

เอกสารอ้างอิง

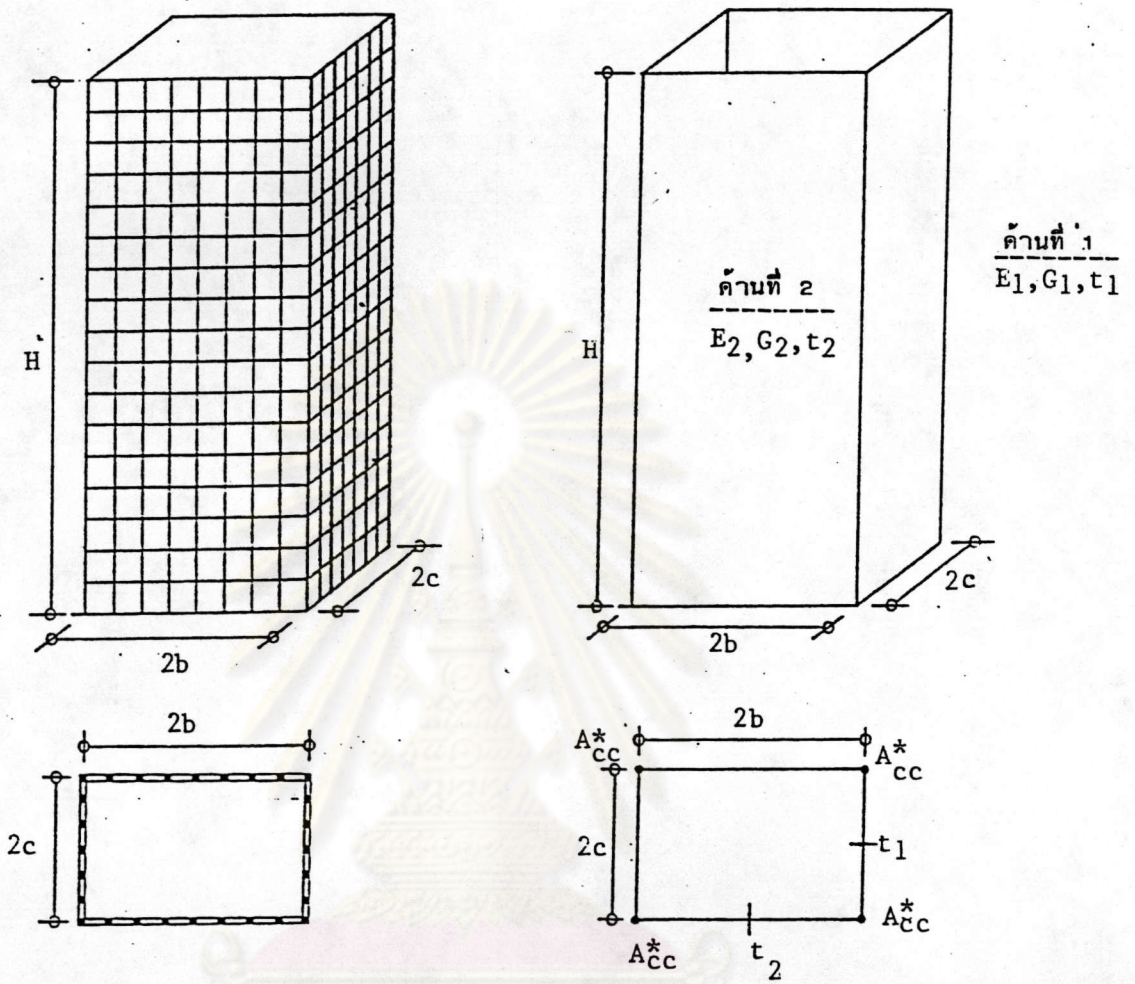


1. Coull, A. and Subedi, N.K., "Framed Tube Structures for High-rise Buildings," Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers., 97, ST 8 (August 1971), pp 2097-2105
2. Rutenberg, A., "Analysis of Tube Structures Using Plane Frame Programs," Proceeding of the Regional Conference on Tall Building, Bangkok, Asian Institute of Technology, 1974, pp. 397-413
3. Khan, F.R. and Amin, N.R., "Analysis and Design of Framed Tube Structures for Tall Concrete Buildings," Response of Multistory Concrete Structures to Lateral Forces, Publication SP-36. Detroit : American Concrete Institute, 1973, pp. 39-60
4. Coull, A. and Bose, B., "Simplified Analysis of Framed Tube Structures," Journal of the Structural Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers., 101, ST. 11 (November 1975), pp. 2223-2240
5. Coull, A. and Bose, B., "Torsion of Framed Tube Structures," Journal of the Structure Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers., 102 ,ST. 12 (December 1976 ), pp. 2366-2370
6. Coull, A. and Ahmed, A.K., "Deflection of Framed Tube Structures," Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers., 104, ST. 5 (May 1978), pp. 857-862

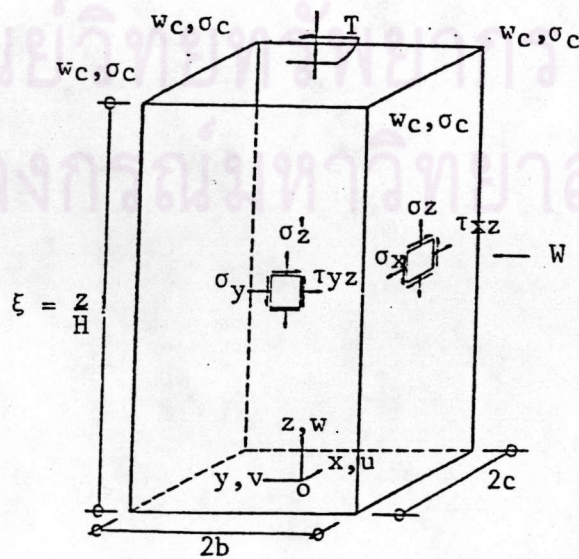
7. Watanavong, S., "Approximate Analysis of Framed Tube Structures Subjected to Lateral Load," Master's Thesis, Department of Civil Engineers, Graduate School, Chulalongkorn University, 1978
8. Phuaprapat, P., "Approximate Analysis of Framed Tube Structures Subjected to Torsional Loading," Master's Thesis, Department of Civil Engineers, Graduate School, Chulalongkorn University, 1979
9. Coull, A. and Adams, N.W., "A Simple Method of Analysis of the Load Distribution in Multistory Shear Wall Structures," Response of Multistory, Concrete Structures to Lateral Forces, Publication SP 36-9, ACI, 1973, pp. 187-216
10. Coull, A. and Mohammed, T.H., "Simplified Analysis of Lateral Load Distribution in Structures Consisting Frames, Coupled Shear Wall and Cores," The Structural Engineer, Vol. 61B No. 1, March 1983, pp. 1-8
11. Saengboonsong, T., "An Approximate Lateral Load Distribution in Nonuniform Building Frames," Master's Thesis, Department of Civil Engineers, Graduate School, Chulalongkorn University, 1985
12. ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, "การวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างในอาคารสูงประกอบด้วย โครงข้อแข็งและกำแพงด้วยไมโครคอมพิวเตอร์," วิศวกรรมสาร เล่มที่ 4, สิงหาคม 2527, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
13. ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, "การใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์อย่างประมาณเพื่อหาค่า การกระจายของแรงด้านข้างในอาคารสูง ประกอบด้วยผนังรับแรงเฉือนและ โครงข้อแข็ง," จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528, หน้า 1-53



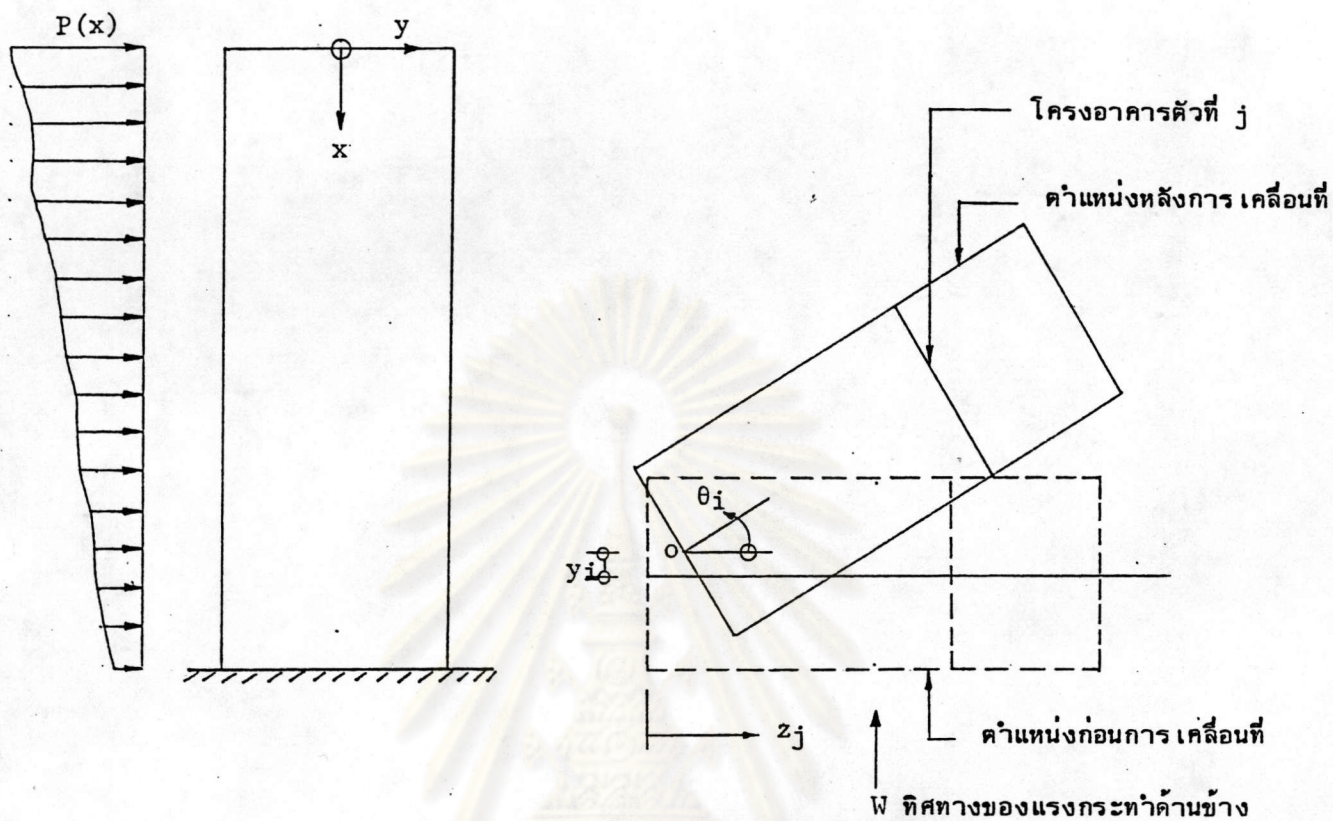
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



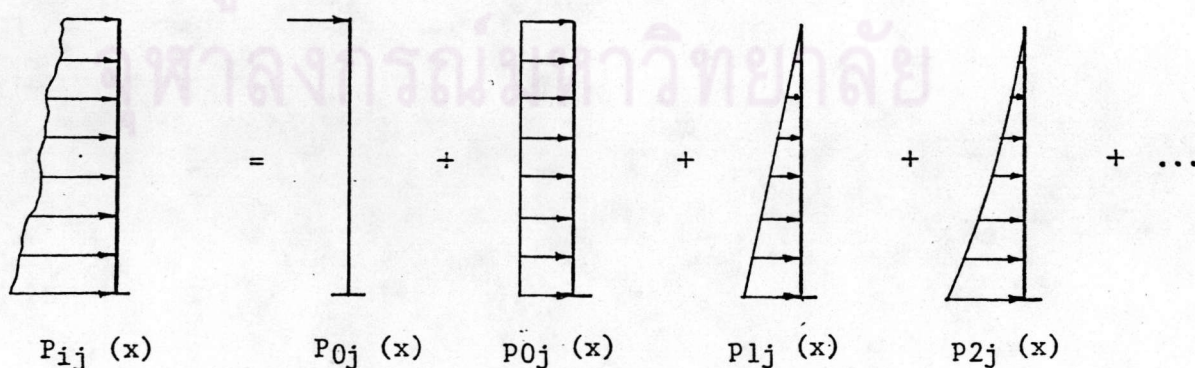
รูปที่ 1. การแทนโครงสร้างดิสครีต (Discrete Structure) ด้วยกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก



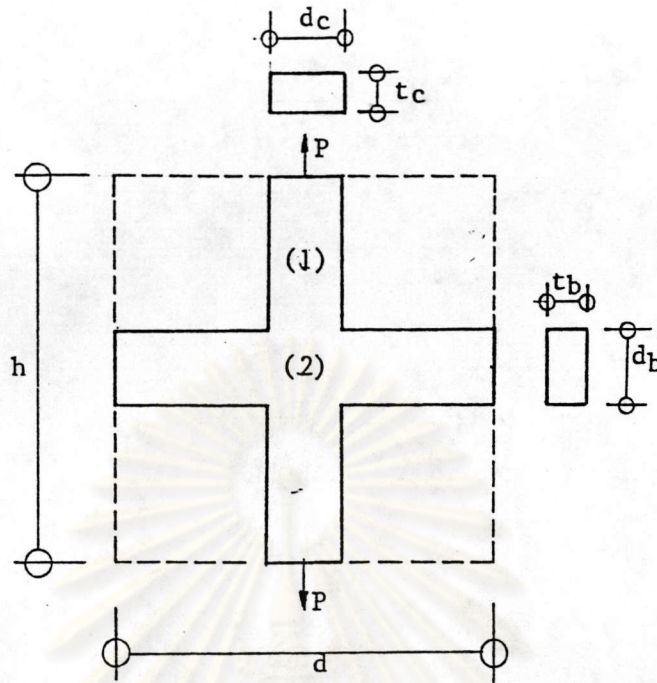
รูปที่ 2. ทิศทางของแกน  $x, y, z$  ความเค้น การเคลื่อนที่ และขนาดของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก



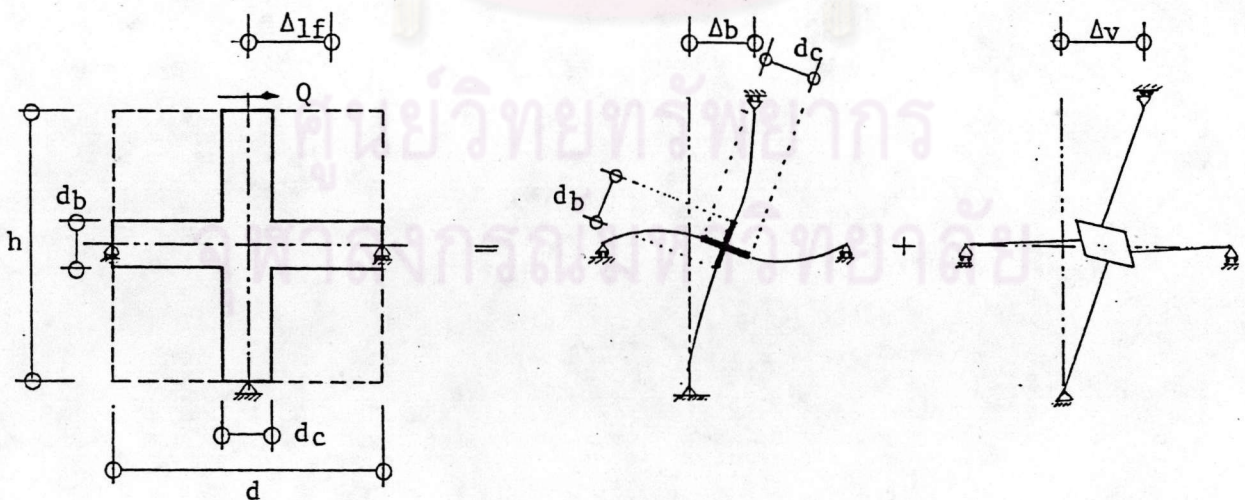
รูปที่ 3. แกนอ้างอิง  $x, y, z$  และลักษณะการเคลื่อนที่ของโครงอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์



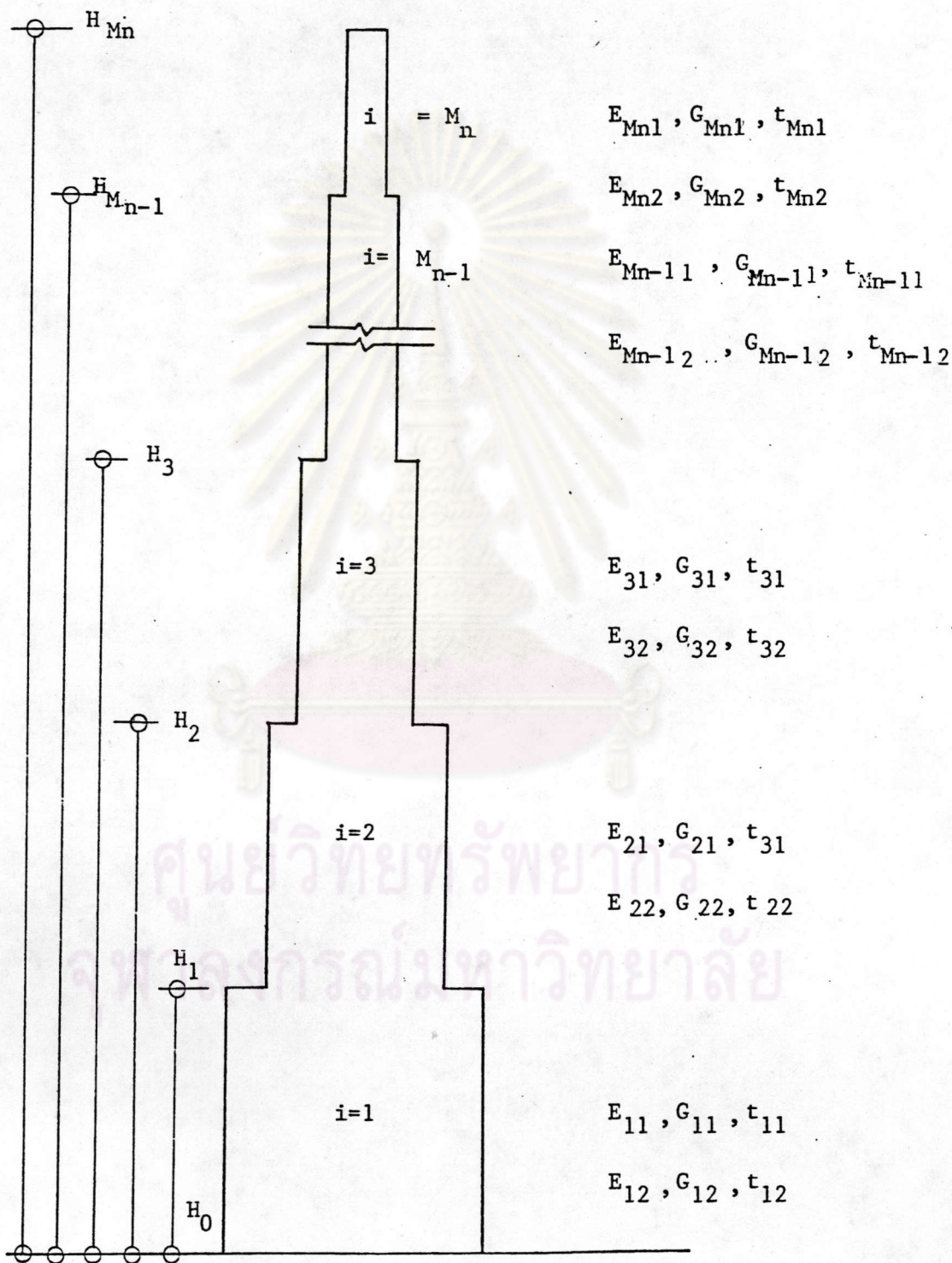
รูปที่ 4. การแทนแรงกระทำด้านข้าง  $P(x)$  ด้วยแรงกระทำเป็นจุดที่จุดยอดสุด และแรงในรูปโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ



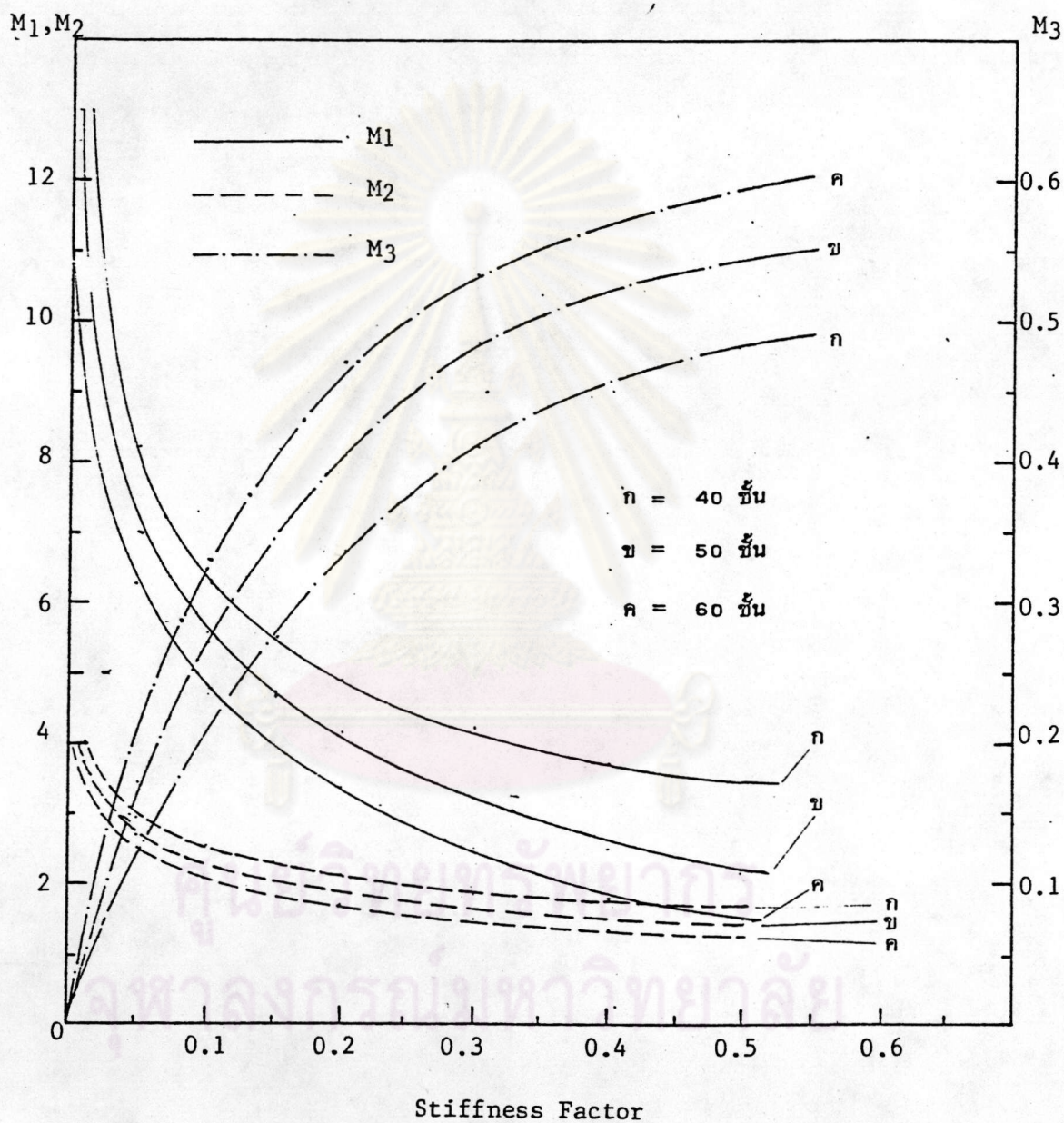
รูปที่ 5. การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)  $E_z$  ของกล่องเหลี่ยมเท่าออร์โททรอปิก



รูปที่ 6. การหาค่าโมดูลัสการเฉือน (Shear modulus)  $G_{zs}$  ของกล่องเหลี่ยมเท่าออร์โททรอปิก

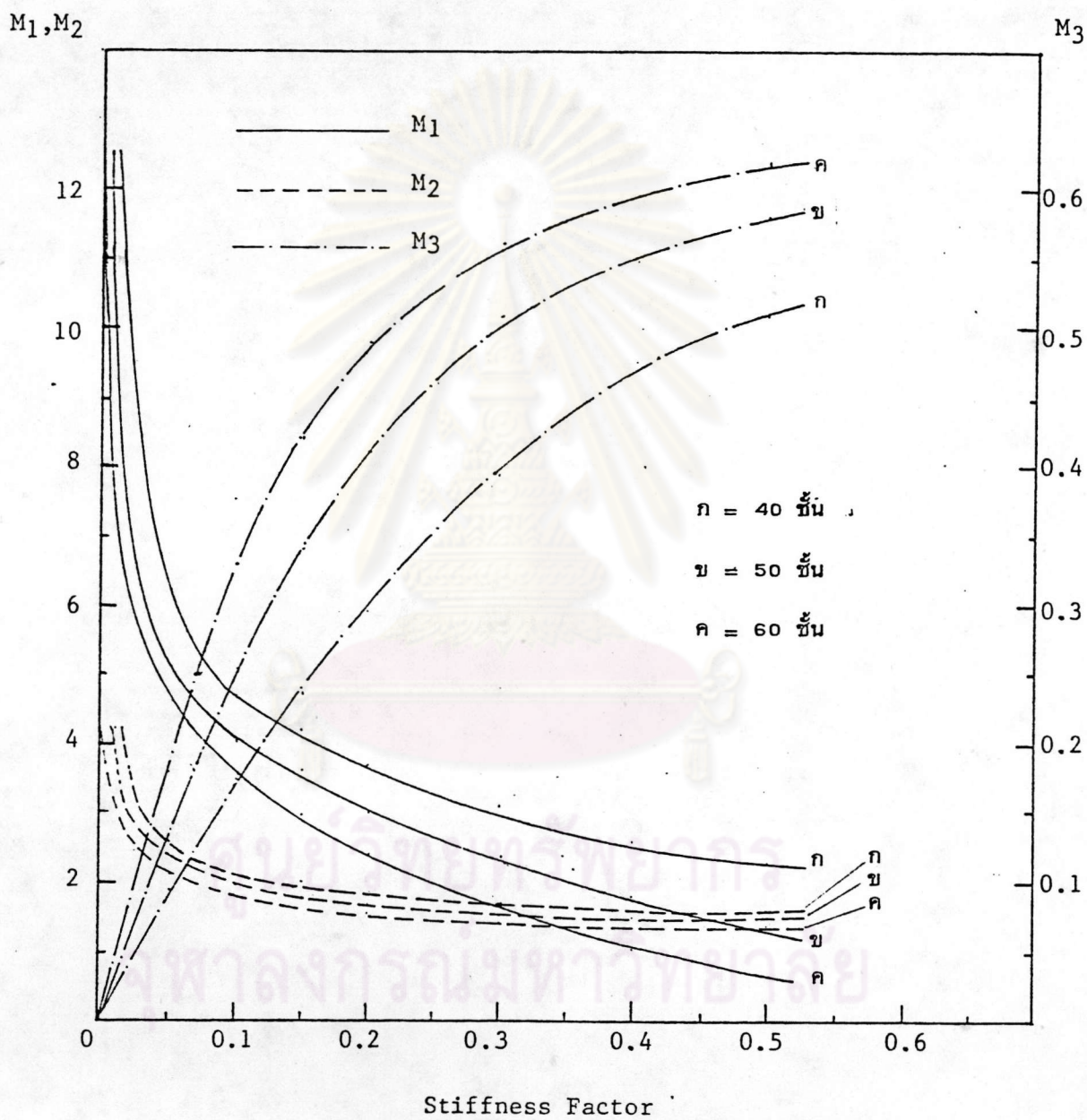


รูปที่ 7. แสดงสัญลักษณ์การแปรเปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนตามความสูง

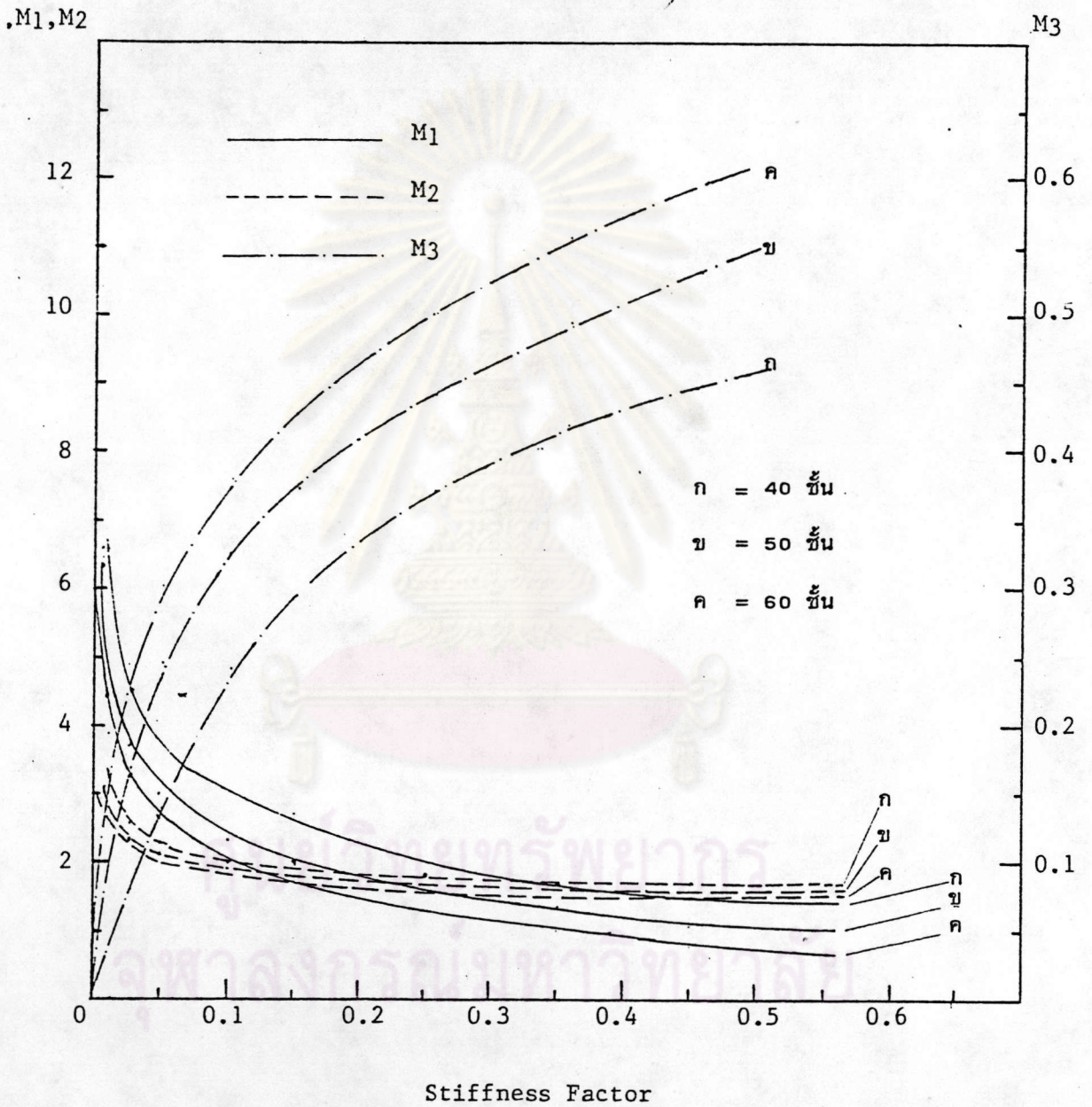


รูปที่ 8. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  (Aspect Ratio = 0.5)

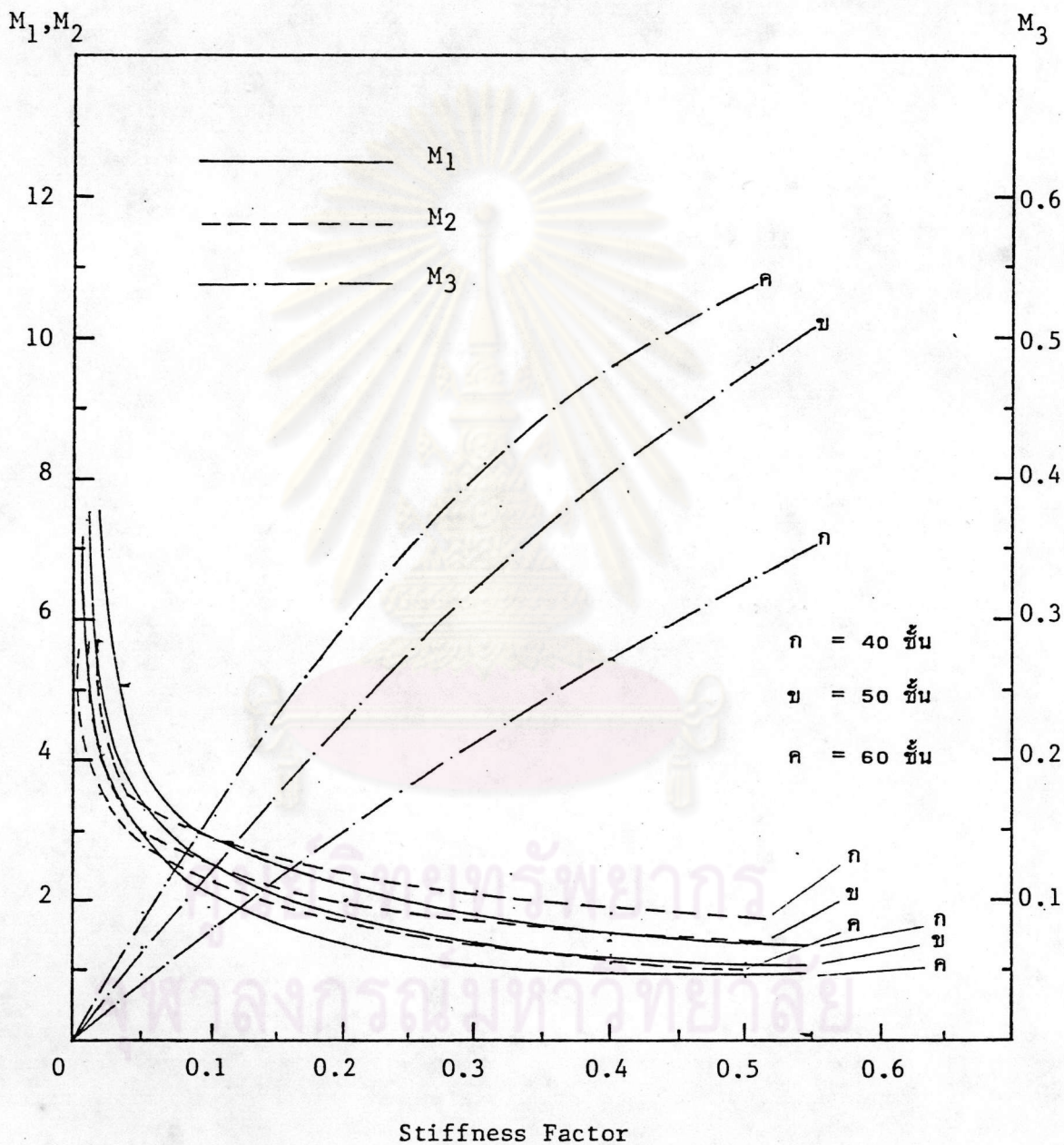




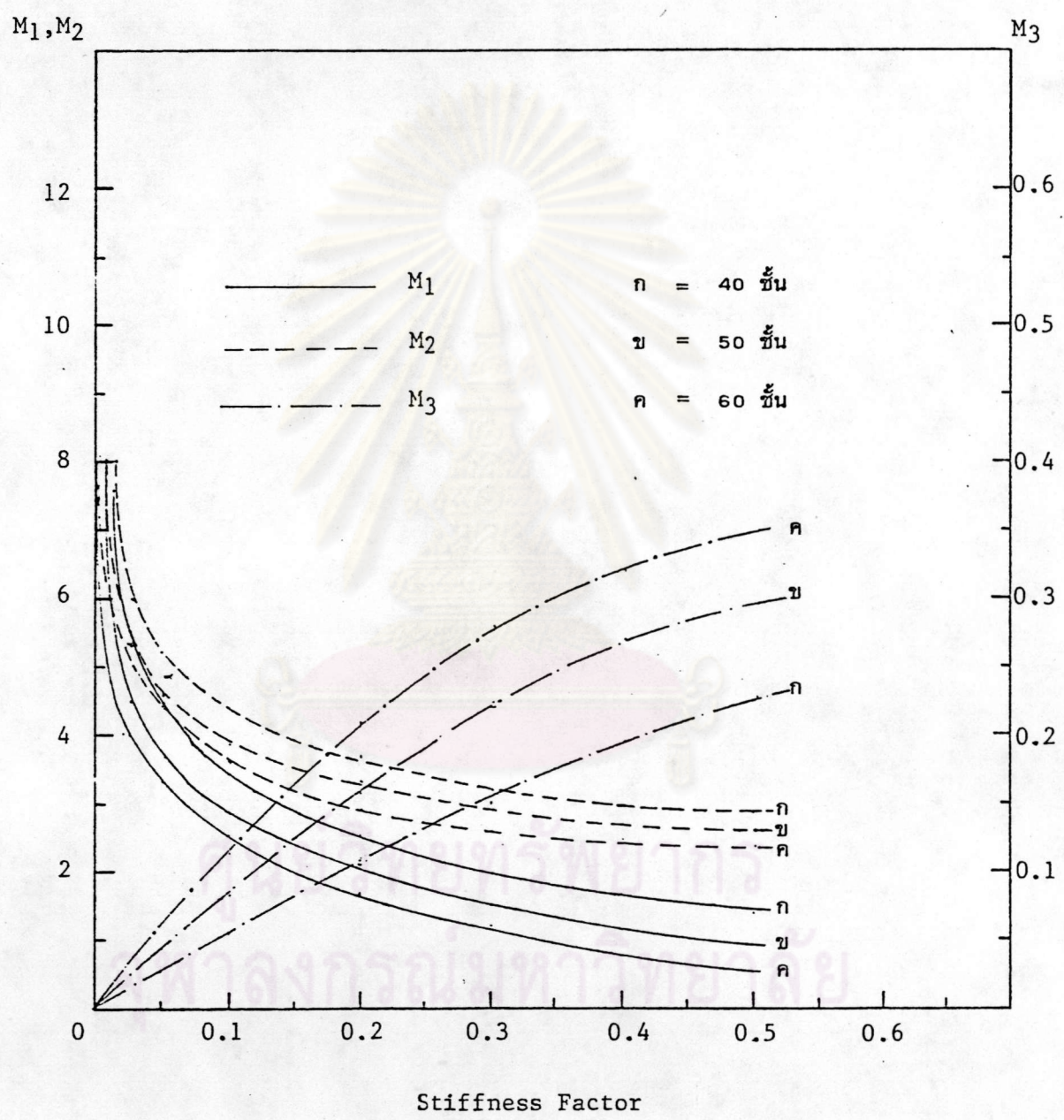
รูปที่ 9. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  (Aspect Ratio = 0.666)



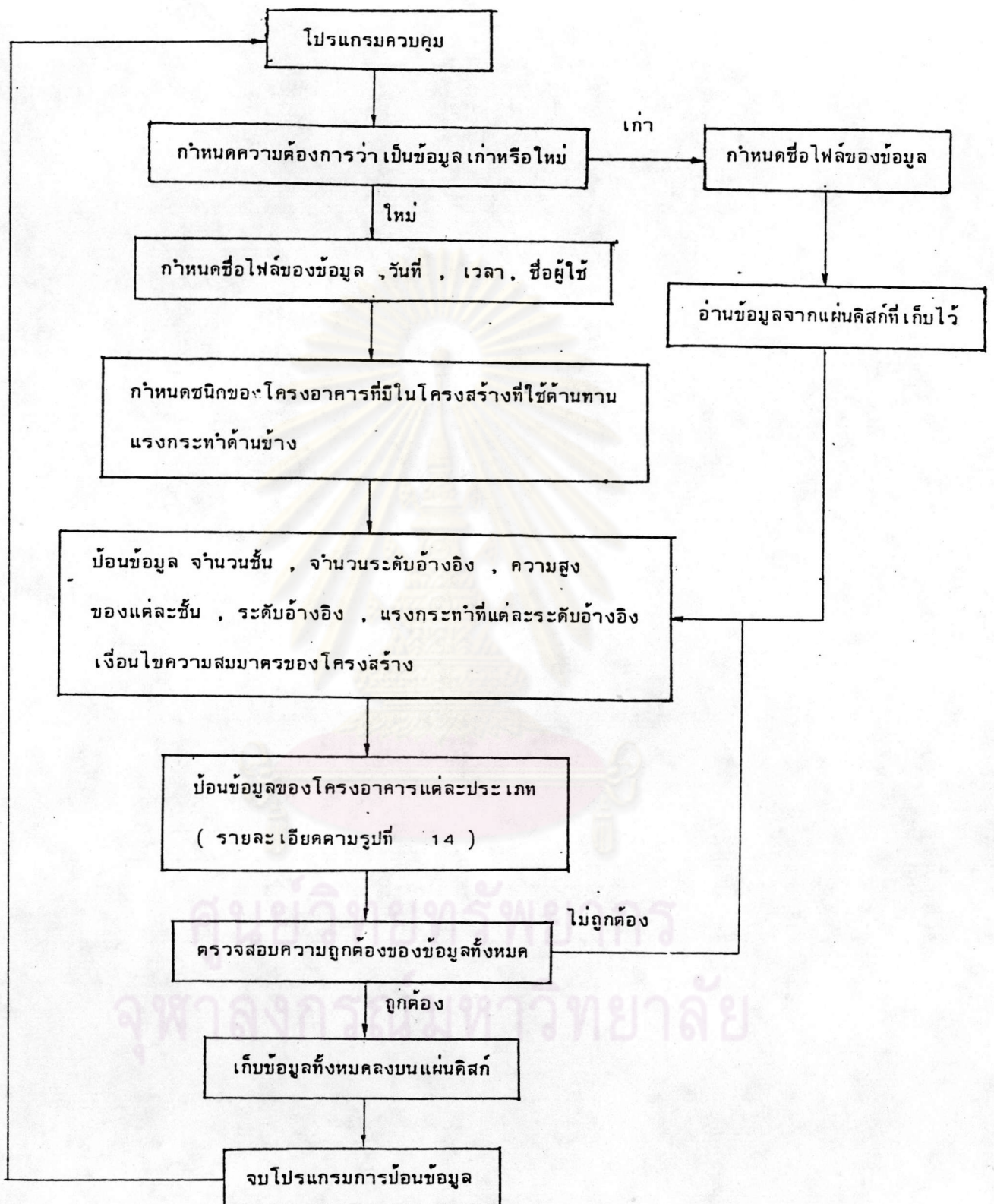
รูปที่ 10. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  (Aspect Ratio = 1.00)



รูปที่ 11. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  (Aspect Ratio = 1.50)

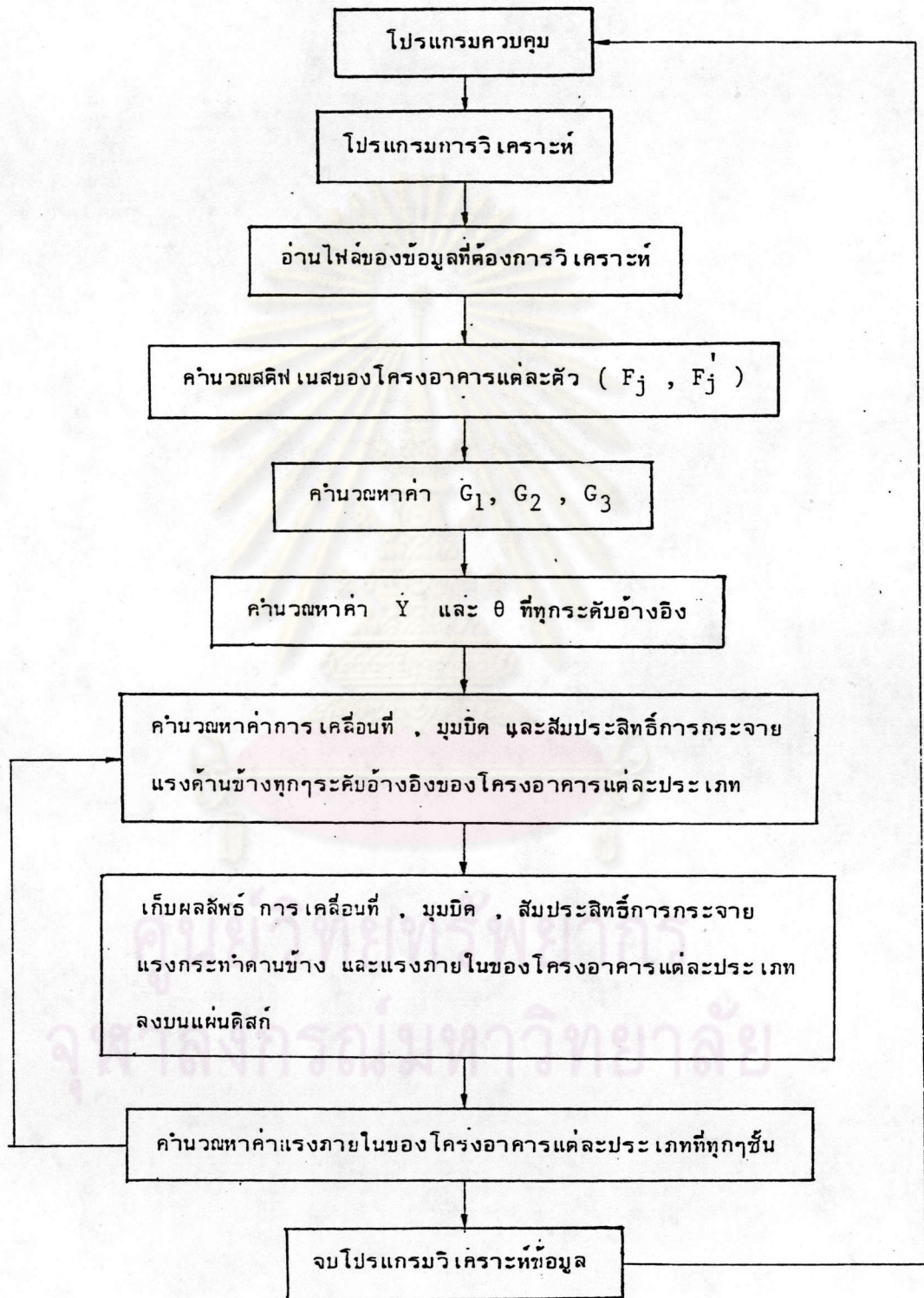


รูปที่ 12. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $M_1$  ,  $M_2$  ,  $M_3$  (Aspect Ratio = 2.00)

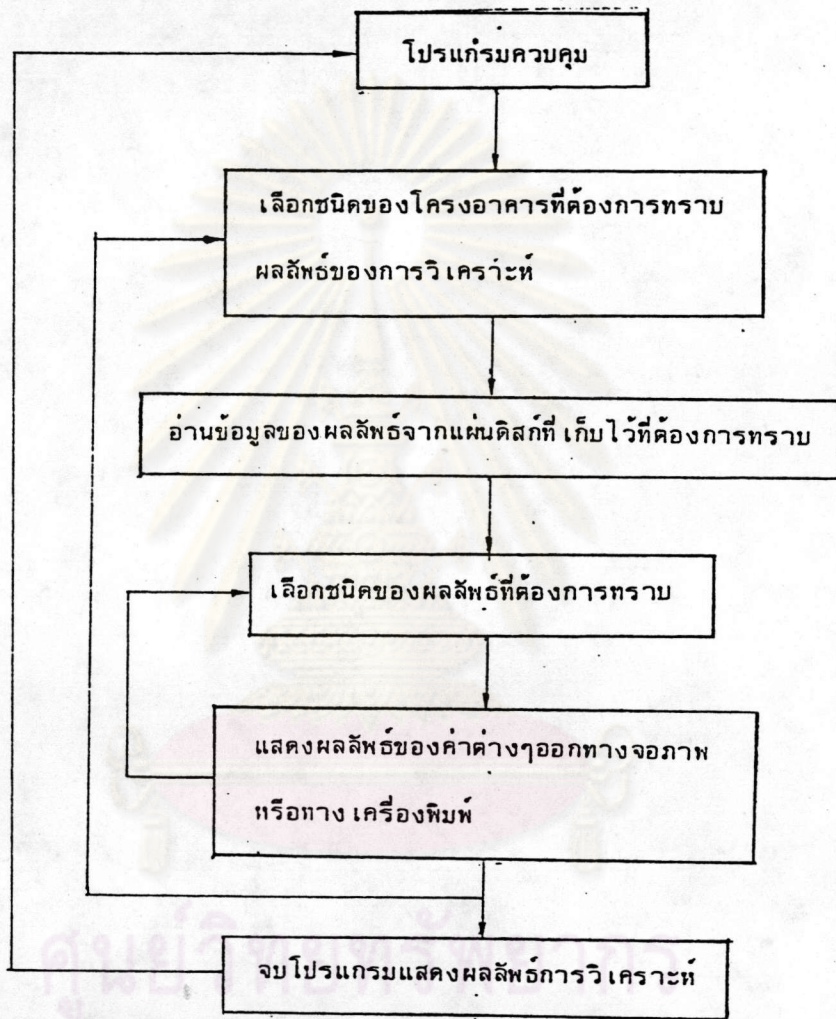


รูปที่ 13. แสดงขั้นตอนต่างๆของ โปรแกรมการบ่อนข้อมูล



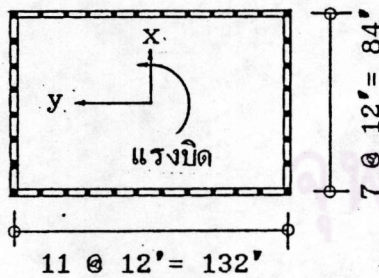
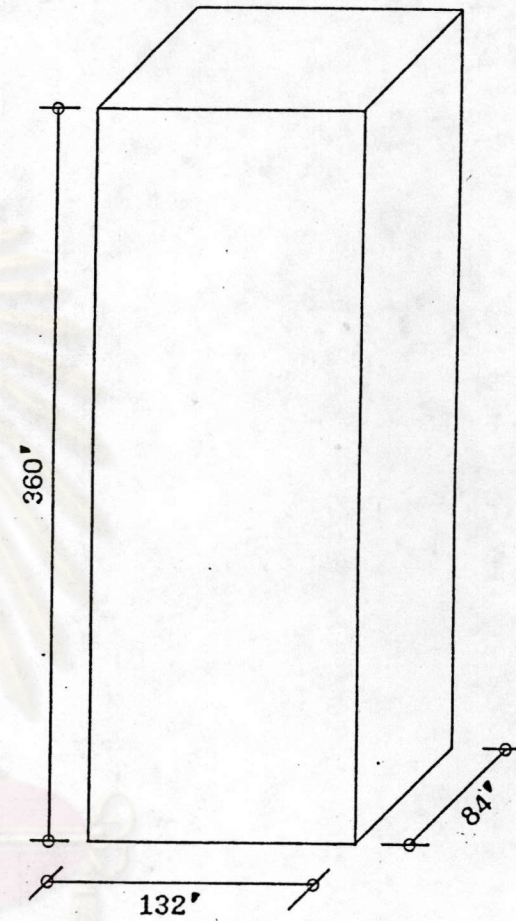
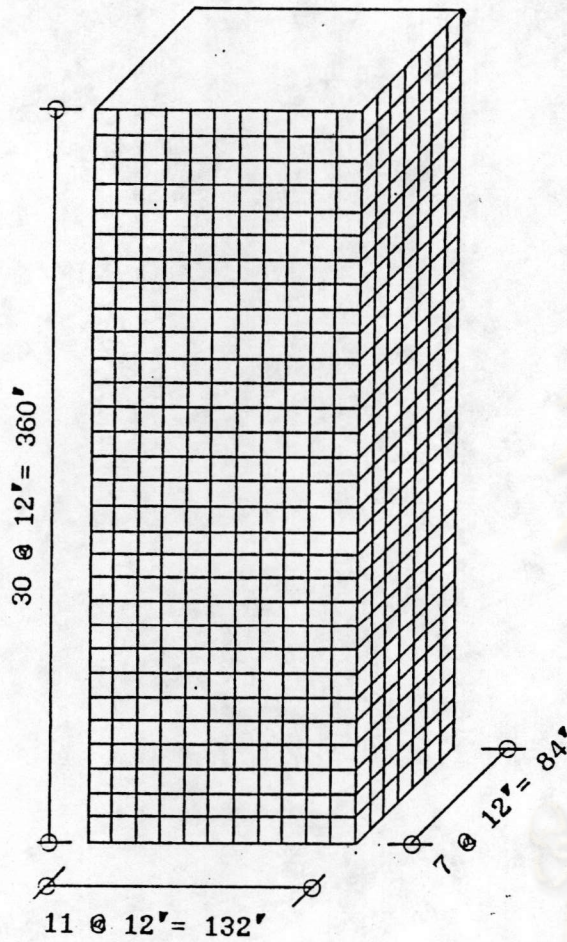


รูปที่ 15. แสดงขั้นตอนต่างๆของโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล

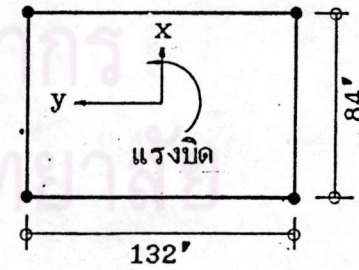


รูปที่ 16. แสดงขั้นตอนต่างๆของ โปรแกรมแสดงผลการวิเคราะห์





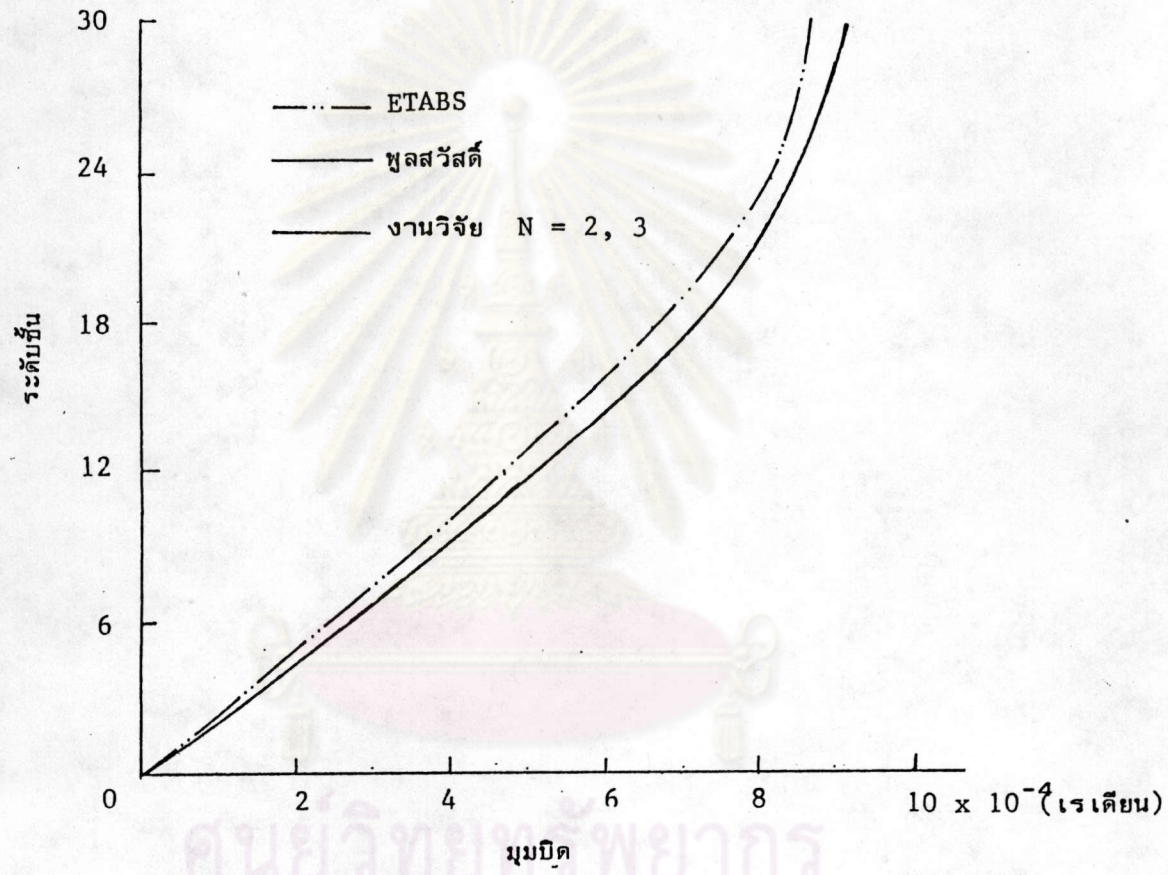
(ก)



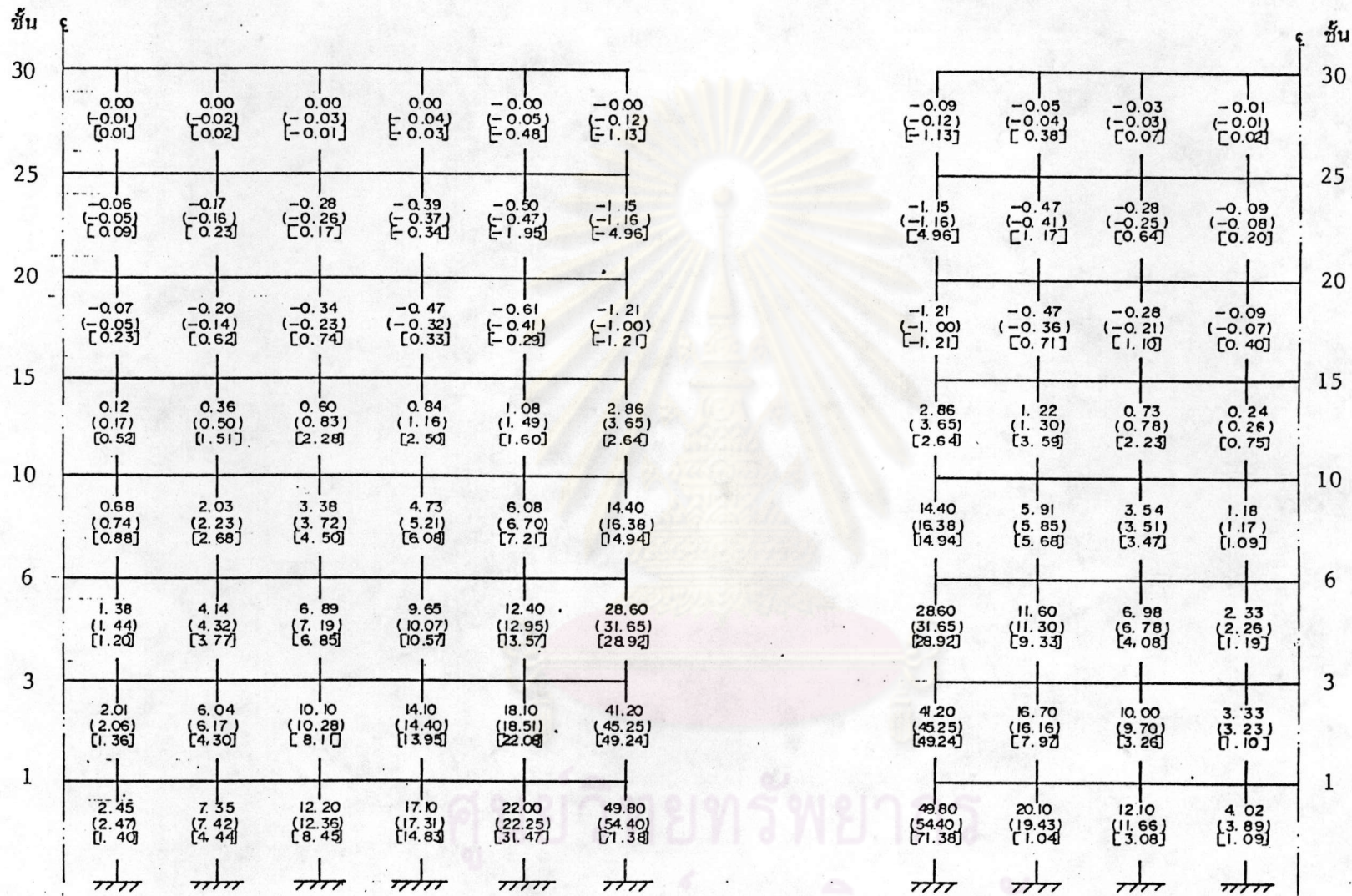
(ข)

รูปที่ 17 ก. แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไประบบโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 1)

ข. แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไประบบกล่องเทียบเท่าออร์โทโทรปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1)

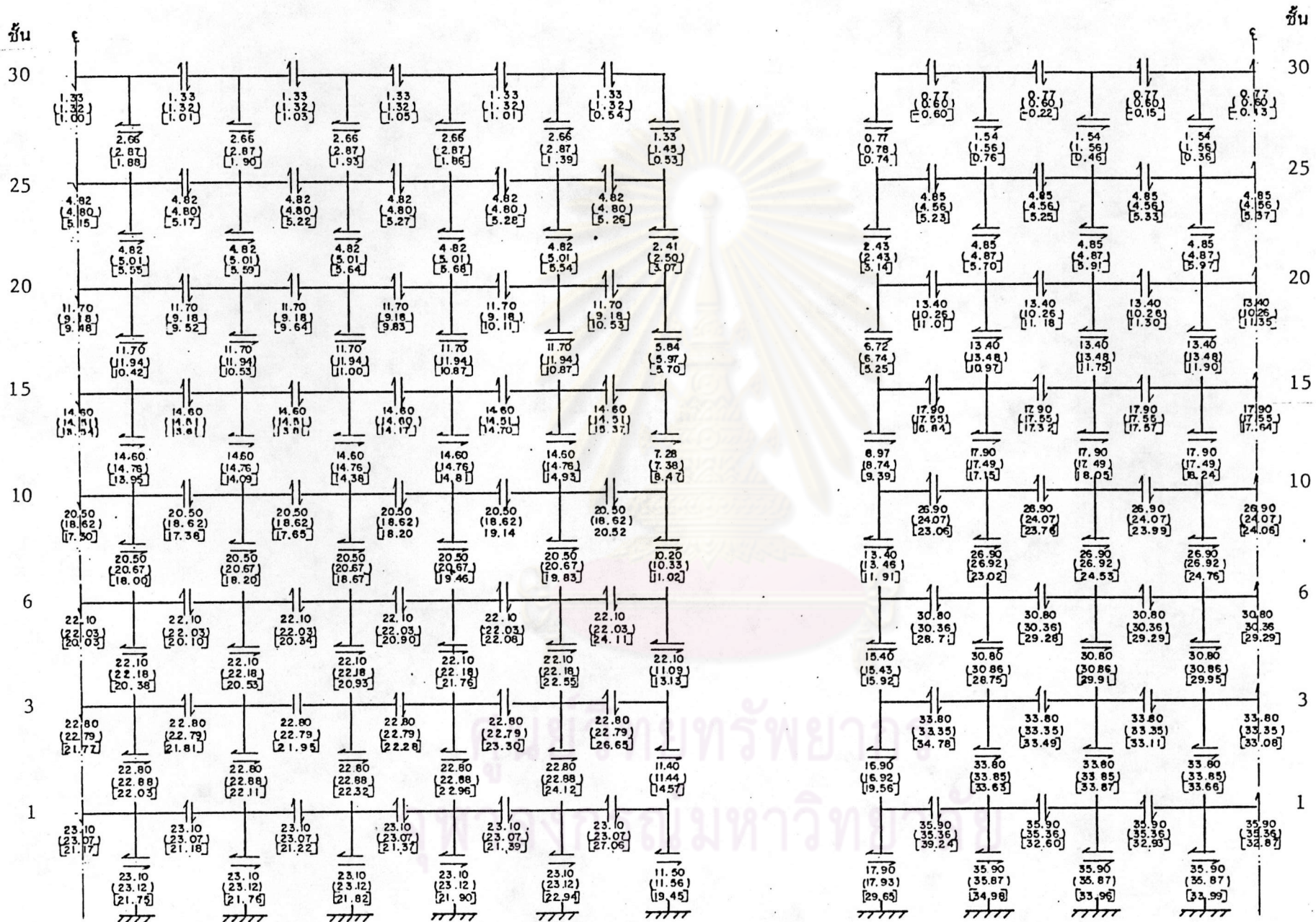


รูปที่ 18. มุมบิดที่ชั้นต่างๆ (ตัวอย่างที่ 1)



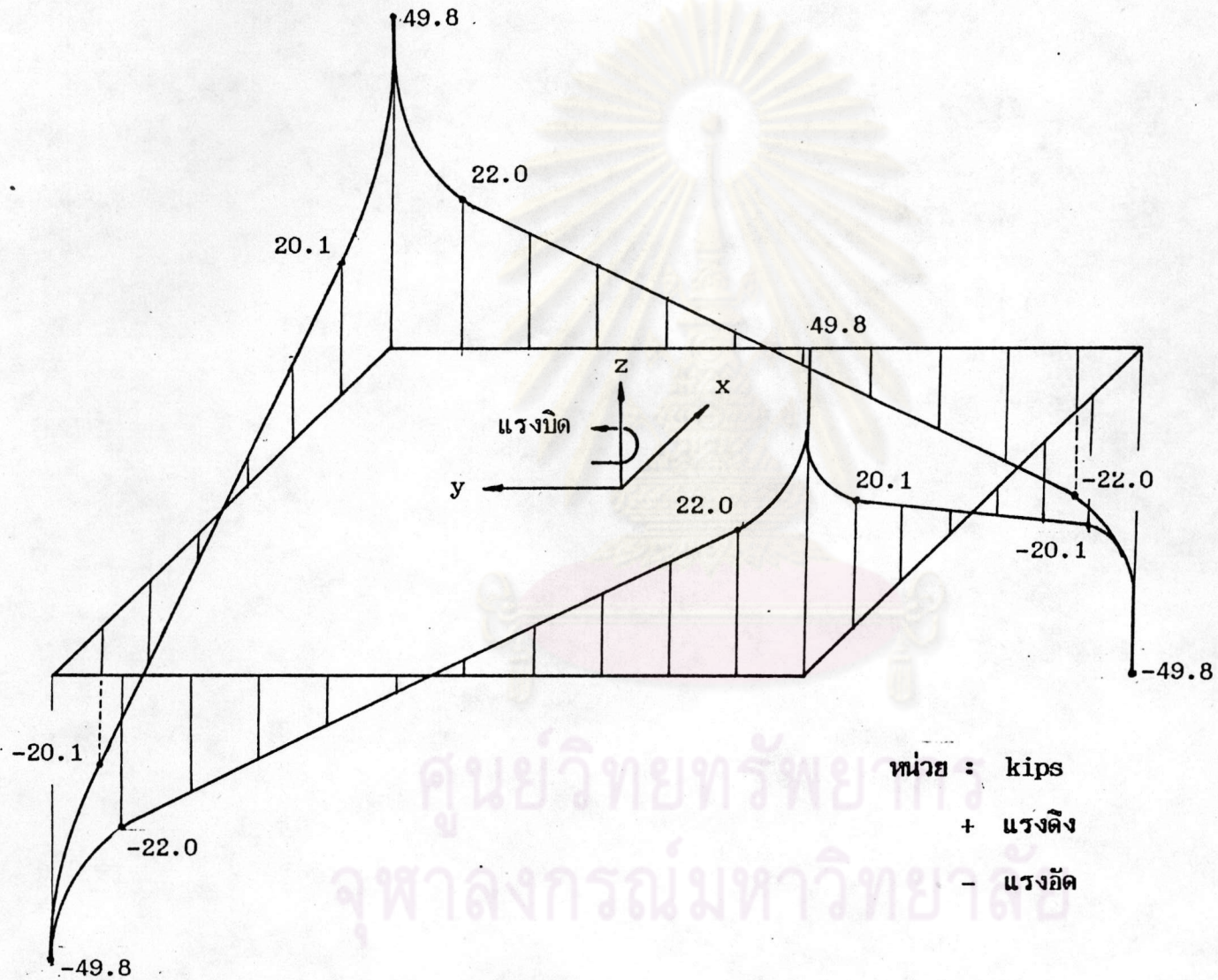
หมายเหตุ ( ) ผลลัพธ์ของพหุคูณวัด  
[ ] ผลลัพธ์ของ ETABS

รูปที่ 19. แรงในแนวแกนของเสาต้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ตัวช่างที่ 1)

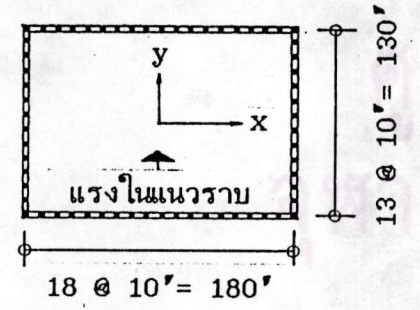
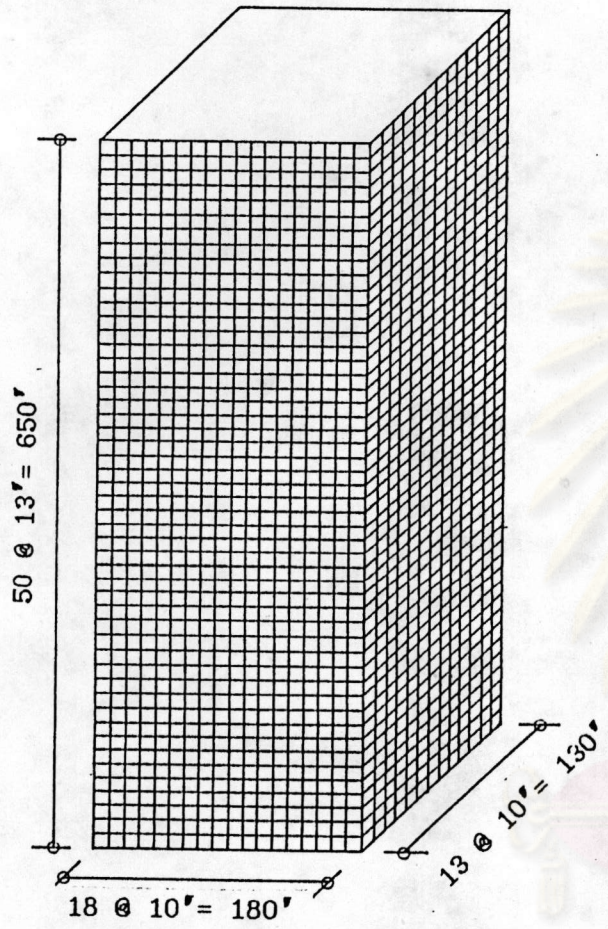


หมายเหตุ ( ) ผลลัพธ์ของพูลวอล์ค  
 [ ] ผลลัพธ์ของ ETABS

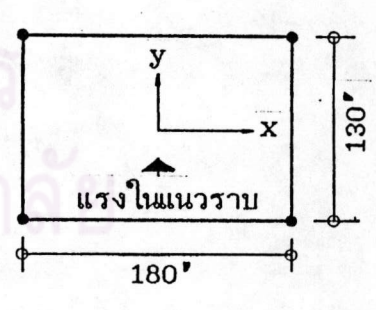
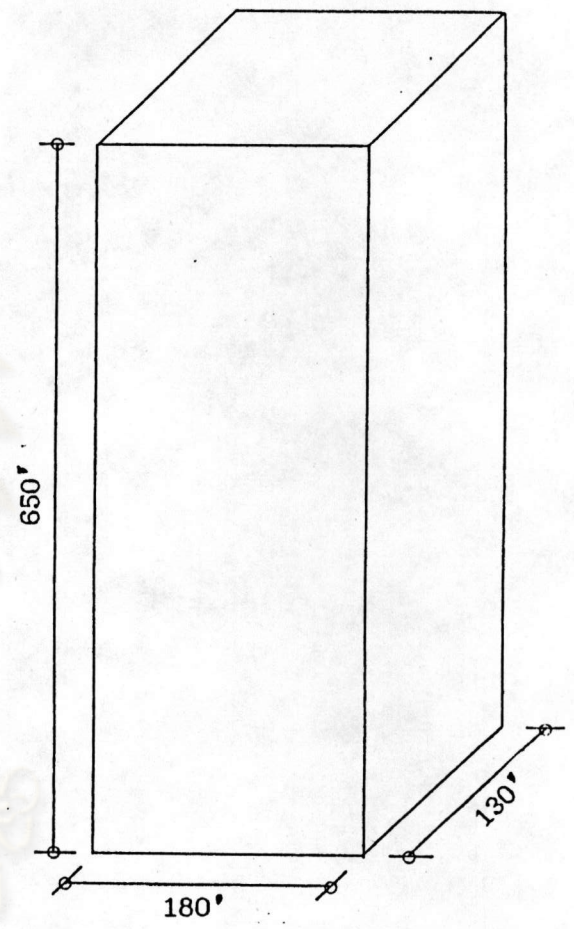
รูปที่ 20. แรงเฉือนในเสาและคานของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ตัวอย่างที่ 1)



รูปที่ 21. แสดงการกระจายแรงในแนวแกนของเสาที่เกิดขึ้นจากแรงบิดอย่างเดีวที่ชั้นล่างสุด (ตัวอย่างที่ 1)



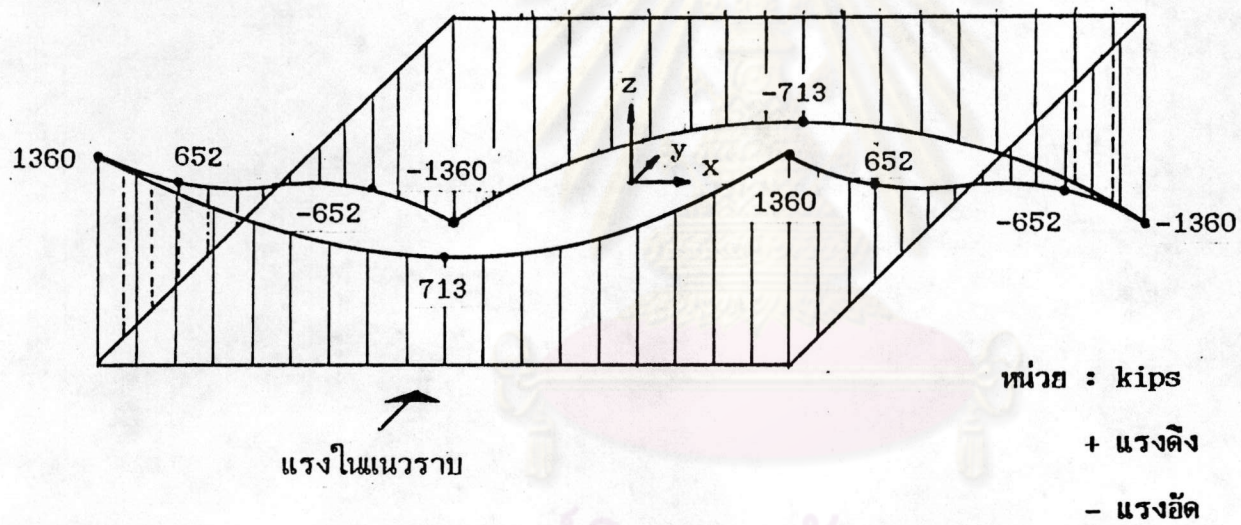
(ก)



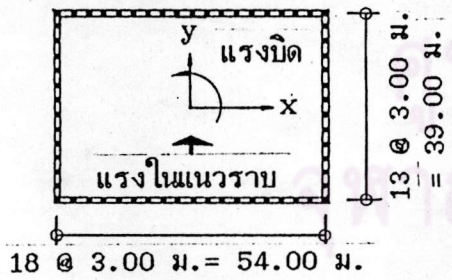
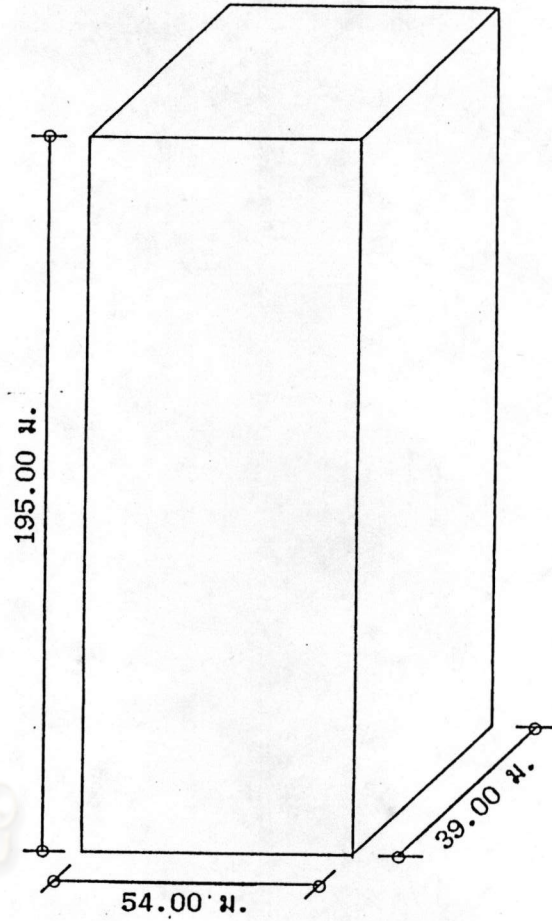
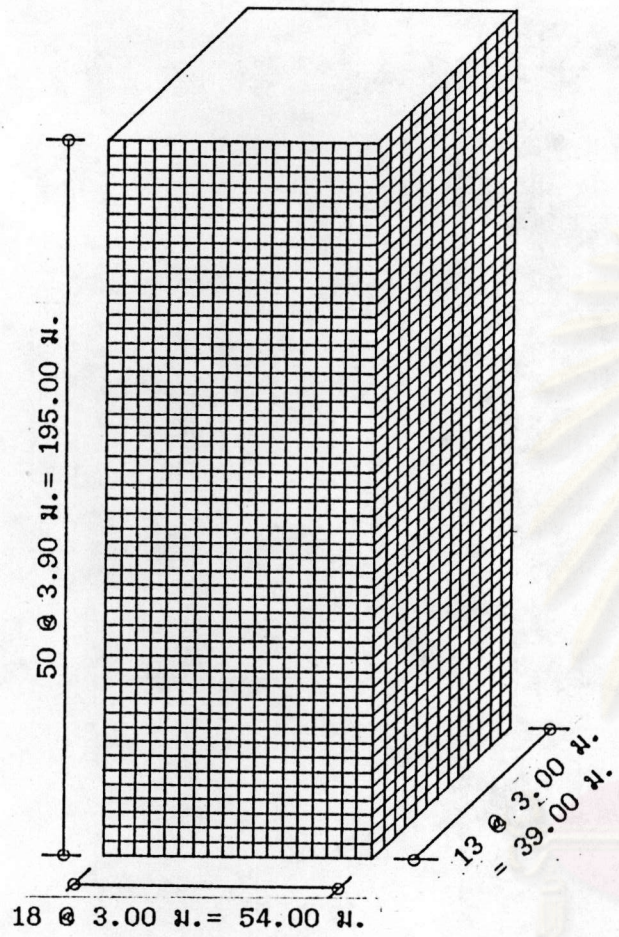
(ข)

รูปที่ 22 ก. แสดงมิติและแปลนพื้นขึ้นทั่วไปของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 2)

ข. แสดงมิติและแปลนพื้นขึ้นทั่วไปของกล่องเทียบเท่าออร์โทโทรปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2)



รูปที่ 23. แสดงการกระจายแรงในแนวแกนของเสาที่เกิดขึ้นจากแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางเดียวกันที่นั่นล่างสุด (ตัวอย่างที่ 2)



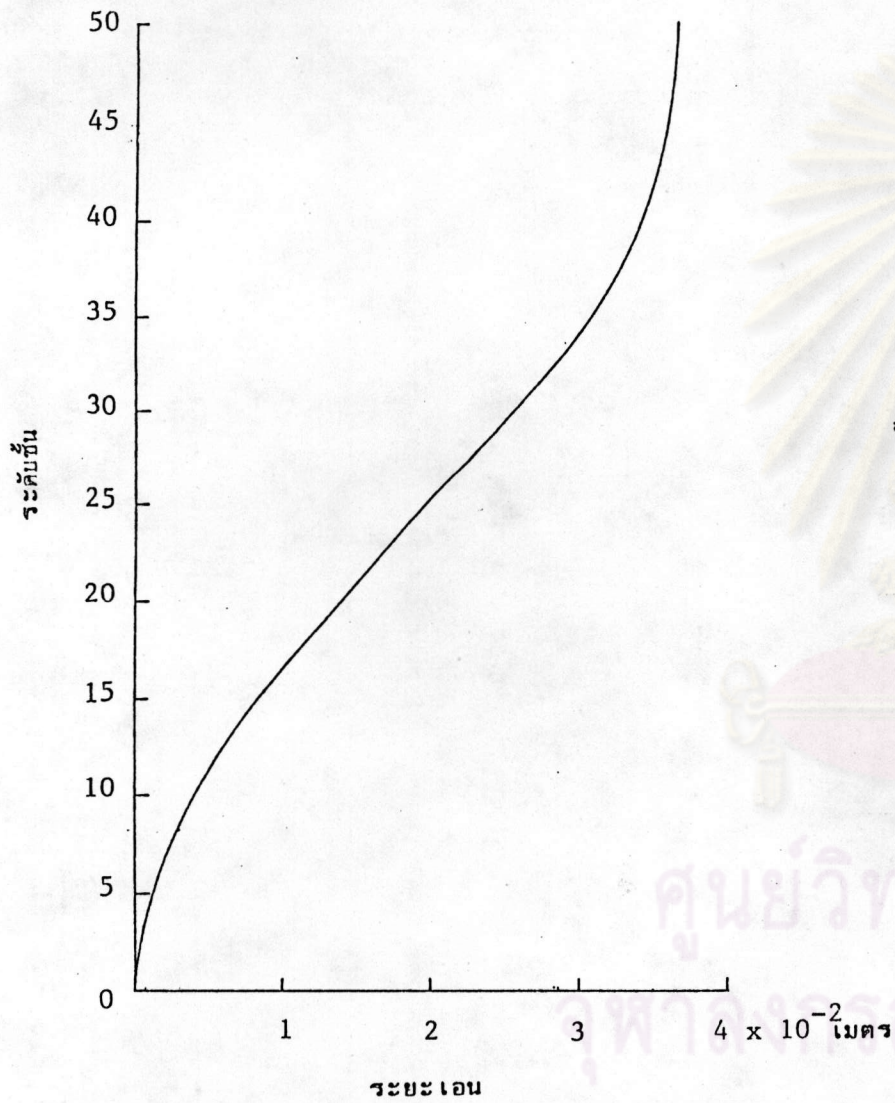
(ก)

(ข)

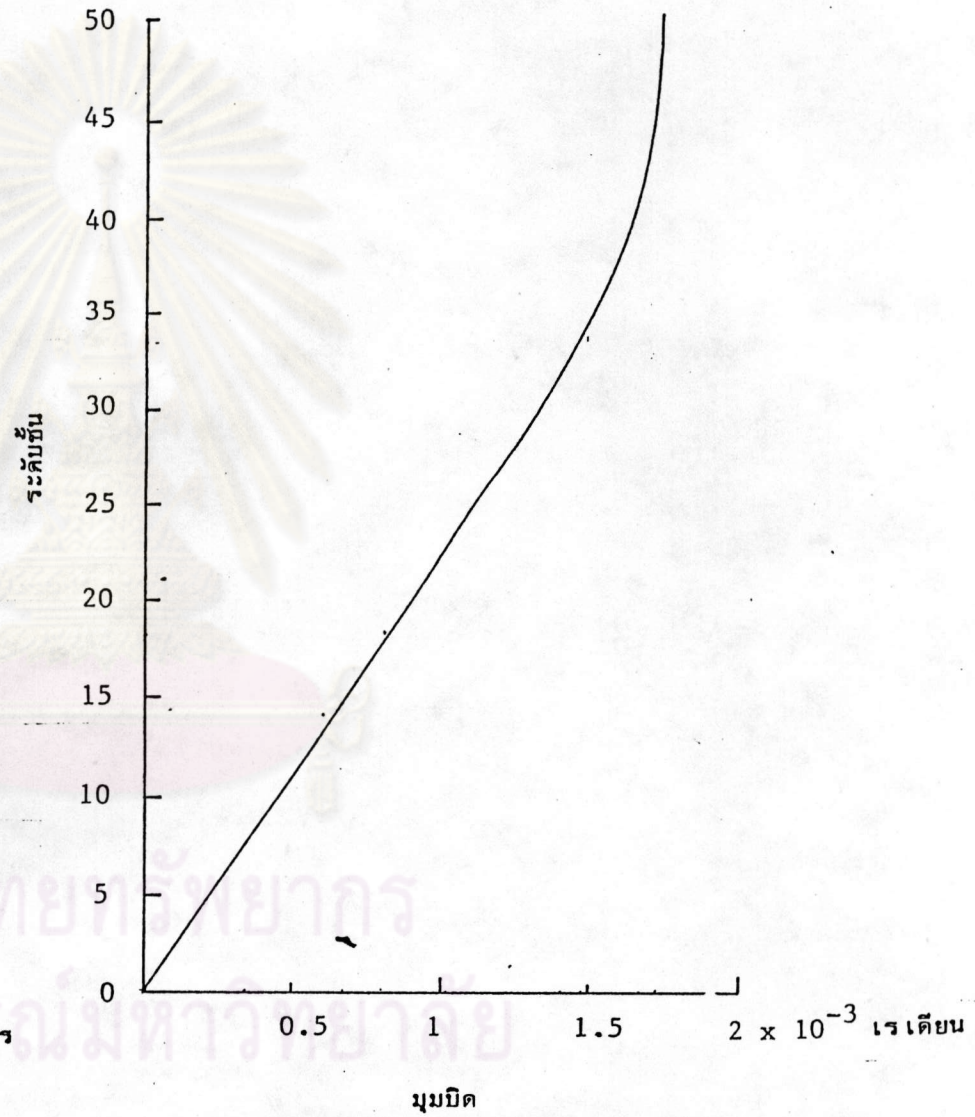
รูปที่ 24 ก. แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของโครงข้อหนึ่งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 3)

ข. แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของกล่องเทียบเท่าออร์โททอปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3)





รูปที่ 25. ระยะเอนที่ระดับชั้นต่างๆ (ตัวอย่างที่ 3)



รูปที่ 26. มุมบิดที่ระดับชั้นต่างๆ (ตัวอย่างที่ 3)

50	-0.25	-0.45	-0.41	-0.38	-0.36	-0.35	-0.35	-0.35	-0.36	-0.39	-0.42	-0.46	-0.51	-0.57	-0.64	-0.75	-0.79	-0.89	-0.49
45	-4.55	-4.29	-3.94	-3.68	-3.50	-3.40	-3.38	-3.44	-3.59	-3.84	-4.19	-4.63	-5.16	-5.78	-6.48	-7.25	-8.11	-9.05	-9.67
40	-5.64	-5.10	-4.73	-4.48	-4.34	-4.31	-4.40	-4.61	-4.94	-5.41	-6.02	-6.76	-7.62	-8.60	-9.70	-10.9	-12.2	-13.7	-15.1
35	-1.54	-1.16	-1.22	-1.35	-1.56	-1.86	-2.24	-2.70	-3.26	-3.91	-4.66	-5.51	-6.45	-7.47	-8.58	-9.77	-11	-12.4	-14.1
30	9.52	9.13	8.05	6.99	5.96	4.96	3.98	3.03	2.10	1.21	3.43	-0.49	-1.30	-2.08	-2.83	-3.56	-4.26	-4.94	-6.34
25	30.3	28.2	25.3	22.7	20.3	18.2	16.3	14.7	13.4	12.5	11.8	11.4	11.4	11.6	12	12.8	13.8	15	15.2
20	51.4	47.3	42.7	38.6	35.1	32.1	29.7	27.9	26.6	26	26.1	26.8	28.1	30	32.4	35.4	39	43	45.9
15	79.9	73.1	66.3	60.4	55.4	51.4	48.4	46.4	45.5	45.6	47	49.5	53	57.5	63	69.5	76.9	85.2	92.4
10	96.1	87.7	79.8	73.1	67.7	63.6	60.8	59.4	5.93	60.7	63.7	68.2	74.1	81.3	89.9	99.7	111	123	135
5	127	115	105	97.3	90.9	86.5	83.9	83.2	84.6	88.1	94	102	112	124	138	154	171	191	209
1	132	120	110	102	95.9	92	90.3	90.8	93.5	98.6	106	116	129	143	160	179	200	223	245

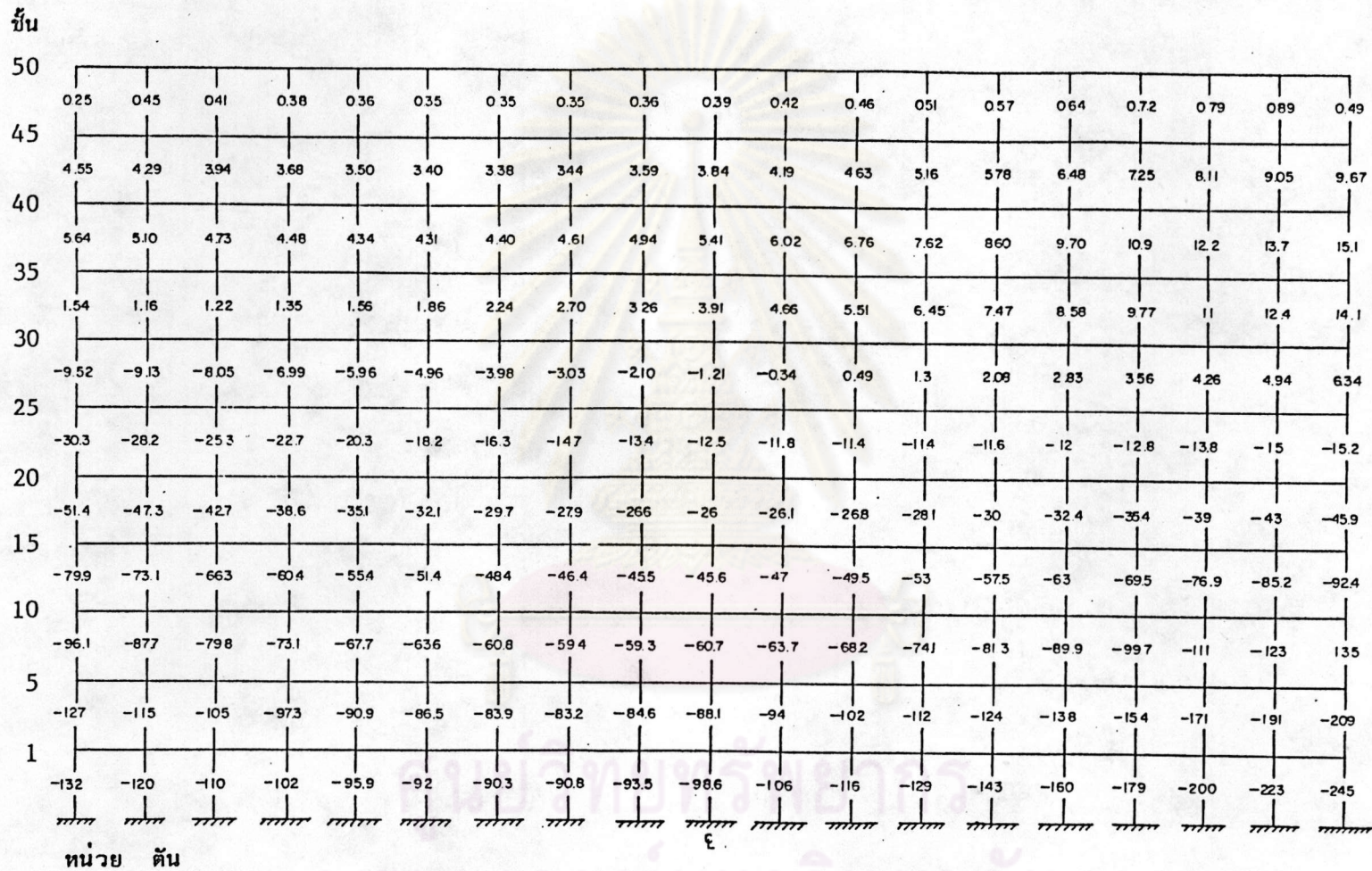
หน่วย ตัน

รูปที่ 27 แรงในแนวแกนของเสาต้านที่ 1 (ตัวอย่างที่ 3)

50	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.25
45	4.55	3.46	2.66	1.97	1.35	0.79	0.26	-0.26	-0.79	-1.35	-1.97	-2.66	-3.46	-4.55
40	5.64	4.44	3.38	2.47	1.69	0.98	0.32	-0.32	-0.98	-1.69	-2.47	-3.38	-4.44	-5.64
35	1.54	1.30	0.86	0.55	0.33	0.17	0.05	-0.05	-0.17	-0.33	-0.55	-0.86	-1.30	-1.54
30	-9.52	-7.42	-6.05	-4.69	-3.35	-2.01	-0.67	0.67	2.01	3.35	4.69	6.05	7.42	9.52
25	-30.3	-24	-19.1	-14.5	-10.2	-6.06	-2.01	2.01	6.06	10.2	14.5	19.1	24	30.3
20	-51.4	-40.9	-32.3	-24.4	-17	-10.1	-3.33	3.33	10.1	17	24.4	32.3	40.9	51.4
15	-79.9	-63.7	-50	-37.6	-26.2	-15.5	-5.11	5.11	15.5	26.2	37.6	50	63.7	79.9
10	-96.1	-76.6	-59.8	-44.8	-31.1	-18.3	-6.05	6.05	18.3	31.1	44.8	59.8	76.6	96.1
5	-127	-101	-78.3	-58.4	-40.4	-23.7	-7.82	7.82	23.7	40.4	58.4	78.3	101	127
1	-132	-104	-80.6	-59.9	-41.3	-24.2	-7.97	7.97	24.2	41.3	59.9	80.6	104	132

หน่วย ตัน

รูปที่ 28. แรงโมเมนต์แนวแกนของเสาต้านที่ 2 (ตัวอย่างที่ 3)



รูปที่ 29. แรงในแนวแกนของเสาชั้นที่ 3 (ตัวอย่างที่ 3)

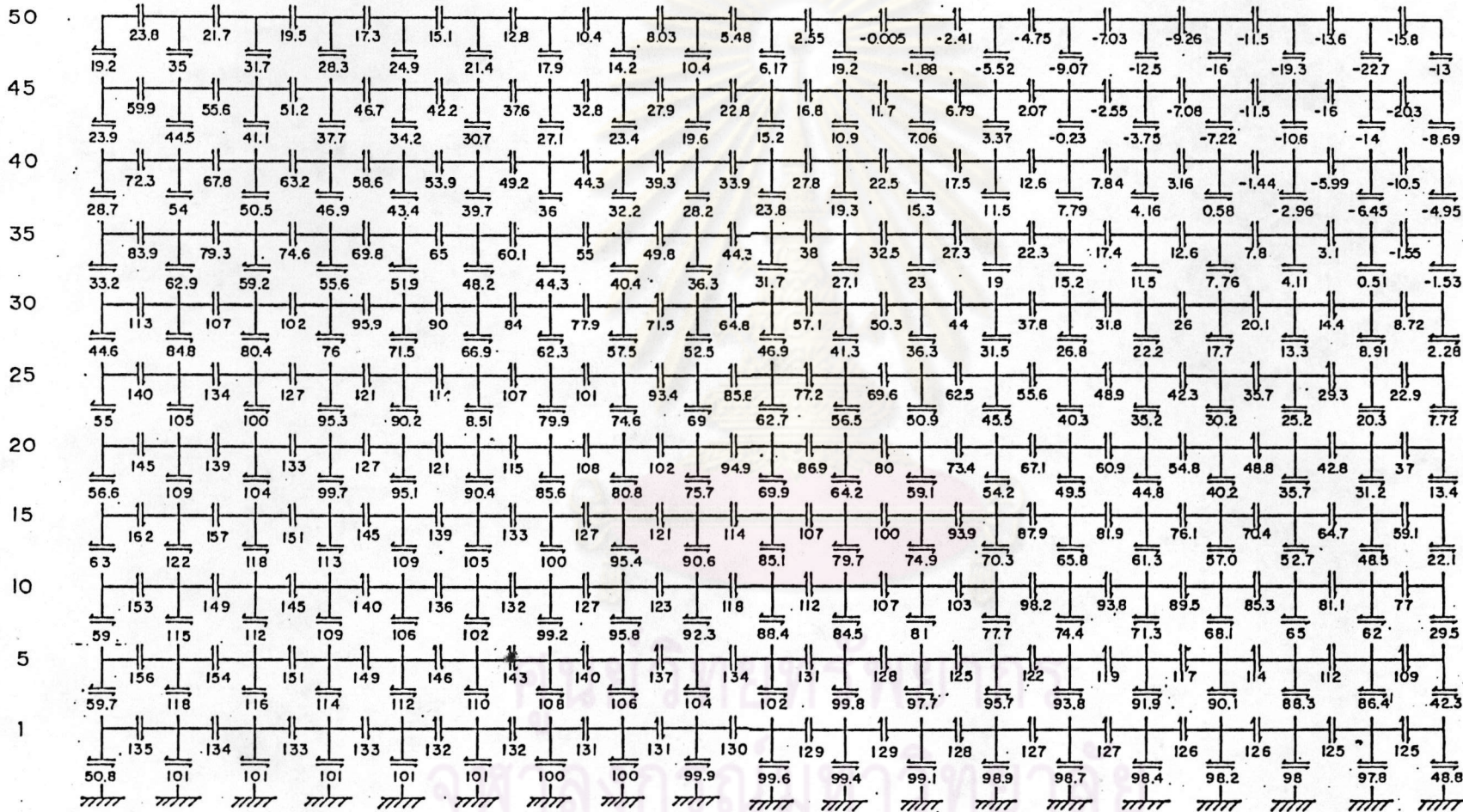
ชั้น

50	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.49
45	967	760	605	460	323	192	0.64	-0.64	-1.92	-3.23	-4.60	-6.05	7.60	-967
40	151	12.3	9.80	7.46	5.25	3.12	1.03	-1.03	-3.12	-5.25	-7.46	-9.80	-12.3	-15.1
35	141	11.8	9.46	7.24	5.11	3.04	1.01	-1.01	-3.04	-5.11	-7.24	-9.46	-11.8	14.1
30	6.34	6.03	4.96	3.87	2.77	1.66	0.56	-0.56	-1.66	-2.77	-3.87	-4.96	-6.03	-6.34
25	-15.2	-10.9	-8.36	-6.18	-4.24	-2.48	-0.82	0.82	2.48	4.24	6.18	8.36	10.9	15.2
20	-45.9	-35.7	-28	-21.1	-14.7	-8.67	-2.86	2.86	8.67	14.7	21.1	28	35.7	45.9
15	-92.4	-73.3	-57.9	-43.8	-30.6	-18.1	-5.98	5.98	18.1	30.6	43.8	57.9	73.3	92.4
10	-135	-108	-85.4	-64.7	-45.3	-26.8	-8.89	8.89	26.8	45.3	64.7	85.4	108	135
5	-209	-169	-134	-102	-71.5	-42.4	-14	14	42.4	71.5	102	134	169	209
1	-245	-199	-158	-120	-84.3	-50	-16.6	16.6	50	84.3	120	158	199	245

หน่วย ตัน

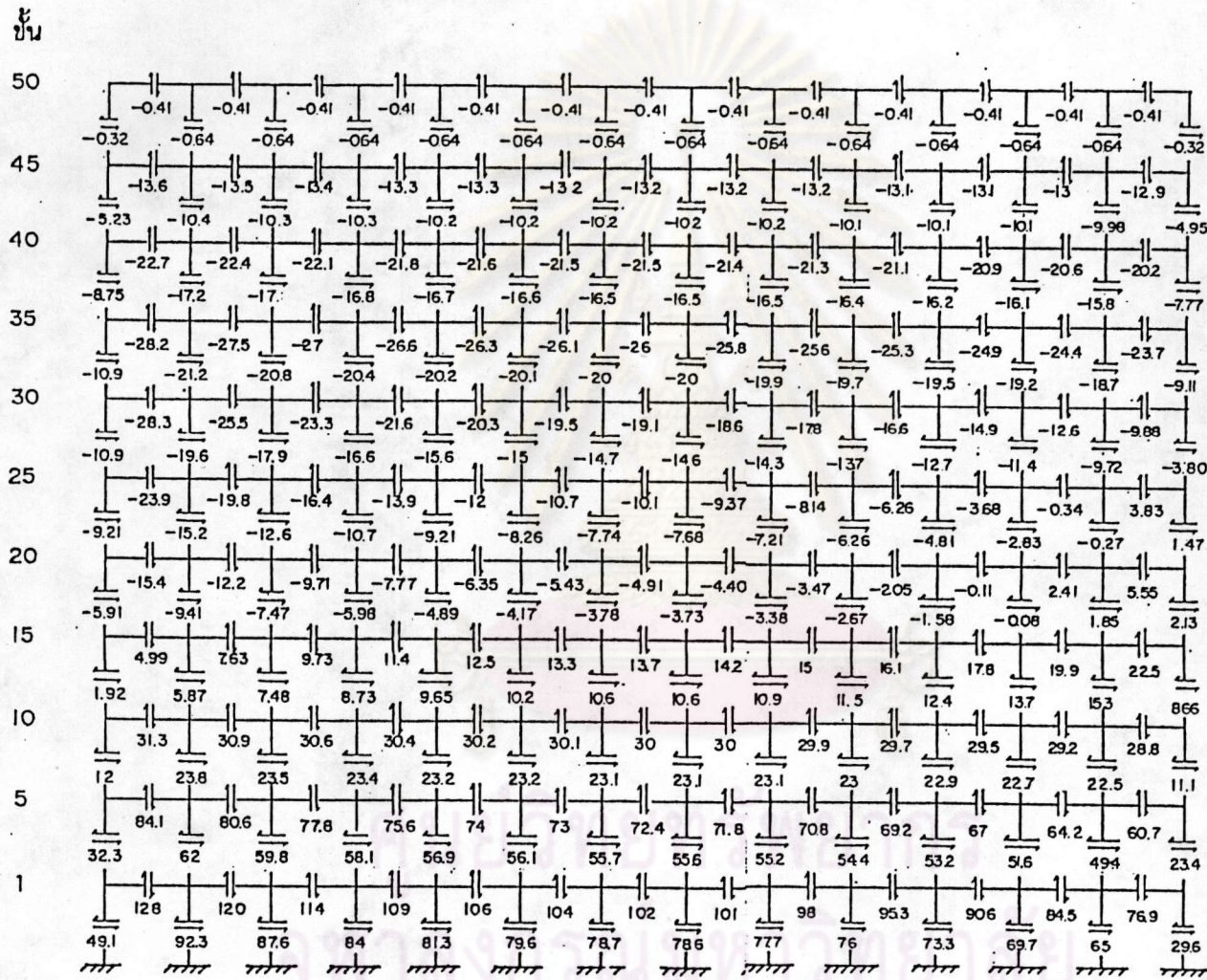
รูปที่ 30. แรงในแนวแกนของเสาด้านที่ 4 (ตัวอย่างที่ 3)

ชั้น



หน่วย : ตัน

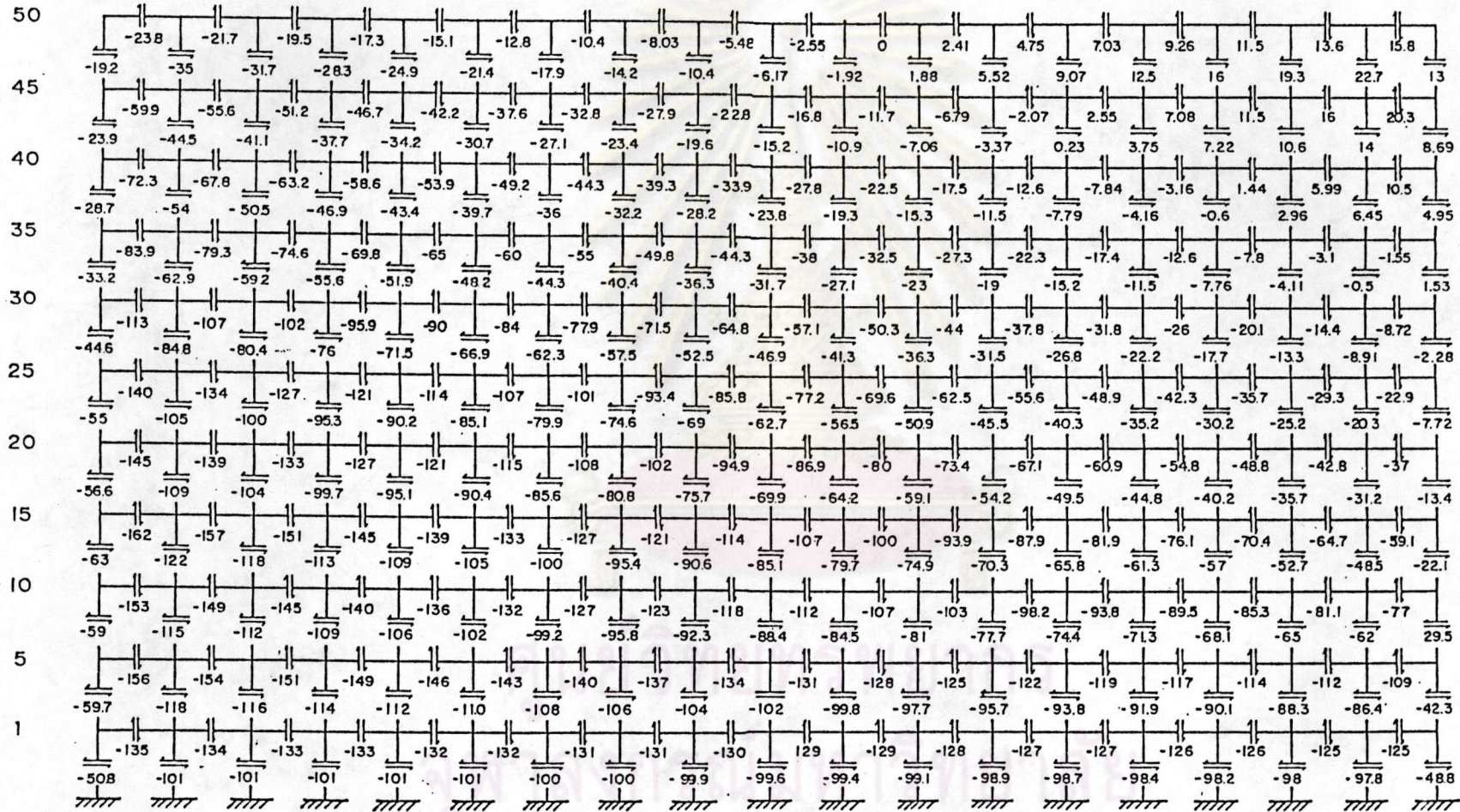
รูปที่ 31. แรงเฉือนในเสาและคานของดาดฟ้าที่ 1 (ตัวอย่างที่ 3)



หน่วย : ตัน

รูปที่ 32. แรงเฉือนในเสาและคานของดันทที่ 2 (ตัวอย่างที่ 3)

ชั้น



หน่วย : ดัน

รูปที่ 33. แรงเฉือนในเสาและคานของดันทึ่ 3 (ตัวอย่างที่ 3)







ตารางประกอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1. คุณสมบัติชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 1)

ชั้น	เสาภายใน				เสาด้านมุม			คาน		
	$d_c$ (ฟุต)	$A_c$ (ตร.ฟุต)	$A_{rc}$ (ตร.ฟุต)	$I_c$ (ฟุต <sup>4</sup> )	$A_{cc}$ (ตร.ฟุต)	$A_{rcc}$ (ตร.ฟุต)	$I_{cc}$ (ฟุต <sup>4</sup> )	$d_b$ (ฟุต)	$A_{rb}$ (ตร.ฟุต)	$I_b$ (ฟุต <sup>4</sup> )
1-10	3.40	3.40	2.83	3.28	6.80	5.67	3.56	3.60	3.00	3.68
11-20	3.20	3.20	2.67	2.73	6.40	5.33	2.92	3.40	2.83	3.28
21-30	2.80	2.80	2.33	1.83	5.60	4.67	2.06	2.80	2.33	1.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2. คุณสมบัติต่างๆของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1)

ชั้น	ด้านที่ 1 (ด้านตั้งฉากกับทิศของแรงกระทำ)			ด้านที่ 2 (ด้านขนานกับทิศของแรงกระทำ)			มุมกล่องเทียบเท่า	
	$E_1$ (ksf)	$G_1$ (ksf)	$t_1$ (ft.)	$E_2$ (ksf)	$G_2$ (ksf)	$t_2$ (ft.)	$E_c$ (ksf)	$A_{cc}$ (ft <sup>2</sup> )
1-10	625,000	36,095	0.323	654,761	37,814	0.309	639,880	3.003
11-20	610,465	31,538	0.305	639,534	33,039	0.291	625,000	2.826
21-30	570,652	20,834	0.267	597,826	21,826	0.255	584,239	2.473

ตารางที่ 3. แสดงค่า Stiffness Factor และ Shear Lag Parameter (ตัวอย่างที่ 1)

ชั้น	Stiffness Factor ( $12I_b h / A_c d^3$ )	Shear Lag Parameter ( $G_{zs} / E_z$ )
1-10	0.10	0.058
11-20	0.08	0.052
21-30	0.05	0.036

ตารางที่ 4. แสดงค่ามุมบิดที่จุดยอดสุดของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 1)

มุมบิดที่จุดยอดสุด ( $1 \times 10^{-4}$ เรเดียน)				งานวิจัยนี้ (N=3) ETABS
ETABS	พลัสวัลด์	งานวิจัยนี้ (N=2)	งานวิจัยนี้ (N=3)	
8.60	9.00	9.09	9.09	1.056

ตารางที่ 5. โมเมนต์ตัดของเสาต้นแรกของด้านที่ 1 (ตัวอย่างที่ 1)

ชั้น	โมเมนต์ปลายบน			โมเมนต์ปลายล่าง		
	ETABS	พลัสวีสต์	งานวิจัยนี้ (N=3)	ETABS	พลัสวีสต์	งานวิจัยนี้ (N=3)
30	-2.82	3.59	3.54	3.94	-3.59	-3.54
25	16.05	11.18	11.18	-12.83	-11.18	-11.18
20	22.57	30.00	28.90	-23.06	-30.00	-28.90
15	42.31	37.58	38.57	-39.37	-37.58	-38.57
10	49.75	56.53	56.28	-50.26	-56.53	-56.28
6	68.04	64.81	64.68	-65.69	-64.81	-64.68
3	82.22	71.06	70.98	-82.04	-71.06	-70.98
1	83.73	75.31	75.18	-165.31	-107.58	-107.40

ตารางที่ 6. คุณสมบัติชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 2)

ชั้น	เสาภายใน				เสาด้านมุม			คาน			Stiffness
	$d_c$ (ฟุต)	$A_c$ (ตร.ฟุต)	$A_{rc}$ (ตร.ฟุต)	$I_c$ (ฟุต <sup>4</sup> )	$A_{cc}$ (ตร.ฟุต)	$A_{rcc}$ (ตร.ฟุต)	$I_{cc}$ (ฟุต <sup>4</sup> )	$d_b$ (ฟุต)	$A_{rb}$ (ตร.ฟุต)	$I_{b^4}$ (ฟุต <sup>4</sup> )	Factor
1-5	1.073	6.750	5.625	22.280	6.750	5.625	22.280	5.080	8.420	21.800	0.530
6-20	0.829	5.625	4.690	21.557	5.625	4.690	21.557	5.080	6.940	17.940	0.525
21-25	0.730	4.979	4.149	19.290	4.979	4.149	19.290	5.000	6.125	15.910	0.525
26-35	0.610	4.271	3.560	17.506	4.271	3.560	17.506	5.000	5.440	13.600	0.520
36-50	0.500	3.542	2.950	14.805	3.542	2.950	14.805	5.000	4.360	11.285	0.520

หมายเหตุ Aspect Ratio เป็นอัตราส่วนความยาวของด้านตั้งฉากต่อด้านขนานกับทิศของแรงกระทำด้านข้าง

(Aspect Ratio = 1.385)

ตารางที่ 7. คุณสมบัติต่างๆของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2)

ชั้น	ด้านที่ 1 (ด้านตั้งฉากกับทิศของแรงกระทำ)			ด้านที่ 2 (ด้านขนานกับทิศของแรงกระทำ)			มุกกล่องเทียบเท่า	
	$E_1$ (ksf)	$G_1$ (ksf)	$t_1$ (ft.)	$E_2$ (ksf)	$G_2$ (ksf)	$t_2$ (ft.)	$E_c$ (ksf)	$A_{cc}$ (ft <sup>2</sup> )
1-5	821,536	130,560	0.675	821,536	130,560	0.675	-	-
6-20	821,018	141,766	0.563	821,018	141,766	0.563	-	-
21-25	822,576	142,856	0.498	822,576	142,856	0.498	-	-
26-35	812,398	146,522	0.427	812,398	146,522	0.427	-	-
36-50	820,707	148,948	0.354	820,707	148,948	0.354	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 8. การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแรงในแนวแกนของเสาด้านที่ 1 (ตัวอย่างที่ 2)

แรงในแนวแกนของเสาด้านที่ 1 ที่ชั้นล่างสุด (Kips) (ด้านที่ตั้งฉากกับทิศของแรงกระทำ)					งานวิจัยนี้ (N=3)
ตำแหน่งเสา จากขอบ	Actual	KHAN	สุธรรม	งานวิจัยนี้ (N=3)	Actual
0	1,583	1,660	1,657	1,360	0.86
1	1,426	1,530	1,524	1,240	0.87
2	1,237	1,280	1,398	1,120	0.91
3	1,100	1,150	1,281	1,020	0.93
4	1,001	1,020	1,169	926	0.93
5	929	900	1,067	852	0.92
6	877	830	974	793	0.90
7	841	830	893	750	0.89
8	818	830	827	723	0.88
9	806	795	787	713	0.88

ตารางที่ 9. การเปรียบเทียบผลรวมของแรงเฉือนในคาน 5 ชั้นแรกด้านที่ 2 (ตัวอย่างที่ 2)

ผลรวมของแรงเฉือนในคาน 5 ชั้นแรก (Kips) ของด้านที่ 2					งานวิจัยนี้ (N=3)
ตำแหน่งคาน	Actual	KHAN	สุธรรม	งานวิจัยนี้ (N=3)	Actual
1	1,954	2,340	2,313	2,295	1.17
2	2,257	2,620	2,570	2,511	1.11
3	2,450	2,750	2,768	2,684	1.09
4	2,565	2,810	2,914	2,818	1.09
5	2,640	2,850	3,013	2,915	1.10
6	2,690	2,850	3,048	2,978	1.11
7	2,700	2,850	3,065	3,013	1.12

ตารางที่ 10. คุณสมบัติชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 3)

ชั้น	เสากภายใน				เสาด้านมุม			คาน			S.F.	S.L.
	$d_c$ (ม.)	$A_c$ (ตร.ม.)	$A_{rc}$ (ตร.ม.)	$I_c$ (ม <sup>4</sup> )	$A_{cc}$ (ตร.ม.)	$A_{rcc}$ (ตร.ม.)	$I_{cc}$ (ม <sup>4</sup> )	$d_b$ (ม.)	$A_{rb}$ (ตร.ม.)	$I_b$ (ม <sup>4</sup> )		
1-5	0.32	0.61	0.51	0.180	0.61	0.51	0.180	1.50	0.76	0.177	0.530	0.160
6-20	0.25	0.51	0.43	0.175	0.51	0.43	0.175	1.50	0.63	0.145	0.525	0.166
21-25	0.22	0.45	0.38	0.156	0.45	0.38	0.156	1.50	0.55	0.129	0.525	0.166
26-35	0.18	0.38	0.32	0.142	0.38	0.32	0.142	1.50	0.49	0.110	0.520	0.172
36-50	0.15	0.32	0.27	0.119	0.32	0.27	0.119	1.50	0.39	0.090	0.520	0.169

หมายเหตุ

S.F. = Stiffness Factor

S.L. = Shear Lag Parameter

ตารางที่ 11. คุณสมบัติต่างๆของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3)

ชั้น	ด้านที่ 1 (ด้านตั้งฉากกับทิศของแรงกระทำ)			ด้านที่ 2 (ด้านขนานกับทิศของแรงกระทำ)			มุมกล่องเทียบเท่า	
	$E_1$ (ตัน/ตร.ม.)	$G_1$ (ตัน/ตร.ม.)	$t_1$ (ม.)	$E_2$ (ตัน/ตร.ม.)	$G_2$ (ตัน/ตร.ม.)	$t_2$ (ม.)	$E_c$ (ตัน/ตร.ม.)	$A_{cc}$ (ตร.ม.)
1-5	3,737,500	599,721	0.203	3,737,500	599,721	0.203	—	—
6-20	3,737,500	623,387	0.170	3,737,500	623,387	0.170	—	—
21-25	3,737,500	623,937	0.150	3,737,500	623,937	0.150	—	—
26-35	3,737,500	642,050	0.127	3,737,500	642,050	0.127	—	—
36-50	3,737,500	632,744	0.107	3,737,500	632,744	0.107	—	—



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

วิธีการหาค่าต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก

ก.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก

พิจารณาหน่วยของโครงข้อแข็งภายใต้แรงกระทำในแนวแกน P (รูปที่ 5)  
 ดังนั้นค่าการเคลื่อนที่ในแนวแกน  $\Delta_{sf}$  (ไม่พิจารณา Deformation ของจุดต่อในส่วนที่ 2)  
 จะได้ว่า

$$\Delta_{sf} = P(h-d_b) / (A_c E) \quad (ก.1.1)$$

โดยที่ h = ความสูงของชั้น

$d_b$  = ความลึกของคาน

$A_c$  = พื้นที่หน้าตัดของเสา

E = โมดูลัสยืดหยุ่นขององค์อาคารของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

สำหรับผนังบางเทียบเท่า (เส้นประในรูปที่ 5) ที่มีขนาด h x d x t

การเคลื่อนที่ในแนวแกนของผนังบางเทียบเท่า  $\Delta_{sp}$  จะสามารถหาได้ว่า

$$\Delta_{sp} = Ph / (tdE_z) \quad (ก.1.2)$$

โดยที่ d = ระยะห่างของช่วงเสา

t = ความหนาของผนังบางเทียบเท่า หาได้จากการเทียบเท่าพื้นที่หน้าตัด  
 ของผนังบางเทียบเท่า กับพื้นที่หน้าตัดของเสาของหน่วย

โครงข้อแข็ง

เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก สมการ (ก.1.1)

เท่ากับสมการ (ก.1.2) ดังนั้นจะได้ว่า

$$E_z = EA_c / [(1-d_b/h)td] \quad (ก.1.3)$$

โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีเสาต้นมุมใหญ่กว่าเสารอบนอกที่อยู่ภายใน

โดยที่พื้นที่หน้าตัดบางส่วนของเสาต้นมุมจะเป็นส่วนหนึ่งของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก  $A_{CP}$

ดังนั้นพื้นที่ส่วนนี้ถือว่ารับแรงในแนวแกนและแรงเฉือนเท่านั้น จะได้ว่า

$$A_{CP} = 0.5(t_1 d_1 + t_2 d_2) \quad (ก.1.4)$$

โดยที่  $t_1, t_2$  = ความหนาของผนังบางเทียบเท่าของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$d_1, d_2$  = ระยะห่างช่วงเสาของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ดังนั้น พื้นที่ของเสาดันมุมที่เหลือ  $A_{CC}^*$  ซึ่งรับแรงในแนวแกนอย่างเดียว สามารถหาได้ว่า

$$A_{CC}^* = A_{CC} - A_{CP} \quad (\text{ก.1.5})$$

ที่ซึ่ง  $A_{CC}$  = พื้นที่หน้าตัดของเสาดันมุมของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไป เนื่องจากความแตกต่างขององค์อาคารของด้านที่ 1 และ

2 ดังนั้น โมดูลัสยืดหยุ่นของมุมกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก  $E_c$  สามารถหาได้จาก

$$E_c = (E_1 + E_2)/2 \quad (\text{ก.1.6})$$

ที่ซึ่ง  $E_1, E_2$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของด้านที่ 1 และ 2 ของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิกตามลำดับ

## ก.2 โมดูลัสของการเฉือนของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก

พิจารณาหน่วยของโครงข้อแข็งภายใต้แรงกระทำ  $Q$  (รูปที่ 6) ทำให้หน่วยของโครงข้อแข็งมีการเคลื่อนที่  $\Delta_{1f}$  ซึ่งเป็นผลบวกที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการตัดและการเฉือนขององค์อาคาร เขียนในรูปของสมการจะได้ว่า

$$\Delta_{1f} = \Delta_b + \Delta_v \quad (\text{ก.2.1})$$

ที่ซึ่ง  $\Delta_b, \Delta_v$  = การเคลื่อนที่ของหน่วยโครงข้อแข็งเนื่องจากผลของการตัดและการเฉือนขององค์อาคาร

โดยอาศัยวิธีการ Virtual Force และ ไม่คำนึงถึง Deformation ของจุดต่อจะได้ว่า

$$\Delta_{1f} = \frac{Qh}{E} \left[ \frac{(h-d_b)^3}{12hI_c} + \frac{h(d-d_c)^3}{12d^2I_b} \right] + \frac{Qh}{G} \left[ \frac{h(d-d_c)}{d^2A_{rb}} + \frac{h-d_b}{hA_{rc}} \right] \quad (\text{ก.2.2})$$

ที่ซึ่ง  $I_b, I_c$  = โมเมนต์ของความเฉื่อยของหน้าตัดคานและเสาตามลำดับ

$A_{rb}, A_{rc}$  = Effective Shear Area ของคานและเสาตามลำดับ

$d_c$  = ด้านยาวของหน้าตัดเสา

$G$  = โมดูลัสของการเฉือนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

พิจารณาผนังบางเทียบเท่า (เส้นประในรูปที่ 6) ซึ่งมีขนาด  $h \times d \times t$

การเคลื่อนที่เนื่องจากแรง  $Q$  (รูปที่ 6) เป็น  $\Delta_{1p}$  ซึ่งหาได้ว่า

$$\Delta_{1p} = Qh / (G_{zs} td) \quad (\text{ก.2.3})$$

ที่ซึ่ง  $G_{zs}$  = โมดูลัสของการเฉือนของกล่องเทียบเท่าออร์โธทรอนิค

เพื่อหาค่าโมดูลัสของการเฉือนของกล่องเทียบเท่าออร์โธทรอนิค สมการ(ก.2.2)

เท่ากับสมการ (ก.2.3) ดังนั้นจะได้ว่า

$$G_{zs} = E / (tdC_{zs}) \quad (\text{ก.2.4})$$

$$\text{ที่ซึ่ง } C_{zs} = \frac{(h-d_b)^3}{12hI_c} + \frac{h(d-d_c)^3}{12d^2I_b} + \frac{E}{G} \left[ \frac{h(d-d_c)}{d^2A_{rb}} + \frac{h-d_c}{hA_{rc}} \right] \quad (\text{ก.2.5})$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ข

ข.1 วิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดในรูปแรงบิดเดี่ยวที่จุดยอดสุด และ โพลีโนเมียลอันดับต่างๆกับมุมบิดของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดในรูปแรงบิดเดี่ยวที่จุดยอดสุด และ โพลีโนเมียลอันดับต่างๆกับมุมบิดของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.3 โดยวิธีที่เสนอโดย พลสวัสดิ์<sup>๑)</sup> ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้อย่างง่ายและมีความถูกต้อง อีกทั้งสามารถใช้กับโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สามารถแปรเปลี่ยนขนาดของชั้นส่วนตามความสูงได้ด้วยการสมมติฟังก์ชันของมุมบิด การเคลื่อนที่ ในแนวแกนของมุมกล่องเทียบเคียง ออร์โททรอปิกดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

พลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นในกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิกในสมการที่ 14, 15, 16 โดยที่

$M_n$  = จำนวนการเปลี่ยนแปลงขนาดของชั้นส่วนตามความสูง (รูปที่ 5)

$H_{1-1}$  = ความสูงชั้นที่เริ่มแปรเปลี่ยนขนาด (รูปที่ 5)

$H_1$  = ความสูงชั้นที่สิ้นสุดการแปรเปลี่ยนขนาด (รูปที่ 5)

$M_n H_1$

$$2U_1 = \sum_{i=1}^{M_n} \int_{H_{1-1}}^{H_1} \left[ \frac{\pi^2 \cos^2 \frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} c + 2 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} G_{11} t_{11} c}{6H^2} \cdot A_2^2 \right. \\ - \frac{2\pi^2 \cos^2 \frac{\pi \xi}{2} \sin \frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} c - 4 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} c}{3H^2 c^2} \cdot A_2 B_2 \\ - \frac{4\pi^2 \cos^2 \frac{\pi \xi}{2} \sin 2\frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} c - 4 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} c}{3H^2 c^2} \cdot A_2 C_2 \\ - \frac{4b \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} G_{11} t_{11} c}{cH} \cdot A_2 K_4 - \frac{8b \xi \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} G_{11} t_{11} c}{cH} \cdot A_2 K_5 \\ - \frac{12b \xi^2 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} G_{11} t_{11} c}{cH} \cdot A_2 K_6 \\ + \frac{2\pi^2 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} c + 2(\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1)^2 G_{11} t_{11} c}{3H^2 c^2} \cdot B_2^2 \\ + \frac{8\pi^2 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} \sin 2\frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} c + 4(\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1)(\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} c}{3H^2 c^2} \cdot B_2 C_2 \\ - \frac{4b(\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} c}{cH} \cdot B_2 K_4 - \frac{8b \xi (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} c}{cH} \cdot B_2 K_5 \\ - \frac{12b \xi^2 (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} c}{cH} \cdot B_2 K_6 \\ \left. + \frac{8\pi^2 \sin^2 2\frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} c + 2(\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1)^2 G_{11} t_{11} c}{3H^2 c^2} \cdot C_2^2 \right]$$

$$\begin{aligned}
& -\left\{ \frac{4b(\cos 2\pi\xi - 1)G_{11}t_{11}c}{cH} \cdot C_2K_4 - \frac{8b\xi(\cos 2\pi\xi - 1)G_{11}t_{11}c}{cH} \cdot C_2K_5 \right. \\
& - \left. \frac{12b\xi^2(\cos 2\pi\xi - 1)G_{11}t_{11}c}{cH} \cdot C_2K_6 + \frac{2b^2G_{11}t_{11}c}{H^2} \cdot K_4^2 \right. \\
& + \frac{8b^2\xi G_{11}t_{11}c}{H^2} \cdot K_4K_5 + \frac{12b^2\xi^2 G_{11}t_{11}c}{H^2} \cdot K_4K_6 + \frac{8b^2\xi^2 G_{11}t_{11}c}{H^2} \cdot K_5^2 \\
& \left. + \frac{24b^2\xi^3 G_{11}t_{11}c}{H^2} \cdot K_5K_6 + \frac{18b^2\xi^4 G_{11}t_{11}c}{H^2} \cdot K_6^2 \right\} dz \\
& M_n H_1
\end{aligned}$$

$$2U_2 = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left[ \frac{\pi^2 \cos^2 \frac{\pi\xi}{2} E_{21}t_{21}b + 2\sin^2 \frac{\pi\xi}{2} G_{21}t_{21}b}{6H^2} \cdot A_2^2 \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{2\pi^2 \cos \frac{\pi\xi}{2} \sin \frac{\pi\xi}{2} E_{21}t_{21}b - 4\sin \frac{\pi\xi}{2} (\cos \frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{3H^2} \cdot A_2B_2 \\
& - \frac{4\pi^2 \cos \frac{\pi\xi}{2} \sin 2\frac{\pi\xi}{2} E_{21}t_{21}b - 4\sin \frac{\pi\xi}{2} (\cos \frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{3H^2} \cdot A_2C_2 \\
& + \frac{4c \sin \frac{\pi\xi}{2} G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot A_2K_4 + \frac{8c\xi \sin \frac{\pi\xi}{2} G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot A_2K_5 \\
& + \frac{12c\xi^2 \sin \frac{\pi\xi}{2} G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot A_2K_6 \\
& + \frac{2\pi^2 \sin^2 \frac{\pi\xi}{2} E_{21}t_{21}b + 2(\cos \frac{\pi\xi}{2} - 1)^2 G_{21}t_{21}b}{3H^2} \cdot B_2^2 \\
& + \frac{8\pi^2 \sin \frac{\pi\xi}{2} \sin 2\frac{\pi\xi}{2} E_{21}t_{21}b + 4(\cos \frac{\pi\xi}{2} - 1)(\cos 2\frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{3H^2} \cdot B_2C_2 \\
& + \frac{4c(\cos \frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot B_2K_4 + \frac{8c\xi(\cos \frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot B_2K_5 \\
& + \frac{12c\xi^2(\cos \frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot B_2K_6 \\
& + \frac{8\pi^2 \sin^2 2\frac{\pi\xi}{2} E_{21}t_{21}b + 2(\cos 2\frac{\pi\xi}{2} - 1)^2 G_{21}t_{21}b}{3H^2} \cdot C_2^2 \\
& + \frac{4c(\cos 2\frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot C_2K_4 + \frac{8c\xi(\cos 2\frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot C_2K_5 \\
& + \frac{12c\xi^2(\cos 2\frac{\pi\xi}{2} - 1) G_{21}t_{21}b}{bH} \cdot C_2K_6 + \frac{2c^2 G_{21}t_{21}b}{H^2} \cdot K_4^2 \\
& + \frac{8c^2 \xi G_{21}t_{21}b}{H^2} \cdot K_4K_5 + \frac{12c^2 \xi^2 G_{21}t_{21}b}{H^2} \cdot K_4K_6 + \frac{8c^2 \xi^2 G_{21}t_{21}b}{H^2} \cdot K_5^2 \\
& + \frac{24c^2 \xi^3 G_{21}t_{21}b}{H^2} \cdot K_5K_6 + \frac{18c^2 \xi^4 G_{21}t_{21}b}{H^2} \cdot K_6^2 \left. \right] dz \\
& M_n H_1
\end{aligned}$$

$$4U_c = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left[ \frac{\pi^2 \cos^2 \frac{\pi\xi}{2} A_{cc1}^* E_{c1}}{2H^2} \cdot A_2^2 - \frac{2\pi^2 \cos \frac{\pi\xi}{2} \sin \frac{\pi\xi}{2} A_{cc1}^* E_{c1}}{H^2} \cdot A_2B_2 \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{4\pi^2 \cos \frac{\pi\xi}{2} \sin 2\frac{\pi\xi}{2} A_{cc1}^* E_{c1}}{H^2} \cdot A_2C_2 + \frac{2\pi^2 \sin^2 \frac{\pi\xi}{2} A_{cc1}^* E_{c1}}{H^2} \cdot B_2^2 \\
& + \frac{8\pi^2 \sin \frac{\pi\xi}{2} \sin 2\frac{\pi\xi}{2} A_{cc1}^* E_{c1}}{H^2} \cdot B_2C_2 + \frac{8\pi^2 \sin^2 2\frac{\pi\xi}{2} A_{cc1}^* E_{c1}}{H^2} \cdot C_2^2 \left. \right] dz
\end{aligned}$$

พลังงานศักย์เนื่องจากแรงบิดภายนอกในรูปแรงบิดเดี่ยวกระทำที่จุดยอดสุดและ

โพลีโนเมียลอันดับต่างๆ หาได้จากสมการที่ 18 ดังนี้

โดยที่  $T =$  แรงบิดเดี่ยวยาวที่จุดยอดสุด

$T_0 =$  สัมประสิทธิ์ของแรงบิดในรูปโพลีโนเมียล

เนื่องจากแรงบิดเดี่ยวยาวกระทำที่จุดยอดสุด ;  $V_p = -T(K_4+K_5+K_6)$

เนื่องจากแรงบิดในรูปโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ ;

H

$$V_T = -\int_0^H T_0 (1-\xi)^N (K_4 \xi + K_5 \xi^2 + K_6 \xi^3) dz$$

0

$$\text{กำหนดให้ } F_{11} = E_{11} t_{11} c + E_{21} t_{21} b + 3A_{cc1} E_{cc1}$$

$$F_{21} = G_{11} t_{11} b + G_{21} t_{21} c$$

$$F_{31} = G_{11} t_{11} b - G_{21} t_{21} c$$

โดยใช้หลักการพลังงานศักย์ทั้งหมดน้อยที่สุด ดังสมการที่ 28 ดังนั้นสามารถเขียนสมการเพื่อแก้หาค่าคงที่ต่างๆในรูปของเมตริกซ์ได้

$$\tilde{A} \cdot \tilde{X} = \tilde{V}$$

โดยที่  $\tilde{A} =$  เมตริกซ์สมมาตรของสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ ขนาด  $6 \times 6$

$\tilde{X} =$  เมตริกซ์ค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า ขนาด  $6 \times 1$

$\tilde{V} =$  เมตริกซ์ของพลังงานศักย์เนื่องจากแรงบิดภายนอกในรูปแรงบิดเดี่ยวยาวที่จุดยอดสุด และโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ ขนาด  $6 \times 1$

$$A(1,1) = \sum_{i=1}^{M_n} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{\pi^2 \cos^2 \frac{\pi \xi}{2} F_{11}}{3H^2} + \frac{4 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} F_{21}}{bc} \right\} dz$$

$$A(1,2) = \sum_{i=1}^{M_n} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ -\frac{2\pi^2 \cos \frac{\pi \xi}{2} \sin \frac{\pi \xi}{2} F_{11}}{H^2} + \frac{4 \sin \frac{\pi \xi}{2} (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) F_{21}}{bc} \right\} dz$$

$$A(1,3) = \sum_{i=1}^{M_n} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ -\frac{4\pi^2 \cos \frac{\pi \xi}{2} \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} F_{11}}{3H^2} + \frac{4 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} (\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1) F_{21}}{bc} \right\} dz$$

$$A(1,4) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-4 \sin \pi \xi F_{31}}{H^2} \right\} dz$$

$$A(1,5) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-8 \xi \sin \pi \xi F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$A(1,6) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-12 \xi^2 \sin \pi \xi F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$A(2,2) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{4 \pi^2 \sin^2 \pi \xi F_{11}}{3H^2} + \frac{4(\cos \pi \xi - 1)^2 F_{21}}{bc} \right\} dz$$

$$A(2,3) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{8 \pi^2 \sin \pi \xi \sin 2 \pi \xi F_{11}}{3H^2} + \frac{4(\cos \pi \xi - 1)(\cos 2 \pi \xi - 1) F_{21}}{bc} \right\} dz$$

$$A(2,4) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-4(\cos \pi \xi - 1) F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$A(2,5) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-8 \xi (\cos \pi \xi - 1) F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$A(2,6) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-12 \xi^2 (\cos \pi \xi - 1) F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$A(3,3) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{16 \pi^2 \sin^2 2 \pi \xi F_{11}}{3H^2} + \frac{4(\cos 2 \pi \xi - 1)^2}{bc} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(3,4) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{-4(\cos 2\pi\xi - 1)F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(3,5) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{-8\xi(\cos 2\pi\xi - 1)F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(3,6) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{-12\xi^2(\cos 2\pi\xi - 1)F_{31}}{H} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(4,4) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{4bcF_{21}}{H^2} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(4,5) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{8bc\xi F_{21}}{H^2} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(4,6) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{12bc\xi^2 F_{21}}{H^2} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(5,5) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{16bc\xi^2 F_{21}}{H^2} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(5,6) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{24bc\xi^3 F_{21}}{H^2} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$A(6,6) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \left\{ \frac{36bc\xi^4 F_{21}}{H^2} \right\} dz$$

เมตริกซ์พลังงานศักย์เนื่องจากแรงบิดเดี่ยวกระทำที่จุดยอดสุด

$$V(1,1) = V(2,1) = V(3,1) = 0$$

$$V(4,1) = V(5,1) = V(6,1) = T$$

เมตริกซ์พลังงานศักย์เนื่องจากแรงบิดในรูปโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ

$$V(1,1) = V(2,1) = V(3,1) = 0$$

$$V(4,1) = T_0 H / ((N+1)(N+2))$$

$$V(5,1) = 2T_0 H / ((N+1)(N+2)(N+3))$$

$$V(6,1) = 6T_0 H / ((N+1)(N+2)(N+3)(N+4))$$

โดยการแทนค่า  $T=1$  ,  $T_0=1$  แก่สมการหาค่าเมตริกซ์  $X$  ในแต่ละ  $V$  ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับมุมบิดของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค.

ค.1 วิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางที่จุดยอดสุดและ โพลีโนเมียลอันดับต่างๆกับระยะเอนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางที่จุดยอดสุดและ โพลีโนเมียลอันดับต่างๆกับระยะเอนของโครงสร้างข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.3 โดยวิธีที่เสนอโดย พูลสวัสดิ์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้อย่างง่ายและมีความถูกต้อง อีกทั้งยังสามารถใช้กับโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สามารถแปรเปลี่ยนขนาดของชั้นส่วนตามความสูงได้ด้วยการสมมติฟังก์ชันของระยะเอน การเคลื่อนที่ในแนวแกนของมุมกล่องเทียบเคียง ออร์โททรอปิก ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เนื่องจากฟังก์ชันของระยะเอนที่สมมติขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่ฐานแต่ฟังก์ชันของระยะเอนที่สมมติขึ้นไม่ทำให้หน่วยแรงเฉือนเป็นไปตามเงื่อนไขที่จุดยอดสุด ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้เฉพาะหน่วยแรงเฉือนก่อนที่จะนำไปหาพลังงานความเครียดในแต่ละด้านที่เกิดขึ้น โดยวิธีการของ Galerkin ดังมีรายละเอียดดังนี้

$\bar{\tau}_{yz}$  เป็นหน่วยแรงเฉือนที่จุดยอดสุดของด้านที่ 2

$\tau_{yz}$  เป็นหน่วยแรงเฉือนที่ระดับชั้นใดๆของด้านที่ 2

$$\bar{\tau}_{yz} = G_2 (\partial w / \partial y + \partial \Delta / \partial z) \Big|_{\xi=1}$$

$$\tau_{yz} = G_2 (\partial w / \partial y + \partial \Delta / \partial z)$$

$$\tau_{yz}^* = (\tau_{yz} - \bar{\tau}_{yz})$$

หน่วยแรงเฉือน  $\tau_{yz}^*$  ที่ได้เป็นหน่วยแรงเฉือนที่ปรับแก้และจะนำไปแทนในสมการพลังงานความเครียดต่อไป

พลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นในกล่องเทียบเคียงออร์โททรอปิกในสมการที่ 14, 15, 16

โดยที่

$M_n$  = จำนวนการเปลี่ยนแปลงขนาดของชั้นส่วนตามความสูง (รูปที่ 5)

$H_{1-1}$  = ความสูงชั้นที่เริ่มแปรเปลี่ยนขนาด (รูปที่ 5)

$H_1$  = ความสูงชั้นที่สิ้นสุดการแปรเปลี่ยนขนาด (รูปที่ 5)

c

$$D(1) = \int_{-c}^c [M_3 + (1-M_3)(x/c)^{M_2}]^2 dx$$

-c

c

$$D(2) = \int_{-c}^c \frac{[M_2(1-M_3)(x/c)^{M_2-1}]^2 dx}{c}$$

-c

b

$$D(3) = \int_{-b}^b \frac{[\sinh(y/b)^{M_1}]^2 dy}{\sinh(1)}$$

-b

b

$$D(4) = \int_{-b}^b \frac{[M_1(y/b)^{M_1-1} \cosh(y/b)^{M_1}]^2 dy}{b \sinh(1)}$$

-b

b

$$D(5) = \int_{-b}^b \frac{[M_1(y/b)^{M_1-1} \cosh(y/b)^{M_1}] dy}{b \sinh(1)}$$

-b

 $M_n \quad H_1/H$ 

$$2U_1 = \sum_{i=1}^{M_n} \int_{H_{i-1}/H}^{H_i/H} \left[ \frac{\pi^2 D(1) \cos^2 \frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} + HD(2) \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} G_{11} t_{11} \right] \cdot A_1^2$$

$$- \left[ \frac{\pi^2 D(1) \cos \frac{\pi \xi}{2} \sin \frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} - 2HD(2) \sin \frac{\pi \xi}{2} (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} \right] \cdot A_1 B_1$$

$$- \left[ \frac{2\pi^2 D(1) \cos \frac{\pi \xi}{2} \sin 2\frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} - 2HD(2) \sin \frac{\pi \xi}{2} (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} \right] \cdot A_1 C_1$$

$$+ \left[ \frac{\pi^2 \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} + HD(2) (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1)^2 G_{11} t_{11} \right] \cdot B_2^2$$

$$+ \left[ \frac{4\pi^2 D(1) \sin \frac{\pi \xi}{2} \sin 2\frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} + 2HD(2) (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) (\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1) G_{11} t_{11} \right] \cdot B_2 C_2$$

$$+ \left[ \frac{4\pi^2 D(1) \sin^2 2\frac{\pi \xi}{2} E_{11} t_{11} + HD(2) (\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1)^2 G_{11} t_{11} \right] \cdot C_2^2 \int d\xi$$

 $M_n \quad H_1/H$ 

$$2U_2 = \sum_{i=1}^{M_n} \int_{H_{i-1}/H}^{H_i/H} \left[ \frac{\pi^2 D(3) \cos^2 \frac{\pi \xi}{2} E_{21} t_{21} + HD(4) \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} G_{21} t_{21} - HD(4) \sin \frac{\pi \xi}{2} G_{21} t_{21} \right] \cdot A_1^2$$



$$\begin{aligned}
& -\frac{\pi^2 D(3) \cos \pi \xi \sin \pi \xi E_{2_1} t_{2_1}}{H} - 2HD(4) \frac{\sin \pi \xi (\cos \pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1}}{2} \\
& + HD(4) (\cos \pi \xi - 1 - 2 \sin \pi \xi) G_{2_1} t_{2_1} \cdot A_1 B_1 \\
& - \frac{2\pi^2 D(3) \cos 2\pi \xi \sin 2\pi \xi E_{2_1} t_{2_1}}{H} - 2HD(4) \frac{\sin 2\pi \xi (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1}}{2} \\
& + HD(4) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} \cdot A_1 C_1 \\
& + (4\xi^2 D(5) \sin \pi \xi G_{2_1} t_{2_1} - D(5) (2\xi^2 + 2 \sin \pi \xi) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot A_1 K_1 \\
& + (6\xi^2 D(5) \sin \pi \xi G_{2_1} t_{2_1} - D(5) (3\xi^2 + 3 \sin \pi \xi) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot A_1 K_2 \\
& + (8\xi^3 D(5) \sin \pi \xi G_{2_1} t_{2_1} - D(5) (4\xi^3 + 4 \sin \pi \xi) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot A_1 K_3 \\
& + \frac{\pi^2 D(3) \sin^2 \pi \xi E_{2_1} t_{2_1}}{H} + HD(4) (\cos \pi \xi - 1)^2 G_{2_1} t_{2_1} \\
& + 2HD(4) (\cos \pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} \cdot B_2^2 \\
& + \frac{4\pi^2 D(3) \sin \pi \xi \sin 2\pi \xi E_{2_1} t_{2_1}}{H} + 2HD(4) (\cos \pi \xi - 1) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} \\
& + 2HD(4) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} \cdot B_1 C_1 \\
& + (4\xi^2 D(5) (\cos \pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} - D(5) (2(\cos \pi \xi - 1) - 4\xi) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot B_1 K_1 \\
& + (6\xi^2 D(5) (\cos \pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} - D(5) (3(\cos \pi \xi - 1) - 6\xi^2) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot B_1 K_2 \\
& + (8\xi^3 D(5) (\cos \pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} - D(5) (4(\cos \pi \xi - 1) - 8\xi^3) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot B_1 K_3 \\
& + \frac{4\pi^2 D(3) \sin^2 2\pi \xi E_{2_1} t_{2_1}}{H} + HD(4) (\cos 2\pi \xi - 1)^2 G_{2_1} t_{2_1} \cdot C_1^2 \\
& + (4\xi^2 D(5) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} - 2D(5) (\cos \pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot C_1 K_1 \\
& + (6\xi^2 D(5) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} - 3D(5) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot C_1 K_2 \\
& + (8\xi^3 D(5) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1} - 4D(5) (\cos 2\pi \xi - 1) G_{2_1} t_{2_1}) \cdot C_1 K_3 \\
& + \frac{8\xi^2 G_{2_1} t_{2_1} b - 8\xi G_{2_1} t_{2_1} b}{H} \cdot K_1^2 + \frac{24\xi^3 G_{2_1} t_{2_1} b - 12(\xi^2 + \xi) G_{2_1} t_{2_1} b}{H} \cdot K_1 K_2 \\
& + \frac{32\xi^4 G_{2_1} t_{2_1} b - 16(\xi^3 + \xi) G_{2_1} t_{2_1} b}{H} \cdot K_1 K_3 \\
& + \frac{18\xi^4 G_{2_1} t_{2_1} b - 18\xi^2 G_{2_1} t_{2_1} b}{H} \cdot K_2^2 \\
& + \frac{48\xi^5 G_{2_1} t_{2_1} b - 24(\xi^3 + \xi^2) G_{2_1} t_{2_1} b}{H} \cdot K_2 K_3 \\
& + \frac{32\xi^6 G_{2_1} t_{2_1} b - 32\xi^3 G_{2_1} t_{2_1} b}{H} \cdot K_3^2 \quad ] d\xi \\
& M_n H_1 / H
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4U_c = \sum_{i=1} \int_{H_{i-1}/H} & \left[ \frac{\pi^2 \cos^2 \pi \xi A_{cc1}^* E_{c1}}{2H} \cdot A_1^2 - \frac{2\pi^2 \cos \pi \xi \sin \pi \xi A_{cc1}^* E_{c1}}{H} \cdot A_1 B_1 \right. \\
& - \frac{4\pi^2 \cos \pi \xi \sin 2\pi \xi A_{cc1}^* E_{c1}}{H} \cdot A_1 C_1 + \frac{2\pi^2 \sin^2 \pi \xi A_{cc1}^* E_{c1}}{H} \cdot B_2^2 \\
& \left. + \frac{8\pi^2 \sin \pi \xi \sin 2\pi \xi A_{cc1}^* E_{c1}}{H} \cdot B_2 C_2 + \frac{8\pi^2 \sin^2 2\pi \xi A_{cc1}^* E_{c1}}{H} \cdot C_2^2 \right] d\xi
\end{aligned}$$

พลังงานศักย์เนื่องจากแรงเต็ยวในระนาบที่ผ่านศูนย์ที่จุดยอดสุดและ  
โพลีโนเมียลอันดับต่างๆ หาได้จากสมการที่ 18 ดังนี้

โดยที่  $P =$  แรงเต็ยวในระนาบที่ผ่านศูนย์ที่จุดยอดสุด

$P_0 =$  สัมประสิทธิ์ของแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์ในรูปโพลีโนเมียล

เนื่องจากแรงเต็ยวในแนวราบที่ผ่านศูนย์จุดยอดสุด ;  $V_p = -T(K_1+K_2+K_3)$

เนื่องจากแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์ในรูปโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ ;

$$\begin{aligned} H \\ V_T &= -\int_0^H P_0 (1-\xi)^N (K_1 \xi^2 + K_2 \xi^3 + K_3 \xi^4) dz \\ &= -2HP_0 \frac{N!K_1}{(N+3)!} - 4HP_0 \frac{N!K_2}{(N+4)!} - 6HP_0 \frac{N!K_3}{(N+5)!} \end{aligned}$$

กำหนดให้  $L_{11} = D(1)E_{11}t_{11} + D(3)E_{21}t_{21} + 2A_{cc1}^* E_{c1}$

$$L_{21} = D(2)G_{11}t_{11} + D(4)G_{21}t_{21}$$

$$L_{31} = D(5)G_{21}t_{21}$$

$$L_{41} = G_{21}t_{21}b$$

$$L_{51} = D(4)G_{21}t_{21}$$

โดยใช้หลักการพลังงานศักย์ทั้งหมดน้อยที่สุด ดังสมการที่ 28 ดังนั้นสามารถเขียนสมการ  
เพื่อแก้หาค่าคงที่ต่างๆ ในรูปของเมตริกซ์ได้

$$\tilde{B} \cdot \tilde{Y} = \tilde{V}$$

โดยที่  $B =$  เมตริกซ์สมมาตรของสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ ขนาด  $6 \times 6$

$Y =$  เมตริกซ์ค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า ขนาด  $6 \times 1$

$V =$  เมตริกซ์ของพลังงานศักย์เนื่องจากแรงเต็ยวในแนวราบที่ผ่านศูนย์ที่  
จุดยอดสุด และ โพลีโนเมียลอันดับต่างๆ ขนาด  $6 \times 1$

$$M_n \quad H_1$$

$$B(1,1) = \sum_{i=1}^6 \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{\pi^2 \cos^2 \pi z}{2H^2} L_{11} + 2 \sin^2 \frac{\pi z}{2} L_{21} - 2 \sin \frac{\pi z}{2} L_{51} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(1,2) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-\pi^2}{H^2} \cos \frac{\pi \xi}{2} \sin \frac{\pi \xi}{2} L_{1,1} + 2 \sin \frac{\pi \xi}{2} (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) L_{2,1} - (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1 - 2 \sin \frac{\pi \xi}{2}) L_{5,1} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(1,3) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{-2\pi^2}{H^2} \cos \frac{\pi \xi}{2} \sin 2\frac{\pi \xi}{2} L_{1,1} + 2 \sin \frac{\pi \xi}{2} (\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1) L_{2,1} - (\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1) L_{5,1} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(1,4) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{4\xi^2}{H} \sin \frac{\pi \xi}{2} L_{3,1} - 2(\xi + \sin \frac{\pi \xi}{2}) L_{3,1} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(1,5) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{6\xi^2}{H} \sin \frac{\pi \xi}{2} L_{3,1} - 3(\xi^2 + \sin \frac{\pi \xi}{2}) L_{3,1} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(1,6) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{8\xi^3}{H} \sin \frac{\pi \xi}{2} L_{3,1} - 4(\xi^3 + \sin \frac{\pi \xi}{2}) L_{3,1} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(2,2) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{2\pi^2}{H^2} \sin^2 \frac{\pi \xi}{2} L_{1,1} + 2(\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1)^2 L_{2,1} + 4(\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) L_{5,1} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(2,3) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{4\pi^2}{H^2} \sin \frac{\pi \xi}{2} \sin 2\frac{\pi \xi}{2} L_{1,1} + 2(\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1)(\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1) L_{2,1} + 2(\cos 2\frac{\pi \xi}{2} - 1) L_{5,1} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(2,4) = \sum_{i=1}^{H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{4\xi}{H} (\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) L_{3,1} - (2(\cos \frac{\pi \xi}{2} - 1) - 4\xi) L_{3,1} \right\} dz$$

$$B(2,5) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{6\xi^2}{H} (\cos \pi \xi - 1) L_{3,1} - \frac{(3(\cos \pi \xi - 1) - 6\xi^2) L_{3,1}}{H} \right\} dz$$

$$B(2,6) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{8\xi^3}{H} (\cos \pi \xi - 1) L_{3,1} - \frac{(4(\cos \pi \xi - 1) - 8\xi^3) L_{3,1}}{H} \right\} dz$$

$$B(3,3) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{8\pi^2 \sin^2 \pi \xi L_{1,1}}{H^2} + 2(\cos 2\pi \xi - 1)^2 L_{2,1} \right\} dz$$

$$B(3,4) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{4\xi}{H} (\cos 2\pi \xi - 1) L_{3,1} - \frac{2(\cos \pi \xi - 1) L_{3,1}}{H} \right\} dz$$

$$B(3,5) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{6\xi^2}{H} (\cos 2\pi \xi - 1) L_{3,1} - \frac{3(\cos 2\pi \xi - 1) L_{3,1}}{H} \right\} dz$$

$$B(3,6) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{8\xi^3}{H} (\cos 2\pi \xi - 1) L_{3,1} - \frac{4(\cos 2\pi \xi - 1) L_{3,1}}{H} \right\} dz$$

$$B(4,4) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{16\xi^2 L_{4,1}}{H^2} - \frac{16\xi L_{4,1}}{H^2} \right\} dz$$

$$B(4,5) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{24\xi^3 L_{4,1} - 12(\xi^2 + \xi) L_{4,1}}{H^2} \right\} dz$$

$$B(4,6) = \sum_{i=1}^{M_n H_1} \int_{H_{i-1}}^{H_i} \left\{ \frac{32\xi^4 L_{4,1} - 16(\xi^3 + \xi) L_{4,1}}{H^2} \right\} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(5,5) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \frac{\{36\xi^4 L_{4,1} - 36\xi^2 L_{4,1}\}}{H^2} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(5,6) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \frac{\{48\xi^5 L_{4,1} - 24(\xi^3 + \xi^2)L_{4,1}\}}{H^2} dz$$

$$M_n H_1$$

$$B(6,6) = \sum_{i=1}^{H_1-1} \int \frac{\{64\xi^6 L_{4,1} - 64\xi^3 L_{4,1}\}}{H^2} dz$$

เมตริกซ์พลังงานศักย์เนื่องจากแรงเคี้ยวในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางจุดยอดสุด

$$V(1,1) = V(2,1) = V(3,1) = 0$$

$$V(4,1) = V(5,1) = V(6,1) = P$$

เมตริกซ์พลังงานศักย์เนื่องจากแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางในรูปโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ

$$V(1,1) = V(2,1) = V(3,1) = 0$$

$$V(4,1) = 2P_0 H / ((N+1)(N+2)(N+3))$$

$$V(5,1) = 6P_0 H / ((N+1)(N+2)(N+3)(N+4))$$

$$V(6,1) = 24P_0 H / ((N+1)(N+2)(N+3)(N+4)(N+5))$$

โดยการแทนค่า  $P=1$ ,  $P_0=1$  แก่สมการหาค่าเมตริกซ์  $Y$  ในแต่ละ  $V$  ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางกับระยะเอนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ง

## การหาแรงภายในโครงสร้างดิสครีตของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

สำหรับการคำนวณหาแรงภายในโครงสร้างดิสครีต หาได้จากการแทนฟังก์ชันต่างๆที่สมมติขึ้น (สมการที่ 19-27) ที่ทราบค่า และความสัมพันธ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในสมการของหน่วยแรงเฉือนและแรงโมเมนต์แกนของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก (สมการที่ 11-13) จะได้การกระจายของหน่วยแรงในเทอมของ  $x, y, z$  ในแต่ละด้านของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก

การหาค่าแรงภายในแต่ละชั้นส่วนของโครงสร้างดิสครีตของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหาได้ผลคูณของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของผนังบางเทียบเท่าในแต่ละโครงข้อแข็ง (ดังแสดงในรูปที่ 6) กับพื้นที่ของผนังบางเทียบเท่าแรงโมเมนต์แกนของเสาที่ระดับ  $z_1$

$$P_c = A_{cc} [\sigma_c] \quad (ง.1)$$

$$P_1(x_1) = t_1 d_1 [\sigma_1(x_1, -b, \xi)] \quad (ง.2)$$

$$P_2(x_1) = t_2 d_2 [\sigma_2(-c, y_1, \xi)] \quad (ง.3)$$

โดยที่  $P_c, P_1, P_2$  = แรงโมเมนต์แกนของเสาต้นมุม ด้านที่ 1 และด้านที่ 2 ตามลำดับ  
 $z_1$  = ความสูงของตำแหน่งที่อ้างอิงจากฐานของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าถึงจุดตัดกลับของเสาในแต่ละชั้น

แรงเฉือนในเสาที่ระดับ  $z_1$

$$Q_1 = t_1 d_1 [\tau_{xy}(\xi)] \quad (ง.4)$$

$$Q_2 = t_2 d_2 [\tau_{yz}(\xi)] \quad (ง.5)$$

$$Q_{c1} = 0.50Q_1 \quad (ง.6)$$

$$Q_{c2} = 0.50Q_2 \quad (ง.7)$$

โดยที่  $Q_1, Q_2$  = แรงเฉือนในเสาของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$Q_{c1}, Q_{c2}$  = แรงเฉือนในเสาต้นมุมของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

แรงเฉือนในคานที่ระดับ  $z_1$

$$V_1 = t_1 h [\tau_{xz}(\xi)] \quad (ง.8)$$

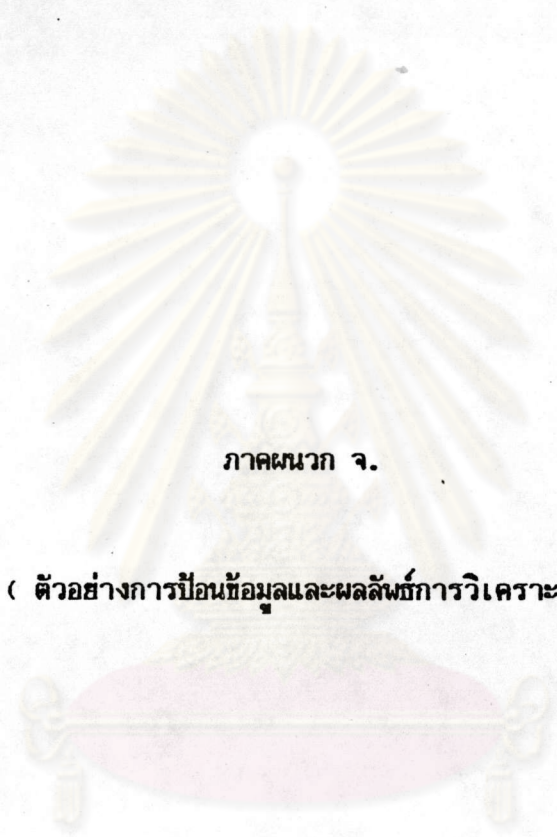
$$V_2 = t_2 h [ \tau_{yz}(z) ] \quad (\text{ง.9})$$

โดยที่  $V_1, V_2$  = แรงเฉือนที่จุดตัดกลับในคานของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ  
 $z_1$  = ความสูงของตำแหน่งที่อ้างอิงจากฐานของโครงข้อแข็งรูปกล่อง  
 สี่เหลี่ยมผืนผ้าถึงระดับคานในแต่ละชั้น

โมเมนต์ในคานและเสา ได้จากการคูณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่จุดตัดกลับของเสาและคานที่แต่ละ  
 ระดับกับระยะทางจากจุดตัดกลับถึงจุดที่ต้องการทราบ  
 ดังนั้นสามารถที่จะหาแรงภายในโครงสร้างดิสครีต ได้ทุกค่าที่ต้องการทราบดังที่กล่าว

มา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ.

( ตัวอย่างการป้อนข้อมูลและผลลัพธ์การวิเคราะห์ )

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



```

=====
SLDF ANALYSIS      DATE :01-06-1989 <DATA> P. 1
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)      FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J. BANPOTE              ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

```

*****
*                               *
*   STRUCTURAL DATA           *
*                               *
*****

```

\*\*\* TYPES OF STRUCTURE \*\*\*

```

-----
SYMMETRICAL RACTANGULAR FRAME TUBE = 1
FRAMES.....                       = 0
SHEAR WALLS.....                   = 0
COUPLE SHEAR WALLS.....           = 0
SHEAR CORES.....                   = 0

```

\*\*\* GENERAL DATA \*\*\*

```

-----
NUMBER OF STORIES .....           = 30
NUMBER OF REFFERENCE LEVELS ..... = 3
STRUCTURE CONDITION (SYM.=1, OTHERS=2). = 1
HEIGHT OF EACH STORY

```

STORY NO.	HEIGHT
1	12.00
2	12.00
3	12.00
4	12.00
5	12.00
6	12.00
7	12.00
8	12.00
9	12.00
10	12.00
11	12.00
12	12.00
13	12.00
14	12.00
15	12.00
16	12.00
17	12.00
18	12.00
19	12.00
20	12.00
21	12.00
22	12.00
23	12.00

=====

**SLDF ANALYSIS**  
 PROJECT : EXAM#1-3(TORSION)  
 AUTHORITY : J. BANPOTE

DATE : 01-06-1989 <DATA> P. 2  
 FILENAME : EXAM#1-3  
 ENGINEER : J.BANPOTE

=====

HEIGHT OF EACH STORY  
 STORY NO.          HEIGHT

STORY NO.	HEIGHT
24	12.00
25	12.00
26	12.00
27	12.00
28	12.00
29	12.00
30	12.00

HEIGHT OF REFERENCE LEVELS  
 REF. NO.          HEIGHT

REF. NO.	HEIGHT
1	120.00
2	240.00
3	360.00

LOAD AT REF. LEVELS  
 REF NO.          SHEAR          TORSION

REF NO.	SHEAR	TORSION
1	+0.00E+00	+3.89E+04
2	+0.00E+00	+1.94E+04
3	+0.00E+00	+0.00E+00

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

=====
SLDF ANALYSIS          DATE :01-06-1989  <DATA> P. 3
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)      FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J. BANPOTE             ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

```

*****
*                                     *
*  SYMMETRICAL FRAME TUBE DATA  *
*                                     *
*****

```

\*\*\* DIMENSION & LOCATION \*\*\*

```

-----
WIDTH OF PERPENDICULAR PANEL = 84.00
WIDTH OF PARALLEL PANEL .... = 132.00
HEIGHT OF SYM. FRAME TUBE ... = 360.00
LOCATION....(w.r.t datum axis) = 0.00

```

\*\*\* CONSTANT OF FUNCTION \*\*\*

```

-----
M1..... = 1.00
M2..... = 2.00
M3..... = 1.00

```

\*\*\* MEMBER DATA \*\*\*

```

-----
NO. OF PANELS = 4

```

\*\* GIRDER DATA \*\*

```

-----
PANEL NO. 1 & 3
NO. OF MATERIAL PROPERTIES = 3

```

MATERIAL PROPERTY NO. 1

```

-----
MODULUS OF ELASTICITY = 5.00E+05
SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA ... = 3.89E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.60E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 3.00E+00
WIDTH OF GIRDER..... = 1.00E+00
DEPTH OF GIRDER..... = 3.60E+00

```

```

=====
SLDF ANALYSIS          DATE :01-06-1989 <DATA> P. 4
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)      FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J. BANPOTE             ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

MATERIAL PROPERTY NO. 2

```

-----
MODULUS OF ELASTICITY = 5.00E+05
SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA ... = 3.28E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.40E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.83E+00
WIDTH OF GIRDER..... = 1.00E+00
DEPTH OF GIRDER..... = 3.40E+00

```

MATERIAL PROPERTY NO. 3

```

-----
MODULUS OF ELASTICITY = 5.00E+05
SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA ... = 1.83E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 2.80E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.33E+00
WIDTH OF GIRDER..... = 1.00E+00
DEPTH OF GIRDER..... = 2.80E+00

```

PANEL NO. 2 & 4  
NO. OF MATERIAL PROPERTIES = 3

MATERIAL PROPERTY NO. 1

```

-----
MODULUS OF ELASTICITY = 5.00E+05
SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA ... = 3.89E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.60E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 3.00E+00
WIDTH OF GIRDER..... = 1.00E+00
DEPTH OF GIRDER..... = 3.60E+00

```

MATERIAL PROPERTY NO. 2

```

-----
MODULUS OF ELASTICITY = 5.00E+05
SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA ... = 3.28E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.40E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.83E+00
WIDTH OF GIRDER..... = 1.00E+00
DEPTH OF GIRDER..... = 3.40E+00

```

=====

<b>SLDF ANALYSIS</b>	DATE : 01-06-1989	<DATA> P. 5
PROJECT : EXAM#1-3(TORSION)	FILENAME : EXAM#1-3	
AUTHORITY : J. BANPOTE	ENGINEER : J. BANPOTE	

=====

MATERIAL PROPERTY NO. 3

-----

MODULUS OF ELASTICITY = 5.00E+05  
 SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05  
 MOMENT OF INNERTIA ... = 1.83E+00  
 CROSS SECTIONAL AREA.. = 2.80E+00  
 EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.33E+00  
 WIDTH OF GIRDER..... = 1.00E+00  
 DEPTH OF GIRDER..... = 2.80E+00

\*\* INTERIOR COLUMN DATA \*\*

-----

PANEL NO. 1 & 3

NO. OF MATERIAL PROPERTIES = 3  
 MATERIAL PROPERTY NO. 1

-----

MODULUS ELASTICITY = 5.00E+05  
 SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05  
 MOMENT OF INNERTIA.... = 3.28E+00  
 CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.40E+00  
 EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.83E+00  
 WIDTH OF COLUMN..... = 3.40E+00  
 LONG OF COLUMN..... = 1.00E+00

MATERIAL PROPERTY NO. 2

-----

MODULUS ELASTICITY = 5.00E+05  
 SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05  
 MOMENT OF INNERTIA.... = 2.73E+00  
 CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.20E+00  
 EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.67E+00  
 WIDTH OF COLUMN..... = 3.20E+00  
 LONG OF COLUMN..... = 1.00E+00

MATERIAL PROPERTY NO. 3

-----

MODULUS ELASTICITY = 5.00E+05  
 SHEAR MODULUS..... = 2.07E+05  
 MOMENT OF INNERTIA.... = 1.83E+00  
 CROSS SECTIONAL AREA.. = 2.80E+00  
 EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.33E+00  
 WIDTH OF COLUMN..... = 2.80E+00  
 LONG OF COLUMN..... = 1.00E+00

PANEL NO. 2 & 4

NO. OF MATERIAL PROPERTIES = 3

```

=====
SLDF ANALYSIS      DATE : 01-06-1989  <DATA> P. 6
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)      FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J. BANPOTE              ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

MATERIAL PROPERTY NO. 1

```

-----
MODULUS ELASTICITY      = 5.00E+05
SHEAR MODULUS.....    = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA.... = 3.28E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.40E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.83E+00
WIDTH OF COLUMN.....   = 3.40E+00
LONG OF COLUMN.....    = 1.00E+00

```

MATERIAL PROPERTY NO. 2

```

-----
MODULUS ELASTICITY      = 5.00E+05
SHEAR MODULUS.....    = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA.... = 2.73E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 3.20E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.67E+00
WIDTH OF COLUMN.....   = 3.20E+00
LONG OF COLUMN.....    = 1.00E+00

```

MATERIAL PROPERTY NO. 3

```

-----
MODULUS ELASTICITY      = 5.00E+05
SHEAR MODULUS.....    = 2.07E+05
MOMENT OF INNERTIA.... = 1.83E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 2.80E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 2.33E+00
WIDTH OF COLUMN.....   = 2.80E+00
LONG OF COLUMN.....    = 1.00E+00

```

**\*\* CORNER COLUMN DATA \*\***

NO. OF MATERIAL PROPERTIES = 3

MATERIAL PROPERTY NO. 1

```

-----
MODULUS ELASTICITY      = 5.00E+05
SHEAR MODULUS .....    = 2.07E+05
MOMENT OF INERTIA..... = 3.56E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 6.80E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 5.67E+00
WIDTH OF COLUMN.....   = 6.80E+00
LONG OF COLUMN.....    = 1.00E+00

```

```

=====
SLDF ANALYSIS          DATE :01-06-1989  <DATA> P. 7
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)          FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J. BANPOTE                 ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

MATERIAL PROPERTY NO. 2

```

-----
MODULUS ELASTICITY      = 5.00E+05
SHEAR MODULUS          = 2.07E+05
MOMENT OF INERTIA..... = 3.00E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 6.40E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 5.33E+00
WIDTH OF COLUMN.....   = 6.40E+00
LONG OF COLUMN.....    = 1.00E+00

```

MATERIAL PROPERTY NO. 3

```

-----
MODULUS ELASTICITY      = 5.00E+05
SHEAR MODULUS          = 2.07E+05
MOMENT OF INERTIA..... = 2.06E+00
CROSS SECTIONAL AREA.. = 5.60E+00
EFFECTIVE SHEAR AREA.. = 4.67E+00
WIDTH OF COLUMN.....   = 5.60E+00
LONG OF COLUMN.....    = 1.00E+00

```

\*\* BAY WIDTH DATA \*\*

```

-----
PANEL NO. 1 & 3
NO. OF BAY WIDTH = 1
BAY WIDTH NO.   BAY WIDTH
-----
1               12.00

```

```

-----
PANEL NO. 2 & 4
NO. OF BAY WIDTH = 1
BAY WIDTH NO.   BAY WIDTH
-----
1               12.00

```

\*\* STORY NO. (CHANGE PROP.) \*\*

```

-----
PANEL NO. 1 & 3
NO. OF MATERIAL PROPERTIES = 3
PROP. NO./ PROP. NO.      STORY NO. (CHANGE PROP.)
-----
1 / 2                      10
2 / 3                      20

```

```

-----
PANEL NO. 2 & 4
NO. OF MATERIAL PROPERTIES = 3
PROP. NO./ PROP. NO.      STORY NO. (CHANGE PROP.)
-----

```

=====

<b>SLDF ANALYSIS</b>	DATE : 01-06-1989	<DATA> P. 8
PROJECT : EXAM#1-3(TORSION)	FILENAME : EXAM#1-3	
AUTHORITY : J. BANPOTE	ENGINEER : J. BANPOTE	

=====

PROP. NO. / PROP. NO.	STORY NO. (CHANGE PROP.)
1 / 2	10
2 / 3	20



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



```

=====
SLDF ANALYSIS   DATE : 01-06-1989  <RESULT> P. 1
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)      FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J.BANPOTE              ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

```

*****
*
* DISPLACEMENT & ROTATION OF SYM. FRAME TUBE *
*
*****

```

REF. NO.	DISPLACEMENT	ROTATION
1	+0.00E+00	+4.29E-04
2	+0.00E+00	+7.46E-04
3	+0.00E+00	+9.09E-04

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

=====
SLDF ANALYSIS   DATE : 01-06-1989  <RESULT> P. 2
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)      FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J.BANPOTE              ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

```

*****
*
*   COMPONENT LOAD OF SYM. FRAME TUBE   *
*
*
*****

```

REF. NO.	LATERAL LOAD	TORSION
1	+0.00E+00	-1.75E-03
2	+0.00E+00	+1.62E+02
3	+0.00E+00	+8.98E-05

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



=====

**SLDF ANALYSIS**      DATE : 01-06-1989    <RESULT> P. 4

PROJECT    : EXAM#1-3(TORSION)                      FILENAME    : EXAM#1-3

AUTHORITY : J.BANPOTE                                      ENGINEER    : J.BANPOTE

=====

\*\*\* PANEL NO. 3 \*\*\* STORY NO. 1 \*\*\*

DIST OF COL. FROM CENTER	AXIAL FORCE		SHEAR FORCE		MOMENT	
	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
-42	-4.98E+01	-4.98E+01	-1.79E+01	-1.79E+01	-1.05E+02	-1.08E+02
-30	-2.01E+01	-2.01E+01	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.09E+02	-2.15E+02
-18	-1.21E+01	-1.21E+01	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.09E+02	-2.15E+02
-6	-4.02E+00	-4.02E+00	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.09E+02	-2.15E+02
6	+4.02E+00	+4.02E+00	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.09E+02	-2.15E+02
18	+1.21E+01	+1.21E+01	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.09E+02	-2.15E+02
30	+2.01E+01	+2.01E+01	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.09E+02	-2.15E+02
42	+4.98E+01	+4.98E+01	-1.79E+01	-1.79E+01	-1.05E+02	-1.08E+02

\*\*\* PANEL NO. 4 \*\*\* STORY NO. 1 \*\*\*

DIST OF COL. FROM CENTER	AXIAL FORCE		SHEAR FORCE		MOMENT	
	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
66	+4.98E+01	+4.98E+01	-1.15E+01	-1.15E+01	-6.93E+01	-6.93E+01
54	+2.20E+01	+2.20E+01	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
42	+1.71E+01	+1.71E+01	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
30	+1.22E+01	+1.22E+01	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
18	+7.35E+00	+7.35E+00	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
6	+2.45E+00	+2.45E+00	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-6	-2.45E+00	-2.45E+00	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-18	-7.35E+00	-7.35E+00	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-30	-1.22E+01	-1.22E+01	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-42	-1.71E+01	-1.71E+01	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-54	-2.20E+01	-2.20E+01	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-66	-4.98E+01	-4.98E+01	-1.15E+01	-1.15E+01	-6.93E+01	-6.93E+01

```

=====
SLDF ANALYSIS   DATE : 01-06-1989  <RESULT> P. 5
PROJECT   : EXAM#1-3(TORSION)      FILENAME  : EXAM#1-3
AUTHORITY : J.BANPOTE              ENGINEER  : J.BANPOTE
=====

```

```

*****
*
* FORCES IN GIRDER OF SYM. FRAME TUBE *
*
*****

```

```

*** PANEL NO. 1 *** STORY NO. 1 ***

```

DIST. OF GIRDER FROM CENTER	SHEAR		MOMENT	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
-36	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02
-24	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02
-12	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02
0	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02
0	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02
12	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02
24	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02
36	+3.59E+01	+3.59E+01	+2.15E+02	+2.15E+02

```

*** PANEL NO. 2 *** STORY NO. 1 ***

```

DIST. OF GIRDER FROM CENTER	SHEAR		MOMENT	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
60	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
48	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
36	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
24	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
12	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
0	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
0	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
-12	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
-24	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
-36	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
-48	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02
-60	+2.31E+01	+2.31E+01	+1.39E+02	+1.39E+02

=====

**SLDF ANALYSIS**    DATE : 01-06-1989    <RESULT> P. 6

PROJECT    : EXAM#1-3(TORSION)                    FILENAME    : EXAM#1-3

AUTHORITY   : J.BANPOTE                            ENGINEER    : J.BANPOTE

=====

\*\*\* PANEL NO. 3 \*\*\* STORY NO. 1 \*\*\*

DIST. OF GIRDER FROM CENTER	SHEAR		MOMENT	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
-36	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02
-24	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02
-12	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02
0	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02
0	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02
12	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02
24	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02
36	-3.59E+01	-3.59E+01	-2.15E+02	-2.15E+02

\*\*\* PANEL NO. 4 \*\*\* STORY NO. 1 \*\*\*

DIST. OF GIRDER FROM CENTER	SHEAR		MOMENT	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
60	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
48	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
36	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
24	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
12	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
0	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
0	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-12	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-24	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-36	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-48	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02
-60	-2.31E+01	-2.31E+01	-1.39E+02	-1.39E+02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้านาย บรรพต เจริญสัตยธรรม เกิดเมื่อวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2505 สำเร็จการศึกษาได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2526 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2527



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย