



น้ำหนักวิกฤติและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของฐานรองรับโครงสร้างรับท่อ
ต่งปีโตรเลียมในทะเล

นายธงไชย จันทสุวรรณ

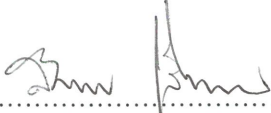
การศึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2557

นำนักวิฤติและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของฐานรองรับโครงสร้างรับท่อ
ส่งปิโตรเลียมในทะเล

นายธงไชย จันทสุวรรณ วศ.บ.(วิศวกรรมโยธา)

การศึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง


..... ประธานกรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง
(ศ. ดร.สมชาย ชูชีพสกุล)


..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง
(ผศ. ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล)


..... กรรมการโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง
(ดร.บุญมี ชินนานบุญ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง	น้ำหนักวิกฤติและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของ ฐานรองรับโครงสร้างรับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเล
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายธงไชย จันทสุวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้ศึกษาแรงวิกฤติและกำลังรับแรงของโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม นอกชายฝั่ง ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ STAAD.Pro การวิจัยนี้จะพิจารณาฐานรองรับโครงสร้าง 2 ประเภทด้วยกันคือ ฐานรองรับแบบยึดหมุนและฐานรองรับแบบยึดแน่น โดยศึกษาผลกระทบของ รูปแบบโครงสร้างต่างๆ ได้แก่ ตำแหน่งการค้ำยัน ความสูงและมุมการวางขาของโครงสร้าง จาก การศึกษาพบว่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของ โครงสร้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของค้ำยันลดลง แต่เมื่อถึงตำแหน่งที่มีค้ำยันน้ำหนักบรรทุกวิกฤติและ ค้ำยันน้ำหนักบรรทุกออกแบบมากที่สุดแล้ว การลดระดับของค้ำยันจะทำให้ค้ำยันน้ำหนักบรรทุกวิกฤติและ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างมีค่าลดลง สำหรับมุมการวางขาของ โครงสร้างที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 10 องศาจากแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งค้ำยัน ค้ำยันน้ำหนักบรรทุก วิกฤติและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างจะลดลงเมื่อความสูงของ โครงสร้างเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม ค้ำยันน้ำหนักบรรทุกวิกฤติและความสามารถในการรับน้ำหนัก บรรทุกออกแบบของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของขารองรับโครงสร้างเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: กำลังออกแบบ / ความสามารถของโครงสร้าง/ ฐานรองรับโครงสร้างที่รับท่อส่งปิโตรเลียม
นอกชายฝั่ง / แรงวิกฤติ

Special Research Study Title	Critical Load and Design Load Capacity of Jetty Bridge Sub-Structures
Special Research Study Credits	6
Candidate	Mr. Thongchai Jantasuan
Special Research Study Advisor	Asst. Prof. Dr. Chainarong Athisakul
Program	Master of Engineering
Field of Study	Civil Engineering Technology
Department	Civil Engineering
Faculty	Engineering
Academic Year	2014

Abstract

This special research study is aimed to present the critical load and load capacity of jetty bridge sub-structures. The finite element commercial software (STAAD.Pro) is used as a tool for determining the critical load and design load capacity of the jetty bridge sub-structures. Two cases of support conditions are considered: pin support and fixed support. The effects of bracing position, height of structure, and incline angle of support legs on the critical loads and design load capacity of the structures are presented. The results show that the decrease in level of bracing position tends to increase the critical load and design load capacity of jetty bridge sub-structures until it reaches to the peak value. After that, the decrease in level of bracing position decreases the critical load and design load capacity of the structures. The better incline angles of support legs are in a range of 5-10 degree depending on the bracing position. The increase in height of the structure decreases the critical load and design load capacity of the structure. On the contrary, the increase in the thickness of the structure increases the critical load and design load capacity of the structure.

Keywords: Capacities of Structure / Critical load / Design Strength / Jetty Bridge Sub-Structures

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. ชัยณรงค์ อธิสกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องที่ทำให้แนวคิดและให้คำปรึกษาตลอดช่วงการทำวิจัย อีกทั้งยังได้ตรวจสอบและแก้ไขโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยความกรุณา

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.สมชาย ชูชีพสกุล อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประธานคณะกรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง และดร.บุญมี ชินนาบุญ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้สุดทายเป็นขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและมีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ประโยชน์อันใดที่ได้จากงานวิจัยเล่มนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฎ
รายการสัญลักษณ์	ฏ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ณ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับโครงสร้างนอกฝั่งทะเล	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย	6
2. การวิเคราะห์โครงสร้าง	7
2.1 โครงสร้างในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี	7
2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติ	11
2.3 การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบตามมาตรฐาน AISC ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน	14
3. ระเบียบวิธีวิจัย	19
3.1 การจำลองรูปแบบโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมนอกชายฝั่ง	19
3.2 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป	21
3.3 วิธีการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่าน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของโครงสร้าง	21

4. ผลการศึกษา	25
4.1 การตรวจสอบผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป	25
4.2 ผลกระทบต่อน้ำหนักวิกฤติของ โครงสร้างภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบ โครงสร้างในลักษณะต่างๆ	30
4.3 ผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงของ โครงสร้างตาม AISC ปี 1989 ภายใต้การ เปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างในลักษณะต่างๆ	44
5. สรุปผลการศึกษา	56
5.1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ โครงสร้างที่มีต่อค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง	56
5.2 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ โครงสร้างที่มีต่อค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบ ของโครงสร้างตามข้อกำหนด AISC ปี 1989	57
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	60
ก ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักวิกฤติในรูปแบบ โครงสร้างต่างๆ ทั้งฐานรองรับ แบบยึดแน่นและฐานรองรับแบบยึดหมุน	60
ข ตารางแสดงผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงในรูปแบบ โครงสร้างต่างๆ ทั้งฐานรองรับ แบบยึดแน่นและฐานรองรับแบบยึดหมุน	71
ค ตัวอย่างไฟล์การนำเข้าข้อมูลไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรม STAAD.PRO และผลจาก การวิเคราะห์	82
ง แบบโครงสร้างเก่า บริเวณ อ่าวไทย จังหวัดระยองที่นำมาวิเคราะห์	101
ประวัติผู้วิจัย	104

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
4.1.1	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของ โครงสร้างจากทฤษฎีการวิเคราะห์แบบเสาเดี่ยว และจากโปรแกรมสำเร็จรูป	27
4.1.2	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของ โครงสร้างจากทฤษฎีการวิเคราะห์แบบ โครงข้อ แข็งและจาก โปรแกรมสำเร็จรูป	29
4.2.1	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน ของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	31
4.2.2	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง เมื่อแปรผันความสูงของ โครงสร้างของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	34
4.2.3	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง เมื่อแปรผันมุมของการวางขา รองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	37
4.2.4	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง เมื่อแปรผันความหนาของขา รองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	39
4.3.1	ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผัน ตำแหน่งการค้ำยันของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	44
4.3.2	ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันความ สูงของ โครงสร้างของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	46
4.3.3	ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันมุม ของการวางขารองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	48
4.3.4	ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ เมื่อแปรผันความ หนาของขารองรับฐานของรูปแบบฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่น	50
ก.1	ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำ ยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของ โครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุมการวางขา โครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวตั้ง	61
ก.2	ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำ ยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของ โครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุมการวางขา โครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวตั้ง	61

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
1.1	ตัวอย่าง โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge) ที่อ่าวไทย จังหวัดระยอง	2
1.2	รูปด้านของ โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge) ที่อ่าวไทย จังหวัดระยอง	2
1.3	ภาพถ่ายของ โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge)	3
1.4	ภาพถ่ายของ โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge)	3
1.5	ภาพถ่ายของ โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge)	4
2.1	โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่ง (Jetty Bridge)	7
2.2	โครงสร้างที่รองรับของ โครงสร้างด้านบน (Jetty Bridge Sub-Structures)	8
2.3	โครงสร้างรองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีบนชายฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge)	9
2.4	ตัวอย่างแบบ โครงสร้างรองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีบนชายฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge)	9
2.5	โครงสร้างรองรับภาชนะความดัน (Pressure Vessel Foundation)	10
2.6	โครงสร้างรองรับภาชนะบรรจุสารเคมี (Chemical Tank Foundation)	10
2.7	โครงสร้างรองรับอุปกรณ์การแยกสาร (Process Structures)	11
2.8	ค่า K ในรูปแบบฐานรองรับต่างๆ	12
2.9	การโค้งเดาะของ โครงข้อแข็งที่ไม่มีการเซด้านข้าง	12
2.10	การโค้งเดาะของ โครงข้อแข็งที่มีการเซด้านข้าง	13
3.1	รูปแบบการจำลอง โครงสร้างที่มีการค้ำยัน	19
3.2	รูปแบบการจำลอง โครงสร้างที่ไม่มีค้ำยัน	20
3.3	ตำแหน่งการค้ำยันของ โครงสร้างที่จำลองใน โปรแกรม STAAD.Pro	21
3.4	ตำแหน่งการค้ำยันของ โครงสร้างที่จำลองใน โปรแกรม STAAD.Pro (แบบ 3 มิติ)	22
3.5	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความสูงของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรม STAAD.Pro	22
3.6	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนมุมของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรม STAAD.Pro	23
3.7	รูปแสดงแกนในการเปลี่ยนมุมของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรม STAAD.Pro	23
3.8	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความหนาของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรม STAAD.Pro	24
4.1.1	รูปแบบ โครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบกับ โปรแกรมสำเร็จรูป	25
4.1.2	การจำลอง โครงสร้างใน โปรแกรมสำเร็จรูป	26
4.1.3	รูปแบบ โครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบกับ โปรแกรมสำเร็จรูป	27

รูป		หน้า
4.1.4	การจำลองโครงสร้างใน โปรแกรมสำเร็จรูป	28
4.2.1	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งการค้ำยันในโปรแกรมสำเร็จรูป	30
4.2.2	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ	32
4.2.3	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความสูงของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป	33
4.2.4	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ	35
4.2.5	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนมุมของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป	36
4.2.6	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการวางขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ	37
4.2.7	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความหนาของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป	38
4.2.8	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ	39
4.2.9	รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งค้ำยัน มุมและความสูงของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรมสำเร็จรูป	40
4.2.10	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นที่มีผลต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ	41
4.2.11	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุนที่มีผลต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ	42
4.3.1	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ	45
4.3.2	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ	47
4.3.3	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการวางขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ	49
4.3.4	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ	51
4.3.5	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง	52
4.3.6	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุนที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง	54
ง.1	รูปตัดด้านหน้าของโครงสร้าง	102
ง.2	รูปตัดด้านข้างของโครงสร้าง	103
ง.3	รูปด้านบนของโครงสร้าง	103

รายการสัญลักษณ์

P_{cr}	=	น้ำหนักวิกฤติ (Critical Load)
E	=	ความแข็งเกร็งของวัสดุ (Elastic Modulus)
I	=	Section Modulus
L	=	ความยาวของโครงสร้าง
L_e	=	ความยาวประสิทธิผล
K	=	ค่าคงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะจุดยึดที่ปลาย
F_t	=	แรงดึงที่สามารถรับได้ (Allowable Tensile Stress)
F_y	=	หน่วยแรงคราก (Yield Stress)
F_v	=	หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (Allowable Shear Stress)
F_a	=	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (Allowable Compressive Stress)
r	=	รัศมีไจเรชั่น (Radius of Gyration)
F_b	=	หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (Allowable Bending Stress)
b_f	=	ความกว้างของปีกในหน้าตัด I และ H (Flange width of rolled beam)
t_f	=	ความหนาของปีกในหน้าตัด I และ H (Web thickness)
t	=	ความหนาของท่อในหน้าตัดกลม (Wall thickness)
d	=	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อในหน้าตัดกลม (Nominal diameter)
f_a	=	แรงดัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน (Computed bending stress)
l	=	ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันที่เหล็กปีกคานรับแรงอัด (Actual unbraced length of member)
r_t	=	รัศมีไจเรชั่นรอบแกนในระนาบของเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของหน้าตัดที่ประกอบด้วยเนื้อที่ของเหล็กปีกคานรับแรงอัด และหนึ่งในสามของเนื้อที่ของเหล็กแผ่นตั้งที่รับแรงอัด
A_f	=	เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปีกคานรับแรงอัด (Area of compression flange)
C_b	=	สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ดัด (Bending coefficient dependent upon Moment gradient)
l_b	=	ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันรับแรงดัด (The actual unbraced length in the plane of bending)
r_b	=	รัศมีไจเรชั่นรอบแกนในระนาบที่รับแรงดัด (Radius of gyration about Axis of concurrent bending)

C_m = สัมประสิทธิ์สำหรับส่วนของโครงสร้างในโครงเฟรมที่ไม่เซ

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Actual unbraced length of member	=	ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันที่เหล็กปีกคานรับแรงอัด
AFTA	=	ข้อตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน
AISC	=	มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กของประเทศสหรัฐอเมริกา
Area of compression flange	=	เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปีกคานรับแรงอัด
Allowable Bending Stress	=	หน่วยแรงดัดที่ยอมให้
Allowable Compressive Stress	=	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้
Allowable Stress Design	=	อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้
Allowable Shear Stress	=	หน่วยแรงคั้นเฉือนที่ยอมให้
Allowable Tensile Stress	=	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้
Braced monopod	=	โครงสร้างเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน
Bracing	=	การค้ำยัน
Buckling	=	การโก่งเดาะ
Buckling of frames	=	การโก่งเดาะของโครงข้อแข็ง
Chemical Tank	=	ภาชนะบรรจุสารเคมี
Compression Member	=	แรงอัดในชิ้นส่วน
Computed bending stress	=	แรงดัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน
Critical Load	=	น้ำหนักวิกฤติ
Density of concrete	=	ความหนาแน่นของคอนกรีต
Density of steel	=	ความหนาแน่นของเหล็ก
Design Parameters	=	ข้อกำหนดในการออกแบบ
Fixed support	=	ฐานรองรับแบบยึดแน่น
Flange width of rolled beam	=	ความกว้างของปีกในหน้าตัด I และ H
Flexural Member	=	แรงดัดในชิ้นส่วน
Jetty Bridge	=	โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเล
Jetty Platform	=	ท่าเรือที่อยู่ในทะเล
Modulus of elasticity	=	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น
Nominal diameter	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อในหน้าตัดกลม

NPC	=	บริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติจำกัด (มหาชน)
Operating Platform	=	พื้นที่การผลิตหรือขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ
Pinned support	=	ฐานรองรับแบบยึดหมุน
Pipe Bridge / Pipe Rack	=	โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม
Pressure Vessel	=	ภาชนะความดัน
Process Structures	=	โครงสร้างรองรับอุปกรณ์การแยกสารเคมี
Quasi-static in-placed analysis	=	การวิเคราะห์โดยใช้วิธีกึ่งสถิตศาสตร์
Radius of Gyration	=	รัศมีไจเรชั่น
Shear Member	=	แรงเฉือนในชิ้นส่วน
Suction piles	=	ฐานรากแบบเข็มดูด
Tank/Equipment Foundation	=	โครงสร้างรองรับถังเก็บสารเคมีหรืออุปกรณ์ เครื่องจักร
Tension Member	=	แรงดึงในชิ้นส่วน
Tetra-pod	=	โครงสร้างนอกชายฝั่งแบบสี่ขา
Trend line	=	เส้นแนวโน้ม
Tripod	=	โครงสร้างนอกชายฝั่งแบบสามขา
Unity Ratio	=	อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อ หน่วยแรงที่ยอมให้
Wall thickness	=	ความหนาของท่อในหน้าตัดกลม
Web thickness	=	ความหนาของปีกในหน้าตัด I และ H
WTO	=	ข้อตกลงเขตการค้าเสรีโลก
Yield Stress	=	หน่วยแรงคราก

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ความต้องการพลังงานของมนุษย์มีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็น ภาคขนส่งและภาคครัวเรือน และซึ่งปัจจุบันปิโตรเลียมอันได้แก่ น้ำมันดิบ หรือ ก๊าซธรรมชาติ จัดเป็นพลังงานหลักที่มนุษย์นำมาใช้ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ วิศวกร รวมไปถึงนักวิจัยด้านปิโตรเลียมให้ความสำคัญ ในด้านวิธีการหาแหล่งปิโตรเลียมใหม่ หรือ การออกแบบแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเล ซึ่งจะต้องคำนึงถึงวิธี ที่จะนำวัตถุดิบขึ้นมาบนฝั่งเพื่อ ไปที่อุตสาหกรรมปลายทาง เช่น โรงกลั่น โรงงานปิโตรเคมี ด้วยเช่นกัน

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทย เริ่มพัฒนาขึ้นในช่วงปี 2532 หลังจากที่มีการค้นพบก๊าซธรรมชาติในบริเวณอ่าวไทย และได้มีการก่อตั้ง โรงงานแยกก๊าซธรรมชาติขึ้นทำให้เกิดโครงการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีระยะที่ 1 (National Petrochemical Complex 1: NPC 1) ต่อมาในปี 2535 ประเทศไทยได้บรรลุข้อตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน (ASEAN Free Trade Area: AFTA) และต่อมาในปี 2537 รัฐบาลได้มีนโยบายที่จะเปิดเสรีอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเกือบทุกประเภท ยกเว้นผลิตภัณฑ์อะโรเมติกที่จะเปิดเสรีในปี 2542 ตามข้อตกลงต่อองค์การการค้าโลก (WTO) ซึ่งการเปิดเสรีครั้งนี้ทำให้ภาคเอกชนทั้งจากในและต่างประเทศทำการขยายการลงทุนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทย ทำให้รูปแบบการดำเนินงานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเปลี่ยนแปลงจากบริษัทรายย่อยมาเป็นกลุ่มโรงงานปิโตรเคมีครบวงจรที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด [9]

ซึ่งหากจะกล่าวถึงโครงสร้างที่ใช้สำหรับงานปิโตรเคมีเพื่อลำเลียงวัตถุดิบที่ได้มาจากทะเลไม่ว่าจะเป็น ก๊าซธรรมชาติ หรือ น้ำมันดิบ รวมไปถึงน้ำมันดิบเหลวจากเรือขนส่ง ที่จะนำมายังโรงกลั่นหรือโรงงานปิโตรเคมี จะประกอบไปด้วย 3 โครงสร้างหลัก ดังนี้

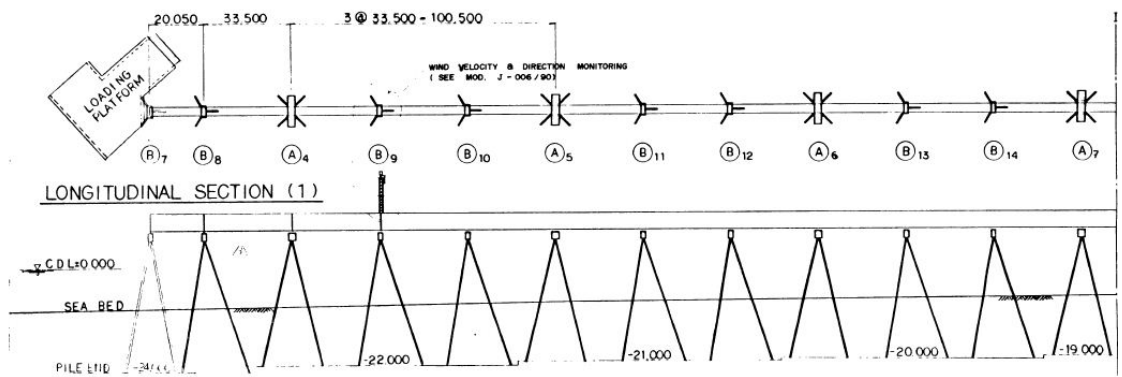
1. ท่าเรือที่อยู่ในทะเล (Jetty Platform) ซึ่งจะคล้ายกับ พื้นที่ปฏิบัติงาน (Operating Platform) แต่จะไม่มีเครื่องจักรที่ใช้ในการแยกของก๊าซธรรมชาติ และ น้ำมันดิบ
2. โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเล (Jetty Bridge)
3. โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมบนบก (Pipe Bridge / Pipe Rack)

ในปัจจุบัน โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเลที่มีอยู่ในบริเวณอ่าวไทย จังหวัดระยอง จะมีความสูงใกล้เคียงกันคือ 14.652 เมตร (ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2) โดยขนาดของโครงสร้างที่ใช้จะมีขนาดเดียวกันตลอดในทุกระดับความลึกของน้ำทะเล ทำให้โครงสร้างใหญ่เกินความจำเป็นในบริเวณน้ำตื้น ส่วนบริเวณน้ำลึกซึ่ง โครงสร้างมีความขลุ่ยสูงจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก

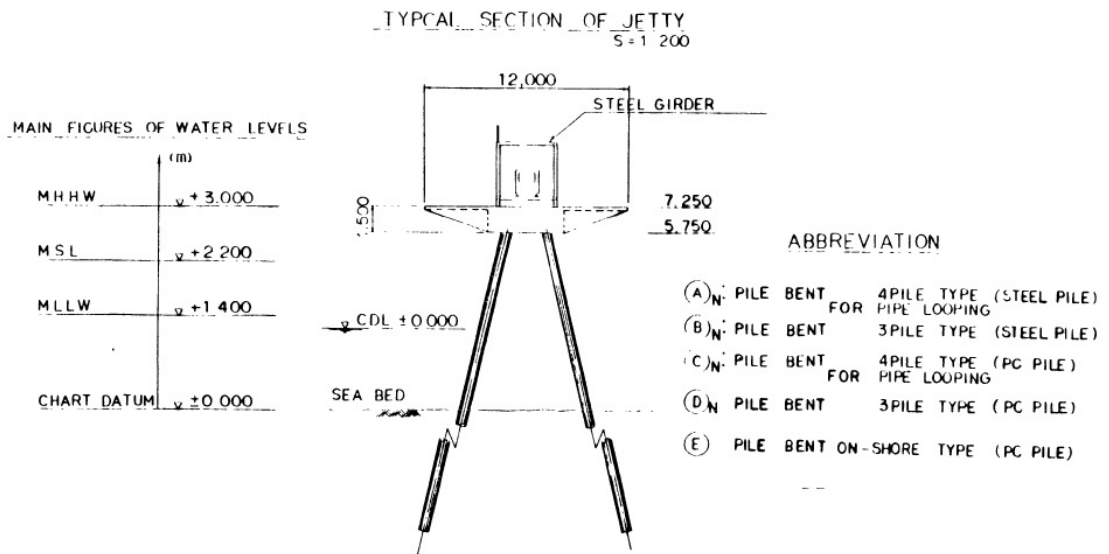
น้อยลงจึงอาจเป็นปัญหาเมื่อมีความต้องการเพิ่มจำนวนท่อดัง นั้นการตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักและหาแนวทางการเสริมกำลังของโครงสร้างจึงเป็น

งานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้น โครงสร้างที่รับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเล หรือที่เรียกว่า "Jetty bridge" โดยโครงสร้าง Jetty bridge จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. โครงสร้างที่รองรับท่อส่งวัตถุดิบ มีลักษณะคล้ายกับ โครงสร้างที่รองรับท่อที่อยู่บนฝั่ง (Pipe rack)
2. โครงสร้างที่รองรับตัวโครงสร้างด้านบน หรือที่เรียกว่า "Jetty Bridge Sub-Structure" ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ถึง 1.5



รูปที่ 1.1 ตัวอย่าง โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge) ที่อ่าวไทย จังหวัดระยอง



รูปที่ 1.2 รูปด้านของโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge) ที่อ่าวไทย จังหวัดระยอง



รูปที่ 1.3 ภาพถ่ายของโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge)



รูปที่ 1.4 ภาพถ่ายของโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge)



รูปที่ 1.5 ภาพถ่ายของโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม (Jetty Bridge)

1.2 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับโครงสร้างนอกฝั่งทะเล

ในปี 2005 Bhattacharya, Carrington และ Aldridge [1] ได้ศึกษาสถานะโก่งเดาะในการออกแบบเสาเข็มในชั้นทรายพุด (Liquefiable layer) เมื่อเกิดแผ่นดินไหว ในการศึกษาได้แบ่งประเภทการโก่งเดาะของเสาเข็มเป็นสองประเภทด้วยกันคือ การโก่งเดาะทั้งองค์อาคาร (Global buckling) และการโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local buckling) จากการศึกษาพบว่า การโก่งเดาะทั้งองค์อาคาร (Global buckling) ในชั้นทรายพุด (Liquefiable layer) การวิบัติโดยหลักจะเป็นการเคลื่อนที่ไปด้านข้างและยังไม่มีสมการที่ใช้ในการออกแบบที่ชัดเจนหรือตายตัว ดังนั้นงานวิจัยนี้จะแนะนำเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม (Diameter of pile) ที่ต่ำสุดที่ใช้ในการออกแบบเข็มเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของชั้นดินทรายพุด (Thickness of liquefiable layer) ซึ่งจากการศึกษา เมื่อความหนาของชั้นดินทรายพุดเพิ่มขึ้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นของเสาเข็มเหล็ก (Steel tubular pile) จะมีค่าน้อยกว่าเสาเข็มคอนกรีต (Concrete pile) และกรณีการโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local buckling) ในชั้นดินทรายพุดจะพิจารณาแค่หน้าตัดของเสาเข็มเหมือนกับในทุุกๆชั้นดิน

ในปี 2013 นายเดชวิทย์ หลานเสษฐา [3] การศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD ในการศึกษาจะใช้โครงสร้างที่ใช้สำหรับการพัฒนาแหล่งปิโตรเลียมขนาดเล็กแบบเสาเดี่ยวโดยจะหาตำแหน่งและมุมของการค้ำยันโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด และจากผลการศึกษาพบว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล และมุมในการค้ำยัน 20 องศาจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนตำแหน่งการค้ำยันขารองรับท่อส่งปิโตรเลียม ที่มีต่อการรับน้ำหนักและกำลังรับแรงของโครงสร้าง
2. เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนมุมเอียงของขาโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม ที่มีต่อการรับน้ำหนักและกำลังรับแรงของโครงสร้าง
3. เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของขารองรับท่อส่งปิโตรเลียม ที่มีต่อการรับน้ำหนักและกำลังรับแรงของโครงสร้าง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษานี้จะศึกษาโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม 3 ขา ใน 2 กรณีคือ โครงสร้างที่มีอยู่แล้วในอ่าวไทยและโครงสร้างใหม่ โดยจะจำลองโครงสร้างเป็นโครงข้อแข็ง 3 มิติ จำนวน 334 โครงสร้าง โดยมีตำแหน่งการค้ำยันจากตำแหน่ง 0.5 เมตร ถึง 13.5 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของโครงสร้าง ความสูงของโครงสร้างที่ 10 เมตร ถึง 20 เมตร มุมการวางขาของโครงสร้างที่ 5 องศา ถึง 45 องศาจากแนวตั้งและความหนาของโครงสร้างที่ 8 มิลลิเมตร ถึง 17 มิลลิเมตร และคำนวณหาน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับแรงของโครงสร้าง โดยโปรแกรม STAAD.Pro
2. การจำลองโครงสร้าง มีเงื่อนไขของฐานรองรับเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบยึดหมุนและแบบยึดแน่น
3. การศึกษานี้ไม่พิจารณาถึงมวลที่เพิ่มขึ้นจากมวลน้ำจากน้ำทะเล
4. ข้อมูลด้านขนาดเหล็กของโครงสร้างจะใช้ข้อมูลจากโครงสร้างปัจจุบันที่ตั้งอยู่ในอ่าวไทยซึ่งความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มีมุมการวางขาหน้าและขาหลังวัดจากแนวตั้งเท่ากับ 17.912

องศา และ 9.177 องศาตามลำดับ และขารองรับโครงสร้างมีความหนา 12 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาคผนวก ง

5. การคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างจะใช้ข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ทำการศึกษาข้อมูลและวิธีการออกแบบของโครงสร้างฐานรองรับท่อส่งปิโตรเลียมที่มีอยู่ในอำเภอไทยและทำการศึกษาพารามิเตอร์ในการออกแบบต่างๆ ได้แก่ คาบคลื่น ความสูงคลื่น ความลึกน้ำทะเล และน้ำหนักของท่อรับ-ส่งปิโตรเลียม
2. ทำการศึกษาทฤษฎีการหาค่าน้ำหนักวิกฤติ (Critical Load) และกำลังรับแรงของโครงสร้างตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design) เพื่อนำไปเปรียบเทียบผลที่ได้จากการหาค่าน้ำหนักวิกฤติ และกำลังรับแรงของโครงสร้างจากโปรแกรม STAAD.Pro
3. สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างฐานรองรับท่อส่งปิโตรเลียมเหล็กเป็นโครงข้อแข็ง 3 มิติ แล้วหาค่าน้ำหนักวิกฤติ และกำลังรับแรงของโครงสร้างตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] โดยวิธีกำลังที่ยอมให้
4. เปรียบเทียบผลศึกษาของน้ำหนักวิกฤติ และกำลังรับแรงของโครงสร้างตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปกับทฤษฎีการหาค่าน้ำหนักวิกฤติ
5. ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ตำแหน่งของค้ำยัน (Bracing), มุมในการวางขาของโครงสร้าง, ความสูง, ความหนาของขารองรับท่อส่งปิโตรเลียม และ ประเภทของฐานรองรับ ที่มีผลต่อน้ำหนักวิกฤติ (Critical Load) และกำลังรับแรงของโครงสร้าง

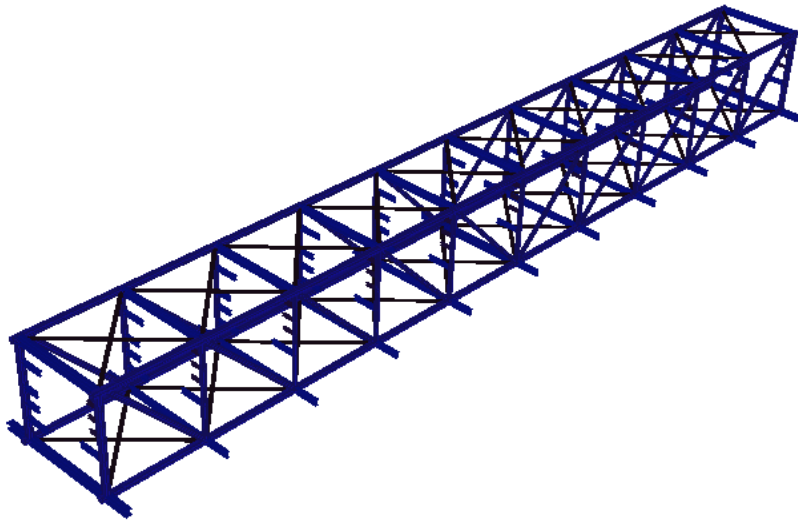
บทที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้าง

2.1 โครงสร้างในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical Structures)

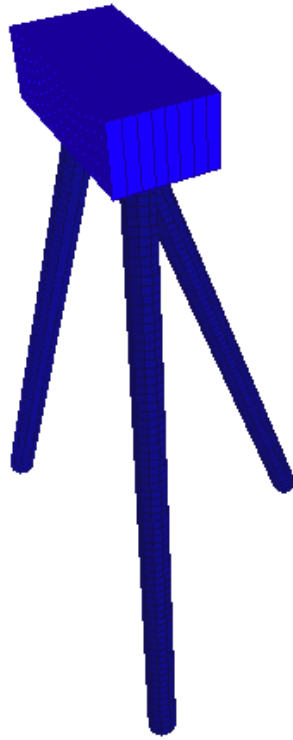
โครงสร้างสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามรูปแบบการใช้งานได้ 4 ประเภท ได้แก่ โครงสร้างฐานรองรับถังเก็บสารเคมีหรืออุปกรณ์เครื่องจักร (Tank/Equipment Foundation) โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีบนชายฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge) โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่ง (Jetty Bridge) และ โครงสร้างรองรับอุปกรณ์การแยกสาร (Process Structures)

2.1.1 โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่ง (Jetty Bridge)

เป็นโครงสร้างที่ใช้รองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในทะเลที่รับมาจากเรือหรือท่อส่งก๊าซใต้ทะเล เพื่อนำสารไปขึ้นมายบนชายฝั่งและส่งต่อให้โครงสร้างที่รองรับท่อบนฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge) ต่อไป โดยประกอบเป็น 2 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างที่รองรับท่อส่ง (Jetty Bridge) และโครงสร้างที่เป็นฐานรองรับโครงสร้างด้านบน (Jetty Bridge Sub-Structures) แสดงดังรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 ตามลำดับ



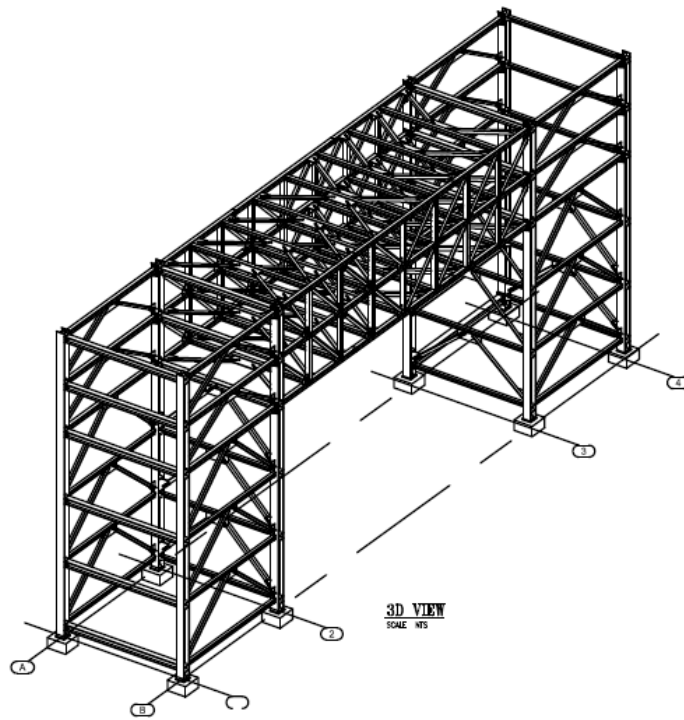
รูปที่ 2.1 โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่ง (Jetty Bridge)



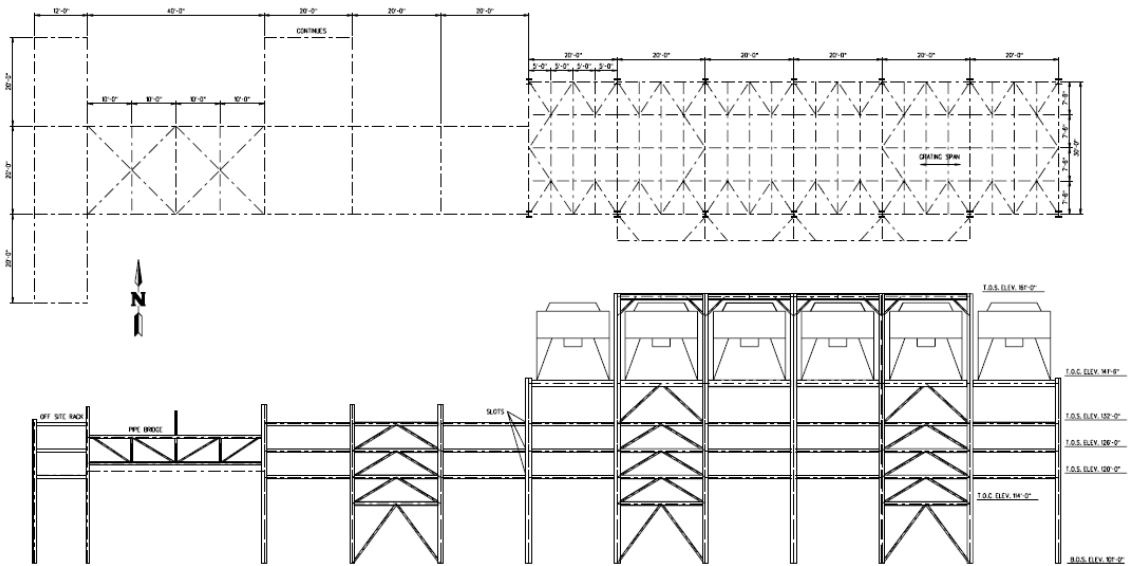
รูปที่ 2.2 โครงสร้างที่รองรับของโครงสร้างด้านบน (Jetty Bridge Sub-Structures)

2.1.2 โครงสร้างอื่นๆในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical Structures)

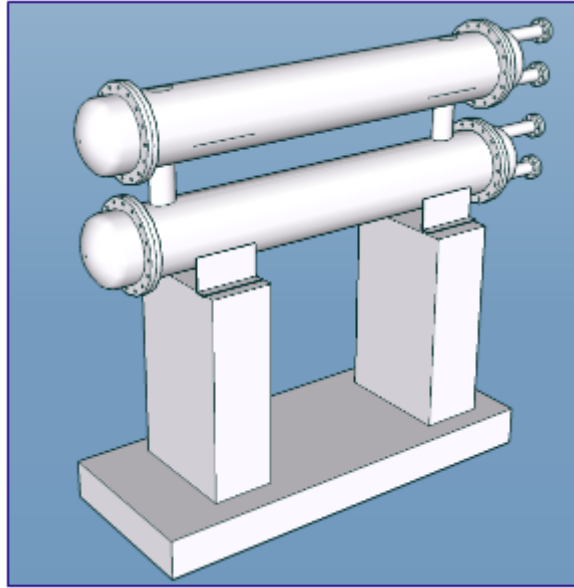
สำหรับโครงสร้างอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนอกจากโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่งแล้วยังมีโครงสร้างที่ใช้รองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่รับมาจากชายฝั่งเพื่อนำปิโตรเคมีไปยังโรงกลั่นหรือโรงแยกก๊าซบนฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge) แสดงดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 และโครงสร้างที่ใช้รองรับเครื่องจักรต่างๆ รวมถึงถังเก็บผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานปิโตรเคมี เช่น ถังความดัน (Pressure Vessel) ถังบรรจุสารเคมี (Chemical Tank) ปั๊ม (Pump) และอุปกรณ์แยกสาร (Process Structures) เป็นต้น โดยรูปแบบโครงสร้างของแต่ละอุปกรณ์จะแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.5 ถึง รูปที่ 2.7



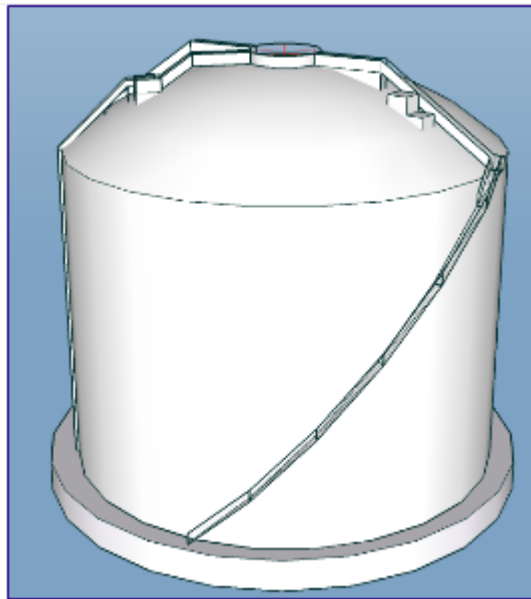
รูปที่ 2.3 โครงสร้างรองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีบนชายฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบบโครงสร้างรองรับท่อส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีบนชายฝั่ง (Pipe Rack/Pipe Bridge)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างรองรับภาชนะความดัน (Pressure Vessel Foundation) [8]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างรองรับภาชนะบรรจุสารเคมี (Chemical Tank Foundation) [8]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างรองรับอุปกรณ์การแยกสาร (Process Structures)

2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติ (Critical Load Analysis)

การวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งเดาะในชิ้นส่วน โครงสร้างภายใต้กำลังรับแรงอัดตามแนวแกน มีความสำคัญต่อการพิจารณาเสถียรภาพของโครงสร้าง โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหรือใกล้เคียงกับ โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีนอกชายฝั่งมากที่สุดคือ ทฤษฎีการโก่งเดาะของเสาเดี่ยวและ โครง ข้อแข็ง

2.2.1 การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติในเสาเดี่ยว

การวิบัติโดยการโก่งเดาะในเสาเดี่ยวนั้นคือการที่เสาสีเสถียรภาพและ โคง่ตัวออกนอกแนวแกนโดย น้ำหนักวิกฤติค่าหนึ่งและจากทฤษฎีเสาอิลาสติกที่ Leonard Euler ได้ทำการศึกษาสมการหาน้ำหนัก วิกฤติที่มีจุดรองรับแต่ละประเภทได้จากสมการดังนี้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (2.1)$$

โดยที่ค่า L_e เป็นความยาวประสิทธิผลซึ่งมีค่าเท่ากับ KL โดยที่ค่า K คือค่าคงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะ จุดยึดที่ปลายดังรูปที่ 2.8

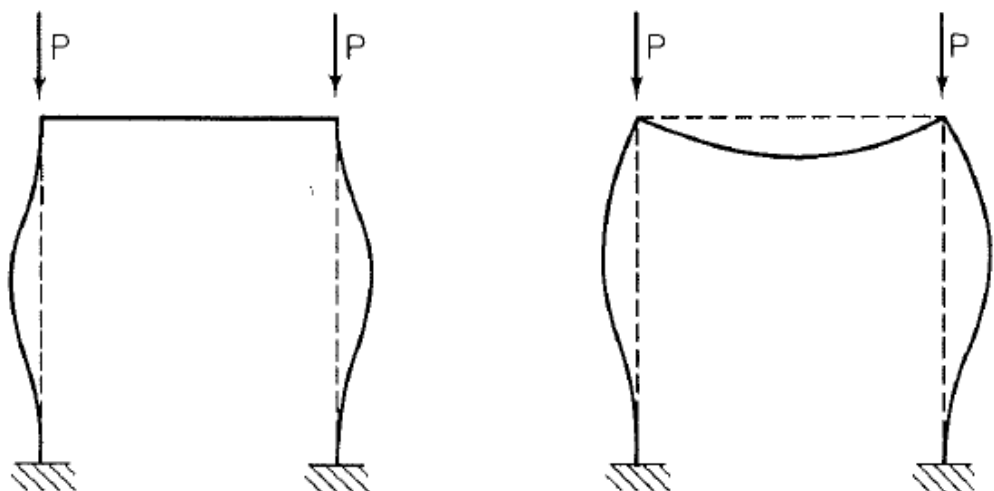
Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical k value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
End-condition code		Rotation fixed and translation fixed				
		Rotation free and translation fixed				
		Rotation fixed and translation free				
		Rotation free and translation free				

รูปที่ 2.8 ค่า K ในรูปแบบฐานรองรับต่างๆ [6]

2.2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติในโครงข้อแข็ง

การวิบัติของโครงข้อแข็งนั้นจะมีรูปแบบการวิบัติอยู่ 2 ประเภทด้วยกันคือ การวิบัติของโครงสร้างที่ไม่มีการเสียด้านข้าง และการวิบัติของโครงสร้างที่มีการเสียด้านข้าง โดยสมการจากทฤษฎีความเสถียรภาพของโครงสร้างโดย Alexander Chajes จะได้สมการดังนี้

1. โครงสร้างที่ไม่มีการเสียด้านข้าง

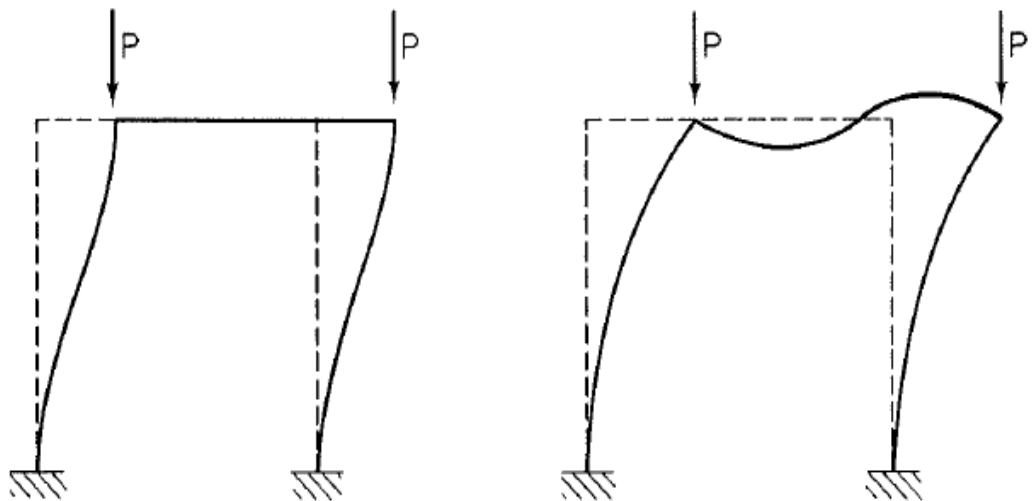


รูปที่ 2.9 การโค้งเดาะของโครงข้อแข็งที่ไม่มีการเสียด้านข้าง

สมการหาน้ำหนักวิกฤติสำหรับ โครงข้อแข็งสองมิติที่ไม่มีการเซด้านข้างเป็นดังสมการนี้ [6]

$$P_{cr} = \frac{25.2EI}{L^2} \quad (2.2)$$

2. โครงสร้างที่มีการเซด้านข้าง



รูปที่ 2.10 การ โกงเดาะของ โครงข้อแข็งที่มีการเซด้านข้าง

สมการหาน้ำหนักวิกฤติสำหรับ โครงข้อแข็งสองมิติที่มีการเซด้านข้างเป็นดังสมการนี้ [6]

$$P_{cr} = \frac{7.34EI}{L^2} \quad (2.3)$$

สำหรับ โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเลในงานวิจัยนี้ซึ่งตามความจริงมีการวางตัวใน 3 มิติ แต่เมื่อทำการพิจารณาโครงสร้างให้เป็น 2 มิติแล้วจะมีลักษณะ โครงสร้างคล้ายกับเสาเดี่ยวและ โครงข้อแข็งที่มีการเซ เนื่องจาก โครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่ได้มีการป้องกันการเซด้านข้าง ดังนั้น การวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปกับทฤษฎีการวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักวิกฤติทั้งรูปแบบ โครงสร้างที่เป็นเสาเดี่ยวและ โครงข้อแข็งที่มีการเซด้านข้างเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4 ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของการใช้โปรแกรม อันจะทำให้มีความเชื่อมั่นในการใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ โครงสร้างใน 3 มิติต่อไป

2.3 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกออกแบบตามมาตรฐาน AISC ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design by AISC Code)

ในการวิจัยนี้ นอกจากจะวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างแล้ว ยังมุ่งหาความสามารถในการรับกำลังของโครงสร้างตามมาตรฐานการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานให้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอีกด้วย โดยข้อกำหนดต่างๆตามมาตรฐาน สามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

2.3.1 หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (Allowable Tensile Stress)

แรงดึงที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานเป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_t = 0.6 F_y \quad (2.15)$$

โดยที่ F_t คือ ความเค้นดึงที่สามารถรับได้ (Allowable Tensile Stress)
 F_y คือ ความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress)

2.3.2 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (Allowable Shear Stress)

แรงเฉือนที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานเป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_v = 0.4 F_y \quad (2.16)$$

โดยที่ F_v คือ ความเค้นแรงเฉือนที่สามารถรับได้ (Allowable Shear Stress)

2.3.3 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (Allowable Compressive Stress)

แรงอัดตามแนวแกนที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานในกรณีที่กำลัง $\frac{KL}{r}$ มากกว่าค่า C_c เป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} \quad (2.17)$$

เมื่อ

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (2.18)$$

โดยที่ F_a คือ ความเค้นแรงอัดที่สามารถรับได้ (Allowable Compressive Stress)
 r คือ รัศมีจายเรชั่น (Radius of Gyration)

สำหรับกรณีที่ค่า $\frac{KL}{r}$ น้อยกว่าค่า C_c เป็นไปตามสมการดังนี้

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad (2.19)$$

2.3.4 แรงดัดที่ยอมให้ (Allowable Bending Stress)

แรงดัดตามแนวแกนที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานตามสมการดังนี้

$$F_b = 0.66F_y \quad (2.20)$$

โดยที่ F_b คือ ความเค้นดัดที่สามารถรับได้ (Allowable Bending Stress)

ถ้าชิ้นส่วนที่เป็นหน้าตัดสมมาตรและเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

$$1. \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}}$$

$$2. \frac{b_f}{t_f} \leq \frac{190}{\sqrt{F_y}}$$

$$3. \frac{d}{t} \leq \frac{640(1-3.74(\frac{f_a}{F_y}))}{\sqrt{F_y}} \text{ เมื่อ } \frac{f_a}{F_y} < 0.16 \text{ หรือ } \frac{d}{t} \leq \frac{250}{\sqrt{F_y}} \text{ เมื่อ } \frac{f_a}{F_y} > 0.16$$

$$4. \text{ ระยะเส้นผ่าศูนย์กลางกลางหารด้วยความหนาชิ้นในหน้าตัดที่เป็นท่อน้อยกว่าหรือเท่ากับ } \frac{3300}{F_y}$$

โดยที่	b_f	คือ ความกว้างของปีกในหน้าตัด I และ H (Flange width of rolled beam)
	t_f	คือ ความหนาของปีกในหน้าตัด I และ H (Web thickness)
	t	คือ ความหนาของท่อในหน้าตัดกลม (Wall thickness)
	d	คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อในหน้าตัดกลม (Nominal diameter)
	f_a	คือ แรงคดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน (Computed bending stress)

ถ้าชิ้นส่วนที่เป็นหน้าตัดสมมาตรที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดที่ 1 แต่ไม่เกินในข้อกำหนดที่ 2 จะใช้สมการดังนี้

$$F_b = F_v(0.79 - 0.002 \left(\frac{b_f}{2t_f}\right) \sqrt{F_y}) \quad (2.21)$$

โดยที่ F_v คือ ความเค้นแรงเฉือนที่สามารถรับได้ (Allowable Shear Stress)

แต่ถ้าชิ้นส่วนที่เป็นหน้าตัดสมมาตรที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้น สามารถคำนวณค่ามากที่สุดจากสมการต่อไปนี้

เมื่อ

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{F_y}} \leq \frac{l}{r_t} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y(l/r_T)^2}{1530 \times 10^3 C_b} \right] F_y \leq 0.60 F_y \quad (2.22)$$

เมื่อ

$$\frac{l}{r_t} \geq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$$

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 C_b}{(l/r_T)^2} F_y \leq 0.60 F_y \quad (2.23)$$

และสำหรับค่าใดๆของ $\frac{l}{r_t}$

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 C_b}{ld/A_f} F_y \leq 0.60 F_y \quad (2.23)$$

- โดยที่
- l คือ ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันที่เหล็กปีกคานรับแรงอัด
(Actual unbraced length of member)
 - r_t คือ รัศมีไจเรชันรอบแกนในระนาบของเหล็กแผ่นตั้ง (web) ของหน้าตัดที่ประกอบด้วยเนื้อที่ของเหล็กปีกคานรับแรงอัด และหนึ่งในสามของเนื้อที่ของเหล็กแผ่นตั้งที่รับแรงอัด
 - A_f คือ เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปีกคานรับแรงอัด (Area of compression flange)
 - C_b คือ สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ค้ำยัน (Bending coefficient dependent upon Moment gradient)

2.3.5 การรวมหน่วยระหว่างแรงอัดและแรงดัดในชิ้นส่วน (Combined Stresses)

ข้อกำหนดการรวมแรงระหว่างแรงอัดและแรงดัดที่ยอมให้ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 [4] ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานตามสมการดังนี้

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{lex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ley}}\right) F_{by}} \leq 1.0 \quad (2.24)$$

และ

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (2.25)$$

แต่ในกรณีที่ $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$ ให้ใช้สมการดังนี้

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (2.26)$$

เมื่อ
$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23\left(\frac{Kl_b}{r_b}\right)^2}$$

- โดยที่
- l_b คือ ช่วงความยาวที่ไม่มีการค้ำยันรับแรงดัด (The actual unbraced length in the plane of bending)
 - r_b คือ รัศมีไจเรชันรอบแกนในระนาบที่รับแรงดัด (Radius of gyration about Axis of concurrent bending)
 - C_m คือ สัมประสิทธิ์สำหรับส่วนของโครงสร้างในโครงเฟรมที่ไม่เซ

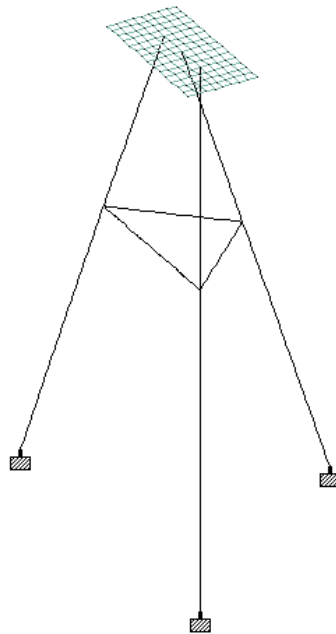
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การจำลองรูปแบบโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมนอกชายฝั่ง

งานวิจัยนี้ จะทำการจำลองโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมีเดิมเป็นแบบ 3 ขา ในโปรแกรม STAAD.Pro โดยจำลองโครงสร้างแบบโครงข้อแข็ง 3 มิติ ใน 2 รูปแบบ คือ โครงสร้างปัจจุบันในบริเวณอ่าวไทยและโครงสร้างใหม่

3.1.1 การจำลองโครงสร้างที่มีการค้ำยัน

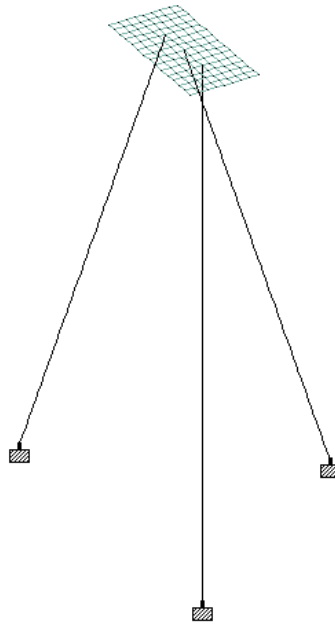
โครงสร้างปัจจุบันที่ตั้งอยู่ในอ่าวไทยซึ่งความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มีมุมการวางขาหน้าและขาหลังวัดจากแนวดิ่งเท่ากับ 17.912 องศา และ 9.177 องศาตามลำดับ และขารองรับโครงสร้างมีความหนา 12 มิลลิเมตร ที่ต้องการจะเสริมกำลังเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก ด้วยการเพิ่มค้ำยันให้กับโครงสร้าง รูปแบบการจำลองโครงสร้างในโปรแกรม STAAD.Pro แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบการจำลองโครงสร้างที่มีการค้ำยัน

3.1.2 การจำลองโครงสร้างที่ไม่มีการค้ำยัน

สำหรับในกรณีที่สองคือ การจำลองโครงสร้างใหม่เพื่อศึกษาผลกระทบในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครงสร้างไม่ว่าจะเป็นความสูง มุมการวางขาและความหนาของขารองรับโครงสร้าง รูปแบบการจำลองโครงสร้างในโปรแกรม STAAD.Pro แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบการจำลองโครงสร้างที่ไม่มีการค้ำยัน

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 โครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเคมี กำหนดให้มีคุณสมบัติของโครงสร้างดังนี้

1. คุณสมบัติของเหล็กชั้นคุณภาพ A36 ดังนี้
 - ความหนาแน่นของเหล็ก (Density of steel) เท่ากับ 7,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 - ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) เท่ากับ 2,090,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
 - หน่วยแรงเค้นที่จุดคลาก (Yield stress) เท่ากับ 2350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2. คุณสมบัติของคอนกรีตดังนี้
 - ความหนาแน่นของคอนกรีต (Density of concrete) เท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3. ขนาดชิ้นส่วน มิติและรูปร่างของโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3.1 ในภาคผนวก ง
4. เงื่อนไขจะมี 2 กรณีคือ ฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่น (Fixed support) และแบบยึดหมุน (Pinned support) ทั้ง 2 รูปแบบ โครงสร้าง

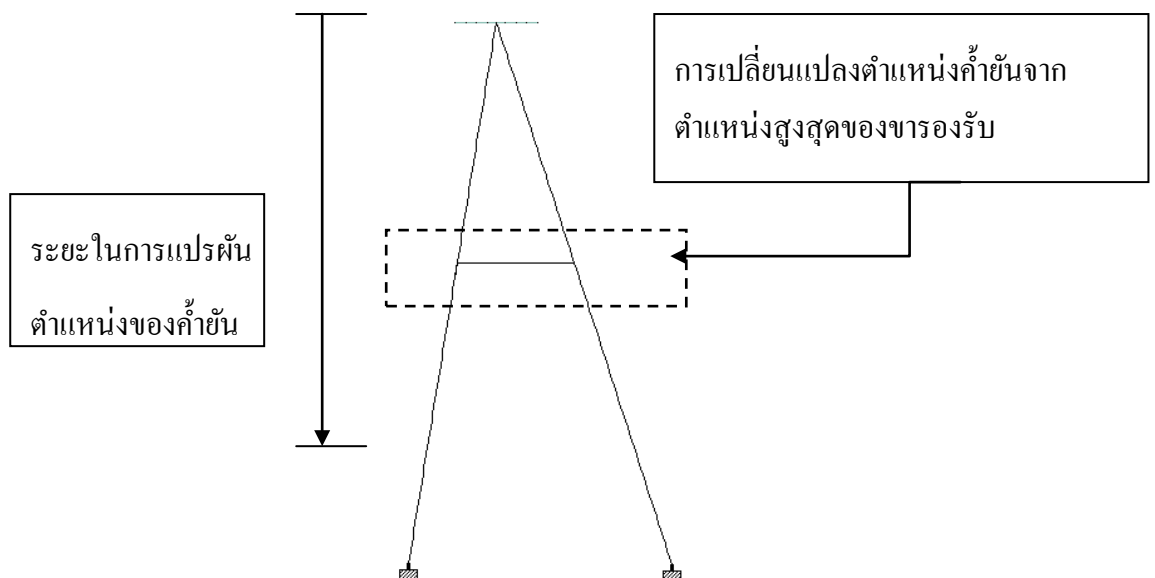
3.2 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

1. การจำลองโครงสร้างสำหรับขารองรับโครงสร้างจะใช้คำสั่ง Add beam โดยเป็นแบ่งชิ้นส่วนย่อยความยาวไม่เกิน 0.1 เมตร และสำหรับฐานรองรับที่เป็นคอนกรีตจะใช้คำสั่ง Add Plate ในการสร้าง โดยขนาดของแผ่นบาง (Plate element) เป็นไปตามแบบตามภาคผนวก ง.
2. การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างจะกำหนดให้แรงที่กระทำต่อโครงสร้างเท่ากับ 1 กิโลนิวตันในทิศทางแนวดิ่งและใช้คำสั่งการวิเคราะห์แบบ Perform Buckling Analysis ในโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อคำนวณ
3. การวิเคราะห์หาค่ากำลังรับแรงของโครงสร้างจะทำการหาค่าแรงกดที่ตำแหน่งบนสุดของโครงสร้างและให้โปรแกรมสำเร็จรูปคำนวณหาอัตราส่วนแรงที่กระทำต่อโครงสร้างกับแรงที่ยอมรับได้ของโครงสร้าง (Unity Ratio) ตามข้อกำหนดการออกแบบ AISC ปี 1989 โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน จนกว่าจะมีค่า Unity Ratio เท่ากับ 1

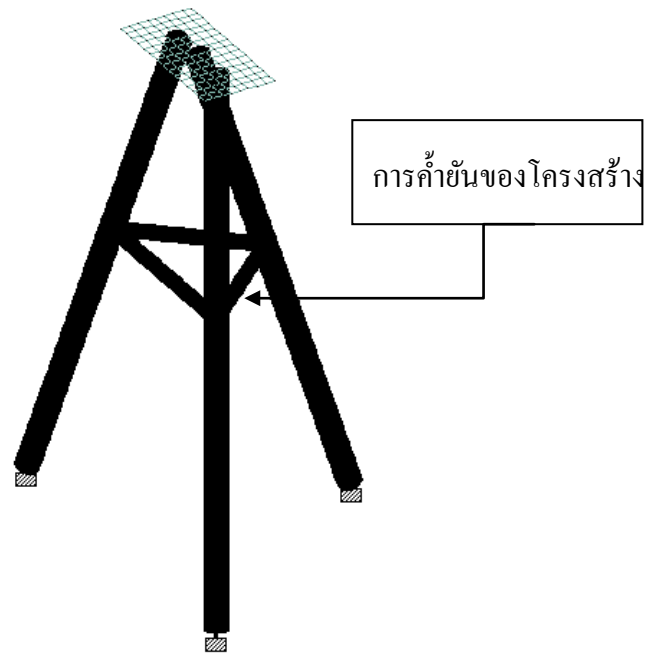
3.3 วิธีการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่าน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของโครงสร้าง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง วิธีการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่าน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของโครงสร้าง โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

1. กรณีที่เป็นโครงสร้างปัจจุบันในอ่าวไทย จะกำหนดให้ความยาวและมุมการวางตัวของขารองรับโครงสร้างมีค่าคงที่ ส่วนตำแหน่งการเสริมค้ำยันจะแปรผันช่วง 0.5 ถึง 13.5 เมตรจากจุดสูงสุดของขารองรับ โครงสร้างดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4

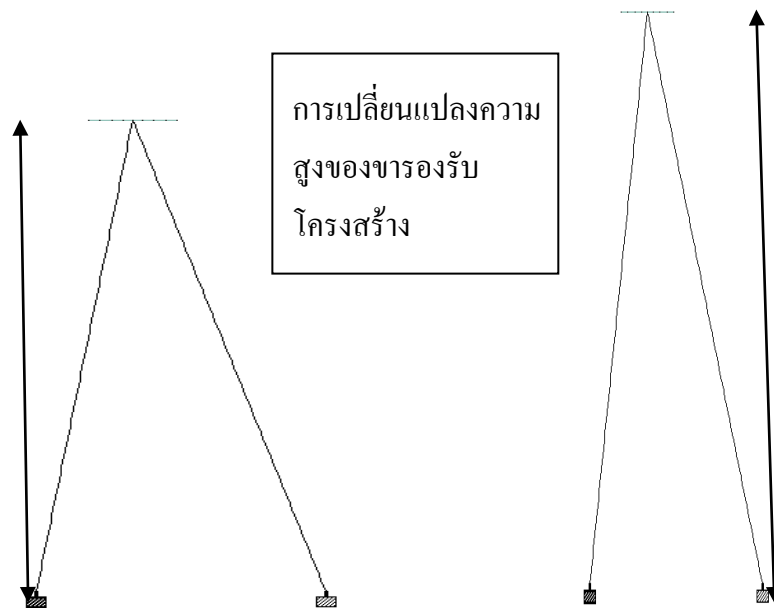


รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการค้ำยันของโครงสร้างที่จำลองในโปรแกรม STAAD.Pro

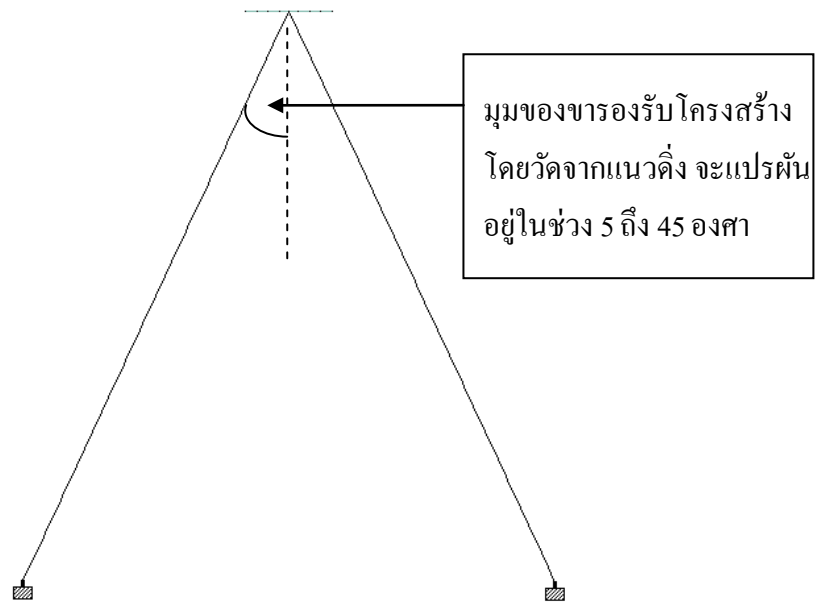


รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการค้ำยันของโครงสร้างที่จำลองในโปรแกรม STAAD.Pro (แบบ 3 มิติ)

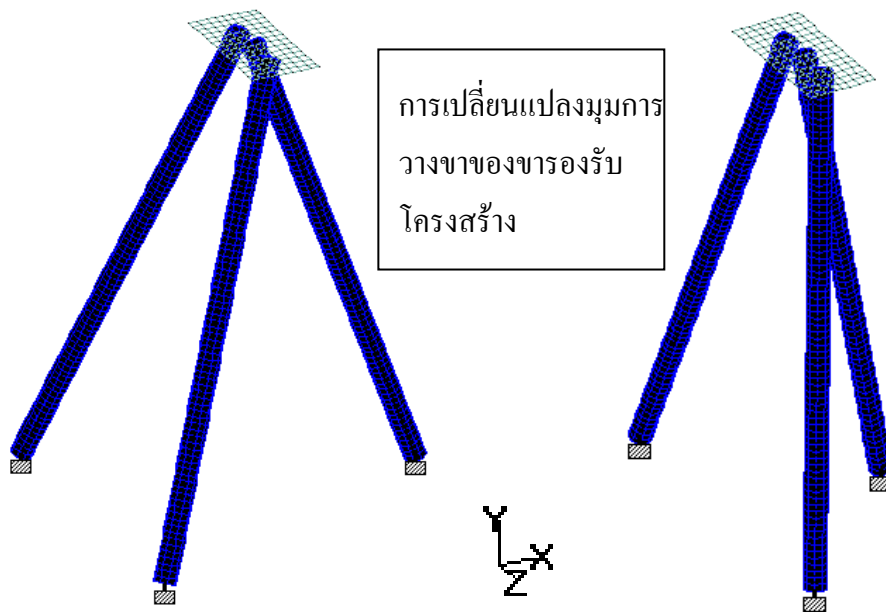
2. กรณีที่เป็นโครงสร้างที่สร้างใหม่จะแปรผันความยาว มุมการวางตัวและความหนาของขารองรับโครงสร้าง โดยความยาวของขารองรับโครงสร้างจะแปรผันในช่วง 10 ถึง 20 เมตร ดังรูปที่ 3.5 มุมของขาจะแปรผันในช่วง 5 ถึง 45 องศา ดังรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7 และความหนาของขาจะแปรผันในช่วง 8 ถึง 17 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8



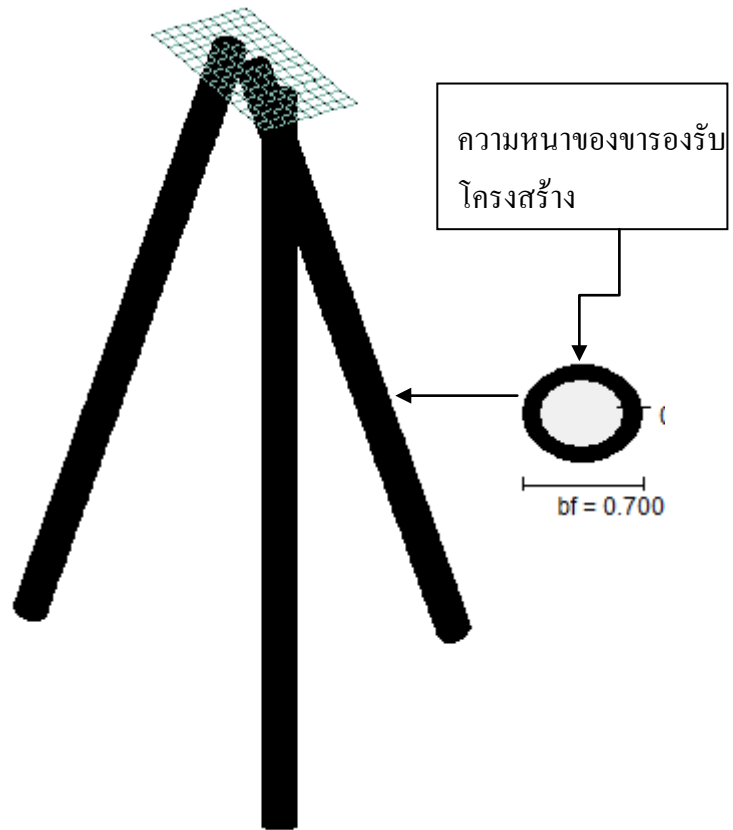
รูปที่ 3.5 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความสูงของขารองรับโครงสร้างในโปรแกรม STAAD.Pro



รูปที่ 3.6 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนมุมของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรม STAAD.Pro



รูปที่ 3.7 รูปแสดงแกนในการเปลี่ยนมุมของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรม STAAD.Pro



รูปที่ 3.8 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนความหนาของขารองรับ โครงสร้างใน โปรแกรม STAAD.Pro

บทที่ 4 ผลการศึกษา

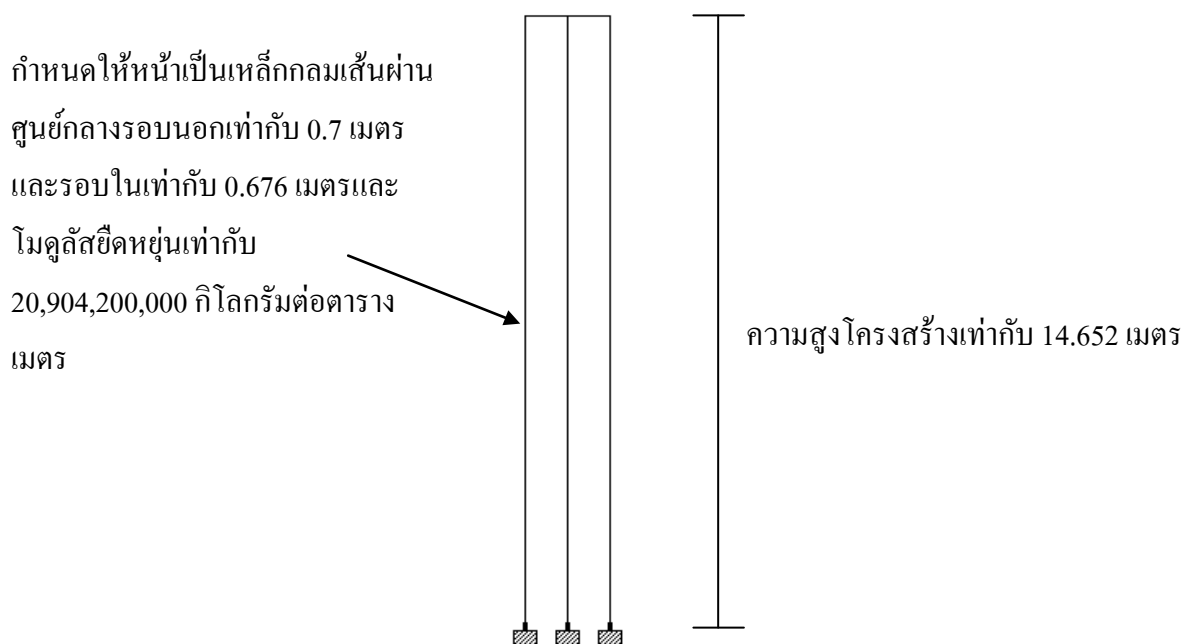
ในบทนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปและผลการศึกษาผลกระทบของรูปแบบโครงสร้างต่างๆและประเภทของฐานรองรับที่มีผลต่อน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม

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

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

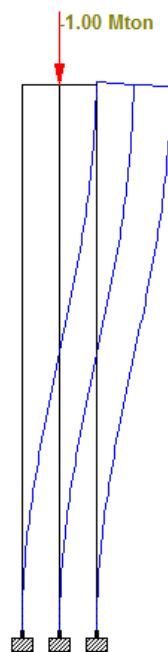
โดยที่ P_{cr} คือ น้ำหนักวิกฤติ (Critical Load)
 E คือ ความแข็งเกร็งของวัสดุ (Elastic Modulus)
 I คือ Section Modulus

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

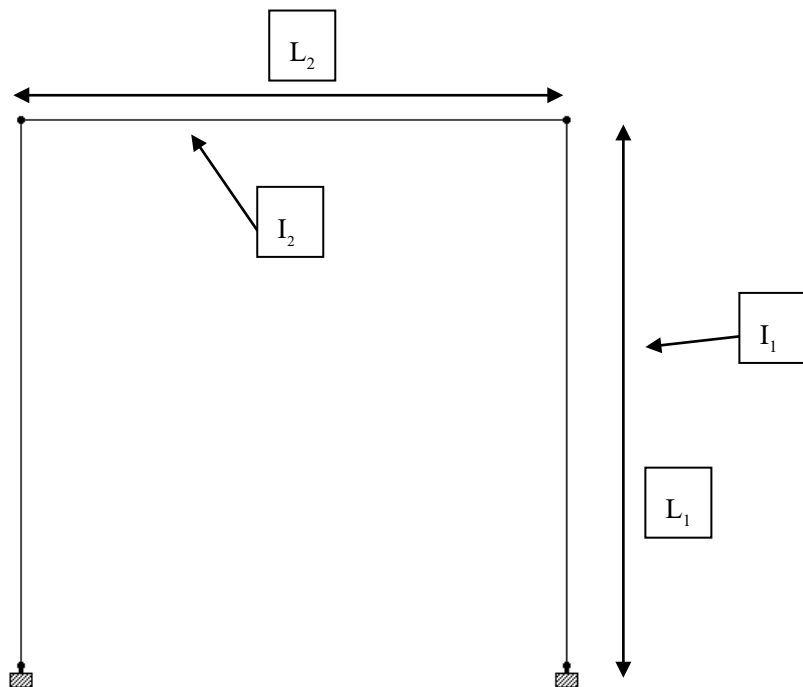
ตารางที่ 4.1.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของโครงสร้างจากทฤษฎีการวิเคราะห์แบบเสาเดี่ยวและจากโปรแกรมสำเร็จรูป

	ทฤษฎีเสาเดี่ยว (Tons)	โปรแกรมสำเร็จรูป (Tons)
น้ำหนักวิกฤติที่ทำให้โครงสร้างอยู่ในสถานะโก่งเดาะ	4425.87	4364.828

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.1.1 พบว่าการวิเคราะห์หาน้ำหนักวิกฤติที่ทำให้โครงสร้างอยู่ในสถานะโก่งเดาะจากทฤษฎีเสาเดี่ยวให้ค่ามากกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปเพียง 1.379%

4.1.2 การตรวจสอบผลการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูปกับทฤษฎีโครงข้อแข็ง

การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักวิกฤติของโครงข้อแข็งสามารถหาได้หลายวิธีดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 แต่วิธีที่จะนำมาเปรียบเทียบจะใช้วิธีการวิเคราะห์หาน้ำหนักวิกฤติด้วยวิธีสมดุลแรงแบบ โครงสร้างที่มีการเซด้านข้าง และรูปแบบโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปเป็นไปดังรูปที่ 4.1.3



รูปที่ 4.1.3 รูปแบบโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป

จากทฤษฎีการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักวิกฤตด้วยวิธีสมมูลแรงแบบโครงสร้างที่มีการเซด้านข้างเมื่อ

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

จะได้สมการหาค่าน้ำหนักวิกฤตดังสมการต่อไปนี้

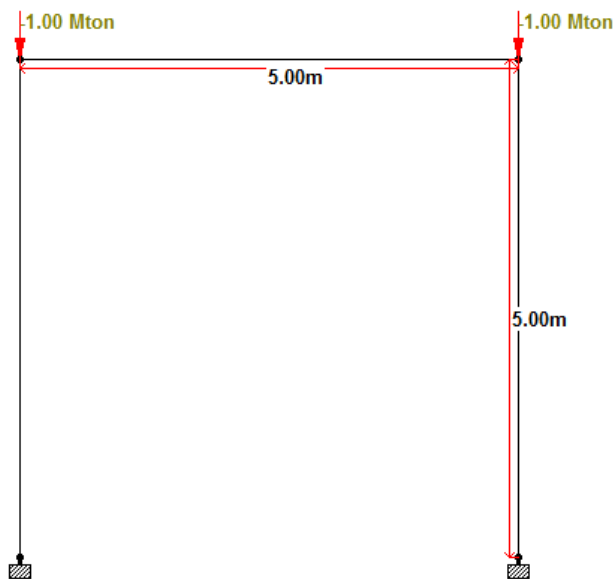
$$P_{cr} = \frac{7.34EI}{L^2} \quad (4.2)$$

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

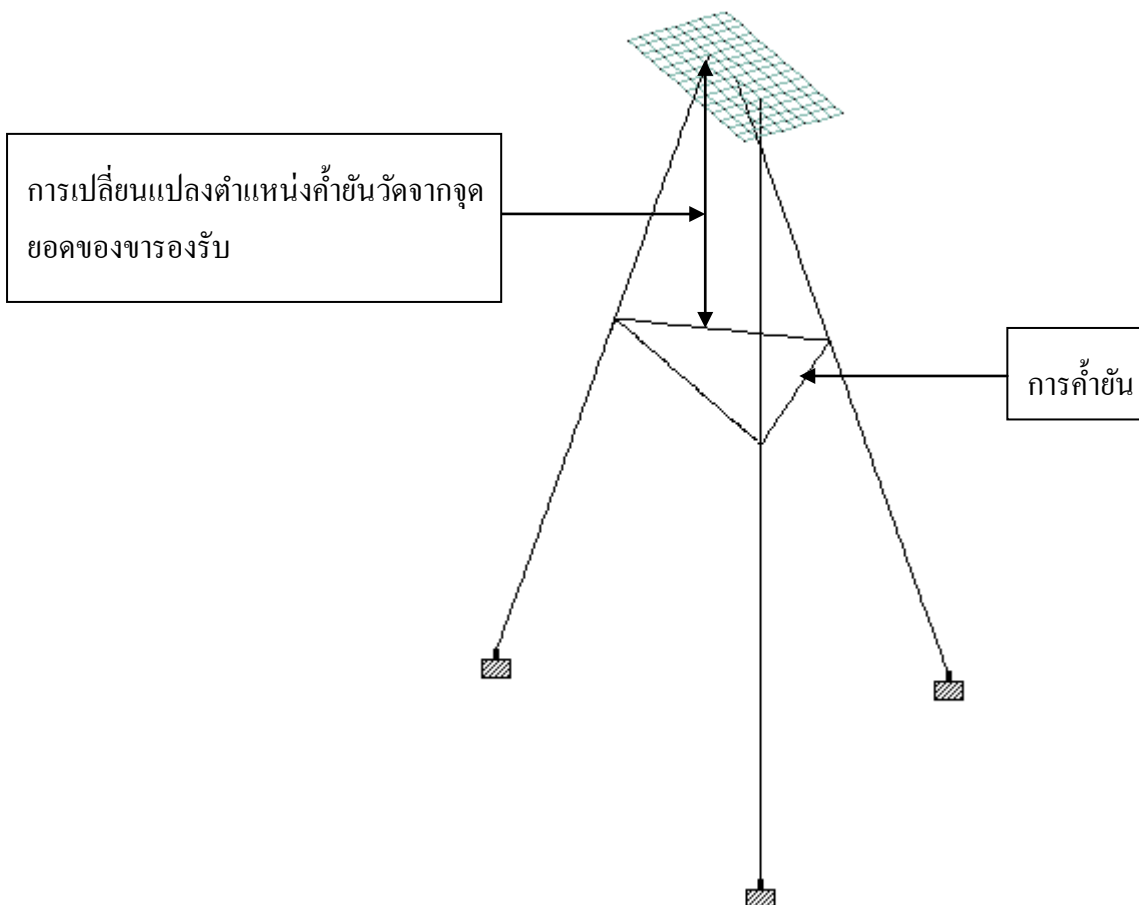
จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.1.2 พบว่าการวิเคราะห์หาน้ำหนักวิกฤติที่ทำให้โครงสร้างอยู่ในสถานะ โกงเดาะจากทฤษฎีโครงข้อแข็งให้ค่ามากกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปเพียง 1.012%

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



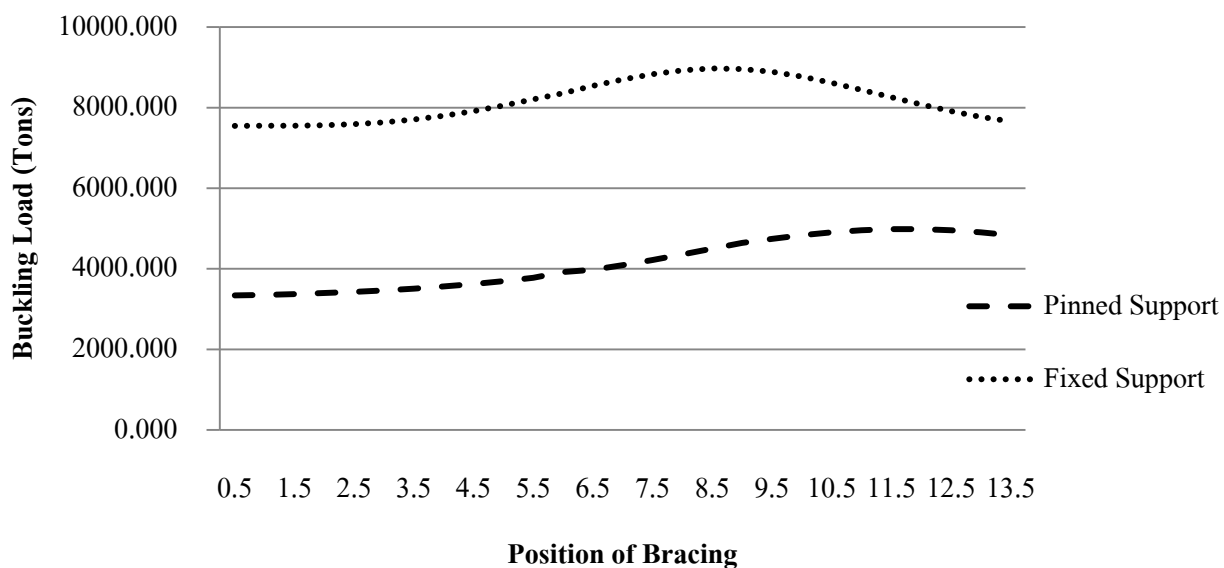
รูปที่ 4.2.1 รูปแสดงวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งการค้ำยันในโปรแกรมสำเร็จรูป

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



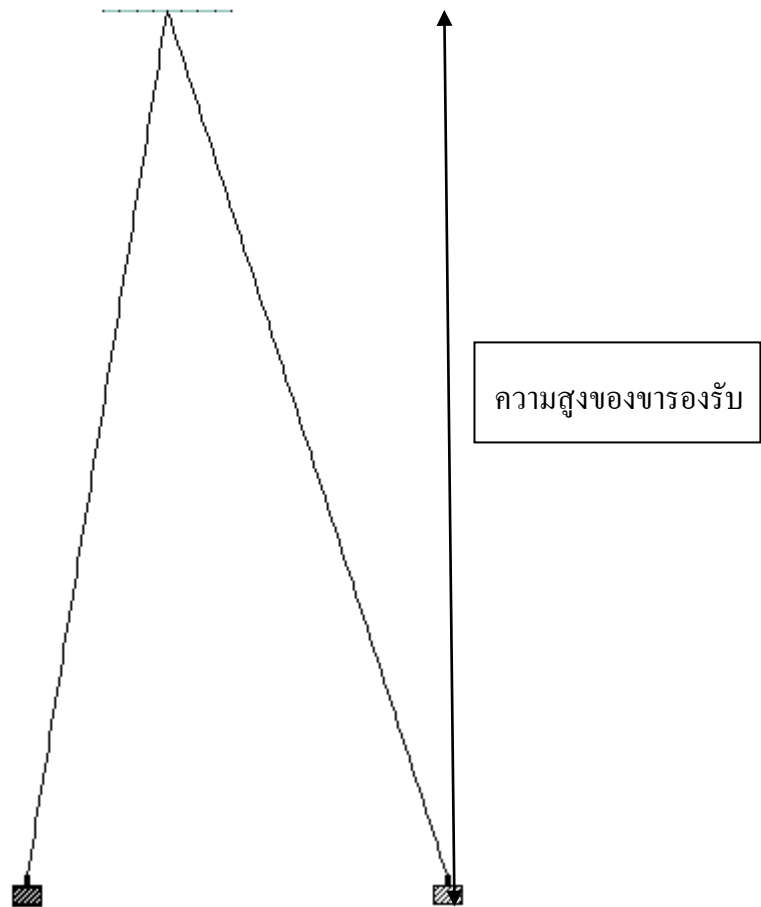
รูปที่ 4.2.2 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

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

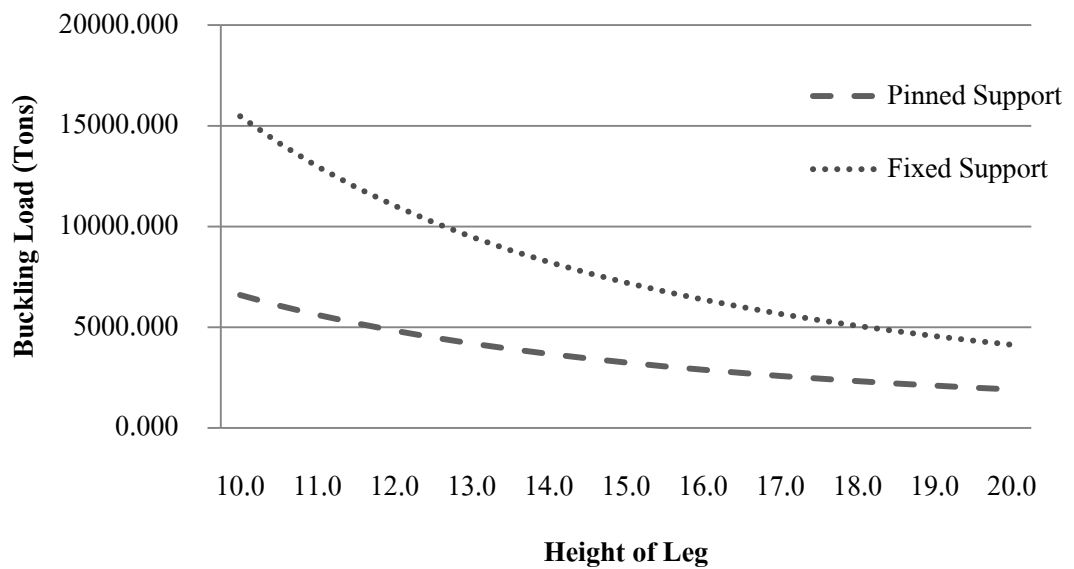
กำหนดให้มุมและความหนาของขารองรับฐานมีค่าคงที่ ส่วนของความสูงโครงสร้าง มีการแปรผันในช่วง 10 - 20 เมตร ดังรูปที่ 4.2.3 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2.2 และรูปที่ 4.2.4



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

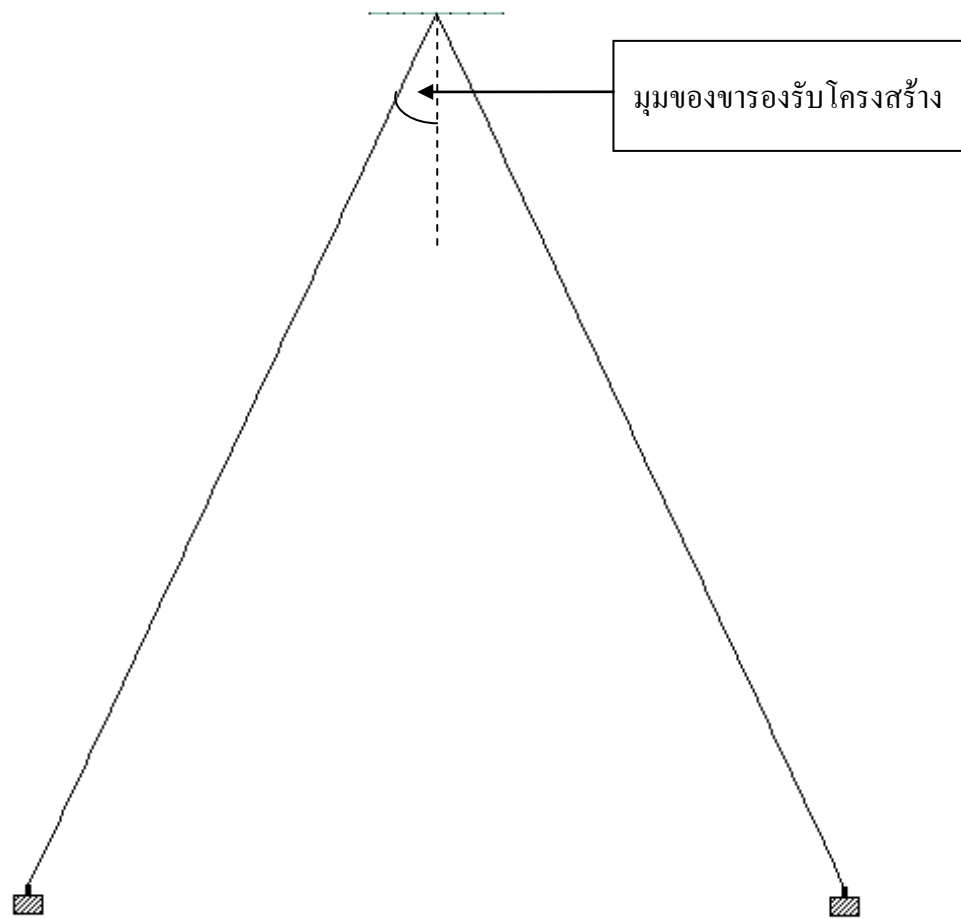


รูปที่ 4.2.4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

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

4.2.3 ผลกระทบของมุมของการวางขารองรับฐานที่มีต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงสร้าง

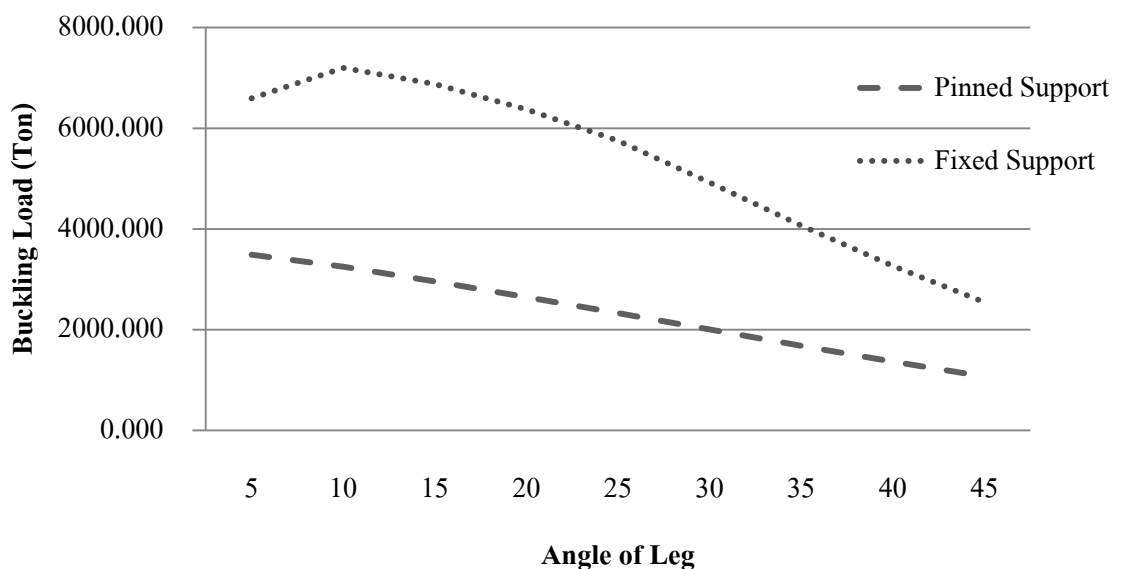
กำหนดให้ความสูงของโครงสร้างและความหนาของขารองรับ โครงสร้างมีค่าคงที่ ส่วนของมุมของขารองรับฐานมีการแปรผันในช่วง 5-45 องศา ดังรูปที่ 4.2.5 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2.3 และรูปที่ 4.2.6



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

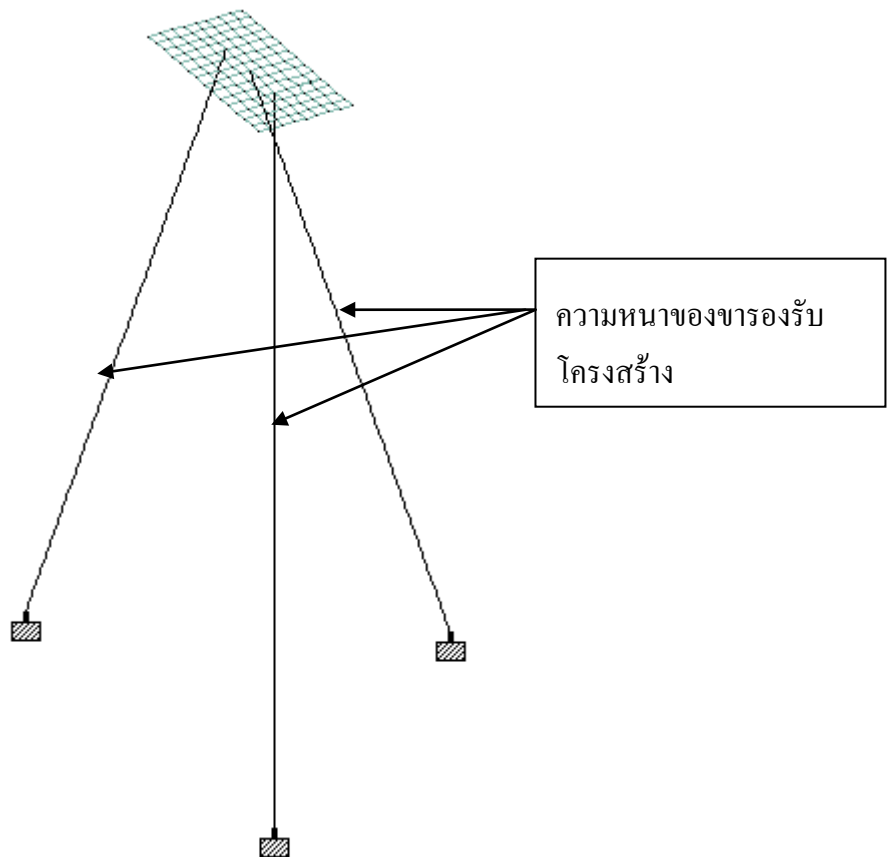


รูปที่ 4.2.6 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการวางขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

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

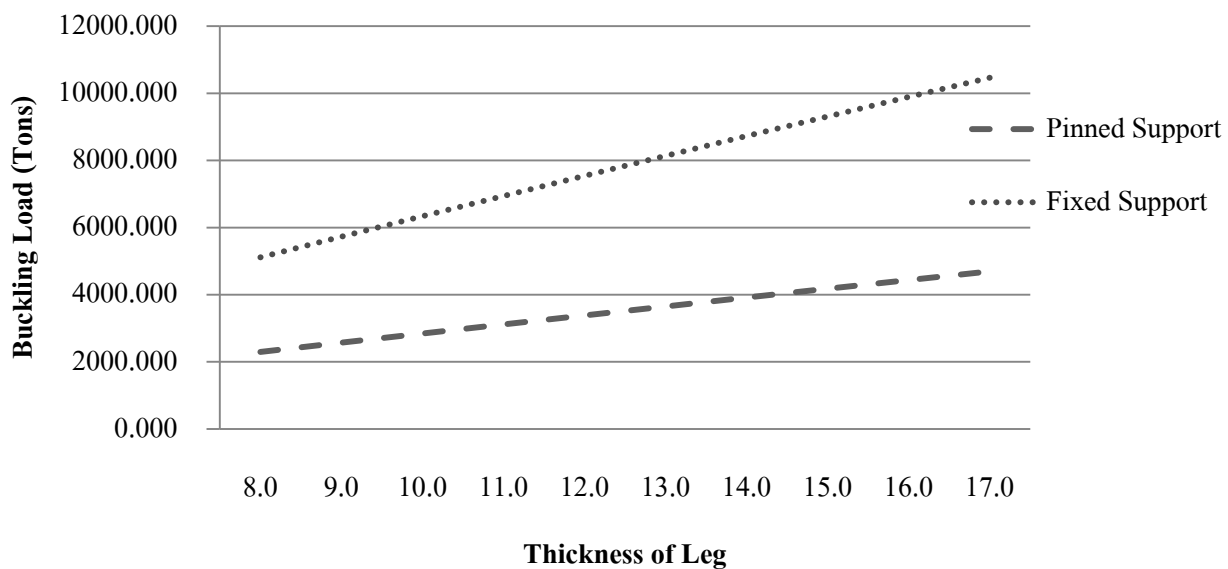
กำหนดให้ความสูงและมุมของขารองรับฐานมีค่าคงที่ ส่วนความหนาของขารองรับฐานมีการแปรผัน ในช่วง 8-17 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2.7 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2.4 และรูปที่ 4.2.8



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

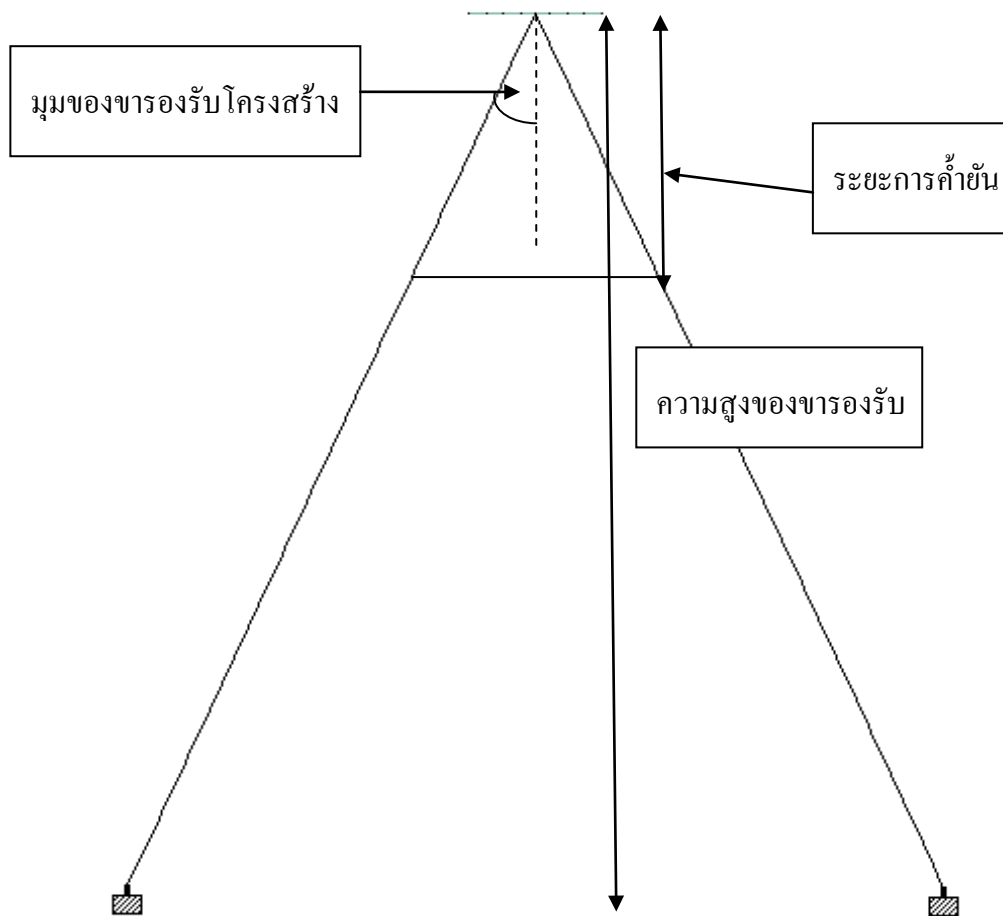


รูปที่ 4.2.8 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

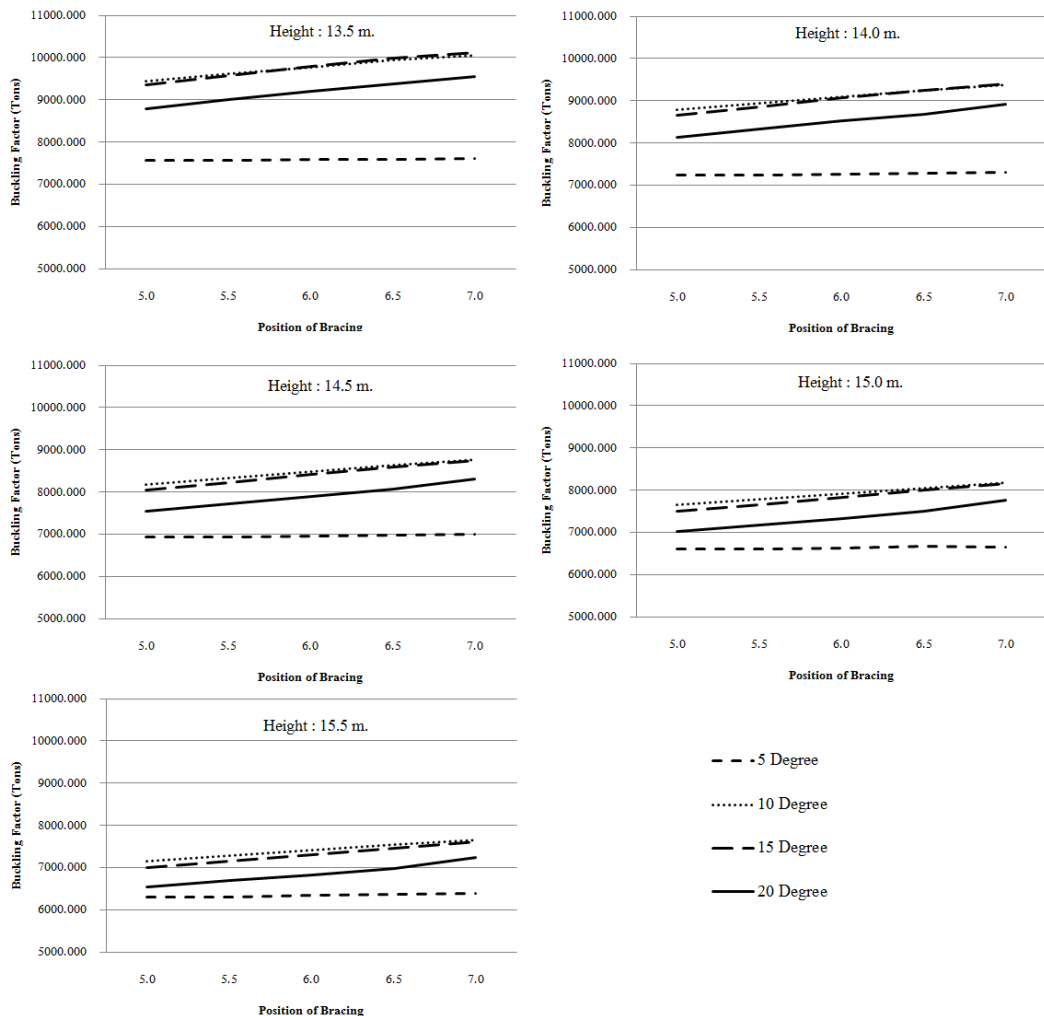
จากผลการศึกษาตามตารางที่ 4.2.4 และรูปที่ 4.2.8 พบว่า การเพิ่มความหนาของขารองรับโครงสร้าง ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกวิกฤติเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกวิกฤติในโครงสร้างที่มีจตุรรองรับแบบยึดแน่นจะมีค่ามากกว่าโครงสร้างที่มีจตุรรองรับแบบยึดหมุน โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกวิกฤติต่อความหนาของขารองรับ 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



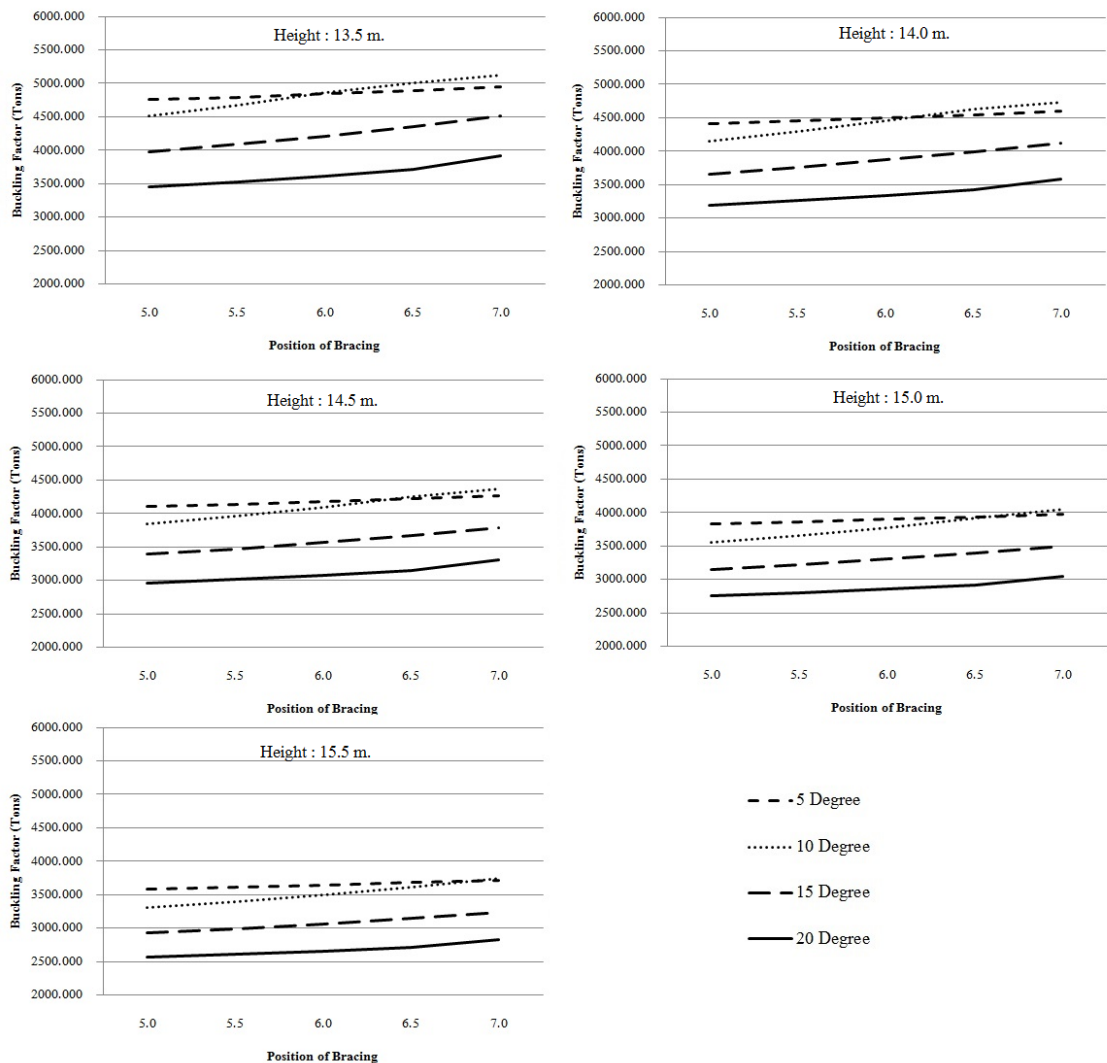
รูปที่ 4.2.10 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นที่มีผลต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ

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

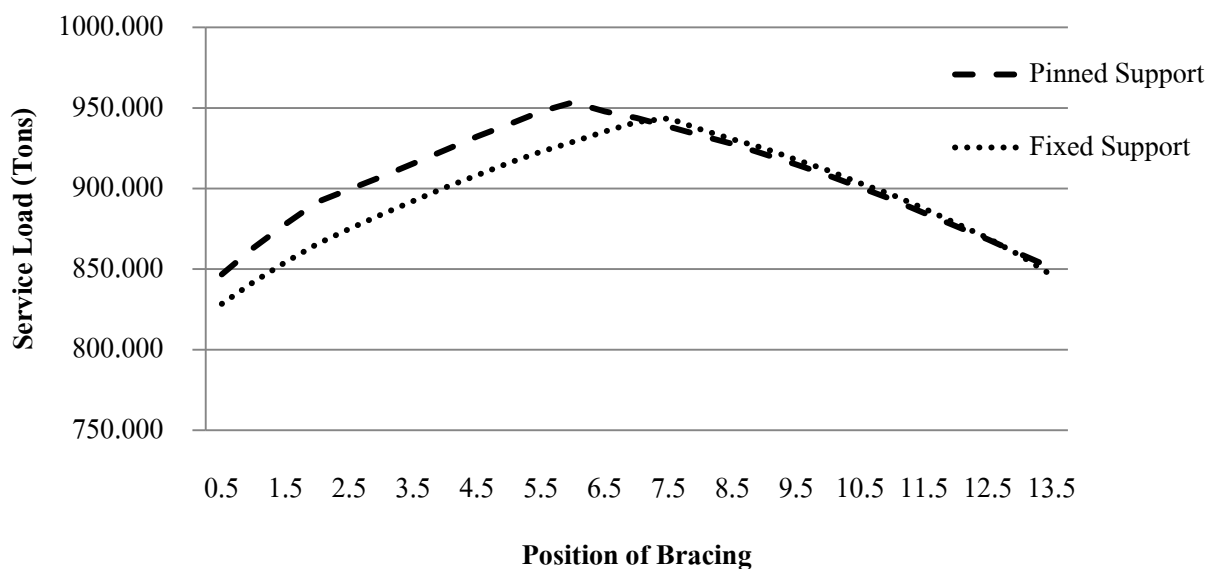
กำหนดให้ความสูงของโครงสร้าง มุมและความหนาของขามีค่าคงที่ ส่วนของตำแหน่งการค้ำยัน มีการแปรผันในช่วง 0.50-13.50 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของขารองรับโครงสร้าง ดังรูปที่ 4.2.1 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.3.1 และรูปที่ 4.3.1

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

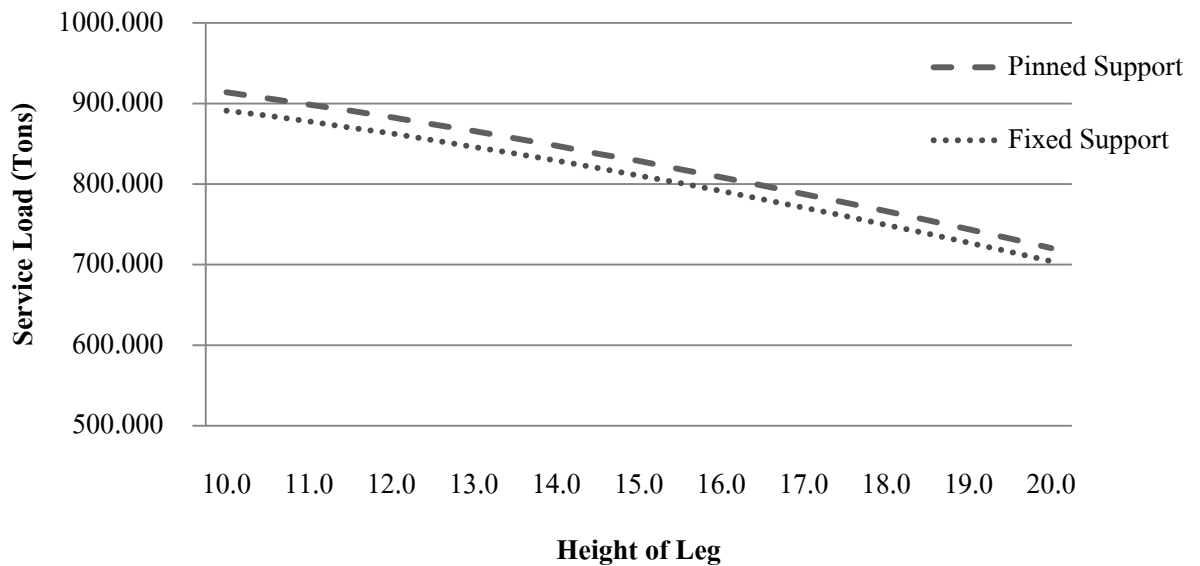
กำหนดให้มุมและความหนาของขารองรับฐานมีค่าคงที่ ส่วนของความสูงโครงสร้าง มีการแปรผัน ในช่วง 10 - 20 เมตร ดังรูปที่ 4.2.3 และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.3.2 และรูปที่ 4.3.2

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

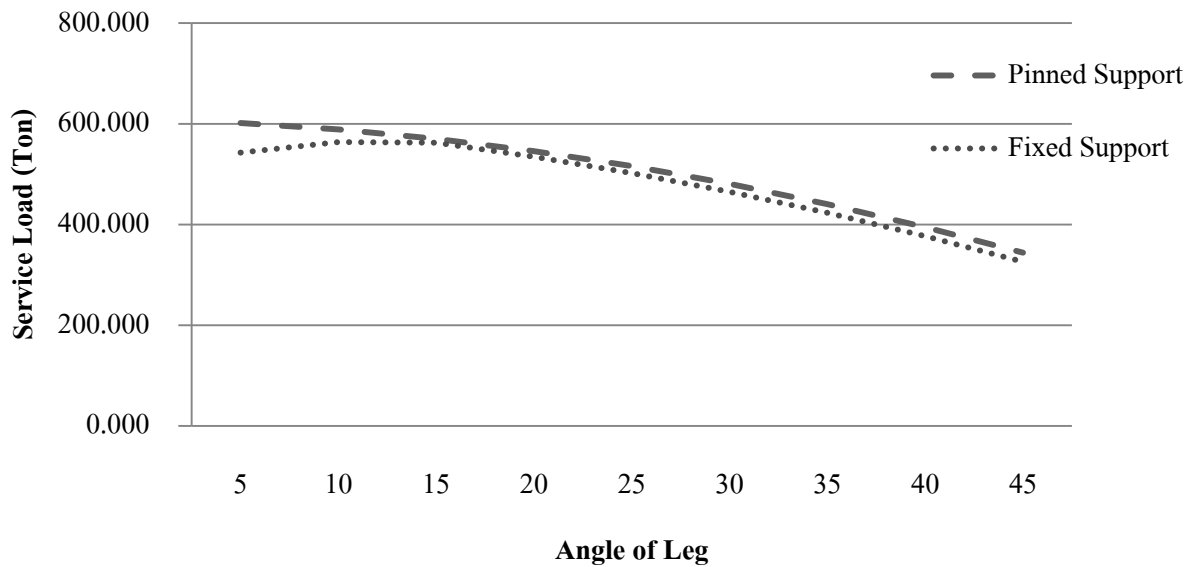
ตารางที่ 4.3.2 และรูปที่ 4.3.2 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความสูงของโครงสร้างจะทำให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างมีค่าลดลง และถ้าสังเกตจากกราฟแล้ว ความสูงของโครงสร้างจะมีผลต่อฐานรองรับแบบยึดหมุนมากกว่าแบบยึดยึดอยู่เล็กน้อยโดยจากความสูงเริ่มต้นที่ 10 เมตร กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างในฐานรองรับแบบยึดหมุนจะมีค่ามากกว่าฐานรองรับแบบยึดแน่นอยู่ที่ 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)	
		ขาน้ำ	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



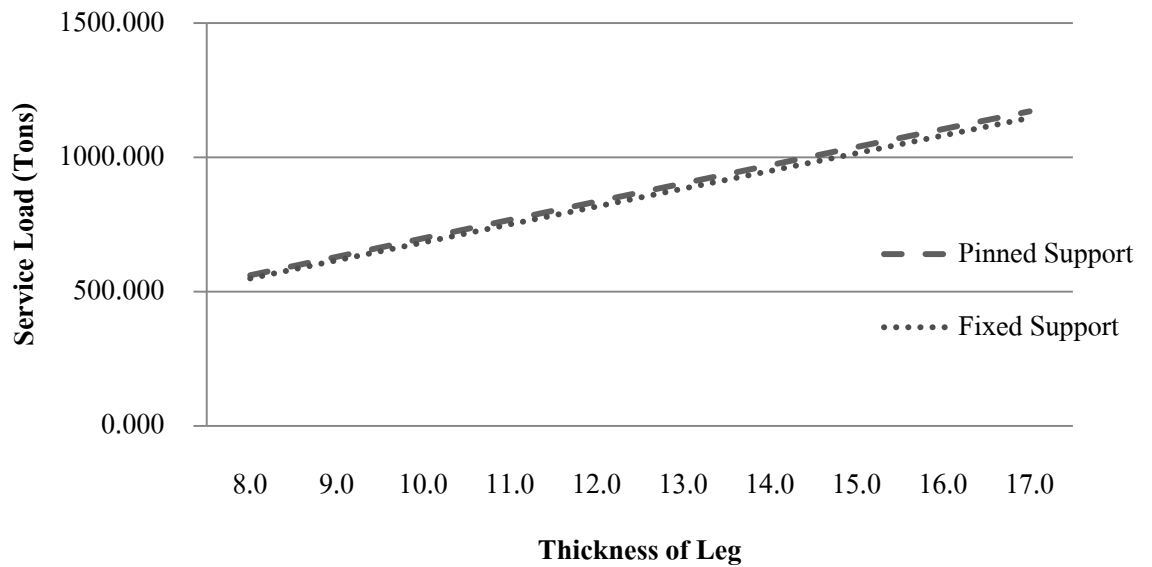
รูปที่ 4.3.3 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการวางขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ

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

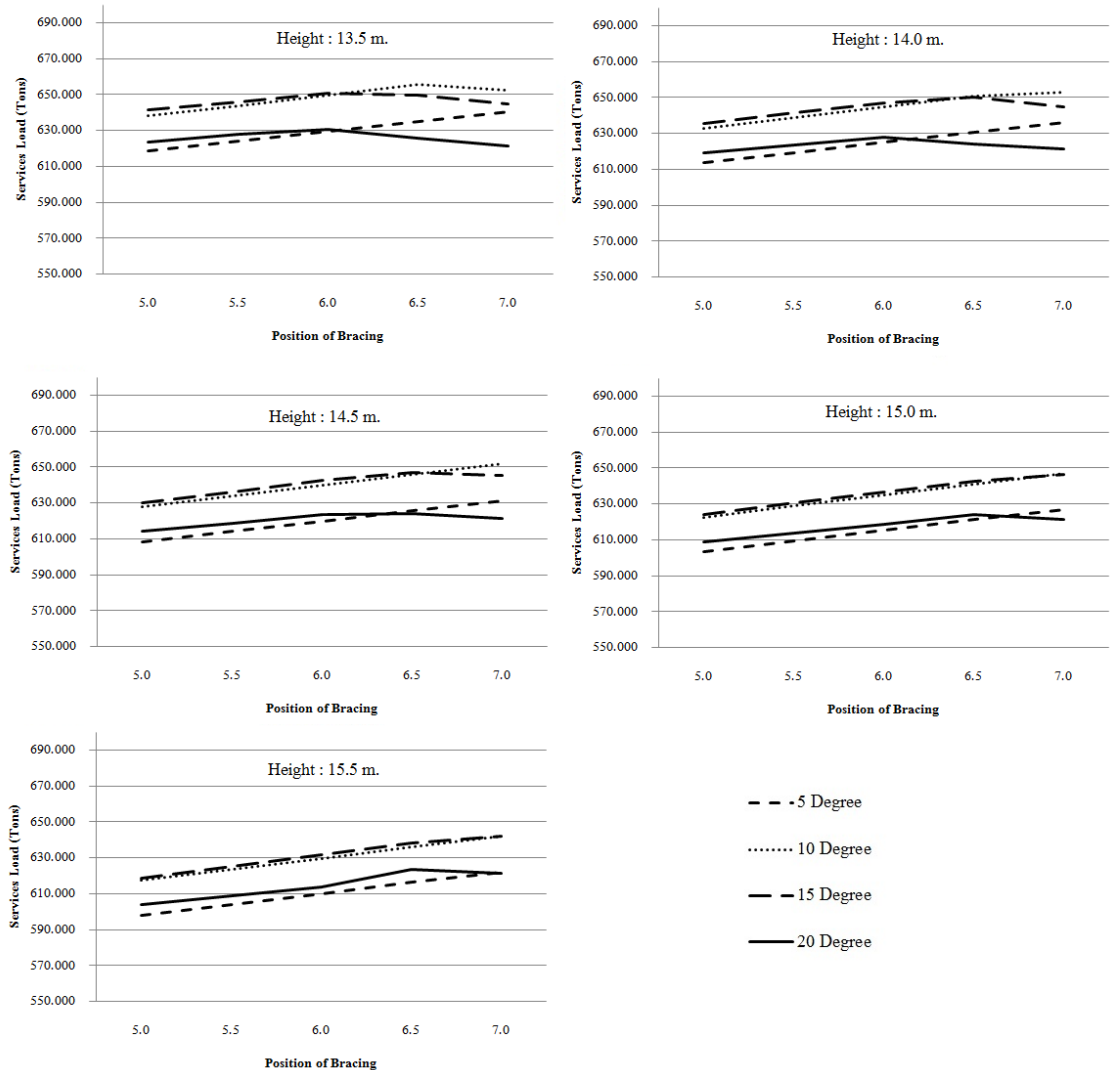


รูปที่ 4.3.4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของขารองรับฐานและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ

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

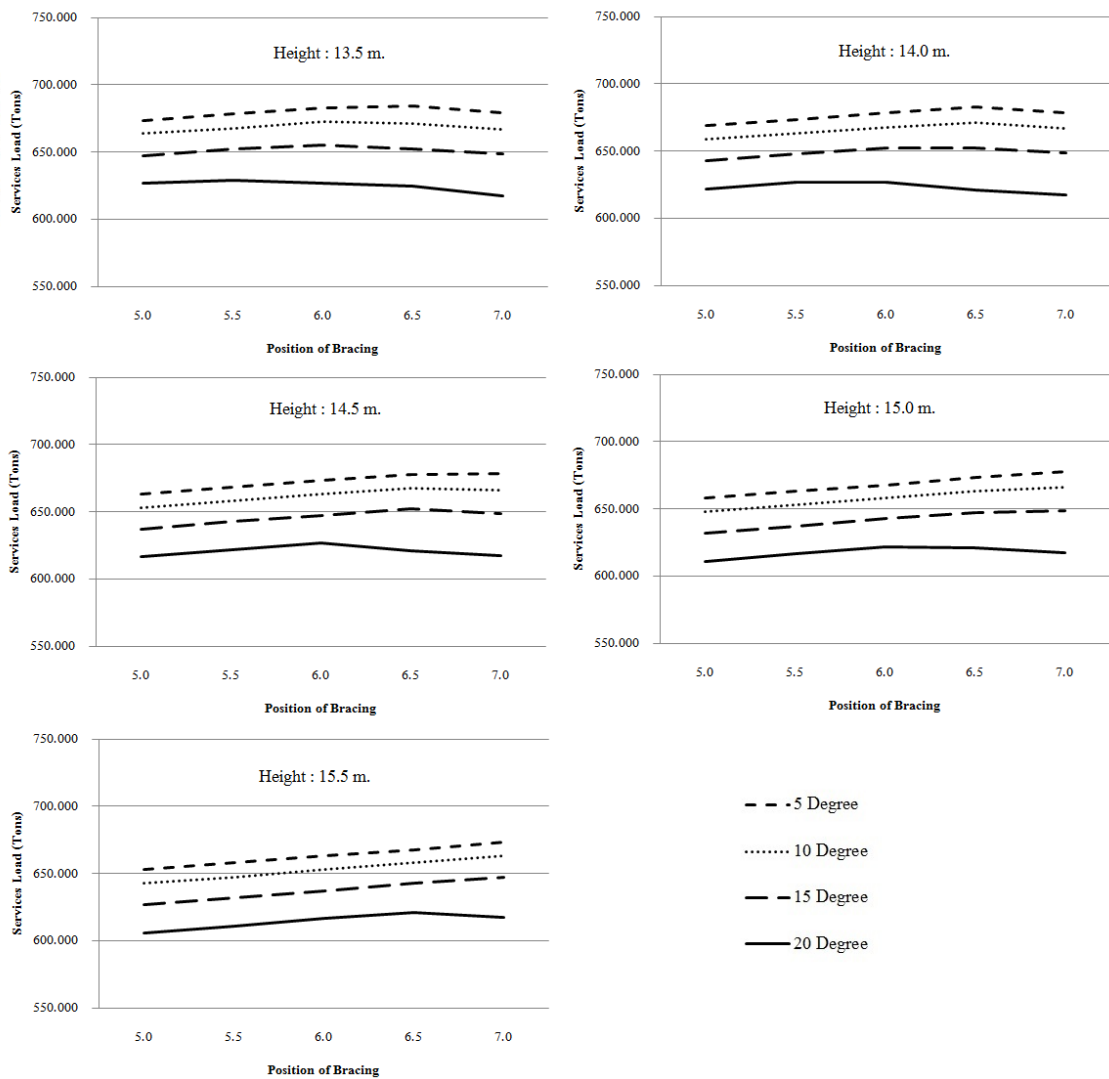


รูปที่ 4.3.5 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการค้ำยันและมุมของขารองรับฐานในความสูงของโครงสร้างใดๆสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นที่มีผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง

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

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา

โครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้ ศึกษาวิธีการหาน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับแรงของฐานรองรับโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียม(Jetty-Bridge)ด้วย STAAD.Pro และศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างได้แก่ ตำแหน่งการค้ำยัน ความสูงของโครงสร้าง มุมการวางของขาและความหนาของขา โครงสร้าง ที่มีต่อน้ำหนักวิกฤติและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างที่มีต่อค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง

จากผลการศึกษาพบว่ารูปแบบของโครงสร้างมีผลต่อค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้างดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนตำแหน่งการค้ำยันให้ต่ำลงจากจุดยอดของโครงสร้างจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะค้ำยันเพิ่มขึ้นถึงตำแหน่งที่ทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีค่าสูงสุดแล้ว การเพิ่มระยะค้ำยันให้ต่ำลงจากจุดยอดจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีค่าลดลง
2. โครงสร้างปัจจุบันที่ตั้งอยู่ในอ่าวไทยซึ่งความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มีมุมการวางขาหน้าและขาหลังวัดจากแนวดิ่งเท่ากับ 17.912 องศา และ 9.177 องศาตามลำดับ และขารองรับโครงสร้างมีความหนา 12 มิลลิเมตร จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกวิกฤติได้สูงสุดเมื่อทำการค้ำยันขาของโครงสร้างที่ตำแหน่ง 11.5 เมตรสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุน และ 8.5 เมตรสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่น
3. การเพิ่มความสูงของโครงสร้างจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกวิกฤติลดลง โดยโครงสร้างที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่นจะมีอัตราการลดลงของค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมากกว่าโครงสร้างที่มีจุดรองรับแบบยึดหมุน และเมื่อความสูงเพิ่มมากขึ้นค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติสำหรับโครงสร้างที่ เมื่อความสูงมากขึ้นค่าน้ำหนักวิกฤติสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่นและฐานรองรับแบบยึดหมุนจะเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน
4. การเพิ่มมุมการวางขาของขาโครงสร้างที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่นจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่ามุมในการวางขามีค่าไม่เกิน 10 องศาวัดจากแนวดิ่ง แต่เมื่อค่ามุมในการวางขามากกว่า 10 องศา การเพิ่มขึ้นของมุมในการวางขาจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีค่าลดลง
5. สำหรับโครงสร้างที่มีจุดรองรับแบบยึดหมุน การเพิ่มมุมการวางขาโครงสร้างจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมีแนวโน้มลดลง

6. การเพิ่มความหนาของโครงสร้างจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้างมีค่าสูงขึ้น

5.2 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างที่มีต่อค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างตามข้อกำหนด AISC ปี 1989

จากผลการศึกษาพบว่ารูปแบบของโครงสร้างมีผลต่อค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนตำแหน่งการค้ำยันให้ต่ำลงจากจุดยอดของโครงสร้างจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะค้ำยันเพิ่มขึ้นถึงตำแหน่งที่ทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบมีค่าสูงสุดแล้ว การเพิ่มระยะค้ำยันให้ต่ำลงจากจุดยอดจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบมีค่าลดลง
2. โครงสร้างปัจจุบันที่ตั้งอยู่ในอ่าวไทยซึ่งความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มีมุมการวางขาหน้าและขาหลังวัดจากแนวดิ่งเท่ากับ 17.912 องศา และ 9.177 องศาตามลำดับ และขารองรับโครงสร้างมีความหนา 12 มิลลิเมตร จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบได้สูงสุดเมื่อทำการค้ำยันของโครงสร้างที่ตำแหน่ง 5.5 เมตรสำหรับฐานรองรับแบบยึดหมุน และ 7.5 เมตรสำหรับฐานรองรับแบบยึดแน่น
3. การเพิ่มความสูงของโครงสร้างจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบลดลงทั้งฐานรองรับแบบยึดแน่นและฐานรองรับแบบยึดหมุน
4. การเพิ่มมุมการวางขารองรับโครงสร้างที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่นจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่ามุมในการวางขามีค่าไม่เกิน 10 องศาวัดจากแนวดิ่ง แต่เมื่อค่ามุมในการวางขามากกว่า 10 องศา การเพิ่มขึ้นของมุมในการวางขาจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบมีค่าลดลง
5. สำหรับโครงสร้างที่มีจุดรองรับแบบยึดหมุน การเพิ่มมุมการวางขาโครงสร้างจะทำให้ค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบมีแนวโน้มลดลง
6. การเพิ่มความหนาของโครงสร้างจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้างมีค่าสูงขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. โครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้ ใช้แรงที่กระทำในแนวดิ่งเพียงอย่างเดียวในการคั้นน้ำหนักวัตถุและกำลังของโครงสร้าง โดยจะไม่รวมแรงกระทำด้านข้างและใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่นและยึดหมุน โดยที่ไม่ได้คิดผลกระทบเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างขาโครงสร้างกับดินใต้ท้องทะเล ดังนั้นจึงควรจะมีการศึกษาในส่วนดังกล่าวเพิ่มเติม เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาและใช้เป็นแนวทางในการศึกษาของผู้ที่สนใจและนำไปใช้งานต่อไป
2. โครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้ ใช้ขนาด โครงสร้างไม่ว่าจะเป็นขาของฐานรองรับหรือขนาดของฐานรองรับจากข้อมูลที่มีอยู่ในอ่าวไทยเท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนขนาดของขารองรับฐานเมื่อความสูงเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงควรจะมีการศึกษาในส่วนดังกล่าวเพิ่มเติม เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาและใช้เป็นแนวทางในการศึกษาของผู้ที่สนใจและนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Bhattacharya, Carrington, and Aldridge, 2005, “**Buckling considerations in pile design**”, *Frontiers in Offshore Geotechnics: ISFOG 2005 – Gourvenec & Cassidy (eds)*, London, United Kingdom.
2. Bhattacharya and Tokimatsu, 2004, “Essential criteria for design of piled foundations in seismically liquefiable areas”, **Proceedings of the 39th Japan National Conference on Geotechnical Engineering**, Niigata.
3. เดชวิทย์ หลานเศรษฐา, 2013, “การศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4. American Institute of Steel Construction, inc, 1989, “**Specification for Structural Steel Buildings**”, Allowable Stress Design and Plastic Design., One East Wacker Drive, Suite 3100 Chicago
5. Alexander Chajes, 1974, “**Principles of Structural Stability Theory**”, Department of Civil Engineering University of Massachusetts, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
6. อภัย เบ็ญจพงศ์, 2012, “การศึกษาการทดสอบการโก่งเดาะของเสาเหล็กกรีดเย็นหน้าตัดท่อกว้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าปลายยึดแน่นภายใต้กำลังรับแรงอัดตามแนวแกน” , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. มงคล จีระวัชรเดช, 2011, เอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรม STAAD.PRO V8i , สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
8. Bentley Systems, Incorporated, 2014, **STAAD Foundation Advanced V8i (SELECT series 4) Help Manual** , United States
9. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, **เอกสาร Profile ภาคอุตสาหกรรม** [Online], Available:
http://www.nesdb.go.th/Portals/0/tasks/dev_ability/Profile/industry/อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและพลาสติก.pdf [10 ตุลาคม 2014]

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกฤทธิในรูปแบบโครงสร้างต่างๆ ทั้ง
ฐานรองรับแบบยึดแน่นและฐานรองรับแบบยึดหมุน

ตารางที่ ก. 1 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	5	5.0	4755.827	7575.779
		5.5	4790.969	7567.249
		6.0	4842.770	7583.423
		6.5	4896.503	7600.252
		7.0	4953.632	7616.803

ตารางที่ ก. 2 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	10	5.0	4506.100	9439.025
		5.5	4669.611	9609.173
		6.0	4857.269	9780.030
		6.5	5007.362	9937.224
		7.0	5122.721	10062.934

ตารางที่ ก. 3 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	15	5.0	3971.454	9350.638
		5.5	4085.739	9570.965
		6.0	4214.392	9787.239
		6.5	4357.238	9979.287
		7.0	4513.288	10122.651

ตารางที่ ก. 4 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	20	5.0	3455.127	8788.244
		5.5	3532.253	9002.618
		6.0	3617.775	9208.396
		6.5	3717.695	9376.726
		7.0	3916.121	9557.879

ตารางที่ ก. 5 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	5	5.0	4415.573	7248.835
		5.5	4447.692	7245.150
		6.0	4493.842	7264.309
		6.5	4542.079	7284.221
		7.0	4593.759	7304.100

ตารางที่ ก. 6 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	10	5.0	4151.267	8783.912
		5.5	4290.282	8939.632
		6.0	4449.691	9099.921
		6.5	4623.151	9253.629
		7.0	4724.661	9386.441

ตารางที่ ก. 7 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	15	5.0	3663.075	8666.398
		5.5	3760.599	8865.897
		6.0	3870.487	9067.440
		6.5	3992.796	9255.779
		7.0	4127.045	9411.445

ตารางที่ ก. 8 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	20	5.0	3191.623	8133.204
		5.5	3257.677	8327.260
		6.0	3331.095	8519.582
		6.5	3417.379	8690.044
		7.0	3590.262	8915.181

ตารางที่ ก. 9 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันใน
ฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และมุม
การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	5	5.0	4111.535	6929.424
		5.5	4140.526	6929.730
		6.0	4181.438	6951.217
		6.5	4224.442	6973.588
		7.0	4270.788	6996.233

ตารางที่ ก. 10 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และ
มุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	10	5.0	3838.067	8191.637
		5.5	3956.946	8333.428
		6.0	4093.120	8482.188
		6.5	4247.818	8629.393
		7.0	4370.851	8763.675

ตารางที่ ก. 11 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และ
 มุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	15	5.0	3390.170	8052.896
		5.5	3473.830	8232.710
		6.0	3568.140	8418.345
		6.5	3673.278	8598.374
		7.0	3789.062	8757.448

ตารางที่ ก. 12 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และ
 มุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	20	5.0	2957.759	7547.486
		5.5	3014.596	7722.277
		6.0	3077.881	7899.682
		6.5	3152.577	8065.997
		7.0	3303.278	8315.017

ตารางที่ ก. 13 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุม
 การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	5	5.0	3837.706	6616.638
		5.5	3863.950	6620.342
		6.0	3900.313	6643.602
		6.5	3938.694	6667.900
		7.0	3980.233	6646.125

ตารางที่ ก. 14 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุม
 การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	10	5.0	3560.088	7655.072
		5.5	3662.309	7783.764
		6.0	3779.260	7920.799
		6.5	3912.036	8059.713
		7.0	4055.241	8191.525

ตารางที่ ก. 15 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุม
 การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	15	5.0	3147.242	7501.210
		5.5	3219.533	7662.861
		6.0	3300.854	7832.530
		6.5	3391.603	8001.710
		7.0	3491.770	8158.547

ตารางที่ ก. 16 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุม
 การวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	20	5.0	2749.199	7022.096
		5.5	2798.329	7179.094
		6.0	2853.101	7341.350
		6.5	2917.959	7499.796
		7.0	3049.514	7758.372

ตารางที่ ก. 17 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และ
 มุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	5	5.0	3590.239	6312.629
		5.5	3614.066	6319.127
		6.0	3646.477	6343.602
		6.5	3680.792	6369.269
		7.0	3718.038	6395.840

ตารางที่ ก. 18 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และ
 มุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	10	5.0	3312.128	7167.909
		5.5	3400.482	7284.497
		6.0	3501.439	7410.093
		6.5	3615.959	7539.829
		7.0	3744.891	7666.704

ตารางที่ ก. 19 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และ
 มุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	15	5.0	2930.313	7003.642
		5.5	2992.910	7148.790
		6.0	3063.350	7303.104
		6.5	3142.004	7460.265
		7.0	3228.956	7611.204

ตารางที่ ก. 20 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยัน
 ในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และ
 มุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่ทำให้โครงสร้างเกิดการโก่งเดาะ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	20	5.0	2562.364	6549.314
		5.5	2605.021	6690.151
		6.0	2652.617	6837.747
		6.5	2709.108	6986.333
		7.0	2824.190	7244.004

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบในรูปแบบโครงสร้างต่างๆ
ทั้งฐานรองรับแบบยึดแน่นและฐานรองรับแบบยึดหมุน

ตารางที่ ข. 1 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	5	5.0	673.594	618.639
		5.5	678.382	624.108
		6.0	682.967	629.576
		6.5	684.393	634.842
		7.0	679.095	640.209

ตารางที่ ข. 2 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	10	5.0	663.712	638.061
		5.5	667.991	643.851
		6.0	672.474	649.640
		6.5	671.149	655.633
		7.0	666.769	652.383

ตารางที่ ข. 3 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	15	5.0	647.514	641.372
		5.5	652.302	646.120
		6.0	655.562	650.938
		6.5	652.302	649.704
		7.0	648.533	644.529

ตารางที่ ข. 4 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 13.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
13.5	20	5.0	626.936	623.676
		5.5	629.482	628.158
		6.0	626.936	630.705
		6.5	624.694	625.611
		7.0	617.461	621.129

ตารางที่ ข. 5 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	5	5.0	668.806	613.677
		5.5	673.187	619.348
		6.0	678.382	625.019
		6.5	682.967	630.589
		7.0	678.688	635.855

ตารางที่ ข. 6 ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	10	5.0	658.720	632.780
		5.5	662.999	638.772
		6.0	667.991	644.867
		6.5	671.047	650.758
		7.0	666.769	653.094

ตารางที่ ข. 7 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	15	5.0	642.726	635.445
		5.5	647.820	641.443
		6.0	652.302	646.766
		6.5	652.302	650.289
		7.0	648.839	644.833

ตารางที่ ข. 8 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.0	20	5.0	621.842	619.295
		5.5	626.936	623.676
		6.0	626.936	628.158
		6.5	621.231	624.287
		7.0	617.461	621.129

ตารางที่ ข. 9 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	5	5.0	663.407	608.310
		5.5	668.195	614.285
		6.0	673.187	619.956
		6.5	677.669	625.728
		7.0	678.688	631.298

ตารางที่ ข. 10 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	10	5.0	653.423	627.904
		5.5	658.007	633.795
		6.0	662.999	640.093
		6.5	667.991	645.882
		7.0	666.463	651.773

ตารางที่ ข. 11 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	15	5.0	637.429	629.853
		5.5	642.726	636.055
		6.0	647.514	642.726
		6.5	652.302	646.801
		7.0	648.839	645.543

ตารางที่ ข. 12 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
14.5	20	5.0	616.748	614.303
		5.5	621.842	618.888
		6.0	626.936	623.676
		6.5	621.231	624.287
		7.0	617.461	621.129

ตารางที่ ข. 13 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	5	5.0	658.007	603.348
		5.5	662.999	609.424
		6.0	667.991	615.298
		6.5	673.187	621.171
		7.0	677.669	626.640

ตารางที่ ข. 14 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	10	5.0	648.227	622.420
		5.5	653.015	628.819
		6.0	658.007	634.811
		6.5	662.999	640.804
		7.0	665.954	646.898

ตารางที่ ข. 15 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	15	5.0	632.131	624.363
		5.5	637.429	630.768
		6.0	642.726	636.766
		6.5	647.514	642.726
		7.0	648.839	646.155

ตารางที่ ข. 16 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.0	20	5.0	611.247	608.802
		5.5	616.748	613.692
		6.0	621.842	618.582
		6.5	621.231	624.287
		7.0	617.461	621.129

ตารางที่ ข. 17 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 5 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	5	5.0	653.015	597.981
		5.5	658.007	603.956
		6.0	662.999	610.032
		6.5	667.991	616.209
		7.0	673.187	621.880

ตารางที่ ข. 18 ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงน้ำหนักบรรทุกออกแบบโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 10 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	10	5.0	642.726	617.443
		5.5	647.514	623.740
		6.0	653.015	629.530
		6.5	658.007	635.827
		7.0	662.999	642.124

ตารางที่ ข. 19 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 15 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	15	5.0	626.936	618.669
		5.5	632.131	624.973
		6.0	637.429	631.480
		6.5	642.726	638.040
		7.0	647.514	642.084

ตารางที่ ข. 20 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของโครงสร้าง เมื่อแปรผันตำแหน่งการค้ำยันในฐานรองรับแบบยึดหมุนและยึดแน่นที่ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 15.5 เมตร และมุมการวางขาโครงสร้างเท่ากับ 20 องศาจากแนวดิ่ง

ความสูงของ โครงสร้าง (m)	มุมการวางขา ของ โครงสร้าง	ตำแหน่งการ ค้ำยัน (m)	แรงที่โครงสร้างสามารถรับได้ (Tons)	
			แบบยึดหมุน	แบบยึดแน่น
15.5	20	5.0	605.746	603.708
		5.5	611.247	608.802
		6.0	616.748	613.692
		6.5	621.231	623.676
		7.0	617.767	621.129

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างไฟล์การนำเข้าข้อมูลไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรม STAAD.PRO
และผลจากการวิเคราะห์

ตัวอย่างไฟล์การนำเข้าข้อมูลไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์น้ำหนักวิกฤติของโครงสร้าง (Buckling analysis) สำหรับโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมที่มีระยะค้ำยันที่ 6.5 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของโครงสร้างใน ความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มุมการวางขาน้ำเท่ากับ 17.912 องศาจากแนวตั้ง มุมการวาง 2 ขาหลังเท่ากับ 9.177 องศา และความหนาของขารองรับโครงสร้างเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

```

STAAD SPACE
START JOB INFORMATION
JOB NAME SI
JOB CLIENT TCJ
ENGINEER NAME TCJ
CHECKER NAME TCJ
APPROVED NAME TCJ
JOB REV 0
ENGINEER DATE 25-10-14
JOB NO 1
JOB PART 3 PILES
CHECKER DATE 25-10-14
APPROVED DATE 25-10-14
END JOB INFORMATION
INPUT WIDTH 79
UNIT METER KG
JOINT COORDINATES
17 -2.3674 -8.152 -5.1015; 18 -2.3674 -8.15189 5.1015; 21 -1.1 6.5 -2.25;
22 -1.1 6.5 -1.95; 23 -1.1 6.5 -1.65; 24 -1.1 6.5 -1.325; 25 -1.1 6.5 -1;
26 -1.1 6.5 -0.666667; 27 -1.1 6.5 -0.333333; 28 -1.1 6.5 0;
29 -1.1 6.5 0.333333; 30 -1.1 6.5 0.666667; 31 -1.1 6.5 1; 32 -1.1 6.5 1.325;
33 -1.1 6.5 1.65; 34 -1.1 6.5 1.95; 35 -1.1 6.5 2.25; 38 -0.816667 6.5 -2.25;
39 -0.816667 6.5 -1.95; 40 -0.816667 6.5 -1.65; 41 -0.816667 6.5 -1.325;
42 -0.816667 6.5 -1; 43 -0.816667 6.5 -0.666667; 44 -0.816667 6.5 -0.333333;
45 -0.816667 6.5 0; 46 -0.816667 6.5 0.333333; 47 -0.816667 6.5 0.666667;
48 -0.816667 6.5 1; 49 -0.816667 6.5 1.325; 50 -0.816667 6.5 1.65;
51 -0.816667 6.5 1.95; 52 -0.816667 6.5 2.25; 53 -0.533333 6.5 -2.25;
54 -0.533333 6.5 -1.95; 55 -0.533333 6.5 -1.65; 56 -0.533333 6.5 -1.325;

```

57 -0.533333 6.5 -1; 58 -0.533333 6.5 -0.666667; 59 -0.533333 6.5 -0.333333;
60 -0.533333 6.5 0; 61 -0.533333 6.5 0.333333; 62 -0.533333 6.5 0.666667;
63 -0.533 6.5 1; 64 -0.533333 6.5 1.325; 65 -0.533333 6.5 1.65;
66 -0.533333 6.5 1.95; 67 -0.533333 6.5 2.25; 70 -0.25 6.5 -2.25;
71 -0.25 6.5 -1.95; 73 -0.25 6.5 -1.325; 74 -0.25 6.5 -1;
75 -0.25 6.5 -0.666667; 76 -0.25 6.5 -0.333333; 77 -0.25 6.5 0;
78 -0.25 6.5 0.333333; 79 -0.25 6.5 0.666667; 80 -0.25 6.5 1;
81 -0.25 6.5 1.325; 83 -0.25 6.5 1.95; 84 -0.25 6.5 2.25; 87 0 6.5 -2.25;
88 0 6.5 -1.95; 89 0 6.5 -1.65; 90 0 6.5 -1.325; 91 0 6.5 -1;
92 0 6.5 -0.666667; 93 0 6.5 -0.333333; 94 0 6.5 0; 95 0 6.5 0.333333;
96 0 6.5 0.666667; 97 0 6.5 1; 98 0 6.5 1.325; 99 0 6.5 1.65; 100 0 6.5 1.95;
101 0 6.5 2.25; 103 0.25 6.5 -2.25; 104 0.25 6.5 -1.95; 106 0.25 6.5 -1.325;
107 0.25 6.5 -1; 108 0.25 6.5 -0.666667; 109 0.25 6.5 -0.333333;
110 0.25 6.5 0; 111 0.25 6.5 0.333333; 112 0.25 6.5 0.666667; 113 0.25 6.5 1;
114 0.25 6.5 1.325; 116 0.25 6.5 1.95; 117 0.25 6.5 2.25;
118 0.533333 6.5 -2.25; 119 0.533333 6.5 -1.95; 120 0.533333 6.5 -1.65;
121 0.533333 6.5 -1.325; 122 0.533333 6.5 -1; 123 0.533333 6.5 -0.666667;
124 0.533333 6.5 -0.333333; 125 0.533333 6.5 0; 126 0.533333 6.5 0.333333;
127 0.533333 6.5 0.666667; 128 0.533333 6.5 1; 129 0.533333 6.5 1.325;
130 0.533333 6.5 1.65; 131 0.533333 6.5 1.95; 132 0.533333 6.5 2.25;
133 0.816667 6.5 -2.25; 134 0.816667 6.5 -1.95; 135 0.816667 6.5 -1.65;
136 0.816667 6.5 -1.325; 137 0.816667 6.5 -1; 138 0.816667 6.5 1;
139 0.816667 6.5 1.325; 140 0.816667 6.5 1.65; 141 0.816667 6.5 1.95;
142 0.816667 6.5 2.25; 143 0.825 6.5 -1; 144 0.825 6.5 -0.666667;
145 0.825 6.5 -0.333333; 146 0.825 6.5 0; 147 0.825 6.5 0.333333;
148 0.825 6.5 0.666667; 149 0.825 6.5 1; 151 1.1 6.5 -2.25; 152 1.1 6.5 -1.95;
153 1.1 6.5 -1.65; 154 1.1 6.5 -1.325; 155 1.1 6.5 -1; 156 1.1 6.5 -0.666667;
157 1.1 6.5 -0.333333; 158 1.1 6.5 0; 159 1.1 6.5 0.333333;
160 1.1 6.5 0.666667; 161 1.1 6.5 1; 162 1.1 6.5 1.325; 163 1.1 6.5 1.65;
164 1.1 6.5 1.95; 165 1.1 6.5 2.25; 168 4.7364 -8.15206 0; 245 -0.25 6.5 -1.65;
255 -0.25 6.5 1.65; 331 0.25 6.5 -1.65; 341 0.25 6.5 1.65;
7001 -1.05026 0 -2.81932; 7002 -1.05026 0 2.81932; 7003 2.10107 0 0;
7004 -1.08019 -0.185273 -2.87119; 7005 -1.11013 -0.370545 -2.92306;
7006 -1.14006 -0.555818 -2.97492; 7007 -1.17 -0.741091 -3.02679;
7008 -1.19993 -0.926364 -3.07866; 7009 -1.22987 -1.11164 -3.13053;
7010 -1.2598 -1.29691 -3.18239; 7011 -1.28974 -1.48218 -3.23426;

7012 -1.31967 -1.66745 -3.28613; 7013 -1.34961 -1.85273 -3.338;
7014 -1.37954 -2.038 -3.38986; 7015 -1.40948 -2.22327 -3.44173;
7016 -1.43941 -2.40855 -3.4936; 7017 -1.46935 -2.59382 -3.54547;
7018 -1.49928 -2.77909 -3.59734; 7019 -1.52922 -2.96436 -3.6492;
7020 -1.55915 -3.14964 -3.70107; 7021 -1.58909 -3.33491 -3.75294;
7022 -1.61902 -3.52018 -3.80481; 7023 -1.64896 -3.70545 -3.85667;
7024 -1.67889 -3.89073 -3.90854; 7025 -1.70883 -4.076 -3.96041;
7026 -1.73876 -4.26127 -4.01228; 7027 -1.7687 -4.44655 -4.06415;
7028 -1.79863 -4.63182 -4.11601; 7029 -1.82857 -4.81709 -4.16788;
7030 -1.85851 -5.00236 -4.21975; 7031 -1.88844 -5.18764 -4.27162;
7032 -1.91838 -5.37291 -4.32348; 7033 -1.94831 -5.55818 -4.37535;
7034 -1.97824 -5.74345 -4.42722; 7035 -2.00818 -5.92873 -4.47909;
7036 -2.03812 -6.114 -4.53095; 7037 -2.06805 -6.29927 -4.58282;
7038 -2.09799 -6.48455 -4.63469; 7039 -2.12792 -6.66982 -4.68656;
7040 -2.15785 -6.85509 -4.73843; 7041 -2.18779 -7.04036 -4.79029;
7042 -2.21772 -7.22564 -4.84216; 7043 -2.24766 -7.41091 -4.89403;
7044 -2.2776 -7.59618 -4.9459; 7045 -2.30753 -7.78146 -4.99776;
7046 -2.33747 -7.96673 -5.04963; 7047 -1.08019 -0.18527 2.87119;
7048 -1.11013 -0.37054 2.92306; 7049 -1.14006 -0.55581 2.97492;
7050 -1.17 -0.74108 3.02679; 7051 -1.19993 -0.92635 3.07866;
7052 -1.22987 -1.11162 3.13053; 7053 -1.2598 -1.29689 3.18239;
7054 -1.28974 -1.48216 3.23426; 7055 -1.31967 -1.66743 3.28613;
7056 -1.34961 -1.8527 3.338; 7057 -1.37954 -2.03797 3.38986;
7058 -1.40948 -2.22324 3.44173; 7059 -1.43941 -2.40851 3.4936;
7060 -1.46935 -2.59378 3.54547; 7061 -1.49928 -2.77905 3.59734;
7062 -1.52922 -2.96432 3.6492; 7063 -1.55915 -3.14959 3.70107;
7064 -1.58909 -3.33486 3.75294; 7065 -1.61902 -3.52013 3.80481;
7066 -1.64896 -3.7054 3.85667; 7067 -1.67889 -3.89067 3.90854;
7068 -1.70883 -4.07594 3.96041; 7069 -1.73876 -4.26121 4.01228;
7070 -1.7687 -4.44649 4.06415; 7071 -1.79863 -4.63176 4.11601;
7072 -1.82857 -4.81703 4.16788; 7073 -1.85851 -5.0023 4.21975;
7074 -1.88844 -5.18757 4.27162; 7075 -1.91838 -5.37284 4.32348;
7076 -1.94831 -5.55811 4.37535; 7077 -1.97824 -5.74338 4.42722;
7078 -2.00818 -5.92865 4.47909; 7079 -2.03812 -6.11392 4.53095;
7080 -2.06805 -6.29919 4.58282; 7081 -2.09799 -6.48446 4.63469;
7082 -2.12792 -6.66973 4.68656; 7083 -2.15785 -6.855 4.73843;

7084 -2.18779 -7.04027 4.79029; 7085 -2.21772 -7.22554 4.84216;
7086 -2.24766 -7.41081 4.89403; 7087 -2.2776 -7.59608 4.9459;
7088 -2.30753 -7.78135 4.99776; 7089 -2.33747 -7.96662 5.04963;
7090 4.67651 -7.96679 0; 7091 4.61661 -7.78151 0; 7092 4.55672 -7.59624 0;
7093 4.49682 -7.41096 0; 7094 4.43693 -7.22569 0; 7095 4.37704 -7.04041 0;
7096 4.31714 -6.85514 0; 7097 4.25725 -6.66987 0; 7098 4.19736 -6.48459 0;
7099 4.13746 -6.29932 0; 7100 4.07757 -6.11404 0; 7101 4.01767 -5.92877 0;
7102 3.95778 -5.7435 0; 7103 3.89789 -5.55822 0; 7104 3.83799 -5.37295 0;
7105 3.7781 -5.18767 0; 7106 3.7182 -5.0024 0; 7107 3.65831 -4.81713 0;
7108 3.59842 -4.63185 0; 7109 3.53852 -4.44658 0; 7110 3.47863 -4.2613 0;
7111 3.41874 -4.07603 0; 7112 3.35884 -3.89076 0; 7113 3.29895 -3.70548 0;
7114 3.23905 -3.52021 0; 7115 3.17916 -3.33493 0; 7116 3.11927 -3.14966 0;
7117 3.05937 -2.96439 0; 7118 2.99948 -2.77911 0; 7119 2.93958 -2.59384 0;
7120 2.87969 -2.40856 0; 7121 2.8198 -2.22329 0; 7122 2.7599 -2.03801 0;
7123 2.70001 -1.85274 0; 7124 2.64011 -1.66747 0; 7125 2.58022 -1.48219 0;
7126 2.52033 -1.29692 0; 7127 2.46043 -1.11164 0; 7128 2.40054 -0.926371 0;
7129 2.34065 -0.741096 0; 7130 2.28075 -0.555822 0; 7131 2.22086 -0.370548 0;
7132 2.16096 -0.185274 0; 7133 -1.05109 -0.00514646 -2.82076;
7134 -1.05192 -0.0102929 -2.8222; 7135 -1.05275 -0.0154394 -2.82364;
7136 -1.05359 -0.0205859 -2.82508; 7137 -1.05442 -0.0257323 -2.82652;
7138 -1.05525 -0.0308788 -2.82796; 7139 -1.05608 -0.0360253 -2.82941;
7140 -1.05691 -0.0411717 -2.83085; 7141 -1.05774 -0.0463182 -2.83229;
7142 -1.05858 -0.0514647 -2.83373; 7143 -1.05941 -0.0566111 -2.83517;
7144 -1.06024 -0.0617576 -2.83661; 7145 -1.06107 -0.066904 -2.83805;
7146 -1.0619 -0.0720505 -2.83949; 7147 -1.06273 -0.077197 -2.84093;
7148 -1.06356 -0.0823434 -2.84237; 7149 -1.0644 -0.0874899 -2.84381;
7150 -1.06523 -0.0926364 -2.84525; 7151 -1.06606 -0.0977828 -2.84669;
7152 -1.06689 -0.102929 -2.84814; 7153 -1.06772 -0.108076 -2.84958;
7154 -1.06855 -0.113222 -2.85102; 7155 -1.06939 -0.118369 -2.85246;
7156 -1.07022 -0.123515 -2.8539; 7157 -1.07105 -0.128662 -2.85534;
7158 -1.07188 -0.133808 -2.85678; 7159 -1.07271 -0.138955 -2.85822;
7160 -1.07354 -0.144101 -2.85966; 7161 -1.07437 -0.149247 -2.8611;
7162 -1.07521 -0.154394 -2.86254; 7163 -1.07604 -0.15954 -2.86398;
7164 -1.07687 -0.164687 -2.86542; 7165 -1.0777 -0.169833 -2.86687;
7166 -1.07853 -0.17498 -2.86831; 7167 -1.07936 -0.180126 -2.86975;
7168 -0.0291739 6.31944 -1.05054; 7169 -0.0583478 6.13889 -1.10107;

7170 -0.0875217 5.95833 -1.15161; 7171 -0.116696 5.77778 -1.20215;
7172 -0.145869 5.59722 -1.25268; 7173 -0.175043 5.41667 -1.30322;
7174 -0.204217 5.23611 -1.35376; 7175 -0.233391 5.05556 -1.40429;
7176 -0.262565 4.875 -1.45483; 7177 -0.291739 4.69444 -1.50537;
7178 -0.320913 4.51389 -1.5559; 7179 -0.350087 4.33333 -1.60644;
7180 -0.379261 4.15278 -1.65698; 7181 -0.408434 3.97222 -1.70751;
7182 -0.437608 3.79167 -1.75805; 7183 -0.466782 3.61111 -1.80859;
7184 -0.495956 3.43056 -1.85912; 7185 -0.52513 3.25 -1.90966;
7186 -0.554304 3.06944 -1.9602; 7187 -0.583478 2.88889 -2.01073;
7188 -0.612652 2.70833 -2.06127; 7189 -0.641825 2.52778 -2.11181;
7190 -0.670999 2.34722 -2.16234; 7191 -0.700173 2.16667 -2.21288;
7192 -0.729347 1.98611 -2.26342; 7193 -0.758521 1.80556 -2.31395;
7194 -0.787695 1.625 -2.36449; 7195 -0.816869 1.44444 -2.41503;
7196 -0.846043 1.26389 -2.46556; 7197 -0.875217 1.08333 -2.5161;
7198 -0.904391 0.902778 -2.56664; 7199 -0.933564 0.722222 -2.61717;
7200 -0.962738 0.541667 -2.66771; 7201 -0.991912 0.361111 -2.71825;
7202 -1.02109 0.180556 -2.76878; 7203 -0.0291739 6.31944 1.05054;
7204 -0.0583478 6.13889 1.10107; 7205 -0.0875217 5.95833 1.15161;
7206 -0.116696 5.77778 1.20215; 7207 -0.145869 5.59722 1.25268;
7208 -0.175043 5.41667 1.30322; 7209 -0.204217 5.23611 1.35376;
7210 -0.233391 5.05556 1.40429; 7211 -0.262565 4.875 1.45483;
7212 -0.291739 4.69444 1.50537; 7213 -0.320913 4.51389 1.5559;
7214 -0.350087 4.33333 1.60644; 7215 -0.379261 4.15278 1.65698;
7216 -0.408434 3.97222 1.70751; 7217 -0.437608 3.79167 1.75805;
7218 -0.466782 3.61111 1.80859; 7219 -0.495956 3.43056 1.85912;
7220 -0.52513 3.25 1.90966; 7221 -0.554304 3.06944 1.9602;
7222 -0.583478 2.88889 2.01073; 7223 -0.612652 2.70833 2.06127;
7224 -0.641825 2.52778 2.11181; 7225 -0.670999 2.34722 2.16234;
7226 -0.700173 2.16667 2.21288; 7227 -0.729347 1.98611 2.26342;
7228 -0.758521 1.80556 2.31395; 7229 -0.787695 1.625 2.36449;
7230 -0.816869 1.44444 2.41503; 7231 -0.846043 1.26389 2.46556;
7232 -0.875217 1.08333 2.5161; 7233 -0.904391 0.902778 2.56664;
7234 -0.933564 0.722222 2.61717; 7235 -0.962738 0.541667 2.66771;
7236 -0.991912 0.361111 2.71825; 7237 -1.02109 0.180556 2.76878;
7238 2.04271 0.180556 0; 7239 1.98434 0.361111 0; 7240 1.92598 0.541667 0;
7241 1.86762 0.722222 0; 7242 1.80925 0.902778 0; 7243 1.75089 1.08333 0;

7244 1.69253 1.26389 0; 7245 1.63417 1.44444 0; 7246 1.5758 1.625 0;
7247 1.51744 1.80556 0; 7248 1.45908 1.98611 0; 7249 1.40071 2.16667 0;
7250 1.34235 2.34722 0; 7251 1.28399 2.52778 0; 7252 1.22562 2.70833 0;
7253 1.16726 2.88889 0; 7254 1.1089 3.06944 0; 7255 1.05053 3.25 0;
7256 0.992172 3.43056 0; 7257 0.933809 3.61111 0; 7258 0.875446 3.79167 0;
7259 0.817083 3.97222 0; 7260 0.75872 4.15278 0; 7261 0.700357 4.33333 0;
7262 0.641994 4.51389 0; 7263 0.583631 4.69444 0; 7264 0.525267 4.875 0;
7265 0.466904 5.05556 0; 7266 0.408541 5.23611 0; 7267 0.350178 5.41667 0;
7268 0.291815 5.59722 0; 7269 0.233452 5.77778 0; 7270 0.175089 5.95833 0;
7271 0.116726 6.13889 0; 7272 0.0583631 6.31944 0;
7273 -1.08103 -0.190419 -2.87263; 7274 -1.08186 -0.195566 -2.87407;
7275 -1.08269 -0.200712 -2.87551; 7276 -1.08352 -0.205859 -2.87695;
7277 -1.08435 -0.211005 -2.87839; 7278 -1.08518 -0.216152 -2.87983;
7279 -1.08602 -0.221298 -2.88127; 7280 -1.08685 -0.226444 -2.88271;
7281 -1.08768 -0.231591 -2.88415; 7282 -1.08851 -0.236737 -2.8856;
7283 -1.08934 -0.241884 -2.88704; 7284 -1.09017 -0.24703 -2.88848;
7285 -1.091 -0.252177 -2.88992; 7286 -1.09184 -0.257323 -2.89136;
7287 -1.09267 -0.26247 -2.8928; 7288 -1.0935 -0.267616 -2.89424;
7289 -1.09433 -0.272763 -2.89568; 7290 -1.09516 -0.277909 -2.89712;
7291 -1.09599 -0.283056 -2.89856; 7292 -1.09683 -0.288202 -2.9;
7293 -1.09766 -0.293348 -2.90144; 7294 -1.09849 -0.298495 -2.90288;
7295 -1.09932 -0.303641 -2.90433; 7296 -1.10015 -0.308788 -2.90577;
7297 -1.10098 -0.313934 -2.90721; 7298 -1.10181 -0.319081 -2.90865;
7299 -1.10265 -0.324227 -2.91009; 7300 -1.10348 -0.329374 -2.91153;
7301 -1.10431 -0.33452 -2.91297; 7302 -1.10514 -0.339667 -2.91441;
7303 -1.10597 -0.344813 -2.91585; 7304 -1.1068 -0.34996 -2.91729;
7305 -1.10764 -0.355106 -2.91873; 7306 -1.10847 -0.360253 -2.92017;
7307 -1.1093 -0.365399 -2.92161; 7308 -1.05026 0 -2.61048;
7309 -1.05026 0 -2.40164; 7310 -1.05026 0 -2.1928; 7311 -1.05026 0 -1.98397;
7312 -1.05026 0 -1.77513; 7313 -1.05026 0 -1.56629; 7314 -1.05026 0 -1.35745;
7315 -1.05026 0 -1.14861; 7316 -1.05026 0 -0.939773; 7317 -1.05026 0 -0.730935;
7318 -1.05026 0 -0.522096; 7319 -1.05026 0 -0.313258;
7320 -1.05026 0 -0.104419; 7321 -1.05026 0 0.104419; 7322 -1.05026 0 0.313258;
7323 -1.05026 0 0.522096; 7324 -1.05026 0 0.730935; 7325 -1.05026 0 0.939773;
7326 -1.05026 0 1.14861; 7327 -1.05026 0 1.35745; 7328 -1.05026 0 1.56629;
7329 -1.05026 0 1.77513; 7330 -1.05026 0 1.98397; 7331 -1.05026 0 2.1928;

7332 -1.05026 0 2.40164; 7333 -1.05026 0 2.61048; 7334 -0.933544 0 2.7149;
 7335 -0.816828 0 2.61048; 7336 -0.700112 0 2.50606; 7337 -0.583396 0 2.40164;
 7338 -0.46668 0 2.29722; 7339 -0.349964 0 2.1928; 7340 -0.233248 0 2.08839;
 7341 -0.116533 0 1.98397; 7342 0.000183415 0 1.87955; 7343 0.116899 0 1.77513;
 7344 0.233615 0 1.67071; 7345 0.350331 0 1.56629; 7346 0.467047 0 1.46187;
 7347 0.583763 0 1.35745; 7348 0.700479 0 1.25303; 7349 0.817195 0 1.14861;
 7350 0.933911 0 1.04419; 7351 1.05063 0 0.939773; 7352 1.16734 0 0.835354;
 7353 1.28406 0 0.730935; 7354 1.40077 0 0.626516; 7355 1.51749 0 0.522096;
 7356 1.63421 0 0.417677; 7357 1.75092 0 0.313258; 7358 1.86764 0 0.208839;
 7359 1.98435 0 0.104419; 7360 -0.933544 0 -2.7149; 7361 -0.816828 0 -2.61048;
 7362 -0.700112 0 -2.50606; 7363 -0.583396 0 -2.40164; 7364 -0.46668 0 -2.29722;
 7365 -0.349964 0 -2.1928; 7366 -0.233248 0 -2.08839; 7367 -0.116533 0 -1.98397;
 7368 0.000183415 0 -1.87955; 7369 0.116899 0 -1.77513;
 7370 0.233615 0 -1.67071; 7371 0.350331 0 -1.56629; 7372 0.467047 0 -1.46187;
 7373 0.583763 0 -1.35745; 7374 0.700479 0 -1.25303; 7375 0.817195 0 -1.14861;
 7376 0.933911 0 -1.04419; 7377 1.05063 0 -0.939773; 7378 1.16734 0 -0.835354;
 7379 1.28406 0 -0.730935; 7380 1.40077 0 -0.626516; 7381 1.51749 0 -0.522096;
 7382 1.63421 0 -0.417677; 7383 1.75092 0 -0.313258; 7384 1.86764 0 -0.208839;
 7385 1.98435 0 -0.104419;

MEMBER INCIDENCES

132 7001 7133; 133 7002 7047; 138 7001 7308; 139 91 7168; 140 97 7203;
 143 7003 7238; 145 168 7090; 156 7002 7334; 157 7001 7360; 158 7004 7273;
 159 7005 7006; 160 7006 7007; 161 7007 7008; 162 7008 7009; 163 7009 7010;
 164 7010 7011; 165 7011 7012; 166 7012 7013; 167 7013 7014; 168 7014 7015;
 169 7015 7016; 170 7016 7017; 171 7017 7018; 172 7018 7019; 173 7019 7020;
 174 7020 7021; 175 7021 7022; 176 7022 7023; 177 7023 7024; 178 7024 7025;
 179 7025 7026; 180 7026 7027; 181 7027 7028; 182 7028 7029; 183 7029 7030;
 184 7030 7031; 185 7031 7032; 186 7032 7033; 187 7033 7034; 188 7034 7035;
 189 7035 7036; 190 7036 7037; 191 7037 7038; 192 7038 7039; 193 7039 7040;
 194 7040 7041; 195 7041 7042; 196 7042 7043; 197 7043 7044; 198 7044 7045;
 199 7045 7046; 200 7046 17; 201 7047 7048; 202 7048 7049; 203 7049 7050;
 204 7050 7051; 205 7051 7052; 206 7052 7053; 207 7053 7054; 208 7054 7055;
 209 7055 7056; 210 7056 7057; 211 7057 7058; 212 7058 7059; 213 7059 7060;
 214 7060 7061; 215 7061 7062; 216 7062 7063; 217 7063 7064; 218 7064 7065;
 219 7065 7066; 220 7066 7067; 221 7067 7068; 222 7068 7069; 223 7069 7070;
 224 7070 7071; 225 7071 7072; 226 7072 7073; 227 7073 7074; 228 7074 7075;

229 7075 7076; 230 7076 7077; 231 7077 7078; 232 7078 7079; 233 7079 7080;
234 7080 7081; 235 7081 7082; 236 7082 7083; 237 7083 7084; 238 7084 7085;
239 7085 7086; 240 7086 7087; 241 7087 7088; 242 7088 7089; 243 7089 18;
244 7090 7091; 245 7091 7092; 246 7092 7093; 247 7093 7094; 248 7094 7095;
249 7095 7096; 250 7096 7097; 251 7097 7098; 252 7098 7099; 253 7099 7100;
254 7100 7101; 255 7101 7102; 256 7102 7103; 257 7103 7104; 258 7104 7105;
259 7105 7106; 260 7106 7107; 261 7107 7108; 262 7108 7109; 263 7109 7110;
264 7110 7111; 265 7111 7112; 266 7112 7113; 267 7113 7114; 268 7114 7115;
269 7115 7116; 270 7116 7117; 271 7117 7118; 272 7118 7119; 273 7119 7120;
274 7120 7121; 275 7121 7122; 276 7122 7123; 277 7123 7124; 278 7124 7125;
279 7125 7126; 280 7126 7127; 281 7127 7128; 282 7128 7129; 283 7129 7130;
284 7130 7131; 285 7131 7132; 286 7132 7003; 287 7133 7134; 288 7134 7135;
289 7135 7136; 290 7136 7137; 291 7137 7138; 292 7138 7139; 293 7139 7140;
294 7140 7141; 295 7141 7142; 296 7142 7143; 297 7143 7144; 298 7144 7145;
299 7145 7146; 300 7146 7147; 301 7147 7148; 302 7148 7149; 303 7149 7150;
304 7150 7151; 305 7151 7152; 306 7152 7153; 307 7153 7154; 308 7154 7155;
309 7155 7156; 310 7156 7157; 311 7157 7158; 312 7158 7159; 313 7159 7160;
314 7160 7161; 315 7161 7162; 316 7162 7163; 317 7163 7164; 318 7164 7165;
319 7165 7166; 320 7166 7167; 321 7167 7004; 322 7168 7169; 323 7169 7170;
324 7170 7171; 325 7171 7172; 326 7172 7173; 327 7173 7174; 328 7174 7175;
329 7175 7176; 330 7176 7177; 331 7177 7178; 332 7178 7179; 333 7179 7180;
334 7180 7181; 335 7181 7182; 336 7182 7183; 337 7183 7184; 338 7184 7185;
339 7185 7186; 340 7186 7187; 341 7187 7188; 342 7188 7189; 343 7189 7190;
344 7190 7191; 345 7191 7192; 346 7192 7193; 347 7193 7194; 348 7194 7195;
349 7195 7196; 350 7196 7197; 351 7197 7198; 352 7198 7199; 353 7199 7200;
354 7200 7201; 355 7201 7202; 356 7202 7001; 357 7203 7204; 358 7204 7205;
359 7205 7206; 360 7206 7207; 361 7207 7208; 362 7208 7209; 363 7209 7210;
364 7210 7211; 365 7211 7212; 366 7212 7213; 367 7213 7214; 368 7214 7215;
369 7215 7216; 370 7216 7217; 371 7217 7218; 372 7218 7219; 373 7219 7220;
374 7220 7221; 375 7221 7222; 376 7222 7223; 377 7223 7224; 378 7224 7225;
379 7225 7226; 380 7226 7227; 381 7227 7228; 382 7228 7229; 383 7229 7230;
384 7230 7231; 385 7231 7232; 386 7232 7233; 387 7233 7234; 388 7234 7235;
389 7235 7236; 390 7236 7237; 391 7237 7002; 392 7238 7239; 393 7239 7240;
394 7240 7241; 395 7241 7242; 396 7242 7243; 397 7243 7244; 398 7244 7245;
399 7245 7246; 400 7246 7247; 401 7247 7248; 402 7248 7249; 403 7249 7250;
404 7250 7251; 405 7251 7252; 406 7252 7253; 407 7253 7254; 408 7254 7255;

409 7255 7256; 410 7256 7257; 411 7257 7258; 412 7258 7259; 413 7259 7260;
 414 7260 7261; 415 7261 7262; 416 7262 7263; 417 7263 7264; 418 7264 7265;
 419 7265 7266; 420 7266 7267; 421 7267 7268; 422 7268 7269; 423 7269 7270;
 424 7270 7271; 425 7271 7272; 426 7272 94; 427 7273 7274; 428 7274 7275;
 429 7275 7276; 430 7276 7277; 431 7277 7278; 432 7278 7279; 433 7279 7280;
 434 7280 7281; 435 7281 7282; 436 7282 7283; 437 7283 7284; 438 7284 7285;
 439 7285 7286; 440 7286 7287; 441 7287 7288; 442 7288 7289; 443 7289 7290;
 444 7290 7291; 445 7291 7292; 446 7292 7293; 447 7293 7294; 448 7294 7295;
 449 7295 7296; 450 7296 7297; 451 7297 7298; 452 7298 7299; 453 7299 7300;
 454 7300 7301; 455 7301 7302; 456 7302 7303; 457 7303 7304; 458 7304 7305;
 459 7305 7306; 460 7306 7307; 461 7307 7005; 462 7308 7309; 463 7309 7310;
 464 7310 7311; 465 7311 7312; 466 7312 7313; 467 7313 7314; 468 7314 7315;
 469 7315 7316; 470 7316 7317; 471 7317 7318; 472 7318 7319; 473 7319 7320;
 474 7320 7321; 475 7321 7322; 476 7322 7323; 477 7323 7324; 478 7324 7325;
 479 7325 7326; 480 7326 7327; 481 7327 7328; 482 7328 7329; 483 7329 7330;
 484 7330 7331; 485 7331 7332; 486 7332 7333; 487 7333 7002; 488 7334 7335;
 489 7335 7336; 490 7336 7337; 491 7337 7338; 492 7338 7339; 493 7339 7340;
 494 7340 7341; 495 7341 7342; 496 7342 7343; 497 7343 7344; 498 7344 7345;
 499 7345 7346; 500 7346 7347; 501 7347 7348; 502 7348 7349; 503 7349 7350;
 504 7350 7351; 505 7351 7352; 506 7352 7353; 507 7353 7354; 508 7354 7355;
 509 7355 7356; 510 7356 7357; 511 7357 7358; 512 7358 7359; 513 7359 7003;
 514 7360 7361; 515 7361 7362; 516 7362 7363; 517 7363 7364; 518 7364 7365;
 519 7365 7366; 520 7366 7367; 521 7367 7368; 522 7368 7369; 523 7369 7370;
 524 7370 7371; 525 7371 7372; 526 7372 7373; 527 7373 7374; 528 7374 7375;
 529 7375 7376; 530 7376 7377; 531 7377 7378; 532 7378 7379; 533 7379 7380;
 534 7380 7381; 535 7381 7382; 536 7382 7383; 537 7383 7384; 538 7384 7385;
 539 7385 7003;

ELEMENT INCIDENCES SHELL

10 21 22 39 38; 11 22 23 40 39; 12 23 24 41 40; 13 24 25 42 41; 14 25 26 43 42;
 15 26 27 44 43; 16 27 28 45 44; 17 28 29 46 45; 18 29 30 47 46; 19 30 31 48 47;
 20 31 32 49 48; 21 32 33 50 49; 22 33 34 51 50; 23 34 35 52 51; 24 38 39 54 53;
 25 39 40 55 54; 26 40 41 56 55; 27 41 42 57 56; 28 42 43 58 57; 29 43 44 59 58;
 30 44 45 60 59; 31 45 46 61 60; 32 46 47 62 61; 33 47 48 63 62; 34 48 49 64 63;
 35 49 50 65 64; 36 50 51 66 65; 37 51 52 67 66; 38 53 54 71 70;
 39 54 55 245 71; 40 55 56 73 245; 41 56 57 74 73; 42 57 58 75 74;
 43 58 59 76 75; 44 59 60 77 76; 45 60 61 78 77; 46 61 62 79 78; 47 62 63 80 79;

48 63 64 81 80; 49 64 65 255 81; 50 65 66 83 255; 51 66 67 84 83;
 52 70 71 88 87; 53 71 245 89 88; 54 245 73 90 89; 55 73 74 91 90;
 56 74 75 92 91; 57 75 76 93 92; 58 76 77 94 93; 59 77 78 95 94; 60 78 79 96 95;
 61 79 80 97 96; 62 80 81 98 97; 63 81 255 99 98; 64 255 83 100 99;
 65 83 84 101 100; 66 87 88 104 103; 67 88 89 331 104; 68 89 90 106 331;
 69 90 91 107 106; 70 91 92 108 107; 71 92 93 109 108; 72 93 94 110 109;
 73 94 95 111 110; 74 95 96 112 111; 75 96 97 113 112; 76 97 98 114 113;
 77 98 99 341 114; 78 99 100 116 341; 79 100 101 117 116; 80 103 104 119 118;
 81 104 331 120 119; 82 331 106 121 120; 83 106 107 122 121; 84 107 108 123 122;
 85 108 109 124 123; 86 109 110 125 124; 87 110 111 126 125; 88 111 112 127 126;
 89 112 113 128 127; 90 113 114 129 128; 91 114 341 130 129; 92 341 116 131 130;
 93 116 117 132 131; 94 118 119 134 133; 95 119 120 135 134; 96 120 121 136 135;
 97 121 122 137 136; 98 128 129 139 138; 99 129 130 140 139;
 100 130 131 141 140; 101 131 132 142 141; 102 122 123 144 143;
 103 123 124 145 144; 104 124 125 146 145; 105 125 126 147 146;
 106 126 127 148 147; 107 127 128 149 148; 108 133 134 152 151;
 109 134 135 153 152; 110 135 136 154 153; 111 136 137 155 154;
 112 138 139 162 161; 113 139 140 163 162; 114 140 141 164 163;
 115 141 142 165 164; 116 143 144 156 155; 117 144 145 157 156;
 118 145 146 158 157; 119 146 147 159 158; 120 147 148 160 159;
 121 148 149 161 160;

START GROUP DEFINITION
 ELEMENT
 _PLATETEST 10 TO 54 57 TO 60 63 TO 68 71 TO 74 77 TO 121
 _PLATE_D 12 TO 21 26 TO 35 40 TO 49 54 TO 63 68 TO 77 82 TO 91 96 TO 99 102 -
 103 TO 107 110 TO 113 116 TO 121

MEMBER
 END GROUP DEFINITION

ELEMENT PROPERTY
 10 TO 121 THICKNESS 1.5

DEFINE MATERIAL START
 ISOTROPIC CONCRETE
 E 2.21467e+009
 POISSON 0.17
 DENSITY 2400
 ALPHA 1e-005

```

DAMP 0.05
ISOTROPIC STEEL
E 2.09e+010
POISSON 0.3
DENSITY 7850
ALPHA 1.2e-005
DAMP 0.03
END DEFINE MATERIAL
MEMBER PROPERTY JAPANESE
139 140 143 145 244 TO 286 322 TO 426 TABLE ST PIPE OD 0.7 ID 0.676
132 133 158 TO 243 287 TO 321 427 TO 461 TABLE ST PIPE OD 0.7 ID 0.676
138 156 157 462 TO 539 TABLE ST PIP406.4X9.0
CONSTANTS
MATERIAL CONCRETE MEMB 10 TO 121
MATERIAL STEEL MEMB 132 133 138 TO 140 143 145 156 TO 539
SUPPORTS
17 18 168 FIXED
SLAVE RIGID MASTER 94 JOINT 91 94 97
*
DEFINE WIND LOAD
TYPE 1
INT 0 83.08 83.08 87.98 91.95 95.83 101.74 106.63 110.5 114.38 118.35 121.21 -
123.25 HEIG 0 0.1 4.6 6.1 7.6 9.1 12.2 15.2 18 21.3 24.4 27.4 -
30.5
*
***** BASIC LOAD CASE *****
*****
LOAD 1 LOADTYPE Dead TITLE SELF WEIGHT STRUCTURE : SW
UNIT METER KN
JOINT LOAD
94 FY -1
UNIT METER KN
PERFORM BUCKLING ANALYSIS MAXSTEP 15 PRINT ALL
FINISH
*****

```

ตัวอย่างไฟล์การนำเข้าข้อมูลไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาค่าลึงรับแรงของโครงสร้างตามข้อกำหนด AISC ปี 1989 ในวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress design) สำหรับโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมที่มีระยะค้ำยันที่ 6.5 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของโครงสร้างในความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มุมการวางขาหน้าเท่ากับ 17.912 องศาจากแนวตั้ง มุมการวาง 2 ขาหลังเท่ากับ 9.177 องศา และความหนาของขารองรับโครงสร้างเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

```

STAAD SPACE
START JOB INFORMATION
JOB NAME SI
JOB CLIENT TCJ
ENGINEER NAME TCJ
CHECKER NAME TCJ
APPROVED NAME TCJ
JOB REV 0
ENGINEER DATE 25-10-14
JOB NO 1
JOB PART 3 PILES
CHECKER DATE 25-10-14
APPROVED DATE 25-10-14
END JOB INFORMATION
INPUT WIDTH 79
UNIT METER KG
JOINT COORDINATES
17 -2.3674 -8.152 -5.1015; 18 -2.3674 -8.15189 5.1015; 21 -1.1 6.5 -2.25;
22 -1.1 6.5 -1.95; 23 -1.1 6.5 -1.65; 24 -1.1 6.5 -1.325; 25 -1.1 6.5 -1;
26 -1.1 6.5 -0.666667; 27 -1.1 6.5 -0.333333; 28 -1.1 6.5 0;
29 -1.1 6.5 0.333333; 30 -1.1 6.5 0.666667; 31 -1.1 6.5 1; 32 -1.1 6.5 1.325;
33 -1.1 6.5 1.65; 34 -1.1 6.5 1.95; 35 -1.1 6.5 2.25; 38 -0.816667 6.5 -2.25;
39 -0.816667 6.5 -1.95; 40 -0.816667 6.5 -1.65; 41 -0.816667 6.5 -1.325;
42 -0.816667 6.5 -1; 43 -0.816667 6.5 -0.666667; 44 -0.816667 6.5 -0.333333;
45 -0.816667 6.5 0; 46 -0.816667 6.5 0.333333; 47 -0.816667 6.5 0.666667;
48 -0.816667 6.5 1; 49 -0.816667 6.5 1.325; 50 -0.816667 6.5 1.65;
51 -0.816667 6.5 1.95; 52 -0.816667 6.5 2.25; 53 -0.533333 6.5 -2.25;
54 -0.533333 6.5 -1.95; 55 -0.533333 6.5 -1.65; 56 -0.533333 6.5 -1.325;
57 -0.533333 6.5 -1; 58 -0.533333 6.5 -0.666667; 59 -0.533333 6.5 -0.333333;
60 -0.533333 6.5 0; 61 -0.533333 6.5 0.333333; 62 -0.533333 6.5 0.666667;

```

63 -0.533 6.5 1; 64 -0.533333 6.5 1.325; 65 -0.533333 6.5 1.65;
66 -0.533333 6.5 1.95; 67 -0.533333 6.5 2.25; 70 -0.25 6.5 -2.25;
71 -0.25 6.5 -1.95; 73 -0.25 6.5 -1.325; 74 -0.25 6.5 -1;
75 -0.25 6.5 -0.666667; 76 -0.25 6.5 -0.333333; 77 -0.25 6.5 0;
78 -0.25 6.5 0.333333; 79 -0.25 6.5 0.666667; 80 -0.25 6.5 1;
81 -0.25 6.5 1.325; 83 -0.25 6.5 1.95; 84 -0.25 6.5 2.25; 87 0 6.5 -2.25;
88 0 6.5 -1.95; 89 0 6.5 -1.65; 90 0 6.5 -1.325; 91 0 6.5 -1;
92 0 6.5 -0.666667; 93 0 6.5 -0.333333; 94 0 6.5 0; 95 0 6.5 0.333333;
96 0 6.5 0.666667; 97 0 6.5 1; 98 0 6.5 1.325; 99 0 6.5 1.65; 100 0 6.5 1.95;
101 0 6.5 2.25; 103 0.25 6.5 -2.25; 104 0.25 6.5 -1.95; 106 0.25 6.5 -1.325;
107 0.25 6.5 -1; 108 0.25 6.5 -0.666667; 109 0.25 6.5 -0.333333;
110 0.25 6.5 0; 111 0.25 6.5 0.333333; 112 0.25 6.5 0.666667; 113 0.25 6.5 1;
114 0.25 6.5 1.325; 116 0.25 6.5 1.95; 117 0.25 6.5 2.25;
118 0.533333 6.5 -2.25; 119 0.533333 6.5 -1.95; 120 0.533333 6.5 -1.65;
121 0.533333 6.5 -1.325; 122 0.533333 6.5 -1; 123 0.533333 6.5 -0.666667;
124 0.533333 6.5 -0.333333; 125 0.533333 6.5 0; 126 0.533333 6.5 0.333333;
127 0.533333 6.5 0.666667; 128 0.533333 6.5 1; 129 0.533333 6.5 1.325;
130 0.533333 6.5 1.65; 131 0.533333 6.5 1.95; 132 0.533333 6.5 2.25;
133 0.816667 6.5 -2.25; 134 0.816667 6.5 -1.95; 135 0.816667 6.5 -1.65;
136 0.816667 6.5 -1.325; 137 0.816667 6.5 -1; 138 0.816667 6.5 1;
139 0.816667 6.5 1.325; 140 0.816667 6.5 1.65; 141 0.816667 6.5 1.95;
142 0.816667 6.5 2.25; 143 0.825 6.5 -1; 144 0.825 6.5 -0.666667;
145 0.825 6.5 -0.333333; 146 0.825 6.5 0; 147 0.825 6.5 0.333333;
148 0.825 6.5 0.666667; 149 0.825 6.5 1; 151 1.1 6.5 -2.25; 152 1.1 6.5 -1.95;
153 1.1 6.5 -1.65; 154 1.1 6.5 -1.325; 155 1.1 6.5 -1; 156 1.1 6.5 -0.666667;
157 1.1 6.5 -0.333333; 158 1.1 6.5 0; 159 1.1 6.5 0.333333;
160 1.1 6.5 0.666667; 161 1.1 6.5 1; 162 1.1 6.5 1.325; 163 1.1 6.5 1.65;
164 1.1 6.5 1.95; 165 1.1 6.5 2.25; 168 4.7364 -8.15206 0; 245 -0.25 6.5 -1.65;
255 -0.25 6.5 1.65; 331 0.25 6.5 -1.65; 341 0.25 6.5 1.65;
7001 -1.05026 0 -2.81932; 7002 -1.05026 0 2.81932; 7003 2.10107 0 0;

MEMBER INCIDENCES

132 7001 17; 133 7002 18; 138 7001 7002; 139 91 7001; 140 97 7002; 143 7003 94;
145 168 7003; 157 7001 7003; 489 7002 7003;

ELEMENT INCIDENCES SHELL

10 21 22 39 38; 11 22 23 40 39; 12 23 24 41 40; 13 24 25 42 41; 14 25 26 43 42;
15 26 27 44 43; 16 27 28 45 44; 17 28 29 46 45; 18 29 30 47 46; 19 30 31 48 47;

20 31 32 49 48; 21 32 33 50 49; 22 33 34 51 50; 23 34 35 52 51; 24 38 39 54 53;
 25 39 40 55 54; 26 40 41 56 55; 27 41 42 57 56; 28 42 43 58 57; 29 43 44 59 58;
 30 44 45 60 59; 31 45 46 61 60; 32 46 47 62 61; 33 47 48 63 62; 34 48 49 64 63;
 35 49 50 65 64; 36 50 51 66 65; 37 51 52 67 66; 38 53 54 71 70;
 39 54 55 245 71; 40 55 56 73 245; 41 56 57 74 73; 42 57 58 75 74;
 43 58 59 76 75; 44 59 60 77 76; 45 60 61 78 77; 46 61 62 79 78; 47 62 63 80 79;
 48 63 64 81 80; 49 64 65 255 81; 50 65 66 83 255; 51 66 67 84 83;
 52 70 71 88 87; 53 71 245 89 88; 54 245 73 90 89; 55 73 74 91 90;
 56 74 75 92 91; 57 75 76 93 92; 58 76 77 94 93; 59 77 78 95 94; 60 78 79 96 95;
 61 79 80 97 96; 62 80 81 98 97; 63 81 255 99 98; 64 255 83 100 99;
 65 83 84 101 100; 66 87 88 104 103; 67 88 89 331 104; 68 89 90 106 331;
 69 90 91 107 106; 70 91 92 108 107; 71 92 93 109 108; 72 93 94 110 109;
 73 94 95 111 110; 74 95 96 112 111; 75 96 97 113 112; 76 97 98 114 113;
 77 98 99 341 114; 78 99 100 116 341; 79 100 101 117 116; 80 103 104 119 118;
 81 104 331 120 119; 82 331 106 121 120; 83 106 107 122 121; 84 107 108 123 122;
 85 108 109 124 123; 86 109 110 125 124; 87 110 111 126 125; 88 111 112 127 126;
 89 112 113 128 127; 90 113 114 129 128; 91 114 341 130 129; 92 341 116 131 130;
 93 116 117 132 131; 94 118 119 134 133; 95 119 120 135 134; 96 120 121 136 135;
 97 121 122 137 136; 98 128 129 139 138; 99 129 130 140 139;
 100 130 131 141 140; 101 131 132 142 141; 102 122 123 144 143;
 103 123 124 145 144; 104 124 125 146 145; 105 125 126 147 146;
 106 126 127 148 147; 107 127 128 149 148; 108 133 134 152 151;
 109 134 135 153 152; 110 135 136 154 153; 111 136 137 155 154;
 112 138 139 162 161; 113 139 140 163 162; 114 140 141 164 163;
 115 141 142 165 164; 116 143 144 156 155; 117 144 145 157 156;
 118 145 146 158 157; 119 146 147 159 158; 120 147 148 160 159;
 121 148 149 161 160;

START GROUP DEFINITION
 ELEMENT
 _PLATETEST 10 TO 54 57 TO 60 63 TO 68 71 TO 74 77 TO 121
 _PLATE_D 12 TO 21 26 TO 35 40 TO 49 54 TO 63 68 TO 77 82 TO 91 96 TO 99 102 -
 103 TO 107 110 TO 113 116 TO 121
 MEMBER
 END GROUP DEFINITION
 ELEMENT PROPERTY
 10 TO 121 THICKNESS 1.5

```

DEFINE MATERIAL START
ISOTROPIC CONCRETE
E 2.21467e+009
POISSON 0.17
DENSITY 2400
ALPHA 1e-005
DAMP 0.05
ISOTROPIC STEEL
E 2.09e+010
POISSON 0.3
DENSITY 7850
ALPHA 1.2e-005
DAMP 0.03
END DEFINE MATERIAL

MEMBER PROPERTY JAPANESE
139 140 143 145 TABLE ST PIPE OD 0.7 ID 0.676
132 133 TABLE ST PIPE OD 0.7 ID 0.676
138 157 489 TABLE ST PIP406.4X9.0

CONSTANTS
MATERIAL CONCRETE MEMB 10 TO 121
MATERIAL STEEL MEMB 132 132 133 138 TO 140 143 145 157 489

SUPPORTS
17 18 168 FIXED

SLAVE RIGID MASTER 94 JOINT 91 94 97

DEFINE WIND LOAD
TYPE 1
INT 0 83.08 83.08 87.98 91.95 95.83 101.74 106.63 110.5 114.38 118.35 121.21 -
123.25 HEIG 0 0.1 4.6 6.1 7.6 9.1 12.2 15.2 18 21.3 24.4 27.4 -
30.5
*
*
*****
***** BASIC LOAD CASE *****
*****
* <<<<< >>>>>
*****

```

```
***** SELF WEIGHT *****  
*****  
LOAD 1 LOADTYPE Dead TITLE SELF WEIGHT STRUCTURE : SW  
UNIT METER KN  
JOINT LOAD  
94 FY -9137  
PERFORM ANALYSIS  
PARAMETER 1  
CODE AISC  
FYLD 235000 ALL  
CHECK CODE ALL  
FINISH  
*****
```

ตัวอย่างผลจากการวิเคราะห์การโก่งเดาะของโครงสร้าง (Buckling analysis) สำหรับโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมที่มีระยะค้ำยันที่ 6.5 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของโครงสร้างในความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มุมการวางขาหน้าเท่ากับ 17.912 องศาจากแนวตั้ง มุมการวาง 2 ขาหลังเท่ากับ 9.177 องศา และความหนาของขารองรับโครงสร้างเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ในฐานรองรับแบบยึดแน่น

CALCULATED BUCKLING FACTORS FOR LOAD CASE 1	
MODE	BUCKLING FACTOR
1	83841.78910
2	102718.80450
3	134633.85522
4	201545.85290

ตัวอย่างผลจากการวิเคราะห์หาค่ากำลังรับแรงของโครงสร้างตามข้อกำหนด AISC ปี 1989 ในวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress design) สำหรับโครงสร้างรองรับท่อส่งปิโตรเลียมที่มีระยะค้ำยันที่ 6.5 เมตร จากตำแหน่งสูงสุดของโครงสร้างในความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 14.652 เมตร มุมการวางขาหน้าเท่ากับ 17.912 องศาจากแนวตั้ง มุมการวาง 2 ขาหลังเท่ากับ 9.177 องศา และความหนาของขารองรับโครงสร้างเท่ากับ 12 มิลลิเมตรในฐานรองรับแบบยึดแน่น

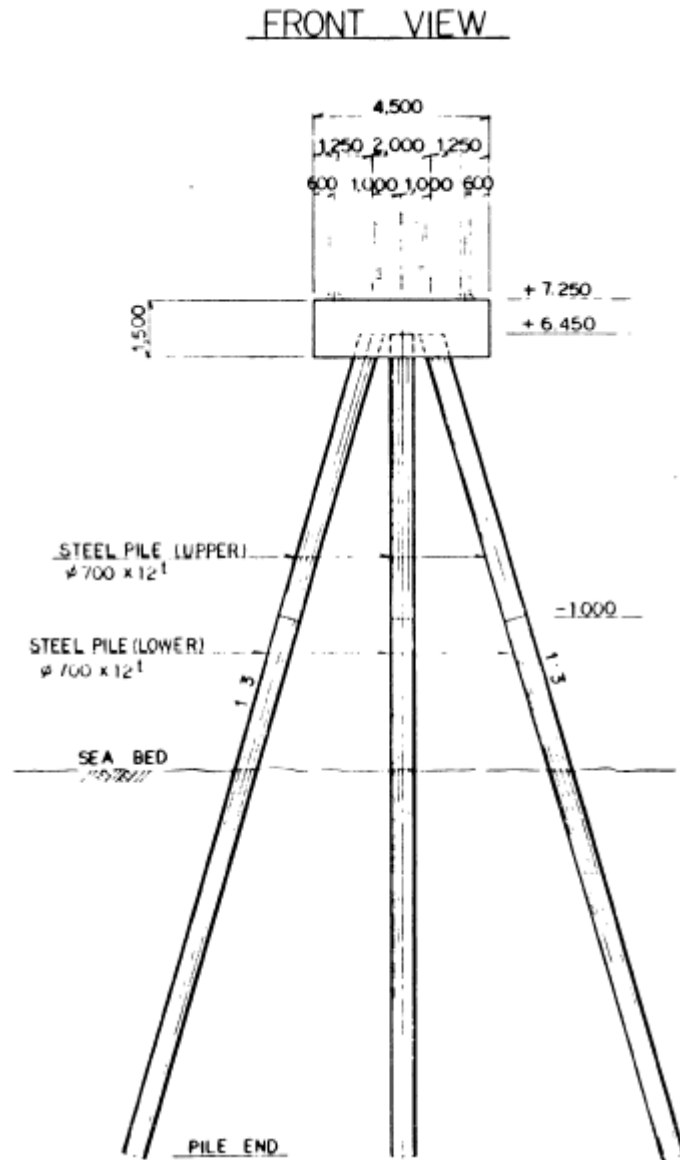
STAAD.Pro CODE CHECKING - (AISC 9TH EDITION) v1.0					

ALL UNITS ARE - KN METE (UNLESS OTHERWISE Noted)					
MEMBER	TABLE	RESULT/	CRITICAL COND/	RATIO/	LOADING/
	FX	MY	MZ	LOCATION	
=====					
132	ST PIPE	(JAPANESE SECTIONS)			
	PASS	AISC- H1-1	0.999	1	
	3215.85	C	-0.35	22.92	8.57
133	ST PIPE	(JAPANESE SECTIONS)			
	PASS	AISC- H1-1	1.000	1	

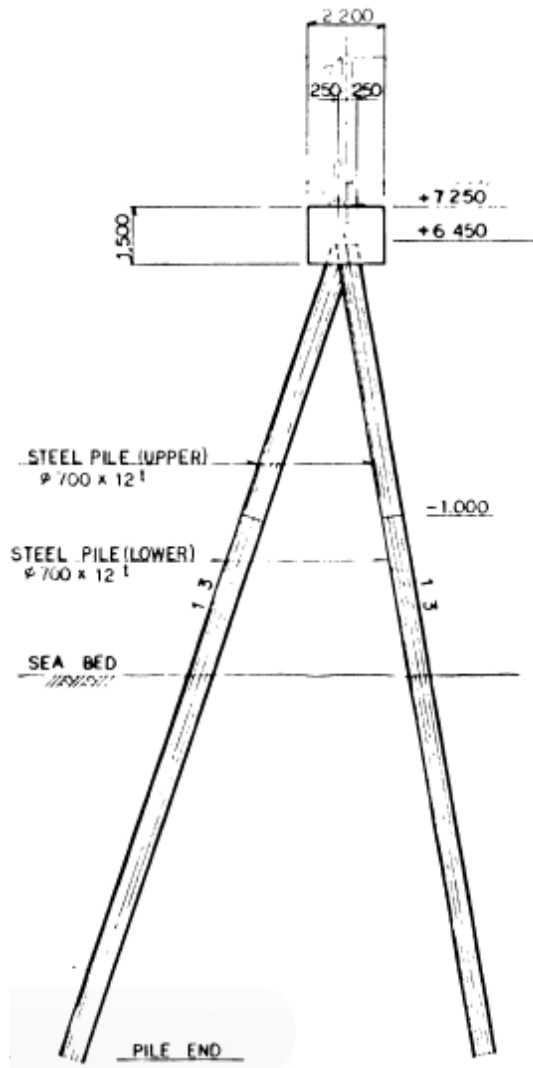
	3215.84 C	0.36	22.94	8.57
138 ST	PIP406.4X9.0		(JAPANESE SECTIONS)	
	PASS	AISC- H1-3	0.022	1
	0.70 C	0.01	-3.68	5.64
139 ST	PIP E		(JAPANESE SECTIONS)	
	PASS	AISC- H1-1	0.982	1
	3215.82 C	0.05	-28.47	0.00
140 ST	PIP E		(JAPANESE SECTIONS)	
	PASS	AISC- H1-1	0.982	1
	3215.82 C	-0.05	-28.47	0.00
143 ST	PIP E		(JAPANESE SECTIONS)	
	PASS	AISC- H1-1	0.981	1
	3213.41 C	0.00	-28.31	6.83
* 145 ST	PIP E		(JAPANESE SECTIONS)	
	FAIL	AISC- H1-1	1.000	1
	3215.06 C	0.01	23.44	0.00
157 ST	PIP406.4X9.0		(JAPANESE SECTIONS)	
	PASS	AISC- H1-3	0.036	1
	1.27 C	0.04	-5.98	0.00
489 ST	PIP406.4X9.0		(JAPANESE SECTIONS)	
	PASS	AISC- H1-3	0.036	1
	1.28 C	-0.04	-5.99	0.00

ภาคผนวก ง

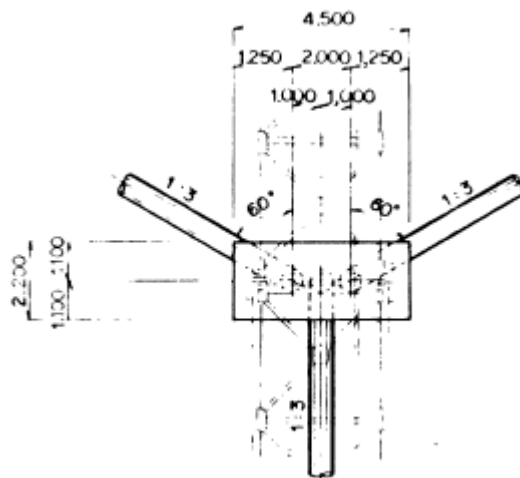
แบบโครงสร้างเก่า บริเวณ อ่าวไทย จังหวัดระยองที่นำมาวิเคราะห์



รูปที่ ง.1 รูปตัดด้านหน้าของโครงสร้าง



รูปที่ ง.2 รูปตัดด้านข้างของ โครงสร้าง



รูปที่ ง.3 รูปด้านบนของ โครงสร้าง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายธงไชย จันทสุวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด	29 กรกฎาคม 2529
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมปลาย สาขา วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนคณะราษฎรบำรุง จังหวัดยะลา พ.ศ. 2547
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2552
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2557
ประวัติการทำงาน	
	บริษัท อาร์ อี ไอ ซอฟต์แวร์ จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร พ.ศ.2553 –พ.ศ.2555
	บริษัท พีทีที เมนเทนแนนซ์ แอนด์ เอนจิเนียริง จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร พ.ศ.2555 –ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

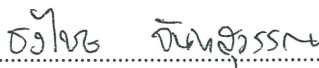
วันที่.....7.....เดือน.....มกราคม.... พ.ศ...2558....


ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....ชงไชย จันทสุวรรณ.....รหัสประจำตัว.....52430509.....เป็น
นักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ระดับ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ปริญญาโท ปริญญาเอก
หลักสูตร...วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต... สาขาวิชา...เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา...คณะ...วิศวกรรมศาสตร์...
อยู่บ้านเลขที่.. 55/16... หมู่.....4....ตรอก/ซอย.....-.....ถนน.....-.....ตำบล/แขวง...สะเตงนอก..... อำเภอ/
เขต.....เมือง.....จังหวัด.....ยะลา.....รหัสไปรษณีย์..... 95000....
เป็น “ผู้โอน”ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี
รศ. ดร.ศักดิ์มน เทพหัสดิน ณ อยุธยา ตำแหน่ง รองคณบดีฝ่ายวิจัยและวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

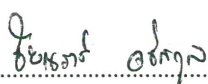
1. ข้าพเจ้าได้จัดทำโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง เรื่องนำนักวิจัยและความสามารถในการรับ
นำหน้าบรรทุกออกแบบของฐานรองรับโครงสร้างรับท่อส่งปิโตรเลียมในทะเล.....ซึ่งอยู่ในความควบคุม
ของ.....ผศ. ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล.....อาจารย์ที่ปรึกษา และ/หรือ.....
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าใน
โครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครอง
ลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง จาก
มหาวิทยาลัย
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม
ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุก
ครั้งที่มีการเผยแพร่
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือ
ดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมี
ค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อ
ยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามใน
ข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อม

กับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจาก ส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ ข้าพเจ้าทำขึ้น โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรร ผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ..........ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นายไชย ไฉนสุวรรณ)
นักศึกษา

ลงชื่อ..........ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ. ดร. สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา)
รองคณบดีฝ่ายวิจัยและวิชาการ
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ลงชื่อ..........พยาน
(ผศ. ดร. ชัยณรงค์ อธิสกุล)

ลงชื่อ..........พยาน
(รศ. ดร. สุทัศน์ สีลาทวิวัฒน์)