

การศึกษาวิธีการออกแบบ โครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน
ตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD

นายเดชวิทย์ หลานเศรษฐา

การศึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน
ตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD

นายเดชวิทย์ หลานเสษฐา วศ.บ.(วิศวกรรมโยธา)

การศึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง

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

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

..... กรรมการโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง
(ดร.บุญมี ชินนานุญ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง การศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยว
ที่มีค้ำยันตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD

หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายเดชวิทย์ หลานเศรษฐา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยเฉพาะเรื่องฉบับนี้ นำเสนอหลักการออกแบบโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันตามข้อแนะนำการออกแบบ API RP2A-WSD (2007) โครงสร้างชนิดนี้เป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาแหล่งปิโตรเลียมขนาดเล็กในช่วงทะเลน้ำตื้นที่มีความลึกน้ำทะเลไม่เกิน 50 เมตร ในการออกแบบแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ชั้นส่วนโครงสร้างหลัก และชั้นส่วนค้ำยัน การศึกษานี้พิจารณาแบบจำลองทั้งหมด 720 แบบ เพื่อหาขนาดชั้นส่วนโครงสร้างหลักและตำแหน่งการค้ำยันที่เหมาะสมของแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันสำหรับระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตรและ 30 เมตร การค้ำยันของโครงสร้างจะกระทำที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล ครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล และสองในสามของความลึกน้ำทะเล โดยแต่ละตำแหน่งของการค้ำยันจะกำหนดให้มุมในการค้ำยันมีค่าเท่ากับ 20 องศา 30 องศา และ 45 องศา การศึกษานี้ใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบ ผลการศึกษาพบว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล และมุมในการค้ำยัน 20 องศาจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้สูงสุด กับขนาดของชั้นส่วนโครงสร้างที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบได้

คำสำคัญ : การออกแบบแท่นผลิต / โครงสร้างนอกฝั่ง / แท่นผลิตแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน

Special Research Study Title	Study of Braced Monopod Platform Design Based on API RP2A-WSD Guideline
Project Credits	6
Candidate	Mr. Dechwit Lhansettha
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Chainarong Athisakul
Program	Master of Engineering
Field of Study	Civil Engineering Technology
Department	Civil Engineering
Faculty	Engineering
Academic year	2013

Abstract

This special research study presents a concept design of a braced monopod platform based on API RP2A-WSD guideline. The braced monopod is a minimal platform that is suitable for offshore marginal field development in shallow water where the water depth is less than 50 m. Two main components of the braced monopod platform are the caisson and the bracing structure. 720 case studies are provided to investigate a suitable size of caisson and a proper position of the bracing structure for the braced monopod in water depths of 20 and 30 m. Three bracing positions at one-third, one-half and two-thirds of water depth are investigated with three different braced angles of 20, 30 and 45 degrees. The finite element models are developed for structural analysis and design. The results show that the suitable bracing position is one-third of a water depth and the suitable braced angle is 20 degree. Moreover, the relations between the maximum member unity check and size of structures are also provided in this study for a concept design.

Keywords: Braced monopod / Offshore Structure / Platform Design

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุลอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องที่ทำให้แนวคิดและให้คำปรึกษาตลอดช่วงการทำวิจัย อีกทั้งยังได้ตรวจสอบและแก้ไขโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยความกรุณา

ขอขอบพระคุณ ศ. ดร.สมชาย ชูชีพสกุล ประธานกรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง และ ดร.บุญมี ชินนาบุญ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณ คุณธงชัย ปัญญาสหัสชาติ วิศวกรโครงสร้างบริษัทเอกชน ที่คอยเอื้อเฟื้อข้อมูลและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัยในครั้งนี้ สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครูบาอาจารย์ และบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและมีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ประโยชน์อันใดที่ได้จากงานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ท
รายการสัญลักษณ์	บ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ผ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับโครงสร้างนอกฝั่งทะเลขนาดเล็ก	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2. ทฤษฎีและข้อกำหนดในการออกแบบ	6
2.1 โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็ก	6
2.2 แรงกระทำจากสิ่งแวดล้อม	9
2.3 ข้อเสนอแนะในการออกแบบ	15
3. ลำดับขั้นตอนการออกแบบและวิธีวิจัย	21
3.1 ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้สำหรับกรณีศึกษา	22
3.2 แบบจำลองโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน	23
3.3 เื่อนไข่น้ำหนักบรรทุก	26

3.4 การรวมน้ำหนักบรรทุก	27
4. ผลการศึกษา	28
4.1 การเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร	28
4.2 การเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร	39
4.3 การพิจารณาหาระยะการค้ำยัน และมุมในการค้ำยันที่เหมาะสม	49
5. สรุปผลการศึกษา	52
5.1 การพิจารณาชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก	52
5.2 การพิจารณาชิ้นส่วนโครงสร้างค้ำยัน	53
5.3 การพิจารณารูปทรงที่เหมาะสมของโครงสร้างแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน	53
5.4 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57
ก ตารางแสดงผลความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ชิ้นส่วนค้ำยัน อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา และอัตราส่วนหน่วย แรง ที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร	57
ข ตารางแสดงผลความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ชิ้นส่วนค้ำยัน อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา และอัตราส่วนหน่วย แรง ที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร	76
ค ตัวอย่างข้อมูลน้ำเข้าและผลการวิเคราะห์สำหรับไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรม SACS	95
ประวัติผู้วิจัย	107

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วน โครงสร้าง	11
2.2	ค่าสัมประสิทธิ์การลดและค่าสัมประสิทธิ์ความเฉื่อย	14
3.1	ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการออกแบบ โครงสร้างในอ่าวไทย	22
3.2	สรุปการสร้างแบบจำลอง โครงสร้างแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน	25
3.3	เงื่อนไขน้ำหนักบรรทุก	26
3.4	การรวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบ โครงสร้าง	27
4.1	แสดงค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โครงสร้างหลักต่อความหนา กับขนาด ความหนาของท่อต่างๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอม ให้เท่ากับ 0.85 ที่ระยะการค้ำยันต่างๆ กัน	33
4.2	แสดงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โครงสร้างหลักต่อความหนา ที่เหมาะสมของ ชิ้นส่วน โครงสร้างหลักที่ทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำที่สุด ของท่อที่มีความหนาต่างๆ กัน ที่ระดับความลึกน้ำ ทะเล 20 เมตร	38
4.3	แสดงค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักกับขนาดความหนาของท่อต่างๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่ เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85 ที่ระยะการค้ำยันต่างๆ กัน	42
4.4	แสดงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โครงสร้างหลักต่อความหนาที่ เหมาะสมของ ชิ้นส่วน โครงสร้างหลักที่ทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำที่สุด ของท่อที่มีความหนาต่างๆ กัน ที่ระดับความลึกน้ำ ทะเล 30 เมตร	47
4.5	เปรียบเทียบระยะการค้ำยัน มุมในการค้ำยัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ อัตราส่วน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โครงสร้างหลักต่อความหนาของท่อ โครงสร้างหลักที่มีความ หนาต่าง ๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ไม่เกิน 0.85 ของแบบจำลองที่ความลึกน้ำทะเล 20 เมตร	49
4.6	เปรียบเทียบระยะการค้ำยัน มุมในการค้ำยัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ อัตราส่วน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โครงสร้างหลักต่อความหนาของท่อ โครงสร้างหลักที่มีความ หนาต่าง ๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ไม่เกิน 0.85 ของแบบจำลองที่ความลึกน้ำทะเล 30 เมตร	50

ตาราง	หน้า
	โครงสร้งหลัก 19 มิลลิเมตร
ก.14	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้งหลัก 25 มิลลิเมตร 64
ก.15	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้งหลัก 34 มิลลิเมตร 65
ก.16	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้งหลัก 40 มิลลิเมตร 65
ก.17	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้งหลัก 19 มิลลิเมตร 66
ก.18	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้งหลัก 25 มิลลิเมตร 66
ก.19	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้งหลัก 34 มิลลิเมตร 67

ตาราง	หน้า	
ก.20	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	67
ก.21	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	68
ก.22	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	68
ก.23	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	69
ก.24	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	69
ก.25	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	70

ตาราง	หน้า	
ก.26	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมรับให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	70
ก.27	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมรับให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	71
ก.28	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมรับให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	71
ก.29	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมรับให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	72
ก.30	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมรับให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	72
ก.31	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมรับให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	73

ตาราง	หน้า	
ก.32	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	73
ก.33	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	74
ก.34	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	74
ก.35	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	75
ก.36	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	75
ข.1	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	77

ตาราง	หน้า
	๗
ข.9	81
<p>โครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร</p> <p>แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร</p>	
ข.10	81
<p>แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร</p>	
ข.11	82
<p>แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร</p>	
ข.12	82
<p>แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร</p>	
ข.13	83
<p>แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร</p>	
ข.14	83
<p>แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร</p>	

ตาราง	หน้า	
ข.15	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	84
ข.16	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	84
ข.17	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	85
ข.18	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	85
ข.19	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	86
ข.20	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	86

ตาราง	หน้า	
ข.21	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	87
ข.22	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	87
ข.23	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	88
ข.24	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	88
ข.25	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	89
ข.26	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	89

ตาราง	หน้า	
ข.27	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	90
ข.28	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	90
ข.29	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร	91
ข.30	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร	91
ข.31	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร	92
ข.32	แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร	92

ตาราง	หน้า
<p>ข.33 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร</p>	93
<p>ข.34 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร</p>	93
<p>ข.35 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร</p>	94
<p>ข.36 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร</p>	94
<p>ค.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แบบกึ่งสถิตยศาสตร์(Linear quasi-static analysis) สำหรับโครงสร้างแทนผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล มุมในการค้ำยัน 20 องศา ความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักเท่ากับ 1.00 เมตร</p>	106

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบขาเดี่ยว (Monopod)	6
2.2	โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน (Braced monopod)	7
2.3	ตัวอย่างการติดตั้งโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน	8
2.4	โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบสามขา (Tripod)	8
2.5	โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบ 4 ขา (Tetra-pod)	9
2.6	การเลือกประยุกต์ใช้ทฤษฎีคลื่นสตริมฟังก์ชัน สโตคห้า และทฤษฎีคลื่นแบบเส้นตรง	12
2.7	การกระจายของแรงกระทำจากคลื่น	12
2.8	การกระจายของแรงกระแสน้ำ	15
3.1	แผนภูมิแสดงกระบวนการในการออกแบบโครงสร้างตามข้อเสนอแนะการออกแบบ API RP2A-WSD (2007)	21
3.2	แบบจำลองโครงสร้างแท่นขุดเจาะปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวร่วมกับค้ำยัน	23
3.3	ค่าระดับ LAT และระยะต่างๆ สำหรับการออกแบบเบื้องต้น	24
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล	29
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้กับมุมในการค้ำยัน	30
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล	30
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล	32

รูป		หน้า
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของท่อ (t) กับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วน โครงสร้างหลัก โครงสร้างหลักที่มีการค้ำยันที่ระยะต่างๆ โดยมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เท่ากับ 0.85	42
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล	44
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล	45
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล	46

รายการสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน
A_c	=	คุณลักษณะพื้นที่ของชิ้นส่วนในโครงสร้าง
A	=	พื้นที่ภาพฉายของท่อทรงกระบอกต่อหนึ่งหน่วยความยาว
B	=	คือค่าปริมาตรของน้ำทั้งหมดที่ถูกแทนที่โดยวัตถุ
B'	=	คือค่าปริมาตรของน้ำทั้งหมดที่ถูกแทนที่โดยโครงสร้าง
C	=	ค่าสัมประสิทธิ์การ โค้งเดาะเฉพาะที่
C_D	=	คือค่าสัมประสิทธิ์การรูด
C_m	=	คือค่าสัมประสิทธิ์ความเฉื่อย
C_s	=	คือค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นส่วน โครงสร้าง
D	=	คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของชิ้นส่วน โครงสร้างหลัก
E	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
F	=	คือแรงกระทำจากคลื่นต่อหน่วยความยาวของชิ้นส่วน โครงสร้าง
F_B	=	คือแรงลอยตัว
F_b	=	หน่วยความเค้นคัดที่ยอมรับได้
F_{bx}	=	ความเค้นคัดตามแนวแกน x
F_{by}	=	ความเค้นคัดตามแนวแกน y
F_d	=	เวกเตอร์แรงแดร็กต่อหน่วยความยาวที่กระทำกับแนวแกนของชิ้นส่วน ในระนาบของแกนชิ้นส่วน และ U
F_l	=	เวกเตอร์แรงเฉื่อยต่อหน่วยความยาวที่กระทำกับแนวแกนของชิ้นส่วน ในระนาบของแกนชิ้นส่วน และส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร่งของน้ำ ตามแนวแกนของชิ้นส่วน
F_y	=	คือค่ากำลังจุดคานงของเหล็ก โครงสร้าง
F_y	=	คือค่ากำลังจุดคานงของเหล็ก โครงสร้าง
f_a	=	ความเค้นอัดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นจริง
f_v	=	ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง
f_{vt}	=	ความเค้นเฉือนบิดสูงสุด
g	=	ความเร่งโน้มถ่วงของโลก
$\frac{\delta U}{\delta t}$	=	ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร่งของน้ำตามแนวแกนของชิ้นส่วน

I_p	=	โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว
K	=	ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล
l	=	ความยาวของเสาที่ไม่มีค้ำยันทางด้านข้าง
M_t	=	โมเมนต์บิด (torsion moment)
r	=	รัศมีจําเริญที่น้อยที่สุด
t	=	ความหนาของท่อ
U	=	ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็ว (เนื่องจากคลื่นหรือกระแส) ตามแนวแกนของชิ้นส่วน
U_{or}	=	คือค่าความเร็วกระแสน้ำที่ระดับผิวน้ำทะเล
U_{ow}	=	คือค่าความเร็วลมร้อยละ 1.0 ที่ระดับความสูง 10 เมตร จากผิวน้ำทะเล
U_T	=	คือค่าความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากกระแสน้ำขึ้นลง
U_w	=	คือค่าความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากลม
$ U $	=	ค่าสัมบูรณ์ของค่าส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วตามแนวแกนของชิ้นส่วน
$u(z)$	=	คือค่าความเร็วลมที่ความสูง z
V	=	แรงเฉือนตามแนวขวางของท่อที่เกิดขึ้นจริง
v	=	ปริมาตรแทนที่ของทรงกระบอกต่อหนึ่งหน่วยความยาว
W	=	คือน้ำหนักของโครงสร้างในอากาศ
W'	=	คือน้ำหนักประสิทธิผล
w	=	หน่วยน้ำหนักความหนาแน่นของน้ำทะเล
ρ_a	=	คือค่าความหนาแน่นของมวลอากาศ (Mass density of air) เมื่อความดันและอุณหภูมิของอากาศปกติจะได้ว่า $\rho_a = 1.25$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ประมวลศัพท์และคำย่อ

API	=	สถาบันปิโตรเลียมของสหรัฐอเมริกา
API RP2A-WSD	=	ข้อแนะนำตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมของอเมริกา สำหรับการวางแผน การออกแบบ และการก่อสร้างของโครงสร้างนอกฝั่งทะเลแบบยึดแน่น โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน
Allowable interaction ratio	=	อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้
Allowable stresses	=	ความเค้นที่ยอมให้
Allowable bending stress	=	ความเค้นดัดที่ยอมให้
Axial Tension	=	แรงดึงตามแนวแกน
Axial Compression	=	แรงอัดตามแนวแกน
Beam shear	=	แรงเฉือนแบบคาน
Braced monopod structures	=	โครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน
Buoyant force	=	แรงลอยตัว
Caisson	=	ปล่องท่อโครงสร้างหลักที่เป็นรูปทรงกระบอก
Column Buckling	=	การโก่งเดาะที่เสา
Combined stress	=	ความเค้นผสมหรือการรวมความเค้นที่เกิดขึ้นเข้าด้วยกัน
Current force	=	แรงกระแสน้ำ
Local buckling	=	การโก่งเดาะเฉพาะที่
Lower Deck Structure	=	โครงสร้างชั้นล่างของโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมนอกชายฝั่งทะเล
Minimum offshore structures	=	โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็ก
Safety Factor	=	อัตราส่วนความปลอดภัย
Topside Structure	=	โครงสร้างส่วนบนของโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมนอกชายฝั่งทะเล
Torsion shear	=	แรงเฉือนบิด
Unity check	=	อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้

Upper Deck Structure	=	โครงสร้างชั้นบนของโครงสร้างแท่นหลุม ผลิตปิโตรเลียมนอกชายฝั่งทะเล
Wave force	=	แรงจากคลื่น
Wind force	=	แรงลม

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

เนื่องจากการสำรวจหาปิโตรเลียมในแหล่งบริเวณน้ำตื้นในอ่าวไทยมักจะขุดพบเจอปิโตรเลียมในปริมาณที่ไม่มากนัก ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกขุดเจาะปิโตรเลียมขึ้นมาใช้ในเชิงพาณิชย์นั้น จำเป็นที่จะต้องใช้อะไรข้อมูลหลายอย่างเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกหลุมผลิต เช่น ปริมาณสำรองของปิโตรเลียม (Petroleum reserves) จำนวนหลุมที่จะขุดเจาะปิโตรเลียม ความลึกของระดับน้ำทะเล ราคาก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมัน การขนส่ง ค่าสัมปทาน การเลือกประเภทสถานีขุดเจาะและวิธีการก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งการเลือกประเภทของสถานีขุดเจาะนั้น จะเป็นการตัดสินใจที่สำคัญมากสำหรับแหล่งผลิตแต่ละแห่ง เนื่องจากจะต้องคำนึงถึงต้นทุนด้านการก่อสร้างที่เหมาะสม ดังนั้นในการลดต้นทุนด้านการก่อสร้าง โครงสร้างของแท่นหลุมผลิตสำหรับแหล่งที่มีปริมาณปิโตรเลียมสำรองไม่มาก ก็ควรที่จะมีขนาดเล็กลง โดยยังคงสามารถต้านทานแรงจากสิ่งแวดล้อมได้อย่างปลอดภัย ซึ่งชนิดโครงสร้างแท่นหลุมผลิตขนาดเล็กมีให้เลือกใช้หลายประเภท ได้แก่ โครงสร้างแท่นหลุมผลิตแบบสามขา (Standard tripod) โครงสร้างแท่นหลุมผลิตแบบมีขาเดี่ยวไม่มีค้ำยัน (Free standing monopod) และโครงสร้างแท่นหลุมผลิตแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน (Braced monopod)

จากการค้นคว้าศึกษางานวิจัยหลายๆท่าน พบว่าโครงสร้างแท่นหลุมผลิตแบบเสาเดี่ยวมีค้ำยัน เป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสมกับทะเลน้ำตื้นทั้งทางด้านความแข็งแรง ความปลอดภัย ความประหยัด และยังเป็นโครงสร้างที่สามารถย้ายไปติดตั้งที่แหล่งผลิตใหม่ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการพัฒนาแต่ละแหล่งผลิตจะมีระยะเวลาอยู่ระหว่าง 5-10 ปี [1] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณปิโตรเลียมที่จะสามารถขุดเจาะขึ้นมาใช้ได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาเลือกโครงสร้างชนิดนี้มาทำเป็นโครงสร้างแท่นหลุมผลิต (Wellhead platform structures) จะช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตลงไปได้ ซึ่งจะทำให้กลุ่มบริษัทที่ได้รับการสัมปทานในการพัฒนาแหล่งผลิตปิโตรเลียมในอ่าวไทยสามารถที่จะพัฒนาแหล่งผลิตที่มีปริมาณสำรองไม่มาก ซึ่งอาจจะไม่คุ้มค่าในการผลิตในอดีตให้สามารถพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ทางการพาณิชย์ได้ในปัจจุบัน และด้วยเหตุนี้การศึกษาการออกแบบโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน การหาตำแหน่งและมุมค้ำยันที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ โดยจะทำให้สามารถพัฒนารูปแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรงภายใต้ปริมาณวัสดุและต้นทุนที่เหมาะสม

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับโครงสร้างนอกฝั่งทะเลขนาดเล็ก

ในปี 2008 Sitthipong Anglapunyadej [2] ได้ทำการศึกษาหาการสั่นเนื่องจากกระแสน้ำวน (Vortex shedding induced vibration, VIV) ต่อโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็ก โดยทำการเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างและ VIV ของโครงสร้าง 4 ชนิด ได้แก่ Freestanding caisson platform, Bottom support monopod, Braced monopod และ Cluster conductor platform ภายใต้แรงกระทำจากสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทย โดยทำการเปรียบเทียบโครงสร้างที่ระดับความลึกน้ำทะเล 3 ระดับ (20, 30 และ 40 เมตร) และชนิดของดินอีก 3 ชนิด ซึ่งทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม SASC v5.2 จากผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างแท่นหลุมผลิตแบบเสาเดี่ยวที่มีฐานรองรับ Bottom support monopod เป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับแหล่งน้ำตื้น โดยเฉพาะที่ความลึกของน้ำทะเลที่ 20 เมตร เพราะไม่มีปัญหาเรื่อง VIV ของโครงสร้าง

ในปี 2009 Songkiat Hansanti [3] ได้ทำการศึกษาผลการตอบสนองทางพลศาสตร์ของโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กในอ่าวไทย โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อหาโครงสร้างขนาดเล็กที่เหมาะสมกับแหล่งทะเลน้ำตื้นในอ่าวไทย โดยใช้โปรแกรม SASC v5.1 ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็ก 2 ชนิด คือ Freestanding caisson และ Braced monopod โดยใช้มาตรฐาน API RP2A-WSD ในการตรวจสอบออกแบบโครงสร้าง ภายใต้การกระทำของแรงจากสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทย ที่ระดับความลึกของน้ำทะเล 20, 25 และ 30 เมตร โดยทำการเปรียบเทียบผลการตอบสนองด้านพลศาสตร์ของโครงสร้าง (Dynamic amplification factors) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษา พบว่า Braced monopod มีความต้านทานแรงจากสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า

ในปี 2010 Jitrada Buacharoen [4] ได้ทำการศึกษาต้นทุนที่แท้จริงของโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กบนพื้นฐานต่างๆ ที่มีการออกแบบที่ทันสมัยให้เหมาะสำหรับบริเวณริมชายฝั่งทะเลในอ่าวไทย โดยทำการออกแบบโครงสร้างแบบเสาเดี่ยวมีค้ำยัน (Braced monopod), โครงสร้างแบบสามขา (Tripod) และโครงสร้างแบบสี่ขา (Tetra-pod) โดยใช้ฐานรากแบบเข็มดูด (Suction piles) เป็นกรณีศึกษา ซึ่งจะมีแบบจำลองทั้งหมด 9 แบบ ซึ่งในการออกแบบจะวิเคราะห์โดยวิธีกึ่งสถิตยศาสตร์ (Quasi-static in-placed analysis) เพื่อทำการประเมินทั้งทางด้านกำลัง (Strength) และการให้บริการ (Serviceability) ของโครงสร้าง ที่ระดับความลึกของน้ำทะเล 15 เมตร, 25 เมตร และ 35 เมตร โดยใช้คาบในการออกแบบ 1 ปี และ 50 ปี ภายใต้น้ำหนักบรรทุกการใช้งานและเงื่อนไขลมพายุในอ่าวไทย นอกจากนั้นยังได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนทางการขนส่งและการติดตั้งโดยใช้ Jack up rig กับการติดตั้งด้วยตัวเอง (Self-installing) ผลจากการวิเคราะห์ของโครงสร้างทั้ง 3 รูปแบบและวิธีการติดตั้ง 2 วิธี ซึ่งการติดตั้งโดยวิธี Jack up rig จะมีประสิทธิภาพทั้งทางด้านราคาและเวลาที่ดีกว่าติดตั้งด้วยตัวเอง โครงสร้างแบบเสาเดี่ยวร่วมกับค้ำยัน (Braced monopod) จะมีกำลังในการต้านทานแรง

จากภายนอกได้ดีที่สุด ส่วนโครงสร้างขนาดเล็กแบบสามขา (Tripod) จะมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับแพลตฟอร์มที่ใช้เป็นที่พักอาศัย (Living quarter platform)

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยมีดังนี้

1. ศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างแทนผลิตแบบเสาเดี่ยวที่มีการค้ำยัน (Braced monopod) ตามข้อแนะนำการออกแบบ API RP 2A-WSD (2007) [5]
2. ศึกษาหาตำแหน่งค้ำยันและมุมการค้ำยัน รวมถึงขนาดของโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับแทนผลิตแบบเสาเดี่ยวที่มีการค้ำยัน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัยและสมมติฐาน

1.4.1 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาลักษณะองค์อาคารของโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลรับแทนหลุมผลิตแบบขาเดี่ยวมีค้ำยัน โดยกำหนดตำแหน่งค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งสามของความลึกน้ำทะเล ครึ่งหนึ่งของความลึกและสองในสามของความลึกน้ำทะเล โดยขึ้นส่วนที่ทำการค้ำยันทำมุมกับแนวแกนของโครงสร้างหลักที่มุม 20 , 30 และ 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเลที่ 20 และ 30 เมตร ตามลำดับ
2. ในการวิเคราะห์แต่ละแบบจำลองจะกำหนดให้ใช้ความหนาของโครงสร้างหลักมีค่าเท่ากับ 19,25,34 และ 40 มิลลิเมตร โดยความหนาของท่อจะอ้างอิงตามข้อแนะนำของ API RP2A-WSD แล้วเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักเริ่มตั้งแต่ 0.60 – 2.40 เมตร ส่วนโครงสร้างขึ้นส่วนค้ำยันจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 500 มิลลิเมตร และมีความหนาของท่อคงที่ 25 มิลลิเมตรทุกแบบจำลอง

1.4.2 สมมติฐานของงานวิจัย

1. การจำลองโครงสร้างเป็นโครงข้อแข็ง 3 มิติ โดยมีฐานรองรับเป็นแบบหัวเสาเข็ม (PILEHD or PINNED) หรือฐานรองรับแบบหมุนได้
2. โครงสร้างส่วนบน (Topside structure) จะสมมติให้เป็นขึ้นส่วนที่มีลักษณะแข็งเกร็ง (Rigid element) โดยกำหนดให้เป็นแรงที่กระทำกับโครงสร้างมีค่าคงที่

3. ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในโครงสร้างส่วนบน
4. ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมจะเป็นข้อมูลในอ่าวไทย โดยอ้างอิงจากแหล่งสงขลา
5. ไม่พิจารณาผลที่เกิดขึ้นกับท่อนเวตติ้ง (Riser) ที่ติดกับ โครงสร้างนอกฝั่งทะเล
6. นำนักบรรทุกของ โครงสร้างส่วนบนกำหนดให้มีค่าคงที่โดยมีค่าเท่ากับ 2000 กิโลนิวตัน (204 ตัน) ทุกๆ แบบจำลอง
7. ไม่พิจารณาออกแบบในส่วน โครงสร้างของเสาเข็มและรอยต่อต่างๆ ของโครงสร้าง
8. ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากแรงกระแทก (Impact load) และความล้า (Fatigue)

1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน

สำหรับวิธีการดำเนินการวิจัยได้แบ่งลำดับขั้นตอนการทำงานออกเป็นดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมามีความเกี่ยวข้องกับ โครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน
2. ศึกษาปัจจัยพื้นฐาน ความต้องการใช้งาน โครงสร้างและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเลือกใช้ โครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน รวมไปถึงมาตรฐานการออกแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. ทำการสร้างแบบจำลองตามขอบเขตที่จะทำการศึกษา
4. นำแบบจำลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element program) มาช่วยในการวิเคราะห์ออกแบบ จากนั้นนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ออกแบบไปทำการเปรียบเทียบทั้งในรูปแบบตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ เพื่อหาตำแหน่ง ค้ำยันและมุมในการค้ำยันที่เหมาะสม

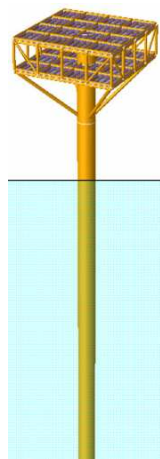
1.6 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. งานวิจัยนี้ทำให้ทราบตำแหน่งในการค้าขั้วและมุมในการค้าขั้วที่เหมาะสมของโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้าขั้ว รวมไปถึงขนาดความเหมาะสมของความหนาของโครงสร้างหลัก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อโครงสร้างหลักต่อความหนาที่ใช้สำหรับการออกแบบด้วย
2. ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างกั้นลมขนาดใหญ่สำหรับการผลิตไฟฟ้ากำลังสูงในทะเล (Offshore wind turbine) ได้ เนื่องจากโครงสร้างชนิดนี้จะมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน
3. สามารถนำความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้กับขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเบื้องต้นได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและข้อกำหนดในการออกแบบ

2.1 โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็ก

โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็ก (Minimum offshore structures) มีหลายชนิดให้เลือกใช้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการใช้งาน จำนวนหลุมเจาะ (wells) ความลึกของน้ำทะเล และน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กจะมีหลุมเจาะตั้งแต่ 1-6 หลุม [6] มีน้ำหนักบรรทุกตั้งแต่ 50 – 150 ตัน[6] และมีช่วงระดับความลึกของน้ำทะเลตั้งแต่ 0-60 เมตร[6] ซึ่งสามารถจำแนกชนิดโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมขนาดเล็กตามรูปทรงภายนอกของโครงสร้างได้ดังนี้

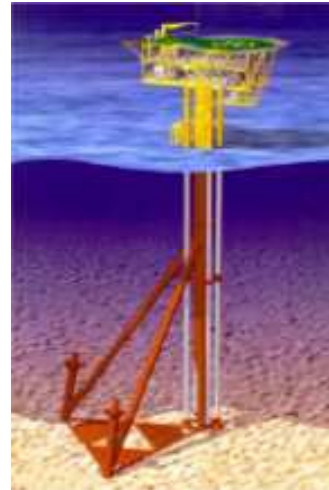


รูปที่ 2.1 โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบขาเดี่ยว (Monopod) [7]

โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบขาเดี่ยว เป็นโครงสร้างอย่างง่ายที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอ่าวเม็กซิโก ตัวของโครงสร้างประกอบไปด้วยเสากลมกลวง (Caisson) โดยส่วนมากจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.2 เมตร ถึง 3 เมตร ขึ้นอยู่กับการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างและสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ โดยโครงสร้างในส่วนที่เป็นเสาเข็มและฐานรองรับจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าตำแหน่งอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนโครงสร้างส่วนบน (Topside Structure) จะมีลักษณะที่ไม่แตกต่างไปจากโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กอื่นๆ มากนัก ขึ้นอยู่กับการใช้งานที่แตกต่างกันไป โครงสร้างชนิดนี้จะมีปัญหาเรื่องความแข็งแรงของโครงสร้าง ซึ่งจะมีความอ่อนไหวต่อแรงกระทำจากสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการคิดผลกระทบทางด้านพลศาสตร์



(ก)



(ข)

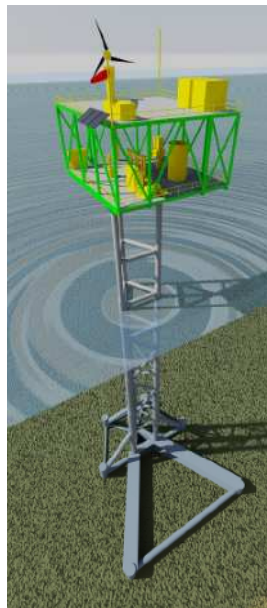
รูปที่ 2.2 โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน (Braced monopod) [8]

โครงสร้างหลุมผลิตแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันตามรูปที่ 2.2 นี้ สามารถจำแนกตามลักษณะการค้ำยันได้สองแบบ โดยในรูปที่ 2.2 (ก) จะเป็นการค้ำยันแบบสามทิศทางที่ทำมุมเท่าๆ กัน ซึ่งในกรณีนี้จะใช้กับการค้ำยันที่ไม่รู้ทิศทางของคลื่นที่แน่นอนและนิยมใช้ฐานรากเป็นแบบเข็มดูด (Suction pile) ส่วนในรูปที่ 2.2 (ข) ซึ่งเป็นการค้ำยันเพียงสองทิศทาง จะใช้ในกรณีที่ทราบทิศทางของคลื่นที่แน่นอนแล้ว และนิยมใช้ฐานรากเป็นแบบเสาเข็มตอก จากการศึกษาวิจัยของหลายๆ ท่านพบว่า โครงสร้างชนิดนี้เป็นโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงจากสิ่งแวดล้อมได้ดีที่สุด และเป็นโครงสร้างที่สามารถรื้อถอนเคลื่อนย้ายไปติดตั้งที่อื่นได้ง่าย เหมาะสำหรับใช้เป็นโครงสร้างหลุมขุดเจาะปิโตรเลียมที่มีปริมาณสำรองที่ไม่มากนัก ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณสำรองที่สามารถผลิตได้ 5-10 ปี จากนั้นจะทำการย้ายโครงสร้างชนิดนี้ไปที่แหล่งผลิตอื่น ที่มีระดับความลึกน้ำทะเลใกล้เคียงกัน

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันตามรูปที่ 2.2 (ก) โดยโครงสร้างชนิดนี้ได้เริ่มมีการนำมาใช้งานครั้งแรกที่อ่าวแม็กซีโก ในปี ค.ศ.1995 โดยบริษัทอะโมโค (Amoco) ได้เป็นผู้คิดค้นทำการออกแบบและติดตั้งโดยบริษัทเปโตรมารินเอ็นจิเนียริงเท็กซ์ต (PME) และตั้งชื่อโครงสร้างชนิดนี้ว่า Davy และ Bessemer ซึ่งได้ตั้งชื่อตามผู้คิดค้นออกแบบ โครงสร้างชนิดนี้ขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.3 [10] เป็นรูปตัวอย่างการติดตั้งโครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน โดยเรือเครน (Crane vessel) ขนาดใหญ่ที่สุดในโลก ที่มีชื่อว่า Micoperi 7000 โดยโครงสร้างที่มีชื่อว่า Davy ได้ติดตั้งที่ระดับความลึกน้ำทะเล 43 เมตร ส่วนโครงสร้างของ Bessemer ได้ติดตั้งที่ระดับความลึกน้ำทะเล 23 เมตร ซึ่งการติดตั้งด้วยเรือเครนขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพดีกว่า Jack-up เป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการติดตั้งโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน [10]



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบสามขา (Tripod) [9], [8]

โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบ 3 ขา เป็นโครงสร้างที่มีฐานรากเป็นทั้งแบบเสาเข็มตอกและเสาเข็มคูด โดยในรูปที่ 2.4 (ก) จะใช้ฐานรากเป็นแบบเสาเข็มตอกและรู้ทิศทางของคลื่นที่แน่นอน ซึ่งในส่วนของเขาโครงสร้างทั้งสามขา จะถูกเชื่อมโยงกันเป็นโครงข้อแข็ง มีลักษณะเป็นรูป

สามเหลี่ยมด้านเท่า ส่วนรูปที่ 2.4 (ข) จะเป็นโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบ 3 ขา ที่มีการค้ำยัน และมีการค้ำยันเหมือนกับในรูปที่ 2.2 (ก) ซึ่งโครงสร้างที่มีการค้ำยันจะมีขีดความสามารถในการต้านทานแรงจากสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า



รูปที่ 2.5 โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบ 4 ขา (Tetra-pod) [8]

โครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลขนาดเล็กแบบ 4 ขา ตามรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าตัวโครงสร้างของขาทั้ง 4 ขา จะถูกเชื่อมโยงกันด้วยค้ำยันมากมาย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง ซึ่งโครงสร้างชนิดนี้จะใช้วัสดุในการก่อสร้างที่สิ้นเปลืองกว่าโครงสร้างชนิดอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ไม่นิยมใช้กันมากนัก เพราะมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงกว่าแบบอื่นๆ

2.2 แรงกระทำจากสิ่งแวดล้อม

การออกแบบโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเล สิ่งที่แตกต่างกันไปจากโครงสร้างทั่วไปที่อยู่ตั้งอยู่บนดินก็คือ แรงที่กระทำจากลมพายุ โดยประกอบไปด้วยแรงจากคลื่น (Wave force) แรงลม (Wind force) และแรงกระแสน้ำ (Current force) ที่กระทำพร้อมๆ กัน ซึ่งจะมีผลกระทบต่อโครงสร้างเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะแรงจากคลื่นทะเล ในการวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นจากสิ่งแวดล้อมนั้นมีหลายทฤษฎี แต่ในการศึกษานี้ จะอ้างอิงตามมาตรฐาน API RP 2A-WSD (2007) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 แรงลม

สำหรับโครงสร้างที่อยู่เหนือจากผิวน้ำขึ้นมาจะได้รับผลกระทบจากแรงลม โดยแรงลมจะขึ้นอยู่กับความเร็วของลมเป็นหลัก ตามมาตรฐาน API RP 2A-WSD (2007) ได้กำหนดให้ความเร็วของลมมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความสูง z (m) เหนือจากระดับน้ำทะเล และคาบเวลาเฉลี่ย t (s) (Averaging time -

period) เมื่อ $t \leq t_0$ โดยที่ค่า t_0 ชั่วแนะนำการออกแบบ API RP2A-WSD (2007) กำหนดให้ใช้ค่าเท่ากับ 3600 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณหาความเร็วของลมได้จากสมการต่อไปนี้

$$u(z,t) = U(z) \times \left[1 - 0.41 \times I_u \times \ln \left(\frac{t}{t_0} \right) \right] \quad (2.3)$$

โดยที่ความเร็วลมเฉลี่ย $U(z)$ (m/s) ที่หนึ่งชั่วโมงที่ระดับความสูง z (m) สามารถคำนวณได้จาก

$$U(z) = U_0 \times \left[1 + C \times \ln \left(\frac{z}{10} \right) \right] \quad (2.4)$$

$$C = 5.73 \times 10^{-2} \times (1 + 0.15 U_0)^{1/2} \quad (2.5)$$

และความเข้มปั่นป่วน $I_u(z)$ (Turbulence intensity) ที่ระดับความสูง z (m) สามารถหาได้โดย

$$I_u(z) = 0.06 \times [1 + 0.043 \times U_0] \times \left(\frac{z}{10} \right)^{-0.22} \quad (2.6)$$

เมื่อ U_0 (m/s) เป็นความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 1 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 10 เมตรและแรงลมที่กระทำกับโครงสร้าง (Wind drag force) สามารถคำนวณได้สมการต่อไปนี้

$$F = \frac{1}{2} C_s \rho_a (u(z))^2 A \quad (2.7)$$

โดยที่

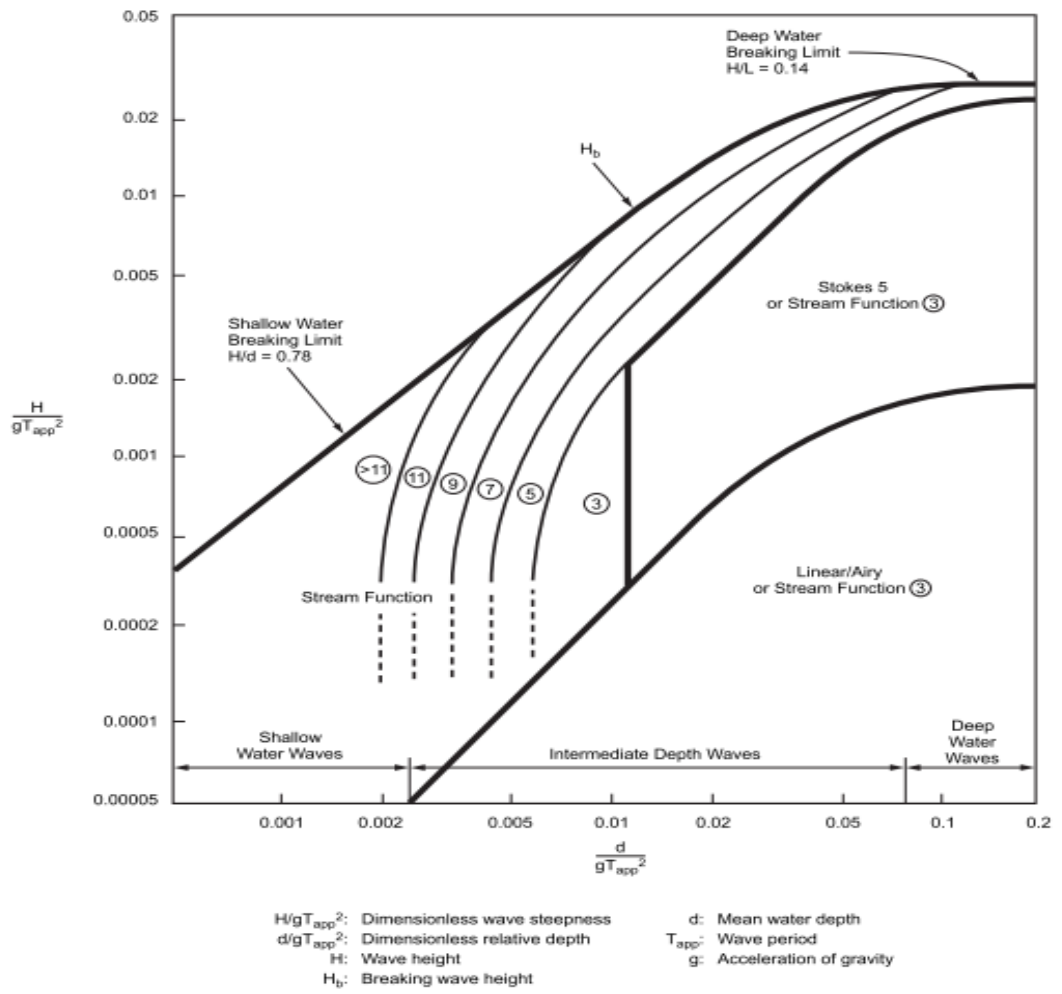
- ρ_a คือค่าความหนาแน่นของมวลอากาศ (Mass density of air) เมื่อความดันและอุณหภูมิของอากาศปกติจะได้ว่า $\rho_a = 1.25$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- C_s คือค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นส่วนโครงสร้าง (Shape coefficient) ตามมาตรฐาน API RP 2A-WSD (2007) ดังตารางที่ 2.2
- A คือคุณลักษณะพื้นที่ของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (Area of object)
- $u(z)$ คือค่าความเร็วลม (Wind speed) ที่ความสูง z

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วน โครงสร้าง [5]

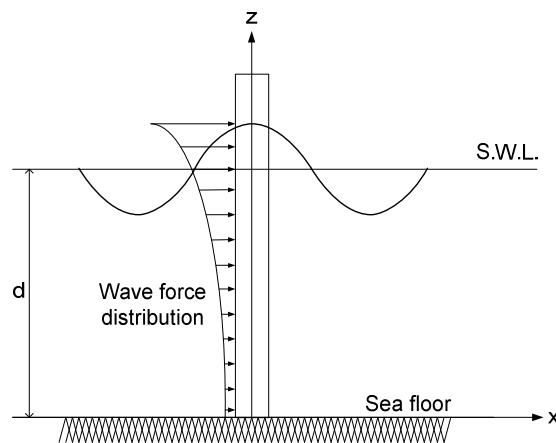
Object	Shape coefficients C_s
Beams	1.5
Sides of buildings	1.5
Cylindrical sections	0.5
Overall projected area of platform	1.0

2.2.2 แรงกระทำจากคลื่น

แรงกระทำจากคลื่นที่กระทำต่อโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเล สามารถคำนวณหาได้จากสมการของมอริสัน (Morison's equation, API 2007) ดังสมการที่ 2.8 ซึ่งก่อนที่จะใช้สมการของมอริสันได้นั้นจะต้องคำนวณหาความเร็วและความเร่งของคลื่นก่อน โดยอาจจะคำนวณหาได้จากทฤษฎีคลื่น (Wave theory) ต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของคลื่น (Wave height), คาบคลื่น (Wave period) และความลึกของระดับน้ำทะเล (Water depth) เช่น ทฤษฎีคลื่นแบบเชิงเส้น (Linear or Airy wave theory) ทฤษฎีคลื่นแบบไร้เชิงเส้น (Nonlinear or Stokes's 5th order wave theory) และทฤษฎีคลื่นสตรีมฟังก์ชัน (Stream function theory) เป็นต้น ซึ่งเมื่อนำข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทยที่ใช้สำหรับการศึกษานี้ มาพิจารณาตามรูปที่ 2.6 ต้องใช้ทฤษฎีคลื่นสตรีมฟังก์ชันมาใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบ ซึ่งในการวิเคราะห์คำนวณแรงกระทำจากทฤษฎีคลื่นสตรีมฟังก์ชันมีความซับซ้อนมาก สำหรับงานวิจัยครั้งนี้จะใช้โปรแกรมไฟไนต์อีเลเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยจะมีแรงกระจายตัวจากการกระทำของคลื่นตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 การเลือกประยุกต์ใช้ทฤษฎีคลื่นสถิตย์ฟังก์ชัน สโตคห้า และทฤษฎีคลื่นแบบเส้นตรง [5]



รูปที่ 2.7 การกระจายของแรงกระทำจากคลื่น [11]

$$F = F_D + F_I = C_D \frac{w}{2g} A U |U| + C_m \frac{w}{g} V \frac{\delta U}{\delta t} \quad (2.8)$$

โดยที่	F	คือแรงกระทำจากคลื่นต่อหน่วยความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้าง
	F_D	เวกเตอร์แรงลาก (drag force vector) ต่อหน่วยความยาวที่กระทำกับแนวแกนของชิ้นส่วนในระนาบของแกนชิ้นส่วน และส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็ว (U)
	F_I	เวกเตอร์แรงเฉื่อยต่อหน่วยความยาวที่กระทำกับแนวแกนของชิ้นส่วนในระนาบของแกนชิ้นส่วน และส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร่งของน้ำตามแนวแกนของชิ้นส่วน
	C_D	คือค่าสัมประสิทธิ์การรูด (Drag coefficient) อ้างอิงตามมาตรฐาน API RP 2A-WSD (2007) ดังตารางที่ 2.2
	C_m	คือค่าสัมประสิทธิ์ความเฉื่อย (Inertia coefficient) อ้างอิงตามมาตรฐาน API RP 2A-WSD (2007) ดังตารางที่ 2.2
	w	หน่วยน้ำหนักความหนาแน่นของน้ำทะเล
	g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลก
	A	พื้นที่ที่ฉาย (projected area) ของท่อทรงกระบอกต่อหนึ่งหน่วยความยาว
	V	ปริมาตรแทนที่ของทรงกระบอกต่อหนึ่งหน่วยความยาว
	D	คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของชิ้นส่วนโครงสร้าง
	U	ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็ว (เนื่องจากคลื่นหรือกระแสน้ำ) ตามแนวแกนของชิ้นส่วน
	$ U $	ค่าสัมบูรณ์ของค่าส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วตามแนวแกนของชิ้นส่วน
	$\frac{\delta U}{\delta t}$	ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร่งของน้ำตามแนวแกนของชิ้นส่วน

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดและค่าสัมประสิทธิ์ความเฉื่อย [5]

Physical state of tubular	C_D	C_m
No marine growth	0.65	1.60
Marine growth	1.05	1.20

2.2.3 แรงลอยตัว

เมื่อวัตถุหรือโครงสร้างที่จมอยู่ในน้ำ จะทำให้เกิดแรงต้านหรือแรงพยุงเกิดขึ้น เนื่องจากแรงดันของน้ำ ทำให้วัตถุเกิดการลอยตัวขึ้นได้ เรียกว่าว่าแรงลอยตัว (Buoyant force) ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_B = \gamma_w B \quad (2.9)$$

โดยที่ F_B คือแรงลอยตัว (Buoyant force)
 B คือค่าปริมาตรของน้ำทั้งหมดที่ถูกแทนที่โดยวัตถุ

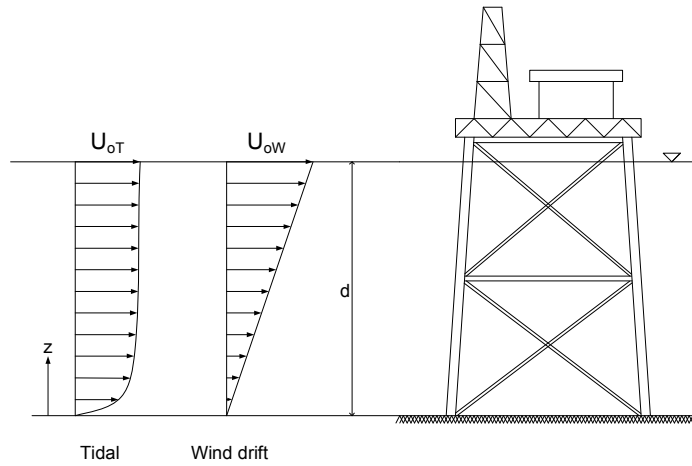
ในการคำนวณหาว่าวัตถุที่ในน้ำนั้นจมหรือลอยสามารถคำนวณหาได้จากการหาน้ำหนักประสิทธิผล (Effective weight) ในน้ำ ซึ่งจะมีค่าดังนี้

$$W' = W - \gamma_w B' \quad (2.10)$$

โดยที่ W' คือน้ำหนักประสิทธิผล (Effective weight)
 W คือน้ำหนักของโครงสร้างในอากาศ
 B' คือค่าปริมาตรของน้ำทั้งหมดที่ถูกแทนที่โดยโครงสร้าง

2.2.4 แรงเนื่องจากกระแสน้ำ

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสน้ำ สามารถเกิดได้ 2 กรณี คือ เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสน้ำขึ้นลง (Tidal current) และจากแรงลม (Wind drift current) ซึ่งการกระจายตัวของแรงมีการเปลี่ยนแปลงตามรูปที่



รูปที่ 2.8 การกระจายของแรงกระแสน้ำ [11]

โดยแรงกระทำที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสน้ำขึ้นลง สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$U_T = U_{0T} \left(\frac{z}{d} \right)^{1/7} \tag{2.11}$$

โดยที่ U_T คือค่าความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากกระแสน้ำขึ้นลง (Tidal current)
 U_{0T} คือค่าความเร็วกระแสน้ำที่ระดับผิวน้ำทะเล

ส่วนกระแสน้ำเนื่องจากลมที่ตำแหน่งผิวน้ำทะเล จะมีค่าประมาณร้อยละ 1.0 ของกระแสน้ำที่ระดับความสูง 10 เมตร จากผิวน้ำทะเลซึ่งจะมีค่าการกระจายตามกฎเชิงเส้น (Linear law) ดังสมการต่อไปนี้

$$U_w = U_{0W} \left(\frac{z}{d} \right) \tag{2.12}$$

โดยที่ U_w คือค่าความเร็วกระแสน้ำเนื่องจากลม (Wind drifts current)
 U_{0W} คือค่าความเร็วลมร้อยละ 1.0 ที่ระดับความสูง 10 เมตร จากผิวน้ำทะเล

2.3 ข้อเสนอแนะในการออกแบบ

ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่มีหน้าตัดรูปทรงต่างๆ ที่ไม่ใช่หน้าตัดทรงกระบอก โดยทั่วไปแล้วจะทำการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานตามข้อเสนอแนะมาตรฐาน AISC ASD 9th ED ส่วนชิ้นส่วนโครงสร้างที่เป็นรูปทรงกระบอกจะทำการออกแบบและตรวจสอบด้วยมาตรฐาน API RP2A-WSD (20007) ซึ่งมีข้อเสนอแนะในการออกแบบดังต่อไปนี้

2.3.1 ความเค้นที่ยอมให้ (Allowable stresses)

ตามข้อแนะนำมาตรฐาน API RP2A-WSD (2007) ได้กำหนดให้ความเค้นที่ยอมให้ของชิ้นส่วนรูปทรงกระบอกมีค่าดังนี้

ก) แรงดึงตามแนวแกน (Axial Tension)

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนทรงกระบอก สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$F_t = 0.6 F_y \quad (2.13)$$

โดยที่ F_y คือค่ากำลังจุดกลางของเหล็กโครงสร้าง

ข) แรงอัดตามแนวแกน (Axial Compression)

- การโก่งเดาะที่เสาคู่ (Column Buckling)

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (F_a) ตามมาตรฐาน AISC ค่าอัตราส่วน D/t จะต้องมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 60 ซึ่งหน่วยแรงอัดที่ยอมให้สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$F_a = \frac{\left[\frac{1 - (Kl/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + 3 \frac{(kl/r)}{8C_c} - \frac{(kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad \text{สำหรับ } \frac{kl}{r} \leq C_c \quad (2.14)$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad \text{สำหรับ } \frac{kl}{r} > C_c \quad (2.15)$$

เมื่อ

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก

K = ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิภาพ

l = ความยาวของเสาที่ไม่มีค้ำยันทางด้านข้าง

r = รัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุด

สำหรับชิ้นส่วนที่มีค่า D/t มากกว่า 60 การวิบัติจะเกิดขึ้นเนื่องจากการโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local buckling)

- การโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local buckling)

การโก่งเดาะเฉพาะที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงอัดตามแนวแกนของชิ้นส่วนรูปทรงกระบอกที่มีค่าอัตราส่วน D/t มากกว่า 60 แต่น้อยกว่า 300 สามารถคำนวณหาค่าความเค้นยืดหยุ่น (F_{xe}) และค่าความเค้นไม่ยืดหยุ่นของการโก่งเดาะเฉพาะที่ (F_{xc}) ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_{xe} = \frac{2CEt}{D} \quad (2.16)$$

เมื่อ

C = ค่าสัมประสิทธิ์การโก่งเดาะเฉพาะที่

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

t = ความหนาของท่อ

โดยค่าสัมประสิทธิ์การโก่งเดาะเฉพาะที่ ปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับ 0.60 แต่ตามมาตรฐาน API Spec.2B แนะนำให้ใช้ค่า C เท่ากับ 0.3 และค่าความเค้นแบบไม่ยืดหยุ่นของการโก่งเดาะเฉพาะที่ (F_{xc}) สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$F_{xc} = F_y [1.64 - 0.23(D/t)^{1/4}] \leq F_{xe}$$

$$F_{xc} = F_y \quad \text{สำหรับ } (D/t) \leq 60 \quad (2.17)$$

ก) ความเค้นดัดที่ยอมให้ (Allowable bending stress)

หน่วยความเค้นดัด (F_b) ที่ยอมให้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$F_b = 0.75 F_y \quad \text{สำหรับ } \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y} \quad (2.18)$$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \quad \text{สำหรับ } \frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y} \quad (2.19)$$

$$F_b = \left[0.72 - 0.58 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \quad \text{สำหรับ } \frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \quad (2.20)$$

เมื่อค่า

F_b = หน่วยความเค้นดัดที่ยอมให้

F_y = คือค่ากำลังจุดคานงของเหล็กโครงสร้าง

ง) แรงเฉือน (Shear force)

- แรงเฉือนของคาน (Beam shear)

ความเค้นเฉือนของคานสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง (f_v) สำหรับหน้าตัดทรงกระบอกคำนวณได้จาก

$$f_v = \frac{V}{0.5A} \quad (2.21)$$

เมื่อ

f_v = ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง

V = แรงเฉือนตามแนวขวางของท่อที่เกิดขึ้นจริง

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน

และหน่วยแรงเฉือนแบบคานที่ยอมให้ F_v คำนวณได้จาก

$$F_v = 0.4 F_y \quad (2.22)$$

- แรงเฉือนบิด (Torsion shear)

ความเค้นเฉือนบิดสูงสุด (f_{vt}) สำหรับชิ้นส่วนรูปทรงกระบอกสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$f_{vt} = \frac{M_t(D/2)}{I_p} \quad (2.23)$$

เมื่อ

f_{vt} = ความเค้นเฉือนบิดสูงสุด (maximum torsion shear stress)

M_t = โมเมนต์บิด (torsional moment)

I_p = โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (polar moment of inertia)

และหน่วยแรงเฉือนบิดที่ยอมให้ (Allowable torsion shear stress, F_{vt})

$$F_{vt} = 0.4 F_y \quad (2.24)$$

2.3.2 ความเค้นผสม (Combined stress)

ก) ความเค้นผสมในแนวแกนและแรงดัด(Combine axial compression and bending)

สำหรับชิ้นส่วนทรงกระบอกที่เกิดแรงอัดร่วมกับแรงดัดพร้อมกัน พฤติกรรมของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง (f_a) กับหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (F_a) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากสมการดังนี้

เมื่อ $\frac{f_a}{F_a} > 0.15$:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_a}\right) F_b} \leq 1.0 \quad (2.25)$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (2.26)$$

เมื่อ $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (2.27)$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{\left[\frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}\right)}\right]^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (2.28)$$

เมื่อ

f_a = ความเค้นอัดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นจริง

f_{bx} = ความเค้นดัดตามแนวแกน x

f_{by} = ความเค้นดัดตามแนวแกน y

C_m = แฟกเตอร์ลดค่า (หัวข้อ 3.3.1e, API RP2A-WSD)

$$F_e' = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{Kl}{r}\right)^2}$$

ข) ความเค้นผสมของแรงดึงตามแนวแกนร่วมกับแรงดัด (Combined axial tension and bending)

สามารถคำนวณตรวจสอบได้จากสมการ (2.29)

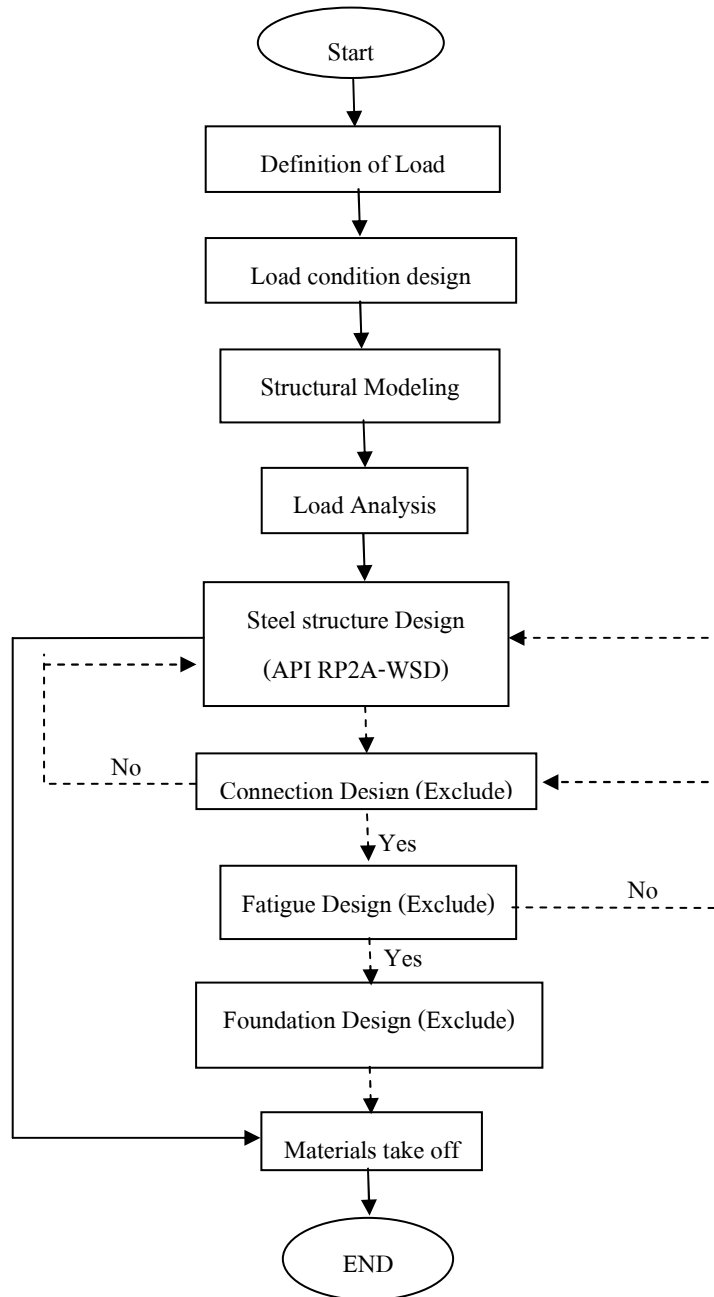
$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (2.29)$$

2.3.3 อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable interaction ratio OR Unity check)

สำหรับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ (Unity check) นั้น จะพิจารณาเลือกชิ้นส่วนของโครงสร้างที่มีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้สูงสุด (Maximum unity check) มาทำการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ได้จากการรวมความเค้นของสมการที่ 2.25 ถึง 2.29 โดยเลือกสมการที่มีค่าสูงสุดกรณีใดกรณีหนึ่งตามเงื่อนไขของแรงที่มากกระทำกับโครงสร้าง

บทที่ 3 ลำดับขั้นตอนการออกแบบและวิธีวิจัย

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการออกแบบโครงสร้างตามขี้อนแนะนำมาตรฐาน API RP2A-WSD (2007) โดยรายละเอียดข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบได้ระบุไว้ในบทที่ 2 ส่วนข้อมูลแรงกระทำจากสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทย จะกล่าวในหัวข้อถัดไป โดยลำดับขั้นตอนในการออกแบบโครงสร้างตามขี้อนแนะนำมาตรฐาน API RP2A-WSD (2007) ได้แสดงกระบวนการวิเคราะห์ออกแบบตามแผนผังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงกระบวนการในการออกแบบโครงสร้างตามขี้อนแนะนำการออกแบบ API RP2A-WSD (2007)

3.1 ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้สำหรับกรณีศึกษา

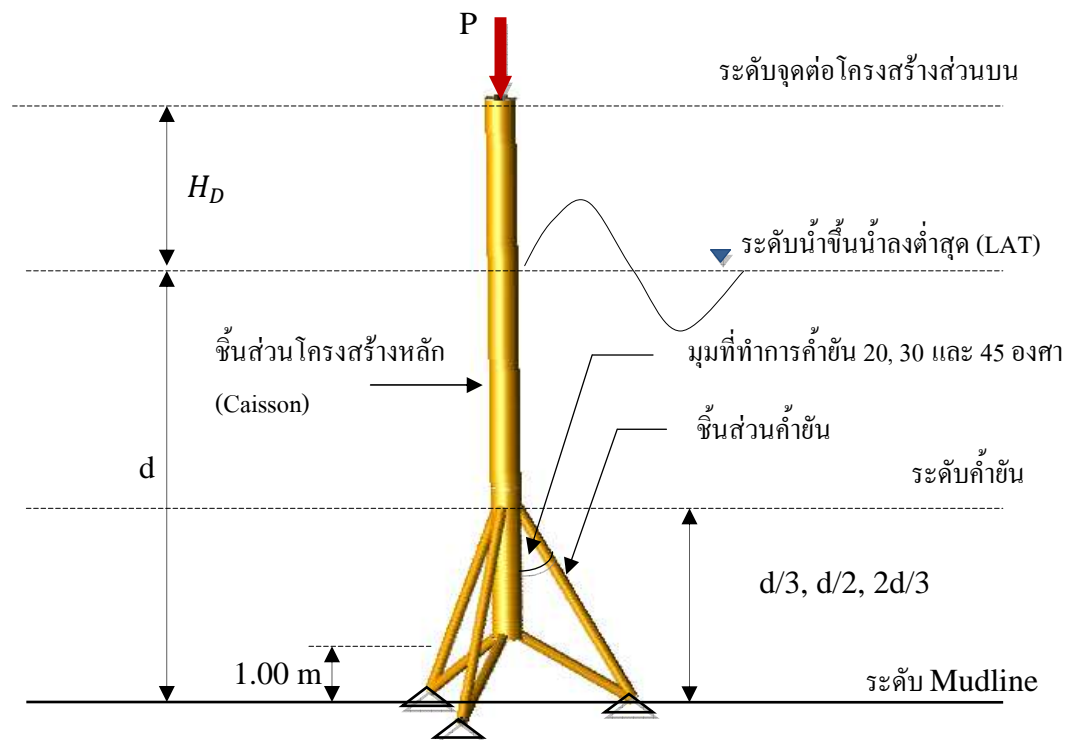
ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้สำหรับการออกแบบเป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติของคลื่นในอ่าวไทย โดย ทรงเกียรติ ฮั่นสันติ [3] ดังแสดงตามตารางที่ 3.1 และในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ข้อมูลคาบกลับ (Return period) 50 ปีในการออกแบบ โดยจะเป็นเงื่อนไขสูงสุด (Extreme condition) สำหรับการออกแบบ m^3

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการออกแบบโครงสร้างในอ่าวไทย [4]

Parameter	Detail	
Number of Wells	1 to 6	
Water depth (m)	20 , 30	
Water density (t/ m^3)	1.03	
Storm surge (m)	1 year : 0.6	50 year : 0.6
Tide (m)	1 year : 0.6	50 year : 0.6
Current (m/s)	1 year : Water surface = 0.54 Mid depth = 0.23 Mud line = 0.14	50 year : Water surface = 0.94 -8.0 m = 0.79 -30.0 m = 0.66 Mud line = 0.15
Marine growth (cm)	-30 m = 1.3 Mud line = 1.3	
Wind (m/s)	Exposure area = $72.5 m^2$	
	1 year : 17.2 m/s @ 10 m	50 year : 29.3 m/s @ 10 m
Drag coefficient (Cd)	0.8 for service condition and 1.05 for extreme condition	
Inertia coefficient (Cm)	1.2 for quasi-static analysis and 2.0 for modal analysis	
Wave kinematics factor	1.0 for service condition and 0.88 for extreme condition	
Topside pay load (P)	2000 kN (204 tons)	
Foundation type	Pined or Pile head	
Design code	API RP2A-WSD (2007)	
Air gap & clearance (m)	1.52 (5 ft)	
Wave height (Hmax50)	8.51 m (Refer ; SK Location)	
Wave period (Tmax50)	8.57 sec (Refer ; SK Location)	

3.2 แบบจำลองโครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน

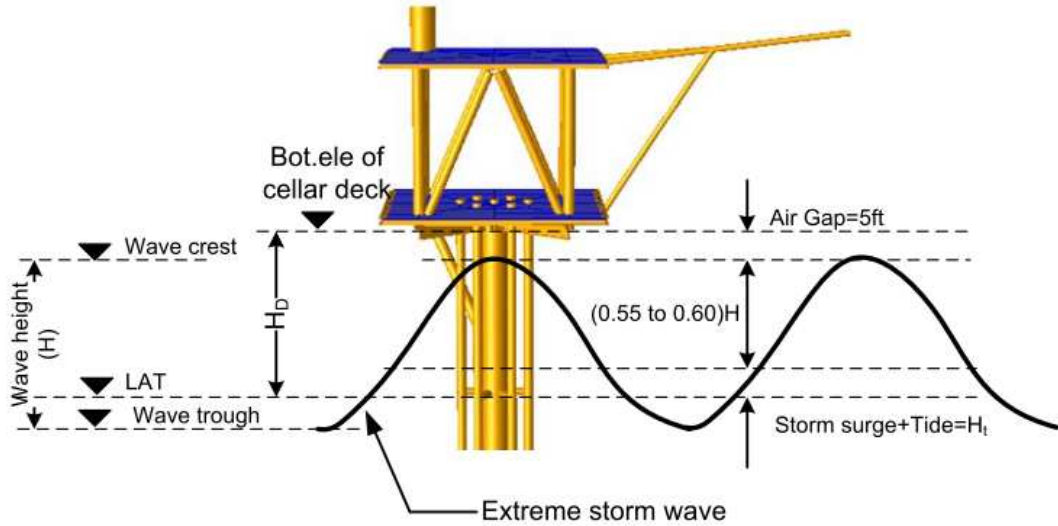
การสร้างแบบจำลองโครงสร้างนี้ ได้ทำการจำลองให้มีลักษณะเป็นคานยื่น และมีค้ำยันที่ระยะต่างๆ ดังแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยในแบบจำลองจะสมมุติให้ฐานรองรับเป็นแบบยึดหมุน (Pinned support) ถูกยึดด้วยเสาเข็ม โดยได้แบ่งแบบจำลองออกเป็นทั้งหมด 720 แบบ ตามที่ได้แสดงรายละเอียดการแบ่งแบบจำลองตามตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองโครงสร้างแทนจุดเจาะปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวร่วมกับค้ำยัน

จากรูปที่ 3.2 มีแรงกระทำจากโครงสร้างส่วนบน(Topside weight) เป็นแรง P กระทำในแนวดิ่ง ซึ่งกำหนดให้มีความค่าที่เท่ากับ 2000 กิโลนิวตัน (204 ตัน) ทุกแบบจำลอง มีความลึกน้ำทะเล (d) เท่ากับ 20 และ 30 เมตร โดยตัวโครงสร้างประกอบไปด้วยชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก (Caisson member) และชิ้นส่วนค้ำยัน (Braced member) มีมุมการค้ำยันและตำแหน่งในการค้ำยันดังรูป โดยกำหนดให้ขนาดชิ้นส่วนค้ำยันมีค่าคงที่คือมีความหนา 2.5 เซนติเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 เซนติเมตร

ในการคำนวณหาระยะระหว่างระดับน้ำขึ้นน้ำลงต่ำสุด (Lowest Astronomical Tide, LAT) และระดับจุดต่อกับโครงสร้างส่วนบนหรือระยะ H_D สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.3 และคำนวณหาได้จากสมการที่ (3.1)



รูปที่ 3.3 ค่าระดับ LAT และระยะต่างๆ สำหรับการออกแบบเบื้องต้น [4]

$$H_D = (0.55 - 0.66)H + H_t + h \tag{3.1}$$

- โดยที่
- H คือความสูงของคลื่น (Wave height)
 - H_t คือความสูงน้ำขึ้นน้ำลง (Storm surge plus tide)
 - h ช่องว่างอากาศ(Air gap) ระหว่างจุดสูงสุดของคลื่นและระดับจุดต่อโครงสร้างส่วนบน ตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD มีค่าเท่ากับ 5 ฟุต

และในสมการที่ (3.1) แฟคเตอร์ที่ใช้คูณกับความสูงของคลื่นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.55 ถึง 0.66 สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ค่าแฟคเตอร์ 0.62 ซึ่งจากการคำนวณเมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆ จะได้ค่า H_D เท่ากับ 8.00 เมตร

ตารางที่ 3.2 สรุปการสร้างแบบจำลองโครงสร้างแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน

<p>ความลึกน้ำทะเล 20 เมตร</p>	ระยะการค้ำยัน									
	d/3			d/2				2d/3		
	มุมที่ใช้ค้ำยัน (องศา)									
	20			30				45		
	ความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่นำมาวิเคราะห์ (mm)									
	19		25			34		40		
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อโครงสร้างหลัก(cm)									
	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
<p>ความลึกน้ำทะเล 30 เมตร</p>	ระยะการค้ำยัน									
	d/3			d/2				2d/3		
	มุมที่ใช้ค้ำยัน (องศา)									
	20			30				45		
	ความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่นำมาวิเคราะห์ (mm)									
	19		25			34		40		
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อโครงสร้างหลัก(cm)									
	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240

จากตารางที่ 3.2 ในแต่ละความลึกน้ำทะเลจะแบ่งตำแหน่งในการค้ำยันออกเป็นสามช่วง ซึ่งในแต่ละช่วงของการค้ำยันจะแบ่งแบบจำลองโครงสร้างออกเป็นมุมการค้ำยันต่างๆ โดยได้เลือกใช้ท่อที่มีความหนาต่างกันมาทำการออกแบบ นอกจากนั้นยังเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักให้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 60 เซนติเมตร จนถึง 240 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบการวิจัยให้มีความหลากหลาย โดยในหนึ่งระดับความลึกน้ำทะเลจะมีแบบจำลองโครงสร้างจำนวนเท่ากับ 360 แบบ และรวมทั้งระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตรกับ 30 เมตรจะมีแบบจำลองทั้งหมด 720 แบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อที่ 3.2

3.3 เงื่อนไขน้ำหนักบรรทุก (Load condition)

สำหรับเงื่อนไขน้ำหนักบรรทุกที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างจะประกอบไปด้วยแรงหลักๆ ดังนี้

- ก) น้ำหนักบรรทุกตายของโครงสร้างและแรงลอยตัว (LOADCN 1)
- ข) น้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างส่วนบนทั้งหมด (LOADCN 2) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2000 กิโลนิวตัน
- ค) แรงกระทำจากสิ่งแวดล้อมในทิศทางต่างๆ (LOADCN 3-26) โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะกำหนดให้ทิศทางของแรงกระทำจากสิ่งแวดล้อมหมุนเปลี่ยนไปทุกๆ 15 องศาและสมมติให้แฟกเตอร์คูณในแต่ละทิศทางมีค่าเท่ากัน ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขน้ำหนักบรรทุก

เงื่อนไขน้ำหนักบรรทุก	รายการเงื่อนไขน้ำหนักบรรทุก
LOADCN 1	JACKET DL & BOUYANCY
LOADCN 2	TOTAL TOPSIDE WEIGHT
LOADCN 3	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 0 DEG
LOADCN 4	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 15 DEG
LOADCN 5	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 30 DEG
LOADCN 6	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 45 DEG
LOADCN 7	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 60 DEG
LOADCN 8	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 75 DEG
LOADCN 9	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 90 DEG
LOADCN 10	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 105 DEG
LOADCN 11	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 120 DEG
LOADCN 12	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 135 DEG
LOADCN 13	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 150 DEG
LOADCN 14	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 165 DEG
LOADCN 15	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 180 DEG
LOADCN 16	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 195 DEG
LOADCN 17	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 210 DEG
LOADCN 18	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 225 DEG
LOADCN 19	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 240 DEG
LOADCN 20	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 255 DEG
LOADCN 21	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 270 DEG
LOADCN 22	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 285 DEG
LOADCN 23	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 300 DEG
LOADCN 24	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 315 DEG
LOADCN 25	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 330 DEG
LOADCN 26	WAVE & CURRENT&WIND FORM NE 345 DEG

3.4 การรวมน้ำหนักบรรทุก (Load combinations)

การรวมน้ำหนักบรรทุกที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเล โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งออกเป็นสองกรณีเงื่อนไข คือ เงื่อนไขปฏิบัติการ (Operating condition) และเงื่อนไขสูงสุด (Extreme Conditions) สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เงื่อนไขสูงสุดในการออกแบบ เนื่องจากเงื่อนไขสูงสุดจะมีแรงกระทำจากสิ่งแวดล้อมสูงสุดด้วย ทำให้โครงสร้างมีความปลอดภัยมากขึ้น ซึ่งแสดงรายละเอียดการรวมน้ำหนักบรรทุกตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การรวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบ โครงสร้าง

สัญลักษณ์น้ำหนักบรรทุก	การรวมน้ำหนักบรรทุก
LComb 101	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 3 x 1.00
LComb 102	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 4 x 1.00
LComb 103	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 5 x 1.00
LComb 104	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 6 x 1.00
LComb 105	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 7 x 1.00
LComb 106	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 8 x 1.00
LComb 107	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 9 x 1.00
LComb 108	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 10 x 1.00
LComb 109	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 11 x 1.00
LComb 110	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 12 x 1.00
LComb 111	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 13 x 1.00
LComb 112	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 14 x 1.00
LComb 113	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 15 x 1.00
LComb 114	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 16 x 1.00
LComb 115	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 17 x 1.00
LComb 116	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 18 x 1.00
LComb 117	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 19 x 1.00
LComb 118	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 20 x 1.00
LComb 119	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 21 x 1.00
LComb 120	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 22 x 1.00
LComb 121	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 23 x 1.00
LComb 122	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 24 x 1.00
LComb 123	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 25 x 1.00
LComb 124	LOADCN 1 x 1.05 + LOADCN 2 x 1.00 + LOADCN 26 x 1.00

บทที่ 4 ผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการศึกษาการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนาของโครงสร้างหลัก หรือ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ (Unity check Or Allowable interaction ratio) ของโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวมีค้ำยันที่ตำแหน่งการค้ำยันต่างๆ ได้แก่ ที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึก ครึ่งหนึ่งของความลึกและสองในสามของความลึกน้ำทะเล โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตรและ 30 เมตร ตามลำดับภายใต้สภาวะน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างส่วนบน (Topside structures) ที่ 2000 กิโลนิวตัน (204 ตัน) ซึ่งกำหนดให้ความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก (Caisson) มีค่าตั้งแต่ 19 มิลลิเมตรขึ้นไปจนถึงความหนา 40 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกตั้งแต่ 60 เซนติเมตร ถึง 240 เซนติเมตร โดยกำหนดให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีความหนาคงที่เท่ากับ 25 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 เซนติเมตรทุกๆ แบบจำลอง และมีมุมในการค้ำยัน 20 องศา 30 องศา และ 45 องศา นอกจากจะทำการศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนาของโครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ยังได้ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งการค้ำยันและมุมในการค้ำยันที่เหมาะสมอีกด้วย

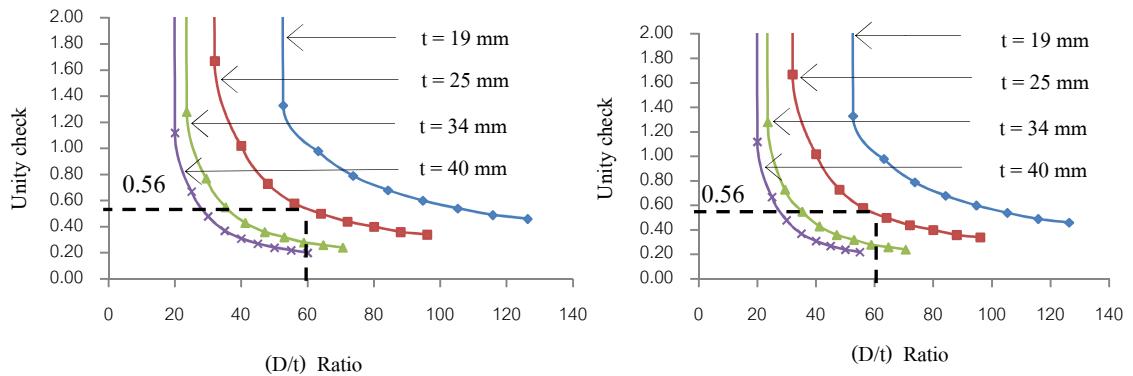
4.1 การเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร

4.1.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่มีตำแหน่งค้ำยันและมุมในการค้ำยันต่างๆ

จากตารางในภาคผนวก ก เมื่อนำค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ กับค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา มาสร้างกราฟความสัมพันธ์จะได้ตามรูปกราฟที่ 4.1 - 4.3 โดยในแต่ละรูปจะแบ่งกลุ่มออกเป็นรูป (ก) (ข) และ (ค) ซึ่งจะมีมุมในการค้ำยันที่ 20 องศา 30 องศา และ 45 องศา ตามลำดับ

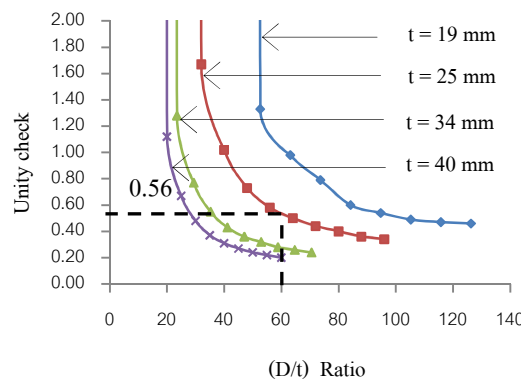
จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าเมื่ออัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้จะมีค่าลดลงในอัตราส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่อัตราส่วนอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เท่ากันแต่ละความหนาของท่อแตกต่างกันจะทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ มีค่าแตกต่างกัน

กันไปด้วย โดยเมื่อกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อมีค่าคงที่จะพบว่า การเพิ่มความหนาท่อจะทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าลดลง แต่เมื่อทำการเพิ่มความหนาถึง 34 มิลลิเมตรขึ้นไป จะพบว่า การเพิ่มความหนาท่อ โครงสร้างหลักไม่ได้ทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากดังการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีความหนา 34 มิลลิเมตรกับ 40 มิลลิเมตรตามรูปที่ 4.1



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา

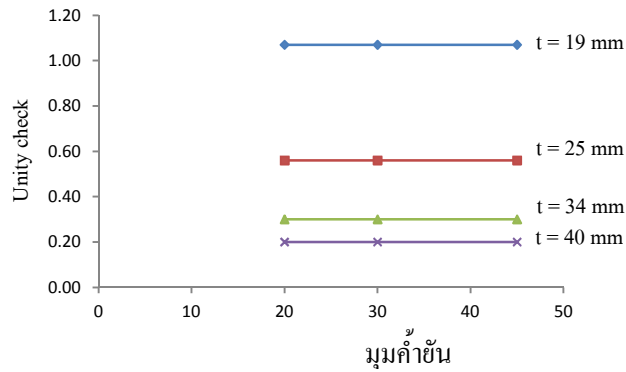
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



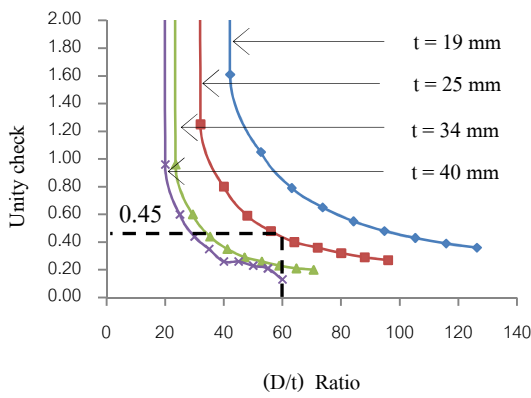
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

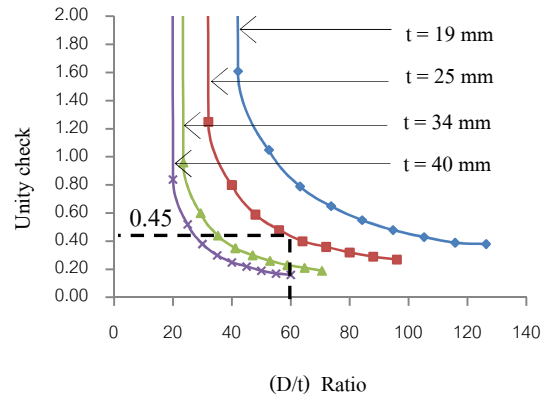
เมื่อนำค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ที่ความหนาของท่อ โครงสร้างหลักต่างๆ มาสร้างความสัมพันธ์กับมุมในการค้ำยันจะได้ดังรูปที่ 4.2 โดยสมมติให้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนามีค่าคงที่เท่ากับ 60



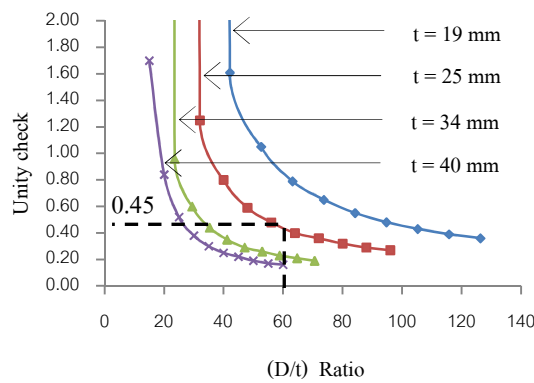
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้กับมุมในการค้ำยัน เมื่อสมมติให้ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนา มีค่าเท่ากับ 60



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



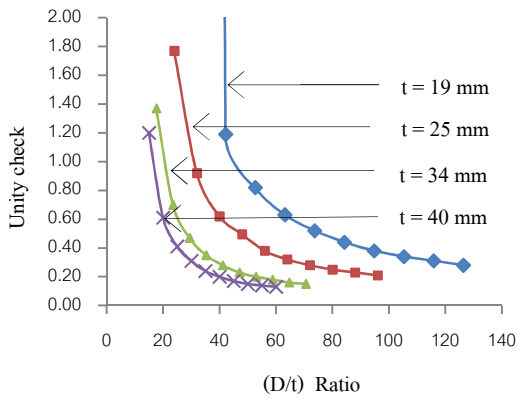
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล

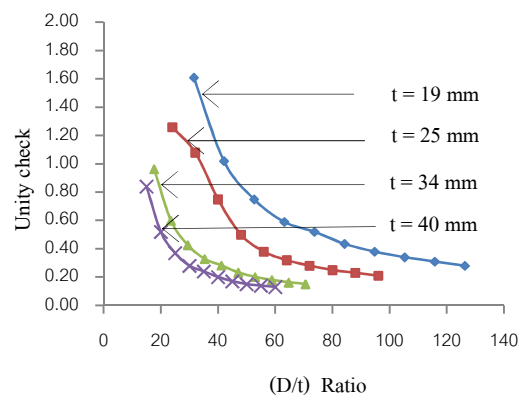
จากรูปที่ 4.2 จะพบว่ามุมในการค้ำยันชิ้นส่วน โครงสร้างหลัก ไม่ได้ทำให้อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าเปลี่ยนไป แสดงให้เห็นว่ามุมในการค้ำยันที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น มีผลต่อชิ้นส่วน โครงสร้างหลักน้อยมาก

ในรูปที่ 4.3 มีการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล ซึ่งมีลักษณะกราฟความสัมพันธ์ คล้ายคลึงกับรูปที่ 4.1 ที่มีการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล โดยมีสิ่งที่แตกต่างกัน คือที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาที่เท่ากัน การค้ำยันที่ตำแหน่ง ครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเลจะมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของ ชิ้นส่วน โครงสร้างหลักจะต่ำกว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล ดังแสดง ในรูปที่ 4.3 (ก) (ข) และ (ค) ที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาเท่ากับ 60 และความหนาของท่อเท่ากับ 25 มิลลิเมตรจะมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ ยอมให้มีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลคือ 0.56

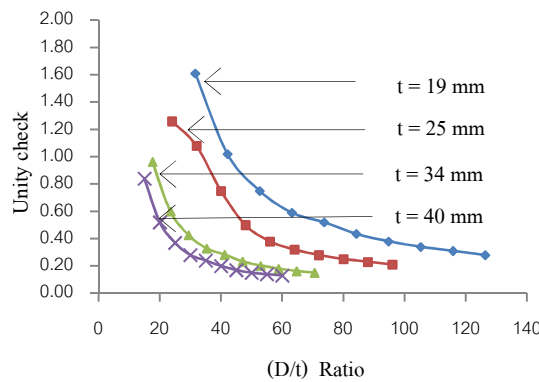
จากรูปที่ 4.1, 4.3 และ 4.4 จะพบว่าลักษณะของรูปความสัมพันธ์จะมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทาง เดียวกัน คือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนามากขึ้น ค่าอัตราส่วน หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ จะมีอัตราลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น และตามข้อแนะนำ สำหรับการออกแบบ API PR2A-WSD แนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรง ที่ยอมไม่เกิน 0.85 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1, 4.3 และ 4.4 จะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง ท่อ โครงสร้างหลักต่อความหนา ซึ่งทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมมีค่า เท่ากับ 0.85 ตามตารางที่ 4.1 โดยผลต่างๆที่ได้จากตารางนี้จะเป็นค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาดำสุดสำหรับความหนา โครงสร้างหลักและตำแหน่งค้ำยันค่าต่างๆ ซึ่ง สามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้ โดยอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาที่มี ค่าต่ำกว่าจุดนี้ไม่ควรนำมาใช้ในการออกแบบ โครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำ ยัน



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับ อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของ โครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล

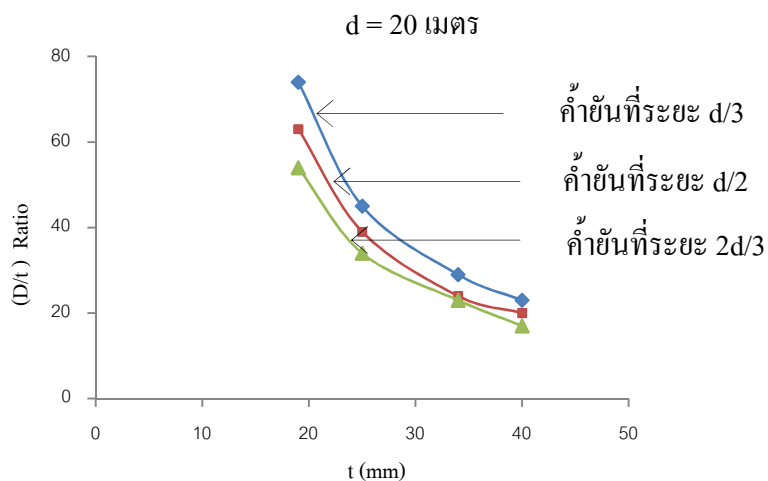
จากรูปกราฟที่ 4.5 พบว่า เมื่อความหนาของท่อเพิ่มมากขึ้น อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาจะมีอัตราส่วนลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่ความหนาของโครงสร้างหลักเท่ากัน การค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่น้อยกว่าการค้ำยันที่จุดอื่นๆ ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ การค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล จะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่เล็กกว่าแต่จะใช้ปริมาณชิ้นส่วนในการค้ำยันเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจากรูปกราฟที่ 4.5 นี้ เมื่อกำหนดความหนาของท่อที่จะใช้ในการออกแบบได้แล้ว ก็สามารถที่จะคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อได้ ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนในการเลือกหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่จะใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างได้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนากับขนาดความหนาของท่อต่างๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85 ที่ระยะการค้ำยันต่างๆ กัน

ความลึกน้ำทะเล 20 เมตร			
ความหนาท่อ (มม.)	(D/t ratio)		
	ค้ำยันที่ระยะ d/3	ค้ำยันที่ระยะ d/2	ค้ำยันที่ระยะ 2d/3
19	74	63	54
25	45	39	34
34	29	24	23
40	23	20	17

จากตารางที่ 4.1 นำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาและความหนาของท่อไปสร้างกราฟความสัมพันธ์จะได้ตามรูปที่ 4.5



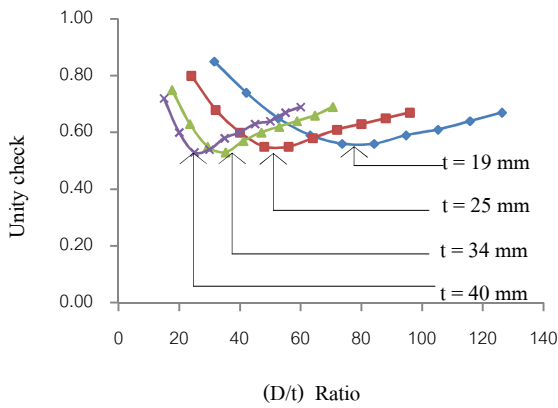
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของท่อ (t) กับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักที่มีการค้ำยันที่ระยะต่างๆ โดยมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85

4.1.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของ ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักและค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยัน ที่มีตำแหน่งค้ำยันและที่มุมในการค้ำยันต่างๆ

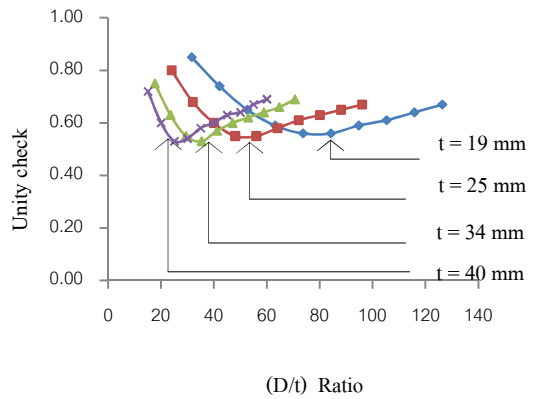
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลของชิ้นส่วนค้ำยันโครงสร้าง (Braced member) โดยให้
อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาอยู่ในแนวแกนนอน และค่าอัตราส่วนหน่วย
แรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยันอยู่ในแนวแกนตั้ง ซึ่งได้ทำการแบ่งเป็น
กลุ่มๆ ตามตำแหน่งการค้ำยัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 – 4.8

จากรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) จะพบว่าลักษณะกราฟที่คล้ายคลึงกัน คือ จะมีค่าอัตราส่วนเส้นผ่าน
ศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา จุดหนึ่ง ที่จะทำให้เกิดค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อ
หน่วยแรงที่ยอมให้ มีค่าต่ำกว่าจุดอื่นๆ ซึ่ง ณ จุดนี้จะทำให้โครงสร้างชิ้นส่วนค้ำยันเกิดความเค้น
สูงสุดมีค่าน้อยกว่าจุดอื่น เหมาะที่จะนำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่
จุดนี้มาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้าง เพื่อให้ได้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อ
ความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน ตามตำแหน่งการค้ำยันต่างๆ
เนื่องจากที่จุดนี้จะทำให้โครงสร้างชิ้นส่วนค้ำยันเกิดแรงภายในน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยลดขนาดของ
ชิ้นส่วนในการค้ำยันโครงสร้างได้

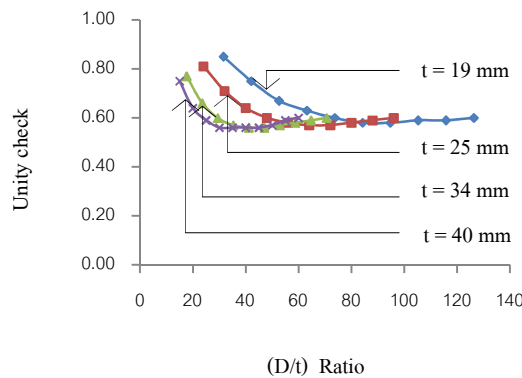
ส่วนรูปที่ 4.6 (ค) จะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของ
ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักมากขึ้น ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของ
ชิ้นส่วนค้ำยันจะมีค่าลู่เข้าสู่ค่าคงที่ หมายถึงมุมในการค้ำยันไม่มีผลต่อชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก แต่จะมี
ผลโดยตรงกับชิ้นส่วนค้ำยัน ซึ่งเมื่อมุมค้ำยันมีค่ามากขึ้น ชิ้นส่วนค้ำยันจะสามารถต้านทานแรงที่ส่ง
ถ่ายมาจากโครงสร้างหลักได้มากขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำทะเลด้วย เนื่อง
จะจากความลึกน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีความยาวมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนค้ำยัน
วิบัติจากการโก่งเดาะได้



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา

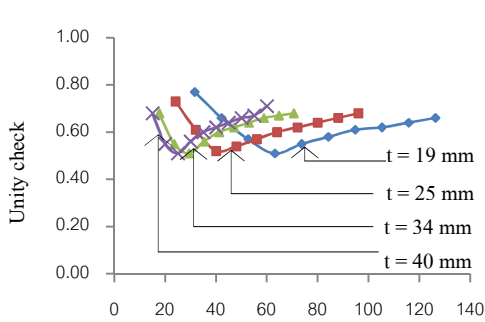


(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

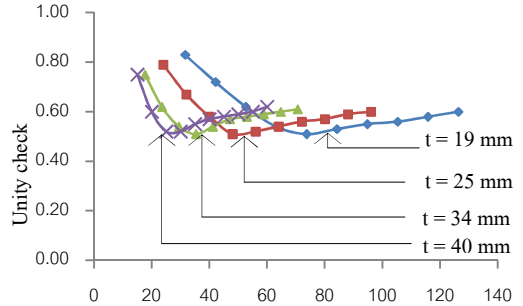
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับ อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของ โครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

เมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ รูปที่ 4.7 จะพบว่าลักษณะของรูปความสัมพันธ์จะเป็นไปในทำนอง เดียวกันกับรูปที่ 4.6 คือในรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อ ความหนาจุดหนึ่ง ที่ทำให้เกิดค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำสุด ซึ่ง ณ จุดนี้จะเป็นจุดที่มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้าง หลักที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน เพราะที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา จุดนี้จะทำให้โครงสร้างชิ้นส่วนค้ำยันเกิดแรงภายในน้อยกว่าจุดอื่นๆ เหมาะที่จะนำอัตราส่วนเส้นผ่าน ศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่จุดนี้มาใช้สำหรับการออกแบบ โดยในการเลือกอัตราส่วน เส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่ใช้ในการออกแบบจะต้องพิจารณาเลือกตามความ หนาของท่อโครงสร้างหลักที่ใช้ด้วย เนื่องจากความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่แตกต่างกันจะทำให้

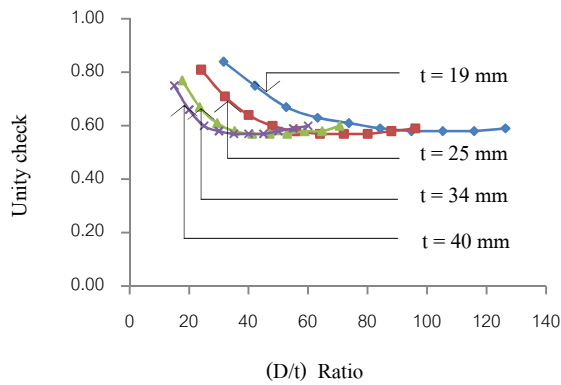
ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมกับชั้นส่วนค้ำยันที่แตกต่างกันไป



(D/t) Ratio
(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา

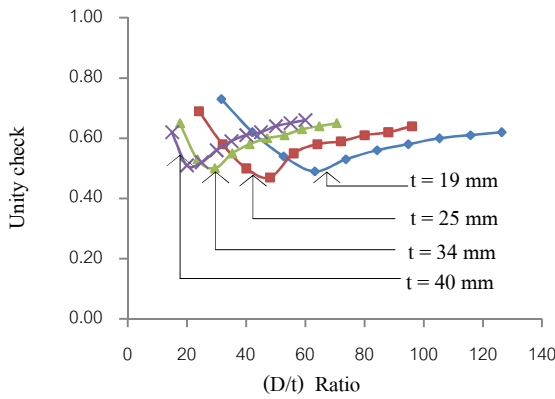


(D/t) Ratio
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา

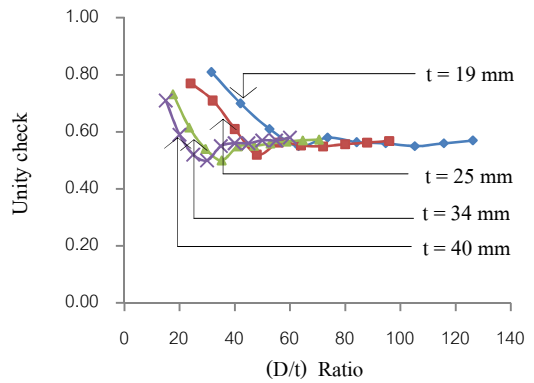


(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

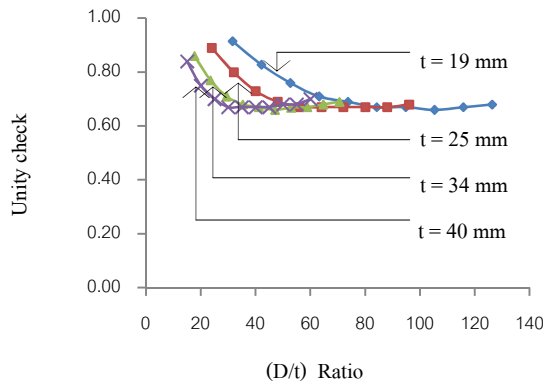
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับ อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของ โครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับ อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของ โครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

จากรูปที่ 4.8 จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ซึ่งจะเป็นการยืนยันว่า อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยันมีค่าต่ำกว่าจุดอื่นๆ เหมาะที่จะนำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนานี้มาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้าง เช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ซึ่งอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนค้ำยันที่เหมาะสมได้แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาได้จากความสัมพันธ์จากรูปที่ 4.6 ถึง รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ที่เหมาะสมของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักที่ทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรง ที่ยอมให้ต่ำที่สุด ของท่อที่มีความหนาต่างๆ กัน ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร

ระยะการค้ำยัน	มุมของการค้ำยัน	อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วน โครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันที่ ขนาดความหนาต่างๆ			
		19 mm	25 mm	34 mm	40 mm
$\frac{d}{3}$	20 องศา	70	45	30	25
	30 องศา	75	50	35	30
	45 องศา	-	-	-	-
$\frac{d}{2}$	20 องศา	65	45	30	25
	30 องศา	75	50	35	30
	45 องศา	-	-	-	-
$\frac{2d}{3}$	20 องศา	65	45	30	25
	30 องศา	70	50	35	30
	45 องศา	-	-	-	-

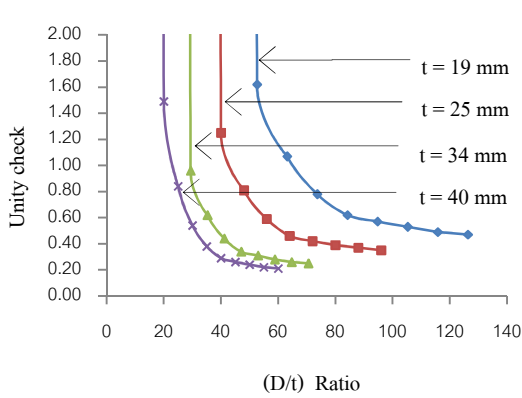
จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าขนาดท่อโครงสร้างหลักที่มีความหนาตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป จะมี อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมน้อยกว่า 60 ซึ่งตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD แรงอัดตามแนวแกน (Axial Compression) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2-14 และ สมการที่ 2-15 เนื่องจากการโก่งเดาะที่เสา (Column buckling) ส่วนที่ความหนาของท่อ โครงสร้างหลักน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนามาก กว่า 60 แต่น้อยกว่า 300 การวิบัติของโครงสร้างจะเกิดขึ้นเนื่องจากการโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local buckling) สามารถคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 2-16 และ สมการที่ 2-17

ส่วนที่มุม 45 องศาไม่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 เนื่องจากผลจากรูปความสัมพันธ์ของมุมนี้แตกต่างจาก มุมอื่นๆ คือ การค้ำยันที่มุม 45 องศานี้มีขนาดมากพอที่ชิ้นส่วนค้ำยันจะสามารถต้านทานแรงที่ส่งถ่าย จากโครงสร้างหลักได้เต็มที่ ถึงแม้จะเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักมากขึ้นก็ตาม

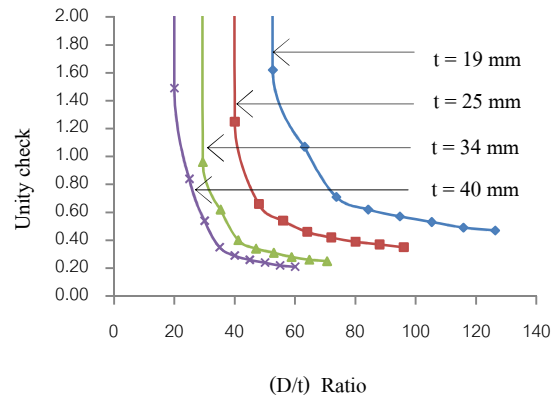
4.2 การเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร

4.2.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่มีตำแหน่งค้ำยันและมุมในการค้ำยันต่างๆ

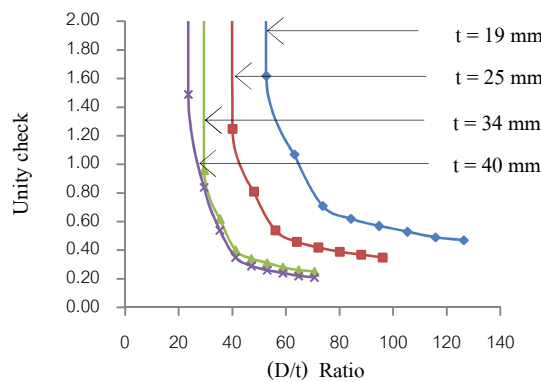
ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ซึ่งจะคล้ายคลึงกับหัวข้อ 4.1.1 แต่จะแตกต่างกันที่ระดับความลึกน้ำทะเลที่มีความลึกมากกว่า



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



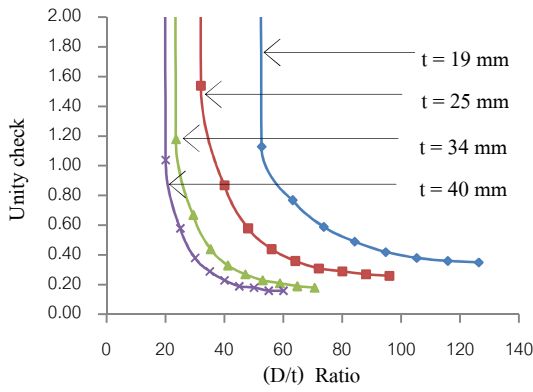
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



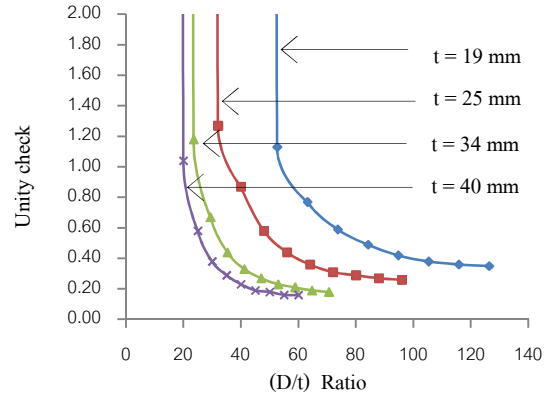
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

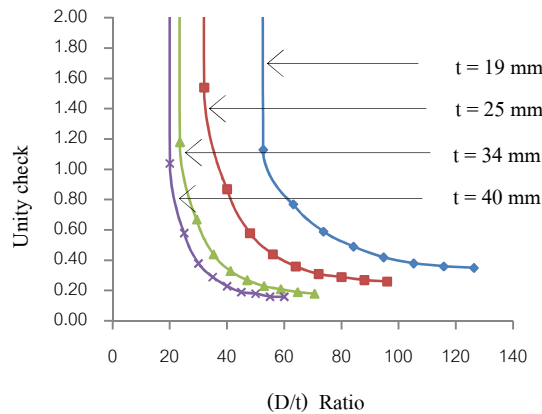
เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.9 กับรูปที่ 4.1 ซึ่งมีการค้ำยันที่ระยะเดียวกัน แต่ระดับความลึกของน้ำทะเลแตกต่างกัน พบว่าทั้งสองรูปชิ้นส่วน โครงสร้างหลักที่มีความหนามากกว่า 25 มิลลิเมตรขึ้นไป จะมีอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าลดลงที่น้อยมาก หลังจากที่เพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนา มากกว่า 60



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



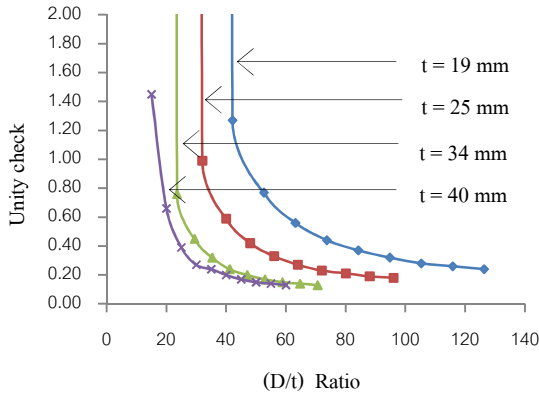
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



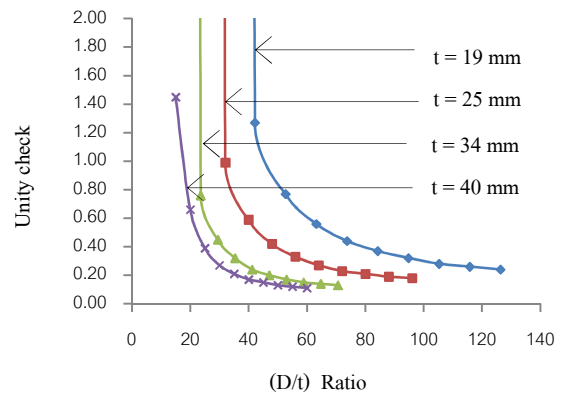
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล

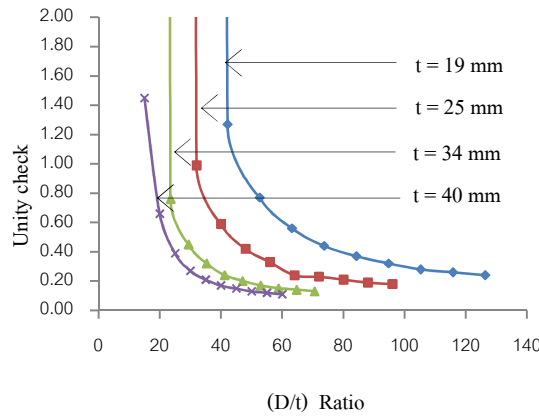
ความสัมพันธ์ของรูปที่ 4.10 มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.9 โดยทั้งรูป (ก) (ข) และ (ค) จะมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เข้าใกล้ค่าคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาถึงระดับหนึ่ง



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

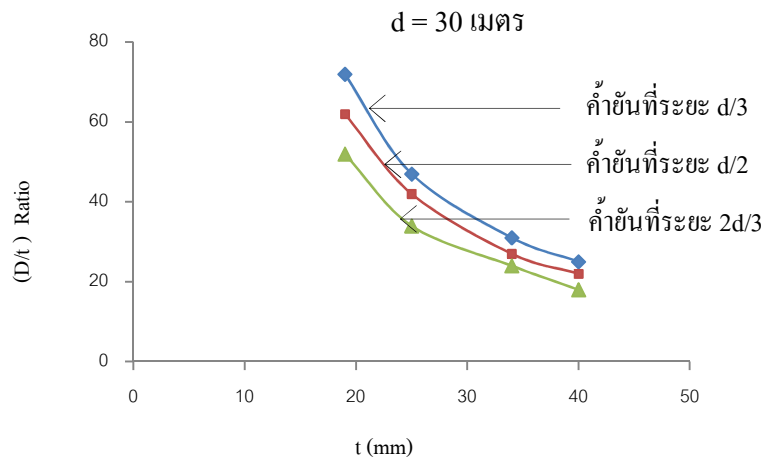
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนา กับ อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของ โครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล

รูปที่ 4.11 จะมีลักษณะของกราฟคล้ายคลึงกับรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 แต่ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนากับค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ จะมีค่าแตกต่างกันตามระยะการค้ำยันที่แตกต่างกันไป ตามข้อแนะนำสำหรับการออกแบบ API PR2A-WSD แนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมไม่เกิน 0.85 ดังนั้น เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ มีค่าเท่ากับ 0.85 ในแต่ละ หนาต่างๆ แล้ว จะได้ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาดำสุด ที่จะสามารถ นำไปใช้ในการออกแบบตามระยะการค้ำยันและความหนาของท่อ โครงสร้างหลักที่ใช้ ซึ่งได้แสดงใน ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักกับขนาดความหนาของท่อต่างๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85 ที่ระยะการค้ำยันต่างๆ กัน

ความลึกน้ำทะเล 30 เมตร			
ความหนาท่อ (มม.)	อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อ ความหนา		
	ค้ำยันที่ระยะ d/3	ค้ำยันที่ระยะ d/2	ค้ำยันที่ระยะ 2d/3
19	72	62	52
25	47	42	34
34	31	27	24
40	25	22	18

จากตารางที่ 4.3 นำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาและความหนาของท่อ ไปสร้างความสัมพันธ์ จะได้ตามรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของท่อ (t) กับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลัก ต่อความหนา ของชิ้นส่วน โครงสร้างหลัก โครงสร้างหลักที่มีการค้ำยันที่ระยะต่างๆ โดยมี ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85

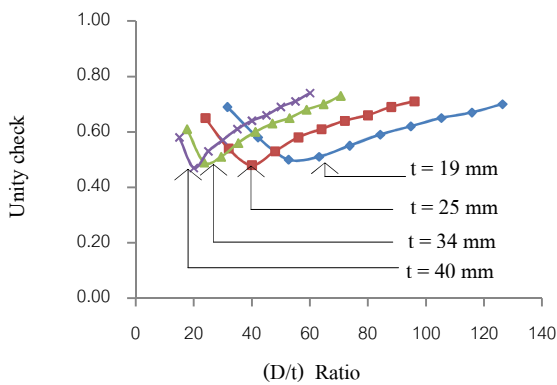
จากผลตารางที่ 4.3 และรูปกราฟที่ 4.12 เป็นกราฟของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ระดับความลึกน้ำ ทะเล 30 เมตร จะมีลักษณะคล้ายกันกับตารางที่ 4.1 และรูปกราฟที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟของชิ้นส่วน

โครงสร้างหลักที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร จากผลการเปรียบเทียบทั้งสองระดับความลึกน้ำทะเล พบว่าที่ระยะการค้ำยันเดียวกัน จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่มีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ที่ค่า 0.85 มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าความลึกของน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่ออัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา น้อยมาก

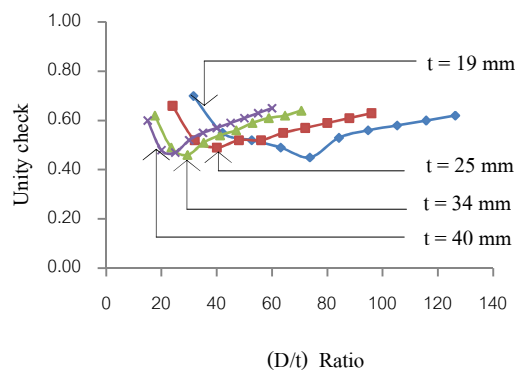
และจากรูปที่ 4.12 การค้ำยันที่ระยะ สองในสามของความลึกน้ำทะเล จะใช้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่น้อยกว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งครึ่งของความลึกน้ำทะเลและ หนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การค้ำยันที่ระยะ สองในสามของความลึกน้ำทะเล ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่าโครงสร้างหลักที่เล็กกว่า แต่จะทำให้ใช้ชิ้นส่วนในการค้ำยันมากกว่าระยะการค้ำยันอื่น เพราะจะต้องใช้ชิ้นส่วนในการค้ำยันที่ยาวขึ้น โดยจะมีผลต่อการพิจารณาน้ำหนักของโครงสร้างที่ใช้สำหรับการออกแบบว่าระยะการค้ำยันอันใด ที่จะทำให้ประหยัดวัสดุและสามารถต้านทานแรงจากสิ่งแวดล้อมได้มากที่สุด

4.2.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของ ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักและค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยัน ที่มีระยะค้ำยันและที่มุมในการค้ำยันต่างๆ

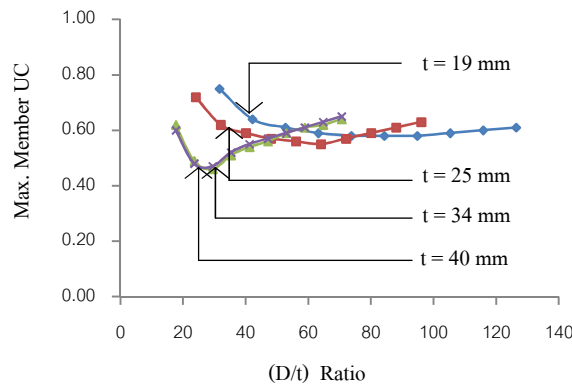
ผลการศึกษาในหัวข้อนี้ ได้จากการนำความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลัก ต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก และค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยัน จากตาราง ภาคผนวก (ข) มาสร้างความสัมพันธ์ จะได้ดังรูปที่ 4.13 -4.15



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



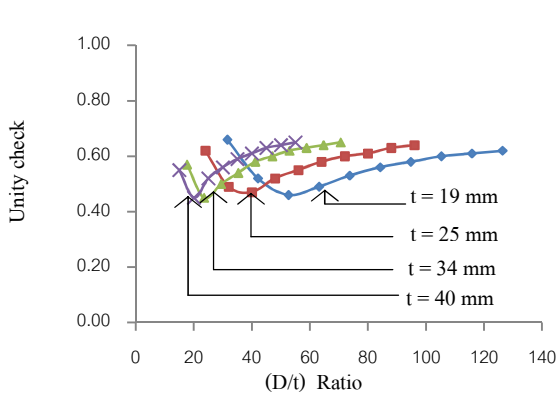
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



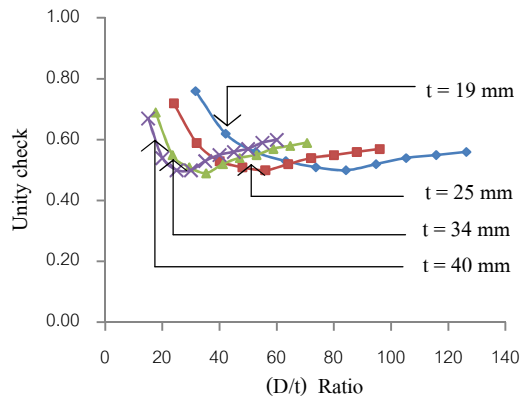
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของ ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของ ชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

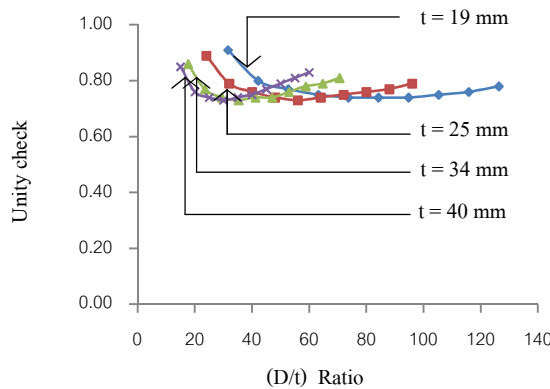
จากรูปที่ 4.13 จะพบว่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ทำให้ ชิ้นส่วนค้ำยันเกิดอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าน้อยที่สุดแตกต่างกันไป ซึ่งจะมีตัวแปรหลักขึ้นอยู่กับ ความหนาของท่อ โครงสร้างหลัก โดยท่อโครงสร้างหลักที่ความหนามากๆ จะมีค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน มีค่าน้อยกว่าท่อโครงสร้างหลักที่มีความหนาน้อยๆ



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา

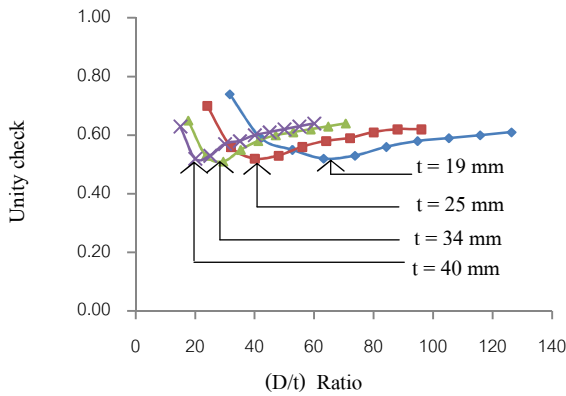


(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

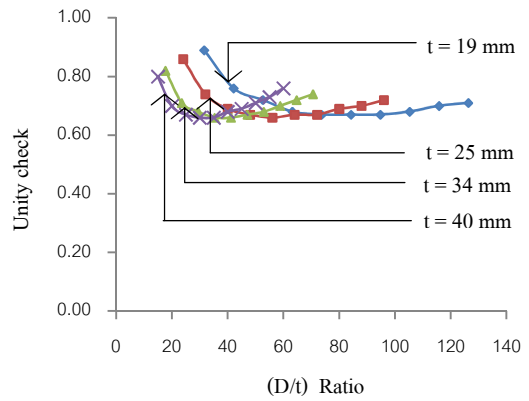
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล

สำหรับรูปที่ 4.14 ลักษณะของกราฟทั้งรูป (ก) (ข) และ (ค) จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับรูปที่ 4.13 คือในมุมการค้ำยันที่ 20 องศา และ 30 องศา จะพบว่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อ

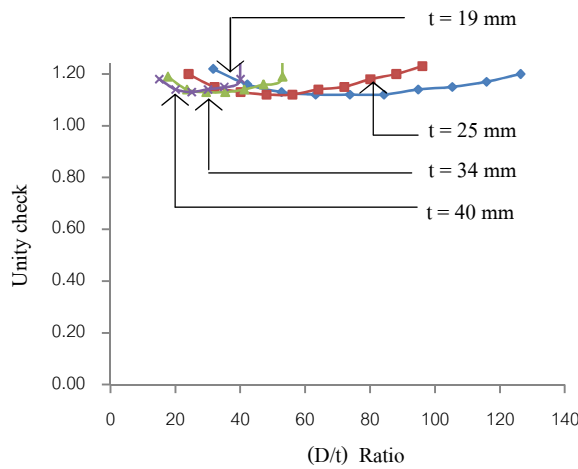
ความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เหมาะสมกับชิ้นค้ำยันได้ชัดเจน โดยจะมีเพียงหนึ่งจุดที่ทำให้อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยันมีค่าต่ำสุด ส่วนในมุมการค้ำยัน 45 องศา จะพบว่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันมีหลายค่า ซึ่งจะอยู่ในช่วงที่ชิ้นส่วนค้ำยันมีอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าคงที่



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล

จากรูปที่ 4.15 จะพบว่า รูป (ค) ชิ้นส่วนค้ำยันไม่สามารถต้านทานจากแรงที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากชิ้นส่วนในการค้ำยันมีความยาวมากเกินไป ถ้าจำเป็นที่จะต้องใช้ในการออกแบบค้ำยัน จะต้องทำการ

เพิ่มขึ้นส่วนค้ำยันให้มากขึ้นกว่าเดิม และจะพบว่ามุมในการค้ำยัน 20 องศา จะทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันเกิดค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ต่ำสุด ซึ่งต่ำกว่ามุมในการค้ำยัน 30 องศา และ 45 องศา ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.13 – 4.15 เมื่อนำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันของท่อ โครงสร้างหลักที่ขนาดความหนาต่างๆ มาเขียนสรุปเป็นตารางได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำที่สุด ของท่อที่มีความหนาต่างๆ กัน ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร

ระยะการค้ำยัน	มุมของการค้ำยัน	อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันที่ขนาดความหนาต่างๆ			
		19 mm	25 mm	34 mm	40 mm
$\frac{d}{3}$	20 องศา	55	38	25	20
	30 องศา	73	40	28	22
	45 องศา	85	60	28	27
$\frac{d}{2}$	20 องศา	52	37	25	20
	30 องศา	85	55	30	25
	45 องศา	90	58	35	30
$\frac{2d}{3}$	20 องศา	65	43	29	21
	30 องศา	90	55	35	27
	45 องศา	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ที่มุมค้ำยัน 20 องศา จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน มีค่าน้อยกว่ามุมอื่นๆ ที่ใช้ในการค้ำยัน โดยที่มุมในการค้ำยันที่มากขึ้น จะทำให้ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

และที่ความหนาของท่อโครงสร้างหลักเท่ากับ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาจะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 ทุกๆ ระยะการค้ำยัน ซึ่งแรงอัดตามแนวแกน เสา สามารถคำนวณได้จากสมการการโก่งเดาะที่เสา (Column buckling) ดังนั้นเพื่อให้การวิบัติของ โครงสร้างโครงสร้างหลักเป็นไปแบบราบเรียบ ไม่มีความซับซ้อนจึงควรจะใช้ความหนาของท่อ โครงสร้างหลักสำหรับการออกแบบ โครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวร่วมกับค้ำยัน ตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป

4.3 การพิจารณาหาระยะการค้ำยัน และมุมในการค้ำยันที่เหมาะสม

ในการพิจารณาหาความเหมาะสมของแบบจำลองโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวร่วมกับค้ำยันนั้น สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ซึ่งได้จากการเลือกแบบจำลองที่มีอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 0.85 จากภาคผนวก (ก) และภาคผนวก (ข) ของท่อโครงสร้างหลักที่มีความหนาต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบระยะการค้ำยัน มุมในการค้ำยัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่มีความหนาต่าง ๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีไม่เกิน 0.85 ของแบบจำลองที่ความลึกน้ำทะเล 20 เมตร

ระยะการค้ำยัน	มุมในการค้ำยัน	t (cm)	D (m)	D/t	Total Weight (Ton)	Unity check	
						Caisson	Braced
$\frac{d}{3}$	20	1.90	1.40	73.68	26.83	0.79	0.59
		2.50	1.20	48.00	29.01	0.73	0.56
		3.40	1.00	29.41	31.58	0.77	0.53
		4.00	1.00	25.00	35.42	0.67	0.55
	30	1.90	1.40	73.68	28.42	0.79	0.56
		2.50	1.20	48.00	30.60	0.73	0.55
		3.40	1.00	29.41	33.17	0.73	0.55
		4.00	1.00	25.00	37.01	0.67	0.53
	45	1.90	1.40	73.68	32.36	0.79	0.60
		2.50	1.20	48.00	34.54	0.73	0.60
		3.40	1.00	29.41	32.11	0.77	0.60
		4.00	1.00	25.00	40.95	0.67	0.59
$\frac{d}{2}$	20	1.90	1.20	63.16	28.54	0.79	0.51
		2.50	1.00	40.00	29.95	0.80	0.52
		3.40	1.00	29.41	35.72	0.60	0.51
		4.00	1.00	25.00	39.57	0.60	0.51
	30	1.90	1.20	63.16	31.03	0.79	0.54
		2.50	1.00	40.00	32.44	0.80	0.58
		3.40	1.00	29.41	38.21	0.60	0.54
		4.00	0.80	20.00	36.92	0.84	0.60
	45	1.90	1.20	63.16	37.23	0.79	0.63
		2.50	1.00	40.00	38.64	0.80	0.64
		3.40	1.00	29.41	44.41	0.60	0.61
		4.00	0.80	20.00	43.13	0.84	0.66
$\frac{2d}{3}$	20	1.90	1.00	52.63	30.84	0.82	0.54
		2.50	1.00	40.00	34.68	0.62	0.50
		3.40	0.80	23.53	36.09	0.70	0.53
		4.00	0.80	20.00	39.17	0.61	0.51
	30	1.90	1.00	52.63	34.23	0.82	0.61
		2.50	1.00	40.00	38.08	0.75	0.61
		3.40	0.80	23.53	39.49	0.60	0.62
		4.00	0.60	15.00	37.44	0.84	0.71
	45	1.90	1.00	52.63	42.36	0.82	0.76
		2.50	1.00	40.00	46.21	0.62	0.73
		3.40	0.80	23.53	47.62	0.70	0.77
		4.00	0.80	20.00	50.69	0.61	0.75

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบระยะการค้ำยัน มุมในการค้ำยัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของท่อ โครงสร้างหลักที่มีความหนาต่าง ๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ไม่เกิน 0.85 ของแบบจำลองที่ความลึกน้ำทะเล 30 เมตร

ระยะการค้ำยัน	มุมในการค้ำยัน	t (cm)	D (m)	D/t	Total Weight (Ton)	Unity check	
						Caisson	Braced
$\frac{d}{3}$	20	1.90	1.40	73.68	37.45	0.78	0.55
		2.50	1.20	48.00	40.39	0.81	0.53
		3.40	1.20	35.29	49.71	0.62	0.56
		4.00	1.00	25.00	49.02	0.84	0.53
	30	1.90	1.40	73.68	39.86	0.71	0.45
		2.50	1.20	48.00	42.79	0.66	0.52
		3.40	1.20	35.29	52.11	0.62	0.51
		4.00	1.00	25.00	51.42	0.84	0.47
	45	1.90	1.40	73.68	45.80	0.71	0.58
		2.50	1.20	48.00	48.78	0.81	0.57
		3.40	1.20	35.29	58.06	0.62	0.51
		4.00	1.00	25.00	52.19	0.84	0.47
$\frac{d}{2}$	20	1.90	1.20	63.16	40.44	0.77	0.49
		2.50	1.20	48.00	46.66	0.58	0.52
		3.40	1.00	29.41	50.11	0.67	0.50
		4.00	1.00	25.00	55.29	0.58	0.52
	30	1.90	1.20	63.16	44.34	0.77	0.53
		2.50	1.20	48.00	50.55	0.58	0.51
		3.40	1.00	29.41	54.00	0.67	0.51
		4.00	1.00	25.00	59.18	0.58	0.50
	45	1.90	1.20	63.16	53.54	0.77	0.75
		2.50	1.20	48.00	59.75	0.58	0.74
		3.40	1.00	29.41	63.20	0.67	0.74
		4.00	1.00	25.00	68.38	0.58	0.74
$\frac{2d}{3}$	20	1.90	1.00	52.63	43.56	0.77	0.55
		2.50	1.00	40.00	48.74	0.59	0.52
		3.40	0.80	23.53	50.64	0.76	0.53
		4.00	0.80	20.00	54.78	0.66	0.52
	30	1.90	1.00	52.63	48.84	0.77	0.72
		2.50	1.00	40.00	54.02	0.59	0.69
		3.40	0.80	23.53	55.92	0.76	0.71
		4.00	0.80	20.00	60.06	0.66	0.70
	45	1.90	1.00	52.63	61.35	0.77	1.13
		2.50	1.00	40.00	66.52	0.59	1.13
		3.40	0.80	23.53	68.42	0.76	1.14
		4.00	0.80	20.00	72.57	0.66	1.14

จากตารางที่ 4.5-4.6 พบว่าการเพิ่มระยะการค้ำยันที่มากขึ้น จะช่วยให้ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโครงสร้างหลักมีขนาดที่เล็กลง แต่เมื่อรวมน้ำหนักของชิ้นส่วนค้ำยันเข้าไปด้วย การค้ำยันที่ตำแหน่ง สองในสามของความลึกน้ำทะเล จะทำให้ใช้วัสดุสิ้นเปลืองกว่าตำแหน่งการค้ำยันอื่นๆ ดังนั้น ตำแหน่งการค้ำยันที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาในเรื่องน้ำหนักวัสดุที่ใช้สำหรับการก่อสร้างคือการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล และเมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

ของวัสดุที่ใช้กับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งครั้งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล จะพบว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลจะประหยัดมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเทียบกับการค้ำยันที่ระยะ สองในสามของความลึกน้ำทะเล แล้ว การค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลจะประหยัดมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างลงได้มาก

เมื่อพิจารณาการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลซึ่งเป็นระยะการค้ำยันที่เหมาะสมที่สุด จะพบว่ามุมในการค้ำยันที่ 20 องศาจะใช้วัสดุในการก่อสร้างน้อยที่สุด เมื่อเปรียบกับมุมในการค้ำยัน 30 องศาและ 45 องศา ตามลำดับโดยจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักตั้งแต่ 1.40 เมตร ขึ้นไปสำหรับท่อที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร ส่วนแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้ความหนาของท่อโครงสร้างหลักตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป จะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อโครงสร้างหลักตั้งแต่ 1.20 เมตรขึ้นไป และจะมีอัตราส่วน อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่ใช้ในการออกแบบได้อยู่ในช่วง 25-73 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่ใช้สำหรับการออกแบบ

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการเสนอวิธีการออกแบบโครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันตามข้อแนะนำการออกแบบ API RP2A-WSD (2007) โดยใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยทำการวิเคราะห์ออกแบบ ซึ่งมีแบบจำลองทั้งหมด 720 กรณี และวิเคราะห์ด้วยวิธีกึ่งสถิตยศาสตร์ ที่ระดับความลึกของน้ำทะเล 20 เมตร และ 30 เมตร โดยมีเงื่อนไขสภาพแวดล้อมทะเลบริเวณแหล่งสงขลา ที่มีความลึกน้ำทะเลไม่เกิน 50 เมตร การศึกษานี้จะพิจารณาผลของการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักที่มีความหนาคงที่ ซึ่งมีผลต่อค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ และทำการพิจารณารูปทรงที่เหมาะสมของโครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน โดยมีตำแหน่งการค้ำยันและมุมการค้ำยันที่ต่างกัน ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การพิจารณาชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก

- 1). เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักมากขึ้น ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้จะมีค่าลดลงอย่างไม่เป็นเชิงเส้นและค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้จะมีแนวโน้มเข้าหาค่าคงที่เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักถึงระดับหนึ่ง
- 2). การเปลี่ยนแปลงมุมในการค้ำยัน มีผลกระทบน้อยมากต่อค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก
- 3). ความลึกน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไปไม่มีผลที่เป็นนัยสำคัญกับค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา
- 4). การค้ำยันในตำแหน่งที่สูงขึ้น จะช่วยให้ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลง เมื่อพิจารณาอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85 โดยการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเลจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เล็กกว่าการค้ำยันตำแหน่งอื่นที่ได้ทำการศึกษา
- 5). เมื่อเพิ่มความหนาของโครงสร้างหลักมากขึ้น ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้จะมีค่าลดลง

5.2 การพิจารณาชิ้นส่วนโครงสร้างค้ำยัน

1). เมื่อนำชิ้นส่วนค้ำยัน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของที่ ไปค้ำยัน โครงสร้างหลัก ในแต่ละความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้างหลักจะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลัก ต่อความหนาหนึ่งจุดเท่านั้นที่จะทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าต่ำสุด ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดที่มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสม สำหรับการออกแบบ

2). ในการค้ำยันที่ตำแหน่งที่สูงขึ้น จะทำให้ใช้ปริมาณชิ้นส่วนค้ำยันมากขึ้นตามไปด้วย และ ชิ้นส่วนค้ำยันจะสามารถต้านทานแรงที่ถ่ายจาก โครงสร้างหลักได้น้อยลง เนื่องจากชิ้นส่วนค้ำยันมีความยาวมากขึ้น

3). เมื่อมุมในการค้ำยันเพิ่มมากขึ้น อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมกับการออกแบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5.3 การพิจารณารูปทรงที่เหมาะสมของโครงสร้างแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน

เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักของวัสดุ โครงสร้างที่ใช้สำหรับการออกแบบ จะพบว่า การค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลและมุมค้ำยัน 20 องศา จะเป็นจุดที่โครงสร้างสามารถต้านทานแรงได้และมีน้ำหนักโครงสร้างรวม (น้ำหนักชิ้นส่วน โครงสร้างหลักและชิ้นส่วนค้ำยัน) เบาที่สุด ดังนั้น เมื่อพิจารณาในเรื่องน้ำหนัก โครงสร้างที่ใช้ในการออกแบบ การค้ำยันและมุมการค้ำยันนี้จะเป็นจุดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดด้วย โดยแต่ละความหนาของท่อ โครงสร้างหลักจะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนาใกล้เคียงกันกับจุดที่ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำสุด

ความหนาของ โครงสร้างหลักที่ใช้สำหรับการออกแบบ โครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวร่วมกับค้ำยัน ควรจะมีขนาดความหนาดั้งเดิมตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.20 เมตรขึ้นไป เนื่องจากมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อ โครงสร้างหลักต่อความหนา น้อยกว่า 60 ซึ่งสามารถคำนวณหาแรงอัดตามแนวแกนได้จากสมการการโก่งเดาะที่เสา และการคำนวณจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อ โครงสร้างหลักต่อความหนา ที่มากกว่า 60 ที่จะเป็นการโก่งเดาะเฉพาะที่ โดยการโก่งเดาะเฉพาะที่จะเกิดกับเหล็กที่มีความหนาน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ไม่นิยมนำมาใช้ในการออกแบบ

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธีกึ่งสถิติศาสตร์เท่านั้น แต่เนื่องจากโครงสร้างแทนหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันเป็นโครงสร้างนอกฝั่งทะเลขนาดเล็ก ดังนั้นจึงควรจะมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic analysis) แรงกระแทกและผลอันเนื่องมาจากความล้าของ โครงสร้างเพิ่มเติมในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Dr. S. Nallayarasu, 2013, Concepts for Marginal Field Development – Western Offshore [Online], Available: <http://www.oec.iitm.ac.in/pdf/Marginal%20Field%20Development%20Concepts%20for%20Western%20Offshore.pdf>, [July 19, 2012]
2. Sitthipong Angkapunyade, 2008, “**Preliminary investigation of vortex shedding induced vibration (VIV) on minimum offshore structures**”, Asian Institute of Technology School of Engineering and Technology, Thailand.
3. Songkiat Hansanti, 2009, “**Dynamic response of offshore minimum structures in the Southern Gulf of Thailand**”, Asian Institute of Technology School of Engineering and Technology, Thailand, pp.6-15.
4. Jitrada Buacharoen, 2010, “**Cost and practical : Based concept for innovative design of minimum offshore structures**”, Asian Institute of Technology School of Engineering and Technology, Thailand.
5. American Petroleum Institute, 2007, “**Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms**”, API RP 2A, 21thed., Washington, (D.C. 20005, USA)
6. H.J. Meek and P. G.F. Sliggers, 2001, “**Alternative Low-Cost Wellhead Platform Concept(s) for Marginal Offshore Field Developments**”, Delft University of Technology Delft , Shell Global Solutions International B.V., The Netherlands.
7. Dr. S. Nallayarasu, 2013, Concepts for Marginal Field Development – Western Offshore [Online], Available: <http://www.oec.iitm.ac.in/pdf/Marginal%20Field%20Development%20Concepts%20for%20Western%20Offshore.pdf>, [July 19, 2012]
8. Transfield Worley Services, 2008, Introduction to the Minimum Facilities design capability of WorleyParsons [Online], Available :
http://www.transfieldworley.com.au/icms_docs/115381_Introduction_to_the_Minimum_Facilities_design_capability_of_WorleyParsons.pdf, [September 10, 2012]
9. Cameron Dunn, 2009, Minimal Structures for Marginal Nova Scotia Developments [Online], Available: http://pr-ac.ca/files/files/Martec_PPT_12May09.pdf , [September 12, 2012]

10. Sam DeFranco and Amoco Corporation, 1999, Minimal structures open global production opportunities [Online], Available :
<http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-59/issue-1/news/production/minimal-structures-open-global-production-opportunities.html>, [September 20, 2012]
11. วีรพันธุ์ เขียมมีปรีชา, 2551, การวิเคราะห์ผลศาสตร์ของโครงสร้างนอกชายฝั่งทะเลแบบยึดแน่นที่มีอยู่ในอ่าวไทย โดยใช้โปรแกรม ABAQUS, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลความสัมพันธ์ของชั้นส่วนโครงสร้างหลัก ชั้นส่วนค้ำยัน อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนา และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร

ตารางที่ ก. 1 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	1.20	32	17.08	104.250	0.810
0.80	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	1.60	42	19.52	102.140	0.710
1.00	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	2.00	53	21.96	1.330	0.630
1.20	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	2.40	63	24.39	0.980	0.570
1.40	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	2.80	74	26.83	0.790	0.590
1.60	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	3.20	84	29.27	0.680	0.640
1.80	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	3.60	95	31.70	0.600	0.680
2.00	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	4.00	105	34.14	0.540	0.720
2.20	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	4.40	116	36.58	0.490	0.760
2.40	26.00	1.90	0.50	31.71	2.50	4.80	126	39.01	0.460	0.800

ตารางที่ ก. 2 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	1.20	24	19.39	103.035	0.760
0.80	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	1.60	32	22.60	1.670	0.650
1.00	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	2.00	40	25.81	1.020	0.570
1.20	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	2.40	48	29.01	0.730	0.560
1.40	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	2.80	56	32.22	0.580	0.610
1.60	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	3.20	64	35.42	0.500	0.660
1.80	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	3.60	72	38.63	0.440	0.700
2.00	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	4.00	80	41.84	0.400	0.740
2.20	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	4.40	88	45.04	0.360	0.780
2.40	26.00	2.50	0.50	31.71	2.50	4.80	96	48.25	0.340	0.810

ตารางที่ ก. 3 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	1.20	18	22.86	102.590	0.700
0.80	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	1.60	24	27.22	1.280	0.590
1.00	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	2.00	29	31.58	0.770	0.530
1.20	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	2.40	35	35.94	0.550	0.590
1.40	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	2.80	41	40.30	0.430	0.640
1.60	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	3.20	47	44.66	0.360	0.680
1.80	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	3.60	53	49.02	0.320	0.720
2.00	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	4.00	59	53.38	0.280	0.760
2.20	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	4.40	65	57.74	0.260	0.790
2.40	26.00	3.40	0.50	31.71	2.50	4.80	71	62.10	0.240	0.830

ตารางที่ ก. 4 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	1.20	15	25.16	102.28	0.68
0.80	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	1.60	20	30.29	1.12	0.57
1.00	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	2.00	25	35.42	0.67	0.55
1.20	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	2.40	30	40.55	0.48	0.60
1.40	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	2.80	35	45.68	0.37	0.65
1.60	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	3.20	40	50.81	0.31	0.69
1.80	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	3.60	45	55.94	0.27	0.73
2.00	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	4.00	50	61.07	0.24	0.77
2.20	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	4.40	55	66.20	0.22	0.80
2.40	26.00	4.00	0.50	31.71	2.50	4.80	60	71.33	0.20	0.84

ตารางที่ ก. 5 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	1.20	31.58	18.68	104.250	0.850
0.80	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	1.60	42.11	21.11	102.140	0.740
1.00	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	2.00	52.63	23.55	1.330	0.650
1.20	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	2.40	63.16	25.99	0.980	0.590
1.40	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	2.80	73.68	28.42	0.790	0.560
1.60	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	3.20	84.21	30.86	0.680	0.560
1.80	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	3.60	94.74	33.29	0.600	0.590
2.00	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	4.00	105.26	35.73	0.540	0.610
2.20	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	4.40	115.79	38.17	0.490	0.640
2.40	26.00	1.90	0.50	36.87	2.50	4.80	126.32	40.60	0.460	0.670

ตารางที่ ก. 6 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	1.20	24.00	20.98	103.350	0.800
0.80	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	1.60	32.00	24.19	1.670	0.680
1.00	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	2.00	40.00	27.40	1.020	0.600
1.20	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	2.40	48.00	30.60	0.730	0.550
1.40	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	2.80	56.00	33.81	0.580	0.550
1.60	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	3.20	64.00	37.01	0.500	0.580
1.80	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	3.60	72.00	40.22	0.440	0.610
2.00	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	4.00	80.00	43.43	0.400	0.630
2.20	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	4.40	88.00	46.63	0.360	0.650
2.40	26.00	2.50	0.50	36.87	2.50	4.80	96.00	49.84	0.340	0.670

ตารางที่ ก. 7 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	1.20	17.65	24.45	102.590	0.750
0.80	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	1.60	23.53	28.81	1.280	0.630
1.00	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	2.00	29.41	33.17	0.730	0.550
1.20	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	2.40	35.29	37.53	0.550	0.530
1.40	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	2.80	41.18	41.89	0.430	0.570
1.60	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	3.20	47.06	46.25	0.360	0.600
1.80	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	3.60	52.94	50.61	0.320	0.620
2.00	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	4.00	58.82	54.97	0.280	0.640
2.20	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	4.40	64.71	59.33	0.260	0.660
2.40	26.00	3.40	0.50	36.87	2.50	4.80	70.59	63.69	0.240	0.690

ตารางที่ ก. 8 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	1.20	15.00	26.75	102.28	0.72
0.80	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	1.60	20.00	31.88	1.12	0.60
1.00	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	2.00	25.00	37.01	0.67	0.53
1.20	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	2.40	30.00	42.14	0.48	0.54
1.40	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	2.80	35.00	47.27	0.37	0.58
1.60	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	3.20	40.00	52.40	0.31	0.60
1.80	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	3.60	45.00	57.53	0.27	0.63
2.00	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	4.00	50.00	62.66	0.24	0.64
2.20	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	4.40	55.00	67.79	0.22	0.67
2.40	26.00	4.00	0.50	36.87	2.50	4.80	60.00	72.92	0.20	0.69

ตารางที่ ก. 9 แสดงผลความสัมพัทธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	1.20	31.58	22.62	104.25	0.85
0.80	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	1.60	42.11	25.05	102.14	0.75
1.00	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	2.00	52.63	27.49	1.33	0.67
1.20	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	2.40	63.16	29.92	0.98	0.63
1.40	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	2.80	73.68	32.36	0.79	0.60
1.60	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	3.20	84.21	34.80	0.60	0.58
1.80	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	3.60	94.74	37.23	0.54	0.58
2.00	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	4.00	105.26	39.67	0.49	0.59
2.20	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	4.40	115.79	42.11	0.47	0.59
2.40	26.00	1.90	0.50	49.65	2.50	4.80	126.32	44.54	0.46	0.60

ตารางที่ ก. 10 แสดงผลความสัมพัทธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	1.20	24.00	24.92	103.35	0.81
0.80	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	1.60	32.00	28.13	1.67	0.71
1.00	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	2.00	40.00	31.34	1.02	0.64
1.20	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	2.40	48.00	34.54	0.73	0.60
1.40	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	2.80	56.00	37.75	0.58	0.58
1.60	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	3.20	64.00	40.95	0.50	0.57
1.80	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	3.60	72.00	44.16	0.44	0.57
2.00	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	4.00	80.00	47.37	0.40	0.58
2.20	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	4.40	88.00	50.57	0.36	0.59
2.40	26.00	2.50	0.50	49.65	2.50	4.80	96.00	53.78	0.34	0.60

ตารางที่ ก. 11 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	1.20	17.65	28.39	102.59	0.77
0.80	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	1.60	23.53	32.75	1.28	0.66
1.00	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	2.00	29.41	37.11	0.77	0.60
1.20	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	2.40	35.29	41.47	0.55	0.57
1.40	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	2.80	41.18	45.83	0.43	0.56
1.60	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	3.20	47.06	50.19	0.36	0.56
1.80	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	3.60	52.94	54.55	0.32	0.57
2.00	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	4.00	58.82	58.91	0.28	0.58
2.20	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	4.40	64.71	63.27	0.26	0.59
2.40	26.00	3.40	0.50	49.65	2.50	4.80	70.59	67.63	0.24	0.60

ตารางที่ ก. 12 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	1.20	15.00	30.69	102.28	0.75
0.80	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	1.60	20.00	35.82	1.12	0.64
1.00	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	2.00	25.00	40.95	0.67	0.59
1.20	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	2.40	30.00	46.08	0.48	0.56
1.40	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	2.80	35.00	51.21	0.37	0.56
1.60	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	3.20	40.00	56.34	0.31	0.56
1.80	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	3.60	45.00	61.47	0.27	0.56
2.00	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	4.00	50.00	66.60	0.24	0.57
2.20	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	4.40	55.00	71.73	0.22	0.59
2.40	26.00	4.00	0.50	49.65	2.50	4.80	60.00	76.86	0.20	0.60

ตารางที่ ก. 13 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/ t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	1.20	31.58	21.23	103.18	0.77
0.80	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	1.60	42.11	23.66	1.61	0.66
1.00	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	2.00	52.63	26.10	1.05	0.57
1.20	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	2.40	63.16	28.54	0.79	0.51
1.40	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	2.80	73.68	30.97	0.65	0.55
1.60	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	3.20	84.21	33.41	0.55	0.58
1.80	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	3.60	94.74	35.85	0.48	0.61
2.00	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	4.00	105.26	38.28	0.43	0.62
2.20	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	4.40	115.79	40.72	0.39	0.64
2.40	26.00	1.90	0.50	45.15	2.50	4.80	126.32	43.16	0.36	0.66

ตารางที่ ก. 14 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/ t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	1.20	24.00	23.54	102.50	0.73
0.80	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	1.60	32.00	26.74	1.25	0.61
1.00	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	2.00	40.00	29.95	0.80	0.52
1.20	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	2.40	48.00	33.15	0.59	0.54
1.40	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	2.80	56.00	36.36	0.48	0.57
1.60	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	3.20	64.00	39.57	0.40	0.60
1.80	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	3.60	72.00	42.77	0.36	0.62
2.00	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	4.00	80.00	45.98	0.32	0.64
2.20	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	4.40	88.00	49.18	0.29	0.66
2.40	26.00	2.50	0.50	45.15	2.50	4.80	96.00	52.39	0.27	0.68

ตารางที่ ก. 15 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	1.20	17.65	27.00	101.93	0.68
0.80	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	1.60	23.53	31.36	0.96	0.55
1.00	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	2.00	29.41	35.72	0.60	0.51
1.20	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	2.40	35.29	40.08	0.44	0.56
1.40	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	2.80	41.18	44.44	0.35	0.60
1.60	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	3.20	47.06	48.80	0.29	0.62
1.80	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	3.60	52.94	53.16	0.26	0.64
2.00	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	4.00	58.82	57.52	0.23	0.66
2.20	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	4.40	64.71	61.88	0.21	0.67
2.40	26.00	3.40	0.50	45.15	2.50	4.80	70.59	66.24	0.20	0.68

ตารางที่ ก. 16 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	1.20	15.00	29.31	101.93	0.68
0.80	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	1.60	20.00	34.44	0.96	0.55
1.00	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	2.00	25.00	39.57	0.60	0.51
1.20	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	2.40	30.00	44.70	0.44	0.56
1.40	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	2.80	35.00	49.83	0.35	0.60
1.60	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	3.20	40.00	54.96	0.26	0.62
1.80	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	3.60	45.00	60.08	0.26	0.64
2.00	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	4.00	50.00	65.21	0.23	0.66
2.20	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	4.40	55.00	70.34	0.21	0.67
2.40	26.00	4.00	0.50	45.15	2.50	4.80	60.00	75.47	0.13	0.71

ตารางที่ ก. 17 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	1.20	31.58	23.72	103.18	0.83
0.80	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	1.60	42.11	26.15	1.61	0.72
1.00	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	2.00	52.63	28.59	1.05	0.62
1.20	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	2.40	63.16	31.03	0.79	0.54
1.40	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	2.80	73.68	33.46	0.65	0.51
1.60	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	3.20	84.21	35.90	0.55	0.53
1.80	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	3.60	94.74	38.34	0.48	0.55
2.00	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	4.00	105.26	40.77	0.43	0.56
2.20	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	4.40	115.79	43.21	0.39	0.58
2.40	26.00	1.90	0.50	53.22	2.50	4.80	126.32	45.64	0.38	0.60

ตารางที่ ก. 18 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	1.20	24.00	26.02	102.50	0.79
0.80	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	1.60	32.00	29.23	1.25	0.67
1.00	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	2.00	40.00	32.44	0.80	0.58
1.20	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	2.40	48.00	35.64	0.59	0.51
1.40	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	2.80	56.00	38.85	0.48	0.52
1.60	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	3.20	64.00	42.05	0.40	0.54
1.80	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	3.60	72.00	45.26	0.36	0.56
2.00	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	4.00	80.00	48.47	0.32	0.57
2.20	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	4.40	88.00	51.67	0.29	0.59
2.40	26.00	2.50	0.50	53.22	2.50	4.80	96.00	54.88	0.27	0.60

ตารางที่ ก. 19 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	1.20	17.65	29.49	101.93	0.75
0.80	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	1.60	23.53	33.85	0.96	0.62
1.00	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	2.00	29.41	38.21	0.60	0.54
1.20	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	2.40	35.29	42.57	0.44	0.51
1.40	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	2.80	41.18	46.93	0.35	0.54
1.60	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	3.20	47.06	51.29	0.30	0.57
1.80	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	3.60	52.94	55.65	0.26	0.58
2.00	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	4.00	58.82	60.01	0.23	0.59
2.20	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	4.40	64.71	64.37	0.21	0.60
2.40	26.00	3.40	0.50	53.22	2.50	4.80	70.59	68.73	0.19	0.61

ตารางที่ ก. 20 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	1.20	15.00	31.79	101.93	0.75
0.80	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	1.60	20.00	36.92	0.84	0.60
1.00	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	2.00	25.00	42.05	0.52	0.52
1.20	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	2.40	30.00	47.18	0.38	0.52
1.40	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	2.80	35.00	52.31	0.30	0.55
1.60	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	3.20	40.00	57.44	0.25	0.57
1.80	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	3.60	45.00	62.57	0.22	0.58
2.00	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	4.00	50.00	67.70	0.19	0.59
2.20	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	4.40	55.00	72.83	0.17	0.60
2.40	26.00	4.00	0.50	53.22	2.50	4.80	60.00	77.96	0.16	0.62

ตารางที่ ก. 21 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/ t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	1.20	31.58	29.92	103.18	0.84
0.80	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	1.60	42.11	32.36	1.61	0.75
1.00	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	2.00	52.63	34.79	1.05	0.67
1.20	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	2.40	63.16	37.23	0.79	0.63
1.40	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	2.80	73.68	39.67	0.65	0.61
1.60	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	3.20	84.21	42.10	0.55	0.59
1.80	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	3.60	94.74	44.54	0.48	0.58
2.00	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	4.00	105.26	46.98	0.43	0.58
2.20	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	4.40	115.79	49.41	0.39	0.58
2.40	26.00	1.90	0.50	73.35	2.50	4.80	126.32	51.85	0.36	0.59

ตารางที่ ก. 22 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/ t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	1.20	24.00	32.23	102.50	0.81
0.80	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	1.60	32.00	35.44	1.25	0.71
1.00	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	2.00	40.00	38.64	0.80	0.64
1.20	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	2.40	48.00	41.85	0.59	0.60
1.40	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	2.80	56.00	45.05	0.48	0.58
1.60	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	3.20	64.00	48.26	0.40	0.57
1.80	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	3.60	72.00	51.47	0.36	0.57
2.00	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	4.00	80.00	54.67	0.32	0.57
2.20	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	4.40	88.00	57.88	0.29	0.58
2.40	26.00	2.50	0.50	73.35	2.50	4.80	96.00	61.08	0.27	0.59

ตารางที่ ก. 23 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	1.20	17.65	35.69	101.93	0.77
0.80	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	1.60	23.53	40.05	0.96	0.67
1.00	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	2.00	29.41	44.41	0.60	0.61
1.20	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	2.40	35.29	48.77	0.44	0.58
1.40	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	2.80	41.18	53.13	0.35	0.57
1.60	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	3.20	47.06	57.49	0.29	0.57
1.80	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	3.60	52.94	61.85	0.26	0.57
2.00	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	4.00	58.82	66.21	0.23	0.58
2.20	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	4.40	64.71	70.57	0.21	0.58
2.40	26.00	3.40	0.50	73.35	2.50	4.80	70.59	74.93	0.19	0.60

ตารางที่ ก. 24 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	1.20	15.00	38.00	1.70	0.75
0.80	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	1.60	20.00	43.13	0.84	0.66
1.00	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	2.00	25.00	48.26	0.52	0.60
1.20	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	2.40	30.00	53.39	0.38	0.58
1.40	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	2.80	35.00	58.52	0.30	0.57
1.60	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	3.20	40.00	63.65	0.25	0.57
1.80	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	3.60	45.00	68.78	0.22	0.57
2.00	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	4.00	50.00	73.91	0.19	0.58
2.20	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	4.40	55.00	79.04	0.17	0.59
2.40	26.00	4.00	0.50	73.35	2.50	4.80	60.00	84.17	0.16	0.60

ตารางที่ ก. 25 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	1.20	31.58	25.96	102.750	0.730
0.80	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	1.60	42.11	28.40	1.190	0.620
1.00	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	2.00	52.63	30.84	0.820	0.540
1.20	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	2.40	63.16	33.27	0.630	0.490
1.40	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	2.80	73.68	35.71	0.520	0.530
1.60	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	3.20	84.21	38.15	0.440	0.560
1.80	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	3.60	94.74	40.58	0.380	0.580
2.00	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	4.00	105.26	43.02	0.340	0.600
2.20	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	4.40	115.79	45.46	0.310	0.610
2.40	26.00	1.90	0.50	60.51	2.50	4.80	126.32	47.89	0.280	0.620

ตารางที่ ก. 26 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	1.20	24.00	28.27	1.770	0.690
0.80	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	1.60	32.00	31.48	0.920	0.580
1.00	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	2.00	40.00	34.68	0.620	0.500
1.20	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	2.40	48.00	37.89	0.495	0.470
1.40	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	2.80	56.00	41.10	0.380	0.550
1.60	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	3.20	64.00	44.30	0.320	0.580
1.80	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	3.60	72.00	47.51	0.280	0.590
2.00	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	4.00	80.00	50.71	0.250	0.610
2.20	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	4.40	88.00	53.92	0.230	0.620
2.40	26.00	2.50	0.50	60.51	2.50	4.80	96.00	57.13	0.210	0.640

ตารางที่ ก. 27 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	1.20	17.65	31.73	1.370	0.650
0.80	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	1.60	23.53	36.09	0.700	0.530
1.00	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	2.00	29.41	40.45	0.470	0.500
1.20	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	2.40	35.29	44.81	0.350	0.550
1.40	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	2.80	41.18	49.17	0.280	0.580
1.60	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	3.20	47.06	53.53	0.230	0.600
1.80	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	3.60	52.94	57.89	0.200	0.610
2.00	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	4.00	58.82	62.25	0.180	0.630
2.20	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	4.40	64.71	66.62	0.160	0.640
2.40	26.00	3.40	0.50	60.51	2.50	4.80	70.59	70.98	0.150	0.650

ตารางที่ ก. 28 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	1.20	15.00	34.04	1.200	0.620
0.80	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	1.60	20.00	39.17	0.610	0.510
1.00	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	2.00	25.00	44.30	0.410	0.520
1.20	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	2.40	30.00	49.43	0.310	0.560
1.40	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	2.80	35.00	54.56	0.240	0.590
1.60	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	3.20	40.00	59.69	0.200	0.610
1.80	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	3.60	45.00	64.82	0.170	0.620
2.00	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	4.00	50.00	69.95	0.150	0.640
2.20	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	4.40	55.00	75.08	0.140	0.650
2.40	26.00	4.00	0.50	60.51	2.50	4.80	60.00	80.21	0.130	0.660

ตารางที่ ก. 29 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	1.20	31.58	29.36	1.610	0.810
0.80	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	1.60	42.11	31.79	1.020	0.700
1.00	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	2.00	52.63	34.23	0.750	0.610
1.20	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	2.40	63.16	36.67	0.590	0.550
1.40	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	2.80	73.68	39.10	0.520	0.580
1.60	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	3.20	84.21	41.54	0.435	0.564
1.80	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	3.60	94.74	43.98	0.380	0.560
2.00	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	4.00	105.26	46.41	0.340	0.550
2.20	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	4.40	115.79	48.85	0.310	0.560
2.40	26.00	1.90	0.50	71.52	2.50	4.80	126.32	51.29	0.280	0.570

ตารางที่ ก. 30 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	1.20	24.00	31.67	1.260	0.770
0.80	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	1.60	32.00	34.87	1.080	0.710
1.00	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	2.00	40.00	38.08	0.750	0.610
1.20	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	2.40	48.00	41.28	0.500	0.520
1.40	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	2.80	56.00	44.49	0.380	0.562
1.60	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	3.20	64.00	47.70	0.320	0.552
1.80	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	3.60	72.00	50.90	0.280	0.549
2.00	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	4.00	80.00	54.11	0.250	0.557
2.20	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	4.40	88.00	57.31	0.230	0.562
2.40	26.00	2.50	0.50	71.52	2.50	4.80	96.00	60.52	0.210	0.568

ตารางที่ ก. 31 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/ t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	1.20	17.65	35.13	0.96	0.73
0.80	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	1.60	23.53	39.49	0.60	0.62
1.00	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	2.00	29.41	43.85	0.43	0.54
1.20	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	2.40	35.29	48.21	0.33	0.50
1.40	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	2.80	41.18	52.57	0.28	0.55
1.60	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	3.20	47.06	56.93	0.23	0.55
1.80	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	3.60	52.94	61.29	0.20	0.56
2.00	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	4.00	58.82	65.65	0.18	0.57
2.20	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	4.40	64.71	70.01	0.16	0.57
2.40	26.00	3.40	0.50	71.52	2.50	4.80	70.59	74.37	0.15	0.57

ตารางที่ ก. 32 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/ t_1		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	1.20	15.00	37.44	0.84	0.71
0.80	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	1.60	20.00	42.57	0.52	0.59
1.00	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	2.00	25.00	47.70	0.37	0.52
1.20	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	2.40	30.00	52.82	0.28	0.50
1.40	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	2.80	35.00	57.95	0.24	0.55
1.60	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	3.20	40.00	63.08	0.20	0.56
1.80	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	3.60	45.00	68.21	0.17	0.56
2.00	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	4.00	50.00	73.34	0.15	0.57
2.20	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	4.40	55.00	78.47	0.14	0.57
2.40	26.00	4.00	0.50	71.52	2.50	4.80	60.00	83.60	0.13	0.58

ตารางที่ ก. 33 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	1.20	31.58	37.49	102.25	0.92
0.80	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	1.60	42.11	39.92	1.19	0.83
1.00	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	2.00	52.63	42.36	0.82	0.76
1.20	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	2.40	63.16	44.80	0.63	0.71
1.40	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	2.80	73.68	47.23	0.52	0.69
1.60	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	3.20	84.21	49.67	0.44	0.67
1.80	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	3.60	94.74	52.11	0.38	0.67
2.00	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	4.00	105.26	54.54	0.34	0.66
2.20	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	4.40	115.79	56.98	0.31	0.67
2.40	26.00	1.90	0.50	97.89	2.50	4.80	126.32	59.42	0.28	0.68

ตารางที่ ก. 34 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	1.20	24.00	39.79	1.77	0.89
0.80	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	1.60	32.00	43.00	0.92	0.80
1.00	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	2.00	40.00	46.21	0.62	0.73
1.20	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	2.40	48.00	49.41	0.47	0.69
1.40	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	2.80	56.00	52.62	0.38	0.67
1.60	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	3.20	64.00	55.82	0.32	0.67
1.80	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	3.60	72.00	59.03	0.28	0.67
2.00	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	4.00	80.00	62.24	0.25	0.67
2.20	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	4.40	88.00	65.44	0.23	0.67
2.40	26.00	2.50	0.50	97.89	2.50	4.80	96.00	68.65	0.21	0.68

ตารางที่ ก. 35 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	1.20	17.65	43.26	1.37	0.86
0.80	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	1.60	23.53	47.62	0.70	0.77
1.00	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	2.00	29.41	51.98	0.47	0.71
1.20	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	2.40	35.29	56.34	0.35	0.68
1.40	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	2.80	41.18	60.70	0.28	0.67
1.60	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	3.20	47.06	65.06	0.23	0.66
1.80	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	3.60	52.94	69.42	0.20	0.67
2.00	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	4.00	58.82	73.78	0.18	0.67
2.20	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	4.40	64.71	78.14	0.16	0.68
2.40	26.00	3.40	0.50	97.89	2.50	4.80	70.59	82.50	0.15	0.69

ตารางที่ ก. 36 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	1.20	15.00	45.57	1.20	0.84
0.80	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	1.60	20.00	50.69	0.61	0.75
1.00	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	2.00	25.00	55.82	0.41	0.70
1.20	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	2.40	30.00	60.95	0.31	0.67
1.40	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	2.80	35.00	66.08	0.24	0.67
1.60	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	3.20	40.00	71.21	0.20	0.67
1.80	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	3.60	45.00	76.34	0.17	0.67
2.00	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	4.00	50.00	81.47	0.15	0.68
2.20	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	4.40	55.00	86.60	0.14	0.68
2.40	26.00	4.00	0.50	97.89	2.50	4.80	60.00	91.73	0.13	0.70

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลความสัมพันธ์ของชั้นส่วนโครงสร้างหลัก ชั้นส่วนค้ำยัน อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง โครงสร้างหลักต่อความหนา และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร

ตารางที่ ข. 1 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	1.20	32	24.33	106.03	0.69
0.80	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	1.60	42.11	27.61	102.81	0.58
1.00	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	2.00	52.63	30.89	1.62	0.50
1.20	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	2.40	63.16	34.17	1.07	0.51
1.40	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	2.80	73.68	37.45	0.78	0.55
1.60	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	3.20	84.21	40.73	0.62	0.59
1.80	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	3.60	94.74	44.01	0.57	0.62
2.00	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	4.00	105.26	47.29	0.53	0.65
2.20	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	4.40	115.79	50.57	0.49	0.67
2.40	35.00	1.90	0.50	47.01	2.50	4.80	126.32	53.85	0.47	0.70

ตารางที่ ข. 2 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	1.20	24	27.44	104.76	0.65
0.80	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	1.60	32.00	31.75	102.20	0.54
1.00	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	2.00	40.00	36.07	1.25	0.48
1.20	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	2.40	48.00	40.39	0.81	0.53
1.40	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	2.80	56.00	44.70	0.59	0.58
1.60	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	3.20	64.00	49.02	0.46	0.61
1.80	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	3.60	72.00	53.33	0.42	0.64
2.00	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	4.00	80.00	57.65	0.39	0.66
2.20	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	4.40	88.00	61.97	0.37	0.69
2.40	35.00	2.50	0.50	47.01	2.50	4.80	96.00	66.28	0.35	0.71

ตารางที่ ข. 3 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	1.20	18	32.10	103.70	0.61
0.80	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	1.60	24	37.97	101.70	0.49
1.00	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	2.00	29	43.84	0.96	0.51
1.20	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	2.40	35	49.71	0.62	0.56
1.40	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	2.80	41	55.58	0.44	0.60
1.60	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	3.20	47	61.45	0.34	0.63
1.80	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	3.60	53	67.32	0.31	0.65
2.00	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	4.00	59	73.19	0.28	0.68
2.20	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	4.40	65	79.06	0.26	0.70
2.40	35.00	3.40	0.50	47.01	2.50	4.80	71	84.92	0.25	0.73

ตารางที่ ข. 4 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	1.20	15	35.21	103.27	0.58
0.80	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	1.60	20	42.11	1.49	0.47
1.00	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	2.00	25	49.02	0.84	0.53
1.20	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	2.40	30	55.92	0.54	0.57
1.40	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	2.80	35	62.83	0.38	0.61
1.60	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	3.20	40	69.73	0.29	0.64
1.80	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	3.60	45	76.64	0.26	0.66
2.00	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	4.00	50	83.54	0.24	0.69
2.20	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	4.40	55	90.45	0.22	0.71
2.40	35.00	4.00	0.50	47.01	2.50	4.80	60	97.35	0.21	0.74

ตารางที่ ข. 5 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	1.20	31.58	26.74	106.03	0.70
0.80	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	1.60	42.11	30.02	102.01	0.55
1.00	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	2.00	52.63	33.30	1.62	0.52
1.20	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	2.40	63.16	36.58	1.07	0.49
1.40	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	2.80	73.68	39.86	0.71	0.45
1.60	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	3.20	84.21	43.14	0.62	0.53
1.80	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	3.60	94.74	46.42	0.57	0.56
2.00	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	4.00	105.26	49.70	0.53	0.58
2.20	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	4.40	115.79	52.98	0.49	0.60
2.40	35.00	1.90	0.50	54.81	2.50	4.80	126.32	56.26	0.47	0.62

ตารางที่ ข. 6 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	1.20	24.00	29.84	104.76	0.66
0.80	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	1.60	32.00	34.16	102.20	0.52
1.00	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	2.00	40.00	38.48	1.25	0.49
1.20	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	2.40	48.00	42.79	0.66	0.52
1.40	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	2.80	56.00	47.11	0.54	0.52
1.60	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	3.20	64.00	51.42	0.46	0.55
1.80	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	3.60	72.00	55.74	0.42	0.57
2.00	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	4.00	80.00	60.05	0.39	0.59
2.20	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	4.40	88.00	64.37	0.37	0.61
2.40	35.00	2.50	0.50	54.81	2.50	4.80	96.00	68.69	0.35	0.63

ตารางที่ ข. 7 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	1.20	17.65	34.50	103.70	0.62
0.80	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	1.60	23.53	40.37	101.70	0.49
1.00	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	2.00	29.41	46.24	0.96	0.46
1.20	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	2.40	35.29	52.11	0.62	0.51
1.40	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	2.80	41.18	57.98	0.40	0.54
1.60	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	3.20	47.06	63.85	0.34	0.56
1.80	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	3.60	52.94	69.72	0.31	0.59
2.00	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	4.00	58.82	75.59	0.28	0.61
2.20	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	4.40	64.71	81.46	0.26	0.62
2.40	35.00	3.40	0.50	54.81	2.50	4.80	70.59	87.33	0.25	0.64

ตารางที่ ข. 8 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	1.20	15.00	37.61	103.27	0.60
0.80	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	1.60	20.00	44.52	1.49	0.48
1.00	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	2.00	25.00	51.42	0.84	0.47
1.20	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	2.40	30.00	58.33	0.54	0.52
1.40	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	2.80	35.00	65.23	0.35	0.55
1.60	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	3.20	40.00	72.14	0.29	0.57
1.80	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	3.60	45.00	79.04	0.26	0.59
2.00	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	4.00	50.00	85.95	0.24	0.61
2.20	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	4.40	55.00	92.85	0.22	0.63
2.40	35.00	4.00	0.50	54.81	2.50	4.80	60.00	99.76	0.21	0.65

ตารางที่ ข. 9 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	1.20	31.58	32.68	106.03	0.75
0.80	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	1.60	42.11	35.96	102.81	0.64
1.00	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	2.00	52.63	39.24	1.62	0.61
1.20	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	2.40	63.16	42.52	1.07	0.59
1.40	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	2.80	73.68	45.80	0.71	0.58
1.60	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	3.20	84.21	49.08	0.62	0.58
1.80	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	3.60	94.74	52.36	0.57	0.58
2.00	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	4.00	105.26	55.64	0.53	0.59
2.20	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	4.40	115.79	58.92	0.49	0.60
2.40	35.00	1.90	0.50	74.10	2.50	4.80	126.32	62.20	0.47	0.61

ตารางที่ ข. 10 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	1.20	24.00	35.79	104.76	0.72
0.80	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	1.60	32.00	40.11	102.20	0.62
1.00	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	2.00	40.00	44.42	1.25	0.59
1.20	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	2.40	48.00	48.74	0.81	0.57
1.40	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	2.80	56.00	53.05	0.54	0.56
1.60	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	3.20	64.00	57.37	0.46	0.55
1.80	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	3.60	72.00	61.68	0.42	0.57
2.00	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	4.00	80.00	66.00	0.39	0.59
2.20	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	4.40	88.00	70.32	0.37	0.61
2.40	35.00	2.50	0.50	74.10	2.50	4.80	96.00	74.63	0.35	0.63

ตารางที่ ข. 11 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	1.20	17.65	40.45	103.70	0.62
0.80	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	1.60	23.53	46.32	101.70	0.49
1.00	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	2.00	29.41	52.19	0.96	0.46
1.20	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	2.40	35.29	58.06	0.62	0.51
1.40	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	2.80	41.18	63.93	0.40	0.54
1.60	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	3.20	47.06	69.80	0.34	0.56
1.80	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	3.60	52.94	75.67	0.31	0.59
2.00	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	4.00	58.82	81.54	0.28	0.61
2.20	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	4.40	64.71	87.41	0.26	0.62
2.40	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	4.80	70.59	93.28	0.25	0.64

ตารางที่ ข. 12 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	1.20	17.65	40.45	103.27	0.60
0.80	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	1.60	23.53	46.32	1.49	0.48
1.00	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	2.00	29.41	52.19	0.84	0.47
1.20	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	2.40	35.29	58.06	0.54	0.52
1.40	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	2.80	41.18	63.93	0.35	0.55
1.60	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	3.20	47.06	69.80	0.29	0.57
1.80	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	3.60	52.94	75.67	0.26	0.59
2.00	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	4.00	58.82	81.54	0.24	0.61
2.20	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	4.40	64.71	87.41	0.22	0.63
2.40	35.00	3.40	0.50	74.10	2.50	4.80	70.59	93.28	0.21	0.65

ตารางที่ ข. 13 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	1.20	31.58	30.60	104.21	0.66
0.80	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	1.60	42.11	33.88	101.97	0.52
1.00	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	2.00	52.63	37.16	1.13	0.46
1.20	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	2.40	63.16	40.44	0.77	0.49
1.40	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	2.80	73.68	43.72	0.59	0.53
1.60	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	3.20	84.21	47.00	0.49	0.56
1.80	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	3.60	94.74	50.28	0.42	0.58
2.00	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	4.00	105.26	53.56	0.38	0.60
2.20	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	4.40	115.79	56.84	0.36	0.61
2.40	35.00	1.90	0.50	67.35	2.50	4.80	126.32	60.12	0.35	0.62

ตารางที่ ข. 14 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	1.20	24.00	33.71	103.32	0.62
0.80	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	1.60	32.00	38.02	1.54	0.49
1.00	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	2.00	40.00	42.34	0.87	0.47
1.20	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	2.40	48.00	46.66	0.58	0.52
1.40	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	2.80	56.00	50.97	0.44	0.55
1.60	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	3.20	64.00	55.29	0.36	0.58
1.80	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	3.60	72.00	59.60	0.31	0.60
2.00	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	4.00	80.00	63.92	0.29	0.61
2.20	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	4.40	88.00	68.24	0.27	0.63
2.40	35.00	2.50	0.50	67.35	2.50	4.80	96.00	72.55	0.26	0.64

ตารางที่ ข. 15 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	1.20	17.65	38.37	102.58	0.57
0.80	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	1.60	23.53	44.24	1.18	0.45
1.00	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	2.00	29.41	50.11	0.67	0.50
1.20	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	2.40	35.29	55.98	0.44	0.54
1.40	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	2.80	41.18	61.85	0.33	0.58
1.60	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	3.20	47.06	67.72	0.27	0.60
1.80	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	3.60	52.94	73.59	0.23	0.62
2.00	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	4.00	58.82	79.46	0.21	0.63
2.20	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	4.40	64.71	85.33	0.19	0.64
2.40	35.00	3.40	0.50	67.35	2.50	4.80	70.59	91.20	0.18	0.65

ตารางที่ ข. 16 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	1.20	15.00	41.48	102.27	0.55
0.80	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	1.60	20.00	48.38	1.04	0.45
1.00	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	2.00	25.00	55.29	0.58	0.52
1.20	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	2.40	30.00	62.19	0.38	0.56
1.40	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	2.80	35.00	69.10	0.29	0.59
1.60	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	3.20	40.00	76.00	0.23	0.61
1.80	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	3.60	45.00	82.91	0.19	0.63
2.00	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	4.00	50.00	89.81	0.18	0.64
2.20	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	4.40	55.00	96.72	0.16	0.65
2.40	35.00	4.00	0.50	67.35	2.50	4.80	60.00	103.62	0.16	0.66

ตารางที่ ข. 17 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	1.20	31.58	34.50	104.21	0.76
0.80	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	1.60	42.11	37.78	101.97	0.62
1.00	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	2.00	52.63	41.06	1.13	0.56
1.20	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	2.40	63.16	44.34	0.77	0.53
1.40	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	2.80	73.68	47.62	0.59	0.51
1.60	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	3.20	84.21	50.90	0.49	0.50
1.80	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	3.60	94.74	54.18	0.42	0.52
2.00	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	4.00	105.26	57.46	0.38	0.54
2.20	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	4.40	115.79	60.74	0.36	0.55
2.40	35.00	1.90	0.50	79.98	2.50	4.80	126.32	64.02	0.35	0.56

ตารางที่ ข. 18 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	1.20	24.00	37.60	103.32	0.72
0.80	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	1.60	32.00	41.92	1.27	0.59
1.00	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	2.00	40.00	46.23	0.87	0.53
1.20	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	2.40	48.00	50.55	0.58	0.51
1.40	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	2.80	56.00	54.87	0.44	0.50
1.60	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	3.20	64.00	59.18	0.36	0.52
1.80	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	3.60	72.00	63.50	0.31	0.54
2.00	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	4.00	80.00	67.81	0.29	0.55
2.20	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	4.40	88.00	72.13	0.27	0.56
2.40	35.00	2.50	0.50	79.98	2.50	4.80	96.00	76.44	0.26	0.57

ตารางที่ ข. 19 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	1.20	17.65	42.26	102.58	0.69
0.80	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	1.60	23.53	48.13	1.18	0.55
1.00	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	2.00	29.41	54.00	0.67	0.51
1.20	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	2.40	35.29	59.87	0.44	0.49
1.40	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	2.80	41.18	65.74	0.33	0.52
1.60	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	3.20	47.06	71.61	0.27	0.54
1.80	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	3.60	52.94	77.48	0.23	0.55
2.00	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	4.00	58.82	83.35	0.21	0.57
2.20	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	4.40	64.71	89.22	0.19	0.58
2.40	35.00	3.40	0.50	79.98	2.50	4.80	70.59	95.09	0.18	0.59

ตารางที่ ข. 20 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	1.20	15.00	45.37	102.27	0.67
0.80	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	1.60	20.00	52.28	1.04	0.54
1.00	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	2.00	25.00	59.18	0.58	0.50
1.20	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	2.40	30.00	66.09	0.38	0.50
1.40	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	2.80	35.00	72.99	0.29	0.53
1.60	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	3.20	40.00	79.90	0.23	0.55
1.80	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	3.60	45.00	86.80	0.19	0.56
2.00	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	4.00	50.00	93.71	0.18	0.57
2.20	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	4.40	55.00	100.61	0.16	0.59
2.40	35.00	4.00	0.50	79.98	2.50	4.80	60.00	107.52	0.16	0.60

ตารางที่ ข. 21 แสดงผลความสัมพัทธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	1.20	31.58	43.70	104.21	0.91
0.80	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	1.60	42.11	46.98	101.97	0.80
1.00	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	2.00	52.63	50.26	1.13	0.77
1.20	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	2.40	63.16	53.54	0.77	0.75
1.40	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	2.80	73.68	56.82	0.59	0.74
1.60	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	3.20	84.21	60.10	0.49	0.74
1.80	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	3.60	94.74	63.38	0.42	0.74
2.00	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	4.00	105.26	66.66	0.38	0.75
2.20	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	4.40	115.79	69.94	0.36	0.76
2.40	35.00	1.90	0.50	109.83	2.50	4.80	126.32	73.22	0.35	0.78

ตารางที่ ข. 22 แสดงผลความสัมพัทธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	1.20	24.00	46.80	103.32	0.89
0.80	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	1.60	32.00	51.12	1.54	0.79
1.00	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	2.00	40.00	55.44	0.87	0.76
1.20	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	2.40	48.00	59.75	0.58	0.74
1.40	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	2.80	56.00	64.07	0.44	0.73
1.60	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	3.20	64.00	68.38	0.36	0.74
1.80	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	3.60	72.00	72.70	0.31	0.75
2.00	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	4.00	80.00	77.01	0.29	0.76
2.20	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	4.40	88.00	81.33	0.27	0.77
2.40	35.00	2.50	0.50	109.83	2.50	4.80	96.00	85.65	0.26	0.79

ตารางที่ ข. 23 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	1.20	17.65	51.47	102.58	0.86
0.80	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	1.60	23.53	57.33	1.18	0.77
1.00	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	2.00	29.41	63.20	0.67	0.74
1.20	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	2.40	35.29	69.07	0.44	0.73
1.40	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	2.80	41.18	74.94	0.33	0.74
1.60	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	3.20	47.06	80.81	0.27	0.74
1.80	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	3.60	52.94	86.68	0.23	0.76
2.00	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	4.00	58.82	92.55	0.21	0.78
2.20	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	4.40	64.71	98.42	0.19	0.79
2.40	35.00	3.40	0.50	109.83	2.50	4.80	70.59	104.29	0.18	0.81

ตารางที่ ข. 24 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{d}{2}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	1.20	15.00	54.57	102.27	0.85
0.80	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	1.60	20.00	61.48	1.04	0.76
1.00	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	2.00	25.00	68.38	0.58	0.74
1.20	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	2.40	30.00	75.29	0.38	0.73
1.40	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	2.80	35.00	82.19	0.29	0.74
1.60	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	3.20	40.00	89.10	0.23	0.75
1.80	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	3.60	45.00	96.00	0.19	0.77
2.00	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	4.00	50.00	102.91	0.18	0.79
2.20	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	4.40	55.00	109.81	0.16	0.81
2.40	35.00	4.00	0.50	109.83	2.50	4.80	60.00	116.72	0.16	0.83

ตารางที่ ข. 25 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	1.20	31.58	37.00	102.71	0.74
0.80	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	1.60	42.11	40.28	1.27	0.59
1.00	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	2.00	52.63	43.56	0.77	0.55
1.20	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	2.40	63.16	46.84	0.56	0.52
1.40	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	2.80	73.68	50.12	0.44	0.53
1.60	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	3.20	84.21	53.40	0.37	0.56
1.80	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	3.60	94.74	56.68	0.32	0.58
2.00	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	4.00	105.26	59.96	0.28	0.59
2.20	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	4.40	115.79	63.24	0.26	0.60
2.40	35.00	1.90	0.50	88.11	2.50	4.80	126.32	66.52	0.24	0.61

ตารางที่ ข. 26 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	1.20	24.00	40.11	102.13	0.70
0.80	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	1.60	32.00	44.42	0.99	0.56
1.00	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	2.00	40.00	48.74	0.59	0.52
1.20	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	2.40	48.00	53.06	0.42	0.53
1.40	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	2.80	56.00	57.37	0.33	0.56
1.60	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	3.20	64.00	61.69	0.27	0.58
1.80	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	3.60	72.00	66.00	0.23	0.59
2.00	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	4.00	80.00	70.32	0.21	0.61
2.20	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	4.40	88.00	74.63	0.19	0.62
2.40	35.00	2.50	0.50	88.11	2.50	4.80	96.00	78.95	0.18	0.62

ตารางที่ ข. 27 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	1.20	17.65	44.77	101.65	0.65
0.80	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	1.60	23.53	50.64	0.76	0.53
1.00	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	2.00	29.41	56.51	0.45	0.51
1.20	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	2.40	35.29	62.38	0.32	0.55
1.40	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	2.80	41.18	68.25	0.24	0.58
1.60	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	3.20	47.06	74.12	0.20	0.60
1.80	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	3.60	52.94	79.99	0.17	0.61
2.00	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	4.00	58.82	85.86	0.15	0.62
2.20	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	4.40	64.71	91.73	0.14	0.63
2.40	35.00	3.40	0.50	88.11	2.50	4.80	70.59	97.59	0.13	0.64

ตารางที่ ข. 28 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 20 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	1.20	15.00	47.88	1.45	0.63
0.80	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	1.60	20.00	54.78	0.66	0.52
1.00	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	2.00	25.00	61.69	0.39	0.53
1.20	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	2.40	30.00	68.59	0.27	0.57
1.40	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	2.80	35.00	75.50	0.24	0.58
1.60	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	3.20	40.00	82.40	0.20	0.60
1.80	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	3.60	45.00	89.31	0.17	0.61
2.00	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	4.00	50.00	96.21	0.15	0.62
2.20	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	4.40	55.00	103.12	0.14	0.63
2.40	35.00	4.00	0.50	88.11	2.50	4.80	60.00	110.02	0.13	0.64

ตารางที่ ข. 29 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	1.20	31.58	42.28	102.71	0.89
0.80	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	1.60	42.11	45.56	1.27	0.76
1.00	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	2.00	52.63	48.84	0.77	0.72
1.20	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	2.40	63.16	52.12	0.56	0.68
1.40	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	2.80	73.68	55.40	0.44	0.67
1.60	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	3.20	84.21	58.68	0.37	0.67
1.80	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	3.60	94.74	61.96	0.32	0.67
2.00	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	4.00	105.26	65.24	0.28	0.68
2.20	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	4.40	115.79	68.52	0.26	0.70
2.40	35.00	1.90	0.50	105.24	2.50	4.80	126.32	71.80	0.24	0.71

ตารางที่ ข. 30 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	1.20	24.00	45.39	102.13	0.86
0.80	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	1.60	32.00	49.71	0.99	0.74
1.00	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	2.00	40.00	54.02	0.59	0.69
1.20	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	2.40	48.00	58.34	0.42	0.67
1.40	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	2.80	56.00	62.65	0.33	0.66
1.60	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	3.20	64.00	66.97	0.27	0.67
1.80	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	3.60	72.00	71.28	0.23	0.67
2.00	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	4.00	80.00	75.60	0.21	0.69
2.20	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	4.40	88.00	79.92	0.19	0.70
2.40	35.00	2.50	0.50	105.24	2.50	4.80	96.00	84.23	0.18	0.72

ตารางที่ ข. 31 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	1.20	17.65	50.05	101.65	0.82
0.80	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	1.60	23.53	55.92	0.76	0.71
1.00	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	2.00	29.41	61.79	0.45	0.68
1.20	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	2.40	35.29	67.66	0.32	0.66
1.40	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	2.80	41.18	73.53	0.24	0.66
1.60	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	3.20	47.06	79.40	0.20	0.67
1.80	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	3.60	52.94	85.27	0.17	0.68
2.00	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	4.00	58.82	91.14	0.15	0.70
2.20	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	4.40	64.71	97.01	0.14	0.72
2.40	35.00	3.40	0.50	105.24	2.50	4.80	70.59	102.88	0.13	0.74

ตารางที่ ข. 32 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 30 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	1.20	15.00	53.16	1.45	0.80
0.80	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	1.60	20.00	60.06	0.66	0.70
1.00	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	2.00	25.00	66.97	0.39	0.67
1.20	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	2.40	30.00	73.87	0.27	0.66
1.40	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	2.80	35.00	80.78	0.21	0.66
1.60	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	3.20	40.00	87.68	0.17	0.68
1.80	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	3.60	45.00	94.59	0.15	0.69
2.00	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	4.00	50.00	101.49	0.13	0.71
2.20	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	4.40	55.00	108.40	0.12	0.73
2.40	35.00	4.00	0.50	105.24	2.50	4.80	60.00	115.30	0.11	0.76

ตารางที่ ข. 33 แสดงผลความสัมพัทธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 19 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	1.20	31.58	54.79	102.71	1.22
0.80	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	1.60	42.11	58.07	1.27	1.16
1.00	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	2.00	52.63	61.35	0.77	1.13
1.20	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	2.40	63.16	64.63	0.56	1.12
1.40	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	2.80	73.68	67.91	0.44	1.12
1.60	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	3.20	84.21	71.19	0.37	1.12
1.80	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	3.60	94.74	74.47	0.32	1.14
2.00	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	4.00	105.26	77.75	0.28	1.15
2.20	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	4.40	115.79	81.03	0.26	1.17
2.40	35.00	1.90	0.50	145.80	2.50	4.80	126.32	84.31	0.24	1.20

ตารางที่ ข. 34 แสดงผลความสัมพัทธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t_1 (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t_2 (cm)	D/d	D/t_1		Caisson	Braced
0.60	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	1.20	24.00	57.89	102.13	1.20
0.80	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	1.60	32.00	62.21	0.99	1.15
1.00	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	2.00	40.00	66.52	0.59	1.13
1.20	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	2.40	48.00	70.84	0.42	1.12
1.40	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	2.80	56.00	75.16	0.33	1.12
1.60	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	3.20	64.00	79.47	0.24	1.14
1.80	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	3.60	72.00	83.79	0.23	1.15
2.00	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	4.00	80.00	88.10	0.21	1.18
2.20	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	4.40	88.00	92.42	0.19	1.20
2.40	35.00	2.50	0.50	145.80	2.50	4.80	96.00	96.73	0.18	1.23

ตารางที่ ข. 35 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 34 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	1.20	17.65	62.55	101.65	1.19
0.80	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	1.60	23.53	68.42	0.76	1.14
1.00	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	2.00	29.41	74.29	0.45	1.13
1.20	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	2.40	35.29	80.16	0.32	1.13
1.40	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	2.80	41.18	86.03	0.24	1.14
1.60	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	3.20	47.06	91.90	0.20	1.16
1.80	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	3.60	52.94	97.77	0.17	1.19
2.00	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	4.00	58.82	103.64	0.15	101.02
2.20	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	4.40	64.71	109.51	0.14	101.14
2.40	35.00	3.40	0.50	145.80	2.50	4.80	70.59	115.38	0.13	101.28

ตารางที่ ข. 36 แสดงผลความสัมพันธ์ของอัตราส่วน D/t และอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแบบจำลองที่มีการค้ำยันที่ระยะ $\frac{2d}{3}$ ที่มุมการค้ำยัน 45 องศา ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร และมีความหนาของท่อโครงสร้างหลัก 40 มิลลิเมตร

Caisson member			Braced member			Ratio		Total Weight (Ton)	Unity check	
Dia. D(m)	Length (m)	t ₁ (cm)	Dia. d (m)	Length (m)	t ₂ (cm)	D/d	D/t ₁		Caisson	Braced
0.60	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	1.20	15.00	65.66	1.45	1.18
0.80	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	1.60	20.00	72.57	0.66	1.14
1.00	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	2.00	25.00	79.47	0.39	1.13
1.20	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	2.40	30.00	86.38	0.27	1.14
1.40	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	2.80	35.00	93.28	0.21	1.15
1.60	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	3.20	40.00	100.19	0.17	1.18
1.80	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	3.60	45.00	107.09	0.15	101.05
2.00	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	4.00	50.00	114.00	0.13	101.08
2.20	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	4.40	55.00	120.90	0.12	101.28
2.40	35.00	4.00	0.50	145.80	2.50	4.80	60.00	127.81	0.11	101.31

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างไฟล์การนำเข้าข้อมูลไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรม SACS
และผลจากการวิเคราะห์

ตัวอย่างไฟล์การนำเข้าข้อมูลไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์แบบกึ่งสถิตยศาสตร์(Linear quasi-static analysis) สำหรับโครงสร้างแท่นผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล มุมในการค้ำยัน 20 องศา ความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักเท่ากับ 1.00 เมตร

```

LDOPT  NF+Z1.0300007.850000  20.00GLOBMN
*****BRACED MONOPOD WATER DEPTH = 20 M,BRACED AT 2D/3*****
OPTIONS  MN  SDUC  1 1BM DC APTPTPTPTPTPT PTPTPT
LCSEL ST  101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112
LCSEL ST  113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124
UCPART  0.8000.8001.0001.000999.0
GRUP
GRUP BRC  50.000 2.500 20.008.00024.80 1  1.001.00  0.500N7.8500
GRUP CAS  100.00 2.500 20.008.00024.80 1  1.001.00  0.500F7.8500
MEMBER
MEMBER12 1  BRC
MEMBER OFFSETS  50.000
MEMBER 2 5  BRC
MEMBER13 1  BRC
MEMBER OFFSETS  50.000
MEMBER 3 5  BRC
MEMBER14 1  BRC
MEMBER OFFSETS  50.000
MEMBER 4 5  BRC
MEMBER 1 5  CAS  1.001.00
MEMBER 5 6  CAS  2.002.00
JOINT
JOINT 1  0.000 0.000 2.000
JOINT 2  -2.430 0.000 0.000  PILEHD
JOINT 3  1.210 -2.100 0.000  PILEHD
JOINT 4  1.210 2.100 0.000  PILEHD
JOINT 5  0.000 0.000 6.670
JOINT 6  0.000 0.000 28.000
CDM
    
```

```

CDM 100.00 1.050 1.200 1.050 1.200
MGROV
MGROV 0.000 6.400 1.300 2.5400-4
MGROV 6.400 11.700 1.300 2.5400-4
MGROV 11.700 20.000 1.300 2.5400-4
LOAD
* *****
LOADCN 1
LOADLB1 *****JACKET DL & BOUYANCY*****
DEAD
DEAD -Z 20.000 M
*****
LOADCN 2
LOADLB2 *****TOTAL TOPSIDE WEIGHT*****
LOAD 6 -2.00+3 GLOB JOIN DECK
*****
LOADCN 3
LOADLB3 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER) 0 DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51 8.57 0.00 D 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR 0.150 0.000 NL
CURR 0.001 0.150
CURR 12.900 0.790
CURR 20.000 0.940
LOAD 6 -44.600 GLOB JOIN DECK
* *****
LOADCN 4
LOADLB4 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER) 15DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51 8.57 D 15.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR 0.150 15.000 NL
CURR 0.001 0.150 15.000
CURR 12.900 0.790 15.000
CURR 20.000 0.940 15.000

```

```

LOAD 6   -44.600                GLOB JOIN  DECK
*****
LOADCN 5
LOADLB5 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER) 30DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 30.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 30.000          NL
CURR  0.001 0.150 30.000
CURR  12.900 0.790 30.000
CURR  20.000 0.940 30.000
LOAD 6   -44.600                GLOB JOIN  DECK
*****
LOADCN 6
LOADLB6 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER) 45DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 45.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 45.000          NL
CURR  0.001 0.150 45.000
CURR  12.900 0.790 45.000
CURR  20.000 0.940 45.000
LOAD 6   -44.600                GLOB JOIN  DECK
*****
LOADCN 7
LOADLB7 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER) 60DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 60.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 60.000          NL
CURR  0.001 0.150 60.000
CURR  12.900 0.790 60.000
CURR  20.000 0.940 60.000
LOAD 6                1248.80 GLOB JOIN  DECK
*****
LOADCN 8

```

LOADLB8 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER) 75DEG*****

WAVE

WAVE.880STRE 8.51 8.57 D 75.00 15.00 20MM10 1 1 3

CURR

CURR 0.150 75.000 NL

CURR 0.001 0.150 75.000

CURR 12.900 0.790 75.000

CURR 20.000 0.940 75.000

LOAD 6 -44.600 GLOB JOIN DECK

LOADCN 9

LOADLB9 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER) 90DEG*****

WAVE

WAVE.880STRE 8.51 8.57 D 90.00 15.00 20MM10 1 1 3

CURR

CURR 0.150 90.000 NL

CURR 0.001 0.150 90.000

CURR 12.900 0.790 90.000

CURR 20.000 0.940 90.000

LOAD 6 -44.600 GLOB JOIN DECK

LOADCN 10

LOADLB10 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)105DEG*****

WAVE

WAVE.880STRE 8.51 8.57 D 105.00 15.00 20MM10 1 1 3

CURR

CURR 0.150 105.000 NL

CURR 0.001 0.150 105.000

CURR 12.900 0.790 105.000

CURR 20.000 0.940 105.000

LOAD 6 -44.600 GLOB JOIN DECK

LOADCN 11

LOADLB11 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)120DEG*****

WAVE

WAVE.880STRE 8.51 8.57 D 120.00 15.00 20MM10 1 1 3

CURR

CURR 0.150 120.000 NL

```

CURR  0.001  0.150 120.000
CURR  12.900  0.790 120.000
CURR  20.000  0.940 120.000
LOAD  6      -44.600          GLOB JOIN  DECK
LOADCN 12
LOADLB12 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)135DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 135.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 135.000          NL
CURR  0.001  0.150 135.000
CURR  12.900  0.790 135.000
CURR  20.000  0.940 135.000
LOAD  6      -44.600          GLOB JOIN  DECK
LOADCN 13
LOADLB13 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)150DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 150.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 150.000          NL
CURR  0.001  0.150 150.000
CURR  12.900  0.790 150.000
CURR  20.000  0.940 150.000
LOAD  6      44.6000         GLOB JOIN  DECK
LOADCN 14
LOADLB14 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)165DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 165.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 165.000          NL
CURR  0.001  0.150 165.000
CURR  12.900  0.790 165.000
CURR  20.000  0.940 165.000
LOAD  6      44.6000         GLOB JOIN  DECK
LOADCN 15
LOADLB15 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)180DEG*****

```

```

WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 180.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 180.000          NL
CURR    0.001 0.150 180.000
CURR   12.900 0.790 180.000
CURR   20.000 0.940 180.000
LOAD 6      44.6000          GLOB JOIN  DECK
LOADCN 16
LOADLB16 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)195DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 195.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 195.000          NL
CURR    0.001 0.150 195.000
CURR   12.900 0.790 195.000
CURR   20.000 0.940 195.000
LOAD 6      44.6000          GLOB JOIN  DECK
LOADCN 17
LOADLB17 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)210DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 210.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 210.000          NL
CURR    0.001 0.150 210.000
CURR   12.900 0.790 210.000
CURR   20.000 0.940 210.000
LOAD 6      44.6000          GLOB JOIN  DECK
LOADCN 18
LOADLB18 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)225DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 225.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 225.000          NL
CURR    0.001 0.150 225.000
CURR   12.900 0.790 225.000

```

```

CURR  20.000  0.940 225.000
LOAD  6    44.6000                GLOB JOIN  DECK
LOADCN 19
LOADLB19 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)240DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 240.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 240.000          NL
CURR  0.001  0.150 240.000
CURR  12.900  0.790 240.000
CURR  20.000  0.940 240.000
LOAD  6    44.6000                GLOB JOIN  DECK
LOADCN 20
LOADLB20 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)255DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 255.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 255.000          NL
CURR  0.001  0.150 255.000
CURR  12.900  0.790 255.000
CURR  20.000  0.940 255.000
LOAD  6    44.6000                GLOB JOIN  DECK
LOADCN 21
LOADLB21 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)270DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 240.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 240.000          NL
CURR  0.001  0.150 240.000
CURR  12.900  0.790 240.000
CURR  20.000  0.940 240.000
LOAD  6    44.6000                GLOB JOIN  DECK
LOADCN 22
LOADLB22 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)285DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 285.00 15.00 20MM10 1 1 3

```

```

CURR
CURR      0.150 285.000          NL
CURR    0.001 0.150 285.000
CURR   12.900 0.790 285.000
CURR   20.000 0.940 285.000
LOAD 6      44.6000          GLOB JOIN DECK
LOADCN 23
LOADLB23 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)300DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 300.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 300.000          NL
CURR    0.001 0.150 300.000
CURR   12.900 0.790 300.000
CURR   20.000 0.940 300.000
LOAD 6      44.6000          GLOB JOIN DECK
LOADCN 24
LOADLB24 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)315DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 315.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 315.000          NL
CURR    0.001 0.150 315.000
CURR   12.900 0.790 315.000
CURR   20.000 0.940 315.000
LOAD 6      44.6000          GLOB JOIN DECK
LOADCN 25
LOADLB25 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)330DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 330.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 330.000          NL
CURR    0.001 0.150 330.000
CURR   12.900 0.790 330.000
CURR   20.000 0.940 330.000
LOAD 6      44.6000          GLOB JOIN DECK

```

```

LOADCN 26
LOADLB26 *****WAVE & CURRENT&WIND FORM NE (OPER)345DEG*****
WAVE
WAVE.880STRE 8.51    8.57          D 345.00 15.00 20MM10 1 1 3
CURR
CURR      0.150 345.000          NL
CURR  0.001 0.150 345.000
CURR  12.900 0.790 345.000
CURR  20.000 0.940 345.000
LOAD 6    -44.600          GLOB JOIN  DECK
LCOMB
*****
*****LOAD COMBINATION*****
LCOMB 101 1 1.05002 1.00003 1.0000
LCOMB 102 1 1.05002 1.00004 1.0000
LCOMB 103 1 1.05002 1.00005 1.0000
LCOMB 104 1 1.05002 1.00006 1.0000
LCOMB 105 1 1.05002 1.00007 1.0000
LCOMB 106 1 1.05002 1.00008 1.0000
LCOMB 107 1 1.05002 1.00009 1.0000
LCOMB 108 1 1.05002 1.00010 1.0000
LCOMB 109 1 1.05002 1.00011 1.0000
LCOMB 110 1 1.05002 1.00012 1.0000
LCOMB 111 1 1.05002 1.00013 1.0000
LCOMB 112 1 1.05002 1.00014 1.0000
LCOMB 113 1 1.05002 1.00015 1.0000
LCOMB 114 1 1.05002 1.00016 1.0000
LCOMB 115 1 1.05002 1.00017 1.0000
LCOMB 116 1 1.05002 1.00018 1.0000
LCOMB 117 1 1.05002 1.00019 1.0000
LCOMB 118 1 1.05002 1.00020 1.0000
LCOMB 119 1 1.05002 1.00021 1.0000
LCOMB 120 1 1.05002 1.00022 1.0000
LCOMB 121 1 1.05002 1.00023 1.0000
LCOMB 122 1 1.05002 1.00024 1.0000
LCOMB 123 1 1.05002 1.00025 1.0000

```

```
LCOB 124 1 1.05002 1.000026 1.0000
```

```
END
```

```
***SPMB** 1 2 1 2
```

```
**MSLF** Uc:\program files\sacs53\aise13th.sec
```

```
**JNCV** 0 0 0 0 1 1
```

```
END
```

ตารางที่ ค.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แบบกึ่งสถิตยศาสตร์ (Linear quasi-static analysis) สำหรับโครงสร้างแท่นผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล มุมในการค้ำยัน 20 องศา ความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก 25 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักเท่ากับ 1.00 เมตร

SACS-IV SYSTEM ELEMENT STRESS REPORT AT MAXIMUM UNITY CHECK

MEMBER	GRP	MAXIMUM UNITY CHECK	CRITICAL COND.	LOAD CASE NO.	DIST FROM END M	*** APPLIED STRESSES ***					* CM VALUES *		* NEXT TWO HIGHEST CASES *			
						AXIAL N/MM2	** BENDING **		*** SHEAR***		Y	Z	UNITY CHECK	LOAD COND	UNITY CHECK	LOAD COND
							Y-Y N/MM2	Z-Z N/MM2	Y N/MM2	Z N/MM2						
2-1	BRC	0.501	C<.15	105	3.49	-14.6	-7.07	73.61	6.98	8.03	1.00	1.00	0.17	118	0.16	117
2-5	BRC	0.373	TN+BN	105	7.10	10.3	-30.73	47.33	2.64	11.62	1.00	1.00	0.34	118	0.31	117
3-1	BRC	0.401	C<.15	105	3.48	-8.29	7.09	63.39	5.87	8.81	1.00	1.00	0.13	123	0.13	122
3-5	BRC	0.452	C>.15A	118	7.10	-30.86	26.43	-30.34	1.71	1.63	1.00	1.00	0.43	117	0.40	116
4-1	BRC	0.476	C<.15	105	3.48	-6.78	10.44	78.91	7.64	7.67	1.00	1.00	0.12	118	0.12	107
4-5	BRC	0.575	C>.15A	105	7.10	-27.85	21.22	63.96	3.13	10.72	1.00	1.00	0.47	123	0.45	122
1-5	CAS	0.527	C<.15	118	4.67	-10.25	-10.62	84.14	8.88	0	1.00	1.00	0.5	117	0.49	123
5-6	CAS	1.017	C>.15A	118	0.00	-27.7	-14.15	111.67	3.47	0	1.00	1.00	0.98	117	0.96	123

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายเดชวิทย์ หลานเศษฐา
วัน เดือน ปีเกิด	16 พฤษภาคม 2525
ประวัติการศึกษา	
ระดับอาชีวศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคขอนแก่น พ.ศ. 2545
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2548
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2557
ประวัติการทำงาน	
	บริษัท โอบายาชิ คอปอเรชั่น จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรโยธา พ.ศ.2548 –พ.ศ.2551
	บริษัท ทีซีไอ(ประเทศไทย) จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรโครงสร้าง พ.ศ.2551 –พ.ศ.2553
	บริษัท ยูโรไอเสกิ โอเวอร์ซีล (ประเทศไทย)จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรโยธา พ.ศ.2553 –พ.ศ.2554
	บริษัท Uhde (ประเทศไทย) จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรโครงสร้าง พ.ศ.2554 –พ.ศ.2555
	บริษัท พีเออี (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำแหน่ง หัวหน้าส่วนงานวิศวกรรม พ.ศ.2555 –ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่.....9.....เดือน.....กรกฎาคม.... พ.ศ...2557....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....เดชวิทย์ หลานเสษฐา.....รหัสประจำตัว.....52430529.....

เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ระดับ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ปริญญาโท ปริญญาเอก

หลักสูตร...วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต... สาขาวิชา...เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา...คณะ...วิศวกรรมศาสตร์...

อยู่บ้านเลขที่.. 185.... หมู่....14....ตรอก/ซอย.....-.....ถนน....สกลนคร-กาฬสินธุ์....ตำบล/แขวง...ห้วยยาง.....

อำเภอ/เขต.....เมือง.....จังหวัด.....สกลนคร.....รหัสไปรษณีย์..... 470000....

เป็น “ผู้โอน”ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี
รศ. ดร.ศักดิ์มน เทพหัสดิน ณ อยุธยา ตำแหน่ง รองคณบดีฝ่ายวิจัยและวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง เรื่องการศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างแผ่น
หลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน.....ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ.....ผศ. ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล.....
อาจารย์ที่ปรึกษา และ/หรือ.....-.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตามพระราชบัญญัติ
ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าใน
โครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครอง
ลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง 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

(นายเดชวิทย์ หลานเสขฐา)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....ผู้รับโอนลิขสิทธิ์

(รศ. ดร. สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและวิชาการ

ปฏิบัติการแทนคณบดี

ลงชื่อ.....พยาน

(ผศ. ดร. ชัยณรงค์ อธิสกุล)

ลงชื่อ.....พยาน

(รศ. ดร. สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์)