



ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

ผลของการวิเคราะห์ที่จะนำเสนอต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างของโครงหลักข้อแข็ง 2 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นโครงหลักข้อแข็งที่ได้ศึกษาด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกมาก่อนแล้ว เช่น Wang (2) นำมาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรกซึ่งเป็นวิธีที่ไม่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนกับการโก่งตัวที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงตัด ส่วน Korn & Galambos (4) นำมาใช้กับการวิเคราะห์อันดับที่สอง โดยนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากหลักการที่กล่าวข้างต้นมาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของค่าตัวประกอบของแรงภายนอกสะสมกับผลงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นวิธีอิลาสติก-พลาสติกกับการวิเคราะห์อันดับแรก ที่พิจารณาแรงตัดที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากแรงในแนวแกนกับการโก่งตัว และยังสามารถเปรียบเทียบรูปแบบของแรงเทียบเท่าแบบเป็นจุดกับแบบของแรงที่เป็นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ ในตัวอย่างที่หนึ่งเป็นโครงหลักข้อแข็ง 4 ชั้น 1 ช่วง ที่มีค่าของการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวราบมาก ส่วนในตัวอย่างที่สองเป็นโครงหลักข้อแข็ง 6 ชั้น 2 ช่วงที่มีช่วงไม่เท่ากัน และค่าของการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวราบมีค่าไม่มาก และได้แยกพิจารณาการใส่หน้าทับบรรทุกออกเป็น 3 แบบ คือ

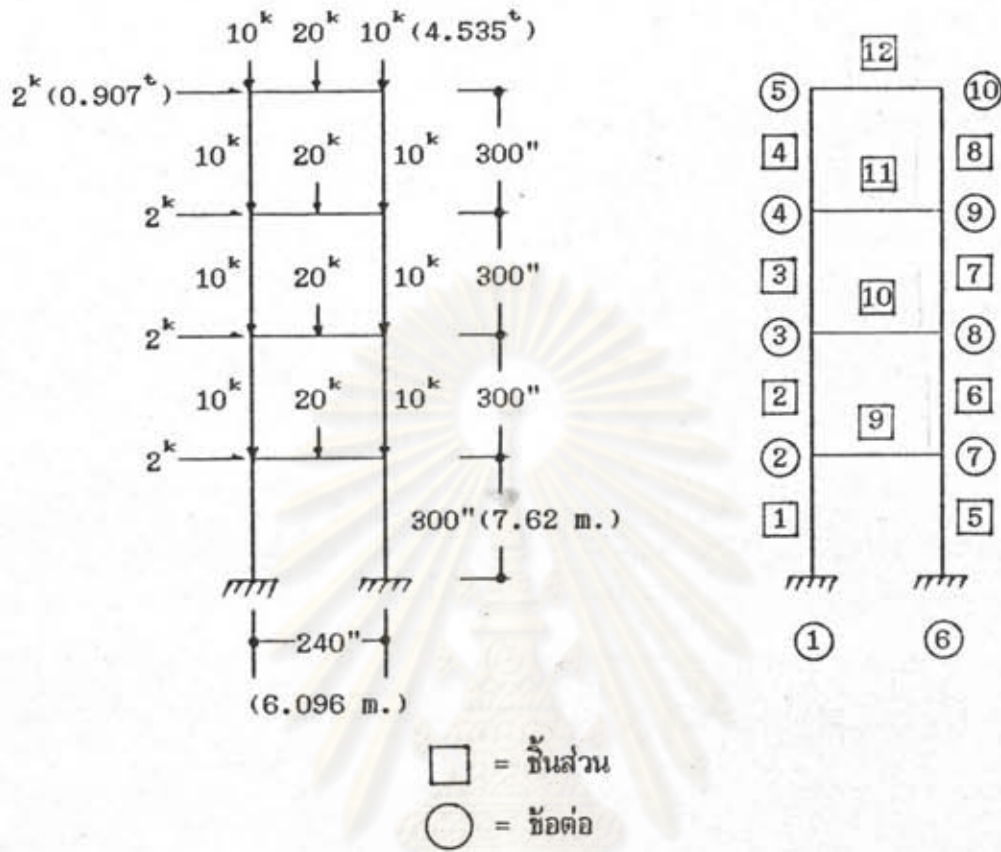
- แบบที่ 1 เป็นรูปแบบของน้ำหนักรบรรทุกเทียบเท่าแบบเป็นจุดที่แบ่งชั้นส่วนออกเป็นสองส่วน
- แบบที่ 2 เป็นรูปแบบของน้ำหนักรบรรทุกเทียบเท่าแบบเป็นจุดที่แบ่งชั้นส่วนออกเป็นสามส่วน
- แบบที่ 3 เป็นรูปแบบของน้ำหนักรบรรทุกที่เป็นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ

3.1) แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบของตัวอย่างที่ 3.1

จากโครงหลักข้อแข็งรูปที่ 3.1 เป็นโครงสร้าง 4 ชั้น 1 ช่วง คุณสมบัติของชั้นส่วนได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เลือกมาเพื่อใช้ศึกษาผลของแรงในแนวแกนกับการโก่งตัวที่มีผลต่อการเพิ่มของแรงตัด เพราะให้ค่าของการโก่งตัวในแนวราบมาก จากรูปที่ 3.2 จะพบว่าวิธีของ Wang (2) จะให้ค่าของจุดหมุนพลาสติกถึง 12 จุด ก่อนที่โครงสร้างจะเกิดการ

วิบัติ เนื่องจากเป็นหลักการอิลาสติก-พลาสติก ที่คิดผลเฉพาะของแรงคัตที่มีต่อเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกเพียงอย่างเดียวแต่ไม่ได้คิดผลของการโก่งตัวที่มีต่อแรงคัต ซึ่งเป็นภาคนิยามอันดับแรก ส่วนวิธีของ Korn & Galambos (4) จะให้ค่าเพียง 4 จุดโครงสร้างกับวิบัติเพราะเป็นการนิยามอันดับที่สอง ซึ่งได้พิจารณาผลของแรงในแนวแกนกับการโก่งตัวของแรงคัตเข้าไปในสตีเฟเนสของชิ้นส่วนโดยตรง การวิบัติของโครงสร้างจึงให้ค่าของตัวประกอบแรงภายนอกสะสมต่ำกว่าของ Wang (2) สำหรับงานวิจัยนี้เป็นหลักการอิลาสติก-พลาสติกที่ใช้กับวิธีวิเคราะห์อันดับแรก โดยได้คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนอัดกับค่าของการโก่งตัวที่มีผลทำให้ค่าของแรงคัตเพิ่มขึ้นตามสมการที่ (2.15) และได้แยกพิจารณาการใส่หน้าหมักบรรจุออกเป็น 3 แบบ ตามที่กล่าวข้างต้นตามรูปที่ 3.3 , 3.5 และรูปที่ 3.7 ผลลัพธ์ค่าของแรงภายในที่จุดวิบัติที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง. ค่าของตัวประกอบแรงภายนอกได้แสดงไว้ตามตารางที่ 3.2 , 3.3 และตารางที่ 3.4 และตำแหน่งต่าง ๆ ของการเกิดจุดหมุนพลาสติก ดูได้จากรูปที่ 3.4 , 3.6 และรูปที่ 3.8 ตามลำดับ และพอสรุปได้ดังนี้

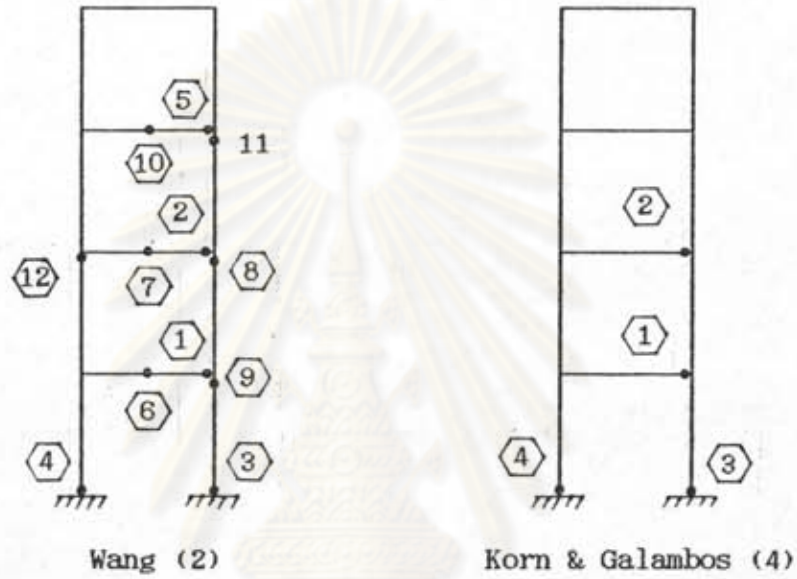
จากกราฟรูปที่ 3.9 และ ตารางที่ 3.5 ซึ่งเป็นตารางเปรียบเทียบค่าของตัวประกอบแรงภายนอกที่จุดวิบัติของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่าในกรณีของโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวราบสูงแล้วการวิเคราะห์อันดับแรกของ Wang (2) จะให้ค่าแตกต่างจากการวิเคราะห์อันดับสองสูงมากถึง 61.11 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับวิธีวิเคราะห์อันดับที่สองมากคือมีค่าแตกต่างสูงสุด 5.77 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์อันดับแรก ที่คิดผลของแรงในแนวแกนกับการโก่งตัวที่มีต่อการเพิ่มของแรงคัตในชิ้นส่วนที่รับแรงในแนวแกนอัดเหมือนกัน นั่นคือในกรณีที่โครงสร้างตามรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีการโก่งตัวในแนวราบสูงจำนวนจุดหมุนพลาสติกจะมีน้อย จากการตรวจสอบจุดหมุนพลาสติกที่เกิดขึ้นจะเกิดเนื่องจากเงื่อนไขของแรงในแนวแกนตามสมการที่ (2.15) ทั้ง 2 จุดในทุกรูปแบบของการใส่หน้าหมักบรรจุ และเมื่อเปรียบเทียบการใส่หน้าหมักบรรจุจากทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาแล้ว จะพบว่าค่าของตัวประกอบแรงภายนอกสะสมที่จุดวิบัติของแรงรูปแบบที่ 3 คือการใส่หน้าหมักบรรจุแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ ให้ค่าต่ำที่สุด



รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงเหล็กข้อแฉ่งของตัวอย่างที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของชั้นส่วนของโครงเหล็กข้อแฉ่งรูปที่ 3.1

ขนาด	A (in ²)	I _x (in ⁴)	Z _p (in ³)	กลุ่มชั้นส่วน
8 WF 40	11.75 (0.007581 m ²)	144 (0.00006 m ⁴)	35.5 (0.000874 m ³)	ทุกชั้นส่วน

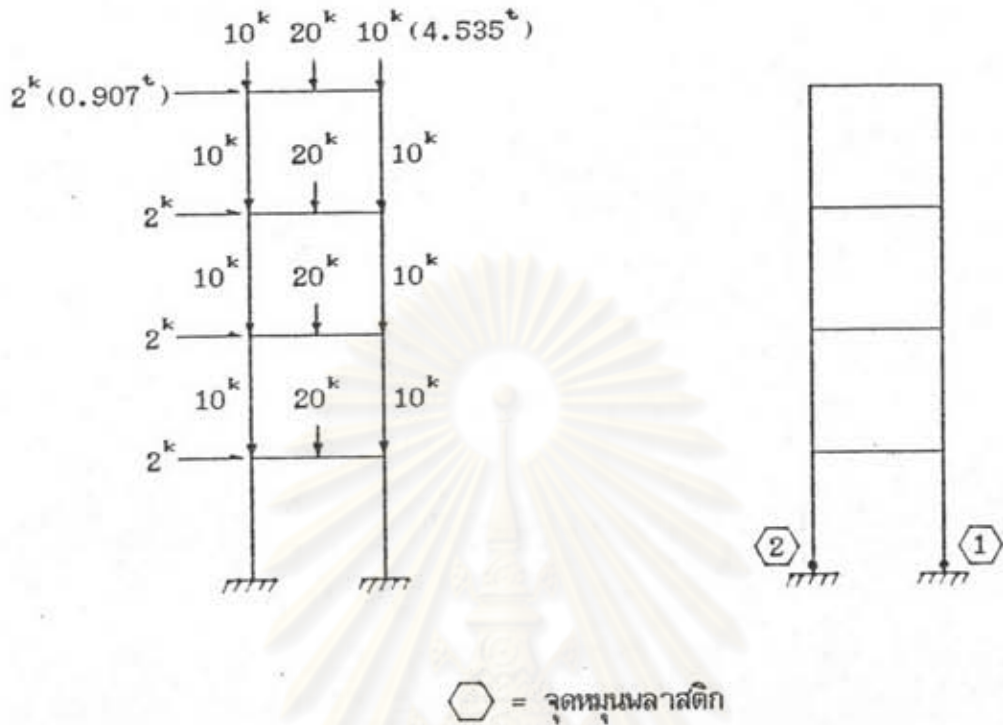


⬡ = ตำแหน่งจุดหมุนพลาสติก

รูปที่ 3.2 ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกของงานวิจัยที่ผ่านมา

ของโครงสร้างรูปที่ 3.1

ศูนย์วิจัยการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

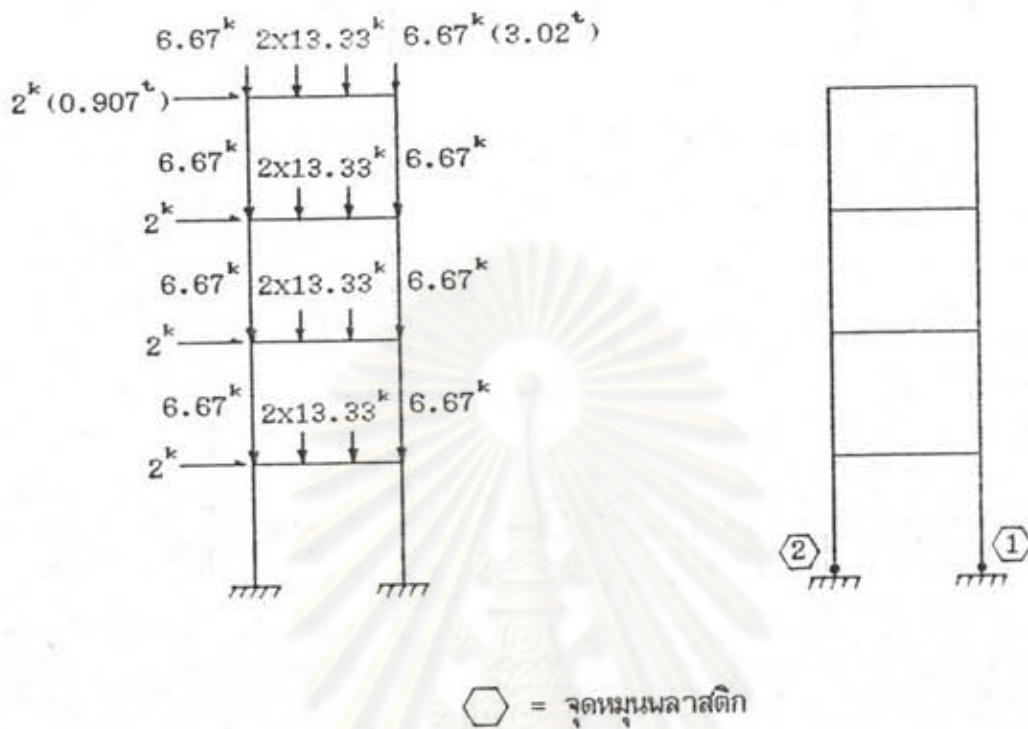


รูปที่ 3.3 แรงรูปแบบที่ 1 แรงแบบเป็นจุดเทียบ
 แบ่งชั้นส่วนออกเป็นสองส่วน

รูปที่ 3.4 ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก
 ตามแรงรูปแบบที่ 1 ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 1 รูปที่ 3.3

จุดหมุนพลาสติก	ค่าตัวประกอบ แรงภายนอกสะสม	ชั้นส่วน ที่เกิดจุดหมุน	ตำแหน่ง (ม.)	ค่าการโก่งตัวสูงสุด ต่อความสูง
1	1.206	5	0.00	0.01167
2	1.231	1	0.00	0.03720

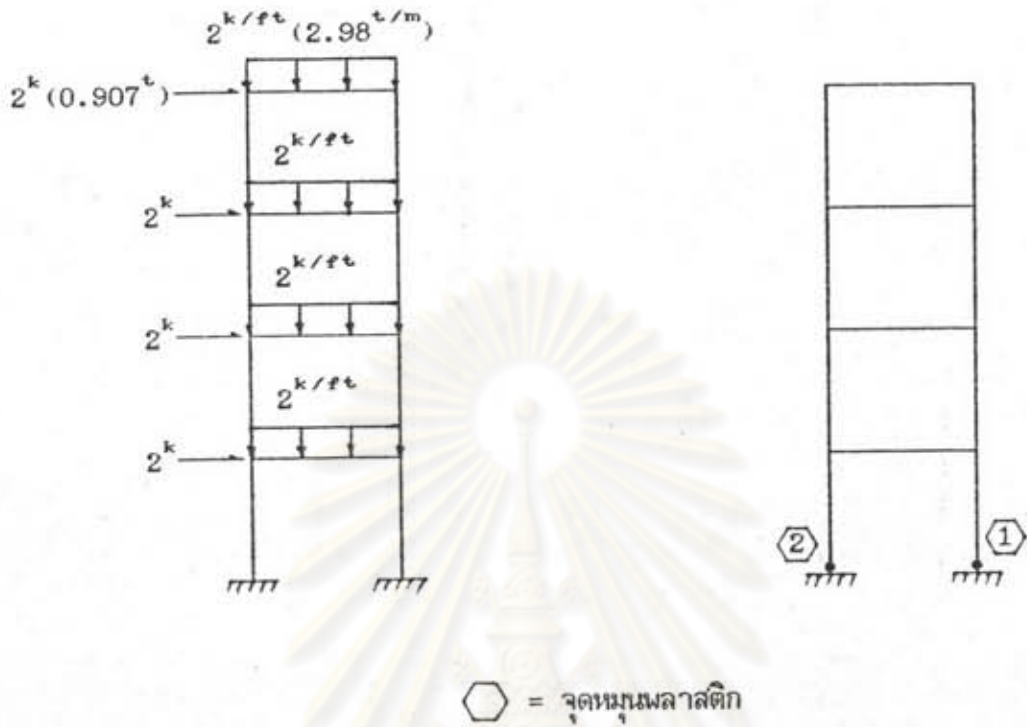


รูปที่ 3.5 แรงรูปแบบที่ 2 แรงแบบเป็นจุดเทียบ
เท่าแบ่งชั้นส่วนออกเป็นสามส่วน

รูปที่ 3.6 ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก
ตามแรงรูปแบบที่ 2 ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 2 รูปที่ 3.5

จุดหมุนพลาสติก	ค่าตัวประกอบ แรงภายนอกสะสม	ชั้นส่วน ที่เกิดจุดหมุน	ตำแหน่ง (ม.)	ค่าการโก่งตัวสูงสุด ต่อความสูง
1	1.193	5	0.00	0.01154
2	1.219	1	0.00	0.03855

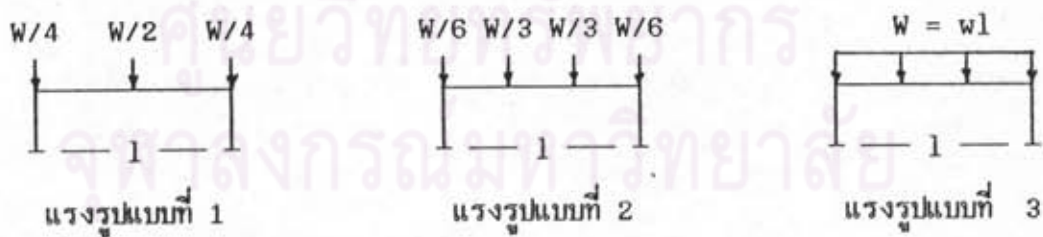
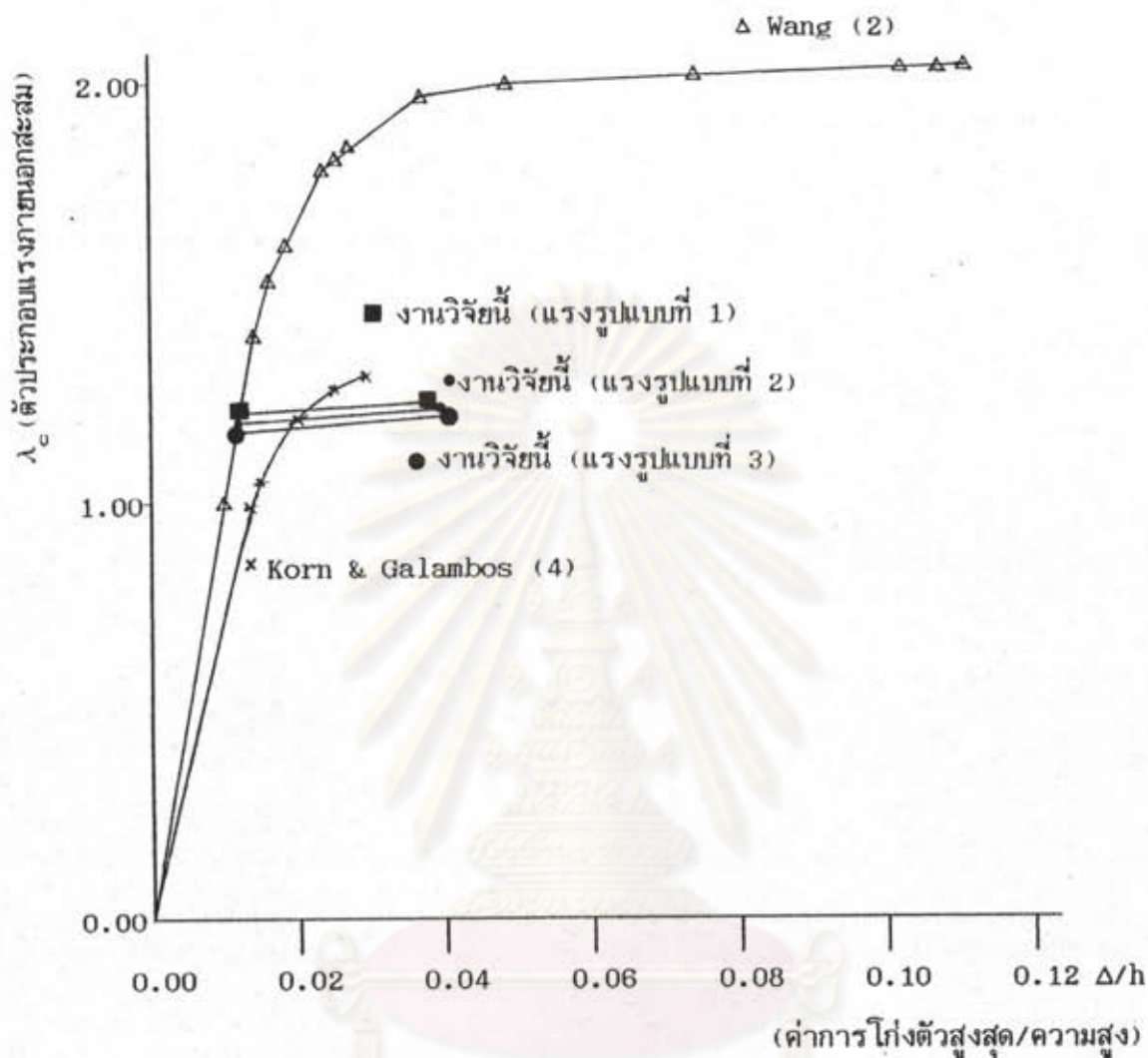


รูปที่ 3.7 แรงรูปแบบที่ 3 แรงแบบแผ่กระจาย
สม่ำเสมอ

รูปที่ 3.8 ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก
ตามแรงรูปแบบที่ 3 ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 3 รูปที่ 3.7

จุดหมุนพลาสติก	ค่าตัวประกอบ แรงภายนอกสะสม	ชั้นส่วน ที่เกิดจุดหมุน	ตำแหน่ง (ม.)	ค่าการโก่งตัวสูงสุด ต่อความสูง
1	1.182	5	0.00	0.01143
2	1.209	1	0.00	0.03959



รูปที่ 3.9 กราฟการโก่งตัวสูงสุดต่อความสูงกับค่าของตัวประกอบแรงภายนอกสะสม
ของโครงเหล็กข้อแฉ่งรูปที่ 3.1

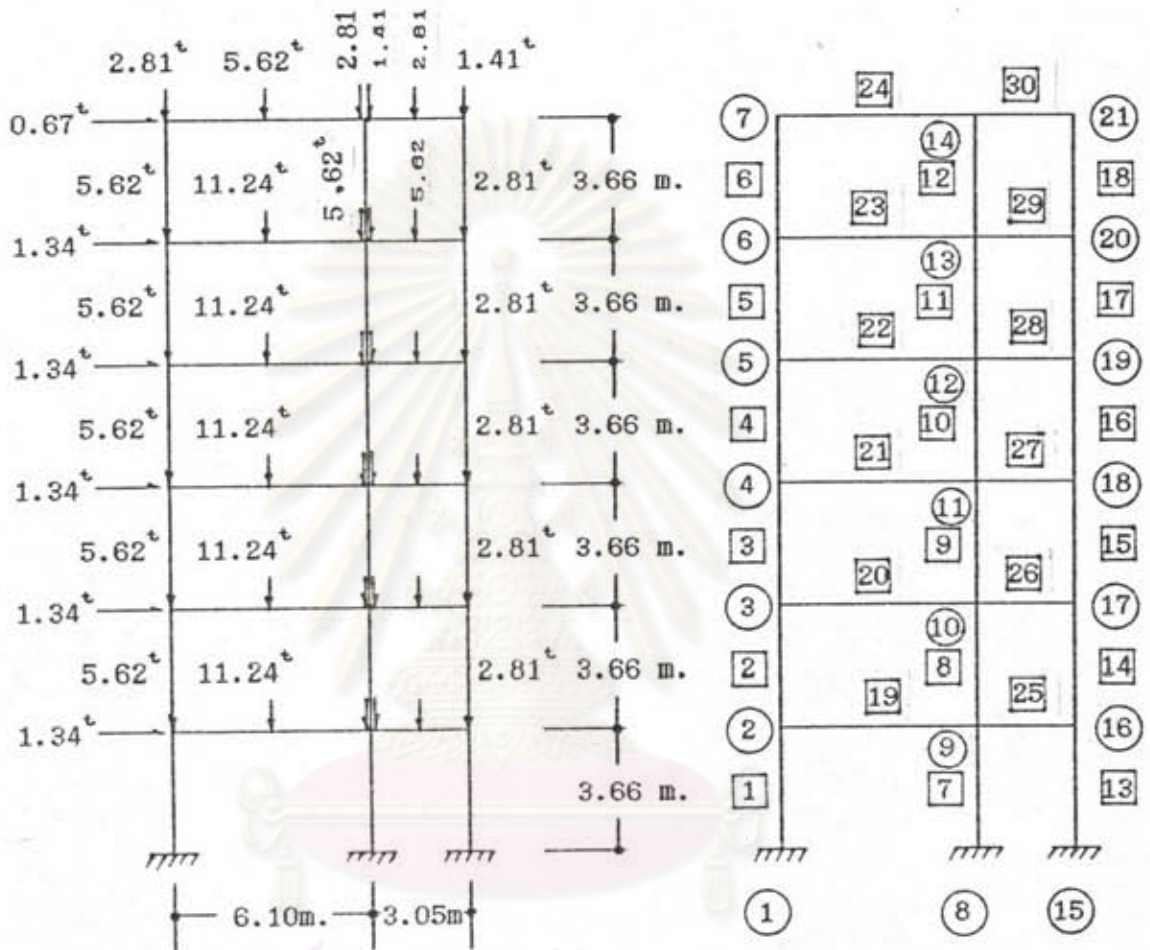
ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าของตัวประกอบแรงภายนอกที่จุดวิบัติของโครงสร้างในรูปที่ 3.1

งานวิจัย	ค่าตัวประกอบแรงภายนอก สะสมที่จุดวิบัติ	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
Wang (2)	2.067	+ 61.11
Korn & Galambos (4)	1.283	-
<u>งานวิจัยนี้</u>		
แรงรูปแบบที่ 1	1.231	- 4.05
แรงรูปแบบที่ 2	1.219	- 4.99
แรงรูปแบบที่ 3	1.209	- 5.77

3.2) แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบของตัวอย่างที่ 3.2

จากโครงเหล็กข้อแตรรูปที่ 3.10 เป็นโครงสร้าง 6 ชั้น 2 ช่วง ที่มีระยะช่วงไม่เท่ากัน คุณสมบัติของชิ้นส่วนแสดงไว้ในตารางที่ 3.6 ซึ่งออกแบบเพื่อใช้ศึกษาโดย Horne & Majid (9) และ Korn & Galambos (4) ได้นำมาเพิ่มความสูงของเสาให้มากขึ้น เพื่อใช้ศึกษาการวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแตรโดยวิธีวิเคราะห์อันดับที่สอง เพื่อศึกษากรณีผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อโครงสร้างในกรณีที่ค่าการโก่งตัวในแนวราบมีไม่สูงมาก จากรูปที่ 3.11 โดยวิธีของ Wang (2) ดังกล่าวข้างต้นนั้นจะเกิดจุดหมุนถึง 21 จุดก่อนการวิบัติของโครงสร้าง ขณะที่วิธีของ Korn & Galambos (4) เกิดจุดหมุนพลาสติก 17 จุดก่อนที่โครงสร้างจะวิบัติและเกิดจุดหมุนพลาสติก 16 จุดสำหรับงานวิจัยนี้ ในกรณีที่โครงสร้างที่มีการโก่งตัวในแนวราบน้อย การวิเคราะห์อันดับแรกจะให้ค่าจำนวนจุดหมุนพลาสติกใกล้เคียงกัน สำหรับงานวิจัยนี้ได้แยกพิจารณาการใส่หน้าทับบรรทุกออกเป็น 3 แบบเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 3.1 ข้างต้นตามรูปที่ 3.12 , 3.14 และรูปที่ 3.16 ผลลัพธ์ค่าของแรงภายในที่จุดวิบัติที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง. ค่าของตัวประกอบแรงภายนอกได้แสดงไว้ตามตารางที่ 3.7 , 3.8 และตารางที่ 3.9 ตำแหน่งต่าง ๆ ของการเกิดจุดหมุนพลาสติกดูได้จากรูปที่ 3.13 , 3.15 และรูปที่ 3.17 ตามลำดับ พอสรุปได้ดังนี้

จากราฟรูปที่ 3.18 และตารางที่ 3.10 ซึ่งเป็นตารางที่ใช้เปรียบเทียบค่าของตัวประกอบแรงภายนอกที่จุดวิบัติของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่าในกรณีที่โครงสร้างที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวราบไม่สูงแล้วการวิเคราะห์อันดับแรกของ Wang (2) จะให้ค่าแตกต่างจากการวิเคราะห์อันดับที่สองไม่มาก ในตัวอย่างนี้จะมีค่าแตกต่างประมาณ 12.72 เปอร์เซ็นต์ และผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะให้ค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับที่สองมาก คือมีค่าแตกต่างสูงสุด 7.73 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือในกรณีที่โครงสร้างรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีการโก่งตัวในแนวราบไม่มาก การวิเคราะห์อันดับแรกหรือการวิเคราะห์อันดับที่สองจะให้ค่าจำนวนจุดหมุนพลาสติกและค่าตัวประกอบแรงภายนอกสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน เพราะค่าของแรงในแนวแกนมีผลน้อยมากหรืออาจจะกล่าวได้ว่าเกิดจุดหมุนพลาสติกตามเงื่อนไขของสมการที่ (2.13) และ (2.14) เป็นหลัก และเมื่อเปรียบเทียบการใส่หน้าทับบรรทุกทุกจากทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาแล้วจะพบว่าค่าของตัวประกอบแรงภายนอกสะสมที่จุดวิบัติของแรงรูปแบบที่ 3 คือการใส่หน้าทับบรรทุกแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอให้ค่าต่ำที่สุด เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 3.1



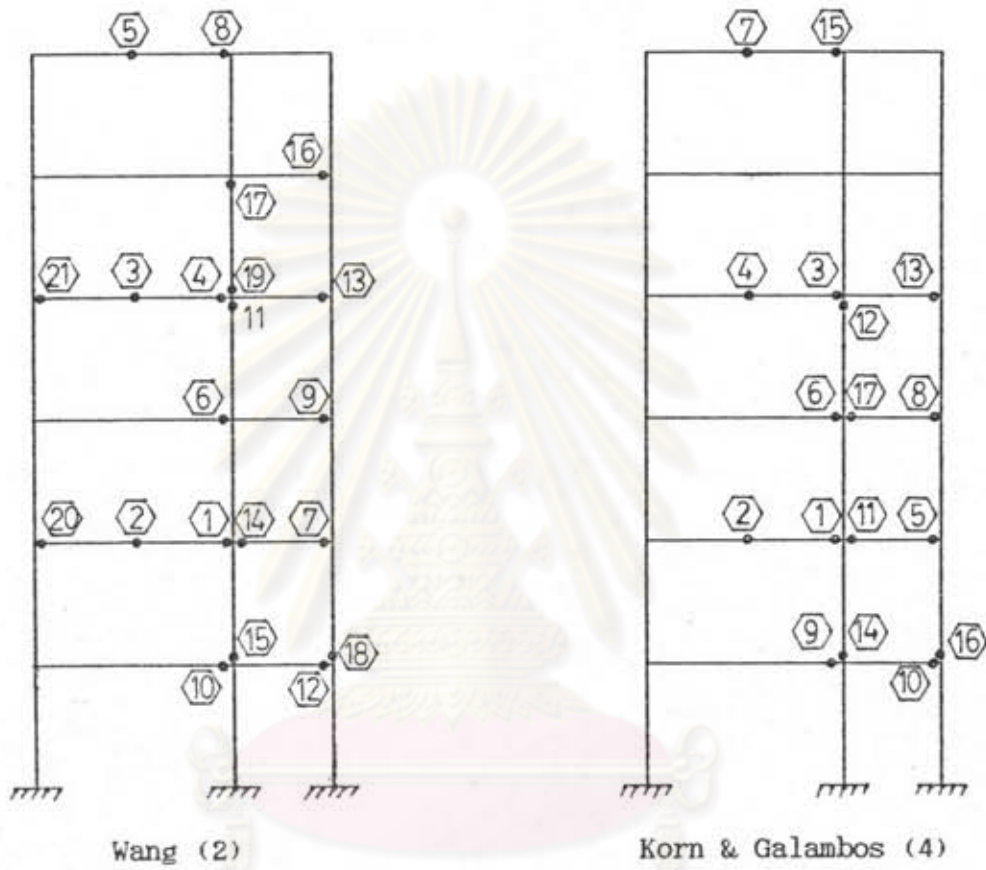
□ = ชิ้นส่วน

○ = ข้อต่อ

รูปที่ 3.10 ลักษณะโครงเหล็กข้ออั้งของตัวอย่างที่ 3.2

ตารางที่ 3.6 แสดงคุณสมบัติของชั้นส่วนของโครงเหล็กข้อแฉ่งรูปที่ 3.10

ขนาด	$A(m^2)$	$I_x(m^4)$	$Z_p(m^3)$	กลุ่มชั้นส่วน
6 WF 25	4.74×10^{-3}	2.227×10^{-5}	2.754×10^{-4}	5 6 11 12 15 18
8 WF 17	3.23×10^{-3}	2.348×10^{-5}	2.311×10^{-4}	28 29 30
8 WF 20	3.79×10^{-3}	2.881×10^{-5}	2.786×10^{-4}	24 27
8 WF 31	5.88×10^{-3}	4.567×10^{-5}	4.491×10^{-4}	3 4 14
8 WF 35	6.65×10^{-3}	5.626×10^{-5}	5.097×10^{-4}	10 13
8 WF 40	7.59×10^{-3}	6.090×10^{-5}	5.818×10^{-4}	2
10 WF 21	3.99×10^{-3}	4.425×10^{-5}	3.524×10^{-4}	26
10 WF 25	4.74×10^{-3}	5.545×10^{-5}	4.327×10^{-4}	25
10 WF 45	8.54×10^{-3}	1.035×10^{-4}	8.047×10^{-4}	1
10 WF 49	9.29×10^{-3}	1.136×10^{-4}	8.949×10^{-4}	8 9
12 WF 27	5.14×10^{-3}	8.496×10^{-5}	5.589×10^{-4}	19 20 21 22 23
12 WF 58	1.10×10^{-2}	1.982×10^{-4}	1.280×10^{-3}	7

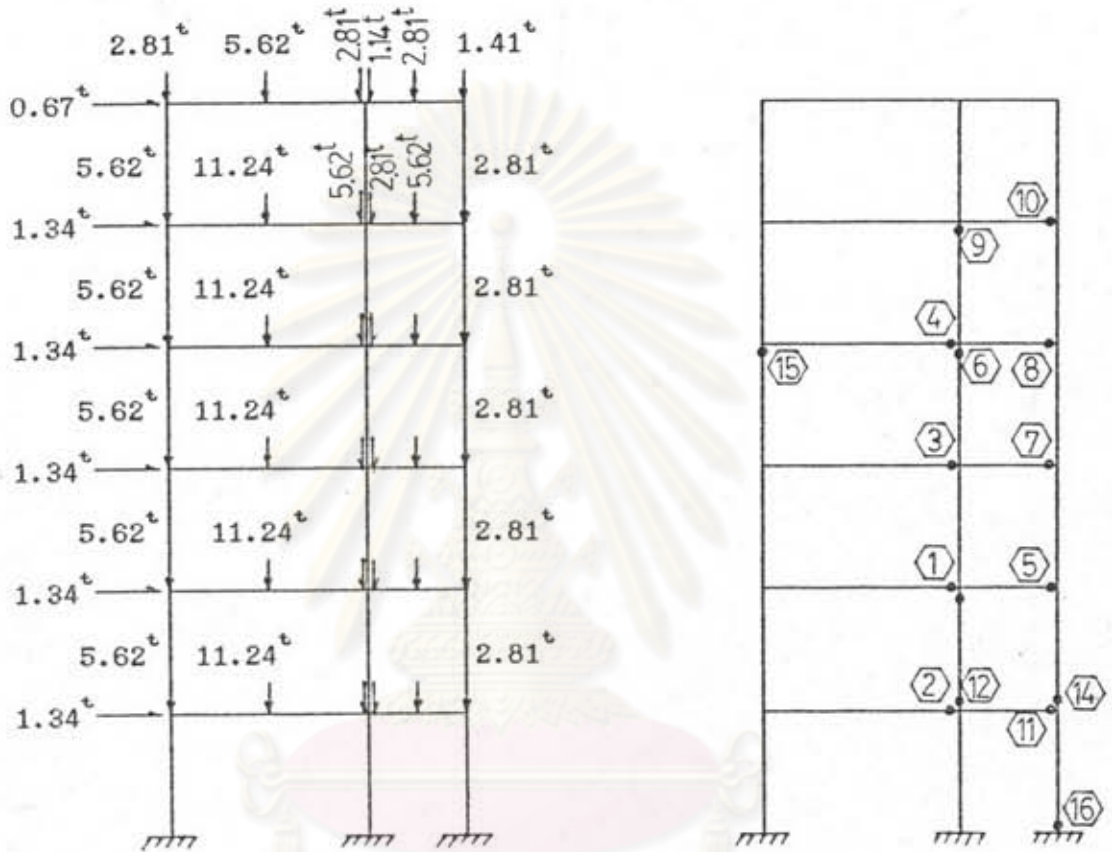


Wang (2)

Korn & Galambos (4)

ศูนย์วิทยุพัฒนศาสตร์
 ๕ = ตำแหน่งจุดหมุนพลาสติก

รูปที่ 3.11 ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกของงานวิจัยที่ผ่านมา
 ของโครงสร้างรูปที่ 3.10



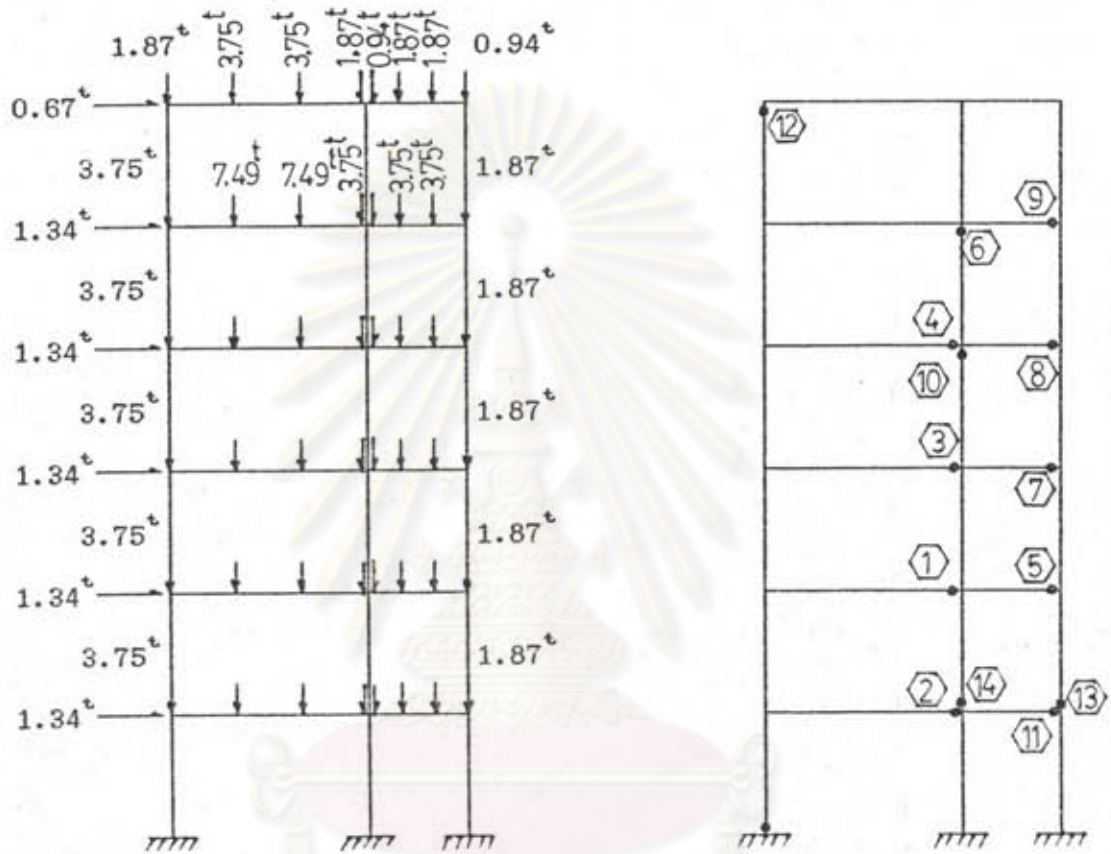
⬡ = จุดหมุนพลาสติก

รูปที่ 3.12 แรงแบบที่ 1 แรงแบบเป็นจุดเทียบ
เท่าแบ่งขึ้นส่วนออกเป็นสองส่วน

รูปที่ 3.13 ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก
ตามแรงแบบที่ 1 ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.7 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 1 รูปที่ 3.12

จุดหมอนพลาสติก	ค่าตัวประกอบ แรงภายนอกสะสม	ชั้นส่วน ที่เกิดจุดหมุน	ตำแหน่ง (ม.)	ค่าการโก่งตัวสูงสุด ต่อความสูง
1	1.036	20	6.096	0.003351
2	1.056	19	6.096	0.003432
3	1.076	21	6.096	0.003529
4	1.267	22	6.096	0.004672
5	1.298	26	3.048	0.004894
6	1.300	10	3.658	0.004914
7	1.340	27	3.048	0.005235
8	1.340	28	3.048	0.005243
9	1.348	11	3.658	0.005345
10	1.426	29	3.048	0.007546
11	1.429	25	3.048	0.007654
12	1.448	8	0.000	0.008208
13	1.467	8	3.658	0.008702
14	1.477	14	0.000	0.021710
15	1.484	4	3.658	0.075500
16	1.488	13	0.000	0.042240



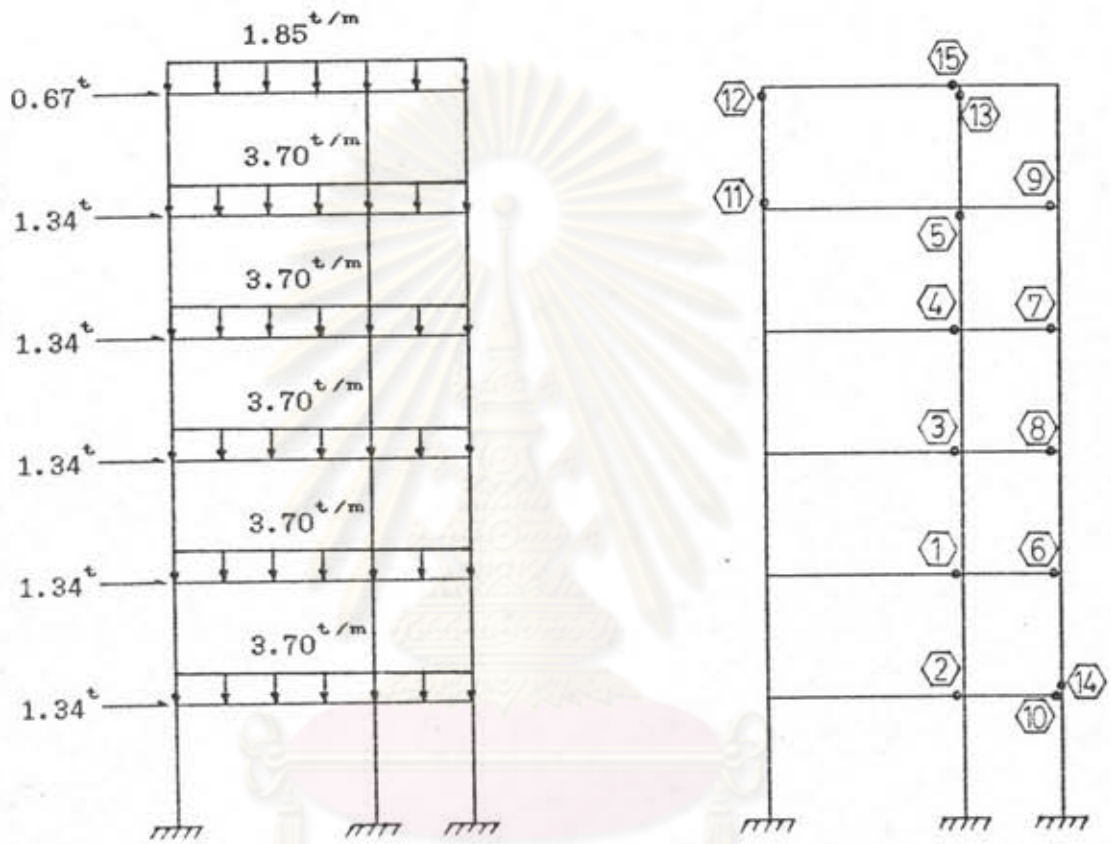
○ = จุดหมุนพลาสติก

รูปที่ 3.14 แรงรูปแบบที่ 2 แรงแบบเป็นจุดเทียบ
เท่าแบ่งชั้นส่วนออกเป็นสามส่วน

รูปที่ 3.15 ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก
ตามแรงรูปแบบที่ 2 ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.8 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 2 รูปที่ 3.14

จุดหมุนพลาสติก	ค่าตัวประกอบ แรงภายนอกสะสม	ชั้นส่วน ที่เกิดจุดหมุน	ตำแหน่ง (ม.)	ค่าการโก่งตัวสูงสุด ต่อความสูง
1	0.926	20	6.096	0.003021
2	0.943	19	6.096	0.003093
3	0.959	21	6.096	0.003170
4	1.115	22	6.096	0.004155
5	1.211	26	3.048	0.004907
6	1.211	11	3.658	0.004914
7	1.239	27	3.048	0.005172
8	1.245	28	3.048	0.005239
9	1.324	29	3.048	0.006524
10	1.385	10	3.658	0.007881
11	1.390	25	3.048	0.008051
12	1.453	6	0.000	0.009976
13	1.459	14	0.000	0.010180
14	1.461	8	0.000	0.010440
15	1.471	1	0.000	0.036050



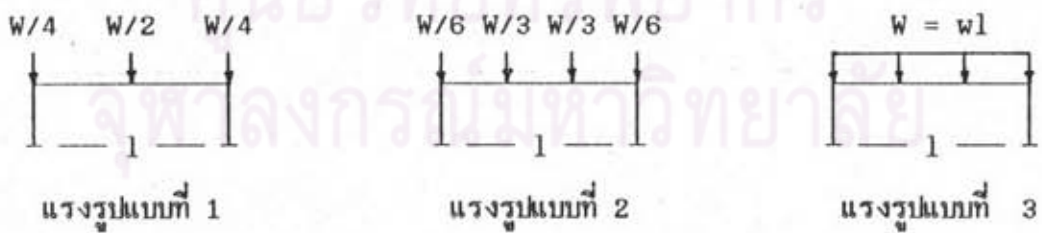
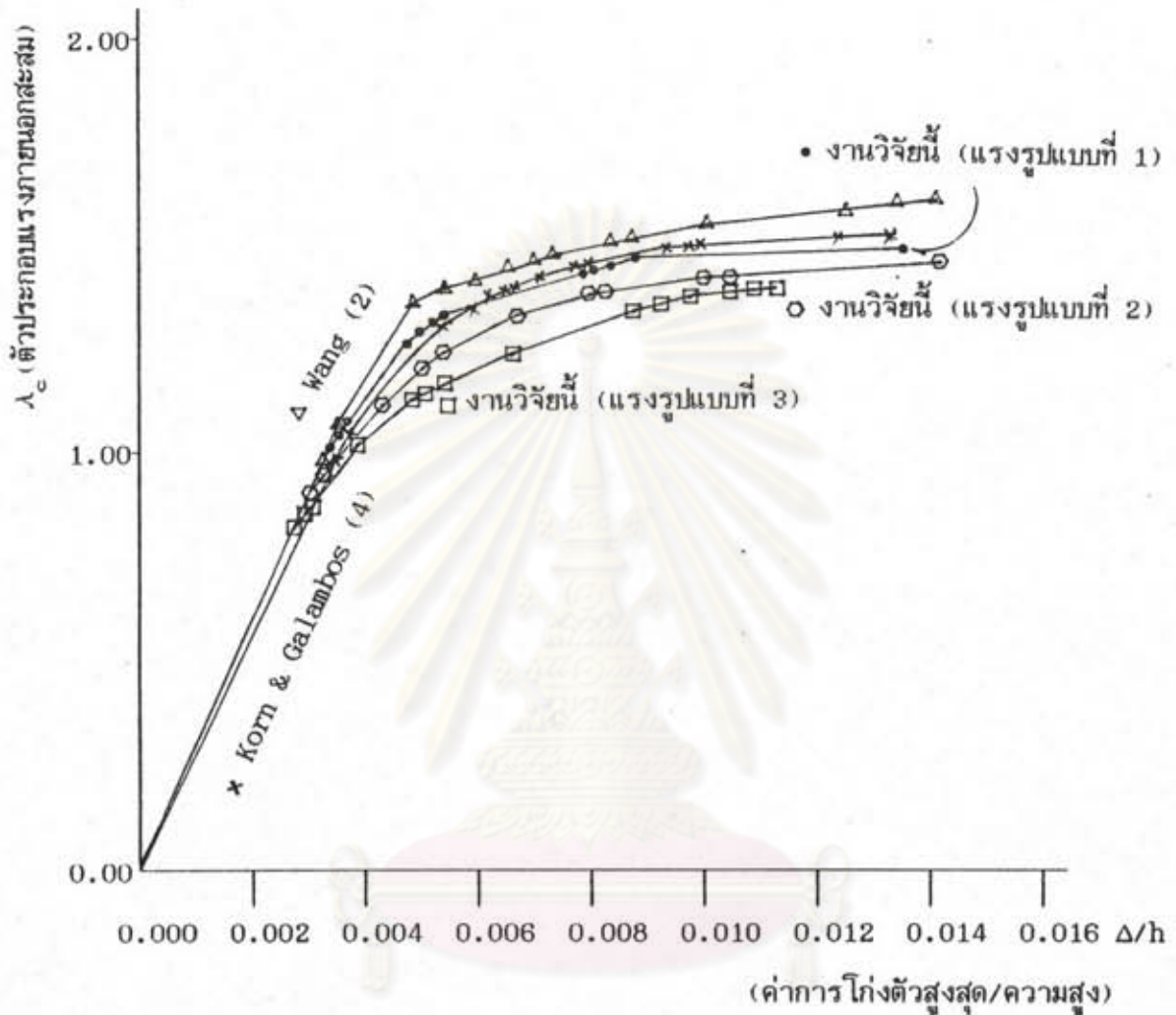
⬡ = จุดหมุนพลาสติก

รูปที่ 3.16 แรงรูปแบบที่ 3 แรงแบบแผ่กระจาย
สม่ำเสมอ

รูปที่ 3.17 ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก
ตามแรงรูปแบบที่ 3 ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.9 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 3 รูปที่ 3.16

จุดหมุนพลาสติก	ค่าตัวประกอบ แรงภายนอกสะสม	ชั้นส่วน ที่เกิดจุดหมุน	ตำแหน่ง (ม.)	ค่าการโก่งตัวสูงสุด ต่อความสูง
1	0.851	20	6.096	0.002802
2	0.863	19	6.096	0.002856
3	0.880	21	6.096	0.002940
4	1.014	22	6.096	0.003830
5	1.139	11	3.658	0.004870
6	1.145	26	3.048	0.004916
7	1.155	28	3.048	0.005022
8	1.158	27	3.048	0.005058
9	1.246	29	3.048	0.006570
10	1.337	25	3.048	0.008716
11	1.350	6	0.000	0.009041
12	1.372	6	3.658	0.009575
13	1.403	12	3.658	0.010320
14	1.407	14	0.000	0.010730
15	1.407	24	6.096	0.010790



รูปที่ 3.18 กราฟการโก่งตัวสูงสุดต่อความสูงกับค่าของตัวประกอบแรงภายนอกสะสม
ของโครงเหล็กข้อแฉ่งรูปที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 เปรียบเทียบค่าของตัวประกอบแรงภายนอกที่จุดวิบัติของโครงสร้างในรูปที่ 3.10

งานวิจัย	ค่าตัวประกอบแรงภายนอก สะสมที่จุดวิบัติ	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
Wang (2)	1.719	+ 12.72
Korn & Galambos (4)	1.283	-
<u>งานวิจัยนี้</u>		
แรงรูปแบบที่ 1	1.488	- 2.42
แรงรูปแบบที่ 2	1.471	- 3.54
แรงรูปแบบที่ 3	1.407	- 7.73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย