

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

4.1 ความนำ

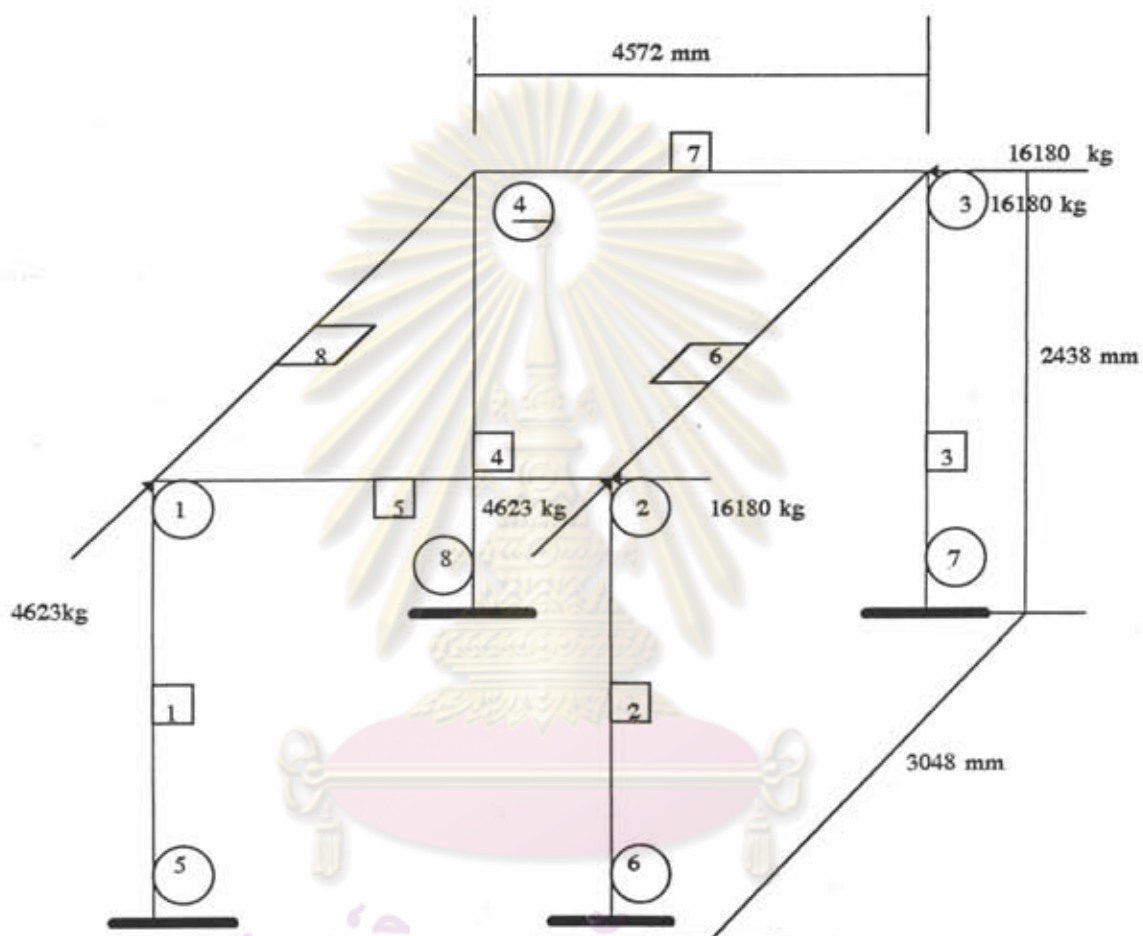
การรายงานและการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่จะเสนอต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแฉ่งจำนวน 3 ตัวอย่าง

- 1 โครงข้อแฉ่งลักษณะทั่วไปที่มีเสา 4 ต้น คาน 4 ตัว ประกอบกัน ตามรูปที่ 4.1
- 2 โครงข้อแฉ่งที่จำลองมาจากโดม ตามรูปที่ 4.8
- 3 โครงข้อแฉ่งระนาบ 1 ช่วงเสา สูง 4 ชั้น ตามรูปที่ 4.13

วัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบผล

- 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง ในการวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นทางวัสดุของงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา ดังแสดงในตัวอย่างที่ 1
- 2 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง ในการวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2
- 3 เพื่อเป็นการแสดงว่าสมการเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกของเหล็กรูปพรรณ WF ที่งานวิจัยนี้นำมาใช้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์โครงข้อแฉ่งในระนาบได้ ดังแสดงในตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 1



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 โครงข้อแข็งสามมิติของตัวอย่างที่ 1

รายงานผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Ram

ตัวอย่างที่ 1 โครงข้อแข็งสามมิติ 1 ช่วงเสา สูง 1 ชั้น ประกอบด้วยคาน 4 ตัว และเสา 4 ต้น มีการยึดแน่นที่ปลายด้านล่างของเสาทั้งสี่ต้น ดังรูปที่ 4.1 ชั้นส่วนทั้งหมดเป็นเหล็กรูปพรรณ WF มีค่า $E=2077472$ KSC, $G=798165$ KSC, $F_y=3583$ KSC โครงสร้างรับน้ำหนักในแนวราบ ซึ่งคุณสมบัติขององค์ประกอบอาคารของตัวอย่างนี้ ใช้คุณสมบัติตามโครงข้อแข็งต้นแบบที่ออกแบบโดยตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก 1.1924 (Ram Chandra 1990 (14))

ตัวอย่างที่ 1 เป็นการแสดงผล

1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ (Ram Chandra (14))

2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับผลการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดของชิ้นส่วนในองค์อาคารในโครงสร้างตัวอย่างที่ 1

ชิ้นส่วนที่	ชนิดเหล็กที่ใช้
1	36WF 245
2	36WF 245
3	36WF 245
4	36WF 245
5	33WF 200
6	33WF 118
7	33WF 200
8	33WF 118

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 1

คุณสมบัติ	36WF 245	33WF 200	33WF 118
$A(\text{mm})^2$	46770	37930	22390
$I_x(\text{mm})^4 \times 10^4$	1384.30	820.23	202.16
$I_y(\text{mm})^4 \times 10^4$	669900	459900	245100
$I_z(\text{mm})^2 \times 10^4$	45560	28790	7089
B(mm)	419	400	292
D(mm)	916	838	835
$t_w(\text{mm})$	20.37	18.16	14.07
$t_r(\text{mm})$	34.29	29.21	18.74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

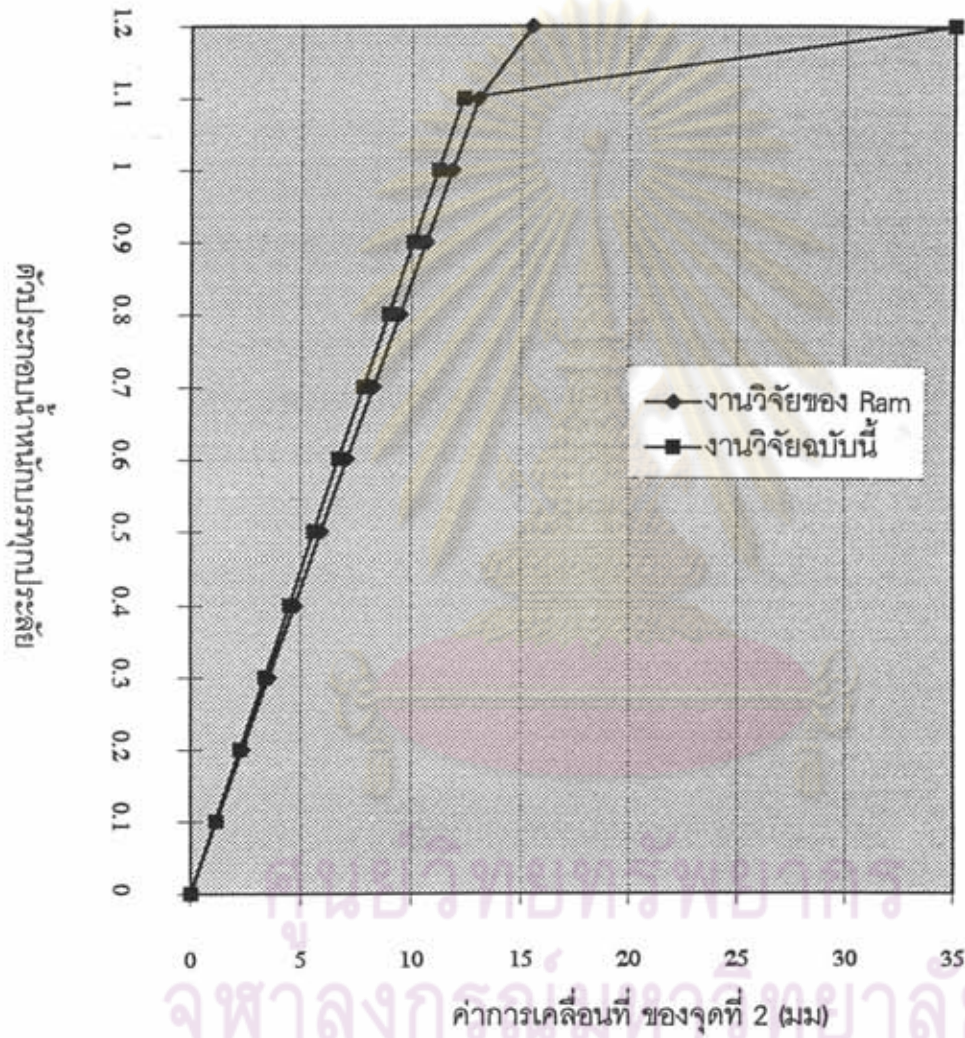
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1

	Ram Chandra	งานวิจัยนี้
ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก ประลัยที่จุดหมุนที่ 1	1.109 (100%)	1.068 (96.30%)
จุดหมุนพลาสติกที่ 1	ชั้นส่วนที่ 2 ที่ปลายยึดแน่น	ชั้นส่วนที่ 2,3 ที่ปลายยึดแน่น
จุดหมุนพลาสติกที่ 2	ชั้นส่วนที่ 1 ที่ปลายยึดแน่น	ชั้นส่วนที่ 1,4

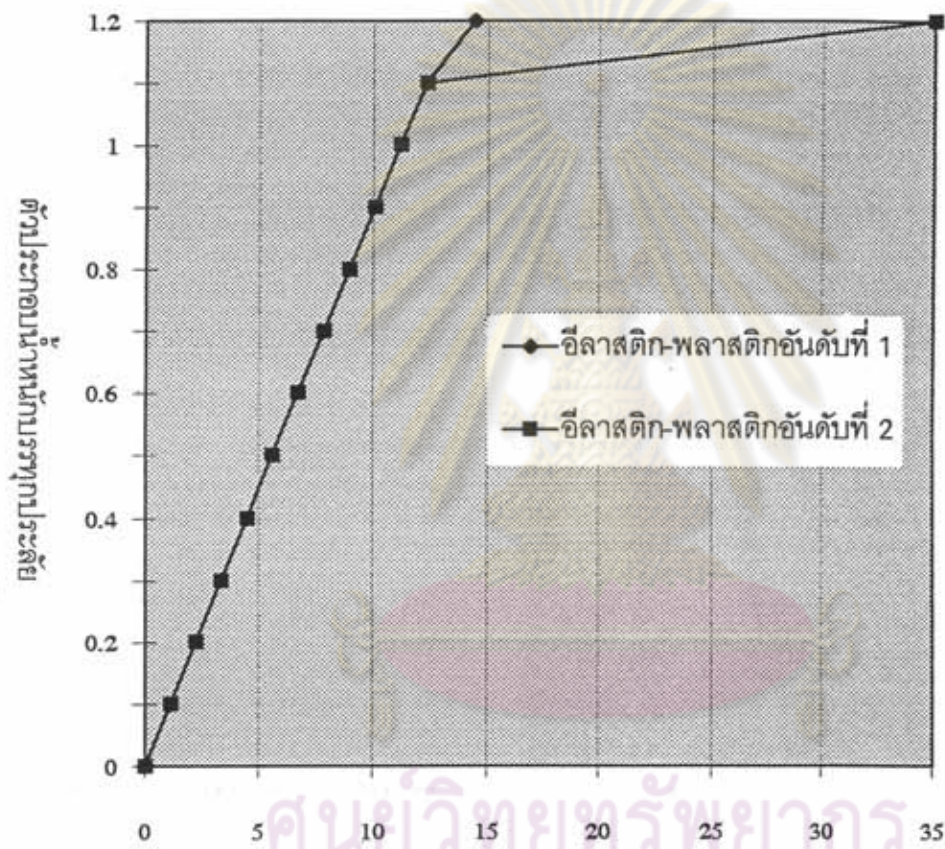
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 2
ของตัวอย่างที่ 1

	การวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติก	
	อันดับที่ 1	อันดับที่ 2
ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	1.125 (103.31%)	1.069 (100%)
จุดหมุนพลาสติกที่ 1	ชั้นส่วนที่ 2 ที่ปลายยึดแน่น	ชั้นส่วนที่ 2,3 ที่ปลายยึดแน่น
จุดหมุนพลาสติกที่ 2	ชั้นส่วนที่ 3 ที่ปลายอิสระ	ชั้นส่วนที่ 1,4
จุดหมุนพลาสติกที่ 3	ชั้นส่วนที่ 1 ที่ปลายยึดแน่น	ไม่เสถียรภาพ

กราฟรูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์
อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2



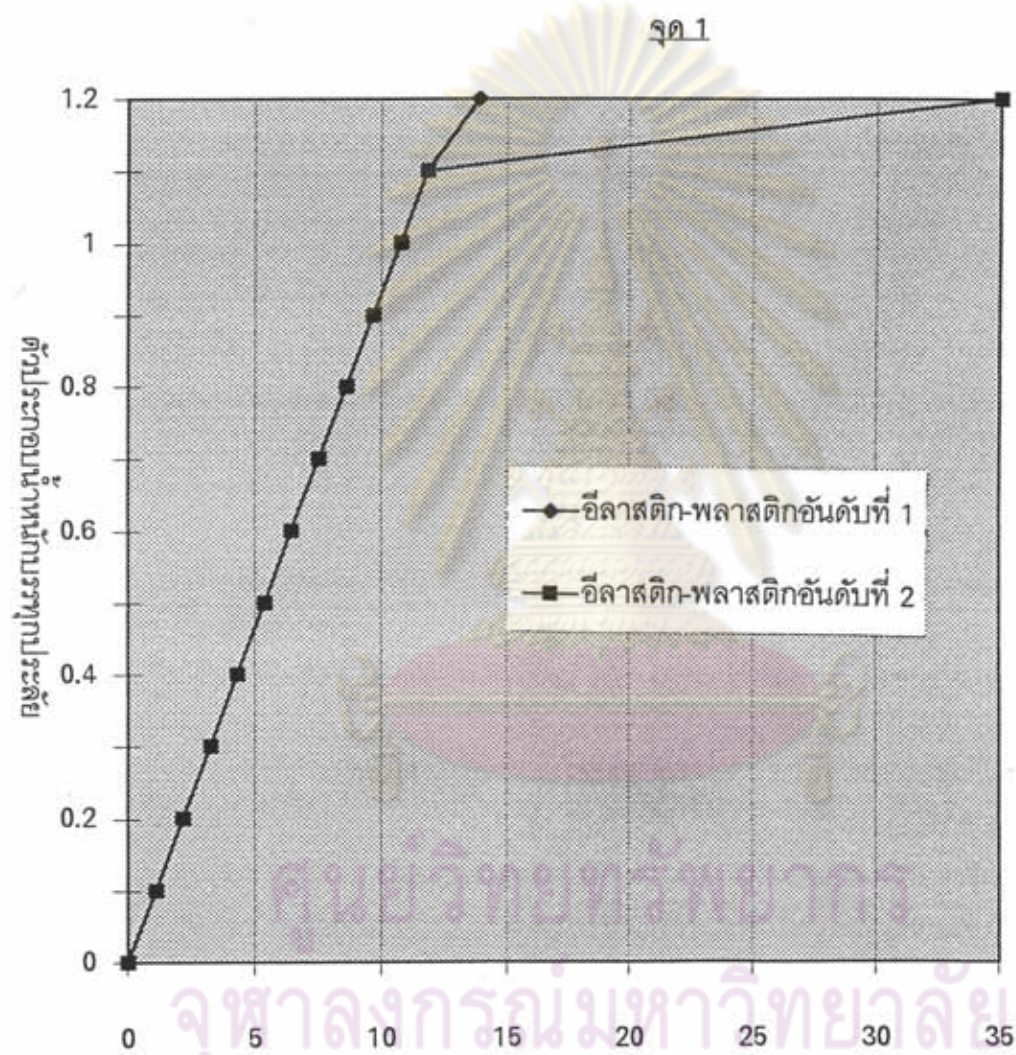
กราฟรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของ
การวิเคราะห์ อีลาสติค-พลาสติกอันดับที่ 1 กับ
อันดับที่ 2 ที่จุด 2



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

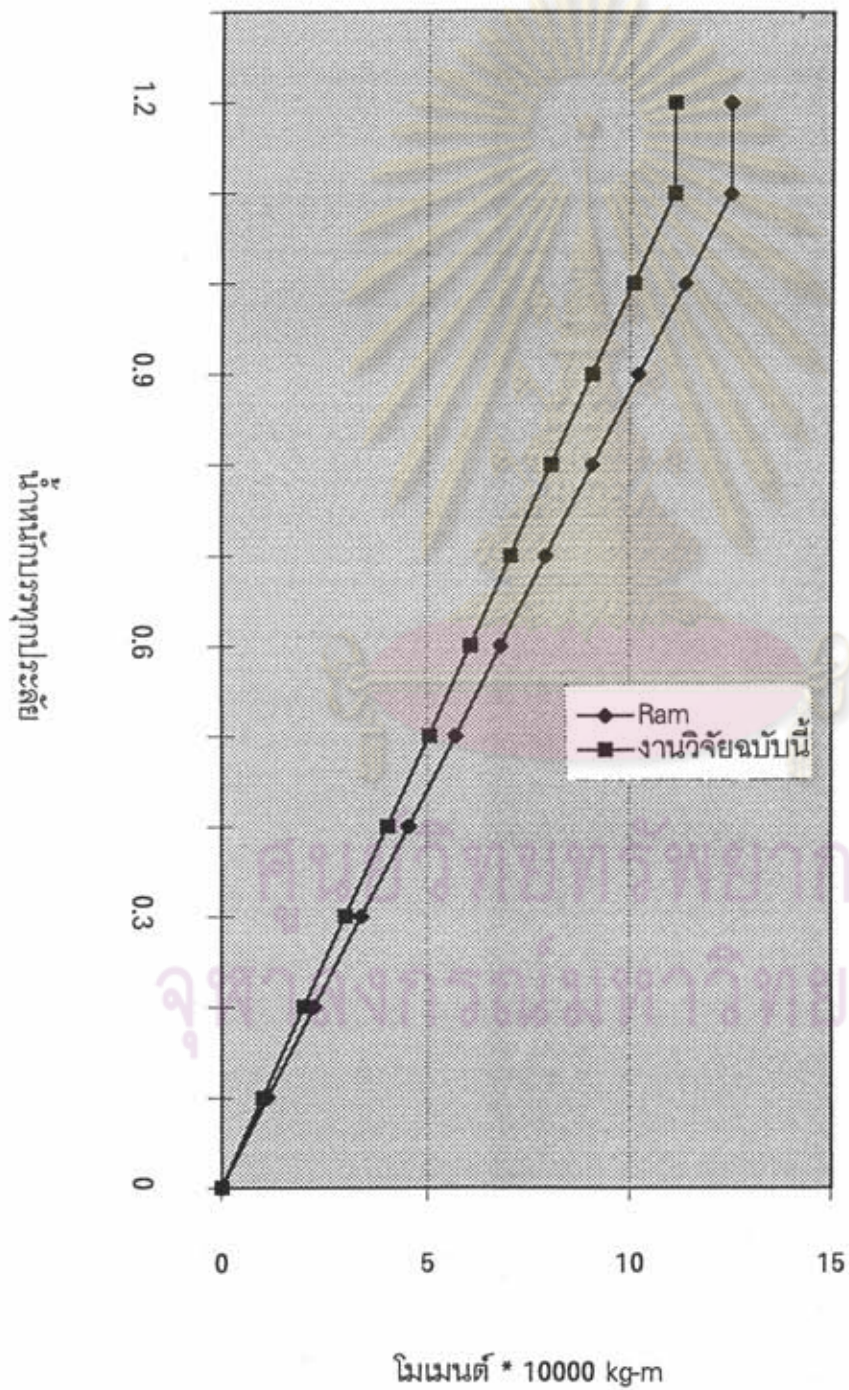
ค่าการเคลื่อนที่ ของจุดที่ 2 (มม)

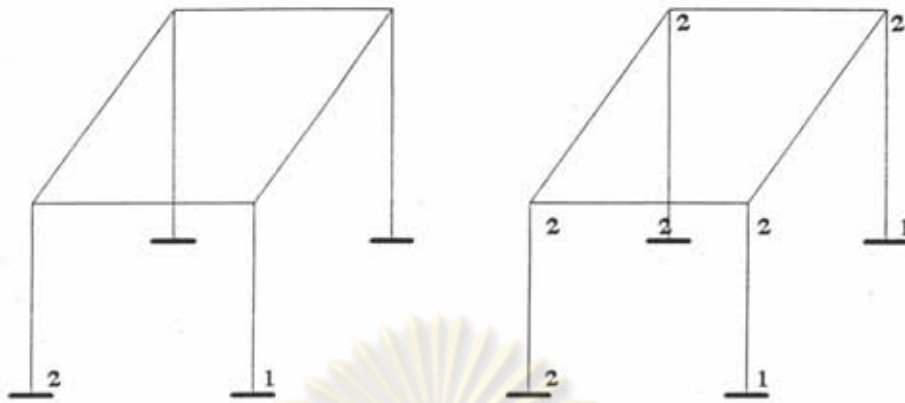
กราฟรูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์
อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 ที่



ค่าการเคลื่อนที่ ของจุดที่ 1 (มม)

กราฟรูปที่ 4.5 โมเมนต์ที่ปลายยึดแน่นของชิ้นส่วนที่ 2

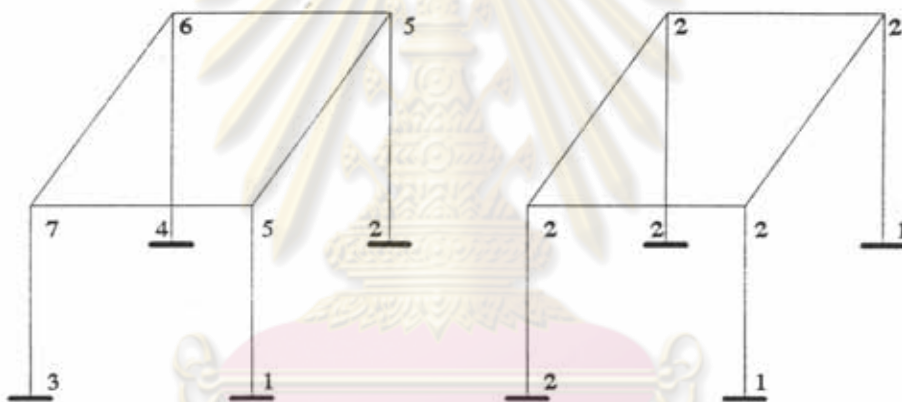




Ram Chandra

งานวิจัยฉบับนี้

รูปที่ 4.6 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2



อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1

อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติก

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

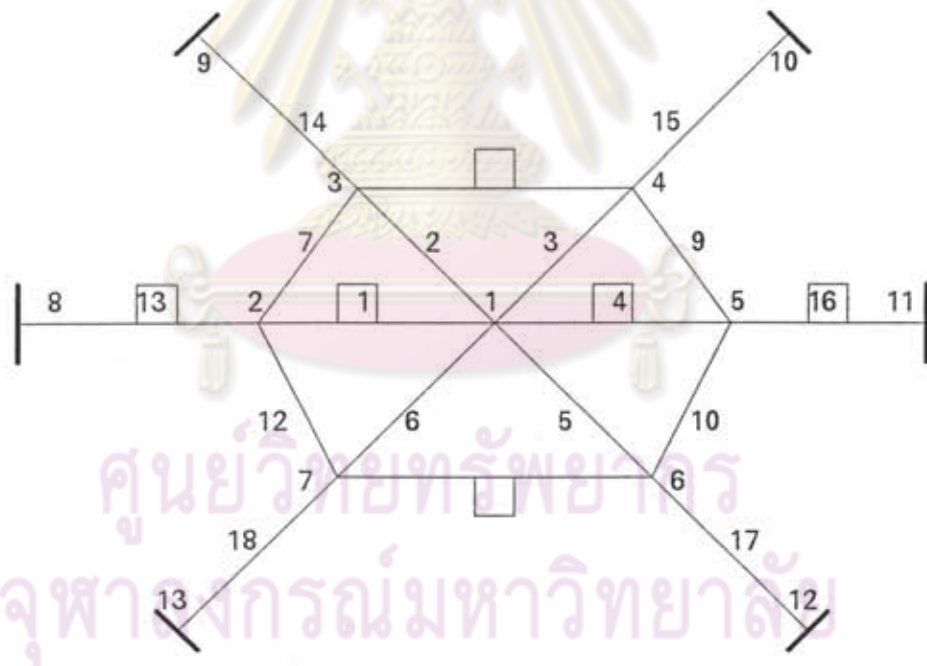
ผลวิเคราะห์และการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Ram (14) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง ที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ในตัวอย่างที่ 1 ได้ผลว่า

1 ค่าของตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกประลัยในตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 กับงานวิจัยที่ผ่านมา ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์แตกต่างกัน -3.60% หรือจากรูปกราฟที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการวิเคราะห์ในงานวิจัยฉบับนี้กับการวิเคราะห์ของ Ram โดยที่ผลการวิเคราะห์ของ Ram จะให้ค่าสูงกว่างานวิจัยนี้ เพราะว่าการวิเคราะห์ของ Ram ใช้การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นโดยวิธีทำซ้ำโดยตรง (Direct Increment Method) การทำโดยวิธีดังกล่าวจะต้องวิเคราะห์หาจุดหมุนพลาสติกโดยวิธีเชิงเส้นก่อน แล้วจึงใช้วิธีทำซ้ำโดยตรง (Direct Increment Method) จะได้ว่าค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกประลัยของ Ram จะเป็นค่าจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นแต่จะได้ผลการเคลื่อนที่แบบไม่เชิงเส้น ฉะนั้นคำตอบของน้ำหนักบรรทุกประลัยในงานวิจัยนี้จึงควรจะถูกต้อมากกว่าผลการวิจัยของ Ram

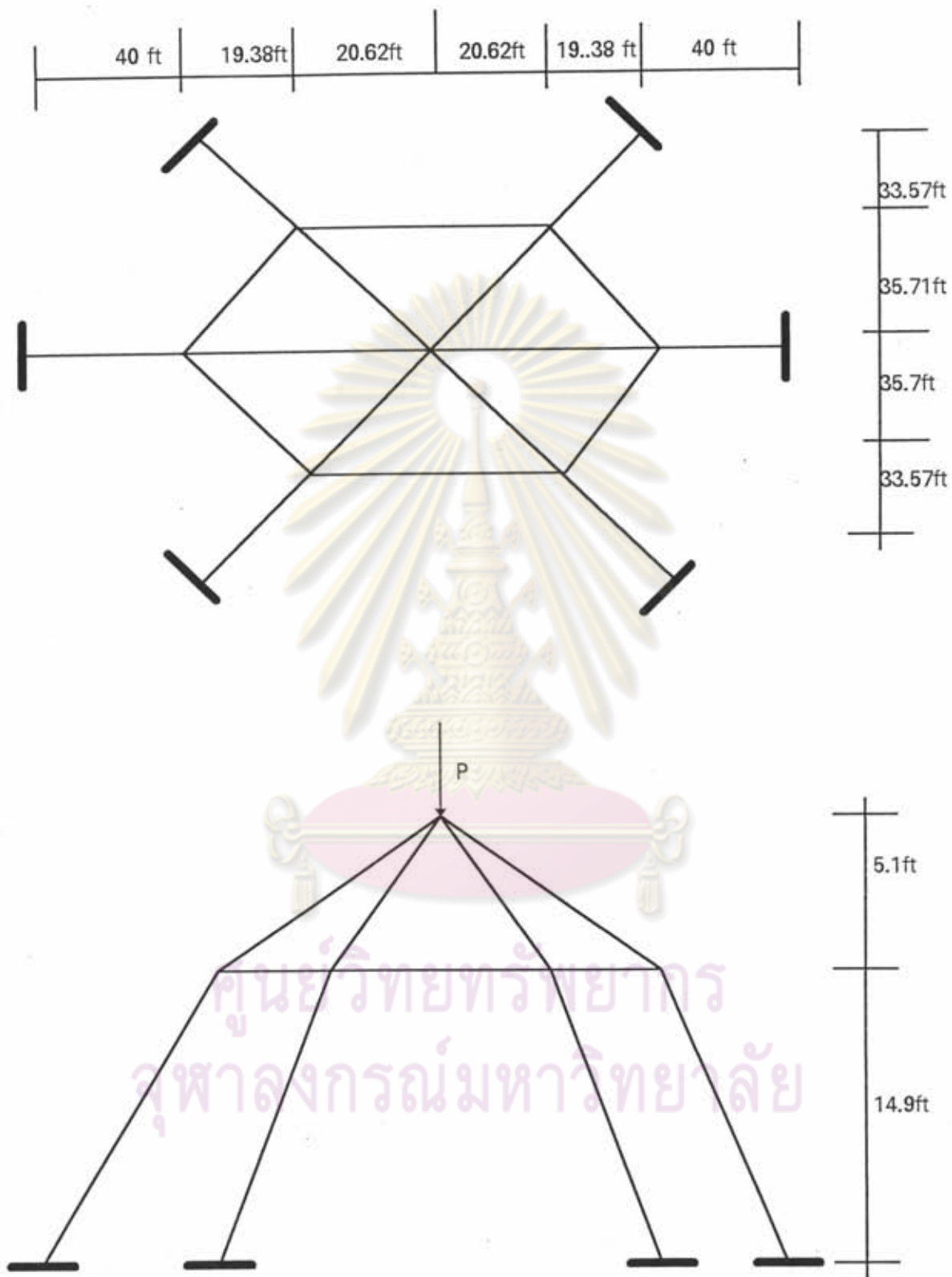
2 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกประลัยในตารางที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบการวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับการวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 โดยใช้ตัวอย่างโปรแกรมของงานวิจัยนี้ จากตารางแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับการวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 ว่ามีความแตกต่างกัน 5.02% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย ซึ่งตัวเลขดังกล่าวเป็นการแสดงถึงผลของพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ดังนั้นในการคำนวณค่าตัวประกอบน้ำหนักประลัยสำหรับชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักบรรทุกประลัยสูงและเกิดจุดหมุนพลาสติกหลายจุด ผู้วิเคราะห์จึงควรจะนำผลของพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตมาเป็นส่วนประกอบในการพิจารณาด้วย สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ผลของพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตจะทำให้เกิดหน่วยแรงในชิ้นส่วนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งหลายชิ้นส่วนเกิดจุดหมุนพลาสติกพร้อมกัน (ดูรูปที่ 4.7) แต่ถ้าเป็นการวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง จะเกิดจุดหมุนพลาสติกที่ละชิ้นส่วนจนวิบัติ

3 จากกราฟรูปที่ 4.3 จุดหักของกราฟจะอยู่ที่น้ำหนักบรรทุกประลัยประมาณ 1.068 ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนพฤติกรรมของโครงสร้างจากพฤติกรรมเชิงเส้นทางเรขาคณิตไปสู่พฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ในตัวอย่างนี้โครงสร้างเกิดพฤติกรรมความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต เนื่องจากแรงภายในของชิ้นส่วนในโครงสร้างเกินกำลังที่จุดคลาก (Yield Point)

4 ลำดับจุดหมุนพลาสติกในรูปที่ 4.6 การวิเคราะห์อีลาสติค-พลาสติกอันดับที่ 2 จุดหมุนพลาสติกของงานวิจัยนี้จุดแรกเกิดที่จุด 2 และจุด 3 แต่ในงานวิจัยของ Ram เกิดที่จุด 2 จุดหมุนพลาสติกในผลงานวิจัยนี้ควรจะถูกต้องมากกว่า เนื่องจาก Ram ได้วิเคราะห์แบบเชิงเส้นจนได้จุดหมุนพลาสติกแล้วจึงวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ดังนั้นจุดหมุนพลาสติกของ Ram จึงจะไปเหมือนการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นในงานวิจัยนี้ (ดูรูปที่ 4.7) จุดหมุนจุดแรกของการวิเคราะห์อีลาสติค-พลาสติกอันดับที่ 1 คือ จุดที่ 2 ซึ่งจะเหมือนของ Ram



รูปที่ 4.8 รูปแสดงการเรียงลำดับเลขของชิ้นส่วนและจุดต่อของตัวอย่างที่ 2 สำหรับป้อนข้อมูลวิเคราะห์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

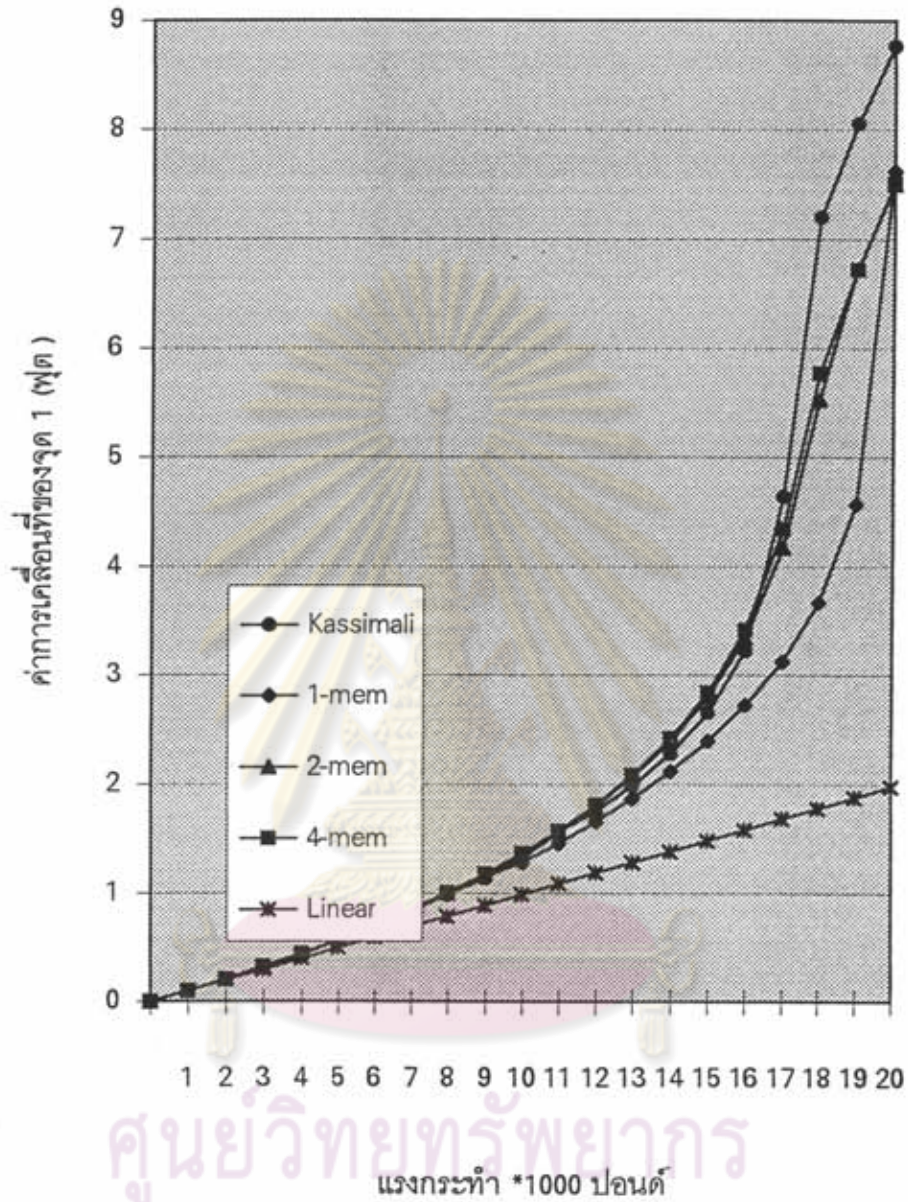


รูปที่ 4.9 แสดงขนาดโหนดของตัวอย่างที่ 2

รายงานผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 2

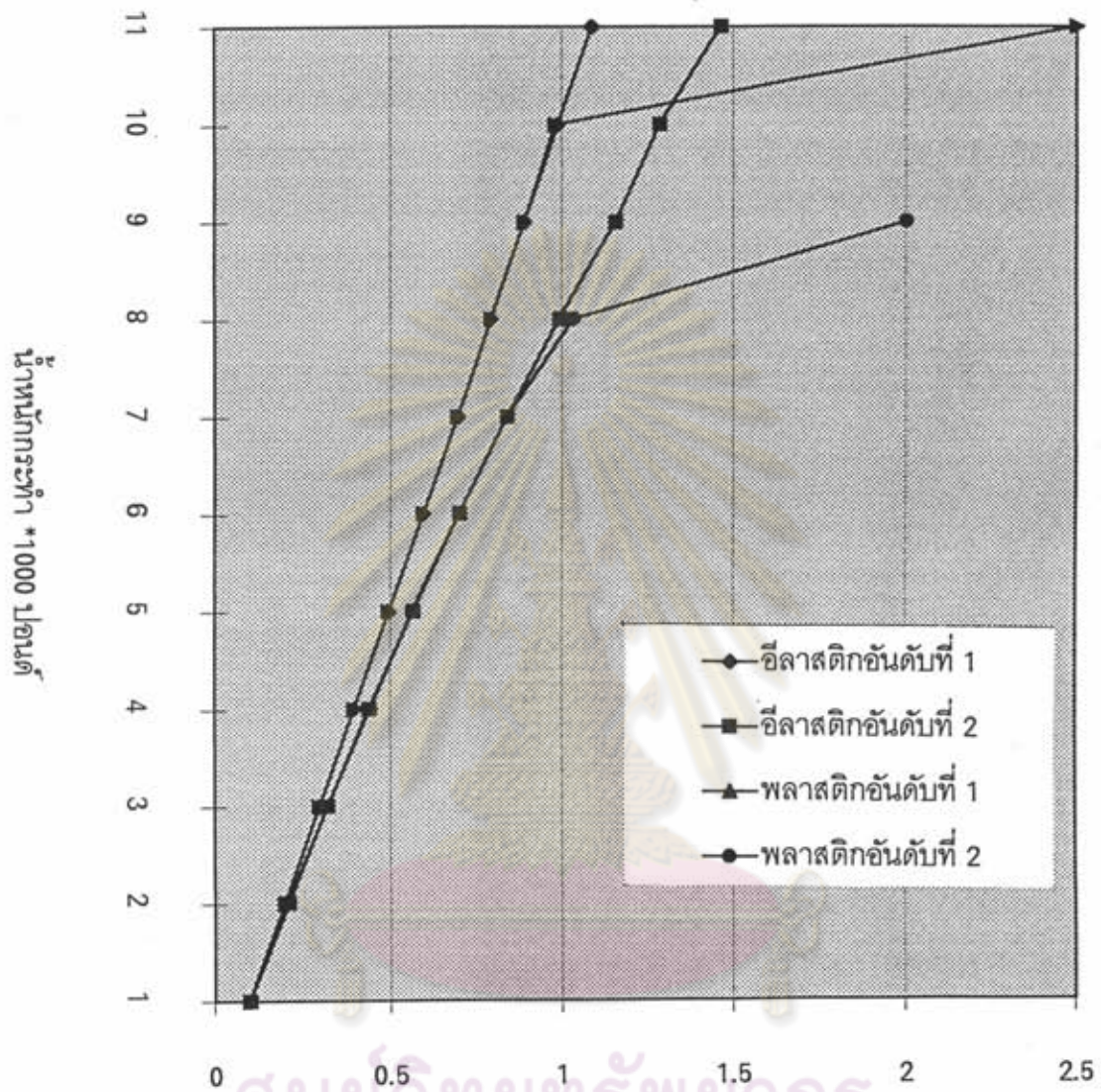
ตัวอย่างที่ 2 เป็นโครงสร้างซึ่งจำลองมาจากโดม คัดลอกมาจาก Kassimali, 1991 มีชั้นส่วน 18 ชั้น มีจำนวนข้อต่อ 13 จุดต่อ ปลายด้านล่างยึดแน่น และมีน้ำหนักกระทำที่ยอดโดม ตามรูปที่ 4.9 ชั้นส่วนมีขนาดเท่ากันทุกชั้น คานขนาดกว้าง 2.5 ฟุต ลึก 4 ฟุต $E = 432000 \text{ ksf}$, $G = 184320 \text{ ksf}$ ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าการเคลื่อนที่ของจุดที่ 1 ของผลการวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา ของ Kassimali (11) ของตัวอย่างที่ 2

น้ำหนักกระทำ (ปอนด์)	ค่าการเคลื่อนที่ของจุดที่ 1			
	Kassimali (ฟุต)	งานวิจัยนี้แบ่ง 1 ชั้นส่วน (ฟุต)	งานวิจัยนี้แบ่ง 2 ชั้นส่วน (ฟุต)	งานวิจัยนี้แบ่ง 4 ชั้นส่วน (ฟุต)
1000	0.101	0.101	0.101	0.101
2000	0.208	0.208	0.208	0.208
3000	0.321	0.320	0.320	0.321
4000	0.440	0.437	0.439	0.440
5000	0.567	0.563	0.566	0.567
6000	0.702	0.696	0.701	0.702
7000	0.847	0.837	0.845	0.847
8000	1.004	0.991	1.001	1.004
9000	1.175	1.156	1.171	1.175
10000	1.353	1.282	1.358	1.363
11000	1.572	1.461	1.566	1.572
12000	1.765	1.656	1.800	1.810
13000	2.000	1.873	2.071	2.085
14000	2.294	2.115	2.395	2.416
15000	2.671	2.393	2.798	2.835
16000	3.235 (100)	2.721 (84.12)	3.340 (103.25)	3.420 (105.72)
17000	4.588 (100)	3.125 (67.96)	4.171 (90.91)	4.341 (94.62)
18000	7.118 (100)	3.668 (51.53)	5.524 (77.61)	5.765 (81.01)
19000	8.000 (100)	4.569 (57.11)	6.723 (84.04)	6.810 (85.13)
20000	8.706 (100)	7.625 (87.58)	7.506 (86.22)	7.510 (86.26)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟรูปที่ 4.10 แสดงผลของการแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้างในงานวิจัยฉบับนี้และเป็นการเปรียบเทียบผลของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Kassimali



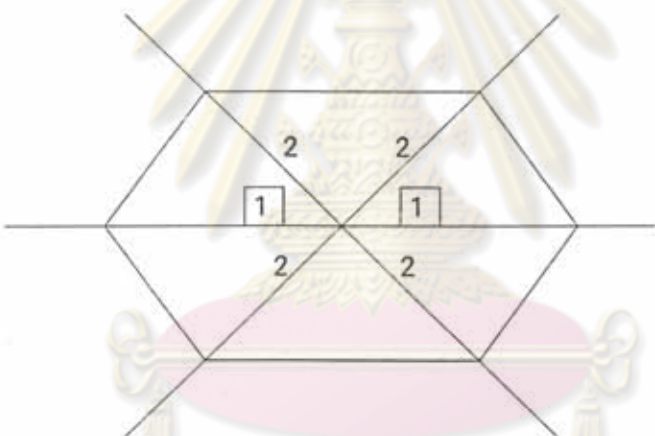
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ค่าการเคลื่อนที่ ของจุดที่ 1 ในแนวดิ่ง (ฟุต)

รูปที่ 4.11

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ



รูปที่ 4.12a ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกของการวิเคราะห์ผลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2



รูปที่ 4.12b ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกของการวิเคราะห์ผลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบจุดหมุนพลาสติกของตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 2 ของ ตัวอย่างที่ 2

	การวิเคราะห์หีลาสติก-พลาสติก	
	อันดับที่ 1	อันดับที่ 2
ตัวประกอบน้ำหนัก บรรทุกประลัย	1.462 (120.93%)	1.209 (100%)
จุดหมุนพลาสติกที่ 1	ชิ้นส่วนที่ 1,4 ที่ยอดโดม	ชิ้นส่วนที่ 1,4 ที่ยอดโดม
จุดหมุนพลาสติกที่ 2	ชิ้นส่วนที่ 2,3,5,6 ที่ยอดโดม	ไม่เสถียรภาพ

วัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบผลของงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยของ Kassimali

- 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง เฉพาะการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตเท่านั้น
- 2 เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างประเภทโดมได้

ผลการวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ตัวอย่างที่ 2

- 1 จากกราฟรูปที่ 4.10 โครงสร้างเริ่มมีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นอย่างชัดเจน เมื่อรับแรงกระทำ ประมาณ 4000 ปอนด์ ค่าการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของยอดโดมมีค่าประมาณ 0.376 ฟุต ตามผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น หรือประมาณ $\frac{L}{200}$
- 2 ค่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kassimali เมื่อรับแรงกระทำไม่เกิน 15000 ปอนด์ ค่าการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของยอดโดมมีค่าประมาณ 2.671 ฟุตหรือประมาณ $\frac{L}{25}$ สำหรับในตัวอย่างนี้ ถ้าพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.10 การเคลื่อนที่ดังกล่าวจะอยู่ในช่วงก่อนการเกิดการสูญเสียเสถียรภาพ
- 3 การวิเคราะห์ในช่วงสูญเสียเสถียรภาพ ถ้ามีการแบ่งส่วนของชิ้นส่วนให้มากขึ้น จะทำให้ค่าการเคลื่อนที่ในช่วงการสูญเสียเสถียรภาพของผลงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลงานของ Kassimali ยิ่งขึ้น โดยดูได้จากกราฟรูปที่ 4.10 เมื่อแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วน จะให้

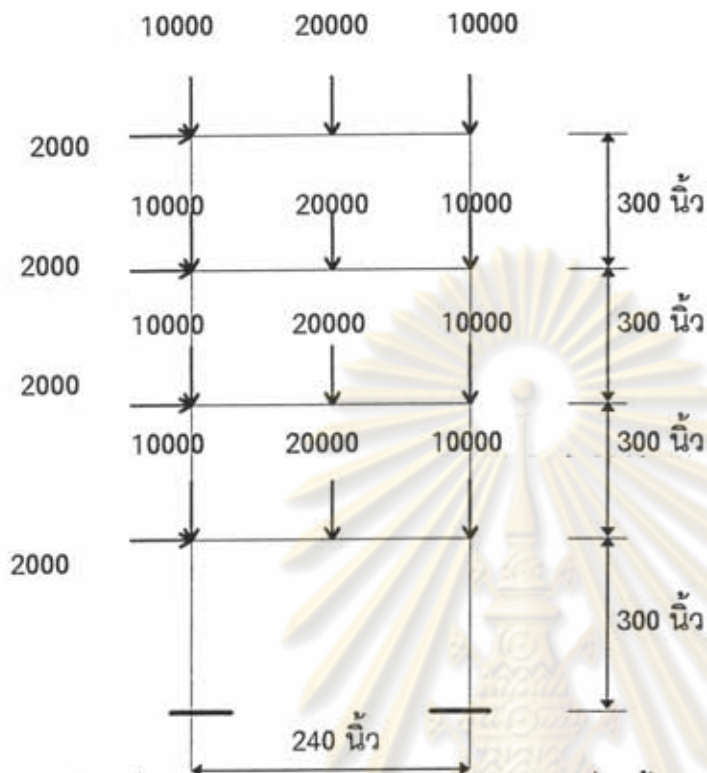
ค่าใกล้เคียงกว่าการแบ่งชั้นส่วนของโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วน และการแบ่งชั้นส่วนของโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วนจะให้ค่าใกล้เคียงกว่าการไม่แบ่งชั้นส่วนเลย

4 การวิเคราะห์โครงสร้างในช่วงที่โครงสร้างสูญเสียเสถียรภาพ ผลงานวิจัยของ Kassimali จะดีกว่าผลงานวิจัยนี้ เพราะไม่จำเป็นที่จะต้องแบ่งชั้นส่วนของโครงสร้างให้เป็นชั้นส่วนย่อยหลาย ๆ ชั้น ดูจากกราฟรูปที่ 4.10 เมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ที่แบ่งชั้นส่วนออกเป็นสองชั้นส่วนหรือสี่ชั้นส่วนจึงจะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าค่าสติฟเนสของ Kassimali ได้หามาจากฟังก์ชันเสถียรภาพ

5 ตารางที่ 4.6 หรือจากรูปที่ 4.11 คำนวณน้ำหนักบรรทุกประลัยของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 2 มีค่าแตกต่างกันประมาณ 20.93% แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีหี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 สำหรับโครงสร้างประเภทแผ่นบาง ควรมีการตรวจสอบคำตอบด้วยการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต

6 การเปรียบเทียบจุดหมุนของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 2 (ดูรูปที่ 4.12) โครงสร้างนี้เมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกในชั้นส่วนที่ 1 กับชั้นส่วนที่ 4 (ดูรูปที่ 4.8 ประกอบ) แล้ว จะสูญเสียเสถียรภาพไปเลย ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวมีค่าต่างกัน รายงานการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3 ลักษณะโครงสร้างเป็นโครงข้อแข็ง 1 ช่วงเสา สูง 4 ชั้น คุณสมบัติขององค์อาคารที่ใช้ ไม่ได้มีพื้นฐานมาจากการออกแบบ การใช้ชั้นส่วนในองค์อาคารจะใช้ชั้นส่วนที่สมมติ ซึ่งทำให้โครงสร้างมีความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตสูง วินัย แก้วกมล (4) เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นผลของแรงในแนวแกนต่อแรงดัด โดยจะวิเคราะห์เปรียบเทียบการวิเคราะห์หี้อลาสติกอันดับที่ 1 การวิเคราะห์หี้อลาสติกอันดับที่ 2 การวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 และการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2



รูปที่ 4.13 โครงข้อแข็งระนาบของตัวอย่างที่ 3 น้ำหนักกระทำมีหน่วยเป็นปอนด์

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติขององค์อาคารในโครงสร้างตัวอย่างที่ 3

	ขนาดวัสดุที่ใช้
A (in ²)	11.75
I_x (in ⁴)	144
I_y (in ⁴)	144
I_z (in ⁴)	1440
B (in)	8.000
D (in)	11.94
t_w (in)	0.294
t_f (in)	0.516
E (ksi)	30000
G (ksi)	12000
F_y (ksi)	36

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบตัวประกอบน้ำหนักบรรจุภัณฑ์
ที่ได้จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยฉบับนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมาของวินัย

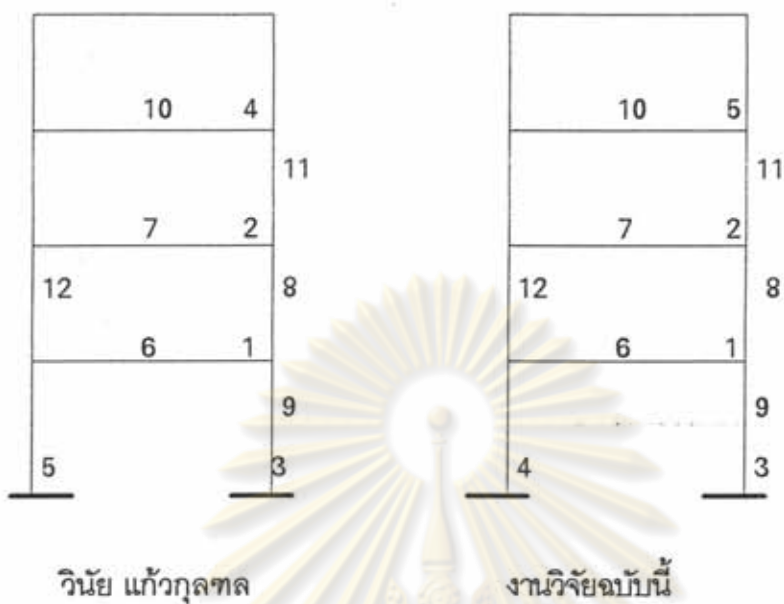
การวิเคราะห์	ตัวประกอบน้ำหนักบรรจุ ภัณฑ์ (วินัย แก้วกุลทล)	ตัวประกอบน้ำหนักบรรจุ ภัณฑ์ งานวิจัยฉบับนี้
อีลาสติก-พลาสติก อันดับที่สอง	1.3320 (100.00)	1.1520 (86.49)
อีลาสติก-พลาสติก อันดับที่หนึ่ง	2.1145 (100.00)	2.1780 (103.00)
อีลาสติกอันดับที่ สอง	3.6440 (100.00)	3.2794 (89.99)

หมายเหตุ ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บคือร้อยละเปรียบเทียบงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติก
เปรียบเทียบระหว่างอันดับที่หนึ่งกับอันดับที่สอง ของตัวอย่างที่ 3

การวิเคราะห์	ค่าการเคลื่อนที่ (วินัย แก้วกุลทล)	ค่าการเคลื่อนที่ งานวิจัยฉบับนี้
อีลาสติก-พลาสติก อันดับที่สอง	0.0283	0.0143
อีลาสติก-พลาสติก อันดับที่หนึ่ง	0.1296 (100.00)	0.1158 (89.35)
อีลาสติกอันดับที่ สอง	0.0126 (100.00)	0.0119 (94.44)
อีลาสติกอันดับที่ หนึ่ง	0.0096 (100.00)	0.0096 (100.00)

หมายเหตุ ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บคือร้อยละเปรียบเทียบงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา



รูปที่ 4.14 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในการวิเคราะห์ฮิสทีรีซิสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง



รูปที่ 4.15 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในการวิเคราะห์ฮิสทีรีซิสติก-พลาสติกอันดับที่สอง

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์วิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง ซึ่งพัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ ในตัวอย่างที่ 3 ได้ผลว่า

1 ผลการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของการวิเคราะห์หี้อลาสติกอันดับที่สองของงานวิจัยฉบับนี้กับงานวิจัยของวินัย ในตารางที่ 4.8 ปรากฏว่ามีผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในช่วงที่เกิดการสูญเสียเสถียรภาพ (Buckling State) อันเป็นผลมาจากการสมมติรูปร่างระยะโก่งไม่เหมือนกัน จึงทำให้การวิเคราะห์ที่พิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ดังนั้นผลลัพธ์ในงานวิจัยของวินัยควรจะถูกต้องมากกว่า เพราะสติฟเนสที่วินัยใช้นั้นหามาจากฟังก์ชันเสถียรภาพ

2 ค่าการเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์หี้อลาสติกอันดับที่หนึ่งให้ผลเท่ากัน

3 ค่าการเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์หี้อลาสติกอันดับที่สอง ให้ค่าการเคลื่อนที่แตกต่างกัน -5.56%

4 การเคลื่อนที่ที่ได้จากการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของวินัย ไม่สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกันได้เพราะถือว่าเป็นคนละกรณีกัน เนื่องจากเกิดการวิบัติที่ต่างกัน และฟังก์ชันในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นของงานวิจัยนี้จะติดตามผลของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างได้ไม่ดีเท่ากับฟังก์ชันเสถียรภาพ จึงทำให้เทียบค่าได้ก็แต่เฉพาะค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกประลัย รูปที่ 4.15 แสดงผลงานวิจัยของวินัย แก้วกอลซึ่งเกิดจุดหมุนพลาสติก 4 จุด ก่อนที่โครงสร้างจะวิบัติ แต่ผลของงานวิจัยฉบับนี้เกิดจุดหมุนพลาสติกเพียง 1 จุด ก่อนที่โครงสร้างจะวิบัติ

5 การที่ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยและค่าการเคลื่อนที่ของการวิเคราะห์หี้อลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง ในตารางที่ 4.9 มีผลลัพธ์ที่แตกต่างกันประมาณ 3.00% และ -10.65% ตามลำดับ เป็นผลมาจากการใช้สมการการหาจุดหมุนพลาสติกที่ต่างกัน ถ้าเป็นการวิเคราะห์ในระนาบ ผลงานวิจัยของวินัยจะถูกต้องกว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะสมการในการหาจุดหมุนพลาสติกของวินัยเป็นสมการที่ได้มาจาก AISC

6 ลำดับจุดหมุนในรูปที่ 4.14 ลำดับจุดหมุนที่ 4 และจุดหมุนที่ 5 ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของวินัยต่างกัน เนื่องจากการที่ใช้สมการการหาจุดหมุนที่ต่างกัน ดังจะแสดงต่อไปนี้

สมการการหาจุดหมุนพลาสติกของ AISC (16)

สำหรับหน้าตัดรูป WF รอบแกนเอก

$$\begin{aligned}
 M_Z &\leq M_{PZ} && ; 0 \leq \frac{P}{P_Y} \leq 0.15 \\
 M_Z &\leq 1.18 \left(1 - \frac{P}{P_Y} \right) M_{PZ} && ; 0.15 \leq \frac{P}{P_Y} \leq 1
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

จากสมการที่ 2.83

$$m_z \sqrt{1-t^2} + 0.75c_1 \cdot m_y^2 + e_1 \cdot \rho^2 + t^2 = 1 \tag{2.83}$$

เมื่อแทนค่า $M_Y = 0$ และ $t=0$ ลงไปในสมการที่ 2.83

จะได้สมการการหาจุดหมุนพลาสติกกรอบแกนเอกของงานวิจัยนี้

$$m_z + e_1 \cdot \rho^2 = 1 \text{ หรือ } M_Z = \left(1 - e_1 \left(\frac{P}{P_Y} \right)^2 \right) \tag{4.2}$$

สำหรับหน้าตัดรูป WF รอบแกนโท

$$\begin{aligned}
 M_Y &\leq M_{PY} && ; 0 \leq \frac{P}{P_Y} \leq 0.40 \\
 M_Y &\leq 1.19 \left(1 - \left(\frac{P}{P_Y} \right)^2 \right) M_{PY} && ; 0.40 \leq \frac{P}{P_Y} \leq 1
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

จากสมการที่ 2.82

$$m_z \sqrt{1-t^2} + 0.75c_2 \cdot m_y^2 + e_2 \cdot \rho^2 + t^2 = 1 \tag{2.82}$$

เมื่อแทนค่า $M_Y = 0$ และ $t=0$ ลงไปในสมการที่ 2.82

จะได้สมการการหาจุดหมุนพลาสติกกรอบแกนเอกของงานวิจัยนี้

$$m_z + e_2 \cdot \rho^2 = 1 \text{ หรือ } M_Y = \left(1 - e_2 \left(\frac{P}{P_Y} \right)^2 \right) \tag{4.4}$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 4.2 กับสมการที่ 4.1 และเมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 4.4 กับสมการที่ 4.3 จะเห็นว่า สำหรับการวิเคราะห์บางกรณี ควรจะได้จุดหมุนที่ต่างกันเนื่องจากในสมการของ AISC มีการแบ่งเป็น Step Function ค่าที่ได้จากสมการการหาจุดหมุนของ AISC ควรจะถูกต้องมากกว่า เพราะมีการตรวจสอบเหล็กหลายขนาดและมีการทำการทดลองจริงด้วย

ข้อจำกัดของตัวอย่างโปรแกรมที่พัฒนามา

1 ตัวอย่างโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาสามารถคำนวณโครงสร้างที่มีค่าด็กีร์ของความอิสระ (degree of freedom) ประมาณ 258 ด็กีร์ของความอิสระ (degree of freedom) จำนวนชิ้นส่วน และการจัดเรียงเลขของจุดต่อจะมีผลให้สามารถวิเคราะห์ได้มากกว่าหรือน้อยกว่าที่ระบุได้

2 ตัวอย่างโปรแกรมนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่มีเลขด็กีร์ของความอิสระของปลายเริ่มต้นมากกว่าด็กีร์อิสระของปลายอีกข้างหนึ่ง