

บทที่ 4 ผลการศึกษา

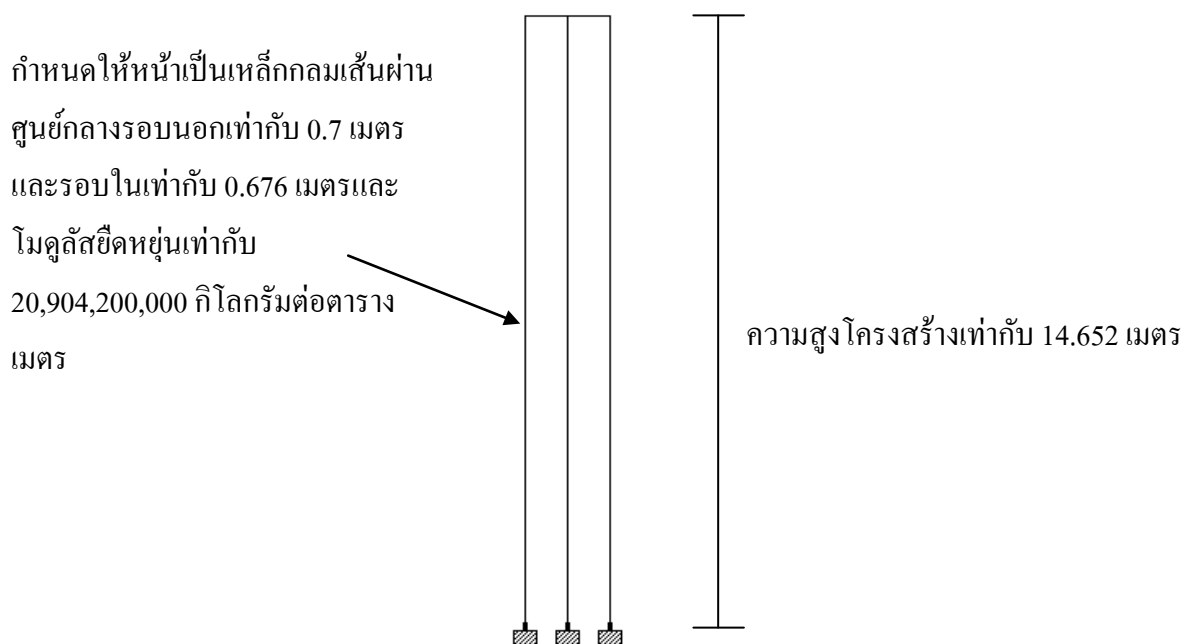
ในบทนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปและผลการศึกษาผลกระทบของรูปแบบโครงสร้างต่างๆและประเภทของฐานรองรับที่มีผลต่อน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม

4.1 การตรวจสอบผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป

เนื่องจกงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างใน 3 มิติโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป STAAD.Pro เป็นหลัก ดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการใช้และผลที่ได้จากโปรแกรม จึงจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์สำหรับโครงสร้างอย่างง่ายใน 2 มิติที่ได้จากโปรแกรม โดยจะนำผลมาเปรียบเทียบกับคำตอบเชิงวิเคราะห์ที่ได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยหัวข้อนี้จะแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมกับผลการคำนวณตามทฤษฎีการโก่งเดาะของเสาเดี่ยวและโครงข้อแข็ง

4.1.1 การตรวจสอบผลการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูปกับทฤษฎีเสาเดี่ยว

การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักวิกฤติของเสาเดี่ยวดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 นั้นมีสมการสำหรับการหาน้ำหนักวิกฤติตามประเภทของฐานรองรับดังรูปที่ 2.8 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปจะใช้โครงสร้างดังรูปที่ 4.1.1



รูปที่ 4.1.1 รูปแบบโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป

จากทฤษฎีการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักวิกฤติแบบโครงสร้างเสาเดี่ยวที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 จะได้สมการดังนี้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (4.1)$$

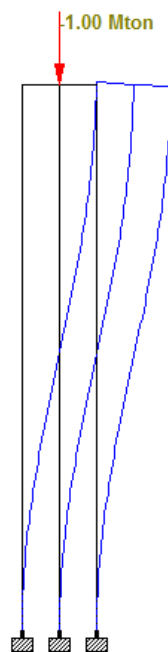
โดยที่ P_{cr} คือ น้ำหนักวิกฤติ (Critical Load)
 E คือ ความแข็งเกร็งของวัสดุ (Elastic Modulus)
 I คือ Section Modulus

โดยที่ค่า L_e เป็นความยาวประสิทธิ์ผลซึ่งมีค่าเท่ากับ KL โดยที่ค่า K จะเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 2.8

กำหนดคุณสมบัติของโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบบ้างนี้

- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) เท่ากับ 20,904,200,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- หน้าตัดโครงสร้างเป็นเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกเท่ากับ 0.7 เมตร และรอบในเท่ากับ 0.676 เมตร
- ค่า Section Modulus เท่ากับ 153510.59 เซนติเมตร⁴
- ความยาวของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร

สำหรับการคำนวณหาการโก่งค้ำของโครงสร้างโดยโปรแกรมสำเร็จรูปเป็นไปตามรูปที่ 4.1.2



รูปที่ 4.1.2 การจำลองโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป

เมื่อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุตามที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วผลที่ได้จะเป็นไปตามตารางที่ 4.1.1

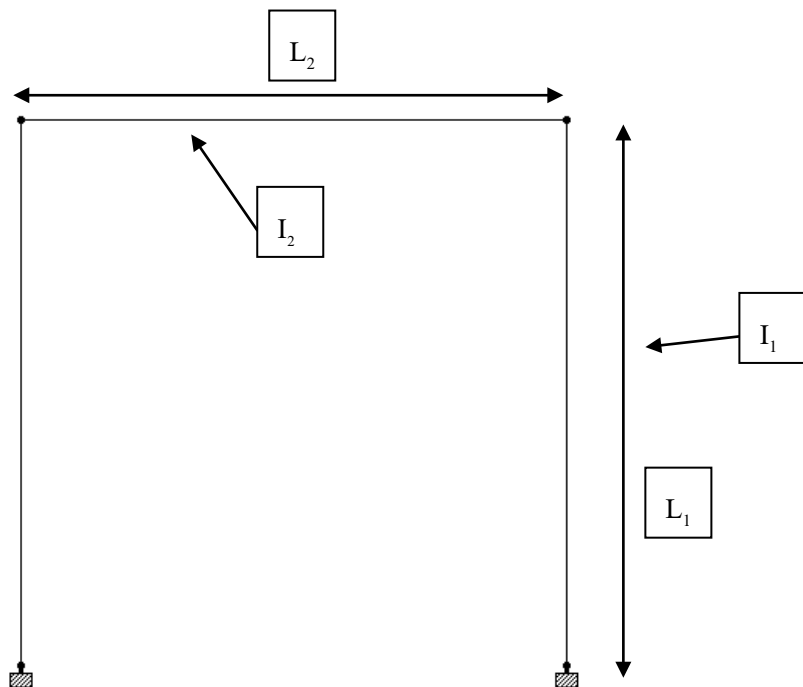
ตารางที่ 4.1.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างจากทฤษฎีการวิเคราะห์แบบเสาเดี่ยวและจากโปรแกรมสำเร็จรูป

	ทฤษฎีเสาเดี่ยว (Tons)	โปรแกรมสำเร็จรูป (Tons)
น้ำหนักวิกฤติที่ทำให้โครงสร้างอยู่ในสถานะโก่งเดาะ	4425.87	4364.828

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.1.1 พบว่าการวิเคราะห์หาน้ำหนักวิกฤติที่ทำให้โครงสร้างอยู่ในสถานะโก่งเดาะจากทฤษฎีเสาเดี่ยวให้ค่ามากกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปเพียง 1.379%

4.1.2 การตรวจสอบผลการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูปกับทฤษฎีโครงข้อแข็ง

การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักวิกฤติของโครงข้อแข็งสามารถหาได้หลายวิธีดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 แต่วิธีที่จะนำมาเปรียบเทียบจะใช้วิธีการวิเคราะห์หาน้ำหนักวิกฤติด้วยวิธีสมดุลแรงแบบโครงสร้างที่มีการเซด้านข้าง และรูปแบบโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปเป็นไปดังรูปที่ 4.1.3



รูปที่ 4.1.3 รูปแบบโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป

จากทฤษฎีการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักวิกฤตด้วยวิธีสมมูลแรงแบบโครงสร้างที่มีการเซด้านข้างเมื่อ

$$L_1 = L_2 \text{ และ } I_1 = I_2 \quad (4.1)$$

จะได้สมการหาค่าน้ำหนักวิกฤตดังสมการต่อไปนี้

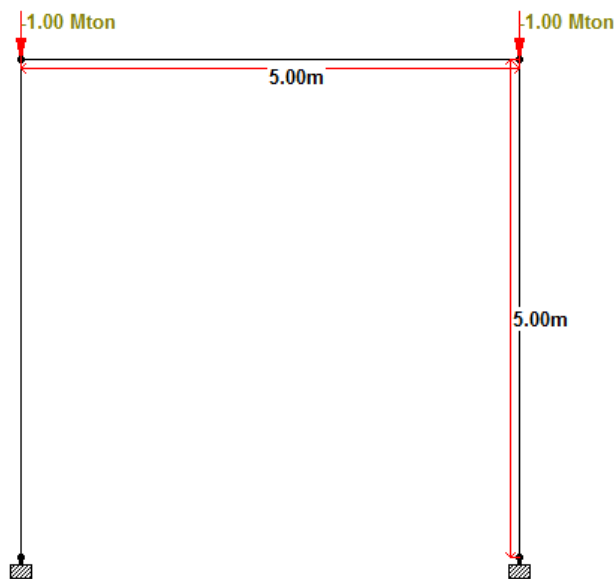
$$P_{cr} = \frac{7.34EI}{L^2} \quad (4.2)$$

โดยที่ P_{cr} คือ น้ำหนักวิกฤต (Critical Load)
 E คือ ความแข็งเกร็งของวัสดุ (Elastic Modulus)
 I คือ Section Modulus
 L คือ ความยาวของโครงสร้าง

กำหนดคุณสมบัติของโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบดังนี้

- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) เท่ากับ 20,904,200,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- หน้าตัด โครงสร้างเป็นเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 เมตร
- ความยาวของโครงสร้างเท่ากับ 5 เมตร

สำหรับการคำนวณหาค่าน้ำหนักวิกฤตของโครงสร้างโดยโปรแกรมสำเร็จรูปเป็นไปตามรูปที่ 4.1.4



รูปที่ 4.1.4 การจำลองโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป

เมื่อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุตามที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วผลที่ได้จะเป็นไปตามตารางที่ 4.1.2

ตารางที่ 4.1.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างจากทฤษฎีการวิเคราะห์แบบโครงข้อแข็ง และจากโปรแกรมสำเร็จรูป

	ทฤษฎีโครงข้อแข็ง (Tons)	โปรแกรมสำเร็จรูป (Tons)
น้ำหนักวิกฤติที่ทำให้โครงสร้าง อยู่ในสถานะ โกงเดาะ	18829.532	18638.973

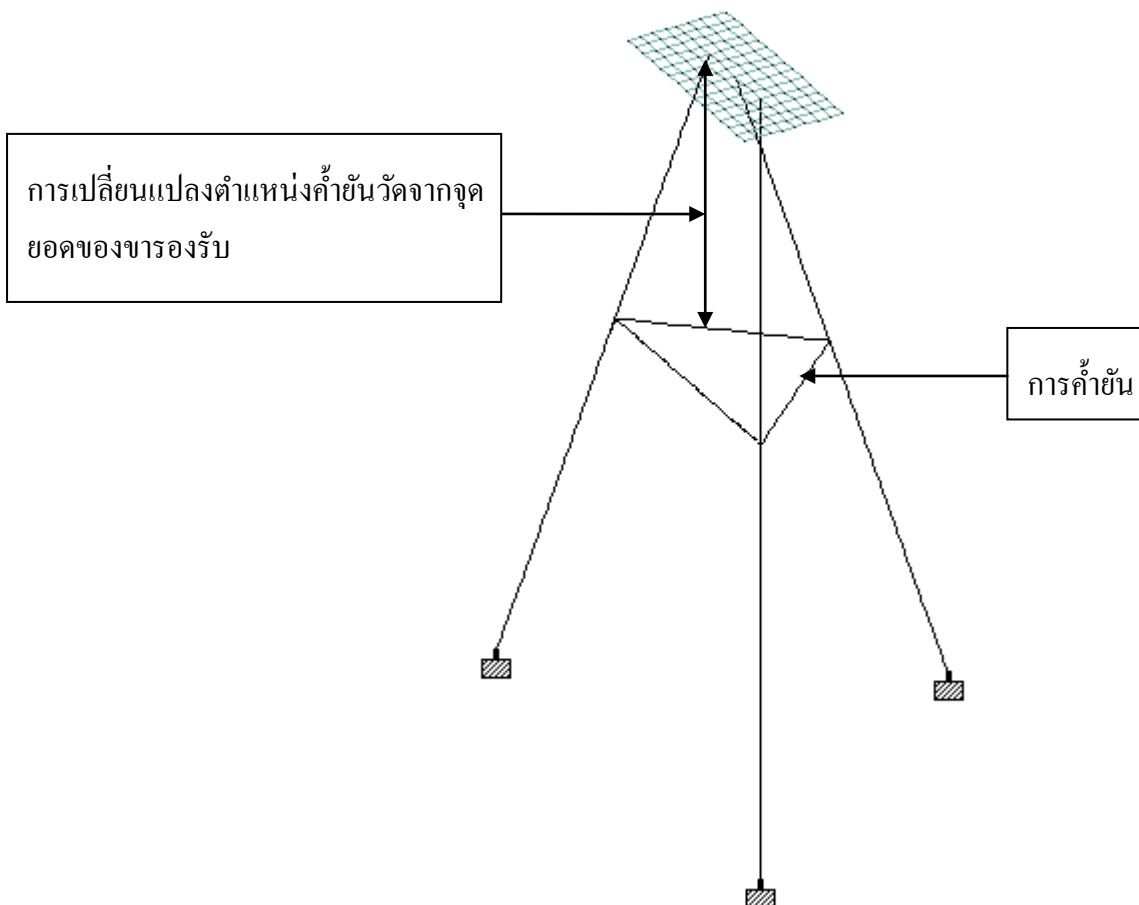
จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.1.2 พบว่าการวิเคราะห์หาน้ำหนักวิกฤติที่ทำให้โครงสร้างอยู่ในสถานะ โกงเดาะจากทฤษฎีโครงข้อแข็งให้ค่ามากกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปเพียง 1.012%

จากการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ผ่านกรณีศึกษาทั้งสองตัวอย่าง ซึ่งผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากทฤษฎีมีความใกล้เคียงกัน จึงทำให้มั่นใจได้ว่าการใช้โปรแกรมและผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมมีความถูกต้องเพียงพอสำหรับการศึกษาวิจัยนี้

4.2 ผลกระทบต่อน้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบ โครงสร้างในลักษณะต่างๆ

4.2.1 ผลกระทบต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้างภายใต้การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง การค้ำยันโครงสร้าง

กำหนดให้ความสูงของโครงสร้าง มุมและความหนาของขารองรับโครงสร้างมีค่าคงที่ ส่วนของ
ตำแหน่งการค้ำยัน มีการแปรผันในช่วง 0.50-13.50 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของขารองรับโครงสร้าง
ดังรูปที่ 4.2.1 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.2.2



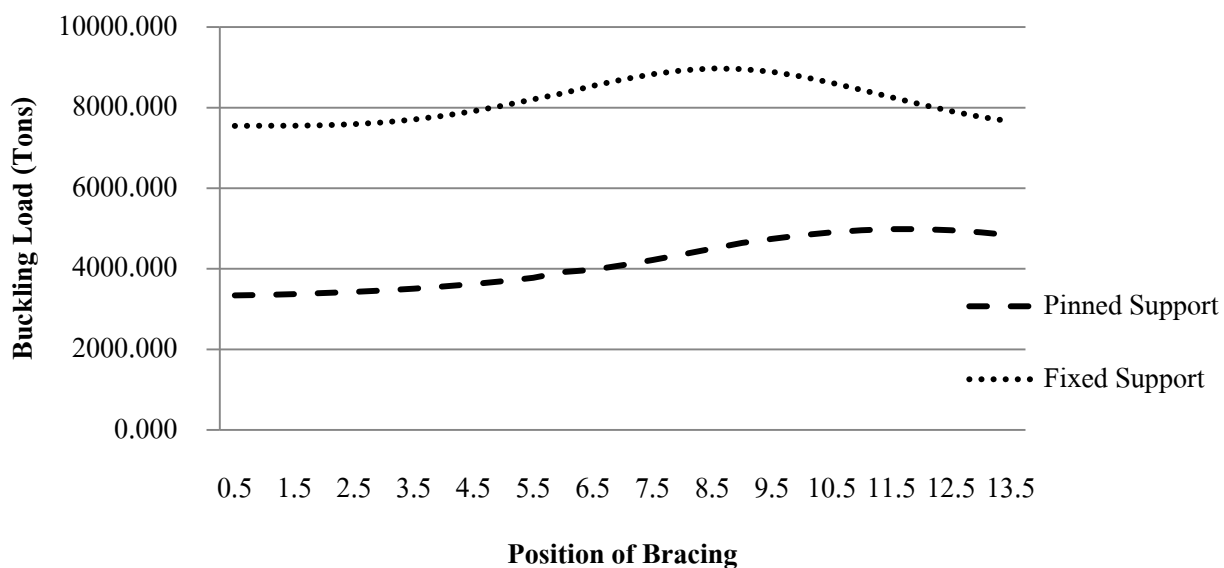
รูปที่ 4.2.1 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งการค้ำยันในโปรแกรมสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.2.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
ของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ตำแหน่งค้ำยันจาก ตำแหน่งสูงสุด (m.)	ความสูงของ โครงสร้าง (m.)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเคาะ (Tons)	
			ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
0.50					3339.653	7547.927
1.00					3349.833	7550.466
1.50					3371.513	7553.488
2.00					3397.204	7564.660
2.50					3427.579	7590.616
3.00					3464.158	7636.375
3.50					3508.212	7705.034
4.00					3560.746	7797.860
4.50					3622.579	7914.378
5.00					3694.423	8052.307
5.50					3776.885	8207.486
6.00	14.652	12	17.912	9.177	3920.244	8359.422
6.50					3975.353	8541.340
7.00					4091.694	8699.278
7.50					4219.055	8833.235
8.00					4356.388	8928.695
8.50					4501.622	8973.152
9.00					4641.973	8959.812
9.50					4742.714	8889.700
10.00					4832.921	8770.926
10.50					4906.705	8616.469
11.00					4958.717	8440.819
11.50					4985.112	8257.673

ตารางที่ 4.2.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
ของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น(ต่อ)

ตำแหน่งค้ำยันจาก ตำแหน่งสูงสุด (m.)	ความสูงของ โครงสร้าง (m.)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
12.00	14.652	12	17.912	9.177	4984.263	8078.863
12.50					4956.860	7914.207
13.00					4905.273	7771.878
13.50					4831.992	7658.865



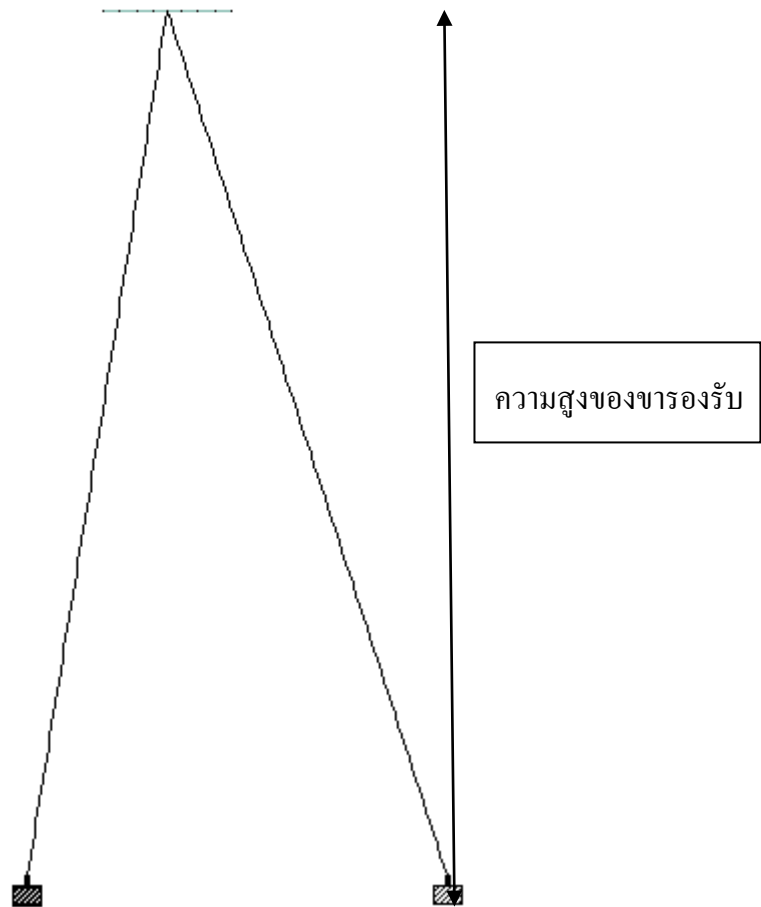
รูปที่ 4.2.2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.2.2 พบว่า ตำแหน่งของค้ำยันที่ทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมากที่สุดคือ 11.5 เมตร จากขอบบนสุดของขาสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุนและ 8.5 เมตร สำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่น สำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นการเพิ่มระยะค้ำยันในช่วง 0.5 ถึง 4.5 เมตรค่าน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่เมื่อถึงช่วง 5.5 ถึง 8.5 เมตร การเพิ่มระยะการค้ำยันจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติเพิ่มขึ้นมากและช่วง 8.5 ถึง 13.5 เมตร การเพิ่มระยะการค้ำยันจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติลดลงมาก เช่นเดียวกับกับฐานรองรับแบบยึดหมุนการเพิ่มระยะการค้ำยันในช่วง 0.5 ถึง 4.5 เมตรค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่เมื่อถึงช่วง 5.5 ถึง 11.5 เมตร การเพิ่ม

ระยะการค้ำยันจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติเพิ่มขึ้นมากและช่วง 11.5 ถึง 13.5 เมตร การเพิ่มระยะการค้ำยันจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติลดลง

4.2.2 ผลกระทบของความสูงโครงสร้างที่มีต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง

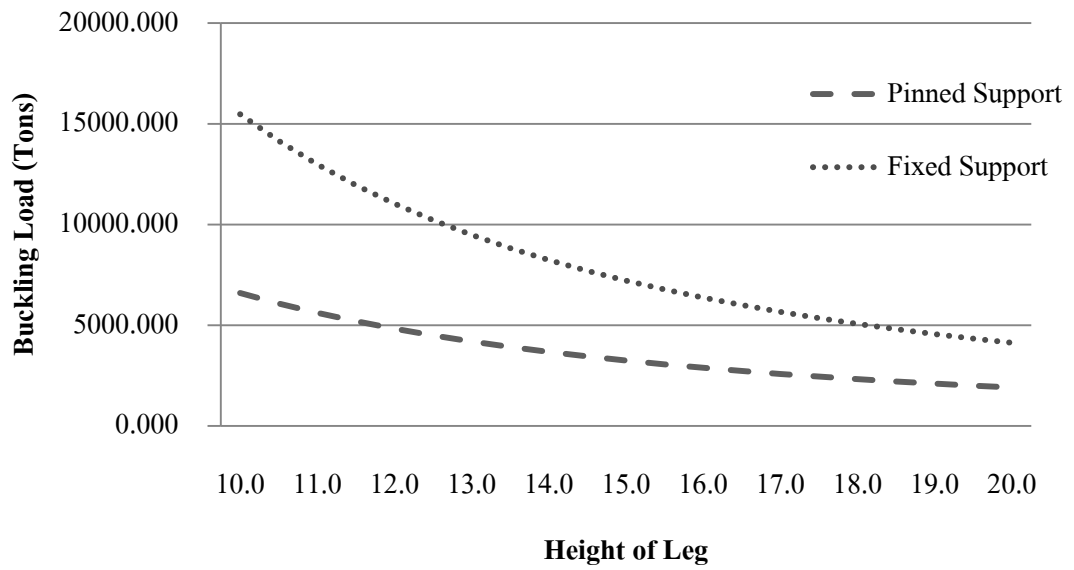
กำหนดให้มุมและความหนาของขารองรับฐานมีค่าคงที่ ส่วนของความสูงโครงสร้าง มีการแปรผันในช่วง 10 - 20 เมตร ดังรูปที่ 4.2.3 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2.2 และรูปที่ 4.2.4



รูปที่ 4.2.3 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความสูงของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.2.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกทุกวิถีของโครงสร้าง เมื่อแปรผันความสูงของ
โครงสร้างของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
		ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
10.00				6598.342	15478.178
10.50				6076.095	14152.110
11.00				5612.223	12984.246
11.50				5198.397	11951.331
12.00				4827.751	11033.985
12.50				4494.563	10216.079
13.00				4194.007	9484.064
13.50				3922.026	8826.612
14.00				3675.122	8234.115
14.50				3450.394	7698.453
15.00	12	17.912	9.177	3245.279	7212.688
15.50				3057.580	6770.900
16.00				2885.426	6368.018
16.50				2727.148	5999.671
17.00				2581.329	5662.003
17.50				2446.745	5351.843
18.00				2322.202	5066.225
18.50				2206.819	4802.680
19.00				2099.689	4559.030
19.50				2000.072	4333.301
20.00				1907.276	4123.829

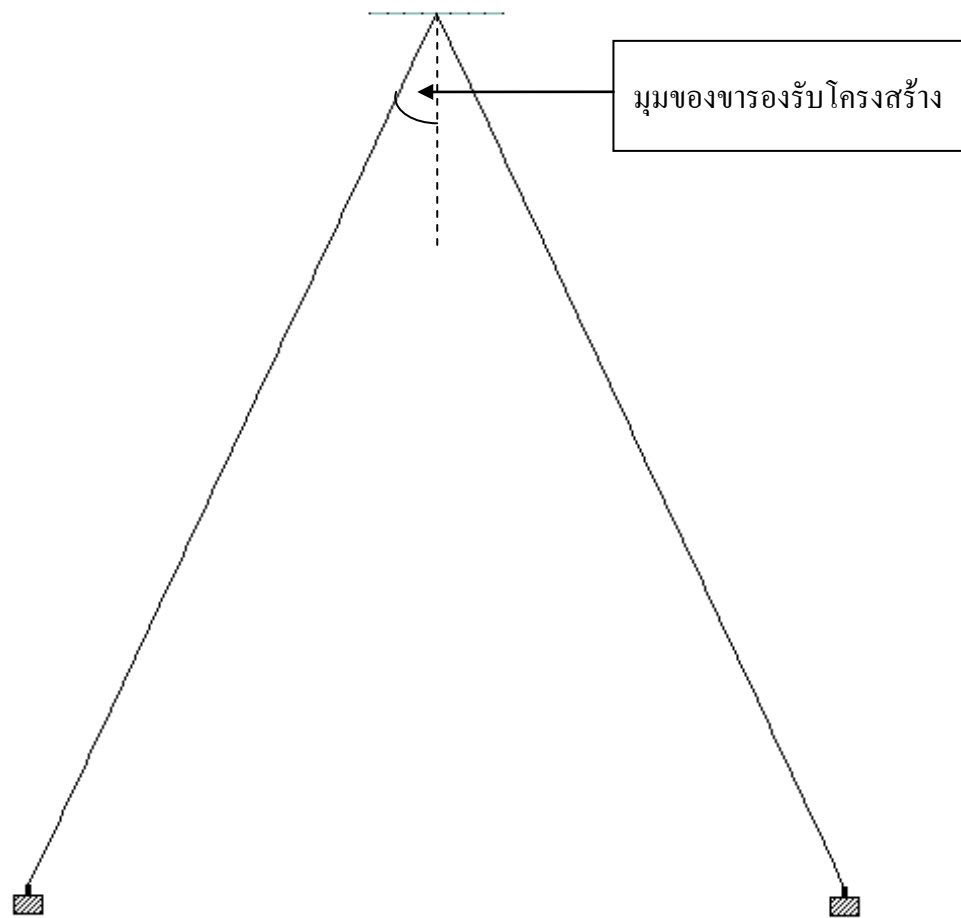


รูปที่ 4.2.4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

ตารางที่ 4.2.2 และรูปที่ 4.2.4 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความสูงของโครงสร้างจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกวิกฤติลดลง โดยโครงสร้างที่มีจตุรรองรับแบบยึดแน่นจะมีอัตราการลดลงของค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมากกว่าโครงสร้างที่มีจตุรรองรับแบบยึดหมุน โดยในช่วงความสูงของโครงสร้างที่ 10 ถึง 16 เมตร ในฐานรองรับแบบยึดแน่นจะมีอัตราการลดลงของน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมากและเมื่อความสูงเพิ่มมากขึ้นค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติสำหรับโครงสร้างที่ เมื่อความสูงมากขึ้นค่าน้ำหนักวิกฤติสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นและฐานรองรับแบบยึดหมุนจะเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน

4.2.3 ผลกระทบของมุมของการวางขารองรับฐานที่มีต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง

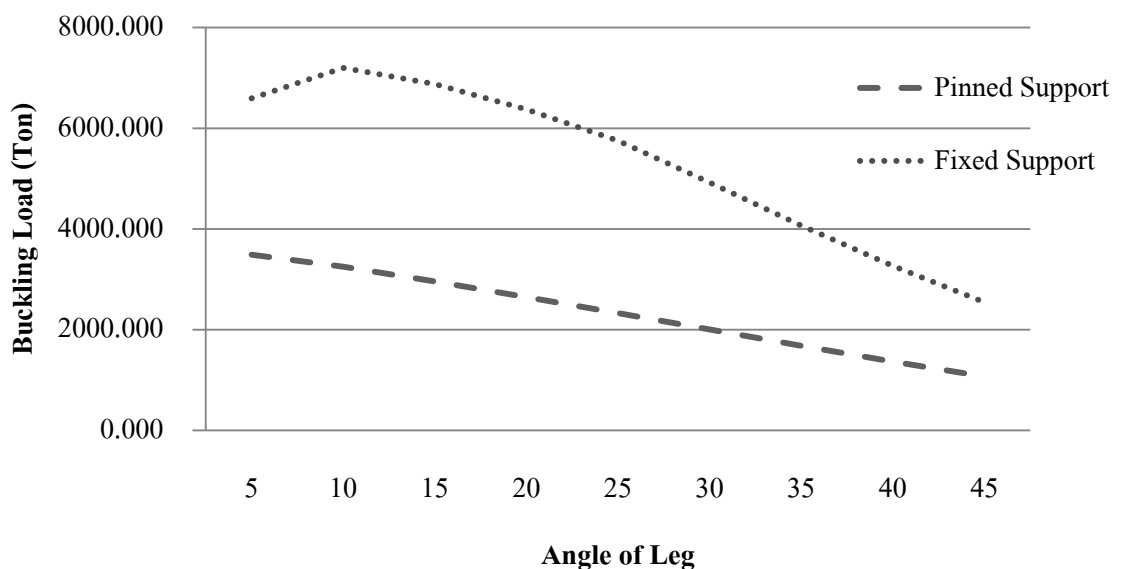
กำหนดให้ความสูงของโครงสร้างและความหนาของขารองรับ โครงสร้างมีค่าคงที่ ส่วนของมุมของขารองรับฐานมีการแปรผันในช่วง 5-45 องศา ดังรูปที่ 4.2.5 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2.3 และรูปที่ 4.2.6



รูปที่ 4.2.5 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนมุมของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.2.3 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันมุมของการวางขา
รองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
		ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.652	12	5	5	3488.539	6594.893
		10	10	3251.080	7198.890
		15	15	2956.405	6878.280
		20	20	2645.480	6374.982
		25	25	2326.796	5753.090
		30	30	2003.165	4923.670
		35	35	1680.084	4067.568
		40	40	1365.856	3267.475
		45	45	1069.965	2543.339

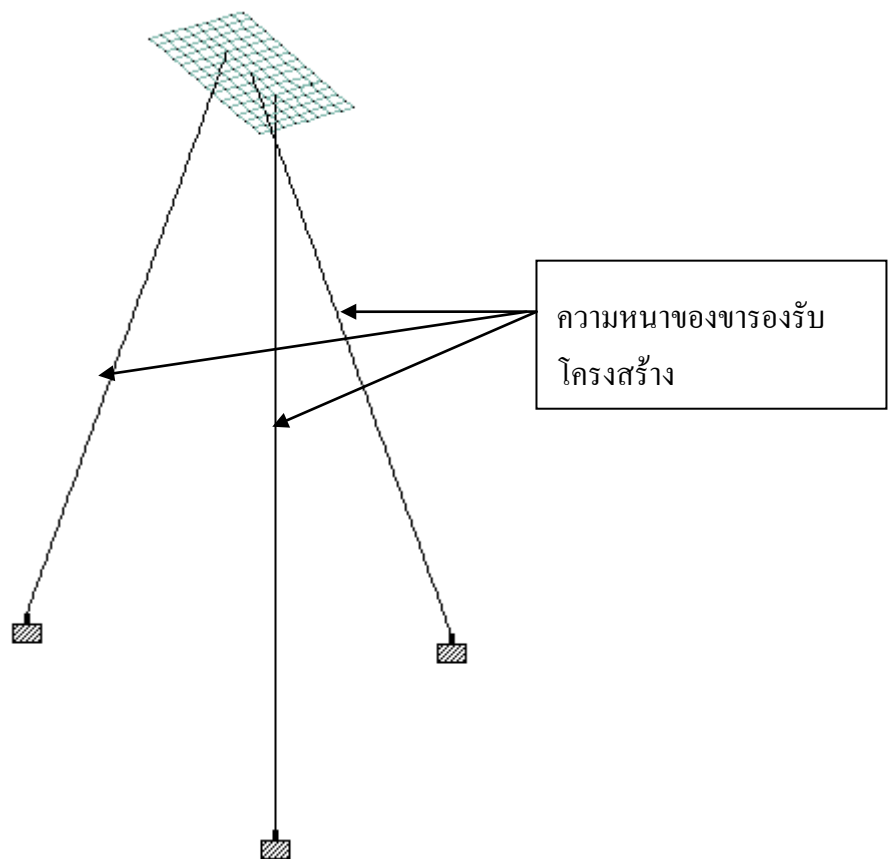


รูปที่ 4.2.6 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการวางขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.2.3 และรูปที่ 4.2.6 พบว่าการเพิ่มมุมการวางขารองรับโครงสร้างที่มี จุครองรับแบบยึดแน่นจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่ามุมในการวางขาไม่ค่า ไม่เกิน 10 องศาจากแนวตั้ง แต่เมื่อค่ามุมในการวางขามากกว่า 10 องศา การเพิ่มขึ้นของมุมในการ วางขาจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีค่าลดลง แต่สำหรับโครงสร้างที่มีจุครองรับแบบยึดหมุนการ เพิ่มมุมการวางขาโครงสร้างจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีแนวโน้มลดลง

4.2.4 ผลกระทบของความหนาของขารองรับฐานที่มีต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง

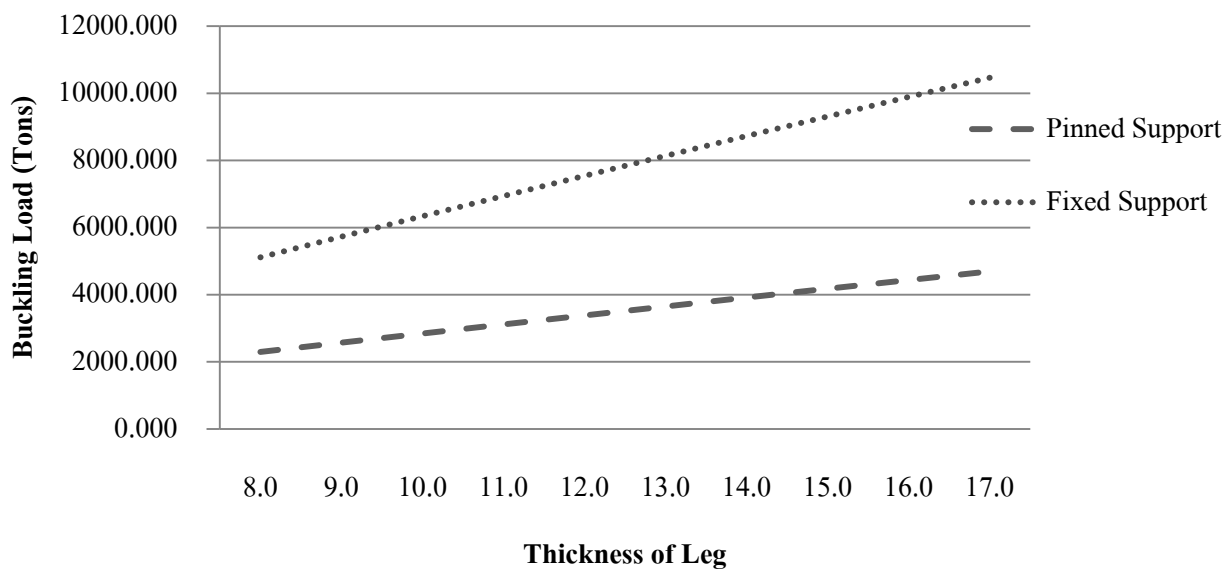
กำหนดให้ความสูงและมุมของขารองรับฐานมีค่าคงที่ ส่วนความหนาของขารองรับฐานมีการแปรผัน ในช่วง 8-17 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2.7 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2.4 และรูปที่ 4.2.8



รูปที่ 4.2.7 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความหนาของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรมสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.2.4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันความหนาของขา
รองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
		ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.652	8	17.912	9.177	2295.064	5112.105
	9			2570.976	5727.174
	10			2844.540	6337.308
	11			3115.739	6942.314
	12			3384.576	7542.189
	13			3651.068	8136.972
	14			3915.238	8726.711
	15			4177.085	9311.398
	16			4436.641	9891.105
	17			4693.895	10465.803

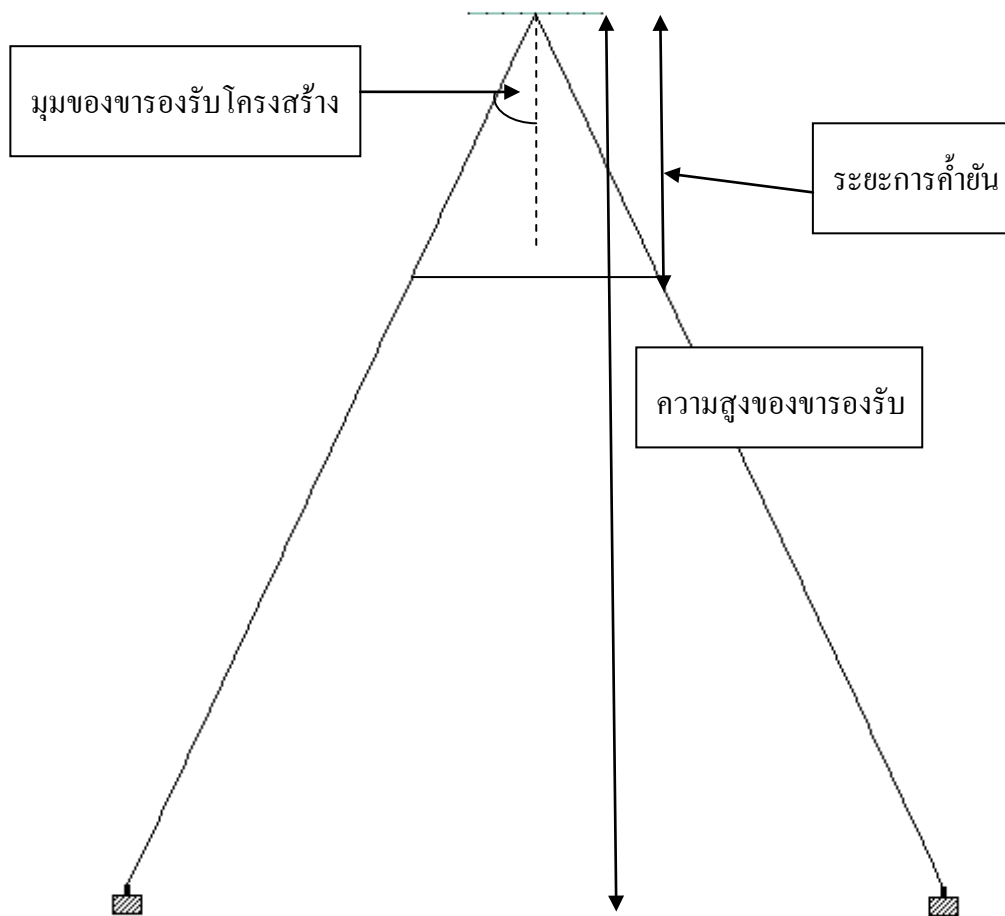


รูปที่ 4.2.8 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

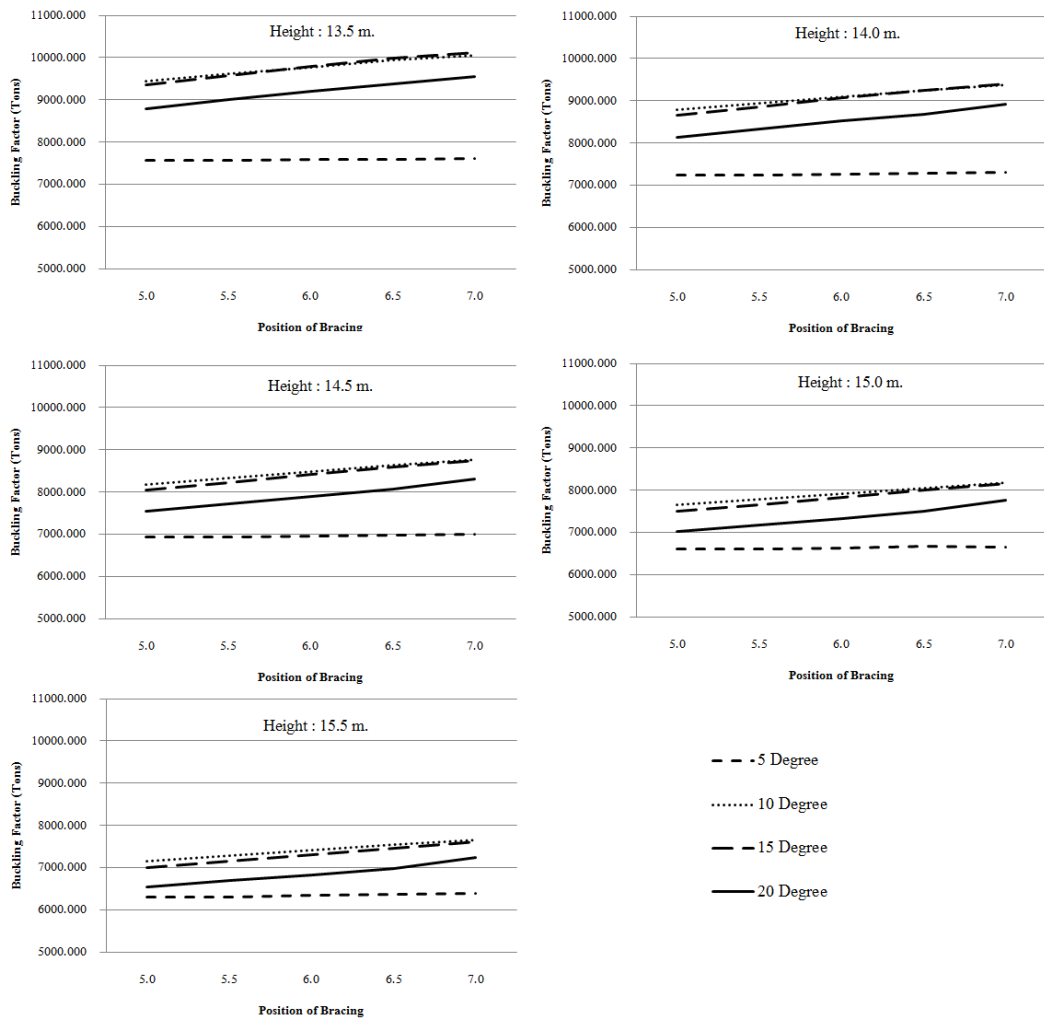
จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.2.4 และรูปที่ 4.2.8 พบว่า การเพิ่มความหนาของขารองรับโครงสร้าง ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกวิกฤติเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกทุกวิกฤติในโครงสร้างที่มีจตุรรองรับแบบยึดแน่นจะมีค่ามากกว่าโครงสร้างที่มีจตุรรองรับแบบยึดหมุน โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกวิกฤติต่อความหนาของขารองรับ โครงสร้างจะมีค่าเท่ากับ 266.537 สำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุน และ 594.855 สำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่น

4.2.5 ผลกระทบของตำแหน่งการค้ำยัน มุมการวางขาและความสูงใดๆที่มีต่อน้ำหนักบรรทุกทุกวิกฤติของโครงสร้าง

กำหนดให้ตำแหน่งการค้ำยันมีค่าแปรผันในช่วง 5 ถึง 7 เมตรจากตำแหน่งสูงสุดของโครงสร้าง มุมการวางขาของโครงสร้างแปรผันในช่วง 5 ถึง 20 องศา และความสูงของโครงสร้างมีค่าแปรผันในช่วง 13.5 ถึง 15.5 เมตร ดังรูปที่ 4.2.9 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.2.10 และรูปที่ 4.2.11



รูปที่ 4.2.9 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งค้ำยัน มุมและความสูงของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป



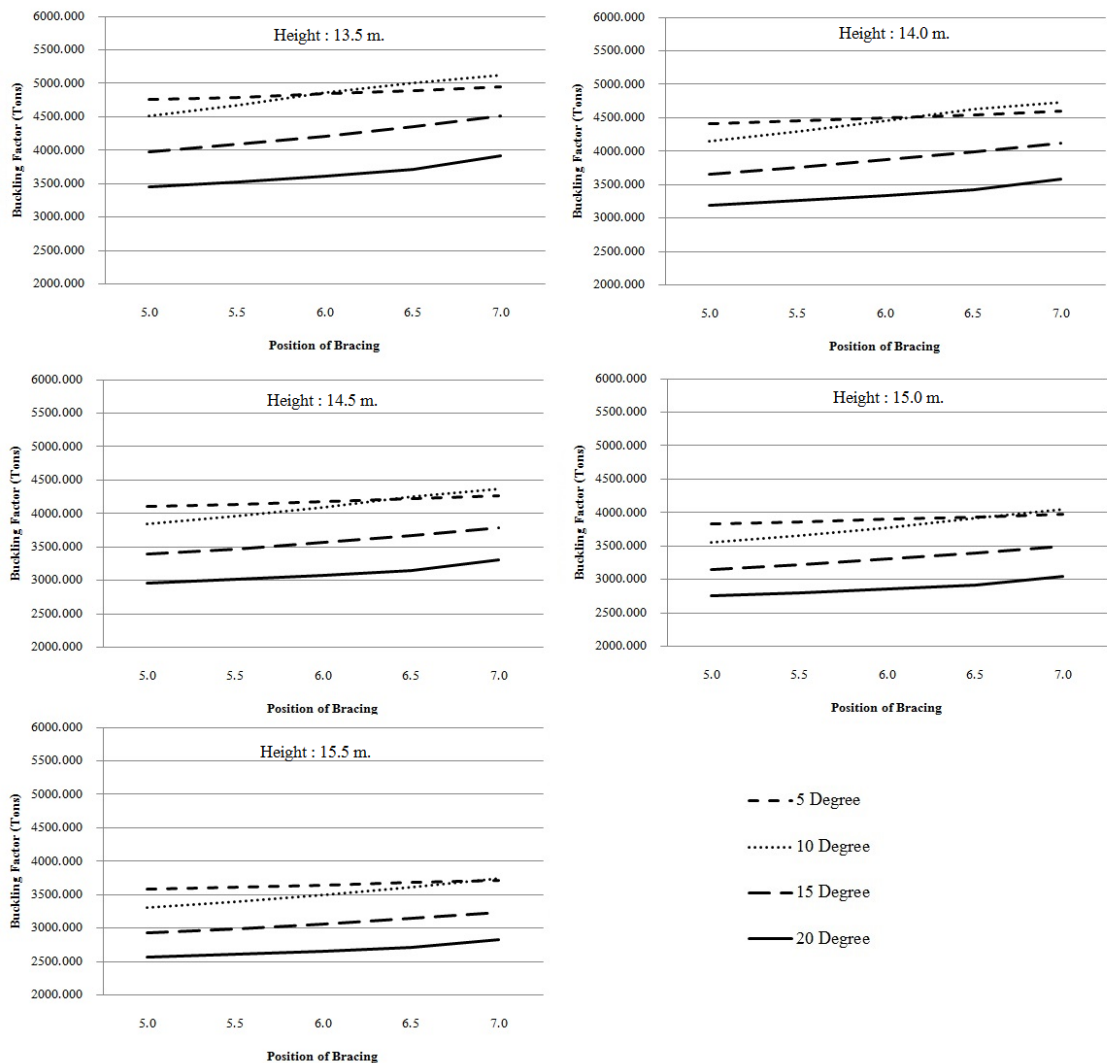
รูปที่ 4.2.10 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นที่มีผลต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

จากผลการศึกษาตามรูปที่ 4.2.10 มีข้อสังเกตดังนี้

1. มุมการวางขาที่ 5 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยัน โดยเป็นทิศทางเดียวกันในทุกๆความสูงของโครงสร้าง
2. มุมการวางขาที่ 10 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับในทุกๆมุมการวางขาของโครงสร้าง โดยเมื่อระยะค้ำยันเพิ่มขึ้นน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นในทุกความสูงของโครงสร้าง และมีค่าใกล้เคียงกับมุมการวางขาที่ 15 องศาจากแนวตั้ง

3. มุมการวางขาที่ 15 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นในทุกๆความสูงของโครงสร้างที่นำมาพิจารณา และมีค่าใกล้เคียงกับมุมการวางขาที่ 10 องศาจากแนวตั้ง แต่มีผลกระทบต่อค่าเปลี่ยนตำแหน่งค้ำยันมากกว่ามุม 10 องศา

4. มุมการวางขาที่ 20 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นในทุกๆความสูงของโครงสร้างที่นำมาพิจารณา แต่การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการค้ำยันจะมีผลมากที่สุดเมื่อเทียบกับมุม 5 , 10 และ 15 องศาจากแนวตั้ง



รูปที่ 4.2.11 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุนที่มีผลต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

จากผลการศึกษาตามรูปที่ 4.2.11 มีข้อสังเกตดังนี้

1. มุมการวางขาที่ 5 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยัน โดยเป็นทิศทางเดียวกันในทุกๆความสูงของโครงสร้าง และเป็นมุมที่ทำให้น้ำหนักวิกฤติมีค่ามากที่สุดในช่วงตำแหน่งการค้ำยันที่ 5 ถึง 6 เมตร
2. มุมการวางขาที่ 10 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยัน โดยเป็นทิศทางเดียวกันในทุกๆความสูงของโครงสร้าง และมีผลกระทบมากที่สุดจากการเปลี่ยนตำแหน่งค้ำยัน โดยเมื่อตำแหน่งค้ำยันที่ 6 ถึง 6.5 เมตร เป็นต้นไป น้ำหนักวิกฤติจะมากที่สุด
3. มุมการวางขาที่ 15 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยัน โดยเป็นทิศทางเดียวกันในทุกๆความสูงของโครงสร้างเหมือนกับมุมการวางขาที่ 10 องศา แต่น้ำหนักวิกฤติจะน้อยกว่า
4. มุมการวางขาที่ 20 องศาจากแนวตั้งน้ำหนักวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยัน โดยเป็นทิศทางเดียวกันในทุกๆความสูงของโครงสร้าง แต่ระยะการค้ำยันที่ 6.5 เมตร น้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นมาก โดยเป็นมุมที่ค้ำน้ำหนักวิกฤติน้อยที่สุด

4.3 ผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงของโครงสร้างตาม AISC ปี 1989 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างในลักษณะต่างๆ

4.3.1 ผลกระทบของตำแหน่งการค้ำยันที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงของโครงสร้าง

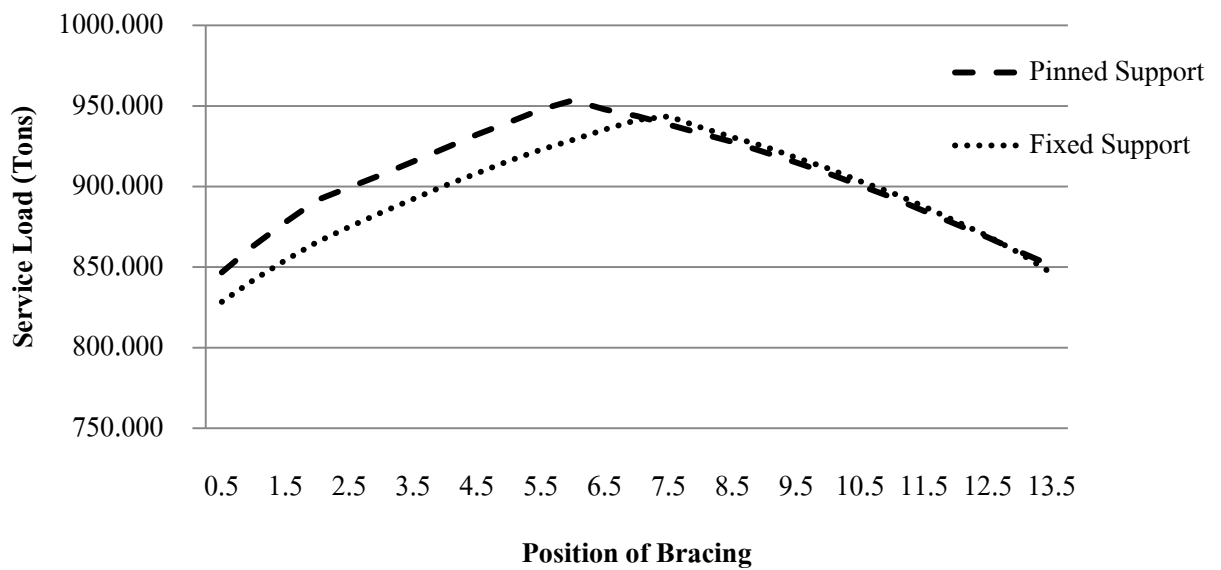
กำหนดให้ความสูงของโครงสร้าง มุมและความหนาของขามีค่าคงที่ ส่วนของตำแหน่งการค้ำยัน มีการแปรผันในช่วง 0.50-13.50 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของขารองรับโครงสร้าง ดังรูปที่ 4.2.1 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.3.1 และรูปที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ตำแหน่งค้ำยันจาก ตำแหน่งสูงสุด (m.)	ความสูงของ โครงสร้าง (m.)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			ขาน้ำ	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
0.50					846.679	828.443
1.00					863.284	841.993
1.50					877.954	854.319
2.00					891.707	865.628
2.50					899.552	875.000
3.00					907.294	883.863
3.50					915.546	892.319
4.00					923.900	900.672
4.50	14.652	12	17.912	9.177	932.355	908.313
5.00					939.894	915.954
5.50					947.840	922.881
6.00					953.545	928.993
6.50					947.840	935.412
7.00					943.765	941.320
7.50					938.366	943.562
8.00					932.967	936.736

ตารางที่ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น(ต่อ)

ตำแหน่งค้ำยันจากตำแหน่งสูงสุด (m.)	ความสูงของโครงสร้าง (m.)	ความหนาของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			ขาน้ำ	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
8.50	14.652	12	17.912	9.177	927.669	930.522
9.00					921.353	924.919
9.50					914.833	917.787
10.00					908.109	911.165
10.50					900.672	903.219
11.00					893.236	896.088
11.50					884.780	887.531
12.00					876.630	878.362
12.50					868.378	869.193
13.00					859.413	858.496
13.50					850.754	846.068



รูปที่ 4.3.1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.3.1 และรูปที่ 4.3.1 พบว่า ตำแหน่งของค้ำยันที่ทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุก ออกแบบมากที่สุดคือ 5.5 เมตร จากขอบบนสุดของขาสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุนและ 7.5 เมตร สำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่น สำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุนการเพิ่มระยะค้ำยันในช่วง 0.5 ถึง 5.5 เมตรค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบจะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อถึงช่วง 5.5 ถึง 13.5 เมตร การเพิ่มระยะการค้ำยันจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบลดลงและสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นการเพิ่มระยะค้ำยันในช่วง 0.5 ถึง 7.5 เมตร ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบจะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อถึงช่วง 7.5 ถึง 13.5 เมตร การเพิ่มระยะการค้ำยันจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบลดลง

4.3.2 ผลกระทบของความสูงโครงสร้างที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง

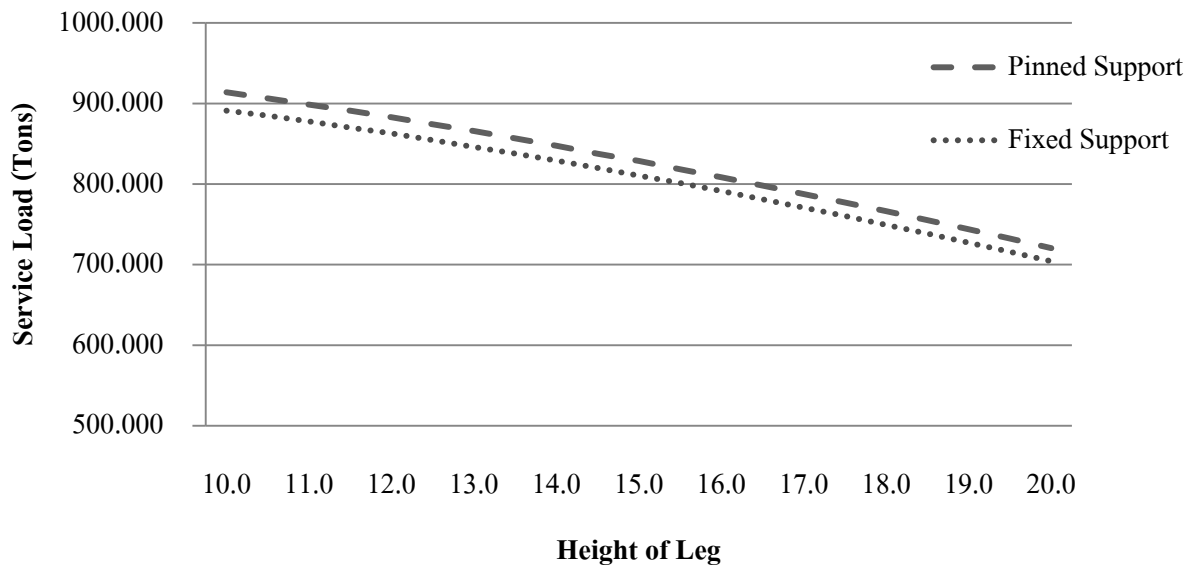
กำหนดให้มุมและความหนาของขารองรับฐานมีค่าคงที่ ส่วนของความสูงโครงสร้าง มีการแปรผัน ในช่วง 10 - 20 เมตร ดังรูปที่ 4.2.3 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.3.2 และรูปที่ 4.3.2

ตารางที่ 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันความสูงของโครงสร้างของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
		ขาน้ำ	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
10.00	12	17.912	9.177	914.018	891.096
10.50				906.479	884.984
11.00				898.635	877.852
11.50				891.096	870.110
12.00				883.048	862.979
12.50				874.185	854.625
13.00				865.831	846.068
13.50				856.764	837.918
14.00				847.596	829.055
14.50				837.714	819.886
15.00				828.647	810.513
15.50				818.358	801.243
16.00				808.476	791.259

ตารางที่ 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันความสูงของโครงสร้างของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น(ต่อ)

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
		ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
16.50	12	17.912	9.177	798.187	781.072
17.00				787.490	770.681
17.50				776.997	760.289
18.00				766.402	749.287
18.50				755.094	738.488
19.00				743.888	727.078
19.50				732.376	715.872
20.00				720.456	704.055



รูปที่ 4.3.2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ

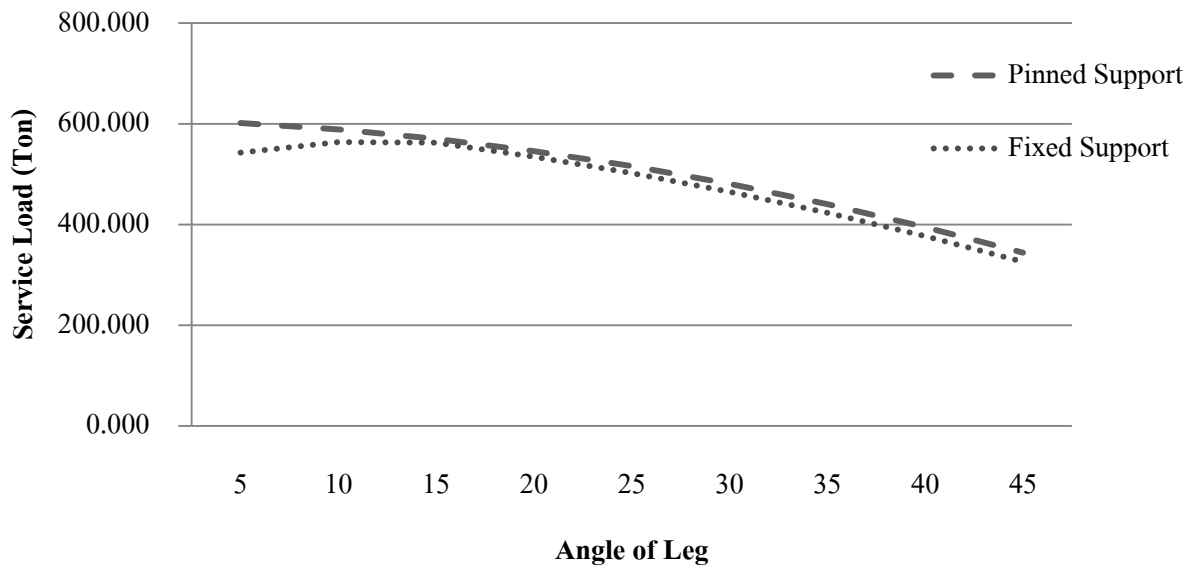
ตารางที่ 4.3.2 และรูปที่ 4.3.2 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความสูงของโครงสร้างจะทำให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างมีค่าลดลง และถ้าสังเกตจากกราฟแล้ว ความสูงของโครงสร้างจะมีผลต่อฐานรองรับแบบยึดหมุนมากกว่าแบบยึดยึดอยู่เล็กน้อยโดยจากความสูงเริ่มต้นที่ 10 เมตร กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างในฐานรองรับแบบยึดหมุนจะมีค่ามากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่นอยู่ที่ 22.922 ตัน แต่ความสูงสุดท้ายที่ศึกษา (20 เมตร) กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างในฐานรองรับแบบยึดหมุนมีค่ามากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่นเพียง 16.401 ตัน เท่านั้น

4.3.3 ผลกระทบของมุมของการวางขารองรับฐานที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง

กำหนดให้ความสูงของโครงสร้างและความหนาของขารองรับโครงสร้างมีค่าคงที่ ส่วนของมุมของขารองรับฐานมีการแปรผันในช่วง 5-45 องศา ดังรูปที่ 4.2.5 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.3.3 และรูปที่ 4.3.3

ตารางที่ 4.3.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันมุมของการวางขารองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
		ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.652	12	5	5	601.569	542.889
		10	10	588.835	563.875
		15	15	570.192	562.653
		20	20	545.742	534.434
		25	25	516.096	502.037
		30	30	480.848	464.853
		35	35	440.403	423.390
		40	40	394.764	376.834
		45	45	344.132	326.100



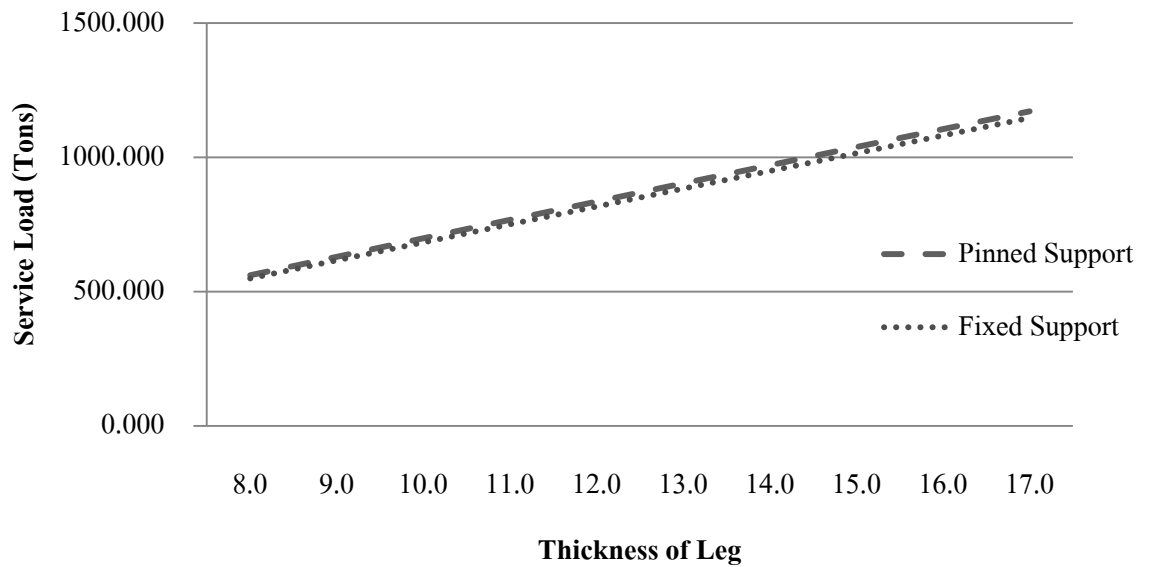
รูปที่ 4.3.3 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการวางขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.3.3 และรูปที่ 4.3.3 แสดงให้เห็นว่ามุมการวางขาที่ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างที่ดีที่สุดในฐานรองรับแบบยึดแน่นคือ 10 องศาเมื่อวัดจากแนวดิ่ง และ 5 องศาสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุน สำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นเมื่อเพิ่มมุมการวางขาเกินกว่า 10 องศา ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบลดลงและช่วงมุมที่ 15 ถึง 45 องศา ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยต่างกันเฉลี่ยเพียง 14.553 ตัน เท่านั้น

4.3.4 ผลกระทบของความหนาของขารองรับฐานที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง
กำหนดให้ความสูงและมุมของขารองรับฐานมีค่าคงที่ ส่วนความหนาของขารองรับฐานมีการแปรผัน
ในช่วง 8-17 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2.7 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.3.4 และรูปที่ 4.3.4

ตารางที่ 4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบ เมื่อแปรผันความ
หนาของขารองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	ความหนา ของขารองรับ (mm.)	มุมการวางขา (Degree)		แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
		ขาหน้า	ขาหลัง	แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.652	8	17.912	9.177	560.921	548.900
	9			629.890	616.443
	10			698.553	683.476
	11			767.319	750.407
	12			835.065	817.135
	13			903.015	883.456
	14			970.660	949.165
	15			1038.305	1015.281
	16			1105.440	1081.398
	17			1171.760	1146.801

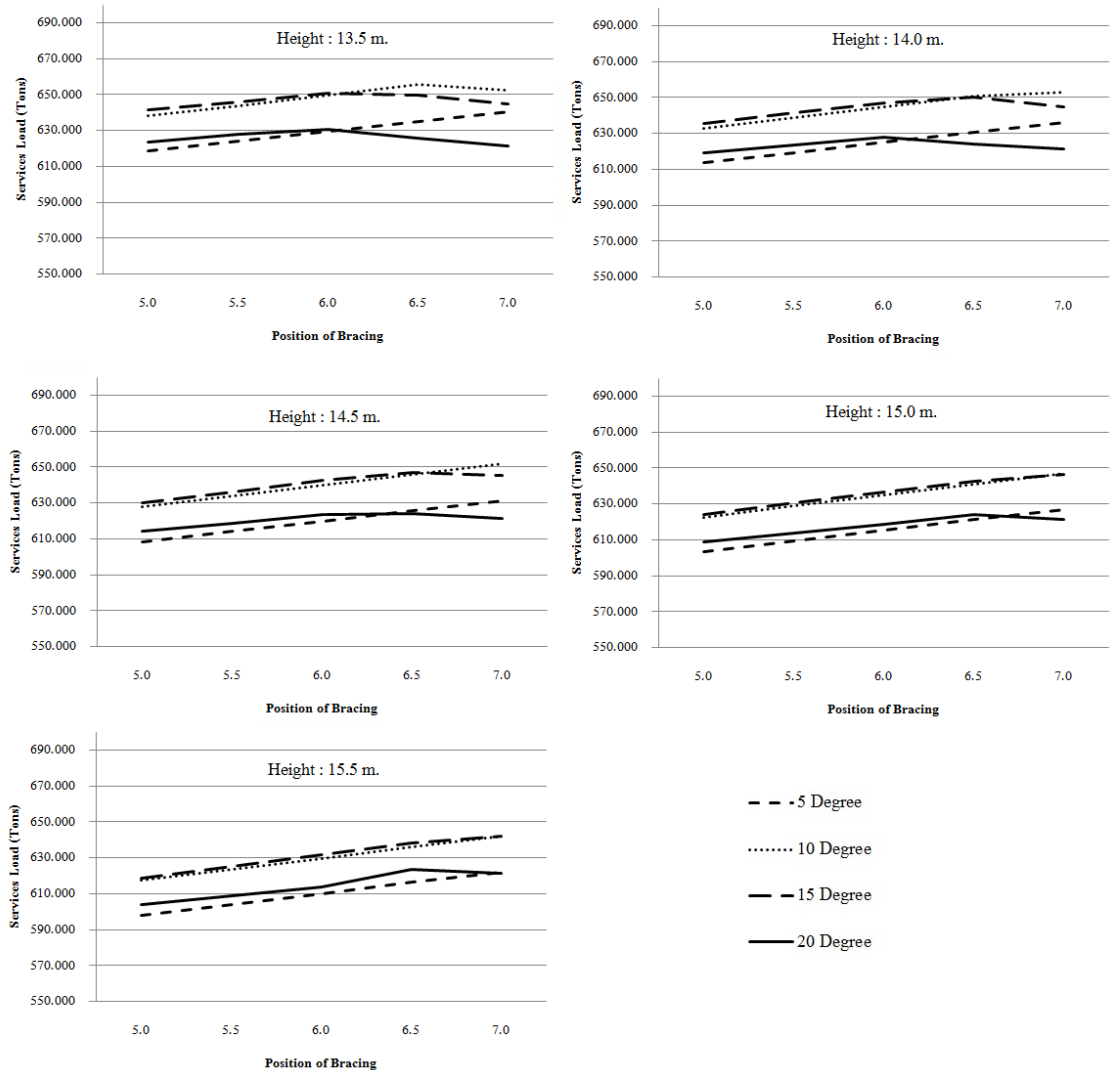


รูปที่ 4.3.4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.3.4 และรูปที่ 4.3.4 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงความหนาของขารองรับ โครงสร้างทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างเพิ่มขึ้นแบบคงที่ โดยฐานรองรับแบบยึดหมุนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนามากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่นอยู่เล็กน้อย เนื่องจากความชันของเส้นในกราฟของฐานรองรับแบบยึดหมุนมีค่าอยู่ที่ 67.87 แต่ฐานรองรับแบบยึดแน่นมีค่าอยู่ที่ 66.43

4.3.5 ผลกระทบของตำแหน่งการค้ำยัน มุมการวางขาและความสูงใดๆที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง

กำหนดให้ตำแหน่งการค้ำยันมีค่าแปรผันในช่วง 5 ถึง 7 เมตรจากตำแหน่งสูงสุดของโครงสร้าง มุมการวางขาของโครงสร้างแปรผันในช่วง 5 ถึง 20 องศา และความสูงของโครงสร้างมีค่าแปรผันในช่วง 13.5 ถึง 15.5 เมตร ดังรูปที่ 4.2.9 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.3.5 และรูปที่ 4.3.6

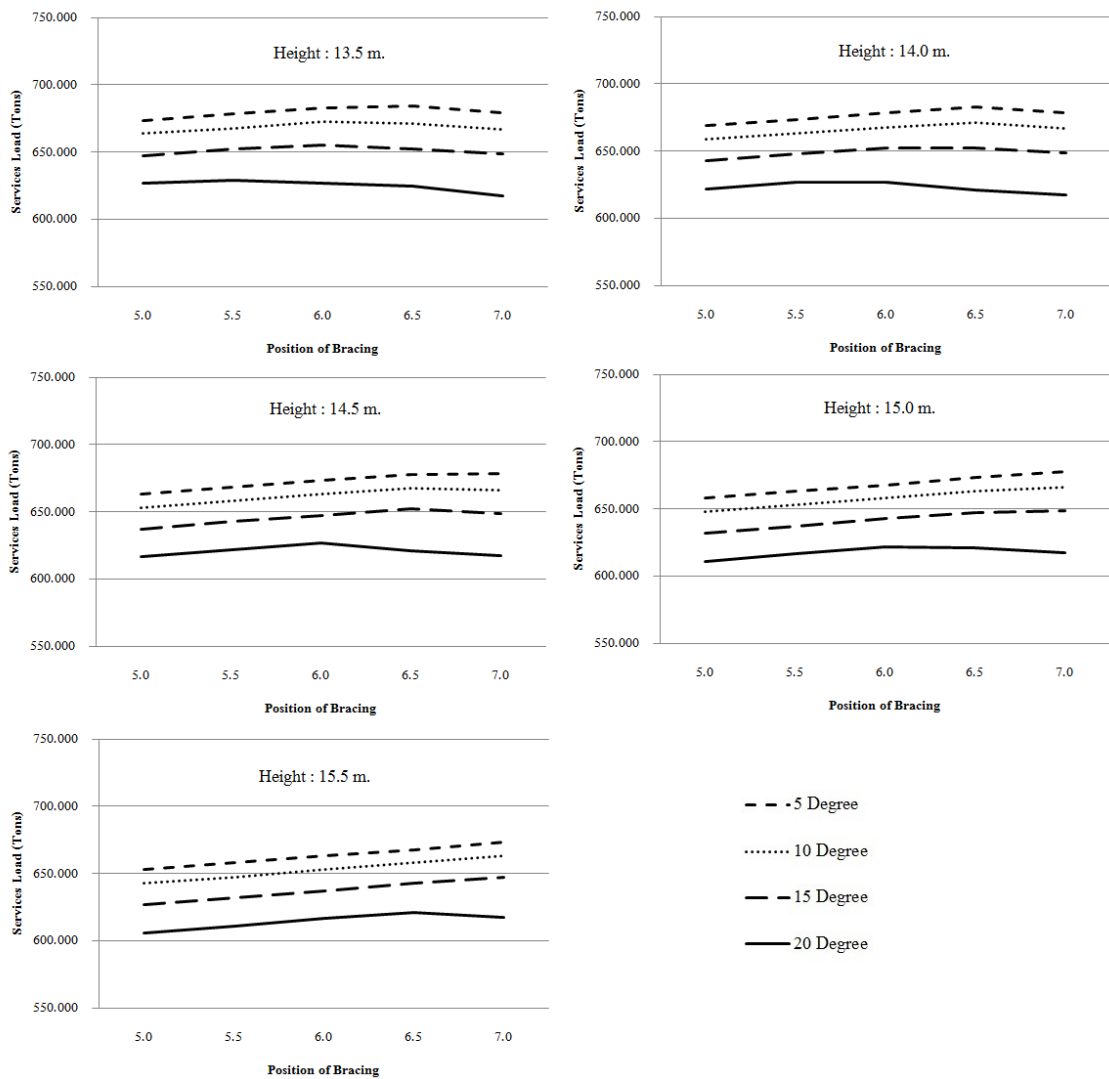


รูปที่ 4.3.5 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง

จากผลการศึกษาตามรูปที่ 4.3.5 มีข้อสังเกตดังนี้

1. มุมการวางขาที่ 5 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นมากเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยันโดยเป็นทิศทางเดียวกันในทุกๆความสูงของโครงสร้าง

2. มุมการวางขาที่ 10 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับมุม 5 องศา แต่จะมีค่ามากกว่าในทุกๆความสูงของโครงสร้าง โดยกำลังรับแรงของโครงสร้างจะมีค่าใกล้เคียงกับมุม 15 องศาในความสูงที่ 15 ถึง 15.5 เมตร และตำแหน่งค้ำยันที่ดีที่สุดสำหรับความสูงโครงสร้างที่ 13.5 เมตร คือ ระยะค้ำยันที่ 6.5 เมตร
3. มุมการวางขาที่ 15 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสำหรับความสูงของโครงสร้างช่วง 14.5 ถึง 15.5 เมตร แต่ช่วงความสูงที่ 13.5 ถึง 14 เมตร เมื่อระยะค้ำยันมากกว่า 6.5 เมตร กำลังรับแรงของโครงสร้างจะมีค่าลดลง
4. มุมการวางขาที่ 20 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นในช่วงระยะค้ำยันที่ 5 ถึง 6 เมตร และลดลงในช่วงค้ำยันที่ 6 ถึง 7 เมตรในความสูงของโครงสร้างที่ 13.5 และ 14 เมตร แต่ความสูงที่ 14.5 ถึง 15.5 เมตร กำลังรับแรงเพิ่มขึ้นในช่วงการค้ำยันที่ 5.5 ถึง 6.5 เมตร และลดลงในช่วงค้ำยันที่ 6.5 ถึง 7 เมตร



รูปที่ 4.3.6 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุนที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง

จากผลการศึกษาตามรูปที่ 4.3.6 มีข้อสังเกตดังนี้

1. มุมการวางขาที่ 5 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยัน โดยเป็นทิศทางเดียวกันในทุกๆความสูงของโครงสร้างแต่ความสูงของโครงสร้างที่ 13.5 และ 14 เมตร ถ้าระยะค้ำยันที่มากกว่า 6.5 เมตร ค่ากำลังรับแรงของโครงสร้างจะลดลง โดยมุมที่ 5 องศาเป็นมุมที่ค่ากำลังรับแรงมากที่สุด
2. มุมการวางขาที่ 10 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยันในทุกๆความสูงของโครงสร้าง

3. มุมการวางขาที่ 15 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างก่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มระยะค้ำยันใน ความสูงของโครงสร้างที่ 13.5 ถึง 14.5 เมตร แต่ช่วงความสูงที่ 15 เมตรขึ้นไปกำลังรับแรงของโครงสร้างจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะการค้ำยัน
4. มุมการวางขาที่ 20 องศาจากแนวตั้งกำลังรับแรงของโครงสร้างมีแนวโน้มคงที่เช่นเดียวกับมุมที่ 15 องศา แต่ความสูงที่ 15.5 เมตรกำลังรับแรงของโครงสร้างจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะค้ำยัน และมุมที่ 20 องศา ให้ค่ากำลังรับแรงของโครงสร้างน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมุมอื่นๆ