

## บทที่ 4

### รายงานการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

#### ความนำ

การรายงานและการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่จะเสนอต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อเป็นการยืนยันผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นตามหลักการวิเคราะห์ที่เสนอสามารถใช้งานได้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา รวมทั้งแสดงถึงความสามารถของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างแบบอื่นๆ นอกเหนือจากการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

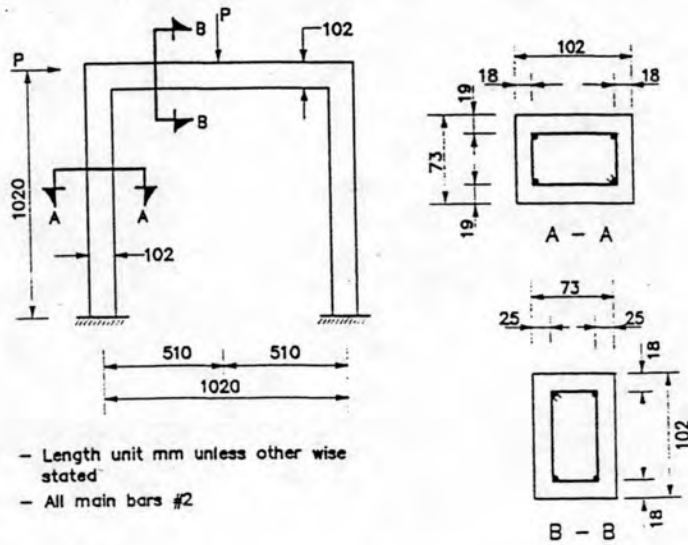
ตัวอย่างที่ 1 เป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ช่วงคาน สูง 1 ชั้น มีฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่น ลักษณะน้ำหนักรรทุกกระทำในแนวดิ่งและแนวราบ เมื่อวิเคราะห์จะนำผลไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของ Bertero and McClure, 1964 ผลการวิเคราะห์ของ Seniwongse, 1979 และผลการวิเคราะห์ของ ขจรศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์, 1996 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้กับผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยที่ผ่านมา รวมทั้งแสดงผลการแบ่งย่อยชิ้นส่วนเพื่อหาการลู่เข้าของคำตอบ

ตัวอย่างที่ 2 เป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ช่วงคาน สูง 1 ชั้น มีฐานรองรับเป็นแบบหมุนได้ ลักษณะโครงสร้างมีน้ำหนักรรทุกกระทำในแนวดิ่ง เมื่อวิเคราะห์จะนำผลไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของ Ernst, 1973 ผลการวิเคราะห์ของ Sinsreetreerux, 1978 และผลการวิเคราะห์ของขจรศักดิ์ของ ขจรศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์, 1996 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตามงานวิจัยนี้กับผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยที่ผ่านมา รวมทั้งแสดงผลการแบ่งย่อยชิ้นส่วนเพื่อหาการลู่เข้าของคำตอบ

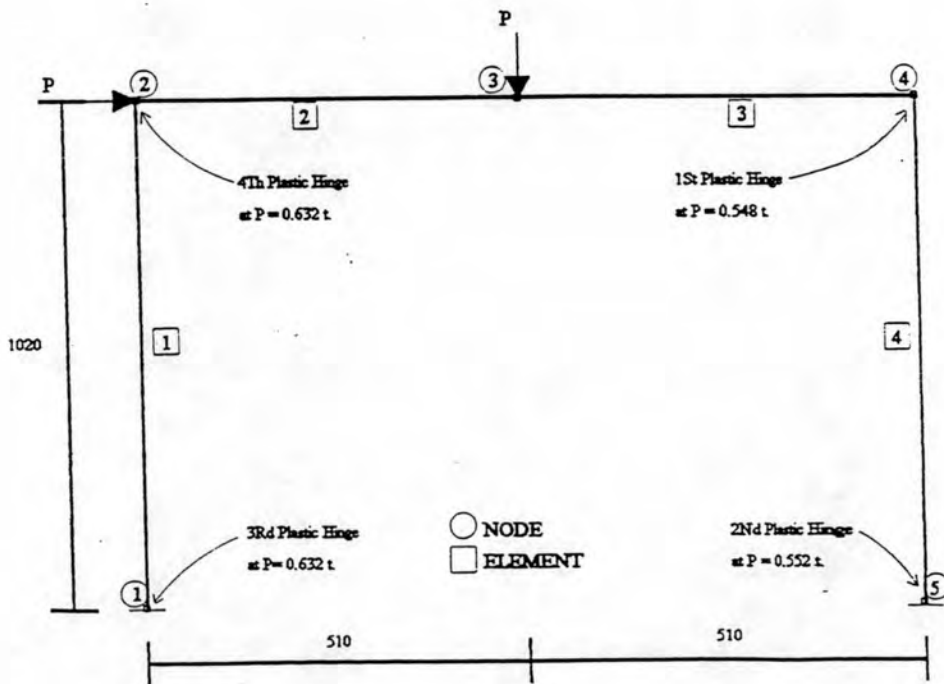
ตัวอย่างที่ 3 เป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ช่วงคาน สูง 1 ชั้น มีฐานรองรับเป็นแบบหมุนได้ ลักษณะโครงสร้างมีน้ำหนักรรทุกกระทำในแนวราบ เมื่อวิเคราะห์จะนำผลไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของ Beutait and Williams, 1968 และผลการวิเคราะห์ของ Sinsreetreerux, 1978 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตามงานวิจัยนี้กับผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยที่ผ่านมา รวมทั้งแสดงผลการแบ่งย่อยชิ้นส่วนเพื่อหาการลู่เข้าของคำตอบ

รายงานผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 1

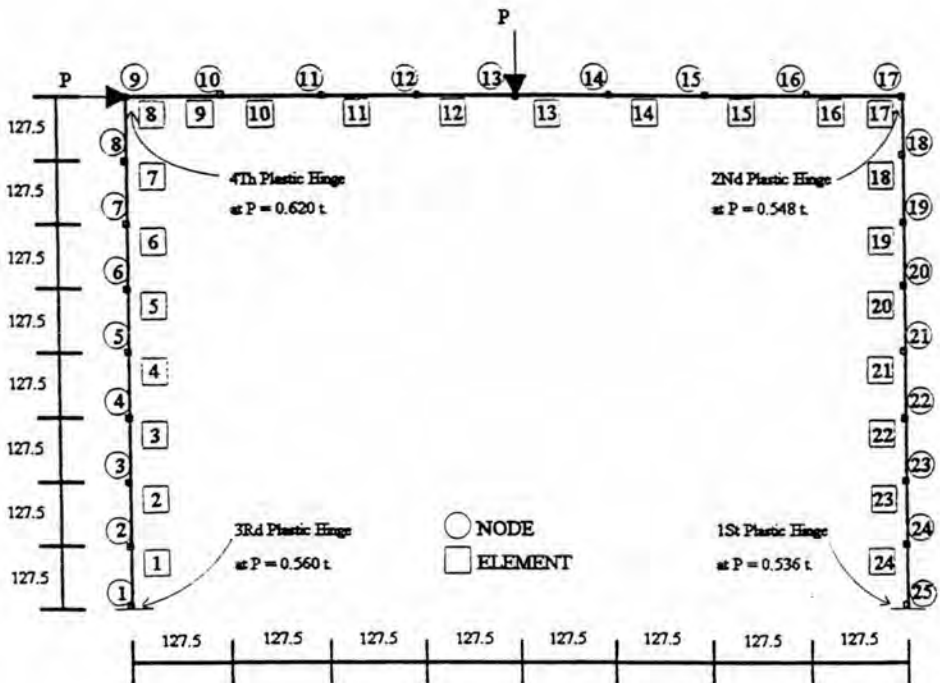
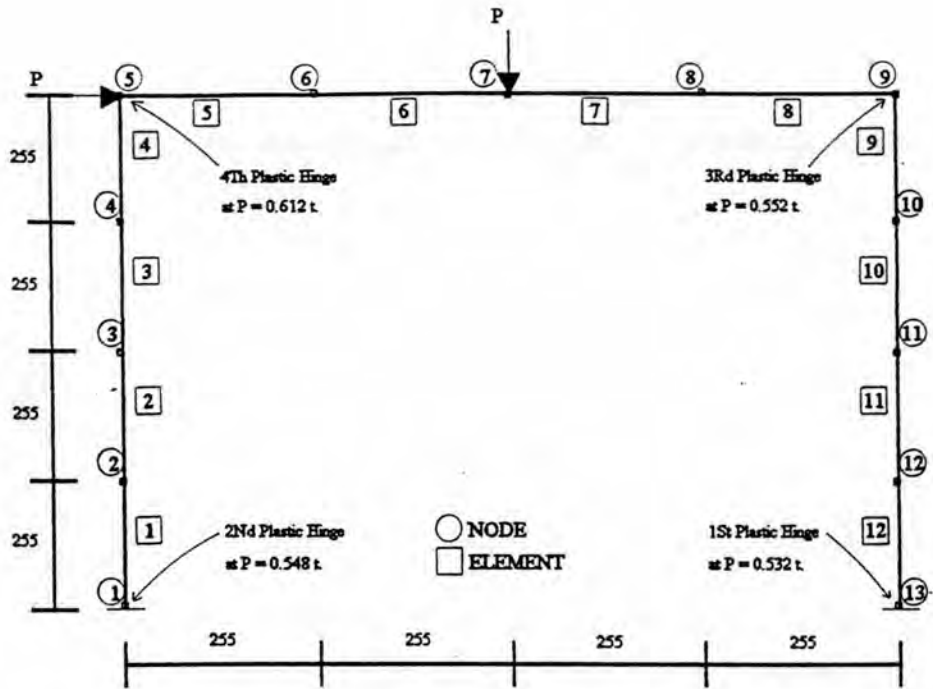
โครงสร้างที่เป็นตัวอย่างที่ 1 มีลักษณะโครงสร้างเป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ช่องเสา สูง 1 ชั้น มีฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่น รายละเอียดของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกแสดงในรูปที่ 4.1 และมีรายละเอียดคุณสมบัติขององค์อาคารดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.2 (ต่อ) ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 1

	หน่วย	ตัวอย่างที่ 1
b	ซม.	7.3
t	ซม.	10.2
d	ซม.	1.8
d'	ซม.	8.4
$A_s$	ตร.ซม	0.633
$A_s'$	ตร.ซม	0.633
$f_c'$	กก/ตร.ซม	296.0
$E_c$	กก/ตร.ซม	206789.0
$f_y$	กก/ตร.ซม	3394.0
$E_s$	กก/ตร.ซม	2.06E+06

หมายเหตุ : แต่ละองค์อาคารมีคุณสมบัติเท่ากันหมด

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยขึ้นส่วนเพื่อหาการรู่เข้าของค่าตอบ

จำนวนขึ้นส่วนทั้งย่อยหมด	4	12	24
น้ำหนักบรรทุกสูงสุด ( ตัน )	0.632	0.612	0.620
การเปลี่ยนตำแหน่งทาง ด้านข้างที่จุดสูงสุดที่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด ( ซม. )	1.299	1.466	1.724

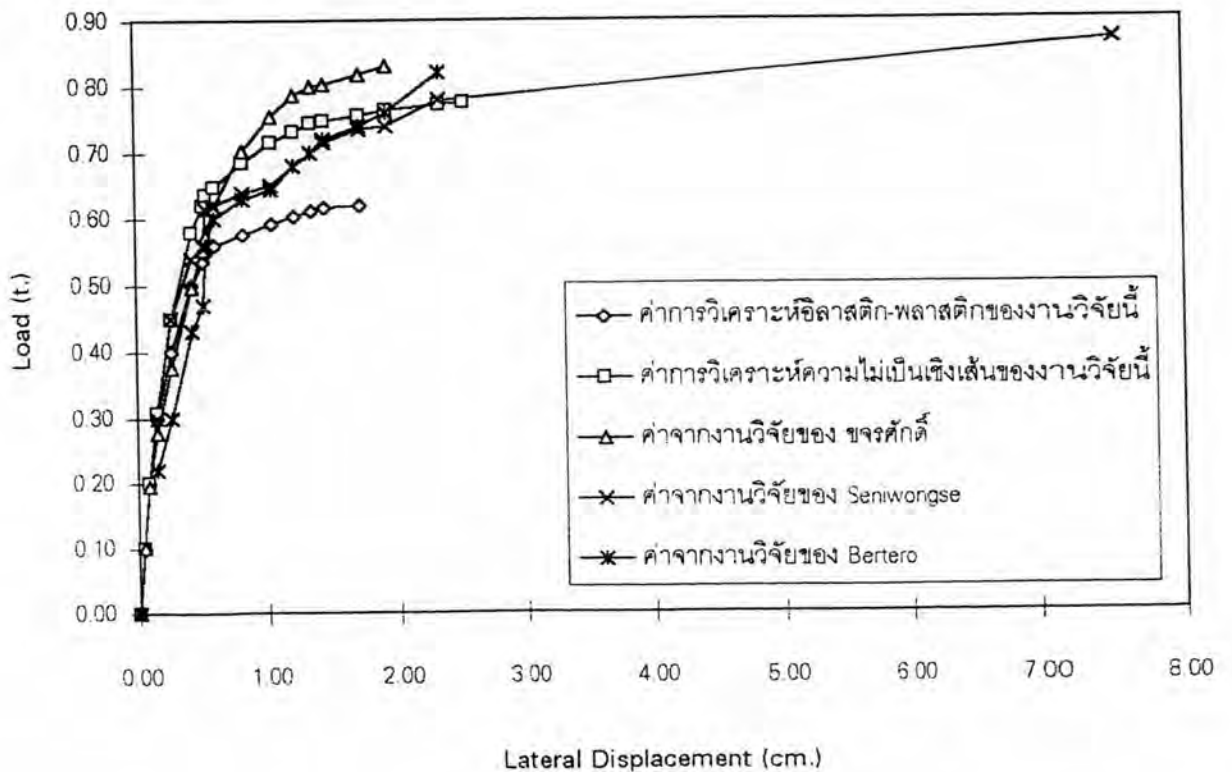
หมายเหตุ : เลือกตัวอย่างซึ่งแบ่งย่อย 24 ขึ้นส่วนเป็นค่าตอบ

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1

การวิเคราะห์	Bertero and McClure	Seniwongse	ขจรศักดิ์	งานวิจัยนี้
น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (ตัน)	0.8182 (100.00)	0.87 (106.33)	0.8225 (100.53)	0.620 (75.78)
การเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างที่จุดสูงสุดที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด ( ซม. )	2.34 (100.00)	7.50 (320.51)	1.928 (82.39)	1.724 (73.68)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ ( ) เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

เมื่อจัดเตรียมข้อมูลและทำการวิเคราะห์หิสลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.3



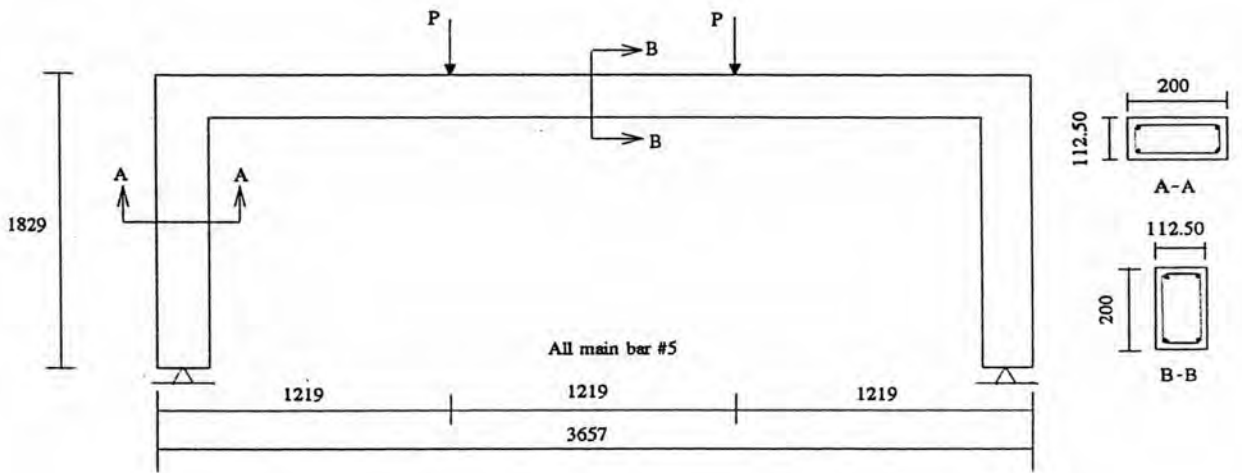
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 1

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์โครงสร้าง แบบอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง ที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ สำหรับตัวอย่างที่ 1 จะเห็นว่า

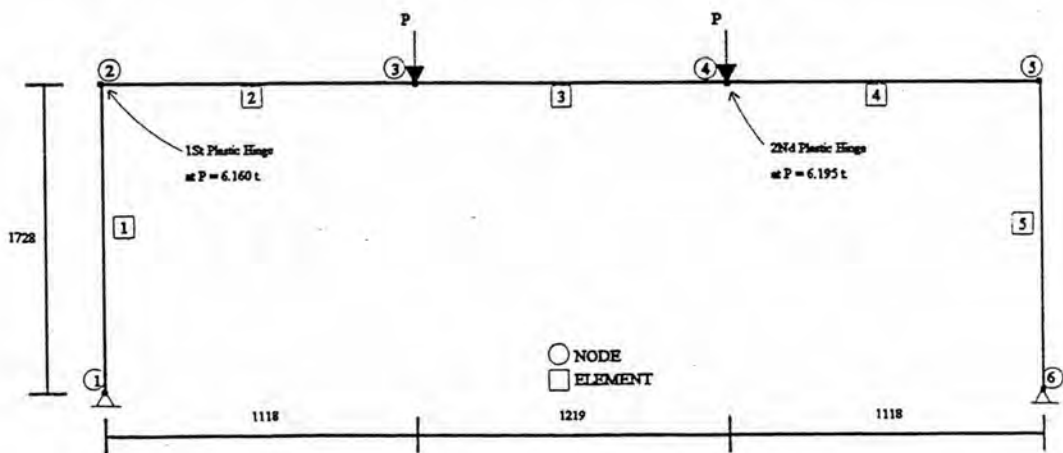
1. เมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย ค่าที่ได้จากงานวิจัยมีค่า 0.620 ตัน ซึ่งต่ำกว่าทุกงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการทดสอบของ Bertero and McClure พบว่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 24.22
2. เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่จุดสูงสุด ค่าที่ได้จากงานวิจัยมีค่า 1.724 ซม. ซึ่งต่ำกว่าทุกงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่จุดสูงสุดจากการทดสอบของ Bertero and McClure พบว่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 26.32
3. จำนวนการเกิดจุดหมุนพลาสติก จากการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยชิ้นส่วนสรุปได้ว่าทุกแบบจำลองเกิดจุดหมุนพลาสติกจำนวน 4 จุด ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ตำแหน่งและลำดับในการเกิดจุดหมุนพลาสติก, น้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกแสดงในรูปที่ 4.2
4. เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้าง แบบไม่เป็นเชิงเส้น คือ พิจารณาเฉพาะความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตและทางวัสดุ โดยไม่พิจารณาการเกิดจุดหมุนพลาสติก จากแบบจำลองพื้นฐาน 4 ชิ้นส่วน แสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าได้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย 0.772 ตัน. ที่การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่จุดสูงสุด 2.317 ซม. ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้เท่ากับร้อยละ 94.35 เมื่อเทียบกับการทดสอบของ Bertero and McClure
5. การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยและค่าการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่จุดสูงสุดจากการวิเคราะห์แบบอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองในงานวิจัยนี้ พบว่ามีค่าต่ำกว่างานวิจัยทุกงานที่ผ่านมา และมีค่าต่ำกว่าการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นในงานวิจัยนี้เช่นกัน

รายงานผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างนี้โครงสร้างมีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ช่วงเสา สูง 1 ชั้น เป็นโครงข้อแข็งที่มีฐานรองรับเป็นแบบหมุนได้ รายละเอียดของโครงสร้าง และน้ำหนักบรรทุก แสดงในรูปที่ 4.4 และมีรายละเอียดคุณสมบัติขององค์อาคารและวัสดุดังตารางที่ 4.4

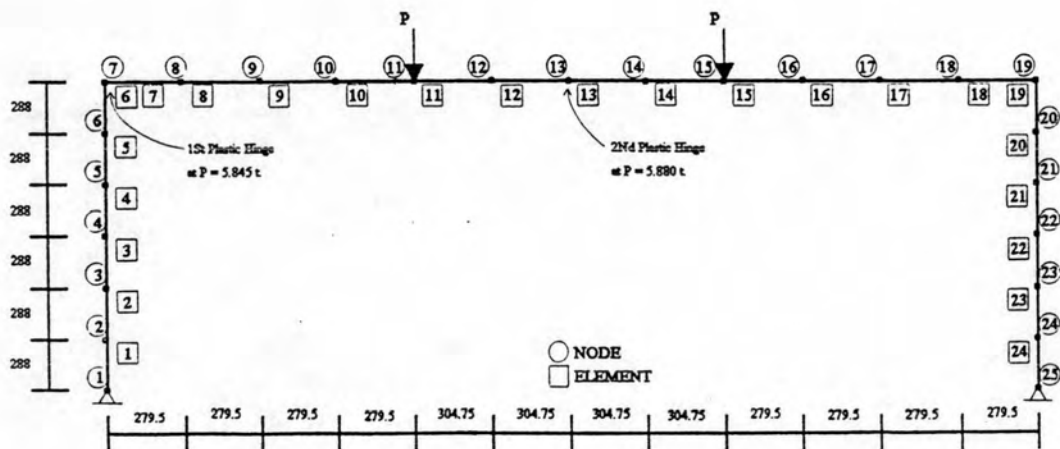
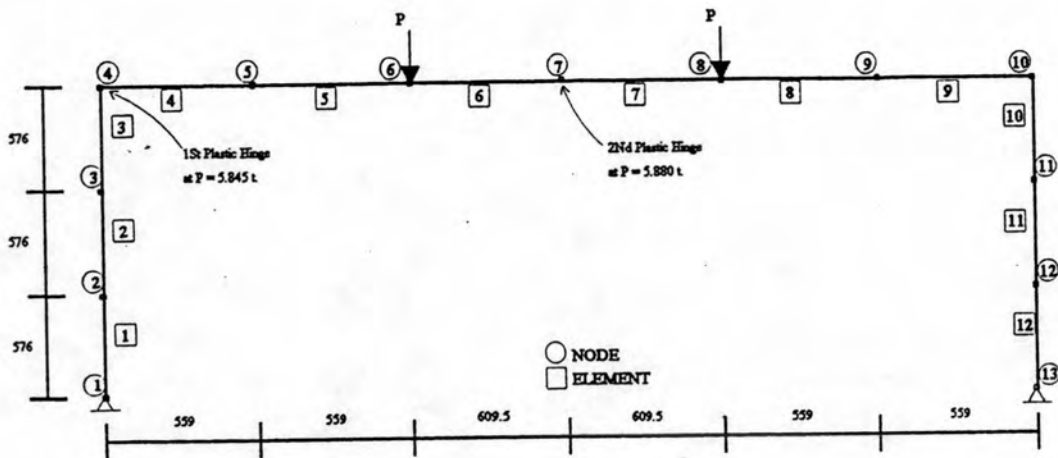


รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 2





รูปที่ 4.5 (ต่อ) ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 2



ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 2

	หน่วย	ตัวอย่างที่ 2
b	ซม.	11.25
t	ซม.	20.0
d	ซม.	3.75
d'	ซม.	16.25
$A_s$	ตร.ซม	4.0
$A_s'$	ตร.ซม	4.0
$f_c'$	กก/ตร.ซม	295.0
$E_c$	กก/ตร.ซม	283500.0
$f_y$	กก/ตร.ซม	3580.0
$E_s$	กก/ตร.ซม	2.06E+06

หมายเหตุ : แต่ละองค์อาคารมีคุณสมบัติเท่ากันหมด

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยชิ้นส่วน เพื่อหาสูญเสียของค่าตอม

จำนวนชิ้นส่วนย่อยทั้งหมด	5	12	24
น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (ตัน)	6.195	5.880	5.880
การเปลี่ยนตำแหน่งใน แนวตั้งที่จุดกึ่งกลางคาน ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(ซม.)	1.973	2.389	2.518

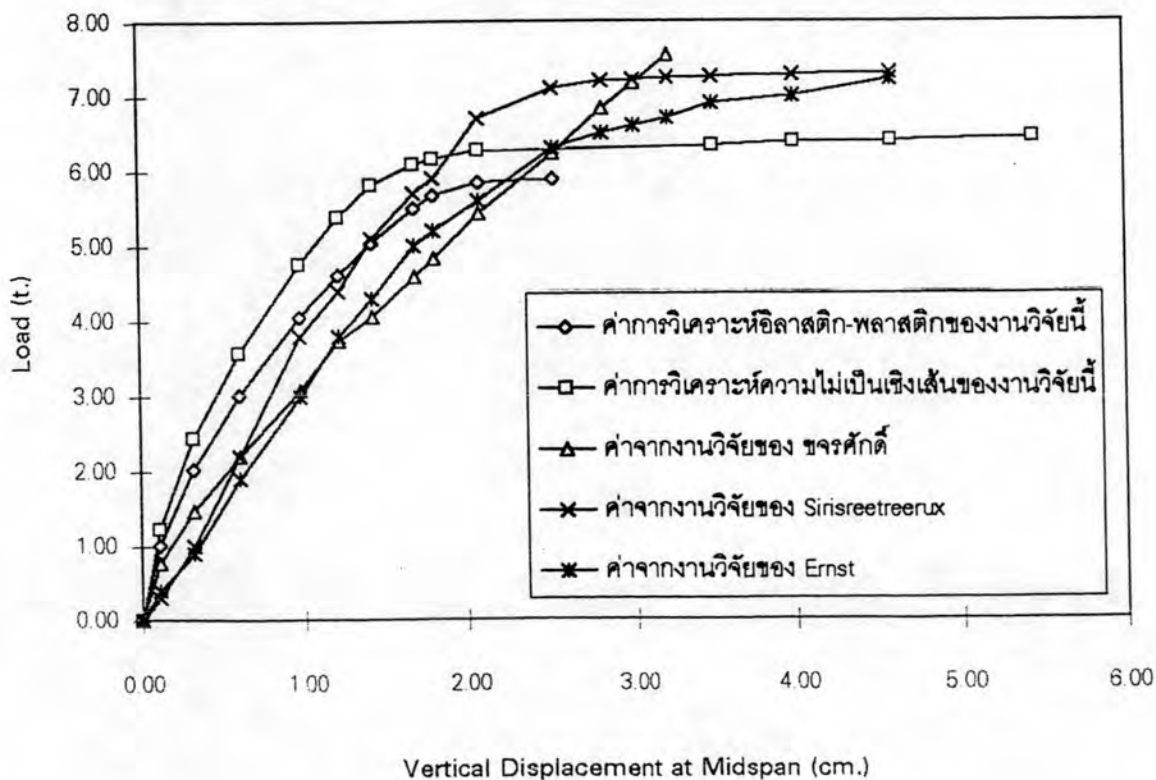
หมายเหตุ เลือกตัวอย่างซึ่งแบ่งย่อย 24 ชิ้นส่วนเป็นค่าตอม

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2

การวิเคราะห์	Ernst	Sirisreetreerux	ชจรศักดิ์	งานวิจัยนี้
น้ำหนักบรรทุก สูงสุด (ตัน)	7.227 (100.00)	7.318 (101.26)	7.546 (104.41)	5.880 (81.36)
การเปลี่ยนตำแหน่งใน แนวตั้งที่จุดกึ่งกลาง คานที่น้ำหนักบรรทุก สูงสุด ( ซม. )	4.60 (100.00)	4.40 (95.65)	3.226 (70.13)	2.518 (54.74)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ ( ) เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลาง  
ความยาวของคานเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 2

จากการวิเคราะห์ในตัวอย่างที่ 2 พบว่า

1. เมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ค่าที่ได้จากงานวิจัยมีค่า 5.880 ตัน ซึ่งต่ำกว่าทุกงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยจากการทดสอบของ Ernst พบว่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 18.64

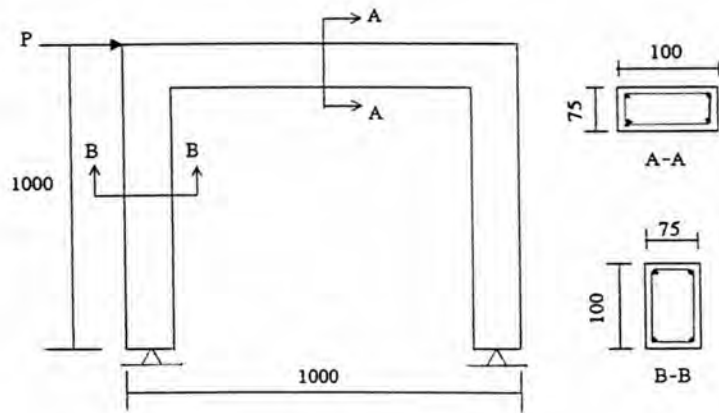
2. เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลางคานที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด ค่าที่ได้จากงานวิจัยมีค่า 2.518 ซม. ซึ่งต่ำกว่าทุกงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลางคานที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดกับการทดสอบของ Ernst พบว่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 45.26

3. จำนวนการเกิดจุดหมุนพลาสติกจากการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยชิ้นส่วนสรุปได้ว่าเกิดจุดหมุนพลาสติกจำนวน 2 จุด ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่บริเวณกึ่งกลางคานและจุดต่อคานเสาด้านซ้าย ตำแหน่งและลำดับในการเกิดจุดหมุนพลาสติกแสดงในรูปที่ 4.5 โครงสร้างไม่มีช่วงความเหนียว, เมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกโครงสร้างจะวิบัติอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโครงสร้างมีช่วงคานยาว เมื่อเทียบกับความสูงของเสา

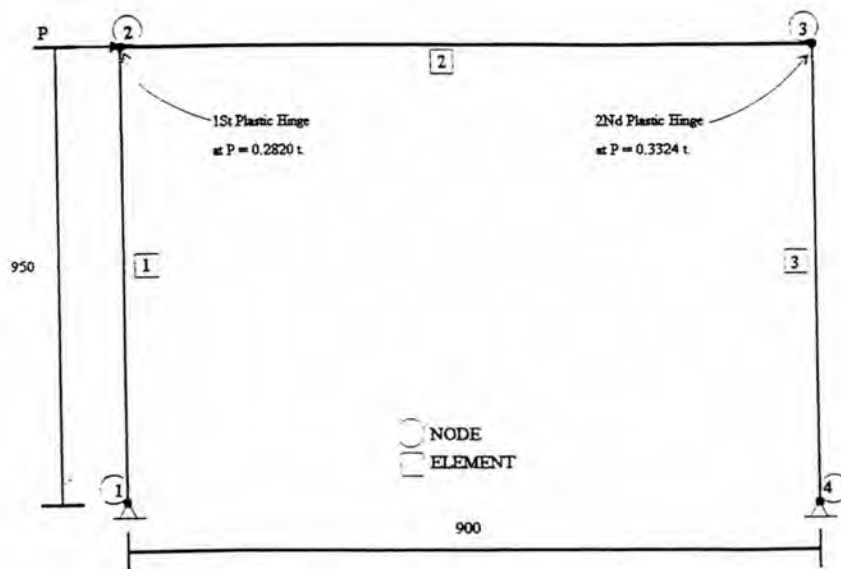
4. เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้าง แบบไม่เป็นเชิงเส้น จากแบบจำลองพื้นฐาน 5 ชิ้นส่วนแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าได้ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย 6.440 ตัน. และ การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลางคานเท่ากับ 5.438 ซม. ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเปรียบเทียบเป็นร้อยละ 89.11 และค่าการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลางคานมีค่ามากกว่าเปรียบเทียบเป็นร้อยละ 118.22 เทียบกับการทดสอบของ Ernst การวิเคราะห์ในลักษณะนี้แสดงถึงพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้ดีกว่า การวิเคราะห์ในแบบอิลาสติก-พลาสติก

รายงานผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 3

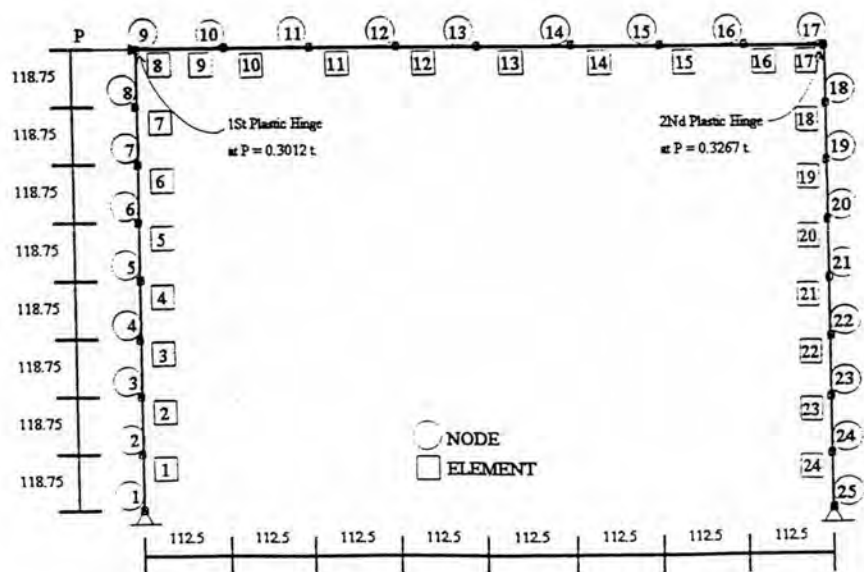
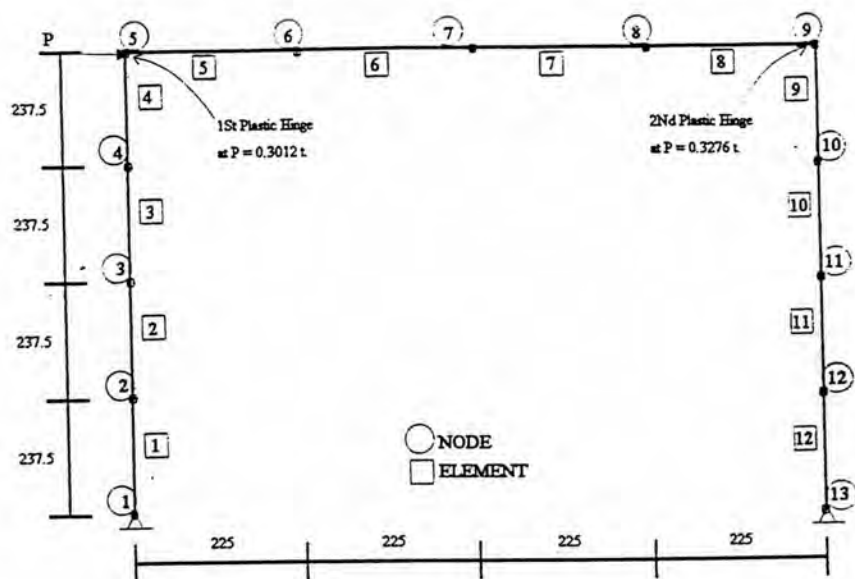
ตัวอย่างนี้โครงสร้างมีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ช่วงเสา สูง 1 ชั้น เป็นโครงข้อแข็งที่มีฐานรองรับเป็นแบบหมุนได้ รายละเอียดของโครงสร้าง และน้ำหนักบรรทุก แสดงในรูปที่ 4.7 และมีรายละเอียดคุณสมบัติขององค์อาคารและวัสดุตั้งตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 4.8 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 4.8 (ต่อ) ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 3

	หน่วย	ตัวอย่างที่ 3
b	ซม.	7.50
t	ซม.	10.0
d	ซม.	1.875
d'	ซม.	8.125
$A_s$	ตร.ซม	0.625
$A_s'$	ตร.ซม	0.625
$f_c'$	กก/ตร.ซม	255.50
$E_c$	กก/ตร.ซม	245000.0
$f_y$	กก/ตร.ซม	3150.0
$E_s$	กก/ตร.ซม	2.03E+06

หมายเหตุ : แต่ละองค์อาคารมีคุณสมบัติเท่ากันหมด

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยชิ้นส่วน เพื่อหาผู้เข้าของคำตอบ

จำนวนชิ้นส่วนย่อยทั้งหมด	3	12	24
น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (ตัน)	0.3342	0.3279	0.3276
การเปลี่ยนตำแหน่งทาง ด้านข้างที่จุดสูงสุด ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(ซม.)	42.808	9.899	21.958

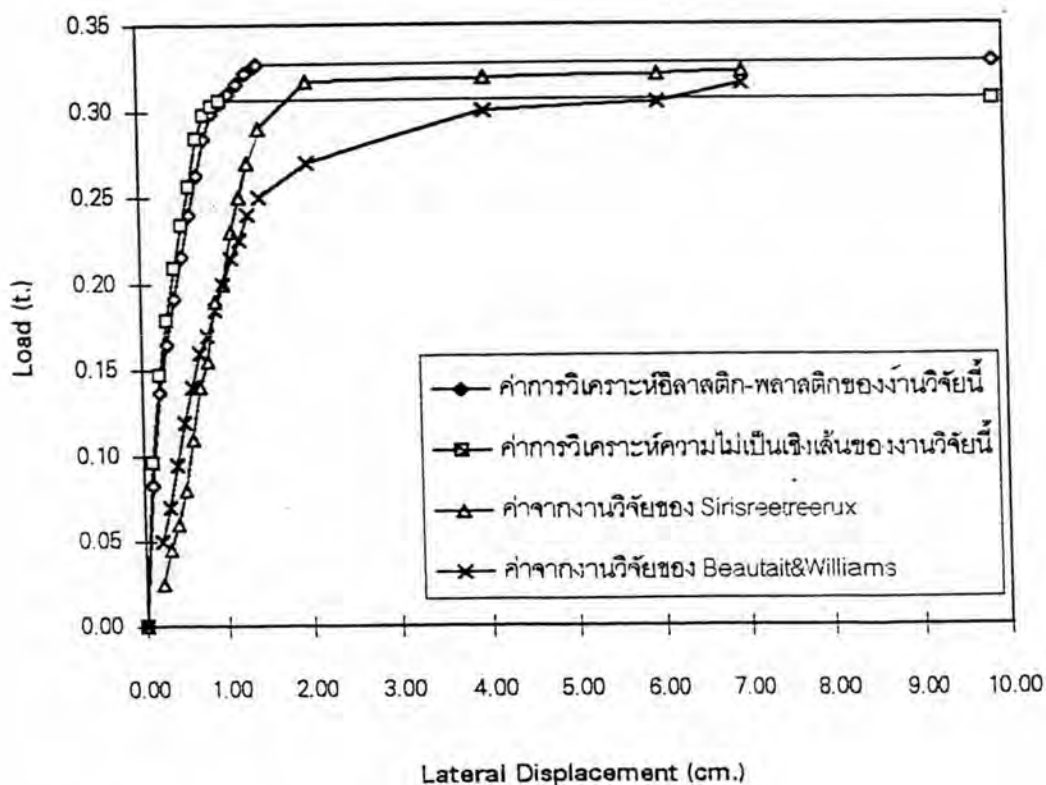
หมายเหตุ เลือกตัวอย่างซึ่งแบ่งย่อย 12 ชิ้นส่วนเป็นคำตอบ

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3

การวิเคราะห์	Beautait and Williams	Sirisreetreerux	งานวิจัยนี้
น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (ตัน)	0.315 (100.00)	0.3227 (102.44)	0.3279 (104.10)
การเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างที่จุดสูงสุดที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(ซม.)	7.00 (100.00)	7.00 (100.00)	9.899 (141.41)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ ( ) เป็นค่าร้อยละเปรียบเทียบ

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างที่จุดสูงสุดเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 3



จากการวิเคราะห์ในตัวอย่างที่ 3 พบว่า

1. เมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย ค่าที่ได้จากงานวิจัยมีค่า 0.3279ตัน ซึ่งสูงกว่าทุกงานวิจัยที่ผ่านมาเล็กน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุกประลัยกับการทดสอบของ Beautait and Williams พบว่ามีค่ามากกว่าร้อยละ 4.10
2. เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างที่จุดสูงสุดที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด ค่าที่ได้จากงานวิจัยมีค่า 9.899 ซม. ซึ่งสูงกว่าทุกงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างที่จุดสูงสุดที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดกับ การทดสอบของ Beautait and Williams พบว่ามีค่ามากกว่าร้อยละ 41.41
3. จำนวนการเกิดจุดหมุนพลาสติกจากการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยชิ้นส่วนสรุปได้ว่าเกิดจุดหมุนพลาสติกจำนวน 2 จุด ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่บริเวณจุดต่อคานเสาทั้งสองด้าน ตำแหน่งและลำดับในการเกิดจุดหมุนพลาสติกแสดงในรูปที่4.8
4. เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เป็นเชิงเส้น พบว่าได้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย 0.3072 ตัน. และ การเปลี่ยนตำแหน่งทางด้านข้างที่จุดสูงสุดที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดมีค่ามากถึง 47.28 ซม. ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเปรียบเทียบเป็นร้อยละ 97.52 เทียบกับการทดสอบของ Beautait and Williams เนื่องจากโครงสร้างมีฐานรองรับแบบข้อหมุนและมีแรงกระทำในแนวราบ เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ ทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดมีค่ามากเกินไปกว่าความเป็นจริง