L.J.,Plastic Design of Low-rise Frames, Granada, London, 1981.

19. JIS Hand Book, Ferrous Materials and Metallurgy, Japanese Standards Association, Tokyo, 1981.

20. Lastman, G.J. and Sinha, N.K., Microcomputer - Based Numerical Methods for Science and Engineering, Holt, Rinehart and Winston, Inc., Orlando, 1989.

21. วิโรจน์ เตรียมเจริญพร, การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีพลาสติกสำหรับโครงเหล็กข้อแข็ง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

22. ศิริวุฒิ ศศิบุตร, การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก - พลาสติก สำหรับโครงเหล็กข้อแข็ง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

23. ประมวล หาดขุนทด, การวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกสำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบเป็นจุด และแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

ภาคผนวก ก.

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชิ้นส่วนในโครงเหล็กข้อแข็งของตัวอย่างที่ 1

ชิ้นส่วน	ขนาด	A(cm^2)	I_x(cm^4)	M_p(t-m)	braced or unbraced
1	W200*49.9	63.53	4720	13.125	unbraced
2	W450*76.6	96.76	33500	41.975	unbraced

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของตัวอย่างที่ 1

	ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ	เปอร์เซนต์ความแตกต่าง
งานวิจัยนี้	1.846	Ø.5
ค่าจริงตามหลักการอิลาสติก - พลาสติก	1.837	-

ตัวอย่างที่ 3.3 คุณสมบัติของชิ้นส่วนในโครงเหล็กข้อแข็งของตัวอย่างที่ 2

ชิ้นส่วน	ขนาด	A(cm^2)	I_x(cm^4)	M_p(t-m)	braced or unbraced
1	W150*31.5	40.14	1640	6.150	unbraced
2	W150*31.5	40.14	1640	6.150	unbraced
3	W350*131.0	166.60	35300	57.500	unbraced
4	W250*64.4	82.06	8790	20.125	unbraced
5	W250*64.4	82.06	8790	20.125	unbraced
6	W250*64.4	82.06	8790	20.125	unbraced

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของตัวอย่างที่ 2

	ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ	เปอร์เซนต์ความแตกต่าง
งานวิจัยนี้	1.037	-
วิโรจน์ (21)	1.7	63.9
คิริวุฒิ (22)	1.577	52.1

ตารางที่ 3.5 หน้าตัดของชิ้นส่วน ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของเหล็กหน้าตัด W ทั้งโครงสร้างของตัวอย่างที่ 3

ชิ้นส่วนชุดที่	วิโรจน์(21)	งานวิจัยนี้		
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
1	W300*56.8	W300*84.5	W300*84.5	W800*191.0
2	W300*56.8	W300*56.8	W250*66.5	W400*66.0
ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรก	-	1.117	1.173	2.584
ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ	1.3	1.444	1.331	2.751
น้ำหนักของเหล็กหน้าตัด W ทั้งโครงสร้าง (ตัน)	2.045	2.599	2.754	4.876
เปอร์เซนต์ความแตกต่าง	-	27.09	34.67	138.43

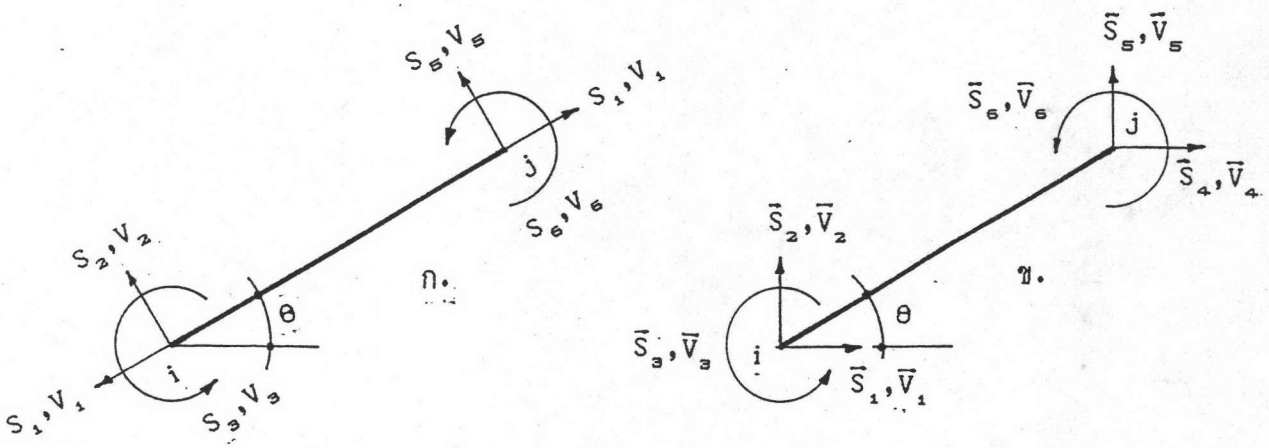
กรณีที่ 1 คำนึงถึงเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในแง่ของกำลัง และความเสถียร

กรณีที่ 2 คำนึงถึงหน่วยแรงลัพธ์ ณ จุดคลากที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

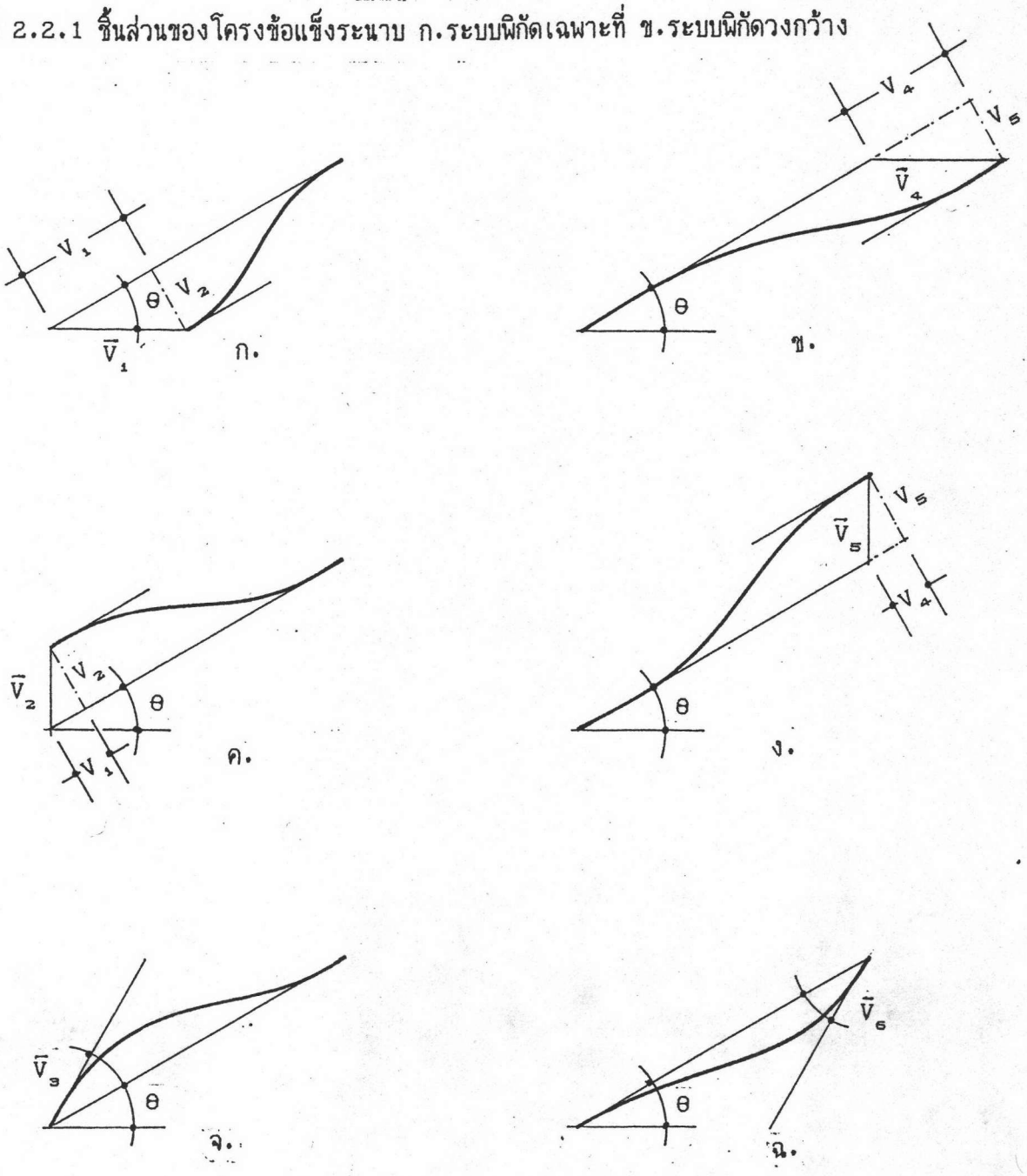
กรณีที่ 3 คำนึงถึงพิกัดของการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

ภาคผนวก ข.

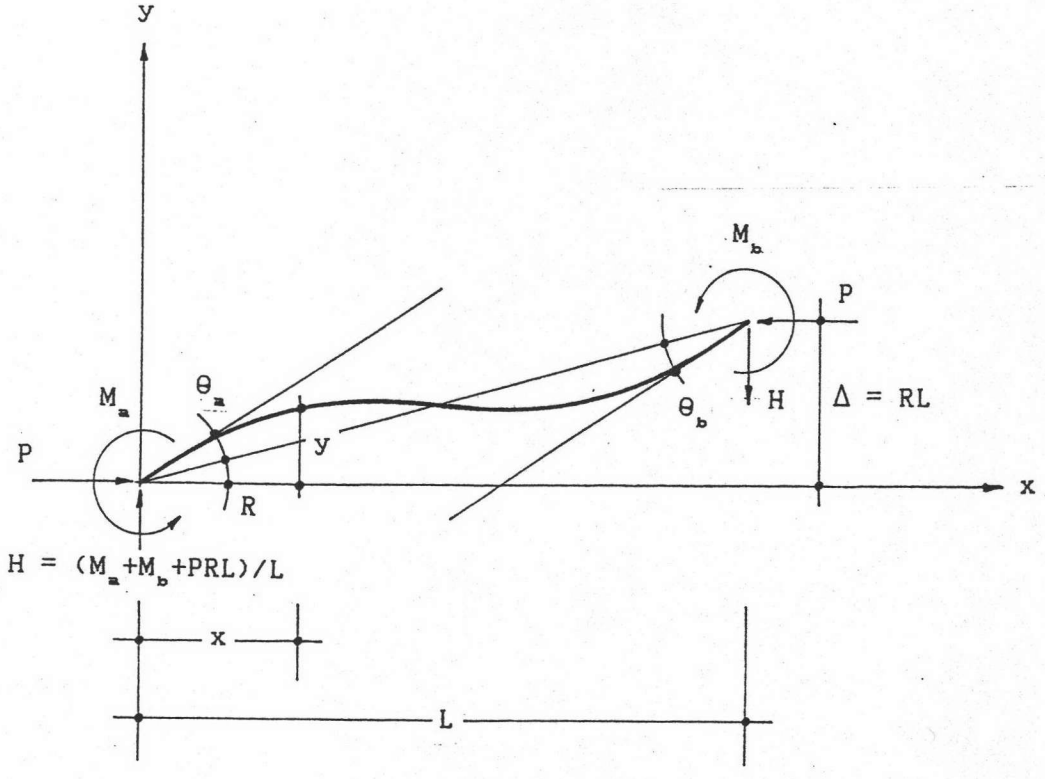
รายการรูปประกอบ



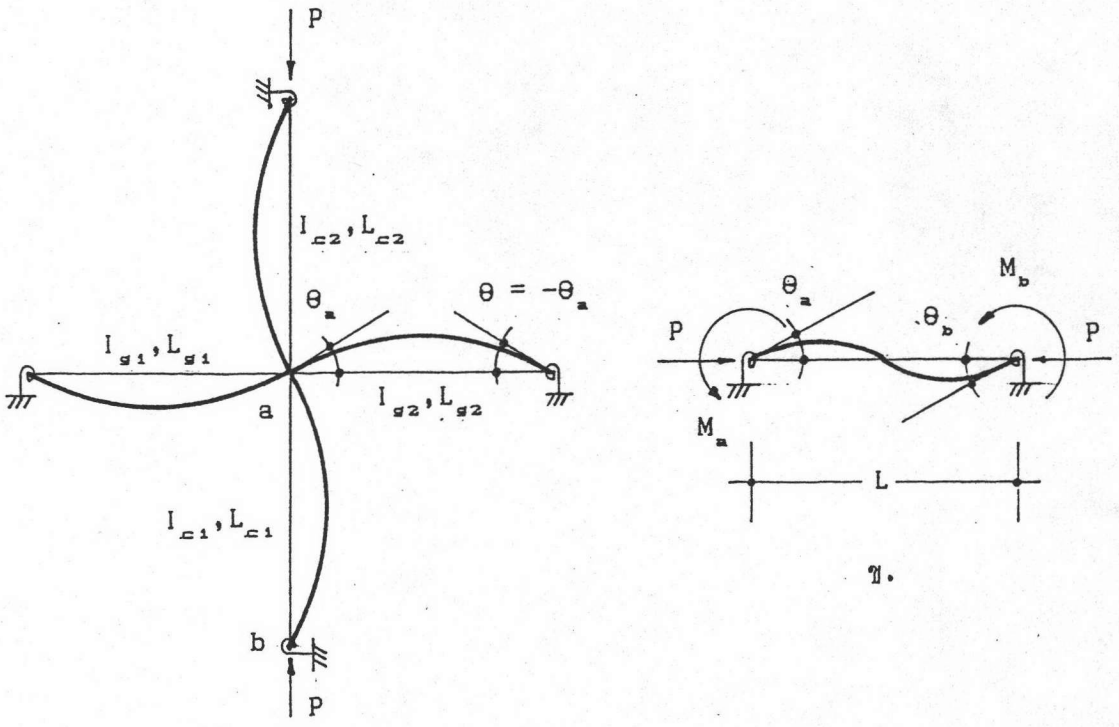
รูปที่ 2.2.1 ชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งระนาบ ก.ระบบพิกัดเฉพาะที่ ข.ระบบพิกัดวงกว้าง



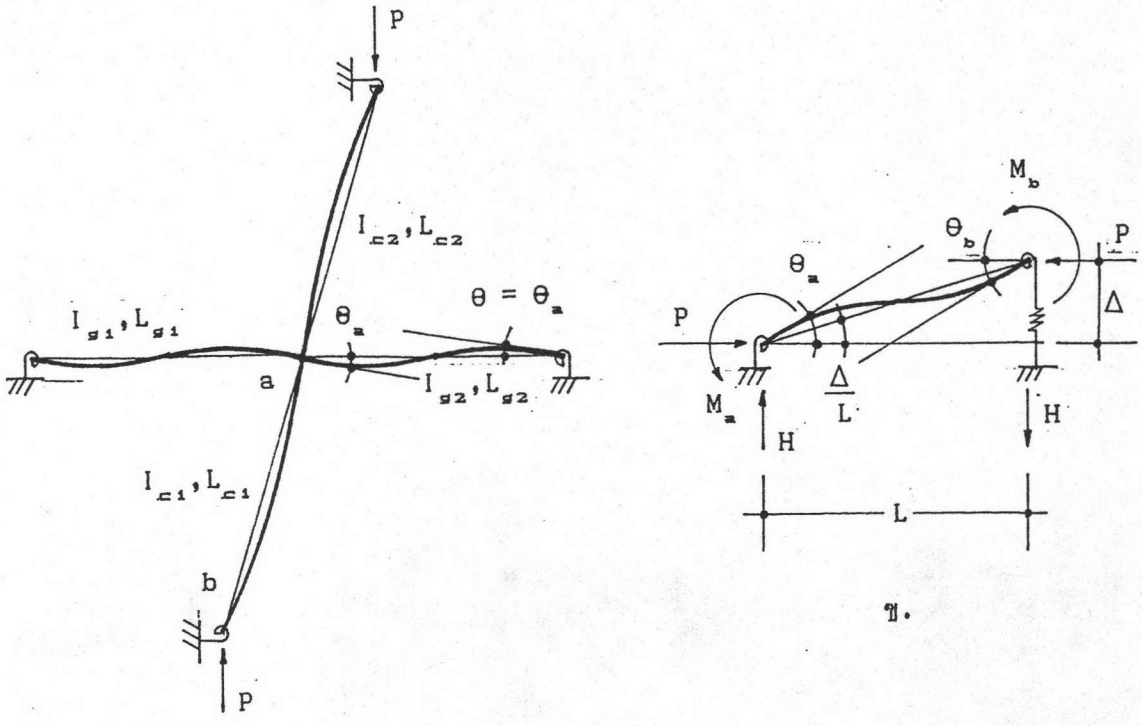
รูปที่ 2.2.2 รูปแบบต่างๆของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายของชิ้นส่วน



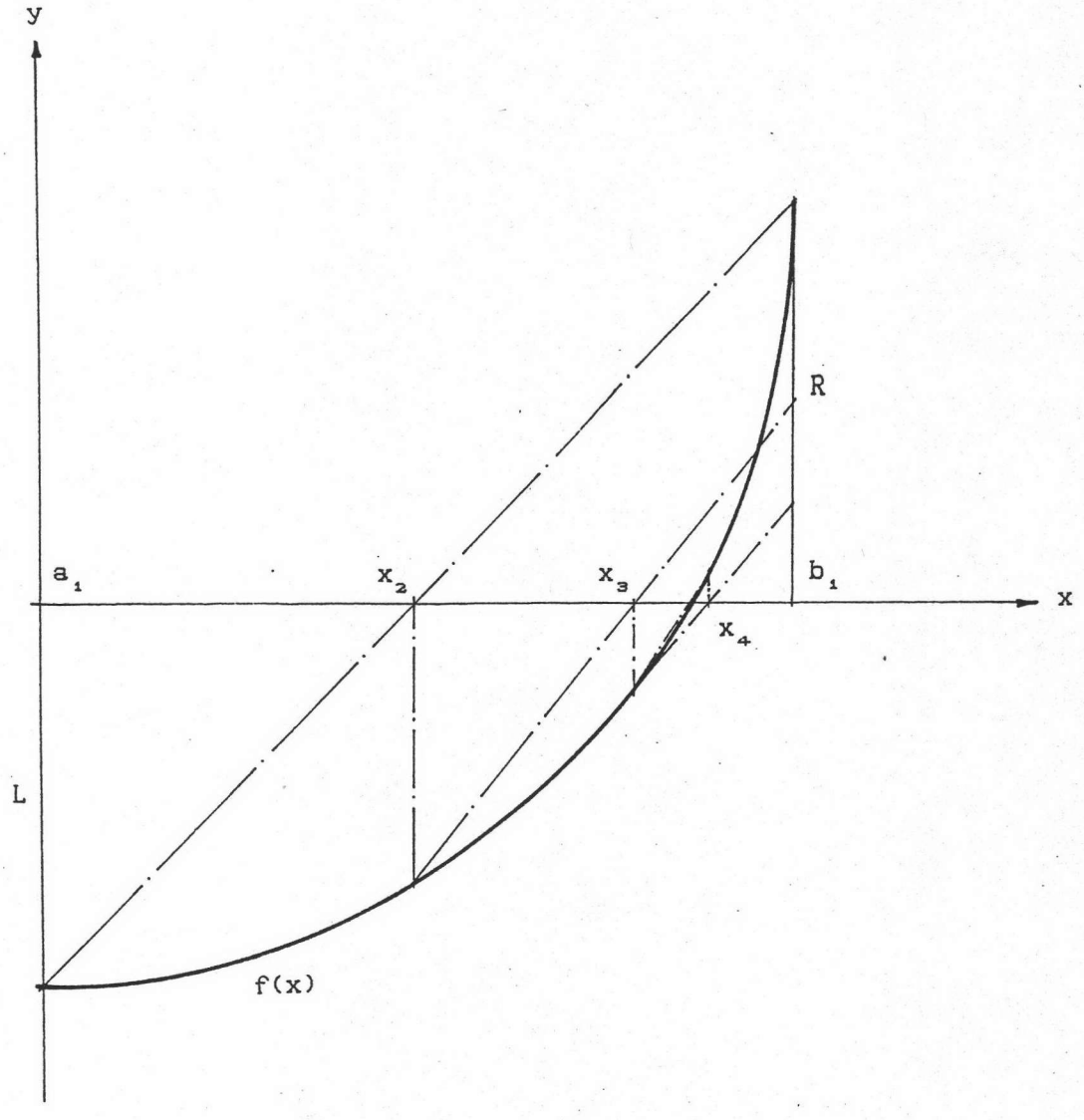
รูปที่ 2.3.1 ชิ้นส่วนรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน



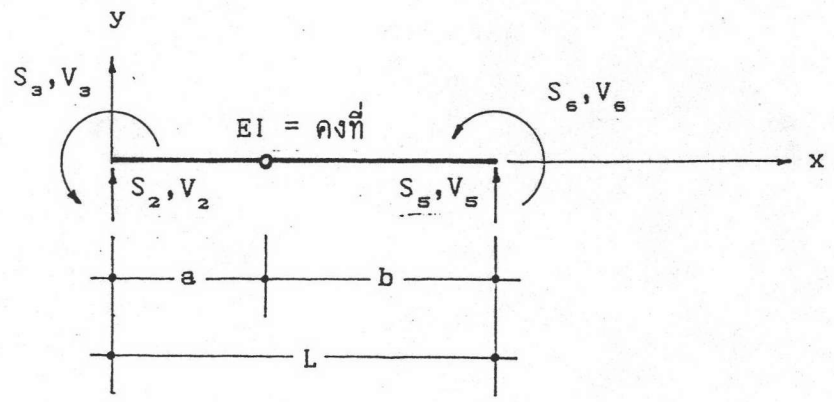
รูปที่ 2.3.2 โครงสร้างที่มีฐานรองรับแบบอิลาสติกและไม่มีการเซ



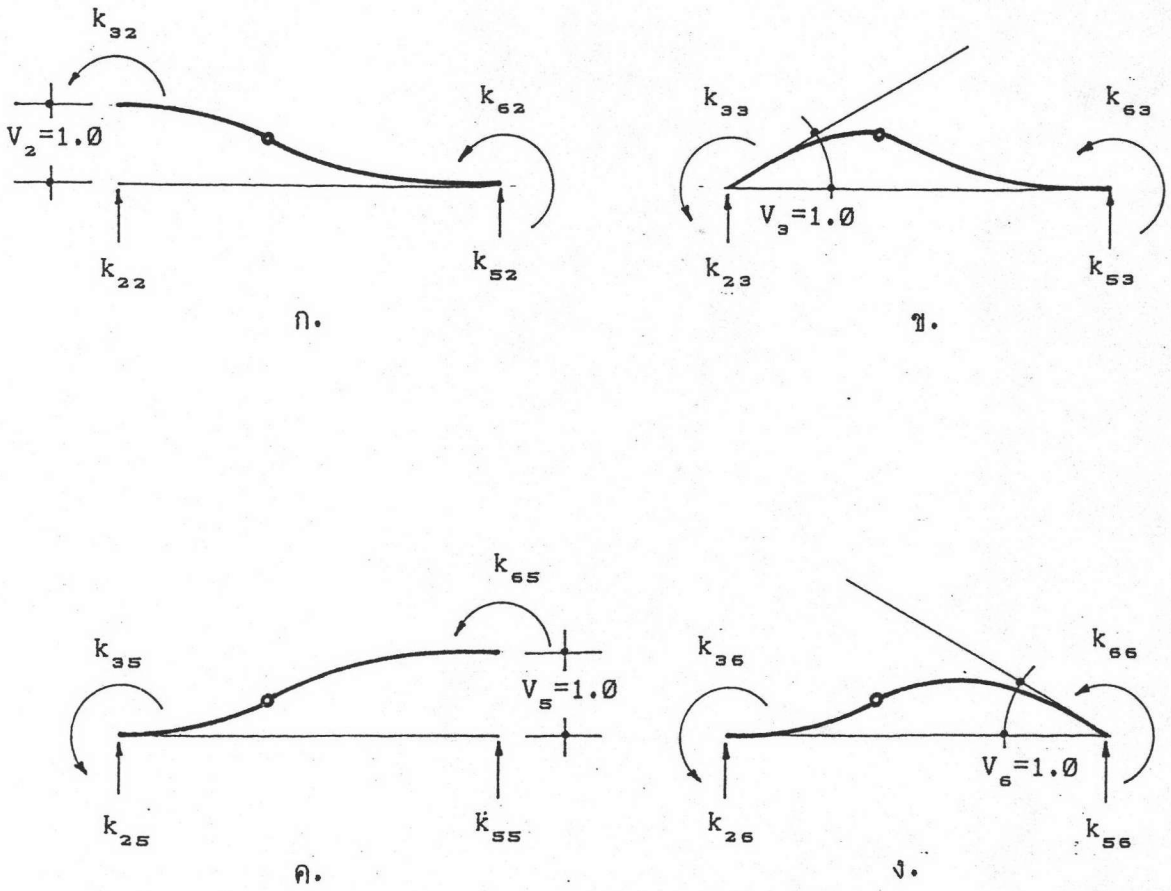
รูปที่ 2.3.3 โครงสร้างที่มีฐานรองรับแบบอิลาสติกและมีการเซ



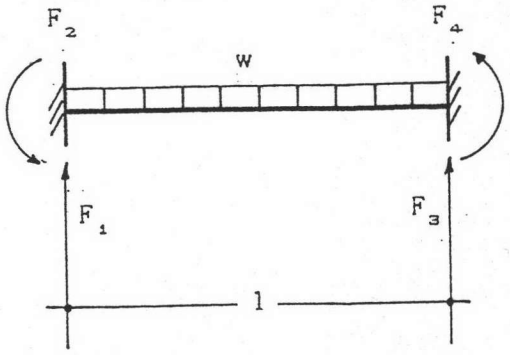
รูปที่ 2.3.4 Modified Regula Falsi Method



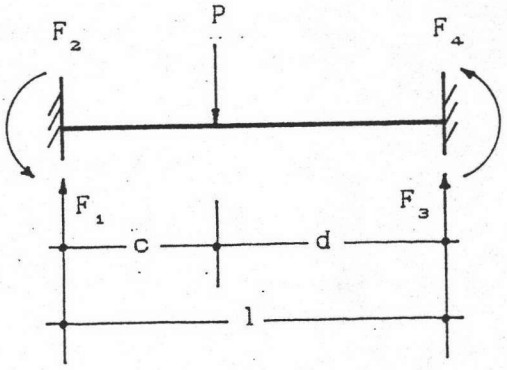
รูปที่ 2.7.1 แรงและการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายของชิ้นส่วนคุณสมบัติคงที่



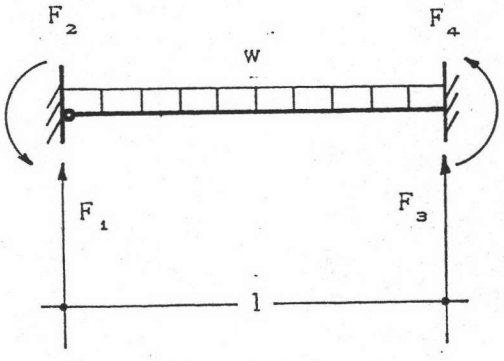
รูปที่ 2.7.2 การโก่งตัวเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่ง 1 หน่วยที่ปลายของชิ้นส่วน



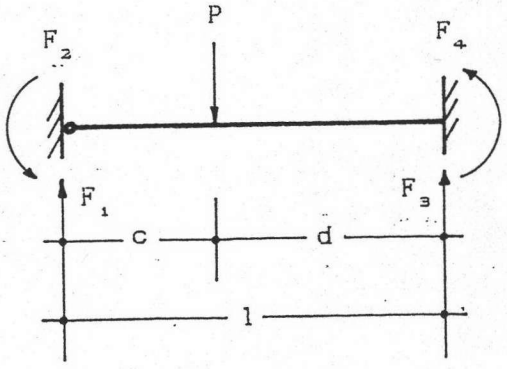
รูปที่ 2.8.1



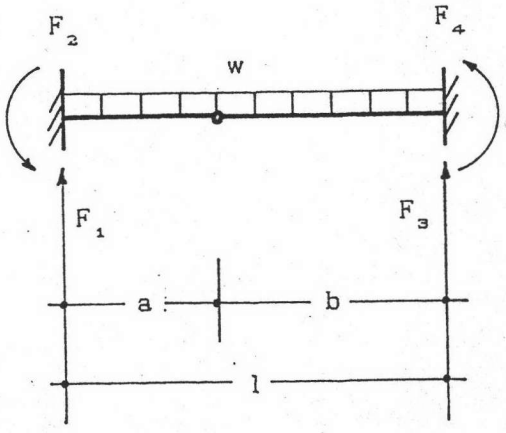
รูปที่ 2.8.2



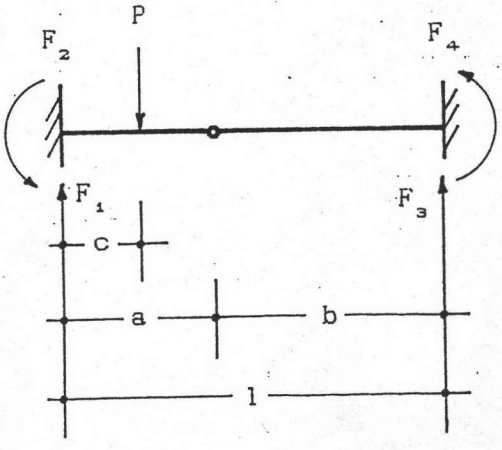
รูปที่ 2.8.3



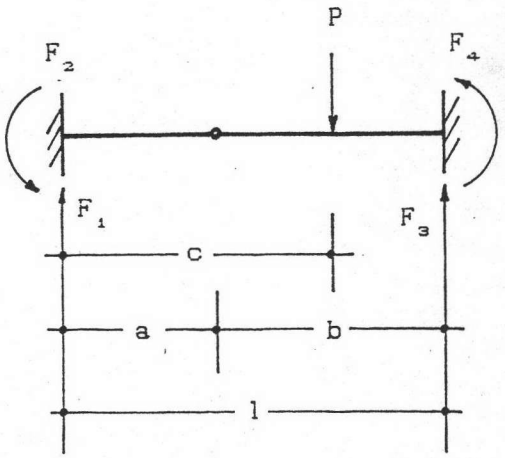
รูปที่ 2.8.4



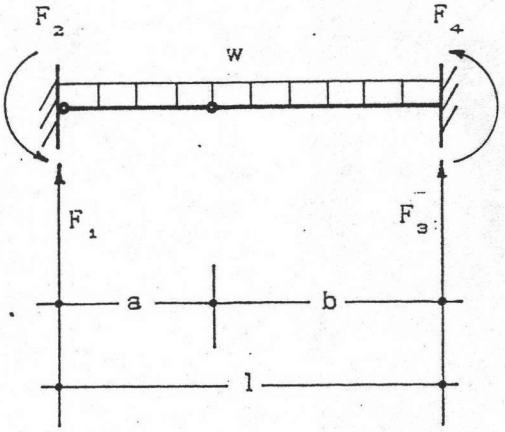
รูปที่ 2.8.5



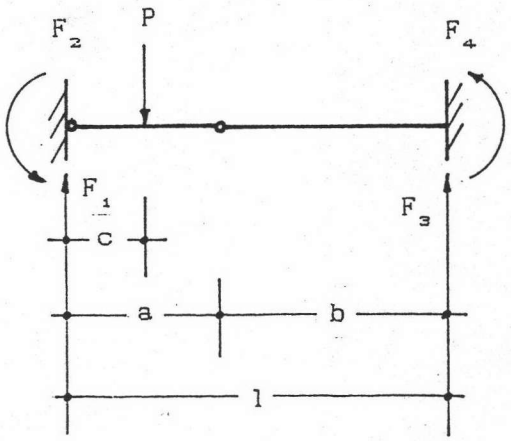
รูปที่ 2.8.6



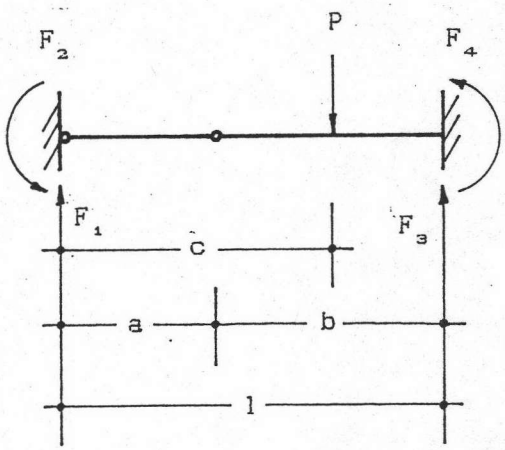
รูปที่ 2.8.7



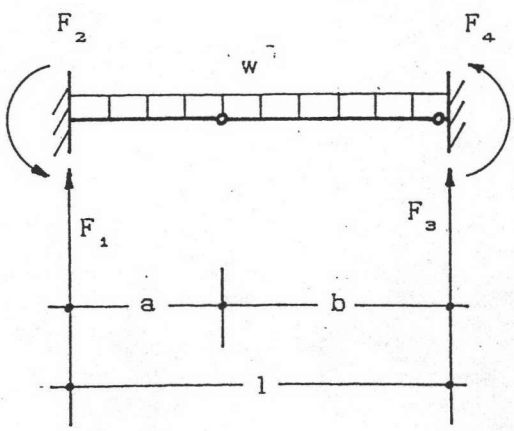
รูปที่ 2.8.8



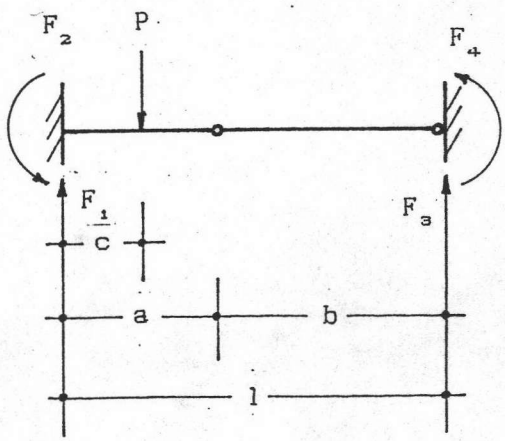
รูปที่ 2.8.9



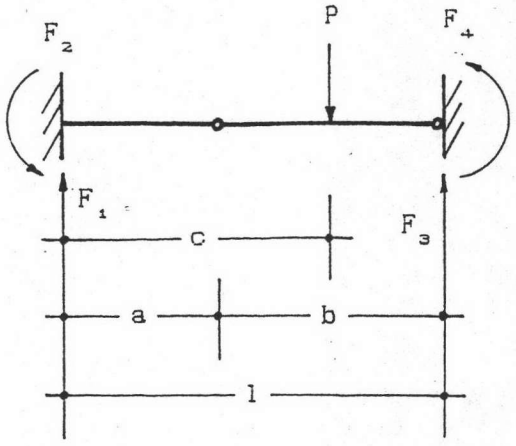
รูปที่ 2.8.10



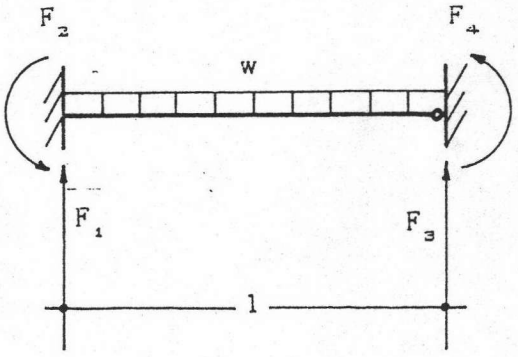
รูปที่ 2.8.11



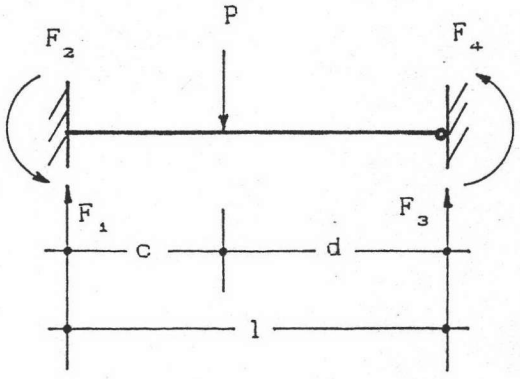
รูปที่ 2.8.12



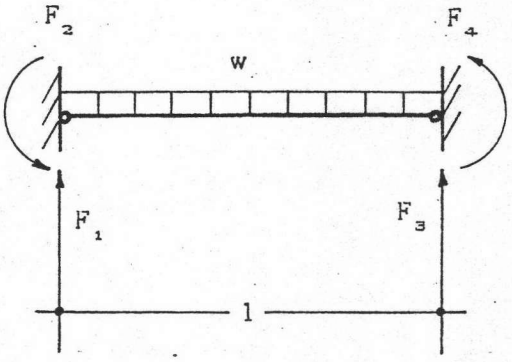
รูปที่ 2.8.13



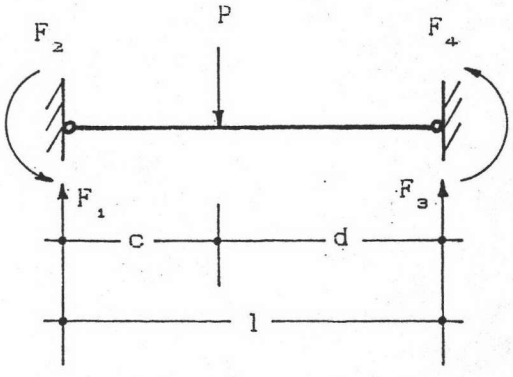
รูปที่ 2.8.14



รูปที่ 2.8.15

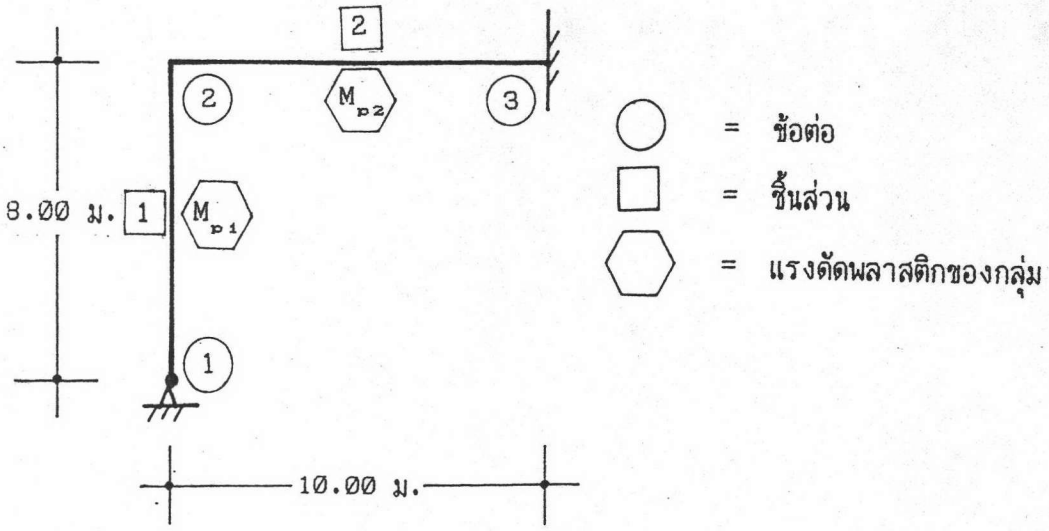


รูปที่ 2.8.16

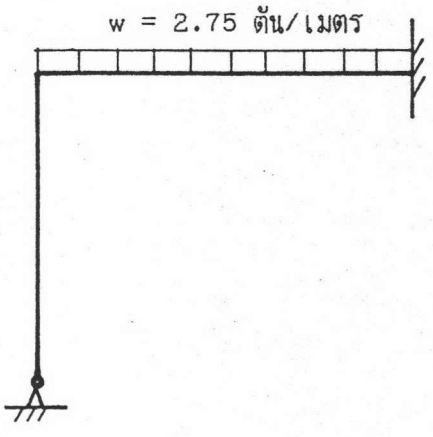


รูปที่ 2.8.17

รูปที่ 2.8 แรงยึดแน่นที่ปลายของชิ้นส่วนเนื่องจากแรงกระทำ (รูปที่ 2.8.1 - 2.8.17)

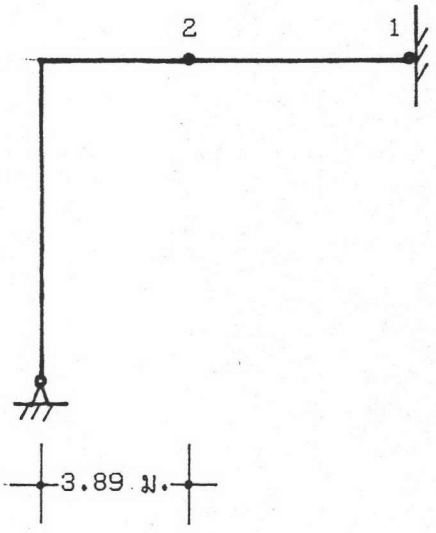


ก. รูปร่างโครงเหล็กข้อแข็ง

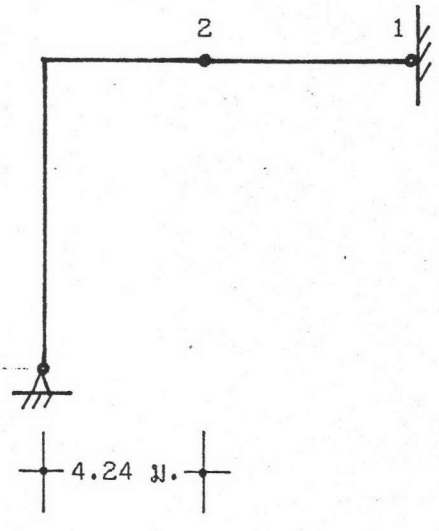


ข. น้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ

รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างของตัวอย่างที่ 1

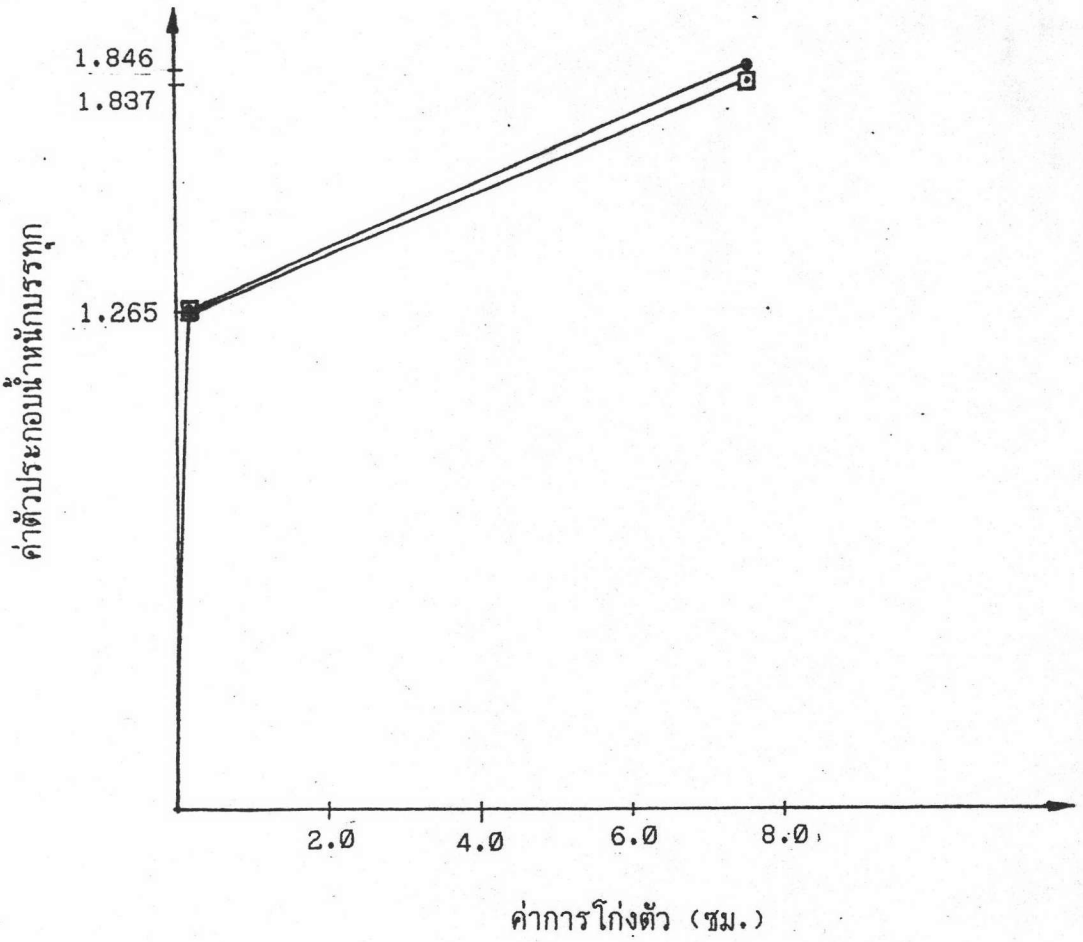


ก. งานวิจัยนี้



ข. ตำแหน่งจริงตามหลักการอิลาสติก - พลาสติก

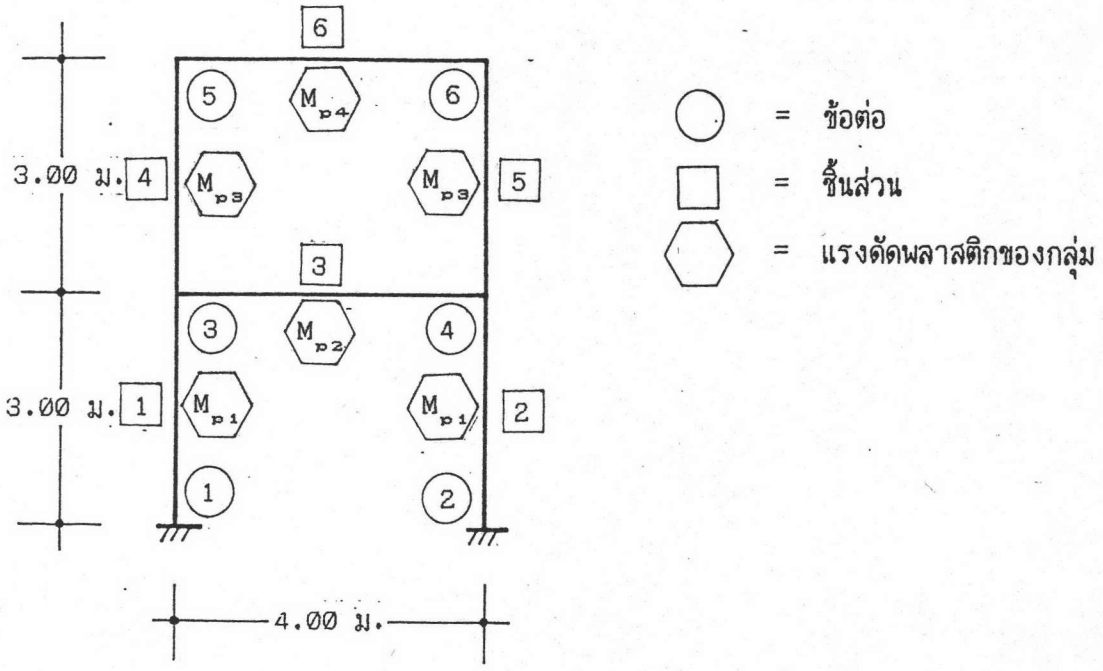
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแข็งของตัวอย่างที่ 1



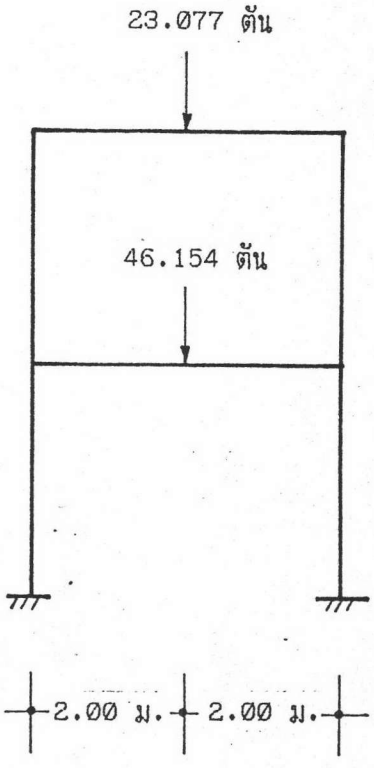
• = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของงานวิจัยนี้

⊡ = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของตำแหน่งจริงตามหลักการอิลาสติก – พลาสติก

รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติกจุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของตัวอย่างที่ 1

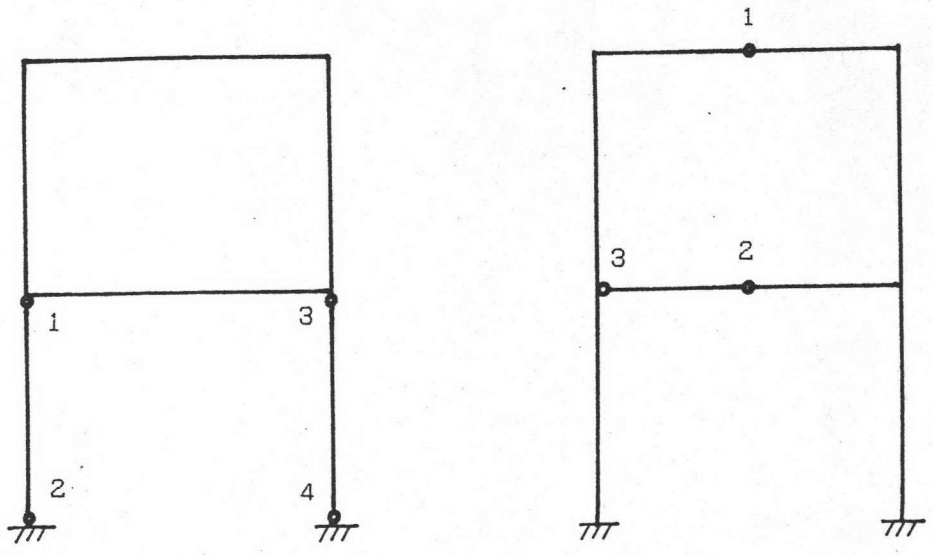


ก. รูปร่างโครงเหล็กข้อแข็ง



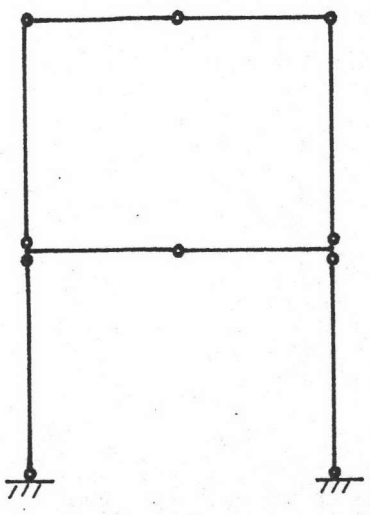
ข. น้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบจุด

รูปที่ 3.4 ลักษณะโครงสร้างของตัวอย่างที่ 2

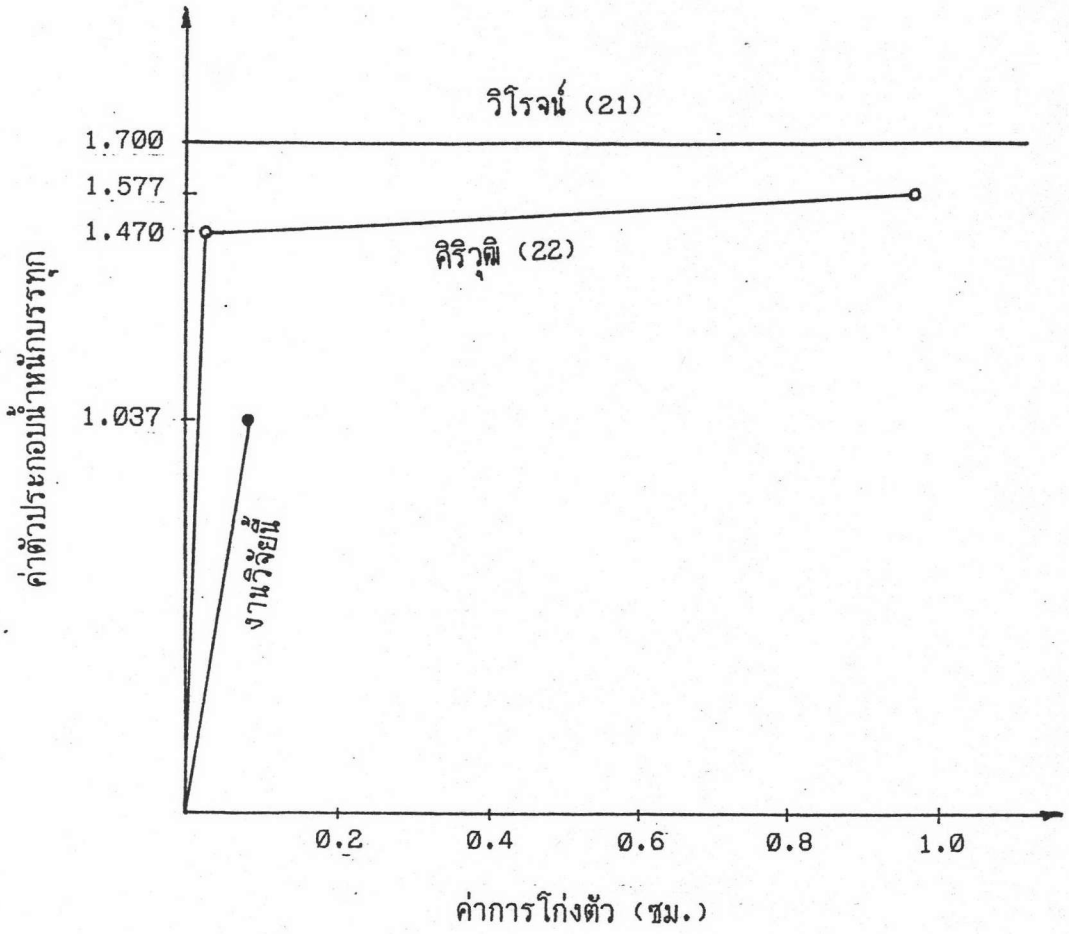


ก. งานวิจัยนี้ ข. คิริวุฒิ (22)

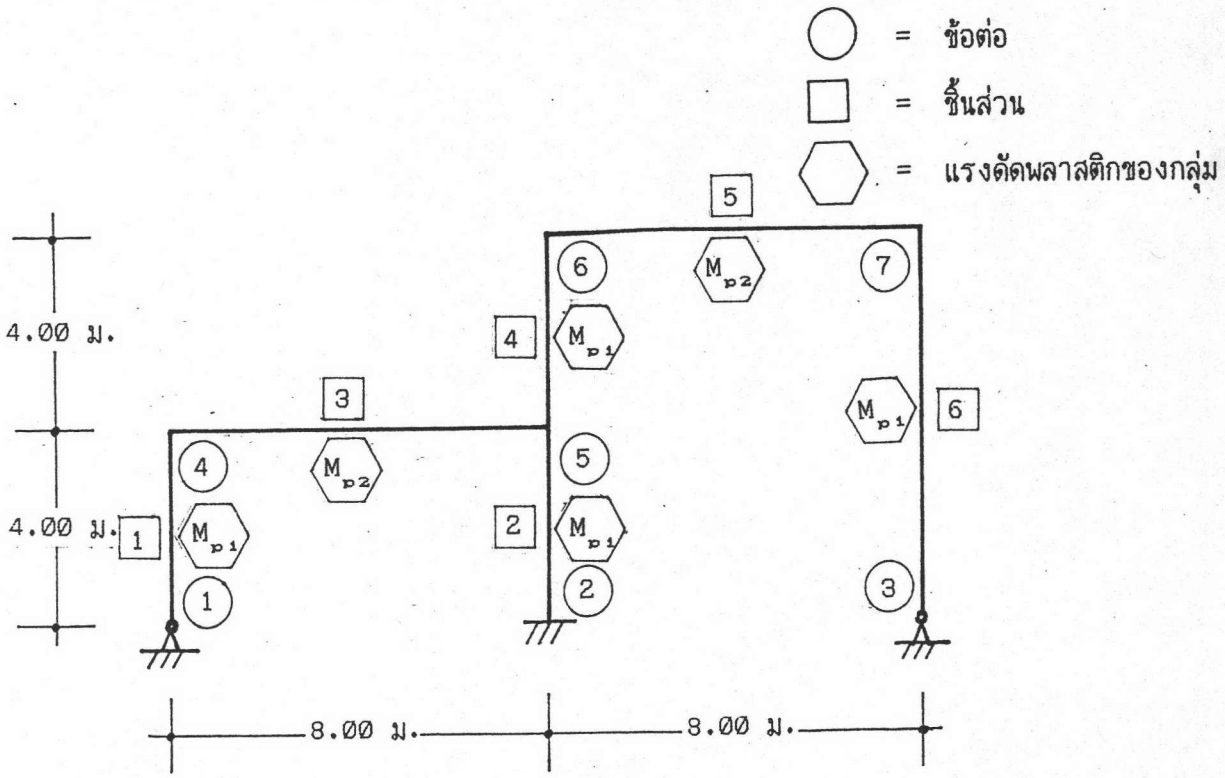
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแข็งของตัวอย่างที่ 2



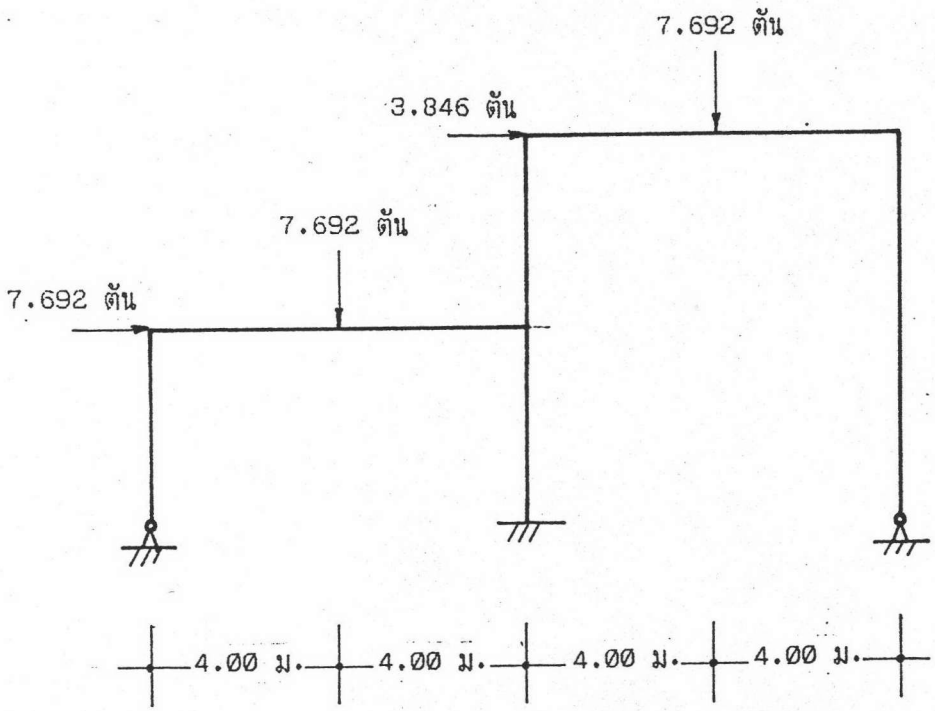
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งของจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแข็งของวิโรจน์ (21) ของตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติกจุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของตัวอย่างที่ 2

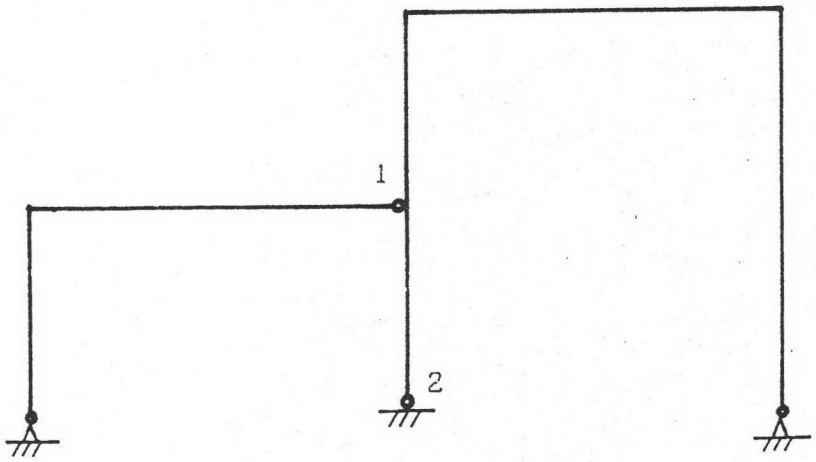


ก. รูปร่างโครงเหล็กข้อแข็ง

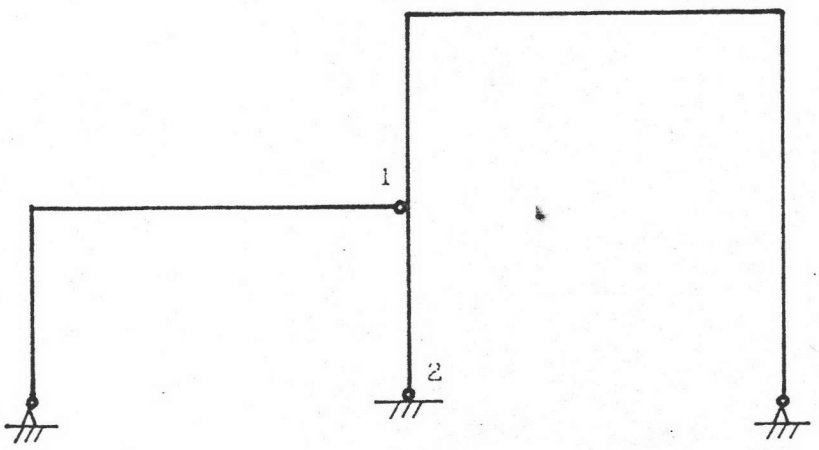


ข. น้ำหนักบรรทุกคงที่ + น้ำหนักบรรทุกจร + แรงลม

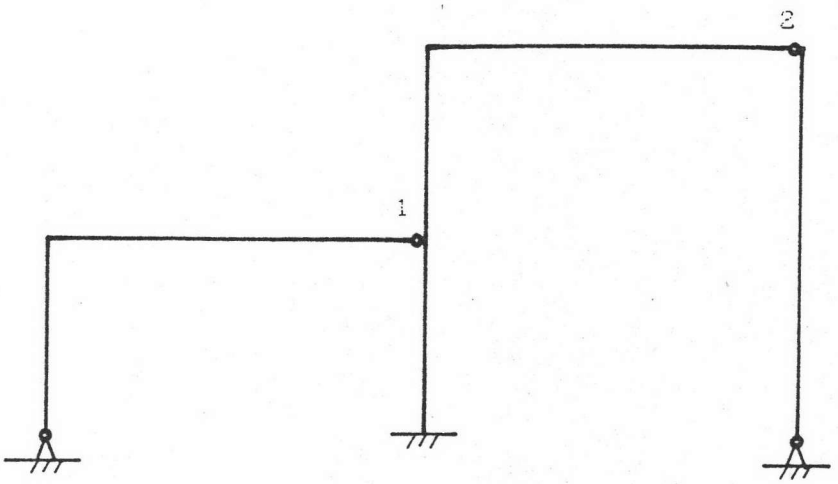
รูปที่ 3.8 ลักษณะโครงสร้างของตัวอย่างที่ 3



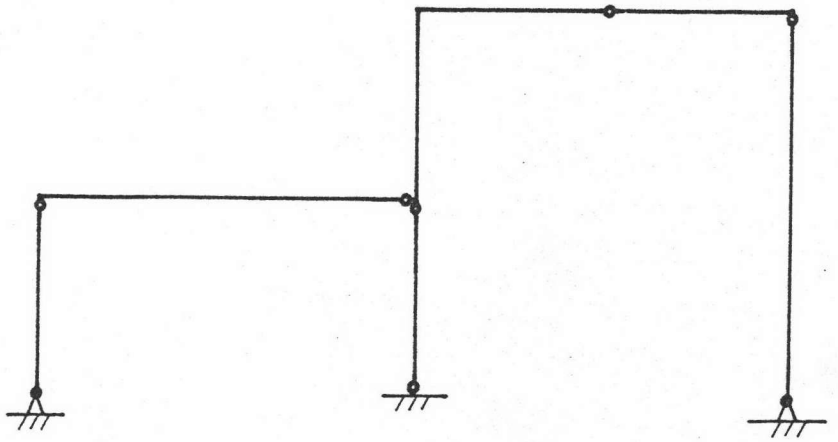
ก. กรณีที่ 1 คำนึงถึงเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในแง่ของกำลัง และความเสถียร



ข. กรณีที่ 2 คำนึงถึงหน่วยแรงลัพธ์ ณ จุดคลากที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

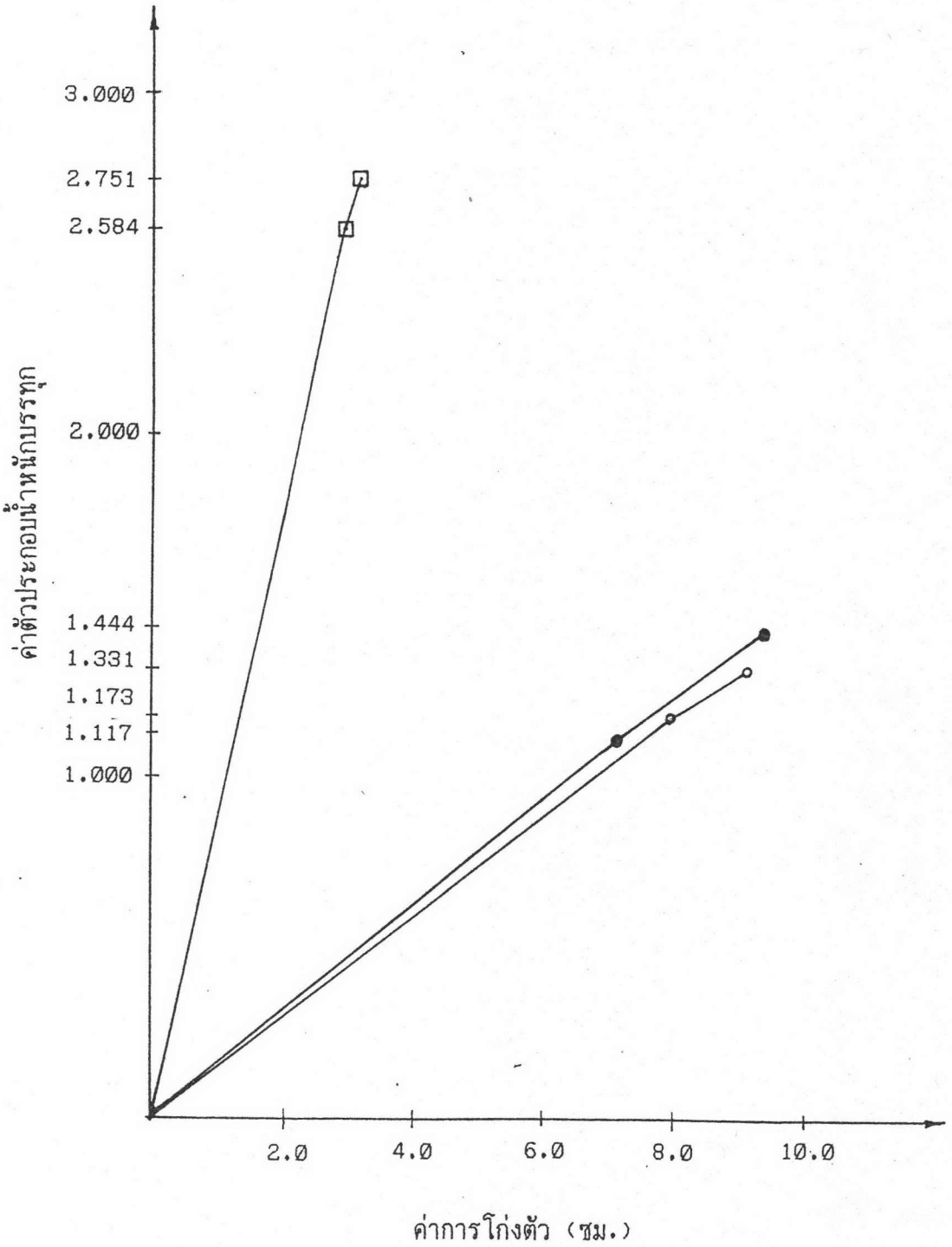


ค. กรณีที่ 3 คำนึงถึงพิกัดของการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน



ง. วิโรจน์ (21)

รูปที่ 3.9 ตำแหน่งของการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแข็งของตัวอย่างที่ 3



● = กรณีที่ 1 คำนึงถึงเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในแง่ของกำลัง และความเสถียร

o = กรณีที่ 2 คำนึงถึงหน่วยแรงลัพธ์ ณ จุดคลากที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

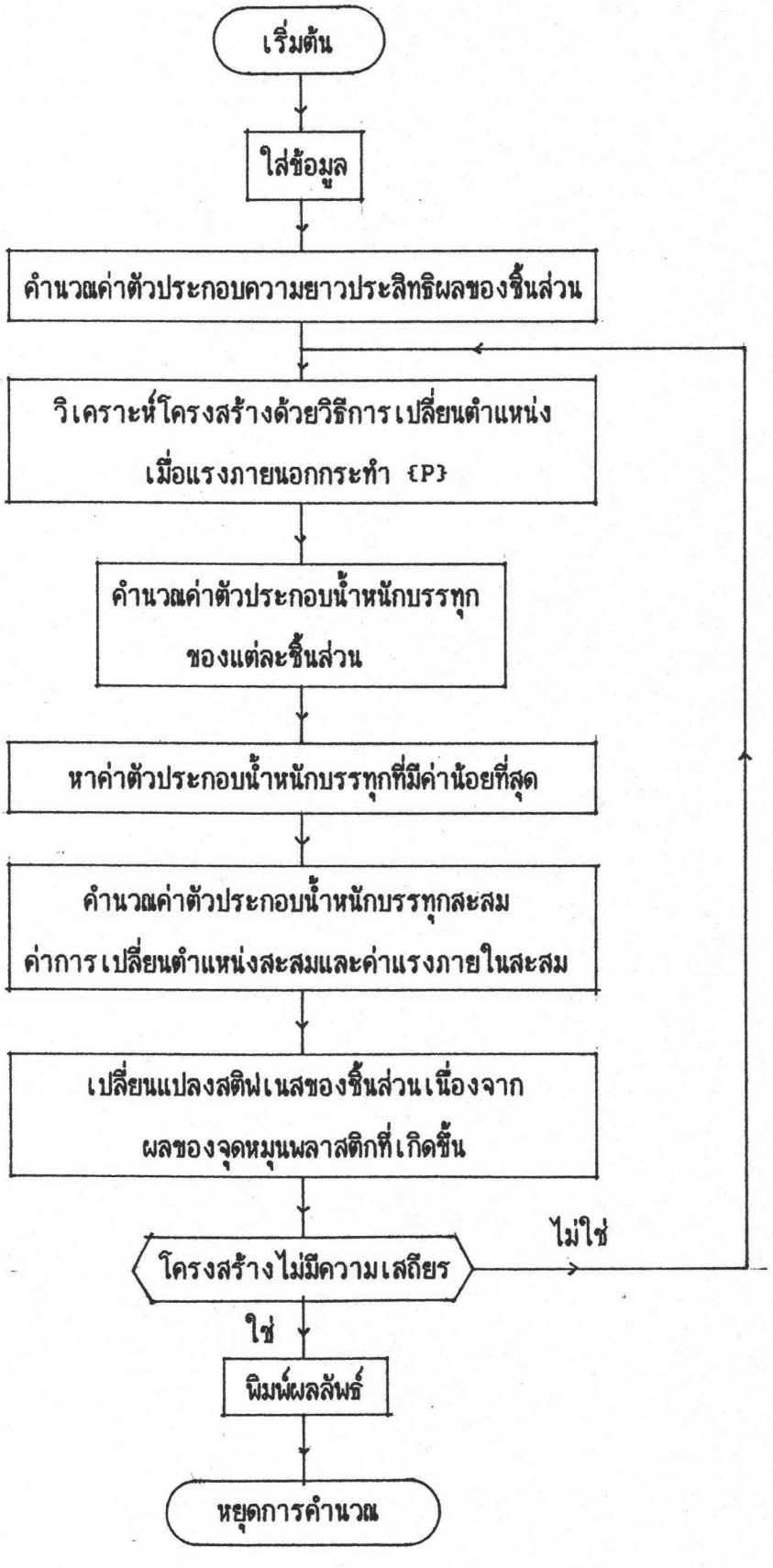
⊡ = กรณีที่ 3 คำนึงถึงพิกัดของการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติกจุดแรก จนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของตัวอย่างที่ 3

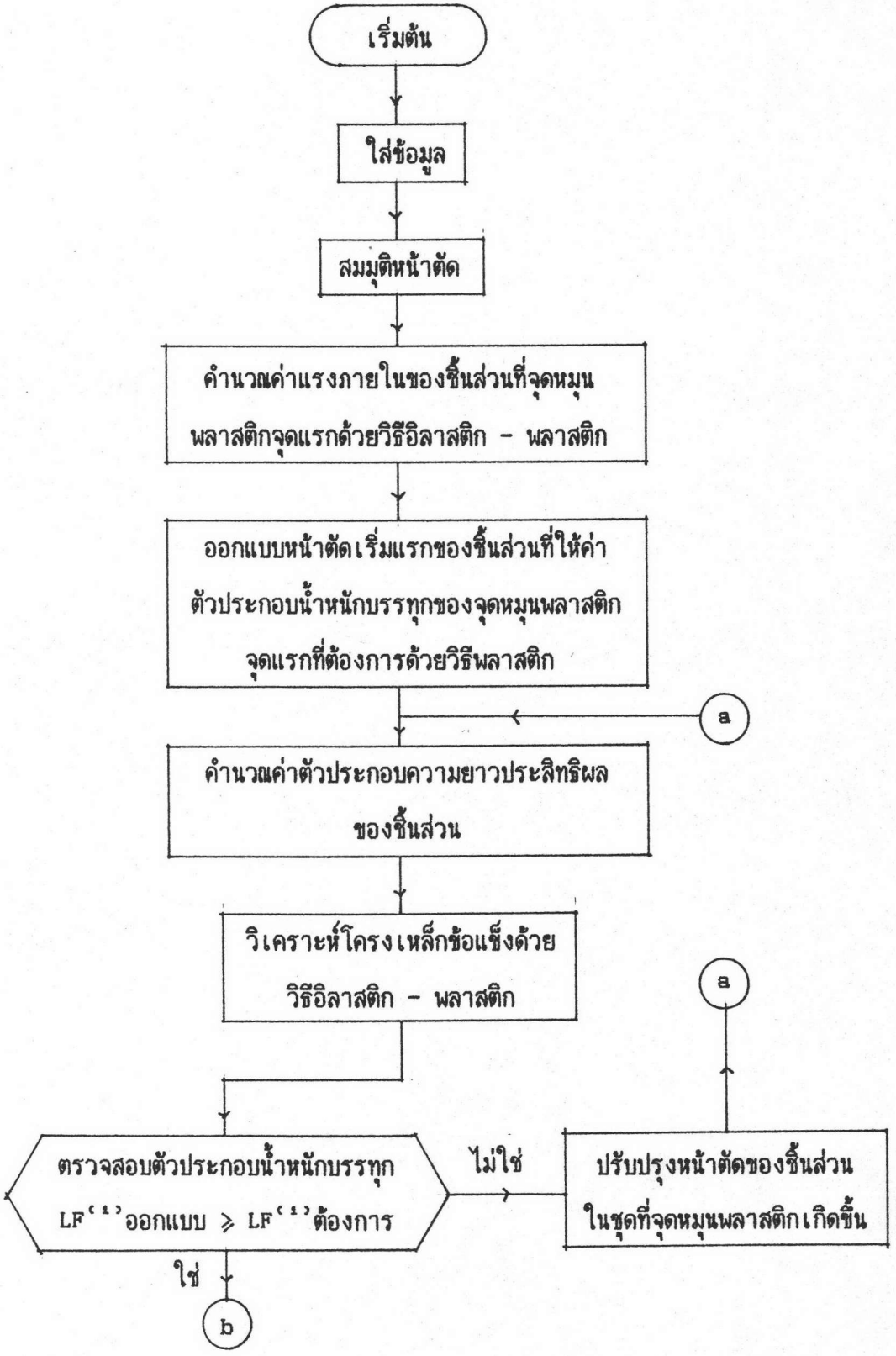
ภาคผนวก ค.

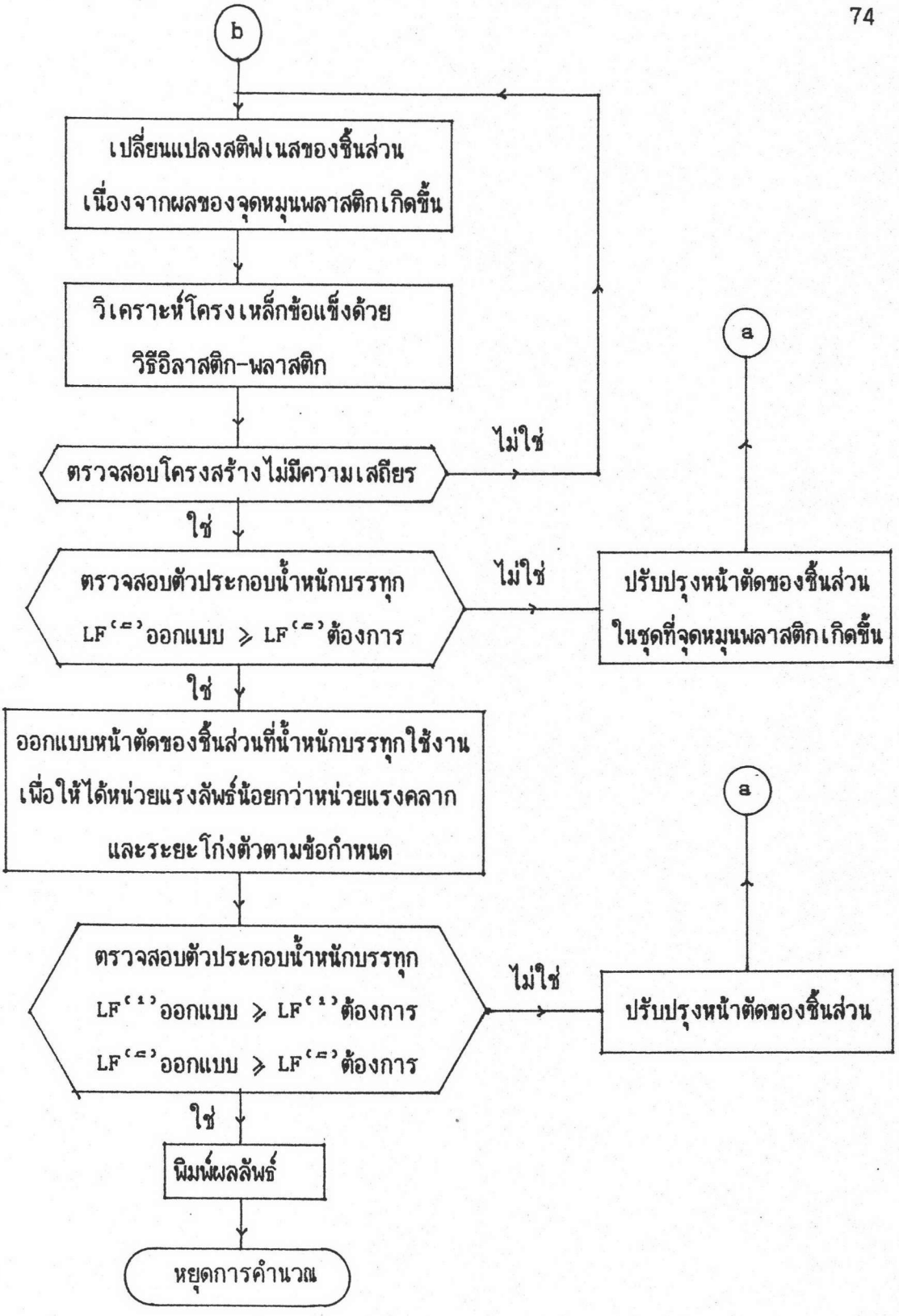
แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธีอิลาสติก - พลาสติก เขียนเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



ขั้นตอนการวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธีอิลาสติก - พลาสติก เขียนเป็นแผนภูมิได้ดังนี้




b
เปลี่ยนแปลงสติฟเนสของชิ้นส่วน
เนื่องจากผลของจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้น
วิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งด้วย
วิธีอิลาสติก-พลาสติก
ตรวจสอบโครงสร้างไม่มีความเสถียร
ไม่ใช่
ใช่
a
ตรวจสอบตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก
LF(=)ออกแบบ ≥ LF(=)ต้องการ
ไม่ใช่
ปรับปรุงหน้าตัดของชิ้นส่วน
ในชุดที่จุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้น
ใช่
ออกแบบหน้าตัดของชิ้นส่วนที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน
เพื่อให้ได้หน่วยแรงลัพธ์น้อยกว่าหน่วยแรงคลาก
และระยะโก่งตัวตามข้อกำหนด
a
ตรวจสอบตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก
LF(1)ออกแบบ ≥ LF(1)ต้องการ
LF(=)ออกแบบ ≥ LF(=)ต้องการ
ไม่ใช่
ปรับปรุงหน้าตัดของชิ้นส่วน
ใช่
พิมพ์ผลลัพธ์
หยุดการคำนวณ

ภาคผนวก ง.

คุณสมบัติของเหล็กหน้าตัดปีกกว้าง W ที่ใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติเหล็กหน้าตัดปีกกว้าง W

Z_x cm.^{3}	Shape	Area cm.^{2}	A mm.	B mm.	t_w mm.	t_f mm.	r_x cm.	b_f/t_f	d/t_w	M_p t-m.	I_x cm.^{4}
44	W100*9.30	11.85	100	50	5	7	3.98	7.1	20.0	1.100	187
78	W125*13.2	16.84	125	60	6	8	4.95	7.5	20.8	1.950	413
88	W100*17.2	21.90	100	100	6	8	4.18	12.5	16.7	2.200	383
102	W150*14.0	17.85	150	75	5	7	6.11	10.7	30.0	2.550	666
153	W125*23.8	30.31	125	125	6.5	9	5.29	13.9	19.2	3.825	847
157	W150*21.1	26.84	148	100	6	9	6.17	11.1	24.7	3.925	1,020
157	W175*18.1	23.04	175	90	5	8	7.26	11.3	35.0	3.925	1,210
180	W200*18.2	23.18	198	99	4.5	7	8.26	14.1	44.0	4.500	1,580
202	W175*23.3	29.65	169	125	5.5	8	7.18	15.6	30.7	5.050	1,530
209	W200*21.3	27.16	200	100	5.5	8	8.24	12.5	36.4	5.225	1,840
246	W150*31.5	40.14	150	150	7	10	6.39	15.0	21.4	6.150	1,640
309	W200*30.6	39.01	194	150	6	9	8.30	16.7	32.3	7.725	2,690
319	W250*25.7	32.68	248	124	5	8	10.4	15.5	49.6	7.975	3,540
366	W250*29.6	37.66	250	125	6	9	10.4	13.9	41.7	9.150	4,050
369	W175*40.2	51.21	175	175	7.5	11	7.5	15.9	23.3	9.225	2,880
475	W300*32.0	40.80	298	149	5.5	8	12.4	18.6	54.2	11.875	6,320
525	W200*49.9	63.53	200	200	8	12	8.62	16.7	25.0	13.125	4,720
542	W300*36.7	46.78	300	150	6.5	9	12.4	16.7	46.1	13.550	7,210
558	W250*44.1	56.24	244	175	7	11	10.4	15.9	34.9	13.950	6,120
566	W200*56.2	71.53	200	204	12	12	8.35	17.0	16.7	14.150	4,980
711	W200*65.7	83.69	208	202	10	16	8.83	12.6	20.8	17.775	6,530
716	W350*41.4	52.68	346	174	6	9	14.5	19.3	57.7	17.900	11,100
805	W250*64.4	82.06	244	252	11	11	10.3	22.9	22.2	20.125	8,790
859	W300*56.8	72.38	294	200	8	12	12.5	16.7	36.7	21.475	11,300
868	W350*49.6	63.14	350	175	7	11	14.7	31.8	50.0	21.700	13,600
883	W250*66.5	84.70	248	249	8	13	10.8	19.2	31.0	22.075	9,930
960	W250*72.4	92.18	250	250	9	14	10.8	17.9	27.8	24.000	10,800

F_y = 2500 ksc.

Z_x cm.^{3}	Shape	Area cm.^{2}	A mm.	B mm.	t_w mm.	t_f mm.	r_x cm.	b_f/t_f	d/t_w	M_p t-m.	I_x cm.^{4}
999	W300*65.4	83.36	298	201	9	14	12.6	14.4	33.1	24.975	13,300
1,038	W250*82.2	104.7	250	255	14	14	10.5	18.2	17.9	25.950	11,500
1,128	W400*56.5	72.16	396	199	7	11	16.7	18.1	56.6	28.200	20,000
1,215	W350*69.2	88.15	336	249	8	12	14.5	20.8	42.0	30.375	18,500
1,277	W300*84.5	107.7	294	302	12	12	12.5	25.2	24.5	31.925	16,900
1,327	W400*66.0	84.12	400	200	8	13	16.8	15.4	50.0	33.175	23,700
1,389	W300*87.0	110.8	298	299	9	14	13.0	21.4	33.1	34.725	18,800
1,412	W350*79.7	101.5	340	250	9	14	14.6	17.9	37.8	35.300	21,700
1,450	W450*66.2	84.30	446	199	8	12	18.5	16.6	55.8	36.250	28,700
1,501	W300*94.0	119.8	300	300	10	15	13.1	20.0	30.0	37.525	20,400
1,613	W300*106	134.8	300	305	15	15	12.6	20.3	20.0	40.325	21,500
1,679	W450*76.0	96.76	450	200	9	14	18.6	14.3	50.0	41.975	33,500
1,705	W300*106	134.8	304	301	11	17	13.2	17.7	27.6	46.625	23,400
1,852	W350*106	135.3	338	351	13	13	14.4	27.0	26.0	46.300	28,200
1,914	W500*79.5	101.3	496	199	9	14	20.3	14.2	55.1	47.850	41,900
1,918	W400*94.3	120.1	386	299	9	14	16.7	21.4	42.9	47.950	33,700
2,121	W350*115	146.0	344	348	10	16	15.1	21.8	34.4	53.025	33,300
2,175	W500*89.6	114.2	500	200	10	16	20.5	12.5	50.0	54.375	47,800
2,188	W400*107	136.0	390	300	10	16	16.9	18.8	39.0	54.700	38,700
2,300	W350*131	166.6	344	354	16	16	14.6	22.1	21.5	57.500	35,300
2,385	W450*106	135.0	434	299	10	15	18.6	19.9	43.4	59.625	46,800
2,541	W500*103	131.3	506	201	11	19	20.7	10.6	46.0	63.525	56,500
2,546	W350*137	173.9	350	350	12	19	15.2	18.4	29.2	63.650	40,300
2,651	W600*94.6	120.5	596	199	10	15	23.9	13.3	59.6	66.275	68,700
2,759	W300*156	198.4	350	357	19	19	14.7	18.8	18.4	68.975	42,800
2,791	W500*114	145.5	482	300	11	15	20.4	20.0	43.8	69.775	60,400
2,802	W400*140	178.5	388	402	15	15	16.6	26.8	25.9	70.050	49,000
2,825	W450*124	157.4	440	300	11	18	18.9	16.7	40.0	70.625	56,100
2,979	W350*159	202.0	356	352	14	22	15.3	16.0	25.4	74.475	47,600

F_y = 2500 ksc.

Z_x $cm.^3$	Shape	Area $cm.^2$	A mm.	B mm.	t_w mm.	t_f mm.	r_x cm.	b_f/t_f	d/t_w	M_p t-m.	I_x $cm.^4$
2,979	W600*106	134.4	600	200	11	17	24.0	11.8	54.5	74.475	77,600
3,118	W400*147	186.8	394	398	11	18	17.3	22.1	35.8	77.950	56,100
3,228	W500*128	163.5	488	300	11	18	20.8	16.7	44.4	80.700	71,000
3,390	W400*168	214.4	394	405	18	18	16.7	22.5	21.9	84.750	59,700
3,432	W600*120	152.5	606	201	12	20	24.3	10.1	50.5	85.800	90,400
3,670	W400*172	218.7	400	400	13	21	17.5	19.0	30.8	91.750	66,600
3,893	W600*134	170.7	612	202	13	23	24.6	8.8	47.1	97.325	103,000
3,962	W600*137	174.5	582	300	12	17	24.3	17.6	48.5	99.050	103,000
3,992	W400*197	250.7	400	408	21	21	16.8	19.4	19.0	99.800	70,900
4,278	W400*200	254.9	406	403	16	24	17.5	16.8	25.4	106.950	78,000
4,489	W600*151	192.5	588	300	12	20	24.8	15.0	49.0	112.225	118,000
5,028	W400*232	295.4	414	405	18	28	17.7	14.5	23.0	125.700	92,800
5,197	W600*175	222.4	594	302	14	23	24.9	13.1	42.4	129.925	137,000
5,625	W700*166	211.5	692	300	13	20	28.6	15.0	53.2	140.625	172,000
6,310	W400*283	360.7	428	407	20	35	18.2	11.6	21.4	157.750	119,000
6,462	W700*185	235.5	700	300	13	24	29.3	12.5	53.8	161.550	201,000
7,287	W800*191	243.4	792	300	14	22	32.3	13.6	56.6	182.175	254,000
7,557	W700*215	273.6	708	302	15	28	29.4	10.8	47.2	188.925	237,000
8,241	W800*210	267.4	800	300	14	26	33.0	11.5	57.1	206.025	292,000
8,909	W900*213	270.9	890	299	15	23	35.7	13.0	59.3	222.725	345,000
9,532	W800*241	307.6	808	302	16	30	33.2	10.1	50.5	238.300	339,000
9,541	W400*415	528.6	458	417	30	50	18.8	8.3	15.3	238.525	187,000
10,440	W900*243	309.8	900	300	16	28	36.4	10.7	56.2	261.000	411,000
12,485	W900*286	364.0	912	302	18	34	37.0	8.9	50.7	312.125	498,000
14,453	W400*605	770.1	498	432	45	70	19.7	6.2	11.1	361.325	298,000

F_y = 2500 ksc.

ภาคผนวก จ.

ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 1

```
<< Frame No. 1 >>

effective length factor:
  G1 =   10.00   G2 =    0.09     kx[1] =  0.7173
  G2 =    3.79   G3 =    1.00     kx[2] =  0.8385

plastic hinge 1 in member 2 near joint 3
cumulative load factor =  1.2647054144E+00
cumulative deformation
joint     x-movement          y-movement          rotaion
  1    0.0000000000E+00    0.0000000000E+00    4.4914576127E-03
  2    2.0551950945E-03   -8.1109249536E-02   -8.9906222071E-03
  3    0.0000000000E+00    0.0000000000E+00    0.0000000000E+00
cumulative moments at joints
member     terminal applied moments  near joints plastic value
  1   3.0152926787E-07 -3.3408593793E+05 1and2 1.3125000000E+06
  2   3.3408593793E+05 -4.1975000000E+06 2and3 4.1975000000E+06
cumulative moment in member
member terminal applied moment  from joint       plastic value
  2    -2.2962124879E+06  2 = 3.8891659474E+02 4.1975000000E+06
cumulative tension
member        tension
  1       -1.3526285385E+04
  2       -4.1760742242E+02

plastic hinge 2 in member 2 from joint 2 =  3.8891659474E+02
cumulative load factor =  1.8465247271E+00
cumulative deformation
joint     x-movement          y-movement          rotaion
  1    0.0000000000E+00    0.0000000000E+00   -4.9370167631E-03
  2    7.5448346958E+00   -1.2908067990E-01   -1.8419096583E-02
  3    0.0000000000E+00    0.0000000000E+00    0.0000000000E+00
cumulative moments at joints
member     terminal applied moments  near joints plastic value
  1  -5.3076993509E-07 -3.3408593793E+05 1and2 1.3125000000E+06
  2   3.3408593793E+05 -4.1975000000E+06 2and3 4.1975000000E+06
cumulative moment in member
member terminal applied moment   from joint      plastic value
  2   -4.1975000000E+06   2 = 3.8891659474E+02 4.1975000000E+06
cumulative tension
member        tension
  1       -2.1526300935E+04
  2       -4.1760742242E+02
stiffness matrix is singular for plane frame.
```

ภาคผนวก ฉ.

ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 2

<< Frame No. 2 >>

effective length factor:

G1 =	1.00	G3 =	0.39	kx[1] =	0.7136
G2 =	1.00	G4 =	0.39	kx[2] =	0.7136
G3 =	2.19	G4 =	2.19	kx[3] =	0.8647
G3 =	0.39	G5 =	1.33	kx[4] =	0.7294
G4 =	0.39	G6 =	1.33	kx[5] =	0.7294
G5 =	0.75	G6 =	0.75	kx[6] =	0.7374

plastic hinge 1 and
plastic hinge 2 in member 2 near joints 4 and 2
cumulative load factor = 1.0374304496E+00
cumulative deformation

joint	x-movement	y-Movement	rotaion
1	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
2	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
3	-3.4682403194E-02	-1.2780686785E+00	-3.1829809445E-02
4	3.4682403260E-02	-1.2780686785E+00	3.1829809445E-02
5	7.8956326327E-02	-1.4864595987E+00	-2.4210684257E-02
6	-7.8956326233E-02	-1.4864595987E+00	2.4210684257E-02

cumulative moments at joints

member	terminal applied moments		near joints	plastic value
1	-7.3877550464E+04	-1.4695879295E+05	1and3	6.1500000000E+05
2	7.3877550465E+04	1.4695879295E+05	2and4	6.1500000000E+05
3	1.2143063614E+06	-1.2143063614E+06	3and4	5.7500000000E+06
4	-1.0673475685E+06	-9.7358661391E+05	3and5	2.0125000000E+06
5	1.0673475685E+06	9.7358661391E+05	4and6	2.0125000000E+06
6	9.7358661390E+05	-9.7358661391E+05	5and6	2.0125000000E+06

cumulative moment in member

member	terminal applied moment	from joint	plastic value
3	-3.5738501356E+06	3 = 2.0000000000E+02	5.7500000000E+06
6	-1.4204916346E+06	5 = 2.0000000000E+02	2.0125000000E+06

cumulative tention

member	tension
1	-3.5911173728E+04
2	-3.5911173728E+04
3	6.0669927966E+03
4	-1.1970391243E+04
5	-1.1970391243E+04
6	-6.8031139413E+03

plastic hinge 3 and
plastic hinge 4 in member 1 near joints 3 and 1
cumulative load factor = 1.0374304496E+00
cumulative deformation

joint	x-movement	y-Movement	rotaion
1	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
2	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
3	-3.4682403202E-02	-1.2780686785E+00	-3.1829809445E-02
4	3.4682403260E-02	-1.2780686785E+00	3.1829809445E-02
5	7.8956326353E-02	-1.4864595987E+00	-2.4210684257E-02
6	-7.8956326237E-02	-1.4864595988E+00	2.4210684257E-02

cumulative moments at joints

member	terminal applied moments		near joints	plastic value
1	-7.3877550464E+04	-1.4695879295E+05	1and3	6.1500000000E+05
2	7.3877550465E+04	1.4695879295E+05	2and4	6.1500000000E+05
3	1.2143063614E+06	-1.2143063614E+06	3and4	5.7500000000E+06

```
  4  -1.0673475685E+06 -9.7358661391E+05 3and5 2.0125000000E+06
  5   1.0673475685E+06  9.7358661391E+05 4and6 2.0125000000E+06
  6   9.7358661390E+05 -9.7358661391E+05 5and6 2.0125000000E+06
cumulative moment in member
member   terminal applied moment  from joint     plastic value
  3  -3.5738501356E+06   3 = 2.0000000000E+02  5.7500000000E+06
  6  -1.4204916346E+06   5 = 2.0000000000E+02  2.0125000000E+06
cumulative tention
member          tension
  1         -3.5911173728E+04
  2         -3.5911173728E+04
  3          6.0669927966E+03
  4         -1.1970391243E+04
  5         -1.1970391243E+04
  6         -6.8031139413E+03
stiffness matrix is singular for plane frame.
```

ภาคผนวก ช.

ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 3

```
<< Frame No. 3 >>

Design Loadfactor:
Loadfactor of First Plastic Hinge       =  1.00
Loadfactor of Plastic Hinge at Collapse =  1.30

<< Try Section No. 1 >>
effective length factor:
  G1 =   10.00   G4 =    1.91     kx[1] =  2.0893
  G2 =    1.00   G5 =    3.82     kx[2] =  1.6204
  G4 =    0.35   G5 =    0.17     kx[3] =  0.6126
  G5 =    3.82   G6 =    1.91     kx[4] =  1.7665
  G6 =    0.52   G7 =    0.70     kx[5] =  0.7097
  G3 =   10.00   G7 =    0.96     kx[6] =  1.8933
plastic hinge 1 in member 3 near joint 5
cumulative load factor =  1.0450205587E+00
member   plastic moment
  1     2.4000000000E+06
  2     2.4000000000E+06
  3     2.1475000000E+06
  4     2.4000000000E+06
  5     2.1475000000E+06
  6     2.4000000000E+06
plastic hinge 2 in member 2 near joint 2
cumulative load factor =  1.0883349058E+00
member   plastic moment
  1     2.4000000000E+06
  2     2.4000000000E+06
  3     2.1475000000E+06
  4     2.4000000000E+06
  5     2.1475000000E+06
  6     2.4000000000E+06
deformation large than  1.0000000000E+06 in cycle no. 3

<< Try Section No. 2 >>
effective length factor:
  G1 =   10.00   G4 =    3.27     kx[1] =  2.3228
  G2 =    1.00   G5 =    6.55     kx[2] =  1.7810
  G4 =    0.20   G5 =    0.10     kx[3] =  0.5713
  G5 =    6.55   G6 =    3.27     kx[4] =  2.1532
  G6 =    0.31   G7 =    0.41     kx[5] =  0.6461
  G3 =   10.00   G7 =    1.64     kx[6] =  2.0359
plastic hinge 1 in member 3 near joint 5
cumulative load factor =  1.1340217123E+00
member   plastic moment
  1     3.0375000000E+06
  2     3.0375000000E+06
  3     2.1475000000E+06
  4     3.0375000000E+06
  5     2.1475000000E+06
  6     3.0375000000E+06
plastic hinge 2 in member 2 near joint 2
cumulative load factor =  1.2724634900E+00
member   plastic moment
  1     3.0375000000E+06
  2     3.0375000000E+06
  3     2.1475000000E+06
```

```
  4      3.0375000000E+06
  5      2.1475000000E+06
  6      3.0375000000E+06
stiffness matrix is singular for plane frame.

<< Try Section No. 3 >>
effective length factor:
  G1 =   10.00   G4 =    2.99     kx[1] =  2.2782
  G2 =    1.00   G5 =    5.98     kx[2] =  1.7540
  G4 =    0.22   G5 =    0.11     kx[3] =  0.5773
  G5 =    5.98   G6 =    2.99     kx[4] =  2.0790
  G6 =    0.33   G7 =    0.45     kx[5] =  0.6561
  G3 =   10.00   G7 =    1.50     kx[6] =  2.0074
plastic hinge 1 in member 3 near joint 5
cumulative load factor =  1.1170342780E+00
member   plastic moment
  1      3.1925000000E+06
  2      3.1925000000E+06
  3      2.1475000000E+06
  4      3.1925000000E+06
  5      2.1475000000E+06
  6      3.1925000000E+06
plastic hinge 2 in member 2 near joint 2
cumulative load factor =  1.4443213020E+00
member   plastic moment
  1      3.1925000000E+06
  2      3.1925000000E+06
  3      2.1475000000E+06
  4      3.1925000000E+06
  5      2.1475000000E+06
  6      3.1925000000E+06
deformation large than  1.0000000000E+06 in cycle no. 3
-------------------------------------------------------
Group          Section       Length(cm)     Weight(kg)
-------------------------------------------------------
  1       W  300 *  84.50       2000           1690.00
  2       W  300 *  56.80       1600            908.80
-------------------------------------------------------
Total Weight(kg):                               2598.80
-------------------------------------------------------

Consider yield stresses at working loads:
effective length factor:
  G1 =   10.00   G4 =    3.40     kx[1] =  2.3426
  G2 =    1.00   G5 =    6.81     kx[2] =  1.7926
  G4 =    0.20   G5 =    0.10     kx[3] =  0.5689
  G5 =    6.81   G6 =    3.40     kx[4] =  2.1862
  G6 =    0.29   G7 =    0.39     kx[5] =  0.6419
  G3 =   10.00   G7 =    1.70     kx[6] =  2.0487
plastic hinge 1 in member 3 near joint 5
cumulative load factor =  1.1733247100E+00
member   plastic moment
  1      3.1925000000E+06
  2      3.1925000000E+06
  3      2.2075000000E+06
  4      3.1925000000E+06
```

```
  5      2.2075000000E+06
  6      3.1925000000E+06
plastic hinge 2 in member 2 near joint 2
cumulative load factor =  1.3314857005E+00
member    plastic moment
  1      3.1925000000E+06
  2      3.1925000000E+06
  3      2.2075000000E+06
  4      3.1925000000E+06
  5      2.2075000000E+06
  6      3.1925000000E+06
deformation large than  1.0000000000E+06 in cycle no. 3
-------------------------------------------------------
Group          Section        Length(cm)     Weight(kg)
-------------------------------------------------------
  1        W  300 *  84.50       2000           1690.00
  2        W  250 *  66.50       1600           1064.00
-------------------------------------------------------
Total Weight(kg):                                2754.00
-------------------------------------------------------

Consider deflection at working loads:
effective length factor:
  G1 =   10.00   G4 =   21.43     kx[1] =  3.5131
  G2 =    1.00   G5 =   42.87     kx[2] =  2.1914
  G4 =    0.03   G5 =    0.02     kx[3] =  0.5116
  G5 =   42.87   G6 =   21.43     kx[4] =  4.9591
  G6 =    0.05   G7 =    0.06     kx[5] =  0.5270
  G3 =   10.00   G7 =   10.72     kx[6] =  3.0578
plastic hinge 1 in member 3 near joint 5
cumulative load factor =  2.5837312208E+00
member    plastic moment
  1      1.8217500000E+07
  2      1.8217500000E+07
  3      3.3175000000E+06
  4      1.8217500000E+07
  5      3.3175000000E+06
  6      1.8217500000E+07
plastic hinge 2 in member 5 near joint 7
cumulative load factor =  2.7513757775E+00
member    plastic moment
  1      1.8217500000E+07
  2      1.8217500000E+07
  3      3.3175000000E+06
  4      1.8217500000E+07
  5      3.3175000000E+06
  6      1.8217500000E+07
stiffness matrix is singular for plane frame.
-------------------------------------------------------
Group          Section        Length(cm)     Weight(kg)
-------------------------------------------------------
  1        W  800 * 191.00       2000           3820.00
  2        W  400 *  66.00       1600           1056.00
-------------------------------------------------------
Total Weight(kg):                                4876.00
-------------------------------------------------------
```

elastic-plastic Analysis from design section:
effective length factor:

G1 =	10.00	G4 =	21.43	kx[1] =	3.5131
G2 =	1.00	G5 =	42.87	kx[2] =	2.1914
G4 =	0.03	G5 =	0.02	kx[3] =	0.5116
G5 =	42.87	G6 =	21.43	kx[4] =	4.9591
G6 =	0.05	G7 =	0.06	kx[5] =	0.5270
G3 =	10.00	G7 =	10.72	kx[6] =	3.0578

plastic hinge 1 in member 3 near joint 5
cumulative load factor = 2.5837312208E+00
cumulative deformation

joint	x-movement	y-movement	rotaion
1	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	-2.7663018252E-03
2	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
3	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	-4.3751976011E-03
4	1.1442942772E+00	-5.2702680240E-03	-3.0496034283E-03
5	1.0457367788E+00	-1.5457514054E-02	-3.8392619800E-03
6	2.8926399365E+00	-2.0632562595E-02	-5.0938445918E-03
7	2.8749414449E+00	-2.0755369993E-02	-2.0306352159E-03

cumulative moments at joints

member	terminal applied moments	near joints	plastic value
1	-3.9424609692E-05 -7.5556537541E+05	1and4	1.8217500000E+07
2	1.0678038218E+07 4.3872651736E+05	2and5	1.8217500000E+07
3	7.5556537538E+05 -3.3175000000E+06	4and5	3.3175000000E+06
4	2.8787734827E+06 -4.6719834278E+05	5and6	1.8217500000E+07
5	4.6719834281E+05 -3.1264739407E+06	6and7	3.3175000000E+06
6	-4.9280762116E-06 3.1264739407E+06	3and7	1.8217500000E+07

cumulative moment in member

member	terminal applied moment	from joint	plastic value
3	-1.9382794224E+06	4 = 4.0000000000E+02	3.3175000000E+06
5	-2.1779759683E+06	6 = 4.0000000000E+02	3.3175000000E+06

cumulative tension

member	tension
1	-6.7346119944E+03
2	-1.9752384334E+04
3	-2.1762973989E+04
4	-6.6129357779E+03
5	-3.9080924259E+03
6	-1.3261124773E+04

plastic hinge 2 in member 5 near joint 7
cumulative load factor = 2.7513757775E+00
cumulative deformation

joint	x-movement	y-movement	rotaion
1	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	-6.7614925292E-03
2	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
3	0.0000000000E+00	0.0000000000E+00	-4.6146452786E-03
4	2.7165833436E+00	-5.2702680240E-03	-6.8513900183E-03
5	1.0924651005E+00	-1.6824369593E-02	-4.0526072057E-03
6	3.0470790110E+00	-2.2357139636E-02	-5.3987567481E-03
7	3.0282991500E+00	-2.2058195065E-02	-2.1268312554E-03

cumulative moments at joints

member	terminal applied moments	near joints	plastic value
1	-1.8960186267E-05 -2.3975660334E+05	1and4	1.8217500000E+07
2	1.1043729755E+07 2.3542633712E+05	2and5	1.8217500000E+07
3	2.3975660333E+05 -3.3175000000E+06	4and5	3.3175000000E+06
4	3.0820736629E+06 -5.0810716665E+05	5and6	1.8217500000E+07

```
  5   5.0810716667E+05 -3.3175000000E+06 6and7 3.3175000000E+06
  6  -4.7681979035E-06  3.3175000000E+06 3and7 1.8217500000E+07
cumulative moment in member
member terminal applied moment    from joint     plastic value
  3  -2.4540881944E+06   4 = 4.0000000000E+02  3.3175000000E+06
  5  -2.3199129128E+06   6 = 4.0000000000E+02  3.3175000000E+06
cumulative tension
member        tension
  1       -6.7346119944E+03
  2       -2.1499020685E+04
  3       -2.1762973989E+04
  4       -7.0700501987E+03
  5       -4.1468750000E+03
  6       -1.4093532282E+04
stiffness matrix is singular for plane frame.
```

ประวัติผู้เขียน

นายวิริยะ สารพา เกิดเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2496 ณ จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาได้รับปริญญา Diplom - Ingenieur สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยี Giessen - Friedberg เมื่อปีการศึกษา 2522 และเข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2532