บทที่ 4 ผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการศึกษาการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อความหนาของโครงสร้างหลัก หรือ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ (Unity check Or Allowable interaction ratio) ของโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวมีค้ำยันที่ตำแหน่งการค้ำยันต่างๆ ได้แก่ ที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึก ครึ่งหนึ่งของความลึกและสองในสามของความลึกน้ำทะเล โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตรและ 30 เมตร ตามลำดับ ภายใต้สภาวะน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างส่วนบน (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 นอกจากจะทำการศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อความหนาของโครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ยังได้ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งการค้ำยันและมุมในการค้ำยันที่เหมาะสมอีกด้วย

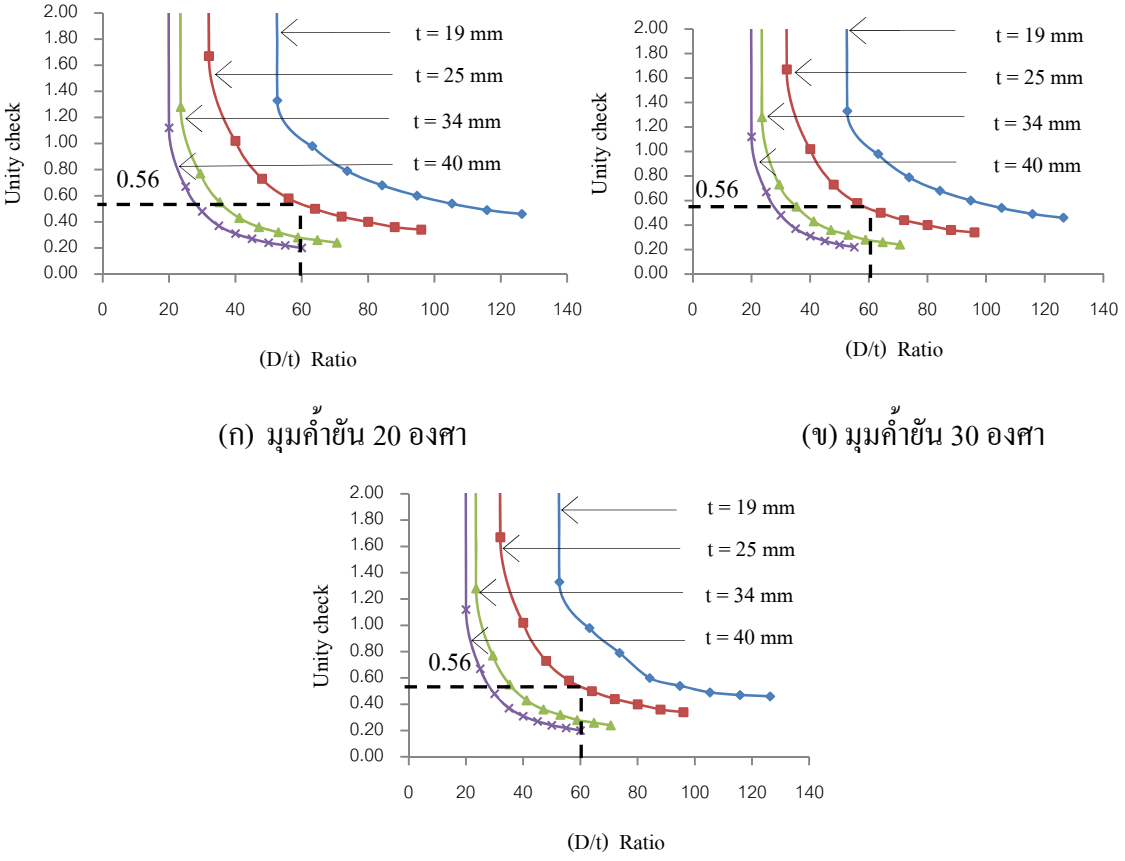
4.1 การเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร

4.1.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่มีตำแหน่งค้ำยันและมุมในการค้ำยันต่างๆ

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

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าเมื่ออัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้จะมีค่าลดลงในอัตราส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่อัตราส่วนอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เท่ากันแต่ละความหนาของท่อแตกต่างกันจะทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ มีค่าแตกต่าง

กันไปด้วย โดยเมื่อกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อมีค่าคงที่จะพบว่าการเพิ่มความหนาท่อจะทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าลดลง แต่เมื่อทำการเพิ่มความหนาถึง 34 มิลลิเมตรขึ้นไปจะพบว่าการเพิ่มความหนาท่อโครงสร้างหลักไม่ได้ทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากดังการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ความหนา 34 มิลลิเมตรกับ 40 มิลลิเมตรตามรูปที่ 4.1

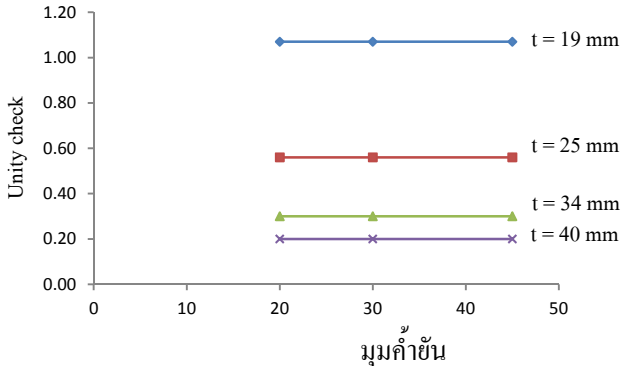


(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา (ข) มุมค้ำยัน 30 องศา

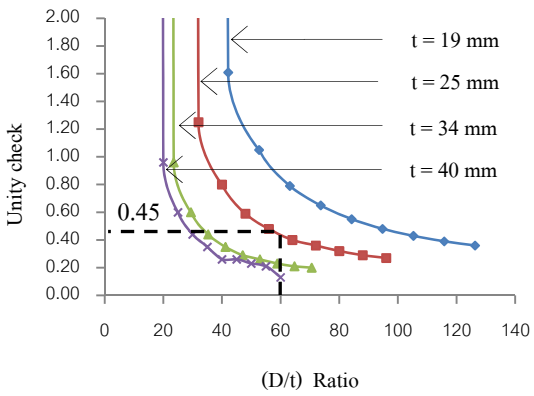
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

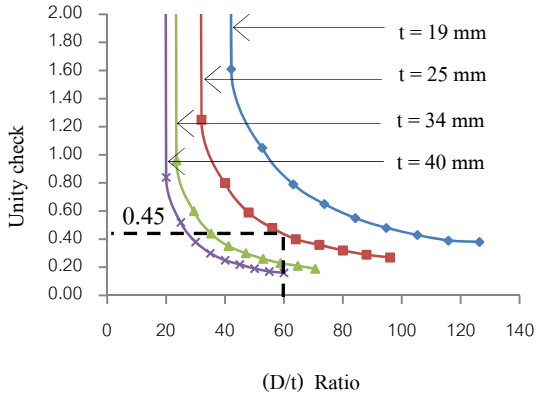
เมื่อนำค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ที่ความหนาของท่อโครงสร้างหลักต่างๆ มาสร้างความสัมพันธ์กับมุมในการค้ำยันจะได้ดังรูปที่ 4.2 โดยสมมติให้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนามีค่าคงที่เท่ากับ 60



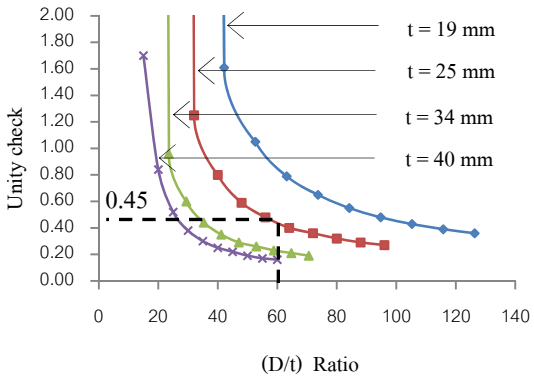
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้กับมุมในการค้ำยัน เมื่อสมมติให้ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนามีค่าเท่ากับ 60



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



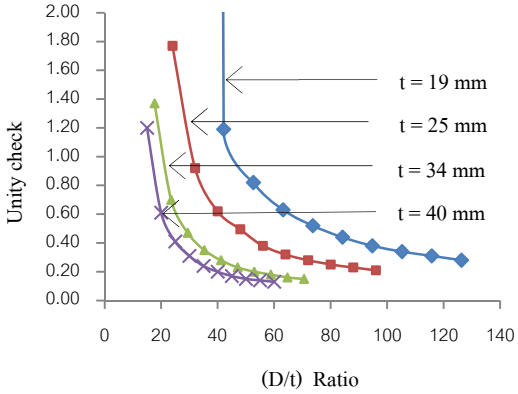
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล

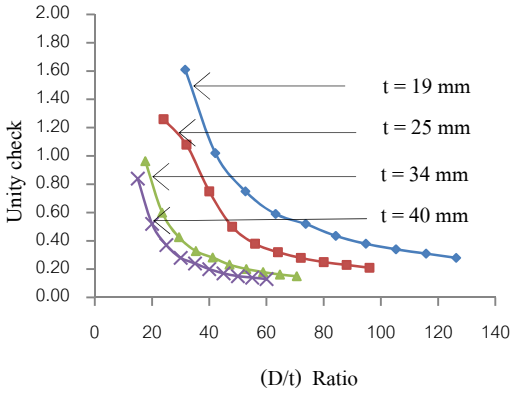
จากรูปที่ 4.2 จะพบว่ามุมในการค้ำยันชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ไม่ได้ทำให้อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าเปลี่ยนไป แสดงให้เห็นว่ามุมในการค้ำยันที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีผลต่อชิ้นส่วนโครงสร้างหลักน้อยมาก

ในรูปที่ 4.3 มีการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล ซึ่งมีลักษณะกราฟความสัมพันธ์คล้ายคลึงกับรูปที่ 4.1 ที่มีการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล โดยมีสิ่งที่แตกต่างกันคือที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เท่ากัน การค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเลจะมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักจะต่ำกว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) (ข) และ (ค) ที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาเท่ากับ 60 และความหนาของท่อเท่ากับ 25 มิลลิเมตรจะมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลคือ 0.56

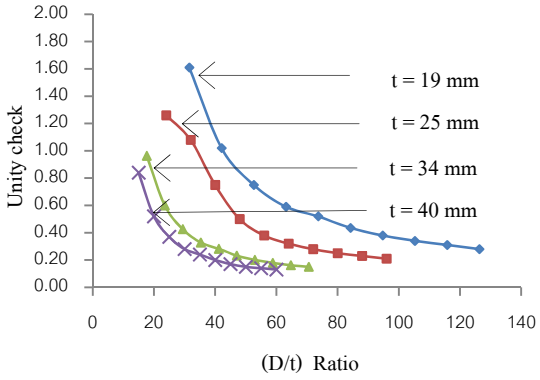
จากรูปที่ 4.1,4.3 และ 4.4 จะพบว่าลักษณะของรูปความสัมพันธ์จะมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนามากขึ้น ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ จะมีอัตราลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น และตามข้อแนะนำสำหรับการออกแบบ API PR2A-WSD แนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมไม่เกิน 0.85 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1,4.3 และ 4.4 จะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักต่อความหนา ซึ่งทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมมีค่าเท่ากับ 0.85 ตามตารางที่ 4.1 โดยผลต่างๆที่ได้จากตารางนี้จะเป็นค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาต่ำสุดสำหรับความหนาโครงสร้างหลักและตำแหน่งค้ำยันค่าต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้ โดยอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่มีค่าต่ำกว่าจุดนี้ไม่ควรนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวที่มีค้ำยัน



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล

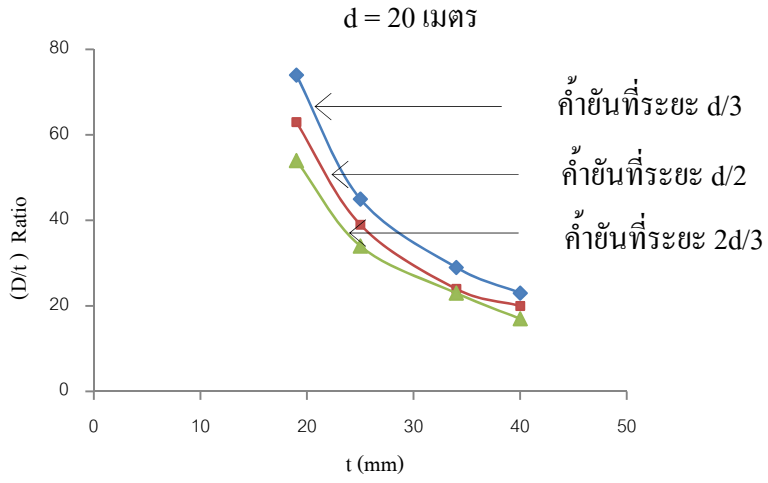
จากรูปกราฟที่ 4.5 พบว่า เมื่อความหนาของท่อเพิ่มมากขึ้น อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาจะมีอัตรส่วนลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่ความหนาของโครงสร้างหลักเท่ากัน การค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่น้อยกว่าการค้ำยันที่จุดอื่นๆ ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อการค้ำยันนที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล จะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่เล็กกว่าแต่จะใช้ปริมาณชิ้นส่วนในการค้ำยันเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจากกราฟรูปที่ 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



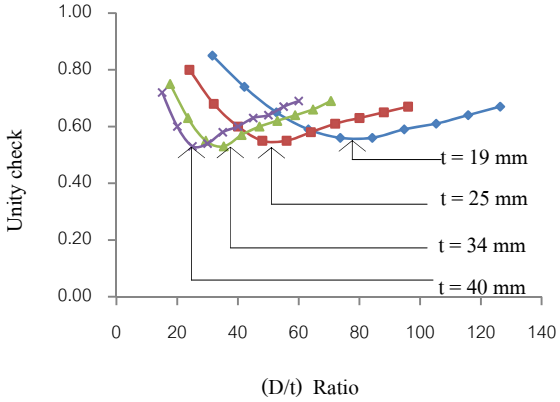
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของท่อ (t) กับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่มีการค้ำยันที่ระยะต่างๆ โดยมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85

4.1.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักและค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยัน ที่มีตำแหน่งค้ำยันและที่มุมในการค้ำยันต่างๆ

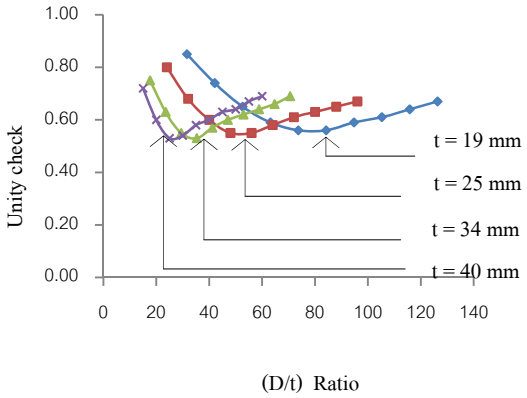
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลของชิ้นส่วนคำยันโครงสร้าง (Braced member) โดยให้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาอยู่ในแนวแกนนอน และค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยันอยู่ในแนวแกนตั้ง ซึ่งได้ทำการแบ่งเป็นกลุ่มๆ ตามตำแหน่งการค้ำยัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 – 4.8

จากรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) จะพบว่าลักษณะกราฟที่คล้ายคลึงกัน คือ จะมีค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา จุดหนึ่ง ที่จะทำให้เกิดค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ มีค่าต่ำกว่าจุดอื่นๆ ซึ่ง ณ จุดนี้จะทำให้โครงสร้างชิ้นส่วนค้ำยันเกิดความเค้นสูงสุดมีค่าน้อยกว่าจุดอื่น เหมาะที่จะนำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่จุดนี้มาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้าง เพื่อให้ได้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน ตามตำแหน่งการค้ำยันต่างๆ เนื่องจากที่จุดนี้จะทำให้โครงสร้างชิ้นส่วนค้ำยันเกิดแรงภายในน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยลดขนาดของชิ้นส่วนในการค้ำยันโครงสร้างได้

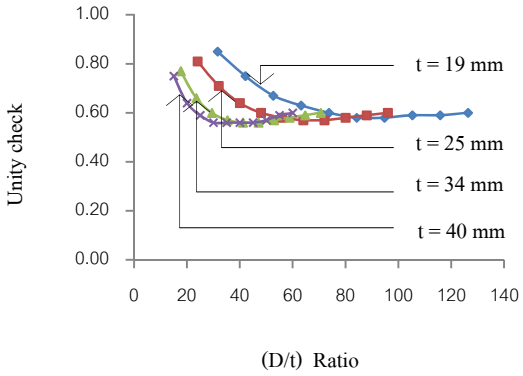
ส่วนรูปที่ 4.6 (ค) จะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักมากขึ้น ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยันจะมีค่าลู่เข้าสู่ค่าคงที่ หมายถึงมุมในการค้ำยันไม่มีผลต่อชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก แต่จะมีผลโดยตรงกับชิ้นส่วนค้ำยัน ซึ่งเมื่อมุมค้ำยันมีค่ามากขึ้น ชิ้นส่วนค้ำยันจะสามารถต้านทานแรงที่ส่งถ่ายมาจากโครงสร้างหลักได้มากขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำทะเลด้วย เนื่องจะจากความลึกน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีความยาวมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันวิบัติจากการโก่งเดาะได้



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา

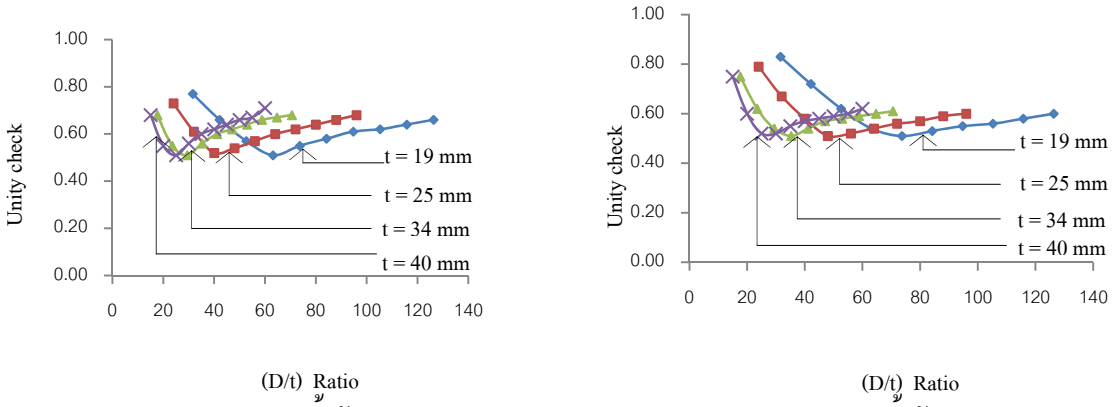


(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนากับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

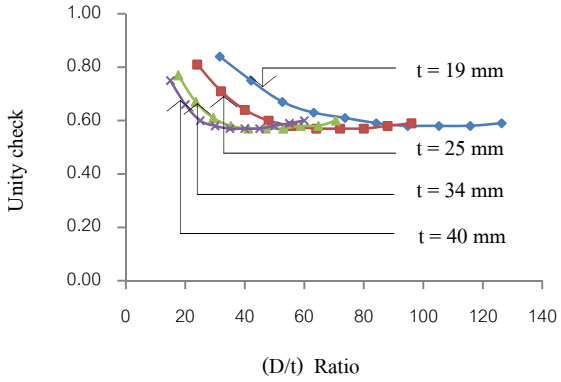
เมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ รูปที่ 4.7 จะพบว่าลักษณะของรูปความสัมพันธ์จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับรูปที่ 4.6 คือในรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาจุดหนึ่ง ที่ทำให้เกิดค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำสุด ซึ่ง ณ จุดนี้จะเป็นจุดที่มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน เพราะที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาจุดนี้จะทำให้โครงสร้างชิ้นส่วนค้ำยันเกิดแรงภายในน้อยกว่าจุดอื่นๆ เหมาะที่จะนำอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่จุดนี้มาใช้สำหรับการออกแบบ โดยในการเลือกอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนามาใช้ในการออกแบบจะต้องพิจารณาเลือกตามความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่ใช้ด้วย เนื่องจากความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่แตกต่างกันจะทำให้

ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันที่แตกต่างกันไป



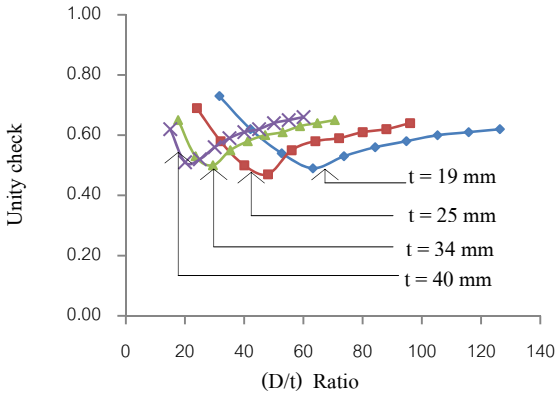
(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา

(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา

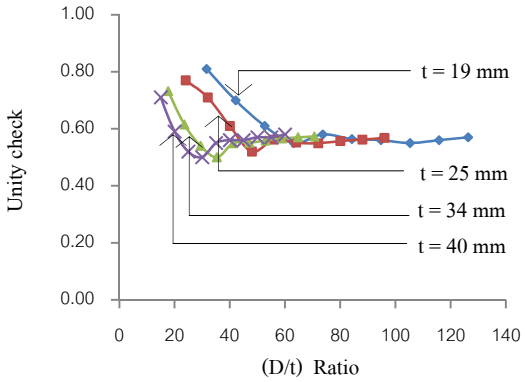


(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

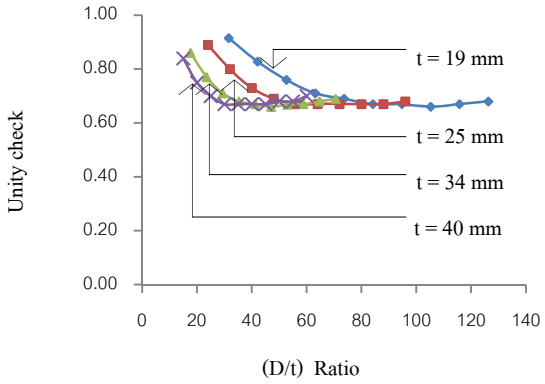
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

จากรูปที่ 4.8 จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ซึ่งจะเป็นการยืนยันว่า อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ทำให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยันมีค่าต่ำกว่าจุดอื่นๆ เหมาะที่จะนำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนานี้มาใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้าง เช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ซึ่งอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนค้ำยันที่เหมาะสมได้แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาได้จากความสัมพันธ์จากรูปที่ 4.6 ถึง รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ที่เหมาะสมของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำที่สุด ของท่อที่มีความหนาต่างๆ กัน ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร

ระยะการค้ำยัน	มุมของการค้ำยัน	อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันที่ขนาดความหนาต่างๆ			
		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	-	-	-	-

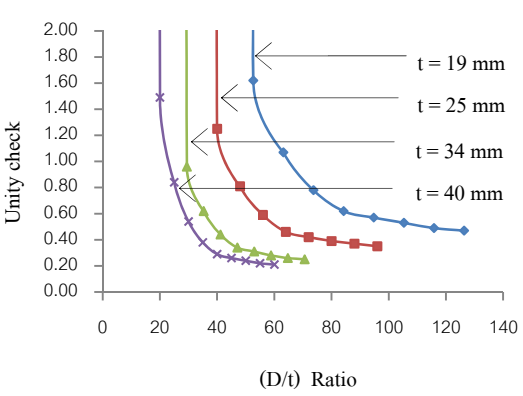
จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าขนาดท่อโครงสร้างหลักที่มีความหนาตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมน้อยกว่า 60 ซึ่งตามข้อแนะนำ API RP2A-WSD แรงอัดตามแนวแกน (Axial Compression) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2-14 และ สมการที่ 2-15 เนื่องจากการโก่งเดาะที่เสา (Column buckling) ส่วนที่ความหนาของท่อโครงสร้างหลักน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนามากว่า 60 แต่น้อยกว่า 300 การวิบัติของโครงสร้างจะเกิดขึ้นเนื่องจากการโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local buckling) สามารถคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 2-16 และ สมการที่ 2-17

ส่วนที่มุม 45 องศาไม่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 เนื่องจากผลจากรูปความสัมพันธ์ของมุมนี้แตกต่างจากมุมอื่นๆ คือ การค้ำยันที่มุม 45 องศานี้มีขนาดมากพอที่ชิ้นส่วนค้ำยันจะสามารถต้านทานแรงที่ส่งถ่ายจากโครงสร้างหลักได้เต็มที่ ถึงแม้จะเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักมากขึ้นก็ตาม

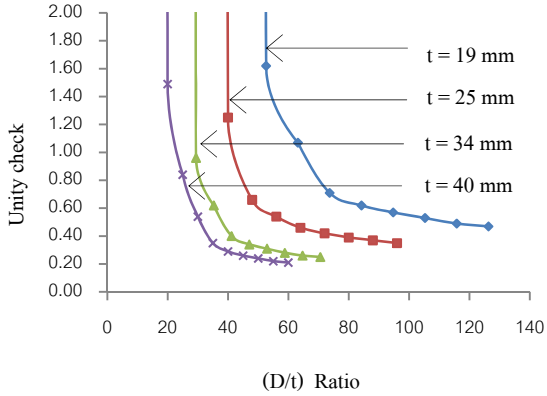
4.2 การเปรียบเทียบที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร

4.2.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่มีตำแหน่งค้ำยันและมุมในการค้ำยันต่างๆ

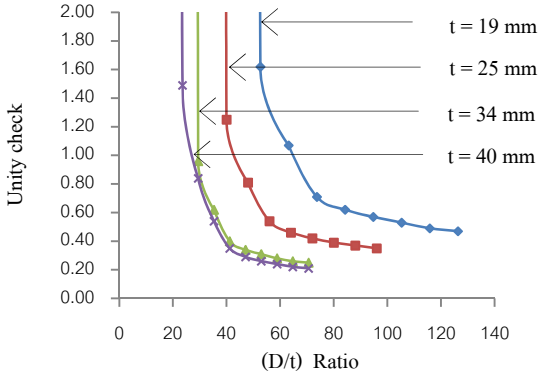
ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ซึ่งจะคล้ายคลึงกับหัวข้อ 4.1.1 แต่จะแตกต่างกันที่ระดับความลึกน้ำทะเลที่มีความลึกมากกว่า



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



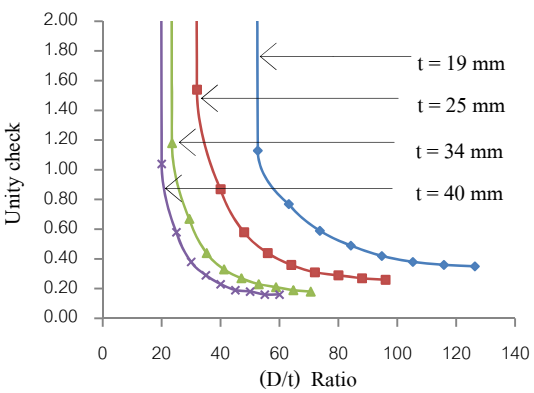
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



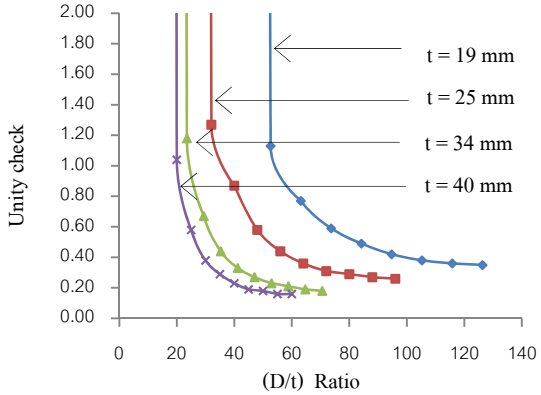
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

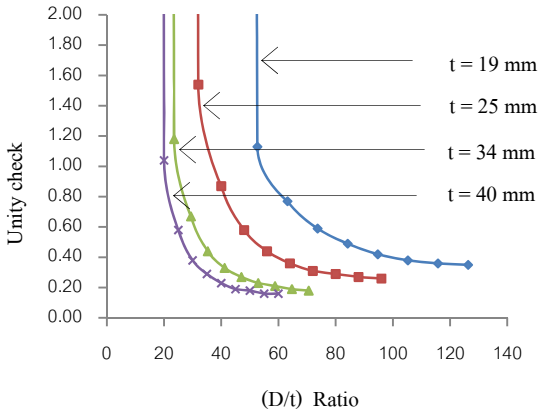
เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.9 กับรูปที่ 4.1 ซึ่งมีการค้ำยันที่ระยะเดียวกัน แต่ระดับความลึกของน้ำทะเลแตกต่างกัน พบว่าทั้งสองรูปชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่มีความหนามากว่า 25 มิลลิเมตรขึ้นไป จะมีอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าลดลงที่น้อยมาก หลังจากที่เพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนามากกว่า 60



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



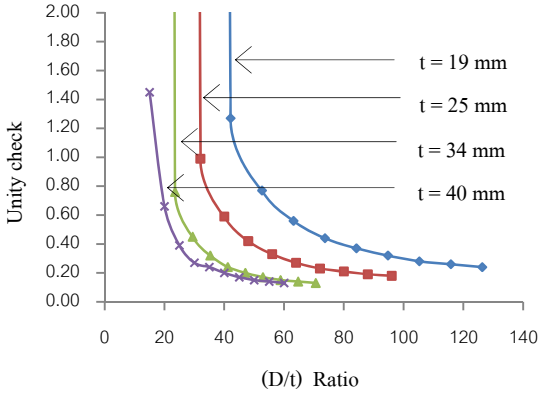
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



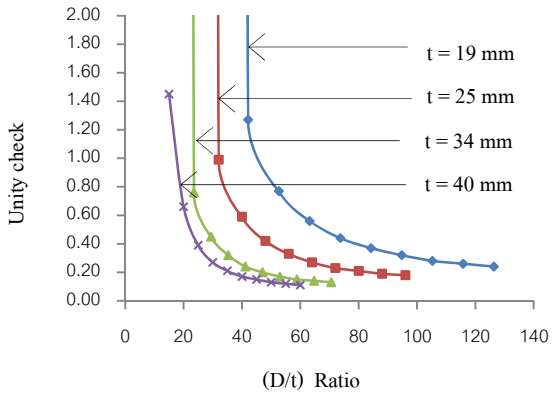
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล

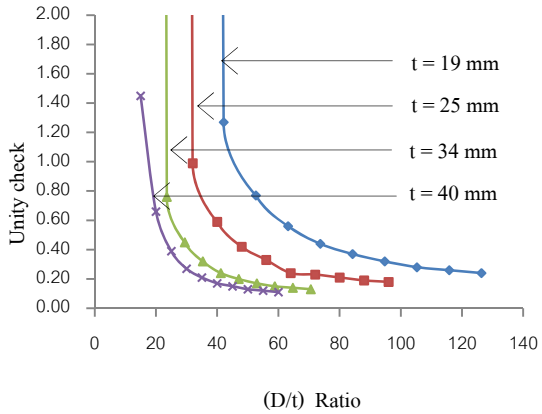
ความสัมพันธ์ของรูปที่ 4.10 มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.9 โดยทั้งรูป (ก) (ข) และ (ค) จะมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เข้าใกล้ค่าคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาถึงระดับหนึ่ง



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

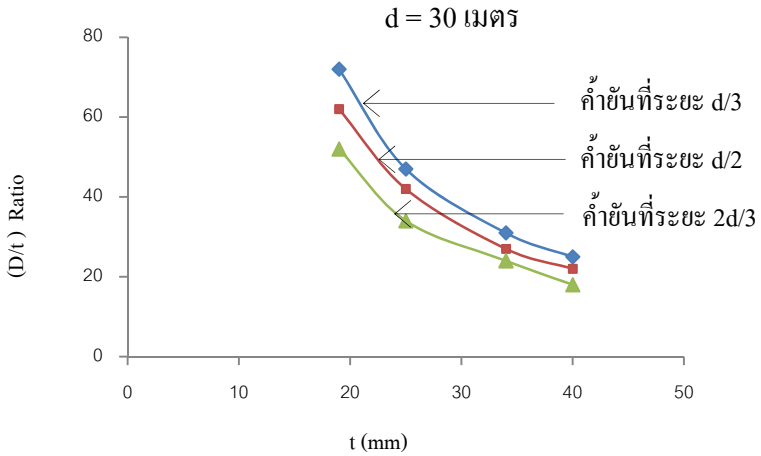
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา กับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล

รูปที่ 4.11 จะมีลักษณะของกราฟคล้ายคลึงกับรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 แต่ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนากับค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้จะมีค่าแตกต่างกันตามระยะการค้ำยันที่แตกต่างกันไป ตามข้อแนะนำสำหรับการออกแบบ API PR2A-WSD แนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมไม่เกิน 0.85 ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ มีค่าเท่ากับ 0.85 ในแต่ละหนาต่างๆ แล้ว จะได้ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาต่ำสุด ที่จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบตามระยะการค้ำยันและความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่ใช้ ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักกับขนาดความหนาของท่อต่างๆ ที่มีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85 ที่ระยะการค้ำยันต่างๆ กัน

ความลึกน้ำทะเล 30 เมตร			
ความหนาท่อ (มม.)	**อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา**		
	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 นำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาและความหนาของท่อไปสร้างความสัมพันธ์ จะได้ตามรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของท่อ (t) กับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักโครงสร้างหลักที่มีการค้ำยันที่ระยะต่างๆ โดยมีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้เท่ากับ 0.85

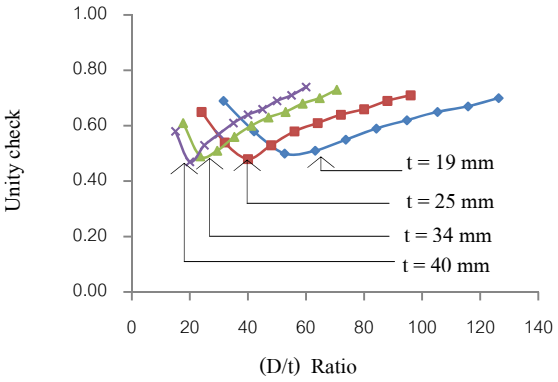
จากผลตารางที่ 4.3 และรูปกราฟที่ 4.12 เป็นกราฟของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร จะมีลักษณะคล้ายกันกับตารางที่ 4.1 และรูปกราฟที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟของชิ้นส่วน

โครงสร้างหลักที่ระดับความลึกน้ำทะเล 20 เมตร จากผลการเปรียบเทียบทั้งสองระดับความลึกน้ำทะเล พบว่าที่ระยะการค้ำยันเดียวกัน จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่มีค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ที่ค่า 0.85 มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าความลึกของน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่ออัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา น้อยมาก

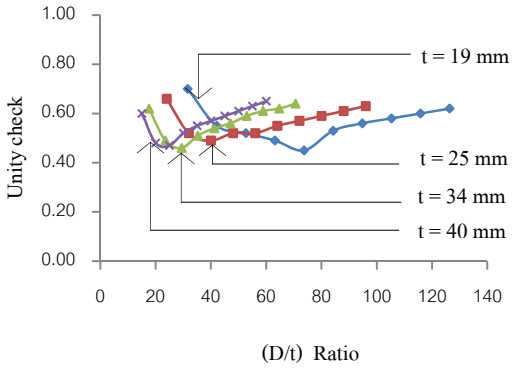
และจากรูปที่ 4.12 การค้ำยันที่ระยะ สองในสามของความลึกน้ำทะเล จะใช้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่น้อยกว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะและ หนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การค้ำยันที่ระยะ สองในสามของความลึกน้ำทะเล ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กว่าท่อโครงสร้างหลักที่เล็กกว่า แต่จะทำให้ใช้ชิ้นส่วนในการค้ำยันมากว่าระยะการค้ำยันอื่น เพราะจะต้องใช้ชิ้นส่วนในการค้ำยันที่ยาวขึ้น โดยจะมีผลต่อการพิจารณาน้ำหนักของโครงสร้างที่ใช้สำหรับการออกแบบว่าระยะการค้ำยันอันใด ที่จะทำให้ประหยัดวัสดุและสามารถต้านทานแรงจากสิ่งแวดล้อมได้มากที่สุด

4.2.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักและค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยัน ที่มีระยะค้ำยันและที่มุมในการค้ำยันต่างๆ

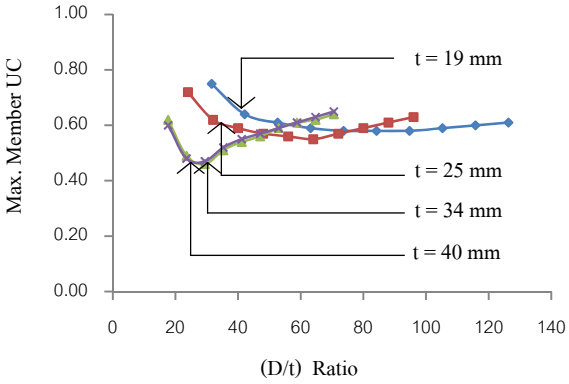
ผลการศึกษาในหัวข้อนี้ ได้จากการนำความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วยโครงสร้างหลัก และค่าอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนค้ำยัน จากตาราง ภาคผนวก (ข) มาสร้างความสัมพันธ์ จะได้ดังรูปที่ 4.13 -4.15



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



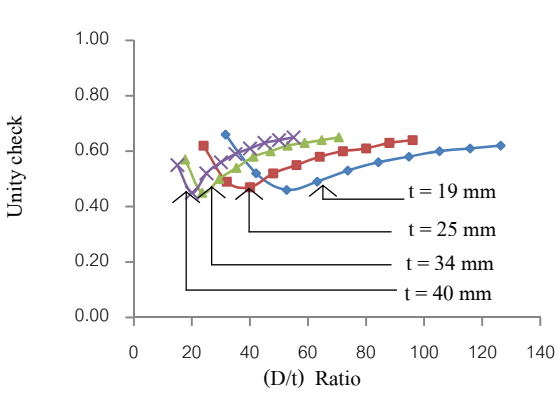
(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



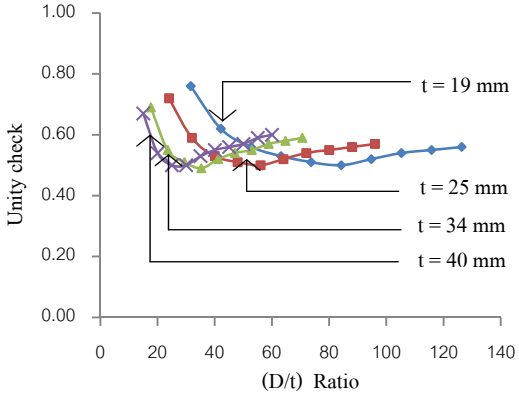
(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล

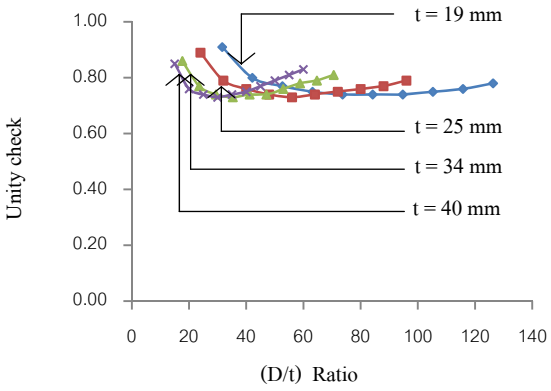
จากรูปที่ 4.13 จะพบว่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ทำให้ ชิ้นส่วนค้ำยันเกิดอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าน้อยที่สุดแตกต่างกันไป ซึ่งจะมีตัวแปรหลักขึ้นอยู่กับ ความหนาของท่อโครงสร้างหลัก โดยท่อโครงสร้างหลักที่ความหนามากๆ จะมีค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน มีค่าน้อยกว่าท่อโครงสร้างหลักที่มีความหนาน้อยๆ



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา

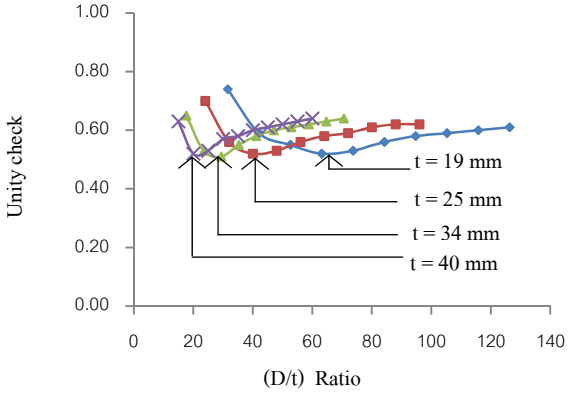


(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

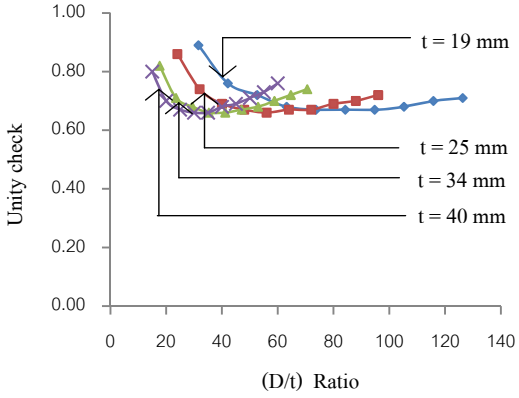
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล

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

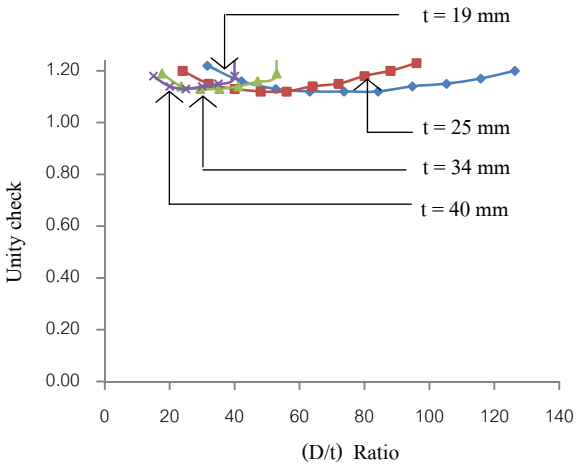
ความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เหมาะสมกับชิ้นค้ำยันได้ชัดแจน โดยจะมีเพียงหนึ่งจุดที่ทำให้อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยันมีค่าต่ำสุด ส่วนในมุมการค้ำยัน 45 องศา จะพบว่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนา ของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันมีหลายค่า ซึ่งจะอยู่ในช่วงที่ชิ้นส่วนค้ำยันมีอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้มีค่าคงที่



(ก) มุมค้ำยัน 20 องศา



(ข) มุมค้ำยัน 30 องศา



(ค) มุมค้ำยัน 45 องศา

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักกับอัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ ของชิ้นส่วนค้ำยัน เมื่อกำหนดความหนาของโครงสร้างหลักแตกต่างกัน สำหรับการค้ำยันที่ตำแหน่งสองในสามของความลึกน้ำทะเล

จากรูปที่ 4.15 จะพบว่า รูป (ค) ชิ้นส่วนค้ำยันไม่สามารถต้านทานจากแรงที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากชิ้นส่วนในการค้ำยันมีความยาวมากเกินไป ถ้าจำเป็นที่จะต้องใช้ในการออกแบบค้ำยัน จะต้องทำการ

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

จากรูปที่ 4.13 – 4.15 เมื่อนำค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยันของท่อโครงสร้างหลักที่ขนาดความหนาต่างๆ มาเขียนสรุปเป็นตารางได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่เหมาะสมของชิ้นส่วนโครงสร้างหลักที่ทำให้ชิ้นส่วนค้ำยันมีค่า อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ต่ำที่สุด ของท่อที่มีความหนาต่างๆ กัน ที่ระดับความลึกน้ำทะเล 30 เมตร

ระยะการค้ำยัน	มุมของการค้ำยัน	อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก 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 จะมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน มีค่าน้อยกว่ามุมอื่นๆ ที่ใช้ในการค้ำยัน โดยที่มุมในการค้ำยันที่มากขึ้น จะทำให้ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนค้ำยัน มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

และที่ความหนาของท่อโครงสร้างหลักเท่ากับ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาจะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 ทุกๆ ระยะการค้ำยัน ซึ่งแรงอัดตามแนวแกนเสา สามารถคำนวณหาได้จากสมการการโก่งเดาะที่เสา (Column buckling) ดังนั้นเพื่อให้การวิบัติของโครงสร้างโครงสร้างหลักเป็นไปแบบราบเรียบ ไม่มีความซับซ้อนจึงควรจะใช้ความหนาของท่อโครงสร้างหลักสำหรับการออกแบบโครงสร้างแท่นหลุมผลิตปิโตรเลียมแบบเสาเดี่ยวร่วมกับค้ำยันตั้งแต่ 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 อัตราส่วนหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ไม่เกิน 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 อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่มีความหนาต่าง 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 พบกว่าการเพิ่มระยะการค้ำยันที่มากขึ้น จะช่วยให้ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโครงสร้างหลักมีขนาดที่เล็กลง แต่เมื่อรวมน้ำหนักของชิ้นส่วนค้ำยันเข้าไปด้วย การค้ำยันที่ตำแหน่ง สองในสามของความลึกน้ำทะเล จะทำให้ใช้วัสดุสิ้นเปลืองกว่าตำแหน่งการค้ำยันอื่นๆ ดังนั้นตำแหน่งการค้ำยันที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาในเรื่องน้ำหนักวัสดุที่ใช้สำหรับการก่อสร้างคือการค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเล และเมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซนต์ความแตกต่าง

ของวัสดุที่ใช้กับการค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งครึ่งหนึ่งของความลึกน้ำทะเล จะพบกว่าการค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลจะประหยัดมากกว่า 15 เปอร์เซนต์ และถ้าเทียบกับการค้ำยันที่ระยะ สองในสามของความลึกน้ำทะเล แล้ว การค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลจะประหยัดมากกว่า 25 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างลงได้มาก

เมื่อพิจารณาการค้ำยันที่ตำแหน่งแหน่งหนึ่งในสามของความลึกน้ำทะเลซึ่งเป็นระยะการค้ำยันที่เหมาะสมที่สุด จะพบว่ามุมในการค้ำยันที่ 20 องศาจะใช้วัดสดุในการก่อสร้างน้อยที่สุด เมื่อเปรียบกับมุมในการค้ำยัน 30 องศางและ 45 องศา ตามลำดับโดยจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อโครงสร้างหลักตั้งแต่ 1.40 เมตร ขึ้นไปสำหรับท่อที่มีความหนาน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร ส่วนแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้ความหนาของท่อโครงสร้างหลักตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป จะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อโครงสร้างหลักตั้งแต่ 1.20 เมตรขึ้นไป และจะมีอัตราส่ว อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างหลักต่อความหนาที่ใช้ในการออกแบบได้อยู่ในช่วง 25-73 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาของท่อโครงสร้างหลักที่ใช้สำหรับการออกแบบ