

บทที่ 3

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากคอมพิวเตอร์โปรแกรมกับการวิเคราะห์โดยวิธีอื่น

3.1 ลักษณะและการแบ่งชั้นส่วนของโครงสร้าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้เป็นโครงสร้างสะพานแบบบ็อกซ์เกอร์เตอร์สองช่วงความยาวและมีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากการสมมาตรของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกกระทำรอบระนาบในแนวตั้งที่จุดรองรับช่วงกลางของโครงสร้างจะได้โครงสร้างสมมติและเงื่อนไขขอบเขตดังแสดงในรูป (ค) ที่ 3.1 โครงสร้างสมมติที่จะวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์นี้มีการแบ่งชั้นส่วนย่อยออกเป็น 3 แบบคือ

การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 1 ประกอบด้วยชั้นส่วนย่อยตามขวาง 16 ชั้น ชั้นส่วนย่อยตามยาว 24 ชั้น รวมเป็นชั้นส่วนย่อยทั้งหมด 384 ชั้น จำนวน 350 ขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.2

การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 2 ประกอบด้วยชั้นส่วนย่อยตามขวาง 16 ชั้น ชั้นส่วนย่อยตามยาว 12 ชั้น รวมเป็นชั้นส่วนย่อยทั้งหมด 192 ชั้น จำนวน 182 ขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.3

การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 3 ประกอบด้วยชั้นส่วนย่อยตามขวาง 9 ชั้น ชั้นส่วนย่อยตามยาว 8 ชั้น รวมเป็นชั้นส่วนย่อยทั้งหมด 72 ชั้น จำนวน 90 ขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 3 นี้ เป็นการแบ่งเฉพาะส่วนหนึ่งของโครงสร้างตรงบริเวณใกล้น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นมาก (Stress Concentration) โดยใช้เงื่อนไขขอบเขตที่ได้จากผลของการวิเคราะห์ที่เกิดจากการแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 2 พร้อมทั้งการประมาณเชิงเส้น (Linear Interpolation)

3.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้ได้จากการใช้คุณสมบัติแห่งการเคลื่อนที่

ของชิ้นส่วนย่อยพื้นฐานในระนาบและนอกระนาบแบบ QM5 และ HCT ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนที่ดักกรีที่ 6 (Fictitious Rotational Coefficient) เท่ากับ 0.001 ในการเรียงลำดับข้อ (Nodal Numbering) ของการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแต่ละแบบนั้นจะเรียงให้แกนพิกัดของชิ้นส่วนย่อย (Local Co-ordinate) ในแต่ละลักษณะของโครงสร้าง เช่น แผ่นพื้นบน แผ่นพื้นล่าง เป็นต้น ให้มีทิศทางเดียวกันเพื่อจะได้ศึกษาผลที่เกิดจากการใช้คุณสมบัติสมมติแห่งการเคลื่อนที่นอกระนาบชนิด HCT ที่ไม่เท่ากันในแต่ละแกนพิกัด รวมทั้งอัตราส่วนความยาวด้าน (Aspect Ratio) ของชิ้นส่วนย่อย ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะทำการ เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีแผ่นพับซึ่ง เป็นวิธีการวิเคราะห์วิธีหนึ่งที่ใช้ได้ผลดีสำหรับโครงสร้างลักษณะนี้

3.2.1 การโก่งตัวในแนวตั้ง

ค่าระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ที่ผิวบนของคานาที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีแผ่นพับ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และจากตารางนี้จะแสดงให้เห็นว่า การแบ่งชิ้นส่วนย่อยให้ละเอียดมากขึ้นจะได้ค่าระยะการโก่งตัวในแนวตั้งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีแผ่นพับมากยิ่งขึ้น การกระจายการโก่งตัวในแนวตั้งที่ผิวบนของแต่ละคานาได้แสดงในรูปที่ 3.5

3.2.2 หน่วยแรงตามยาว

ค่าการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y ตามผิวบนของคานา R2 ที่ได้รับการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3,1,2 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทฤษฎีแผ่นพับตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3.2.1 และรูปที่ 3.6

ค่าการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y บนผิวบนขวาของแผ่นพื้นบนที่ได้จากการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3,2,1 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทฤษฎีแผ่นพับตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3.2.2 และรูปที่ 3.7

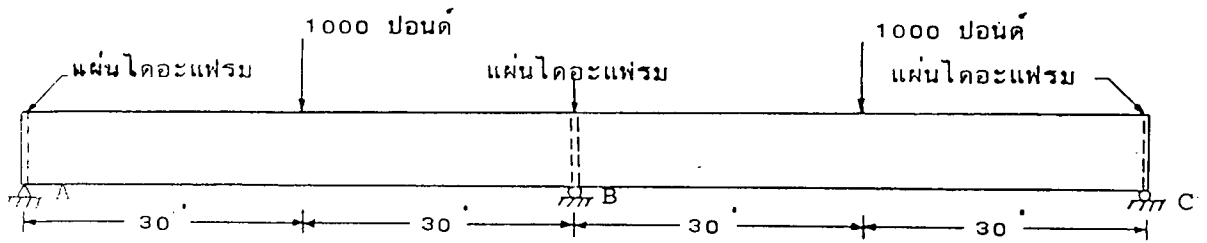
ค่าการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y บนผิวล่างขวาของแผ่นพื้นล่าง ใกล้เคียงคานา R2 ที่ได้รับการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3,2,1 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทฤษฎีแผ่นพับตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2.3 และรูปที่ 3.8

เหตุที่ค่าการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y บนผิวบนขวาและผิวล่างขวาของแผ่นพื้นบนและล่างตามลำดับที่ได้จากการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 2 ซึ่งมีจำนวนชิ้นส่วนย่อยน้อยกว่าการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกว่าการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีแผ่นพับ เป็นเพราะคุณสมบัติสมมติแห่งการเคลื่อนที่นอกกระนาบที่มีคุณสมบัติไม่เท่ากันในแต่ละแกนพิกัดของชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1 ไม่สอดคล้องกับอัตราส่วนความยาวด้าน (Aspect Ratio) ของชิ้นส่วนย่อยนั้น

3.2.3 โมเมนต์คัตตามขวาง

ค่าการกระจายของโมเมนต์คัตตามขวาง M_y ที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงความยาวตัวสะพานที่ได้จากการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3, 1, 2 มีค่าใกล้กับค่าที่ได้จากทฤษฎีแผ่นพับตามลำดับ ยกเว้นค่าที่ตำแหน่งได้น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ เป็นจุดจะมีค่าต่างจากทฤษฎีแผ่นพับมาก เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงมาก (Stress Concentration) การแก้ไขอาจทำได้โดยการแบ่งชิ้นส่วนย่อยตรงบริเวณนี้ให้มีจำนวนชิ้นส่วนย่อยมากขึ้น (Refined Mesh) เพื่อให้บริเวณดังกล่าวมีการจำลองอัตราการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ในแต่ละชิ้นส่วนย่อยใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงของโครงสร้าง อันจะส่งผลให้ค่าหน่วยแรงหรือผลลัพธ์ที่ได้ในบริเวณนั้นมีค่าใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงมากยิ่งขึ้น นั่นก็คือ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทฤษฎีแผ่นพับ

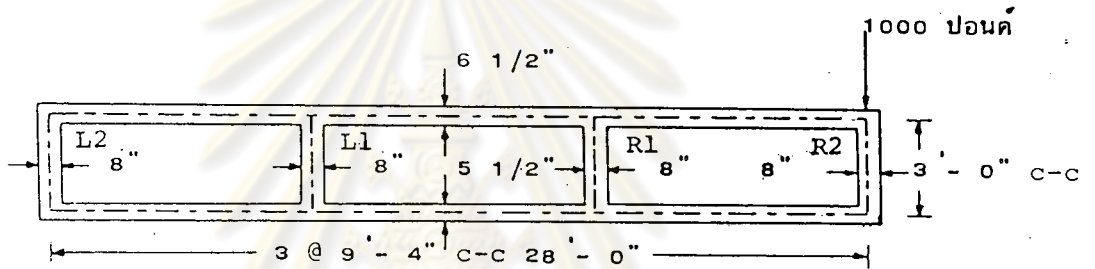
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



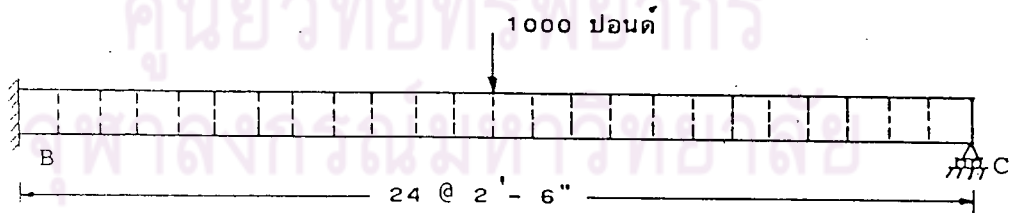
รูป(ก) ด้านข้างของตัวสะพาน

$E = 3 \times 10^6$ ปอนด์/นิ้ว²

$\nu = 0.15$

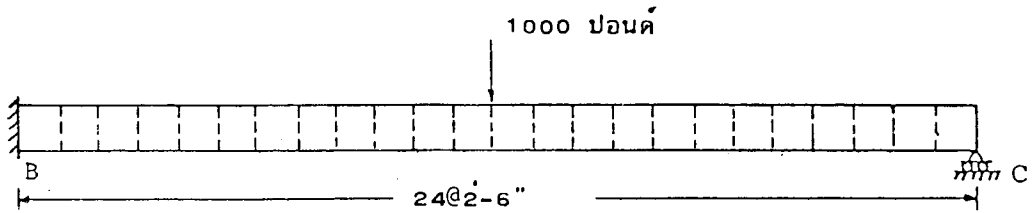


รูป(ข) หน้าตัดขวางตั้งฉากกับตัวสะพาน

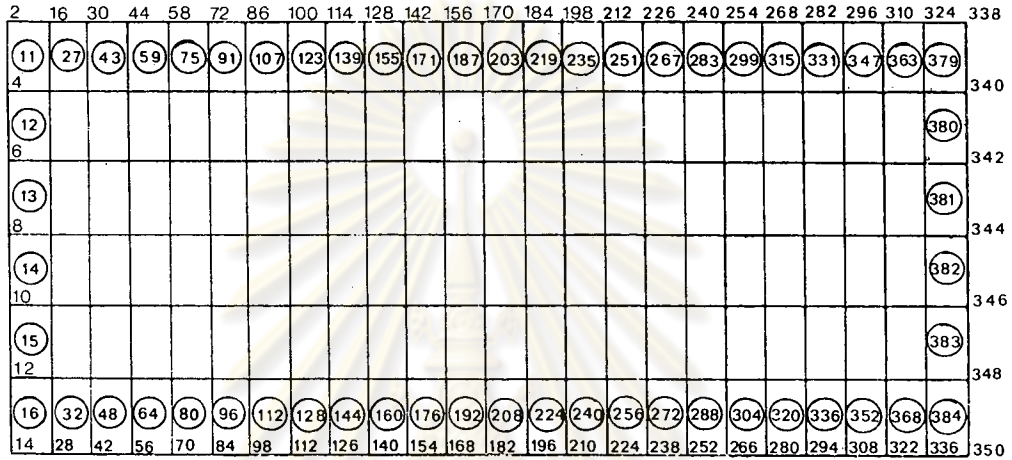


รูป(ค) การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1 และเงื่อนไขขอบเขต

รูปที่ 3.1 สะพานแบบบ็อกซ์เกอร์เคอร์



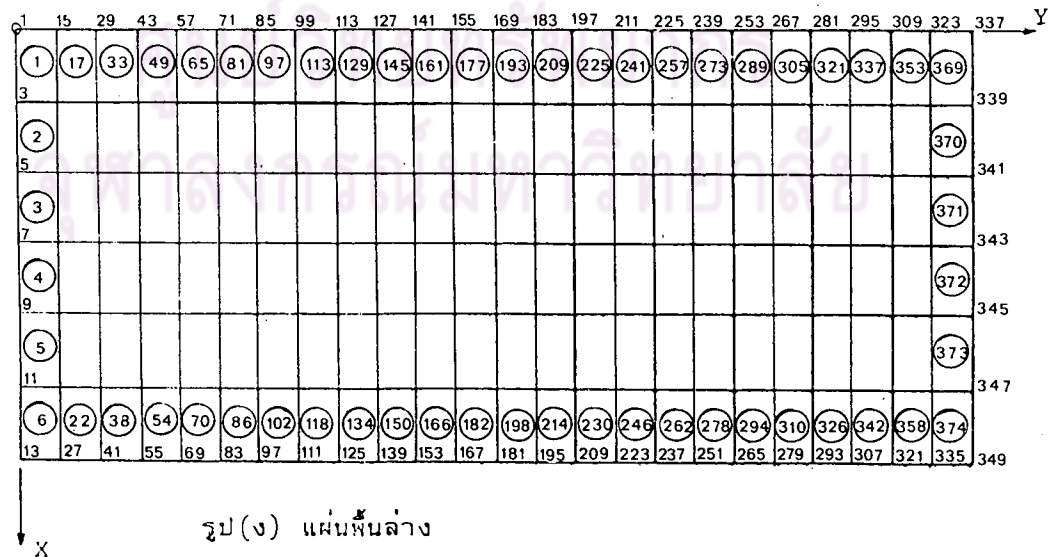
รูป(ก) การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1 และเงื่อนไขขอบเขต



รูป(ข) แผ่นพื้นบน

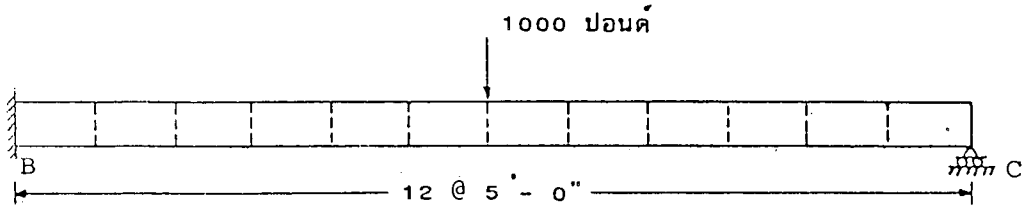


รูป(ค) คาน L2



รูป(ง) แผ่นพื้นล่าง

รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดการแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1



รูป(ก) การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 2 และเงื่อนไขขอบเขต

2	16	30	44	58	72	86	100	114	128	142	156	170
4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	158	172
6	20	34	48	62	76	90	104	118	132	146	160	174
8	22	36	50	64	78	92	106	120	134	148	162	176
10	24	38	52	66	80	94	108	122	136	150	164	178
12	26	40	54	68	82	96	110	124	138	152	166	180
14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182

รูป(ข) แผ่นพื้นบน

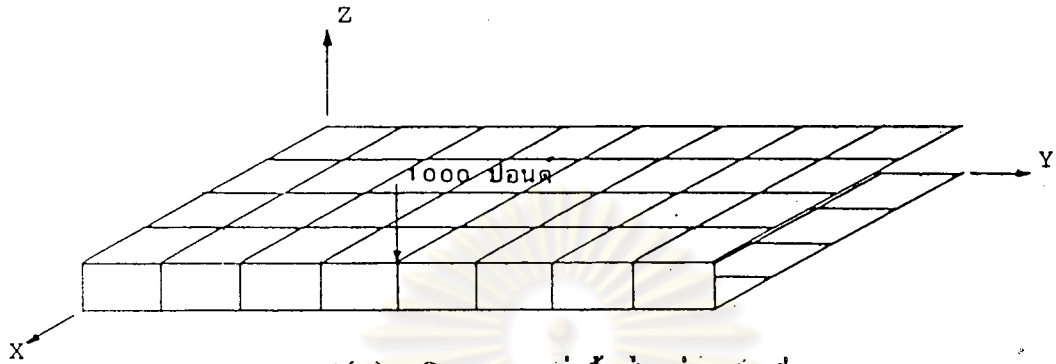
2	16	30	44	58	72	86	100	114	128	142	156	170
1	15	29	43	57	71	85	99	113	127	141	155	169

รูป(ค) คาน L2

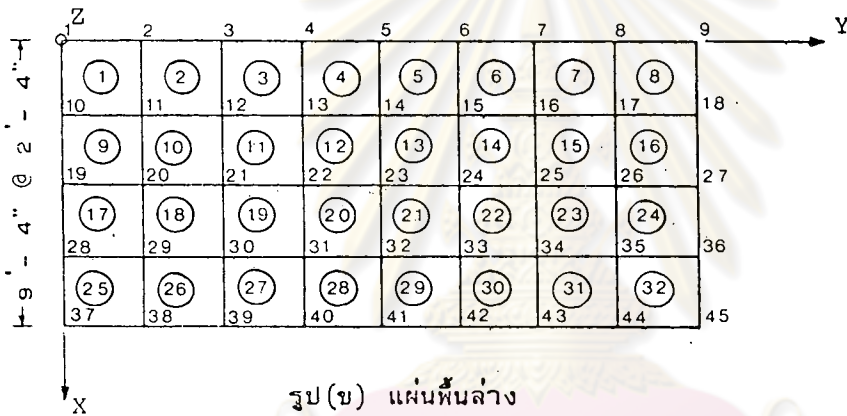
1	15	29	43	57	71	85	99	113	127	141	155	169
3	17	31	45	59	73	87	101	115	129	143	157	171
5	19	33	47	61	75	89	103	117	131	145	159	173
7	21	35	49	63	77	91	105	119	133	147	161	175
9	23	37	51	65	79	93	107	121	135	149	163	177
11	25	39	53	67	81	95	109	123	137	151	165	179
13	27	41	55	69	83	97	111	125	139	153	167	181

รูป(ง) แผ่นพื้นล่าง

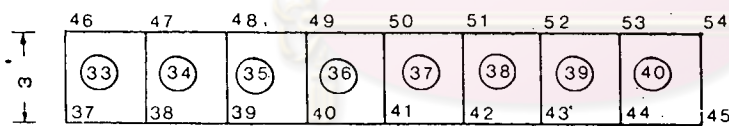
รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดการแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 2



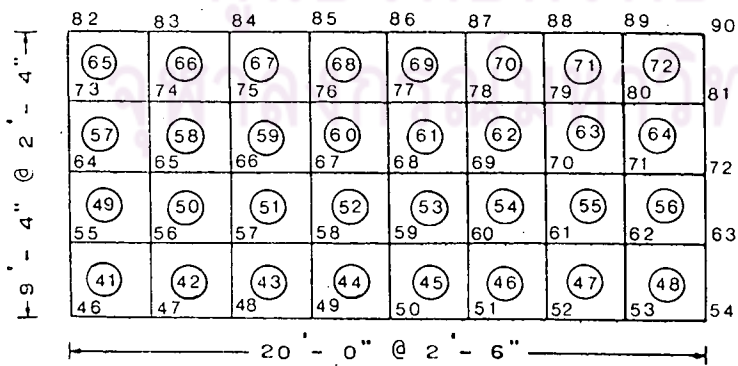
รูป(ก) บริเวณการแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 3



รูป(ข) แผ่นพื้นล่าง



รูป(ค) คานR2



รูป(ง) แผ่นพื้นบน

รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดการแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 3

ตารางที่ 3.1.1 ค่าระยะการโก่งตัวในแนวดิ่งตามผิวบนของคาน

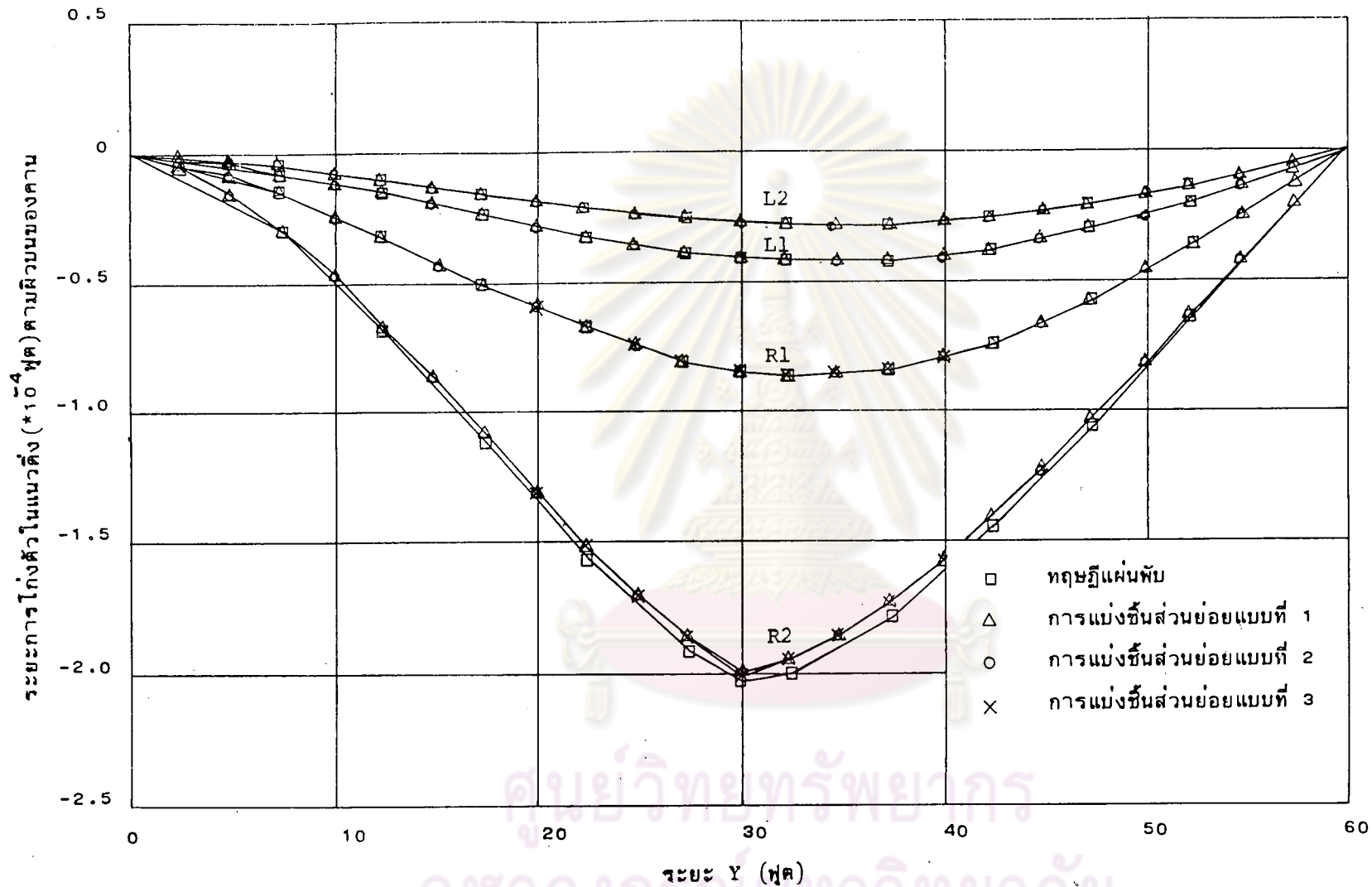
ระยะ Y ฟุต	ระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง (*10 ⁻⁴ ฟุต) ตามผิวบนของคาน							
	คาน R2				คาน R1			
	□	△	○	×	□	△	○	×
2.5		0.05				0.02		
5.0		0.16	0.15			0.07	0.07	
7.5	0.31	0.30			0.14	0.14		
10.0		0.47	0.47			0.22	0.22	
12.5	0.69	0.67			0.32	0.31		
15.0		0.88	0.87			0.41	0.40	
17.5	1.13	1.09			0.51	0.50		
20.0		1.31	1.30	1.31		0.59	0.58	0.58
22.5	1.57	1.52		1.52	0.69	0.67		0.66
25.0		1.71	1.70	1.71		0.74	0.73	0.73
27.25	1.93				0.81			
27.5		1.86		1.87		0.80		0.78
30.0	2.04	1.99	1.97	2.0	0.85	0.83	0.82	0.82
32.5		1.94		1.95		0.85		0.83
32.75	2.01				0.87			
35.0		1.86	1.85	1.86		0.85	0.84	0.84
37.5	1.79	1.73		1.73	0.85	0.83		0.81
40.0		1.58	1.58	1.58		0.79	0.78	0.78
42.5	1.46	1.41			0.75	0.73		
45.0		1.23	1.23			0.65	0.65	
47.5	1.07	1.03			0.58	0.56		
50.0		0.83	0.83			0.46	0.46	
52.5	0.65	0.63			0.36	0.36		
55.0		0.42	0.42			0.24	0.24	
57.5		0.21				0.12		

- ทฤษฎีแผ่นพับ
 △ การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 1
 ○ การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 2
 × การแบ่งชั้นส่วนย่อยแบบที่ 3

ตารางที่ 3.1.2 ค่าระยะการโก่งตัวในแนวดิ่งตามผิวบนของคาน

ระยะ Y ฟุต	ระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง (*10 ⁻⁴ ฟุต) ตามผิวบนของคาน							
	คาน L1				คาน L2			
	□	△	○	×	□	△	○	×
2.5		0.01				.007		
5.0		0.04	0.03			0.02	0.02	
7.5	0.07	0.07			0.05	0.05		
10.0		0.11	0.10			0.08	0.07	
12.5	0.15	0.15			0.11	0.11		
15.0		0.20	0.19			0.14	0.13	
17.5	0.24	0.24			0.17	0.17		
20.0		0.28	0.27			0.20	0.19	
22.5	0.33	0.32			0.22	0.22		
25.0		0.36	0.35			0.25	0.24	
27.25	0.39				0.26			
27.5		0.39				0.26		
30.0	0.41	0.41	0.40		0.28	0.28	0.27	
32.5		0.42				0.29		
32.75	0.43				0.29			
35.0		0.43	0.41			0.29	0.28	
37.5	0.42	0.42			0.29	0.29		
40.0		0.40	0.39			0.28	0.27	
42.5	0.38	0.38			0.26	0.26		
45.0		0.34	0.33			0.24	0.23	
47.5	0.30	0.30			0.21	0.21		
50.0		0.25	0.24			0.18	0.17	
52.5	0.19	0.19			0.14	0.14		
55.0		0.13	0.13			0.09	0.09	
57.5		0.07				0.05		

- ทฤษฎีแผ่นพับ
 △ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1
 ○ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 2
 × การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3

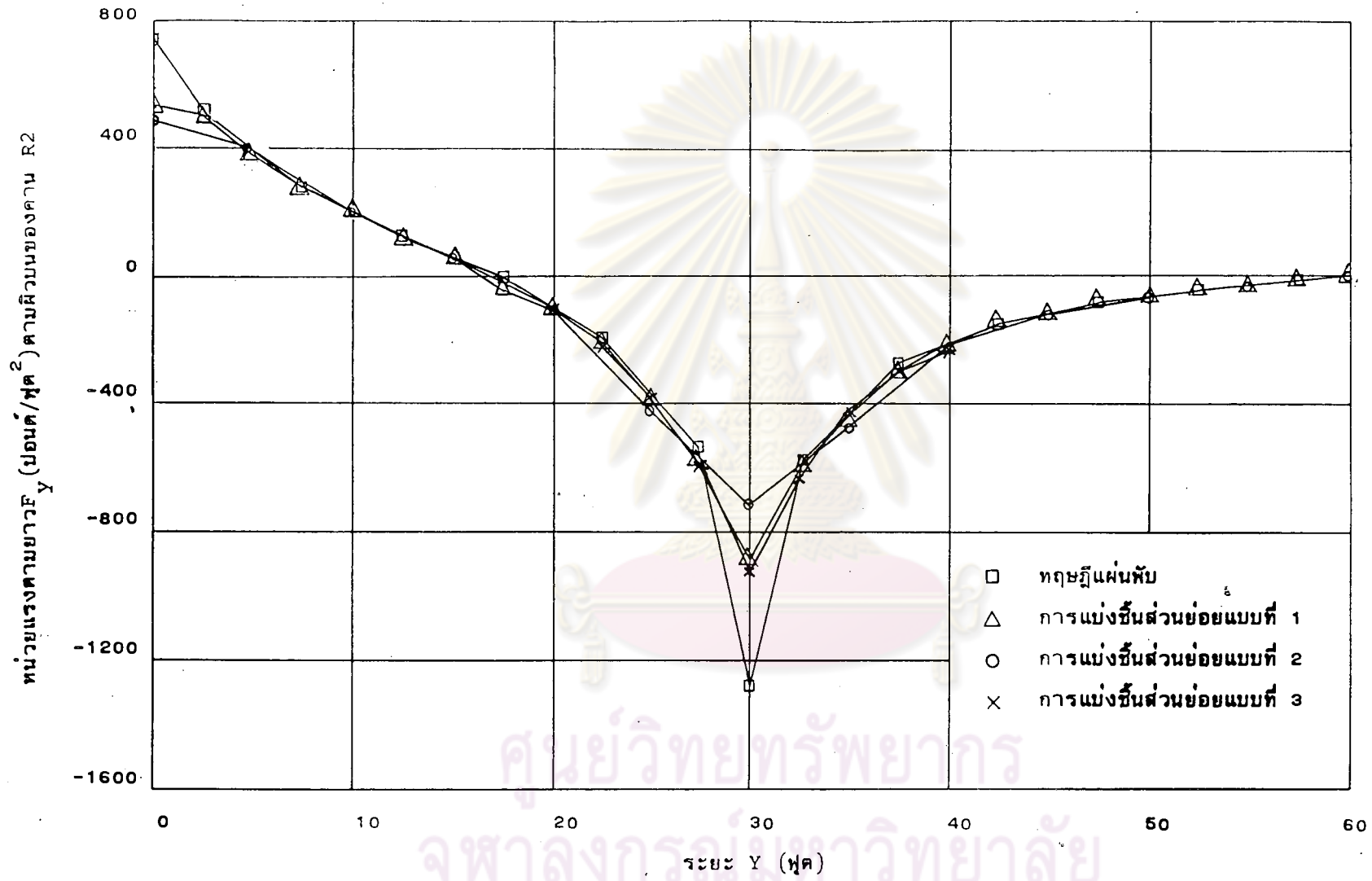


รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบการโค้งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของคาน

ตารางที่ 3.2.1 ค่าแสดงการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y

ระยะ Y ฟุต	การกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y (ปอนด์/ฟุต ²) ตามผิวบนของคาน R2			
	□	△	○	×
0	749.5	549.5	499.5	
2.5	530.0	521.2		
5.0		387.7	415.5	
7.5	283.0	286.8		
10.0		207.0	212.2	
12.5	139.2	133.3		
15.0		60.2	61.5	
17.5	-1.4	-18.3		
20.0		-110.5	-120.9	-108.5
22.5	-190.3	-223.0		-226.8
25.0		-397.0	-426.0	-377.6
27.25	-537.3			
27.5		-583.0		-617.8
30.0	-1275.4	-874.8	-713.4	-930.2
32.5		-609.6		-642.6
32.75	-573.0			
35.0		-451.0	-481.1	-425.4
37.5	-276.3	-305.2		-310.5
40.0		-223.0	-236.3	-269.9
42.5	-151.1	-163.7		
45.0		-121.8	-125.4	
47.5	-86.4	-90.4		
50.0		-66.0	-68.7	
52.5	-45.5	-46.2		
55.0		-29.3	-30.2	
57.5	-15.0	-14.0		
60.0		-1.4	1.8	

- ทฤษฎีแผ่นพับ
 △ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1
 ○ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 2
 × การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3

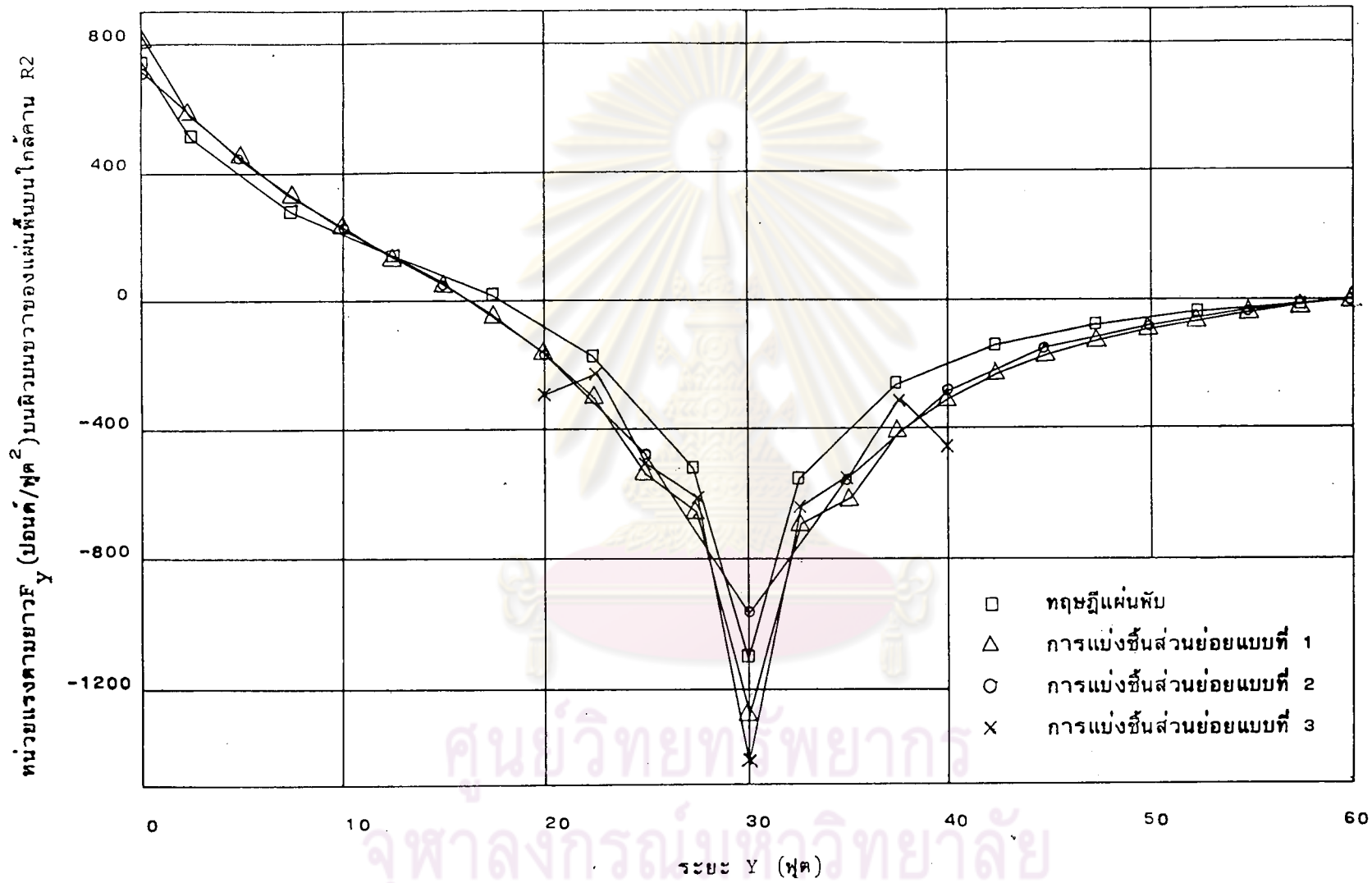


รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y ตามความยาวของคาน R2

ตารางที่ 3.2.2 ค่าแสดงการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_Y

ระยะ Y ฟุต	การกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_Y (ปอนด์/ฟุต ²) บนผิวบนขวาของแผ่นพื้นบนโกล์คาน R2			
	□	△	○	×
0	748.9	834.0	722.0	
2.5	518.0	573.6		
5.0		448.2	460.0	
7.5	283.9	325.9		
10.0		227.6	239.5	
12.5	141.5	135.1		
15.0		41.7	65.5	
17.5	2.6	-58.6		
20.0		-178.1	-150.2	-314.3
22.5	-184.4	-311.7		-222.0
25.0		-558.7	-483.6	-499.8
27.25	-523.7			
27.5		-669.1		-618.6
30.0	-1112.7	-1296.0	-964.0	-1430.0
32.5		-701.7		-648.5
32.75	-557.6			
35.0		-624.6	-548.2	-555.9
37.5	-268.7	-412.2		-310.8
40.0		-315.2	-284.8	-474.2
42.5	-144.6	-235.4		
45.0		-178.7	-151.8	
47.5	-81.4	-134.6		
50.0		-99.4	-84.7	
52.5	-42.4	-70.2		
55.0		-44.8	-37.3	
57.5	-17.0	-21.8		
60.0		-12.4	2.7	

- ทฤษฎีแผ่นพับ
 △ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1
 ○ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 2
 × การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3

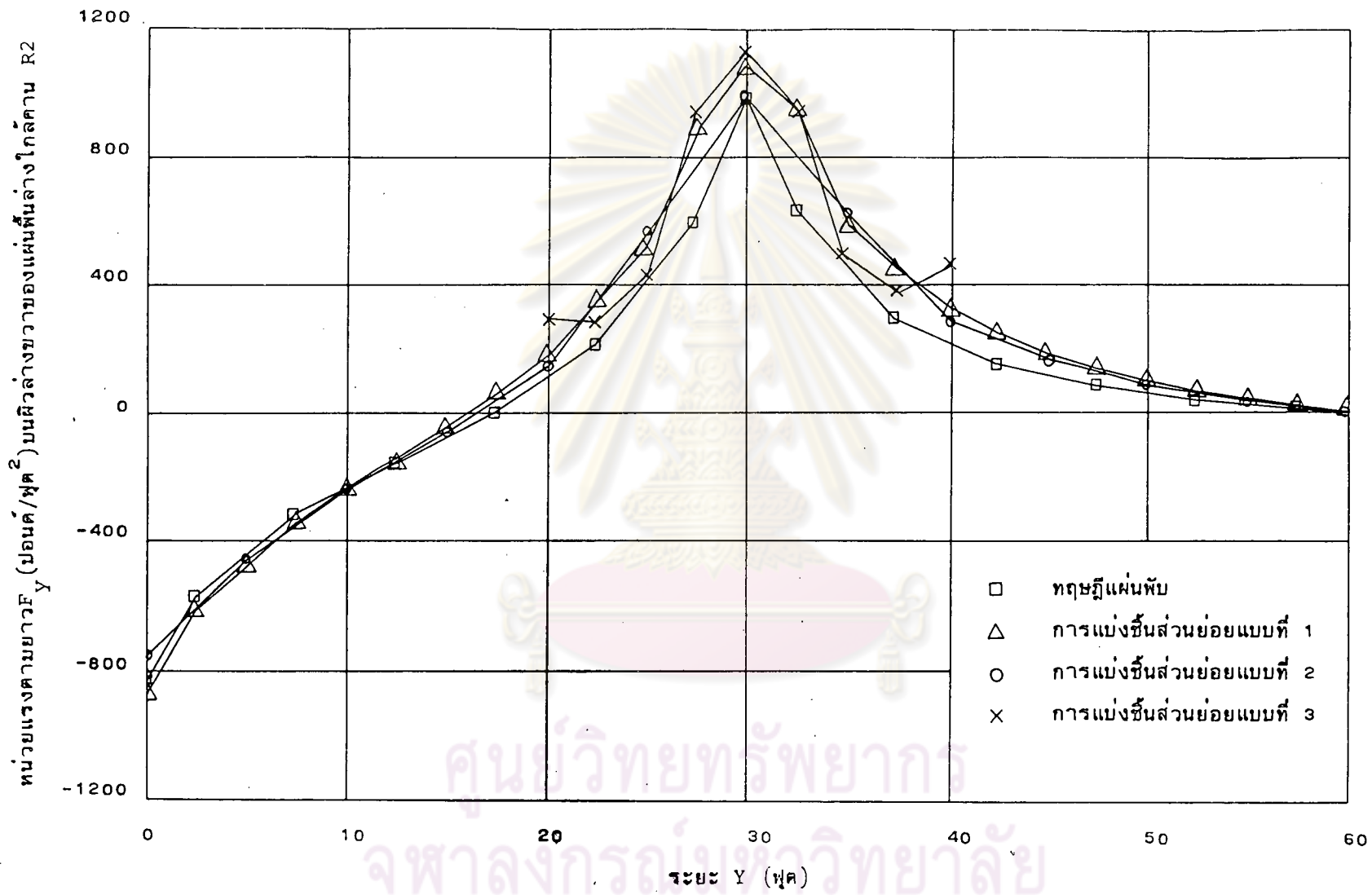


รูปที่ 3.7 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y บนผิวบนขวาของแผ่นพื้นบน

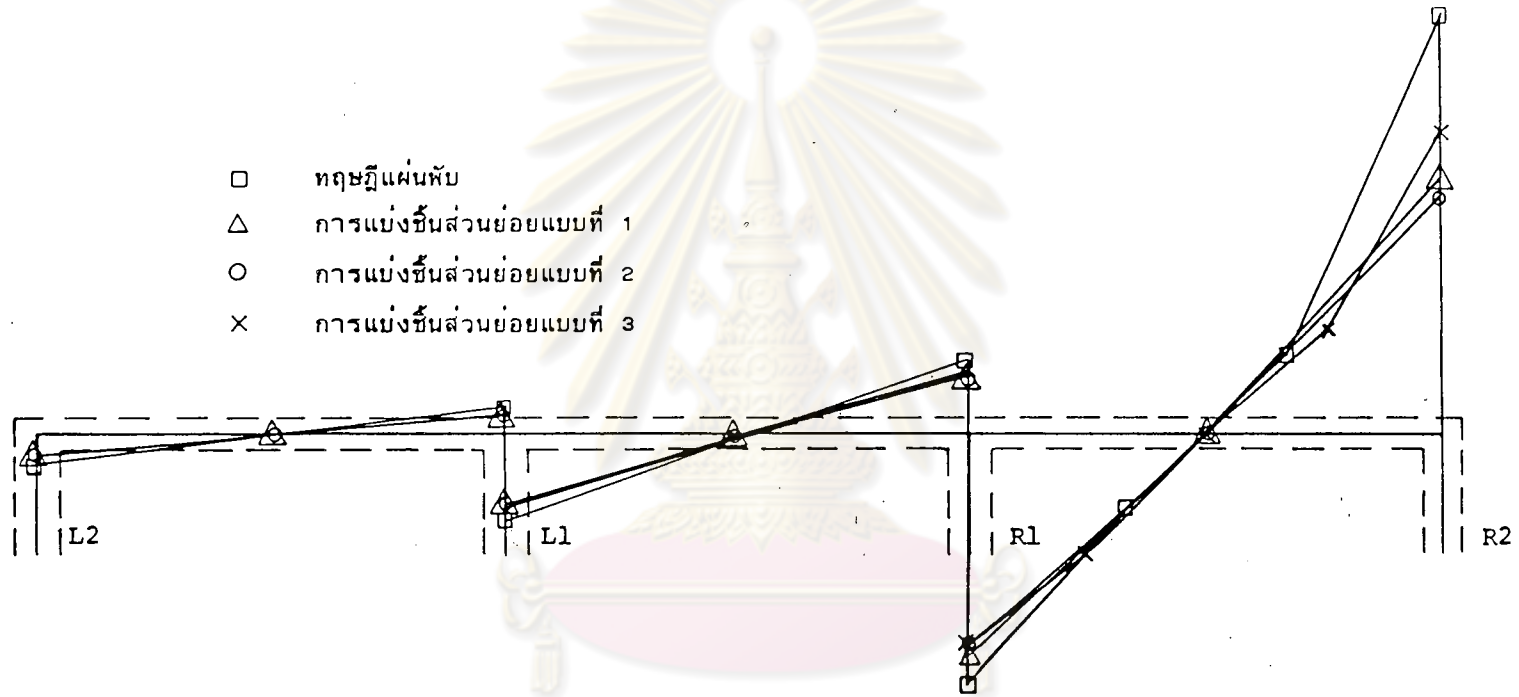
ตารางที่ 3.2.3 ค่าแสดงการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y

ระยะ Y ฟุต	การกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y (ปอนด์/ฟุต ²) บนผิวล่างขวาของแผ่นพื้นล่างใกล้คาน ^Y R_2			
	□	△	○	×
0	-836.9	-872.8	-759.8	
2.5	-575.0	-620.4		
5.0		-488.4	-502.0	
7.5	-324.3	-356.6		
10.0		-251.0	-263.2	
12.5	-164.1	-150.8		
15.0		-50.0	-69.3	
17.5	-7.9	59.2		
20.0		182.6	145.1	290.9
22.5	200.8	348.2		282.8
25.0		520.6	560.0	434.0
27.25	596.3			
27.5		916.6		928.2
30.0	987.0	1080.0	960.0	1121.5
32.5		951.8		961.0
32.75	630.5			
35.0		592.4	630.4	496.0
37.5	293.0	457.7		381.0
40.0		332.0	292.2	460.4
42.5	154.5	251.8		
45.0		190.4	167.8	
47.5	84.3	143.3		
50.0		105.7	90.1	
52.5	42.6	74.5		
55.0		47.5	40.4	
57.5	18.0	23.2		
60.0		12.4	-1.9	

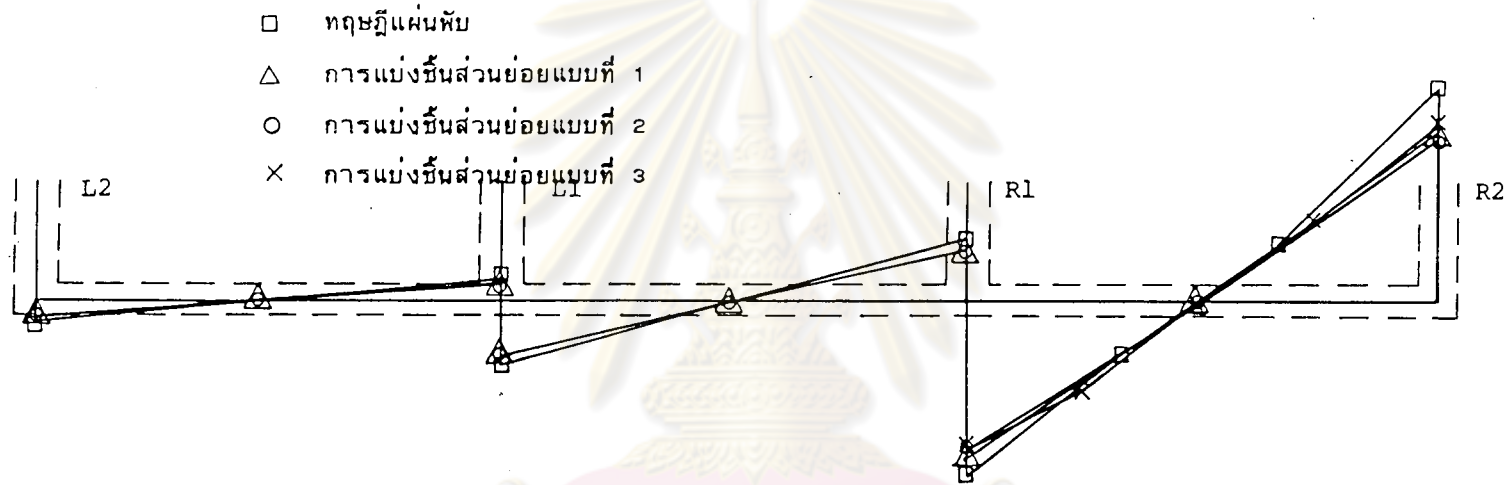
- ทฤษฎีแผ่นพับ
 △ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1
 ○ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 2
 × การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3



รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว F_y บนผิวล่างขวาของแผ่นพื้นล่าง

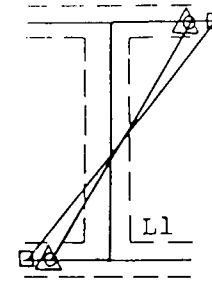


รูปที่ 3.9 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์คดตามขวาง M_y (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงความยาวตัวสะพานของแผ่นพื้นบน



รูปที่ 3.10 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์ค้คตามขวาง M_y (พุด-ปอนด์/พุด)
 ที่หน้าค้คกึ่งกลางช่วงความยาวค้คสะพานของแผ่นพื้นค้ค

ศูนย์วิทยพัทพัทพัท
 จุพัทพัทพัทพัทพัท



- ทฤษฎีแผ่นทับ
- △ การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 1
- การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 2
- × การแบ่งชิ้นส่วนย่อยแบบที่ 3



รูปที่ 3.11 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์คัตตามขวาง M_y (หุค-ปอนด์/หุค) ที่หน้าค้ำค้ำกลางช่วงความยาวตัวสะพานของคาน