พลตำรวจสถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ตัวอย่างการทดลองเชิงตัวเลข

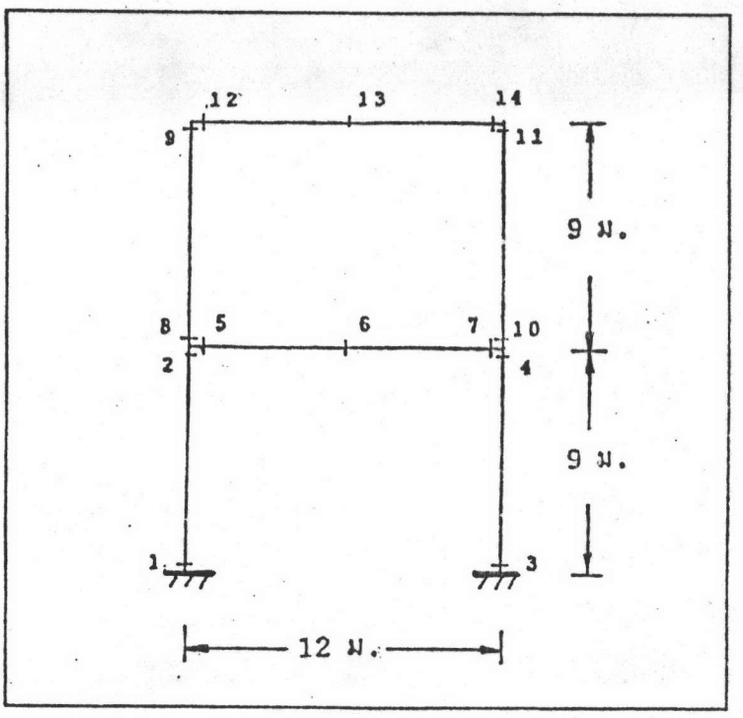
4.1 ความนำ

ในบทนี้จะแสดงถึง ผลของการออกแบบอย่างเหมาะสุด ของโครงข้อแข็งเหล็กด้วยวิธีพลาสติก ตามข้อสมมุติฐานไว้ในบทต้น โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ระบบด้วยกันคือ การคำนวนออกแบบโดยคำนึงถึง แรงที่กระทำเพียงชุดเดียว โดยที่อาจเป็นแรงในแนวดิ่ง พร้อมแรงกระทำด้านข้าง กับการคำนวนออกแบบโดยคำนึงถึงผลของแรงกระทำ 2 ชุดพร้อมๆกันโดยเป็นแรงแนวดิ่งกระทำ กับแรงแนวดิ่งและแรงกระทำด้านข้าง โดยที่แต่ละแบบของการคำนวนนั้นสามารถที่จะแบ่งเป็นการคำนวนที่ คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกน และข้อกำหนดของมาตราฐานการออกแบบ โดยทำการทดลองในโครงข้อแข็งชนิด 2 ชั้น 1 ช่วงเสา 3 ชั้น 2 ช่วงเสาขนาดรูปทรงของโครงสร้างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำนั้นเป็นข้อมูลที่ได้นำมาจากเอกสารอ้างอิงต่างๆ และนำข้อมูลขนาดของชิ้นส่วนมาเปรียบเทียบในการคำนวนออกแบบได้

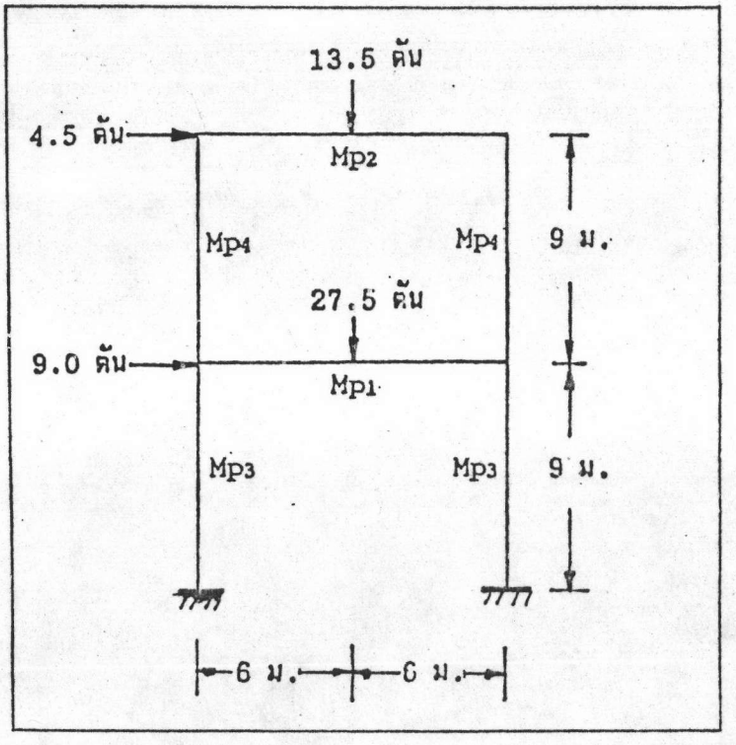
4.2 ตัวอย่างที่ 1

แสดงการคำนวณออกแบบของโครงข้อแข็งเหล็กที่มี 2 ชั้นและ 1 ช่วงเสาโดยที่ในแต่ละชั้นสูง 9 เมตร และมีช่วงเสากว้าง 12เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1โดยเลือกขนาดของชิ้นส่วนออกเป็น 4ประเภทในรูปที่ 4.2 มีแรงกระทำทั้งแรงแนวดิ่งและแรงด้านข้าง เป็นตัวอย่างที่แสดงผลการคำนวณที่มีขนาดของแรงและรูปทรงทางเรขาคณิต เหมือนใน Cohn(1972) ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบผลของการทำงานของโปรแกรมและแสดงผลของการคำนวณออกแบบที่ทำในงานวิจัยโดย คำนึงถึงผลต่างๆของน้ำหนักบรรทุก ตามมาตราฐานกำหนดดังนี้

ก.แรงกระทำเพียงชุดเดียว โดยเป็นแรงที่ประกอบไปด้วยแรงแนวดิ่งและแรงด้านข้าง โดยใช้ตัวคูณน้ำหนัก 1.3



รูปที่ 4.1 แสดงขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต ตำแหน่งโมเมนต์



รูปที่ 4.2 แสดงแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง ทั้งแรงด้านข้างและแรงแนวดิ่งที่กระทำต่อโครงสร้างข้อแข็ง ชนิดของวัสดุของชิ้นส่วน

ข.แรงกระทำเพียงชุดเดียว โดยเป็นแรงที่ประกอบด้วยแรงแนวดิ่งเพียงอย่างเดียว โดยใช้ตัวคูณน้ำหนัก 1.7

ค.แรงกระทำทั้งสองชุดจากข้อ ก. และ ข. โดยที่คำนวณหาโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ทั้งสองกรณี กรณีหนึ่งกรณีใด

ง.จากทั้ง 3 กรณีข้างต้นนั้น เมื่อคำนวณผลของแรงรอง (แนวแกน ค่าแรงเฉือนและค่าแรงดัด)นำมาพิจารณาในการออกแบบตามข้างต้นดังกล่าวทั้ง 3 กรณี

จ.จำนวนตัวแปร สมการและอสมการที่ใช้ในการคำนวณค่ามีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 จำนวนตัวแปร สมการและอสมการในตัวอย่างที่ 1

	แรงกระทำชุดเดียว	แรงกระทำหลายชุด
จำนวนตัวแปร	18	32
จำนวนสมการ	8	16
จำนวนอสมการ	14	28

การหาค่าผลลัพธ์ด้วยวิธีทางสถิตย์นี้ เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการคำนวณกับวิธีทางคิเนมาติก ในกรณีใช้แรงกระทำชุดเดียว จำนวนตัวแปรจะเท่ากันแต่ต้องใช้อสมการพิจารณาถึง 60 อสมการ นี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงการใช้วิธีทางสถิตย์ สามารถจัดสมการได้รวดเร็วสะดวกกว่าวิธีคิเนมาติก โดยอย่างยิ่งแล้วในกรณีแรงกระทำหลายชุดจะทำให้ประหยัดขึ้นมาก

ฉ.จากการคำนวณออกแบบเพื่อให้รับน้ำหนักดังกล่าวข้างต้นนั้น ทำให้แบ่งการออกแบบออกเป็น 6 กรณี ด้วยกันตามลำดับ โดยใช้เหล็กที่มีค่าโมเมนต์ประลัย 2520 กก./ซม^2 จะได้ค่าโมเมนต์ที่จุดต่างๆดังนี้

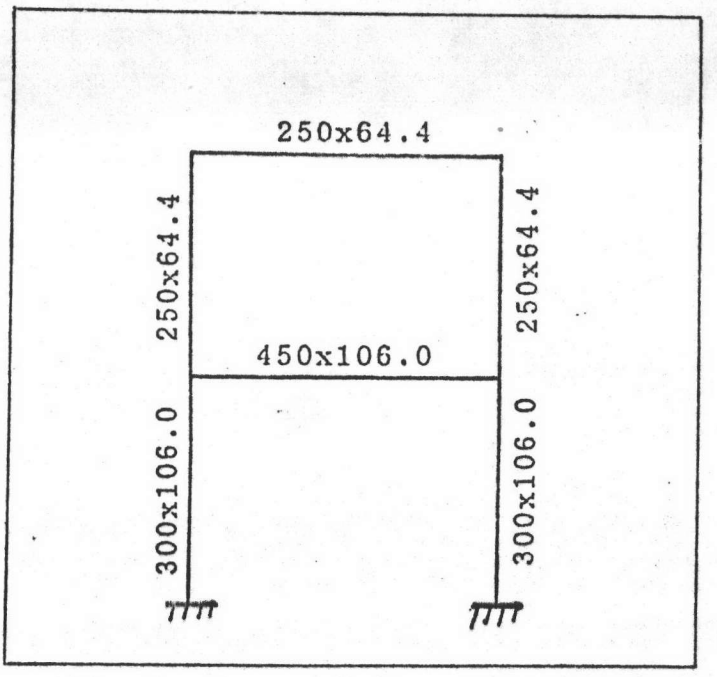
ตารางที่ 4.2 โมเมนต์ ณ.จุดต่างๆในโครงสร้างตัวอย่างที่ 1 (ตัน-ม.)

ตำแหน่ง	แรงกระทำชุดเดียว		แรงกระทำหลายชุด	
	LF=1.3	LF=1.7	LF=1.3	LF=1.7
1	-41.00*	-26.48*	-30.37*	-26.90
2	-1.50	-26.48*	30.37*	-26.90
3	41.00*	-26.48*	30.37*	-30.37*
4	-41.00*	-26.48*	-30.37*	-30.37*
5	18.75	-52.96	8.17	-49.00
6	61.25*	54.92*	57.72*	-57.72*
7	-61.25*	-52.96	-57.72*	-51.90
8	-20.25*	26.48*	19.01	22.39
9	-20.25*	-26.48*	3.66	28.22*
10	20.25*	26.48*	27.64	22.39
11	-20.25*	-26.48*	-28.22*	28.22*
12	-20.25*	-26.48*	3.66	-28.22*
13	20.25*	26.48*	-28.22*	28.22*
14	-20.25*	-26.48*	-28.22*	28.22*

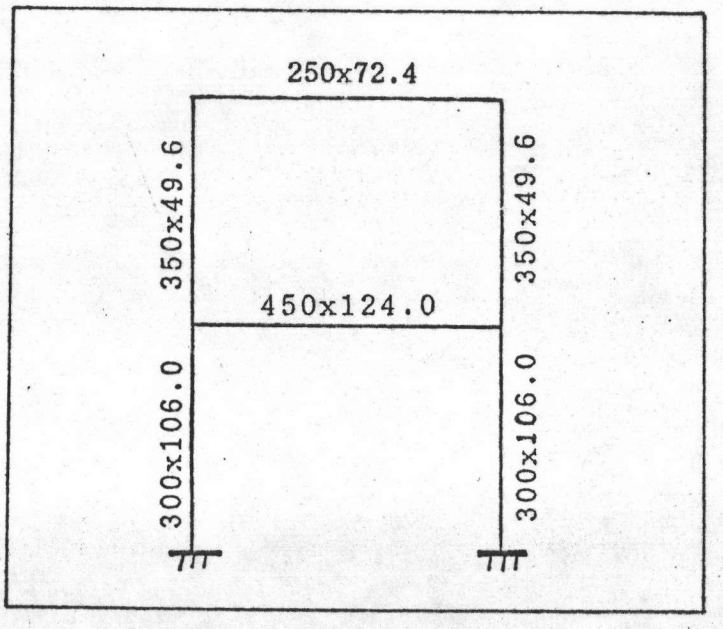
หมายเหตุ ตำแหน่ง * โมเมนต์ถึงค่าพลาสติกโมเมนต์

ตารางที่ 4.3 ค่าพลาสติกโมเมนต์แต่ละกรณีของกลุ่มต่างๆ ในตัวอย่างที่ 1

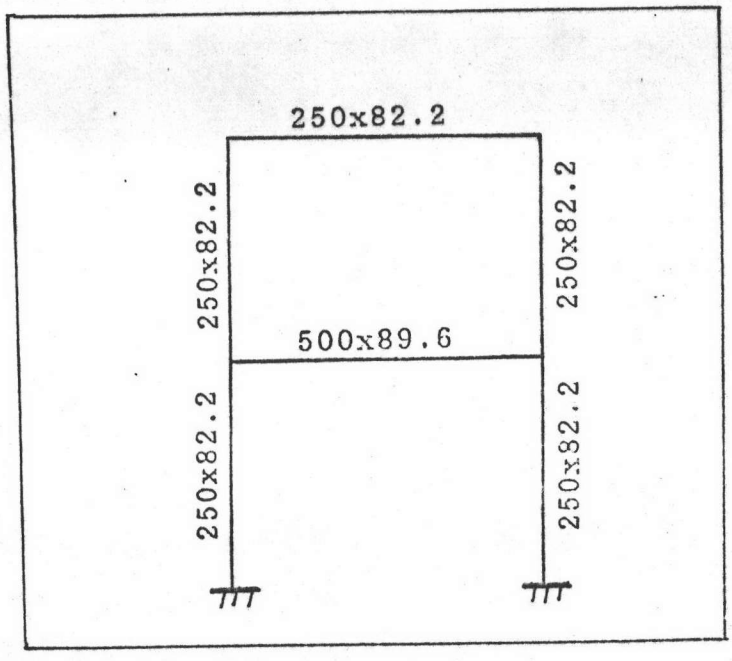
พลาสติกโมเมนต์ (ตัน-ม.)	แรงกระทำชุดเดียว			แรงกระทำหลายชุด
	LF = 1.3	LF = 1.7	ขนาดเลือกใช้	
MP_1	61.25	54.92	61.25	57.72
MP_2	20.25	26.48	26.48	28.22
MP_3	41.00	26.48	41.00	30.37
MP_4	41.00	26.48	26.48	28.72
ค่าพังก์วัตถุประสงค์	2080	1930	2267	2086



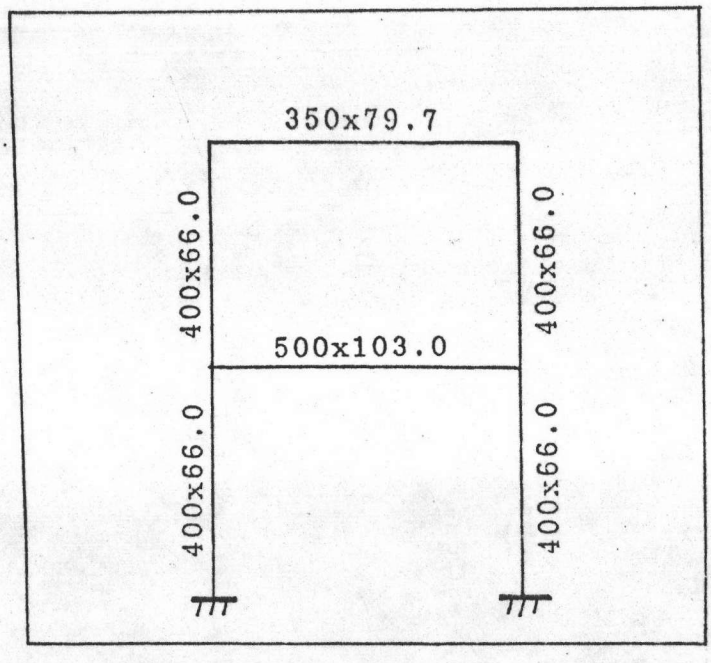
รูปที่ 4.3 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ โดยไม่คำนึงถึงแรงรอง



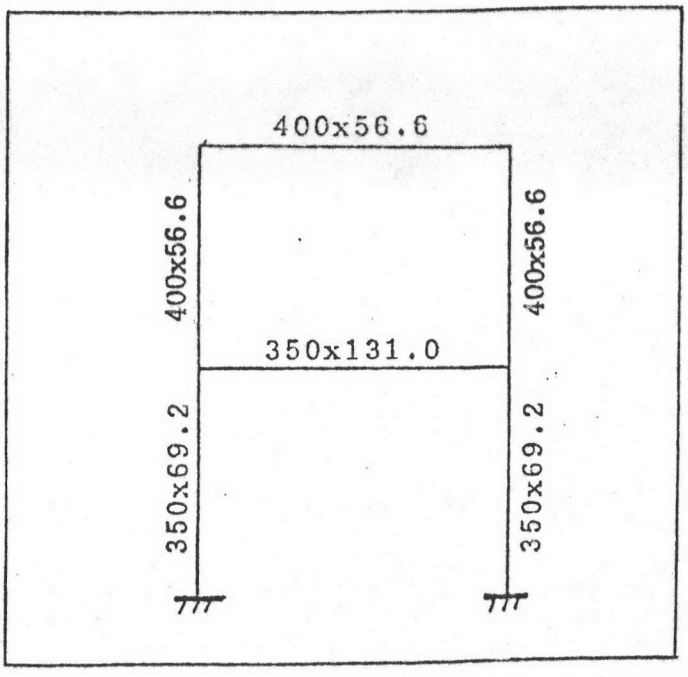
รูปที่ 4.4 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ โดยคำนึงถึงแรงรอง



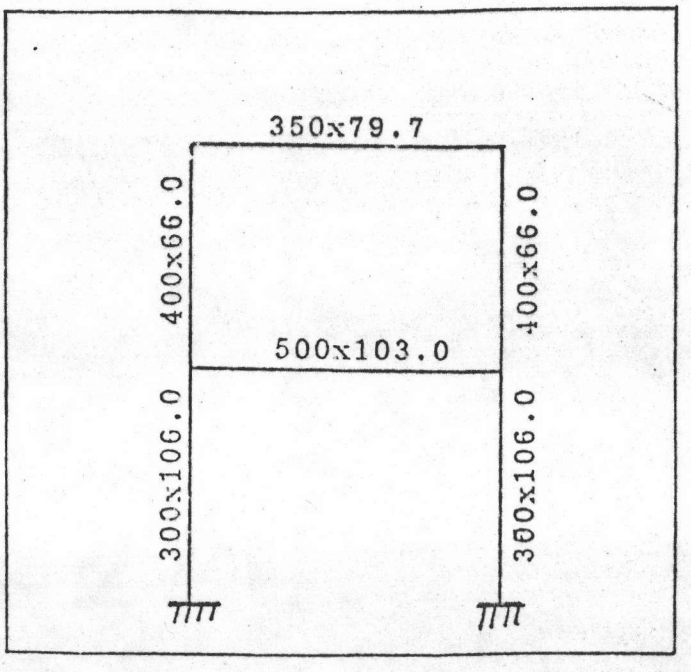
รูปที่ 4.5 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำแนวดิ่ง โดยไม่คำนึงถึงแรงรอง



รูปที่ 4.6 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำแนวดิ่ง โดยคำนึงถึงแรงรอง



รูปที่ 4.7 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ หรือแนวดิ่ง ในกรณีใดกรณีหนึ่ง โดยไม่คำนึงถึงแรงรอง



รูปที่ 4.8 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ หรือแนวดิ่ง ในกรณีใดกรณีหนึ่ง โดยคำนึงถึงแรงรอง

จากผลการคำนวณในกรณีเมื่อใช้น้ำหนักกระทำกระทำเพียงชุดเดียว แสดงถึงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้คำนวณออกแบบควรมีค่า 2267 จึงจะทำให้โครงสร้างปลอดภัย และโครงสร้างที่เหมาะสุดควรมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ระหว่าง 2080 ถึง 2267 แต่จากหลักการวิเคราะห์ใช้น้ำหนักกระทำหลายชุด สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ของโครงสร้างที่เหมาะสุด 2086 จากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้ทำให้เราสามารถคำนวณออกแบบประหยัดลงประมาณ 8 %

อีก 3 กรณีต่อไปนั้น คำนึงถึงผลของแรงรอง การคำนวณออกแบบให้ได้ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่งต่างๆ เหมือน 3 กรณีแรก แต่จะทำให้ขนาดของหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ใหญ่กว่า 3 กรณีแรก ขนาดของหน้าตัดของชิ้นส่วนที่เลือกขึ้นมาใช้ในกรณีต่างๆ อันเป็นคำตอบสุดท้ายนั้นแสดงไว้ในรูปที่ 4.3-4.8

ช.ผลของแรงรอง และพลาสติกโมเมนต์ของหน้าตัดที่ไม่ต่อเนื่อง จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.3-4.8 สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลสรุปของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในตัวอย่างที่ 1

	น้ำหนักกระทำชุดเดียว		น้ำหนักกระทำหลายชุด
	LF = 1.3	LF = 1.7	
ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์	2080	1930	2086
ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เลือกจริง	2110	1941	2162
เพิ่มค่าจากทฤษฎี	1.4%	0.5%	3.5%
ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมผลแรงรอง	2324	2460	2584
เพิ่มค่าจากเลือกจริง	9.2%	21.1%	16.3%

จึงแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณี ผลของความไม่ต่อเนื่องและผลของแรงรองจะให้ผลมากหรือน้อยขึ้นกับรูปร่างของโครงสร้างและน้ำหนักกระทำ แต่จะมีผลให้เลือกชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น

4.3 ตัวอย่างที่ 2

แสดงการคำนวณออกแบบโครงเหล็กที่นำมาจาก Besart(1975) โดยมีขนาดรูปทรงทางเรขาคณิตคือมี 2 ช่วงเสา 3 ชั้นขนาดกำหนดในรูปที่ 4.9 โดยโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกและแบ่งขนาดของชิ้นส่วนออกเป็น 15 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ตาม Besart(1975) ใช้วิธีแบ่งส่วนโครงสร้างคำนวณหาคำตอบ ซึ่งเป็นงานที่ต้องใช้ขั้นตอนมากแต่จากงานวิจัยนี้สามารถคำนวณค่าผลลัพธ์ออกมาได้สะดวกและรวดเร็วกว่า โดยคำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกลักษณะต่างๆดังนี้

ก.แรงกระทำเพียงชุดเดียว โดยเป็นแรงที่ประกอบไปด้วยแรงแนวดิ่งและแรงด้านข้างโดยใช้ตัวคูณน้ำหนัก 1.3

ข.แรงกระทำเพียงชุดเดียว โดยเป็นแรงที่ประกอบด้วยแรงแนวดิ่งเพียงอย่างเดียวโดยใช้ตัวคูณน้ำหนัก 1.7

ค.แรงกระทำทั้งสองชุดจากข้อ ก. และ ข. โดยที่คำนวณหาโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ทั้งสองกรณี กรณีหนึ่งกรณีใด

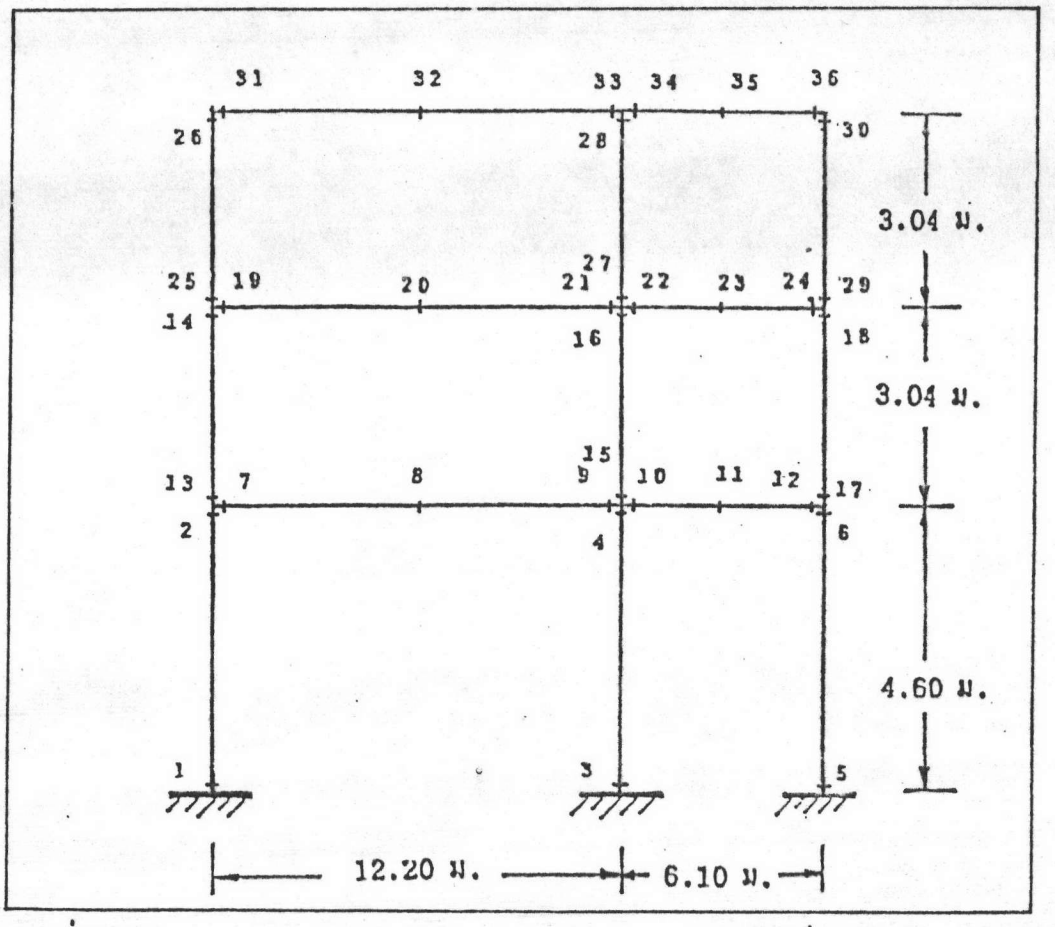
ง.จากทั้ง 3 กรณีข้างต้นนั้น เมื่อคำนวณผลของแรงรอง (แนวแกน ค่าแรงเฉือนและค่าแรงดัด)นำมาพิจารณาในการออกแบบตามข้างต้นดังกล่าวทั้ง 3 กรณี

จ.จำนวนตัวแปร สมการและอสมการที่ใช้ในการคำนวณค่ามีดังต่อไปนี้

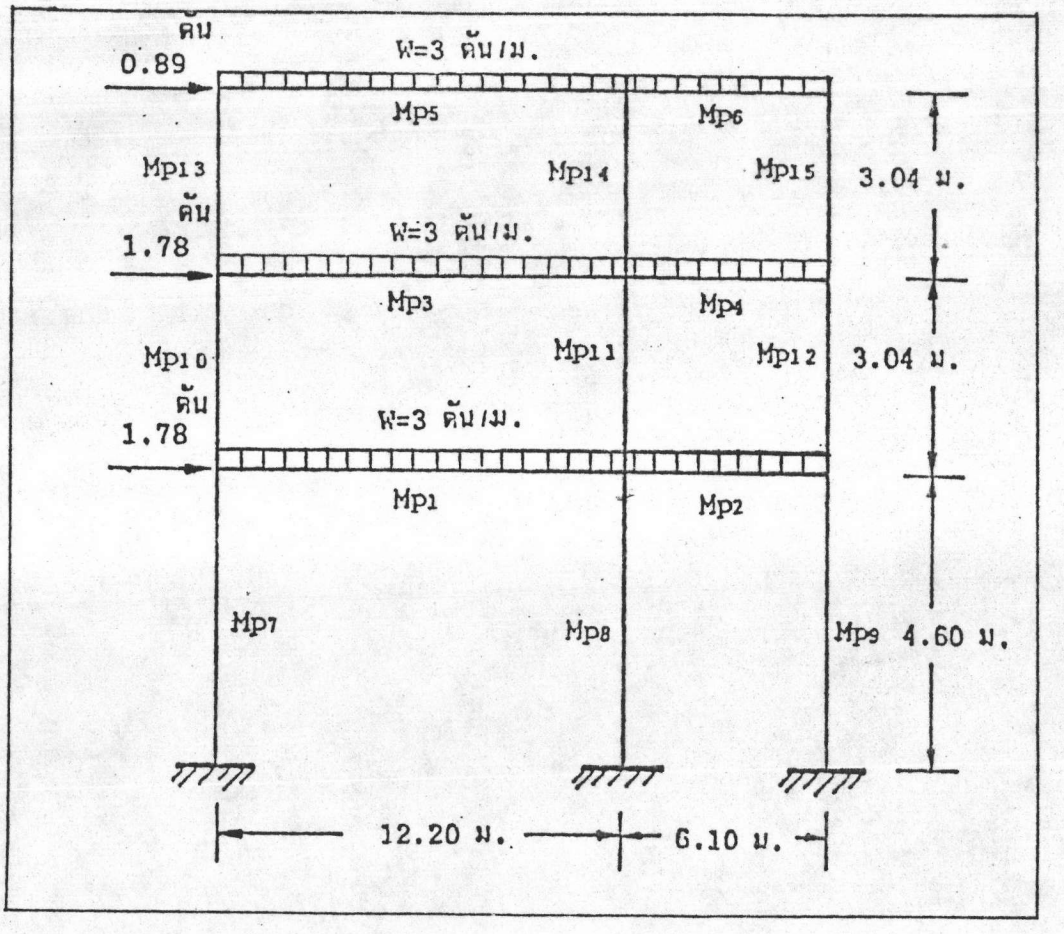
ตารางที่ 4.5 จำนวนตัวแปร สมการและอสมการในตัวอย่างที่ 2

	แรงกระทำชุดเดียว	แรงกระทำหลายชุด
จำนวนตัวแปร	51	87
จำนวนสมการ	18	32
จำนวนอสมการ	36	72

ฉ.จากการคำนวณออกแบบเพื่อให้รับน้ำหนักดังกล่าวข้างต้นนั้น ทำให้แบ่งการออกแบบ



รูปที่ 4.9 แสดงขนาดและรูปทรงทางเรขาคณิต ตำแหน่งโมเมนต์



รูปที่ 4.10 แสดงแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง ทั้งแรงด้านข้างและแรงแนวดิ่งที่กระทำต่อโครงสร้างอย่างแท้จริง ชนิดของวัสดุของชิ้นส่วน

ออกเป็น 6 กรณี ด้วยกันตามลำดับ โดยใช้เหล็กที่มีค่าโมเมนต์ประลัย 2520 กก./ซม² จะได้ค่าโมเมนต์ที่จุดต่างๆดังนี้

ตารางที่ 4.6 โมเมนต์ ณ.จุดต่างๆในโครงสร้างตัวอย่างที่ 2 (ตัน-ม.)

ตำแหน่ง	แรงกระทำชุดเดียว		แรงกระทำหลายชุด	
	LF=1.3	LF=1.7	LF=1.3	LF=1.7
1	-3.99	6.78	-8.86	6.78
2	-9.60*	-13.56*	-13.56*	-13.56*
3	-10.11*	-10.17*	-10.17*	-10.17*
4	5.96	10.17*	10.17*	10.17*
5	2.6*	-3.39*	-3.39*	-3.39*
6	-2.59*	-3.39*	-3.39*	-3.39*
7	-19.20	-27.12*	-27.12*	-27.12*
8	21.25*	27.12*	14.36	27.12*
9	-21.25*	-27.12*	-27.12*	-27.12*
10	-5.19*	-6.78*	-6.78*	-6.78*
11	5.19*	6.78*	6.78*	6.78*
12	-5.19*	-6.78*	-0.40	-6.78*
13	9.60*	13.56*	13.56*	13.56*
14	-9.60*	-13.56*	-0.98	-13.56*
15	-10.11*	-10.17*	-10.17*	-10.17*
16	10.11*	10.17*	10.17*	10.17*
17	2.60*	3.39*	-2.99	3.39*
18	-2.60*	-3.39*	-3.39*	-3.39*
19	-19.20	-27.12*	-14.54	-27.12*
20	21.25*	27.12*	20.65	27.12*

ตารางที่ 4.6 โมเมนต์ ณ.จุดต่างๆในโครงสร้างตัวอย่างที่ 2 (ตัน-ม.)(ต่อ)

ตำแหน่ง	แรงกระทำชุดเดียว		แรงกระทำหลายชุด	
	LF=1.3	LF=1.7	LF=1.3	LF=1.7
21	-21.25*	-27.12*	-27.12*	-27.12*
22	-5.17	-6.78*	-6.78*	-6.78*
23	5.19*	6.78*	4.23	6.78*
24	-5.19*	-6.78*	-5.50	-6.78*
25	9.60*	13.56*	13.56*	13.56*
26	-9.60*	-13.56*	-10.21	-13.56*
27	-5.97	-10.17*	-10.17*	-10.17*
28	10.11*	10.17*	10.17*	10.17*
29	2.60*	3.39*	2.11	3.39*
30	-2.60*	-3.39*	-3.39*	-3.39*
31	-9.60	-13.56	-10.21	-13.56
32	13.41*	18.56*	17.20*	17.20*
33	-13.41*	-14.49	-5.22	-17.20*
34	-3.30*	-4.32*	4.95	-7.03*
35	3.30*	4.32*	7.03*	2.96
36	-2.60	-3.39	-3.39	-3.39

หมายเหตุ ตำแหน่ง * โมเมนต์ถึงค่าพลาสติกโมเมนต์

ตารางที่ 4.7 ค่าพลาสติกโมเมนต์แต่ละกรณีของกลุ่มต่างๆ ในตัวอย่างที่ 2

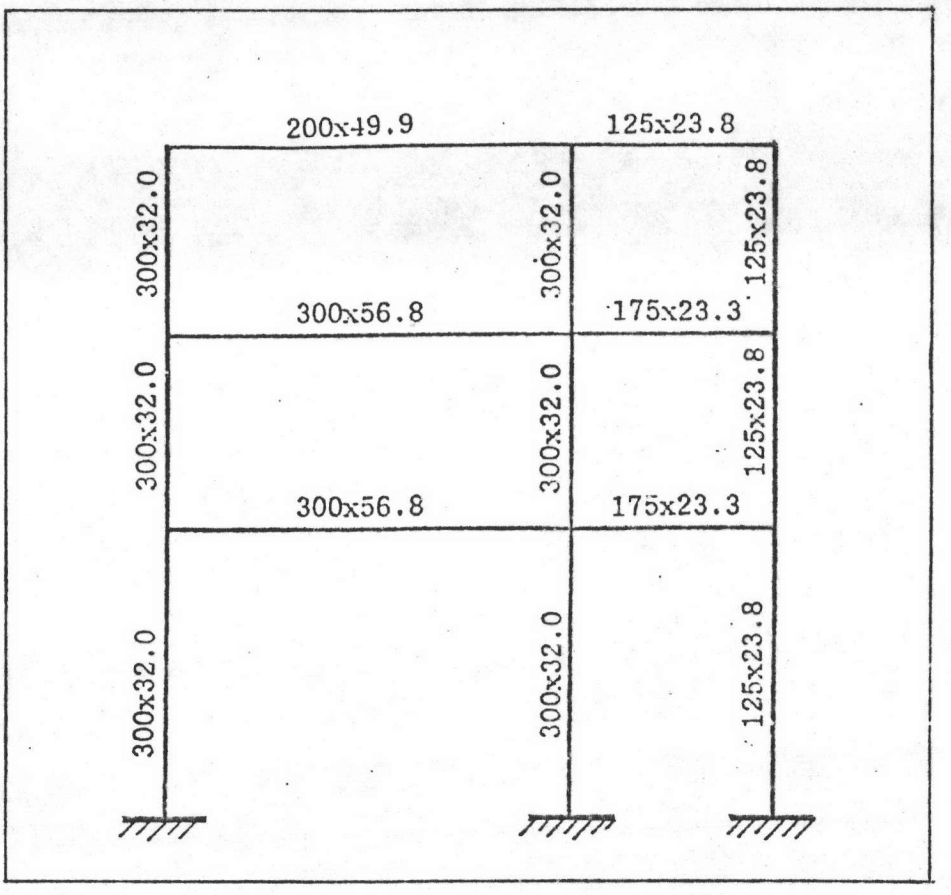
พลาสติกโมเมนต์ (ตัน-ม.)	แรงกระทำชุดเดียว			แรงกระทำหลายชุด
	LF = 1.3	LF = 1.7	ขนาดเลือกใช้	
M_{p1}	21.25	27.12	27.12	27.12
M_{P2}	5.19	6.78	6.78	6.78

ตารางที่ 4.7 ค่าพลาสติกโมเมนต์แต่ละกรณีของกลุ่มต่างๆ ในตัวอย่างที่ 2(ต่อ)

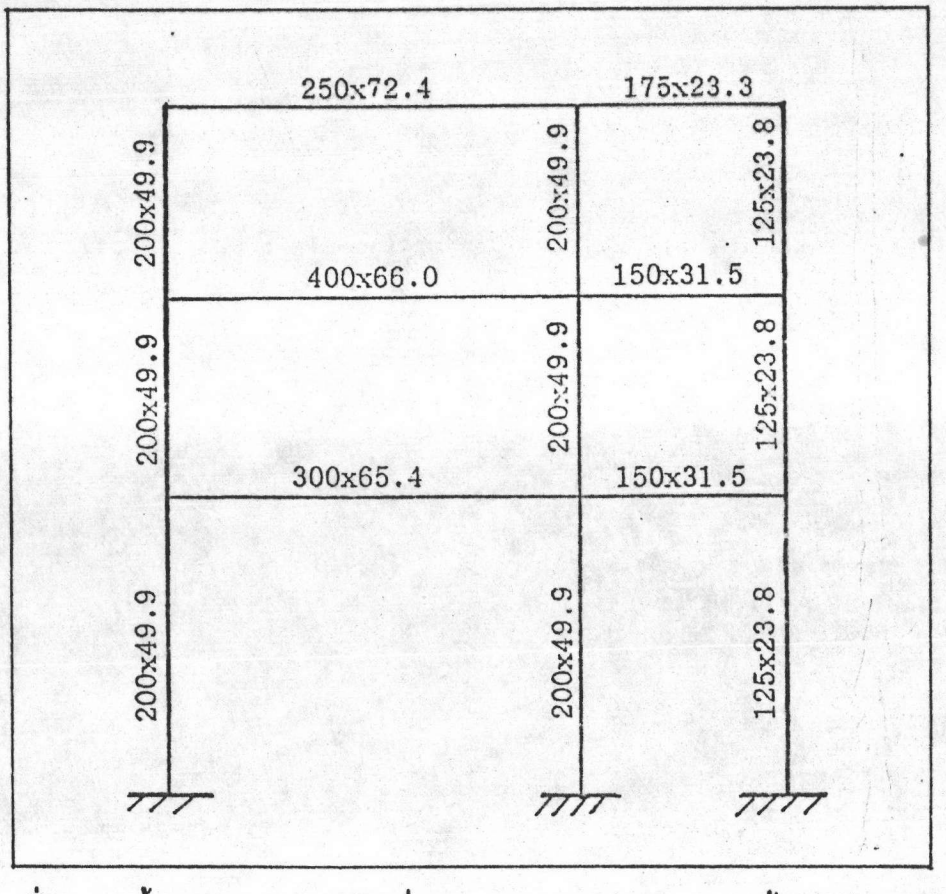
พลาสติกโมเมนต์ (ตัน-ม.)	แรงกระทำชุดเดียว			แรงกระทำหลายชุด
	LF = 1.3	LF = 1.7	ขนาดเลือกใช้	
MP_3	21.25	27.12	27.12	27.12
MP_4	5.19	6.78	6.78	6.78
MP_5	13.41	18.56	18.56	17.20
MP_6	3.30	4.32	4.32	7.03
MP_7	9.60	13.56	13.56	13.56
MP_8	10.11	10.17	10.17	10.17
MP_9	2.60	3.39	3.39	3.39
MP_{10}	9.60	13.56	13.56	13.56
MP_{11}	10.11	10.17	10.17	10.17
MP_{12}	2.60	3.39	3.39	3.39
MP_{13}	9.60	13.56	13.56	13.56
MP_{14}	10.11	10.17	10.17	10.17
MP_{15}	2.60	3.39	3.39	3.39
ค่าฟังชั่นวัตถุประสงค์	1003	1286	1286	1286

จากผลการคำนวณในกรณีเมื่อใช้น้ำหนักกระทำกระทำเพียงชุดเดียว แสดงถึงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้คำนวณออกแบบควรมีค่า 1286 จึงจะทำให้โครงสร้างปลอดภัย และโครงสร้างที่เหมาะสุดควรมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 1286 เท่านั้น และจากหลักการวิเคราะห์ใช้น้ำหนักกระทำหลายชุด สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ของโครงสร้างที่เหมาะสุด 1286 โดยที่มีชิ้นส่วนบางชิ้นเปลี่ยนขนาดแต่ไม่เปลี่ยนค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทำให้เห็นถึงผลของมโนทัศน์การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสุดจะมีโครงสร้างที่เหมาะสุดเพียงโครงสร้างเดียว

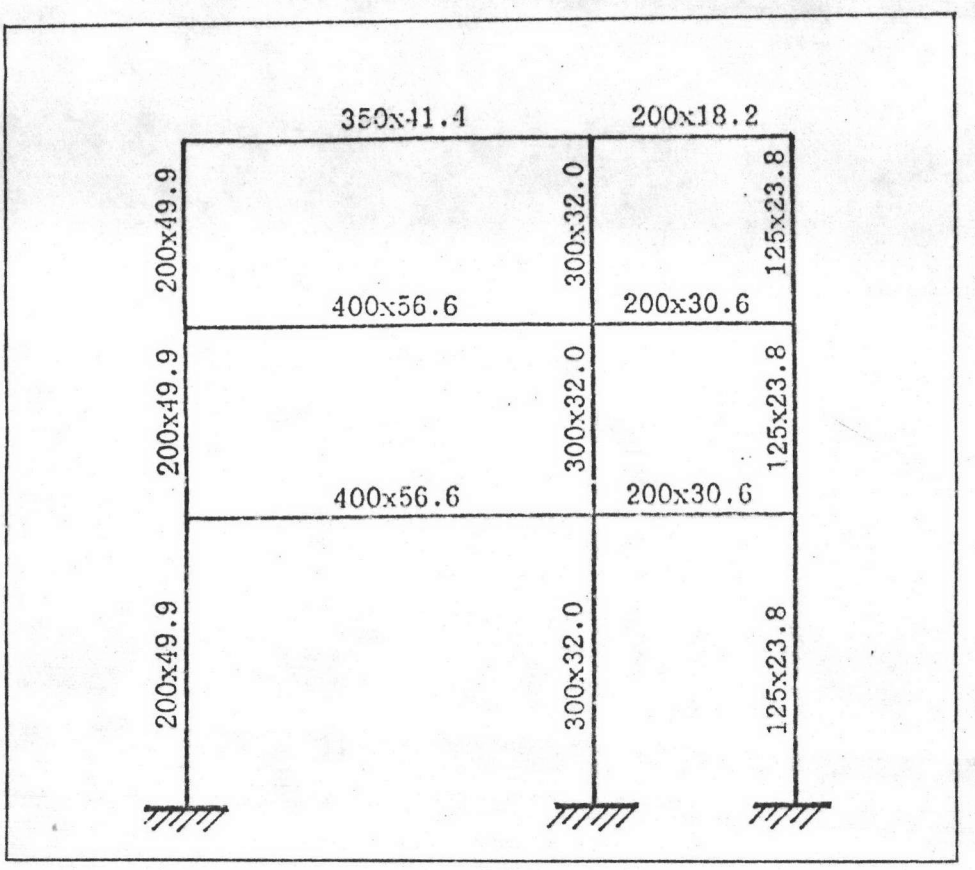
อีก 3 กรณีต่อไปนั้น คำนึงถึงผลของแรงรอง การคำนวณออกแบบให้ได้ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่งต่างๆ เหมือน 3 กรณีแรก เนื่องจากใส่ ข้อจำกัดให้ขนาดเสาชั้นล่างใหญ่กว่าหรือเท่ากับชั้นบน จะทำให้ได้ขนาดของหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ใหญ่กว่า 3 กรณีแรก ขนาดของหน้าตัดของชิ้นส่วนที่



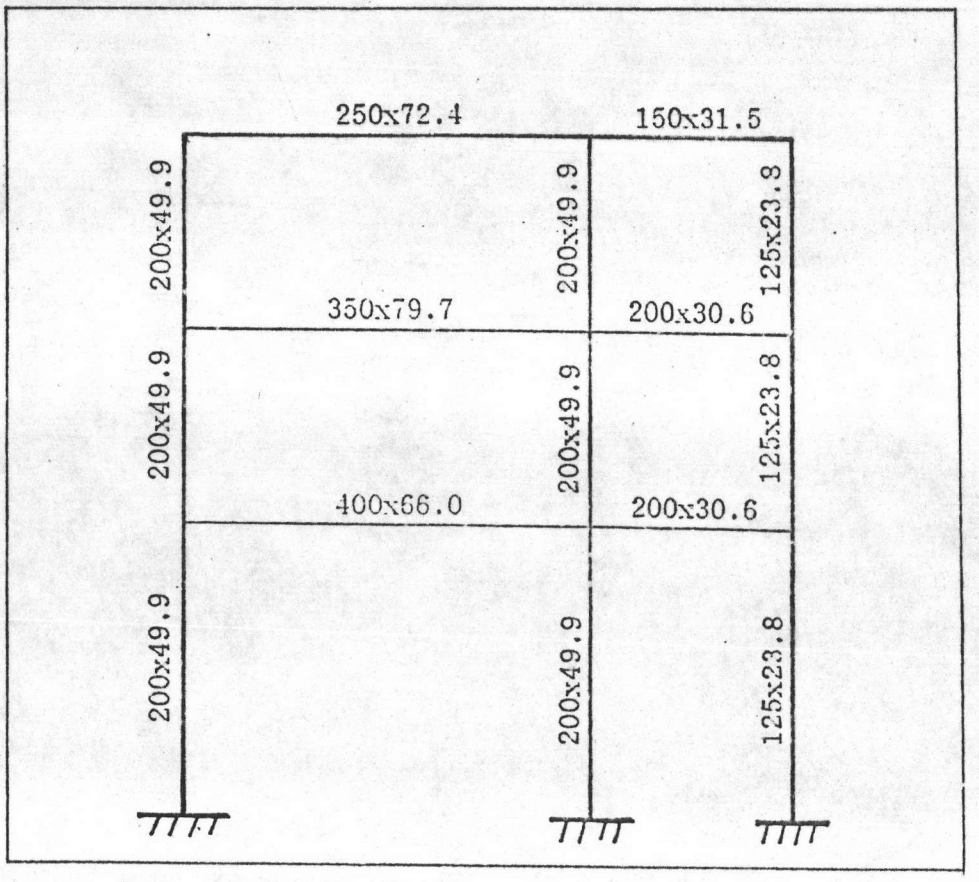
รูปที่ 4.11 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ โดยไม่คำนึงถึงแรงรอง



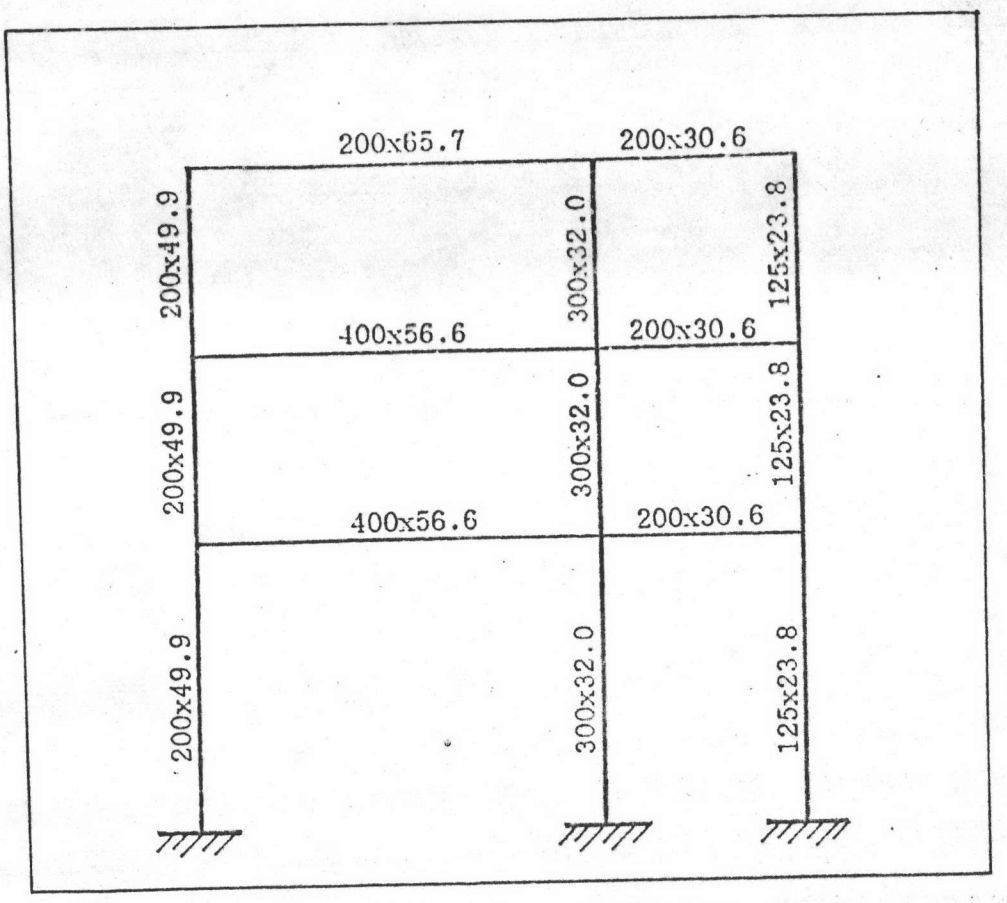
รูปที่ 4.12 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ โดยคำนึงถึงแรงรอง



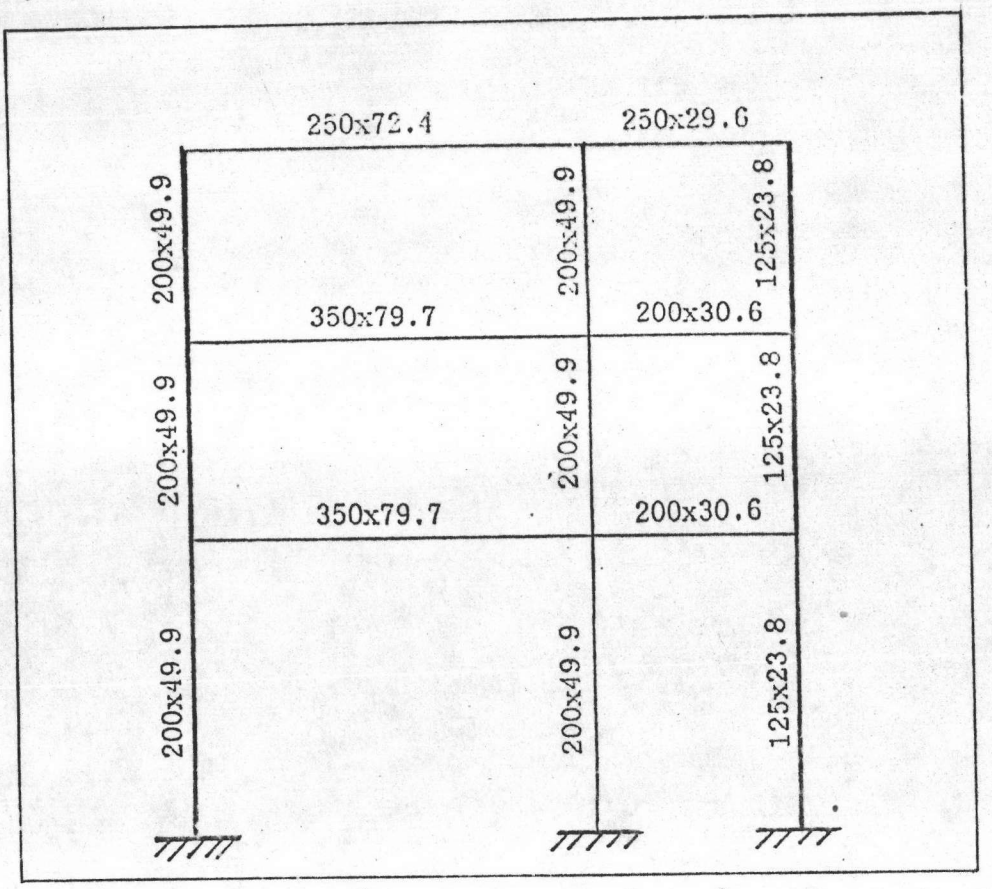
รูปที่ 4.13 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำแนวดิ่ง โดยไม่คำนึงถึงแรงรอง



รูปที่ 4.14 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำแนวดิ่ง โดยคำนึงถึงแรงรอง



รูปที่ 4.15 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ หรือแนวดิ่ง ในกรณีใดกรณีหนึ่ง โดยไม่คำนึงถึงแรงรอง



รูปที่ 4.16 ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เหมาะสุด ในกรณีแรงกระทำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ หรือแนวดิ่ง ในกรณีใดกรณีหนึ่ง โดยคำนึงถึงแรงรอง

เลือกขึ้นมาใช้ในกรณีต่างๆ อันเป็นคำตอบสุดท้ายนั้นแสดงไว้ในรูปที่ 4.11-4.16

ช.ผลของแรงรอง และพลาสติกโมเมนต์ของหน้าตัดที่ไม่ต่อเนื่อง จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.11-4.16 สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ผลสรุปของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในตัวอย่างที่ 2

	น้ำหนักกระทำชุดเดียว		น้ำหนักกระทำหลายชุด
	LF = 1.3	LF = 1.7	
ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์	1003	1286	1286
ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เลือกจริง	1101	1385	1400
เพิ่มค่าจากทฤษฎี	8.9%	7.1%	8.1%
ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมผลแรงรอง	1485	1650	1698
เพิ่มค่าจากเลือกจริง	25.9%	16.%	17.6%

จากผลลัพธ์ที่แสดงนี้ ให้ผลการเพิ่มขนาดของชิ้นส่วน อันเนื่องมาจากแรงรองมีค่าที่สูงเป็นผลมาจากการรูปทรงของโครงสร้าง และน้ำหนักที่กระทำ