

บทที่ 5

ผลการคำนวณและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้แก่ โปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013” นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการศึกษาผลกระทบเนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆต่อลักษณะการวางตัวและแรงภายในที่เกิดขึ้นภายในท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่สภาวะสมดุลสถิตศาสตร์

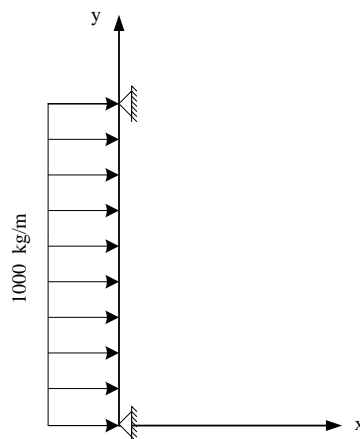
5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบเชิงตัวเลขที่ได้จากโปรแกรม

การตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบเชิงตัวเลขที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาสามารถตรวจสอบด้วยปัญหาของโครงสร้างที่ต่างกัน 2 กรณีได้แก่

- 1) ปัญหาของคานที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวคาน
- 2) ปัญหาของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล

5.1.1 ปัญหาของคานที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวคาน

การตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบเชิงตัวเลขที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013” จะพิจารณาปัญหาคานอย่างง่ายในกรณีที่คานรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวคานดังแสดงในรูปที่ 5.1 โดยจะเปรียบเทียบคำตอบเชิงตัวเลขที่ได้จากโปรแกรมกับคำตอบแม่นยำที่ได้จากกระบวนการเชิงวิเคราะห์ (Analytical solution) ในที่นี้จะเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวสูงสุดและค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด ซึ่งสามารถคำนวณหาคำตอบแม่นยำได้จากสมการที่ (5.1) และ (5.2)



รูปที่ 5.1 แสดงคานรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอ 1000 kg/m ตลอดความยาวคาน

$$\text{ค่าการแอ่นตัวสูงสุดหาได้จาก} \quad \Delta_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{wL^4}{EI} \quad (5.1)$$

$$\text{ค่าโมเมนต์ค้ดสูงสุดหาได้จาก} \quad M_{\max} = \frac{wL^2}{8} \quad (5.2)$$

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาของคานที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวคาน

จำนวนชิ้นส่วนย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์	20 ชิ้น
ความยาวช่วงคาน	4 เมตร
ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุคาน	2.07×10^{11} นิวตัน/ตร.ม.
โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดคาน	9.6282×10^{-5} ม. ⁴
น้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอ	1000 กก./ม.

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวสูงสุดและโมเมนต์ค้ดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคาน ซึ่งจะเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรมกับคำตอบแม่นยำตรงจากสมการที่ (5.1) และ (5.2) จากผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าโปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013” สามารถให้ผลคำตอบเชิงตัวเลขที่ใกล้เคียงกับคำตอบแม่นยำตรงที่ได้จากกระบวนการเชิงวิเคราะห์

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวและค่าโมเมนต์ค้ดสูงสุดของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013” กับคำตอบแม่นยำตรง

พารามิเตอร์	คำตอบแม่นยำตรง	MarineRiser 2013		Driser 2013	
		ค่า	ความคลาดเคลื่อน (%)	ค่า	ความคลาดเคลื่อน (%)
ค่าการแอ่นตัวสูงสุด (m)	0.00167249	0.00167610	0.216	0.00164072	1.900
ค่าโมเมนต์ค้ดสูงสุด (N-m)	2000.0000	2000.3212	0.016	2000.0048	0.000

5.1.2 ปัญหาของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล

การตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล ในที่นี้จะเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” ซึ่งโปรแกรมนี้ใช้สำหรับวิเคราะห์ปัญหาท่อที่วางตัวเกือบตรงในแนวตั้งและใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการหาคำตอบเชิงตัวเลขของสมการครอบคลุมปัญหาที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ จากนั้นจะเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้กับโปรแกรม “Driser 2013” ซึ่งโปรแกรมนี้ใช้สำหรับวิเคราะห์ปัญหาท่อที่เกิดการแอ่นตัวมากและมีลักษณะการวางตัวคล้ายเส้นโค้งคาร์ทีเซียน สำหรับการหาคำตอบเชิงตัวเลขจะใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการหาคำตอบของสมการครอบคลุมปัญหาที่เป็นสมการแปรผันของงาน-พลังงานเสมือนของระบบท่อ ตารางที่ 5.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์ของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล

จำนวนชิ้นส่วนย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์	20 ชิ้น
ความลึกของระดับน้ำทะเล	1000 เมตร
ค่าแรงดึงที่ปลายบนของท่อ	2000000 นิวตัน
ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวระดับผิวน้ำ	1 เมตร/วินาที
ความหนาแน่นของวัสดุท่อ	7850 กก./ลบ.ม.
ความหนาแน่นของน้ำทะเล	1025 กก./ลบ.ม.
ความหนาแน่นของของเหลวภายในท่อ	998 กก./ลบ.ม.
ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุท่อ	2.07×10^{11} นิวตัน/ตร.ม.
สัมประสิทธิ์ของแรงลาก	1
ระยะเชิงที่ผิวน้ำในแนวราบระหว่างจุดรองรับทั้งสอง	0 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ	0.25 เมตร
ความหนาของท่อ	0.02 เมตร
ตัวเลขสำหรับปรับรูปแบบแรงของกระแสน้ำ	1/7

ตารางที่ 5.4 ถึงตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัว โมเมนต์ดัดและเปรียบเทียบค่ามุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้นโค้งการแอ่นตัวของท่อที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013” ที่เกิดขึ้นที่จุดต่อ (node) สำหรับกรณีของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล ซึ่งจะเปรียบเทียบคำตอบเชิงตัวเลขที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013” ซึ่งพบว่าคำตอบที่ได้จาก 2 โปรแกรมนี้มีความใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013”

Node	การแอ่นตัว (m)		
	MarineRiser 2013	Driser 2013	ความแตกต่าง (%)
21	0.000	0.000	0.000
20	1.475	1.470	0.340
19	2.823	2.820	0.121
18	4.041	4.040	0.022
17	5.123	5.120	0.064
16	6.066	6.060	0.106
15	6.866	6.860	0.080
14	7.516	7.510	0.080
13	8.013	8.010	0.036
12	8.351	8.340	0.132
11	8.525	8.520	0.055
10	8.528	8.520	0.099
9	8.356	8.350	0.075
8	8.002	7.990	0.155
7	7.461	7.450	0.141
6	6.725	6.720	0.071
5	5.790	5.780	0.166
4	4.650	4.640	0.220
3	3.303	3.300	0.103
2	1.750	1.750	0.011
1	0.000	0.000	0.000

เนื่องจากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และ “Driser 2013” ได้พัฒนาขึ้นมาบนพื้นฐานของสมการครอบคลุมปัญหาตลอดจนกระบวนการในการหาคำตอบเชิงตัวเลขที่แตกต่างกัน ดังนั้นจากการเปรียบเทียบผลคำตอบเชิงตัวเลขข้างต้นทำให้มั่นใจได้ว่าโปรแกรมทั้ง 2 ให้ผลคำตอบที่ถูกต้องแม่นยำ และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลได้ทะเลได้

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และโปรแกรม “Driser 2013”

Node	โมเมนต์ดัด (N-m)		
	MarineRiser 2013	Driser 2013	ความแตกต่าง (%)
21	0.000	0.000	0.000
20	-1008.946	-1168.270	13.638
19	-1043.968	-1000.280	4.368
18	-1076.674	-1085.210	0.787
17	-1111.031	-1105.990	0.456
16	-1147.130	-1145.710	0.124
15	-1185.035	-1182.740	0.194
14	-1224.795	-1222.750	0.167
13	-1266.426	-1264.320	0.167
12	-1309.899	-1307.780	0.162
11	-1355.113	-1352.920	0.162
10	-1401.848	-1399.550	0.164
9	-1449.703	-1447.250	0.169
8	-1497.978	-1495.360	0.175
7	-1545.478	-1542.500	0.193
6	-1590.147	-1587.360	0.176
5	-1628.321	-1623.180	0.317
4	-1653.014	-1656.220	0.194
3	-1648.998	-1615.190	2.093
2	-1563.847	-1700.320	8.026
1	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบค่ามุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้นโค้งการแอ่นตัวของท่อที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และ โปรแกรม “Driser 2013”

Node	มุม (rad)		
	MarineRiser 2013	Driser 2013	ความแตกต่าง (%)
21	-0.030	-0.031	3.226
20	-0.028	-0.028	0.000
19	-0.026	-0.026	0.000
18	-0.023	-0.023	0.000
17	-0.020	-0.020	0.000
16	-0.017	-0.017	0.000
15	-0.014	-0.014	0.714
14	-0.011	-0.011	0.909
13	-0.008	-0.008	0.000
12	-0.005	-0.005	0.000
11	-0.002	-0.002	0.000
10	0.002	0.002	0.000
9	0.005	0.005	0.000
8	0.009	0.009	0.000
7	0.013	0.013	0.000
6	0.017	0.017	0.000
5	0.021	0.021	0.000
4	0.025	0.025	0.000
3	0.029	0.029	0.000
2	0.033	0.033	0.000
1	0.035	0.036	2.778

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าแรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) ที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” และ โปรแกรม “Driser 2013”

Node	True wall tension (N)		
	MarineRiser 2013	Driser 2013	ความแตกต่าง (%)
21	2000000.000	2000000.000	0.000
20	1944375.254	1944380.409	0.000
19	1888750.508	1888760.575	0.001
18	1833125.762	1833140.491	0.001
17	1777501.016	1777520.160	0.001
16	1721876.270	1721899.581	0.001
15	1666251.524	1666278.754	0.002
14	1610626.778	1610657.680	0.002
13	1555002.032	1555036.358	0.002
12	1499377.286	1499414.789	0.003
11	1443752.540	1443792.972	0.003
10	1388127.794	1388170.907	0.003
9	1332503.048	1332548.596	0.003
8	1276878.302	1276926.036	0.004
7	1221253.556	1221303.229	0.004
6	1165628.810	1165680.175	0.004
5	1110004.064	1110056.873	0.005
4	1054379.318	1054433.324	0.005
3	998754.572	998809.527	0.006
2	943129.826	943185.483	0.006
1	887505.080	887561.192	0.006

5.2 การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสถานะสมดุลสถิตศาสตร์ของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล

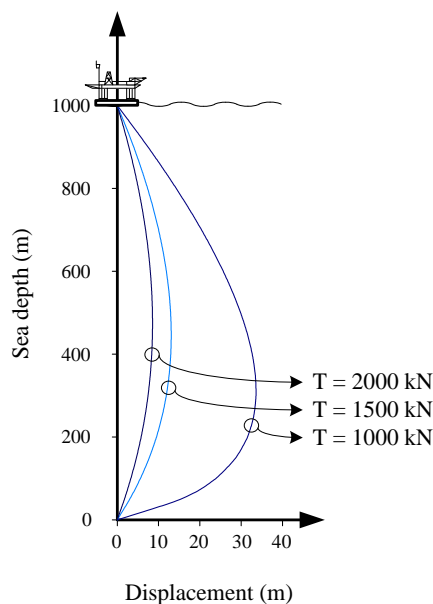
ท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลในสถานะสมดุลสถิตศาสตร์จะรับแรงกระทำต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักของตัวท่อ น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากของไหลภายในท่อ รวมถึงแรงกระทำเนื่องจากกระแสน้ำ เมื่อพิจารณาถึงสถานะการรับแรงของท่อขุดเจาะลำเลียงของไหลใต้ทะเลดังกล่าว จะเห็นได้ว่ามีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการลักษณะการวางตัวและแรงภายในที่เกิดขึ้นของท่อ ณ สถานะสมดุลสถิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

1. แรงดึงที่ปลายด้านบนของท่อ
2. แรงลากเนื่องจากกระแสน้ำทะเล
3. ระยะเยื้องในแนวราบระหว่างหลุมขุดเจาะใต้ทะเลกับแท่นขุดเจาะที่ผิวน้ำ
4. ประเภทวัสดุของท่อ
5. ความแข็งเชิงคด (Flexural rigidity)

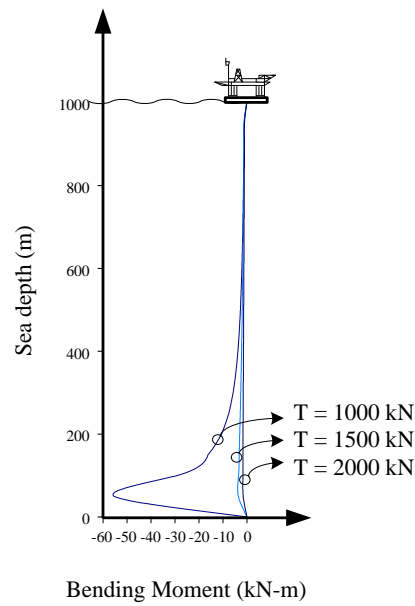
ซึ่งผลการศึกษาถึงผลกระทบเนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้จะแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

5.2.1 ผลกระทบเนื่องจากแรงดึงที่ปลายบนของท่อ

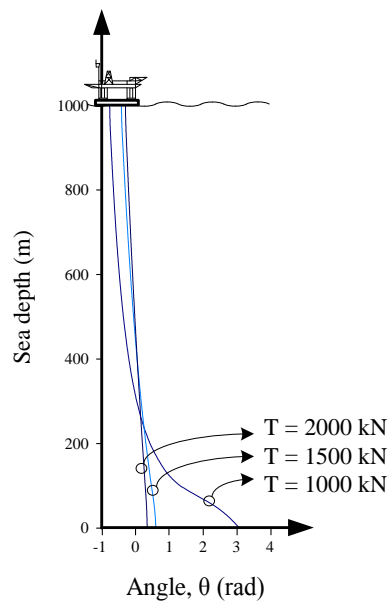
การศึกษาผลกระทบของแรงดึงที่ปลายบนของท่อต่อพฤติกรรมทางสถิตศาสตร์ของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล จะอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 5.3 โดยกำหนดให้ค่าแรงดึงที่ปลายด้านบนมีค่าเท่ากับ 1,000 kN 1,500 kN และ 2,000 kN โดยผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ถึง 5.5



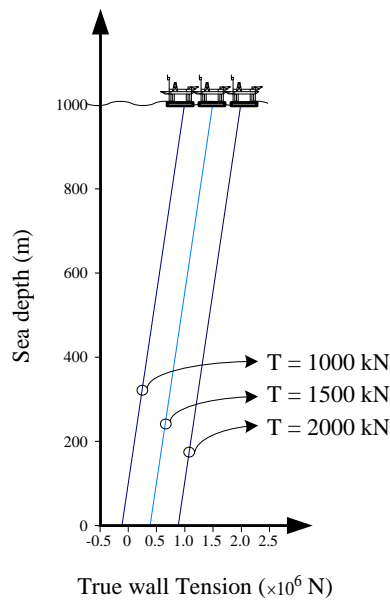
รูปที่ 5.2 ลักษณะการวางตัวของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลเมื่อกำหนดให้แรงดึงที่ปลายบนมีค่าเท่ากับ 1000 kN, 1500 kN และ 2000 kN



รูปที่ 5.3 โมเมนต์คดที่เกิดขึ้นภายในท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้แรงดึงที่ปลายบนมีค่าเท่ากับ 1000 kN, 1500 kN และ 2000 kN



รูปที่ 5.4 มุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้นโค้งการแอ่นตัวของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้แรงดึงที่ปลายบนมีค่าเท่ากับ 1000 kN, 1500 kN และ 2000 kN

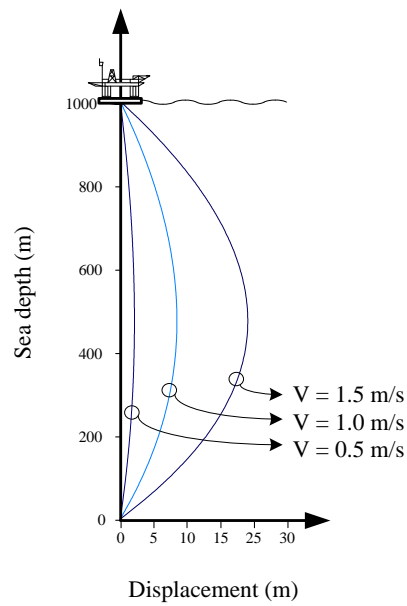


รูปที่ 5.5 แรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) ที่เกิดขึ้นภายในท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้แรงดึงที่ปลายบนมีค่าเท่ากับ 1000 kN, 1500 kN และ 2000 kN

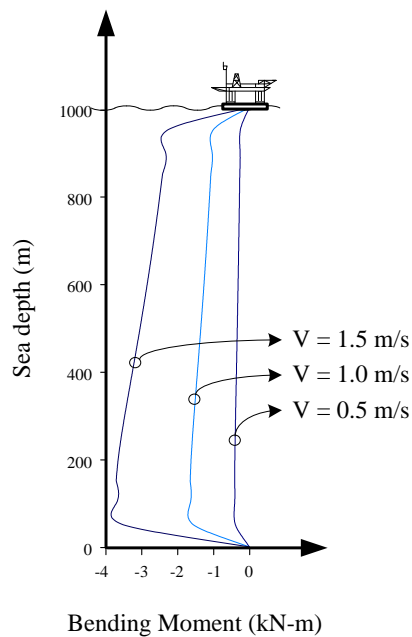
รูปที่ 5.2 ถึง 5.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มแรงดึงที่ปลายบนของท่อส่งผลให้ท่อชุดเจาะเกิดการแอ่นตัวน้อยลงดังรูปที่ 5.2 ซึ่งทำให้ค่าโมเมนต์คัตมีค่าลดลงตามไปด้วยดังรูปที่ 5.3 และมุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้นโค้งการแอ่นตัวของท่อก็มีค่าลดลงเช่นกันดังรูปที่ 5.4 แต่อย่างไรก็ดีการเพิ่มแรงดึงที่ปลายบนของท่อทำให้ค่าแรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยดังรูปที่ 5.5 ดังนั้นไม่ควรออกแบบค่าแรงดึงที่ปลายบนของท่อให้มากเกินไปจนทำให้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในท่อกว่าค่าความสามารถในการรับกำลังของวัสดุท่อ

5.2.2 ผลกระทบของแรงลากเนื่องจากกระแสน้ำทะเล

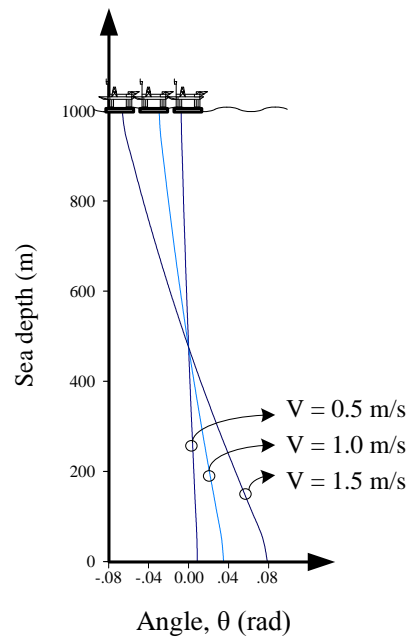
การศึกษาผลกระทบของแรงลากเนื่องจากกระแสน้ำต่อสถานะสมดุลทางสถิตศาสตร์ของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล โดยค่าแรงลากนี้จะขึ้นกับความเร็วของกระแส น้ำ ซึ่งจะแปรผันตามระดับความลึกของน้ำทะเลดังสมการที่ (2.12) ซึ่งในการศึกษานี้จะอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 5.3 และกำหนดให้ค่าความเร็วของกระแส น้ำที่ผิวน้ำมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที 1.0 เมตร/วินาทีและ 1.5 เมตร/วินาที โดยผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6 ถึง 5.9



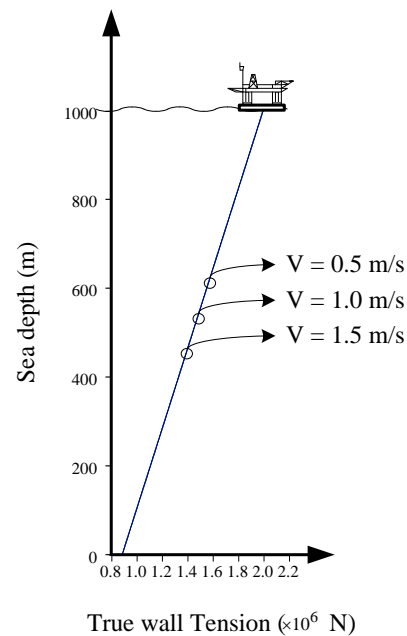
รูปที่ 5.6 ลักษณะการวางตัวของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลเมื่อกำหนดให้ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวน้ำมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที 1.0 เมตร/วินาที และ 1.5 เมตร/วินาที



รูปที่ 5.7 โมเมนต์คดที่เกิดขึ้นภายในท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวน้ำมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที 1.0 เมตร/วินาที และ 1.5 เมตร/วินาที



รูปที่ 5.8 มุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้น โค้งการแอนตัวของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล ที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวน้ำมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที 1.0 เมตร/วินาที และ 1.5 เมตร/วินาที

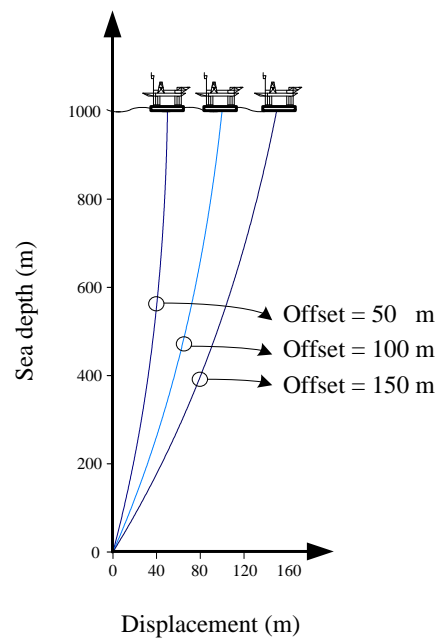


รูปที่ 5.9 แรงแรงดึงจริงที่ผนัง (True Wall Tension) ที่เกิดขึ้นภายในท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวน้ำมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที 1.0 เมตร/วินาที และ 1.5 เมตร/วินาที

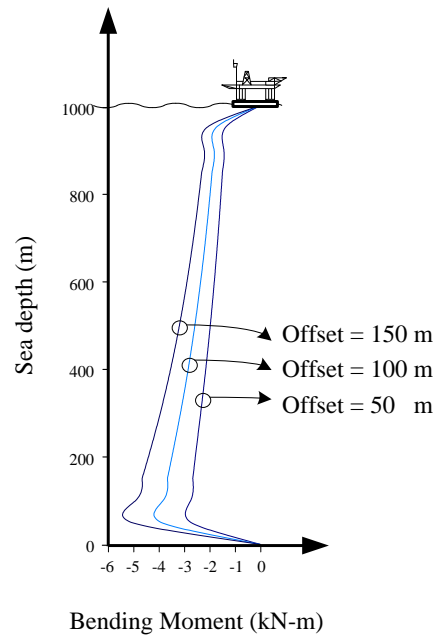
รูปที่ 5.6 ถึง 5.8 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วของกระแสน้ำที่ระดับผิวน้ำเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้แรงลากเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้การแอ่นตัวของท่อ ค่าโมเมนต์ดัด และมุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้นโค้งการแอ่นตัวของท่อมีค่าเพิ่มมากขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระแสน้ำจะไม่ส่งผลต่อค่าแรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) ดังรูปที่ 5.9

5.2.3 ผลกระทบของระยะเยื้องตามแนวราบระหว่างหลุมขุดเจาะใต้ทะเลกับแท่นขุดเจาะที่ผิวน้ำ

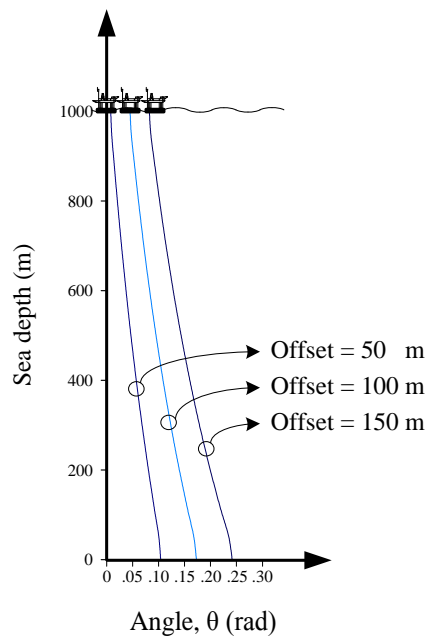
การศึกษาผลกระทบของระยะเยื้องตามแนวราบระหว่างหลุมขุดเจาะใต้ทะเลกับแท่นขุดเจาะที่ผิวน้ำมีความจำเป็นมาก เนื่องจากในสถานะสมดุลของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลจะอยู่ในสถานะแวดล้อมที่มีทั้งกระแสน้ำ แรงลมและคลื่นมากระทำ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้แท่นขุดเจาะหรือเรือขุดเจาะไม่สามารถรักษาสภาพให้อยู่แนวตรงกับหลุมได้ อย่างไรก็ตามจากสมมุติฐานที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 2.1 ซึ่งประมาณให้ท่อมีการวางตัวเกือบตรงในแนวตั้ง ดังนั้นขอบเขตของระยะเยื้องที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้ จะกำหนดให้มุมเยื้อง α (รูปที่ 1.1) มีค่าไม่เกิน 10 องศา การศึกษาครั้งนี้จะอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 5.3 โดยกำหนดระยะเยื้องที่ผิวน้ำเท่ากับ 50 เมตร 100 เมตร และ 150 เมตร โดยผลการศึกษາสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ถึง 5.13



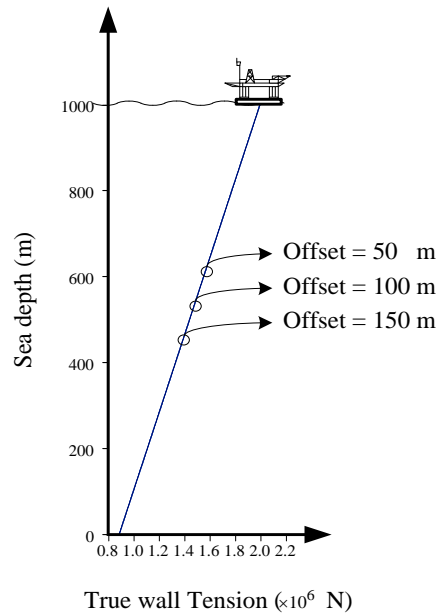
รูปที่ 5.10 ลักษณะการวางตัวของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลเมื่อกำหนดให้ระยะเยื้องที่ผิวน้ำเท่ากับ 50 เมตร 100 เมตร และ 150 เมตร



รูปที่ 5.11 โมเมนต์คดที่เกิดขึ้นภายในท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ระยะเอียงที่ผิวน้ำเท่ากับ 50 เมตร 100 เมตร และ 150 เมตร



รูปที่ 5.12 มุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้นโค้งการแอ่นตัวของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่างๆ เมื่อกำหนดให้ระยะเอียงที่ผิวน้ำเท่ากับ 50 เมตร 100 เมตร และ 150 เมตร



รูปที่ 5.13 แรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) ของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่างๆ เมื่อกำหนดให้ระยะเอียงที่ผิวน้ำเท่ากับ 50 เมตร 100 เมตร และ 150 เมตร

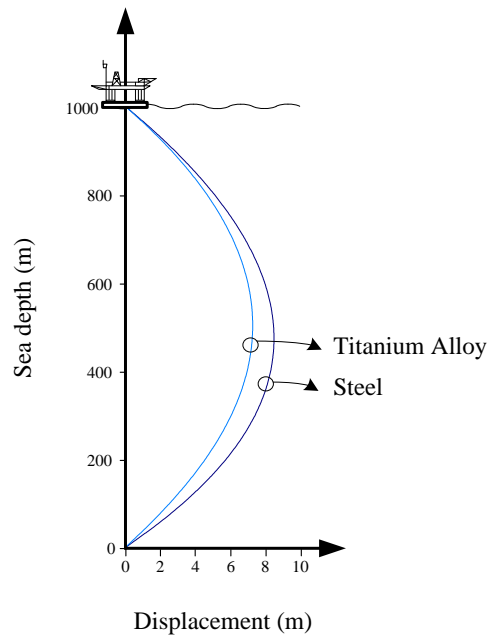
รูปที่ 5.10 ถึง 5.12 แสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเอียงตามแนวราบระหว่างหลุมชุดเจาะใต้ทะเลกับแท่นชุดเจาะที่ผิวน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าการแอ่นตัว ค่าโมเมนต์คัต และมุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้นโค้งการแอ่นตัวของท่อมักมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงของระยะเอียงในแนวราบระหว่างหลุมชุดเจาะใต้ทะเลกับแท่นชุดเจาะที่ผิวน้ำไม่มีผลต่อแรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) ดังรูปที่ 5.13

5.2.4 ผลกระทบเนื่องจากประเภทวัสดุของท่อ

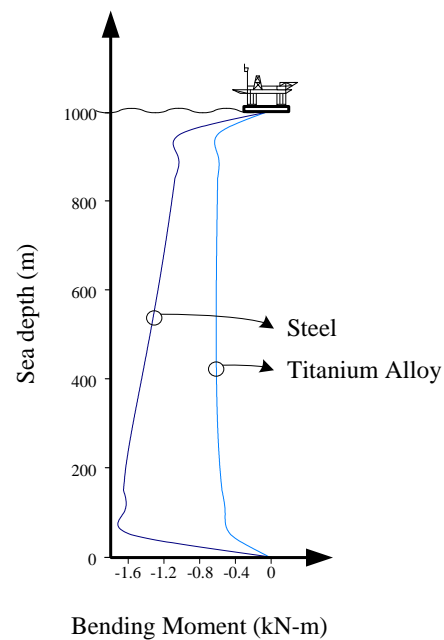
การศึกษาผลกระทบของประเภทวัสดุของท่อจะทำการศึกษาวัสดุ 2 ประเภทที่แตกต่างกันคือ ท่อชุดเจาะที่ผลิตด้วยเหล็กกล้าและท่อชุดเจาะที่ผลิตด้วยไทเทเนียมอัลลอยด์ ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีค่าความหนาแน่นและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกัน ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.8 และผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 ถึง 5.17

ตารางที่ 5.8 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการผลิตท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหล

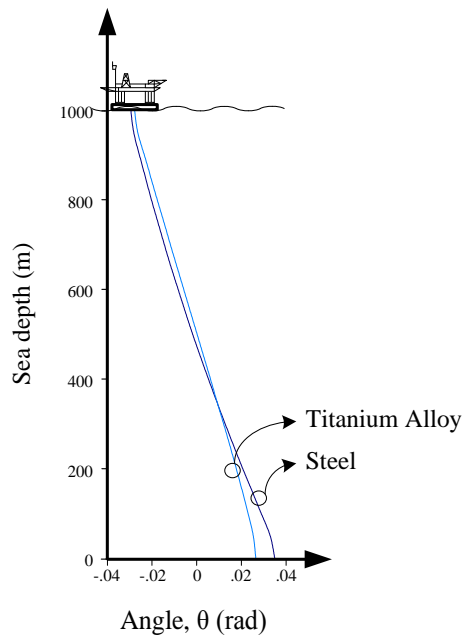
วัสดุ	เหล็กกล้า	ไทเทเนียมอัลลอยด์
ความหนาแน่น (กก. / ลบ.ม.)	7850	4550
มอดูลัสยืดหยุ่น (นิวตัน / ตร.ม.)	2.07×10^{11}	1.03×10^{11}



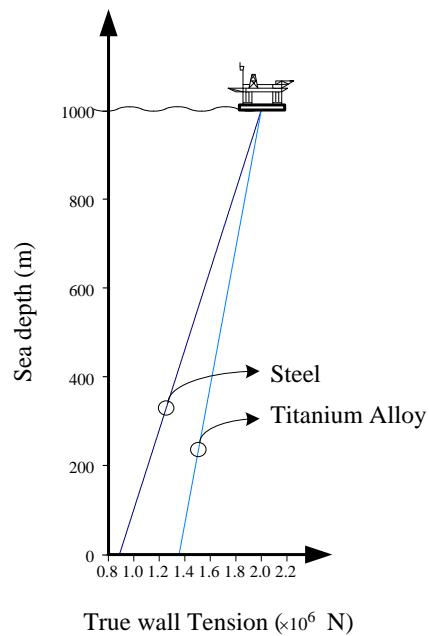
รูปที่ 5.14 ลักษณะการวางตัวของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลสำหรับท่อที่ผลิตขึ้นจากเหล็กกล้าและไทเทเนียมอัลลอยด์



รูปที่ 5.15 โมเมนต์คดที่เกิดขึ้นภายในท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่างๆ สำหรับท่อที่ผลิตขึ้นจากเหล็กกล้าและไทเทเนียมอัลลอยด์



รูปที่ 5.16 มุมซึ่งวัดจากแนวตั้งไปยังเส้น โค้งการแอ่นตัวของท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล ที่ระดับความลึกต่างๆ สำหรับท่อที่ผลิตขึ้นจากเหล็กกล้าและไทเทเนียมอัลลอยด์



รูปที่ 5.17 แรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) ที่เกิดขึ้นภายในท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลที่ระดับความลึกต่างๆ สำหรับท่อที่ผลิตขึ้นจากเหล็กกล้าและไทเทเนียมอัลลอยด์

รูปที่ 5.14 ถึง 5.17 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลที่ผลิตจากวัสดุ 2 ชนิด คือเหล็กกล้าและไทเทเนียมอัลลอยด์ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าการแอ่นตัวค่าโมเมนต์คดและมุมที่เปลี่ยนแปลงไปของท่อไทเทเนียมอัลลอยด์จะมีค่าน้อยกว่าท่อที่ผลิตจากเหล็กกล้า สำหรับค่าแรงดึงภายในท่อ (True Wall Tension) ที่ลดลงเนื่องจากระดับความลึกของน้ำทะเลจะลดลงในอัตราที่น้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากค่าคุณสมบัติที่แตกต่างกันของวัสดุ ทั้งนี้จะพบว่า ค่าความหนาแน่นและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของไทเทเนียมอัลลอยด์น้อยกว่าของท่อเหล็กกล้าอยู่มากดังตารางที่ 5.8 แม้ว่าไทเทเนียมอัลลอยด์จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเหล็กกล้า แต่ด้วยราคาที่สูงทำให้เหล็กกล้ายังคงเป็นวัสดุที่นิยมใช้มากกว่าท่อไทเทเนียมอัลลอยด์

5.2.5 ผลกระทบเนื่องจากความแข็งเชิงคด (Flexural rigidity)

การศึกษาผลกระทบของความแข็งเชิงคดต่อพฤติกรรมทางสถิตศาสตร์ของท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล โดยจะอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 5.3 ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหล (คิด Flexural Rigidity) กับการวิเคราะห์ท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลโดยอาศัยสมการเส้นโค้งคาร์ทีนารี (ไม่คิด Flexural Rigidity) [22] โดยผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.9

จากตารางที่ 5.9 สามารถนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ปลายบน (มุม α) กับระยะเยื้องต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF (โดยที่ TTF คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดึงที่ปลายบนต่อน้ำหนักประสิทธิผลของท่อตลอดความยาวท่อ) เพื่อนำมาสร้างกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ดังรูปที่ 5.18 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ปลายล่าง (มุม β) กับระยะเยื้องต่อความลึก (O/D) ในแต่ละค่า TTF นำมาสร้างกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ดังรูปที่ 5.19 ซึ่งจากที่กล่าวมาสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้ดังรูปที่ 5.20 ถึง 5.25

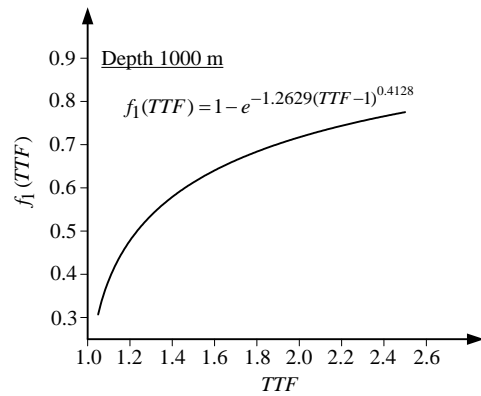
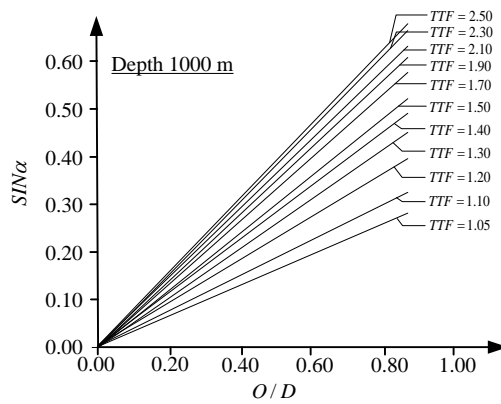
รูปที่ 5.20 ถึง 5.25 แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึกต่างๆ กราฟฟังก์ชันความชันของ TTF จะมีสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงยกตัวอย่างการวิเคราะห์ในกรณีที่ระดับความลึกของทะเลเท่ากับ 1,000 เมตร ในการเปรียบเทียบกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ได้จากสมการเส้นโค้งคาร์ทีนารี (ไม่คิด Flexural Rigidity) กับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ (คิด Flexural Rigidity) ทั้งมุมที่ปลายบน (มุม α) และมุมที่ปลายล่าง (มุม β) ดังรูปที่ 5.26

ตารางที่ 5.9 แสดงค่ามุมที่ปลายบน (α) และค่ามุมที่ปลายล่าง (β) โดยการเปรียบเทียบระหว่างการศึกษานี้ (คิด EI) กับสมการคาร์ทีนารี (ไม่คิด EI) ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 1000 เมตร

TTF	O/D	O (m.)	D (m.)	L (m.)	T (N.)	การศึกษานี้		สมการคาร์ทีนารี		ความแตกต่าง (%)	
						$Sin\beta$	$Sin\alpha$	$Sin\beta$	$Sin\alpha$	$Sin\beta$	$Sin\alpha$
1.05	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0160	16.0000	1000	1000.29	518,473.536	0.1087	0.0048	0.1045	0.0050	3.8638	4.0000
	0.0340	34.0000	1000	1001.28	518,986.860	0.2276	0.0102	0.2191	0.0107	3.7346	4.6729
	0.0547	54.7000	1000	1003.22	519,991.406	0.3558	0.0166	0.3414	0.0172	4.0472	3.4884
	0.0796	79.6000	1000	1006.52	521,696.532	0.4946	0.0246	0.4704	0.0252	4.8928	2.3810
	0.1098	109.8000	1000	1011.68	524,378.495	0.6390	0.0349	0.5990	0.0352	6.2598	0.8523
	0.1492	149.2000	1000	1019.93	528,654.756	0.7924	0.0495	0.7224	0.0486	8.8339	1.8519
1.10	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0097	9.7000	1000	1000.08	543,048.319	0.0409	0.0036	0.0406	0.0037	0.7335	2.7027
	0.0252	25.2000	1000	1000.52	543,287.910	0.1060	0.0093	0.1045	0.0095	1.4151	2.1053
	0.0419	41.9000	1000	1001.42	543,780.028	0.1751	0.0156	0.1735	0.0159	0.9138	1.8868
	0.0598	59.8000	1000	1002.88	544,568.167	0.2474	0.0223	0.2432	0.0227	1.6977	1.7621
	0.0794	79.4000	1000	1005.01	545,724.663	0.3239	0.0298	0.3171	0.0302	2.0994	1.3245
	0.1010	101.0000	1000	1005.09	547,332.500	0.4041	0.0383	0.3930	0.0385	2.7468	0.5195
1.20	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0072	7.2000	1000	1000.03	592,390.908	0.0201	0.0033	0.0201	0.0033	0.0000	0.0000
	0.0204	20.4000	1000	1000.27	592,532.544	0.0570	0.0094	0.0567	0.0095	0.5263	1.0526
	0.0338	33.8000	1000	1000.75	592,814.352	0.0943	0.0156	0.0939	0.0157	0.4242	0.6369
	0.0478	47.8000	1000	1001.49	593,256.144	0.1330	0.0220	0.1326	0.0224	0.3008	1.7857
	0.0627	62.7000	1000	1002.56	593,889.756	0.1738	0.0290	0.1728	0.0292	0.5754	0.6849
	0.0779	77.9000	1000	1003.94	594,706.884	0.2150	0.0361	0.2135	0.0363	0.6977	0.5510
1.30	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0060	6.0000	1000	1000.02	641,748.822	0.0136	0.0031	0.0135	0.0031	0.7353	0.0000
	0.0179	17.9000	1000	1000.19	641,858.295	0.0406	0.0093	0.0407	0.0094	0.2463	1.0638
	0.0304	30.4000	1000	1000.55	642,090.423	0.0690	0.0159	0.0689	0.0159	0.1449	0.0000
	0.0432	43.2000	1000	1001.12	642,452.057	0.0979	0.0226	0.0977	0.0225	0.2043	0.4444
	0.0563	56.3000	1000	1001.90	642,951.244	0.1274	0.0294	0.1271	0.0295	0.2355	0.3390
	0.0698	69.8000	1000	1002.91	643,601.179	0.1576	0.0365	0.1572	0.0366	0.2538	0.2732
1.40	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0050	5.0000	1000	1000.01	691,109.062	0.0100	0.0028	0.0098	0.0029	1.6064	2.0690
	0.0165	16.5000	1000	1000.16	691,206.614	0.0329	0.0094	0.0329	0.0094	0.0000	0.0000
	0.0284	28.4000	1000	1000.46	691,417.328	0.0565	0.0161	0.0566	0.0162	0.1770	0.3704
	0.0404	40.4000	1000	1000.93	691,742.478	0.0804	0.0230	0.0804	0.0230	0.0000	0.0000
	0.0529	52.9000	1000	1001.59	692,201.160	0.1051	0.0301	0.1051	0.0301	0.0000	0.0000
	0.0656	65.6000	1000	1002.45	692,791.876	0.1302	0.0374	0.1300	0.0374	0.1536	0.0000

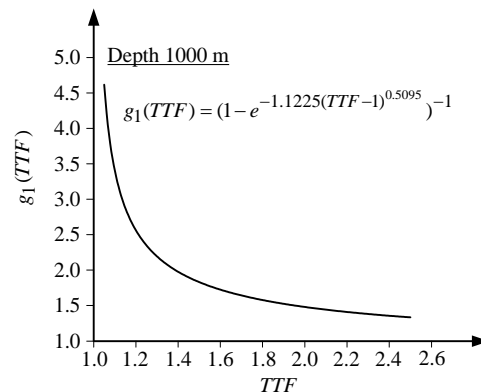
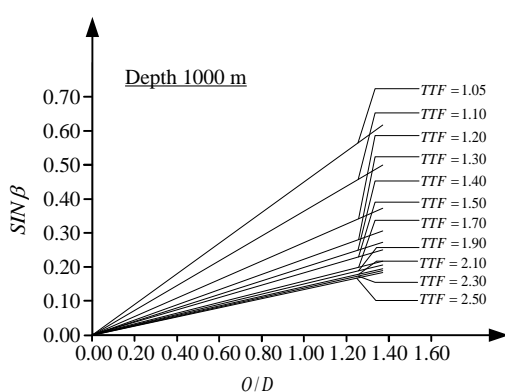
TTF	O/D	O (m.)	D (m.)	L (m.)	T (N.)	การศึกษานี้		สมการคาร์ทีนารี		ความแตกต่าง (%)	
						$Sin\beta$	$Sin\alpha$	$Sin\beta$	$Sin\alpha$	$Sin\beta$	$Sin\alpha$
1.50	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0110	11.0000	1000	1000.07	740,513.010	0.0199	0.0067	0.0201	0.0067	1.0050	0.0000
	0.0224	22.4000	1000	1000.28	740,669.055	0.0404	0.0136	0.0408	0.0136	0.9901	0.0000
	0.0340	34.0000	1000	1000.64	740,936.955	0.0613	0.0206	0.0618	0.0206	0.8157	0.0000
	0.0458	45.8000	1000	1001.16	741,322.365	0.0825	0.0278	0.0831	0.0278	0.7273	0.0000
	0.0579	57.9000	1000	1001.85	741,835.215	0.1043	0.0351	0.1050	0.0351	0.6711	0.0000
	0.0702	70.2000	1000	1002.72	742,477.545	0.1263	0.0426	0.1270	0.0426	0.5542	0.0000
1.70	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0063	6.3000	1000	1000.02	839,209.675	0.0101	0.0042	0.0101	0.0042	0.0000	0.0000
	0.0161	16.1000	1000	1000.14	839,308.088	0.0259	0.0107	0.0260	0.0107	0.3861	0.0000
	0.0263	26.3000	1000	1000.37	839,501.956	0.0422	0.0174	0.0423	0.0174	0.2370	0.0000
	0.0365	36.5000	1000	1000.71	839,788.899	0.0586	0.0242	0.0587	0.0242	0.1706	0.0000
	0.0470	47.0000	1000	1001.18	840,181.412	0.0754	0.0312	0.0755	0.0311	0.1326	0.3215
	0.0577	57.7000	1000	1001.78	840,682.504	0.0925	0.0383	0.0925	0.0382	0.0000	0.2618
1.90	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0090	9.0000	1000	1000.04	937,960.137	0.0134	0.0063	0.0135	0.0063	0.7463	0.0000
	0.0182	18.2000	1000	1000.17	938,083.124	0.0270	0.0128	0.0270	0.0128	0.0000	0.0000
	0.0275	27.5000	1000	1000.40	938,291.972	0.0408	0.0194	0.0408	0.0193	0.0000	0.5181
	0.0369	36.9000	1000	1000.71	938,589.303	0.0547	0.0260	0.0548	0.0260	0.1828	0.0000
	0.0464	46.4000	1000	1001.13	938,977.796	0.0688	0.0327	0.0689	0.0327	0.1453	0.0000
	0.0561	56.1000	1000	1001.65	939,465.450	0.0831	0.0395	0.0832	0.0395	0.1203	0.0000
2.10	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0052	5.2000	1000	1000.01	1,036,663.194	0.0073	0.0038	0.0073	0.0038	0.0000	0.0000
	0.0137	13.7000	1000	1000.10	1,036,749.546	0.0192	0.0101	0.0193	0.0101	0.5208	0.0000
	0.0224	22.4000	1000	1000.26	1,036,918.134	0.0314	0.0165	0.0314	0.0165	0.0000	0.0000
	0.0399	39.9000	1000	1000.82	1,037,503.089	0.0560	0.0294	0.0560	0.0294	0.0000	0.0000
	0.0489	48.9000	1000	1001.24	1,037,931.573	0.0686	0.0360	0.0686	0.0360	0.0000	0.0000
	0.0764	76.4000	1000	1003.02	1,039,776.234	0.1070	0.0564	0.1070	0.0562	0.0000	0.3559
2.30	0.0000					0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0034	3.4000	1000	1000.01	1,135,383.937	0.0046	0.0026	0.0046	0.0026	0.0000	0.0000
	0.0197	19.7000	1000	1000.20	1,135,603.633	0.0265	0.0150	0.0265	0.0150	0.0000	0.0000
	0.0276	27.6000	1000	1000.39	1,135,821.581	0.0371	0.0210	0.0376	0.0213	1.3477	1.4085
	0.0447	44.7000	1000	1001.03	1,136,542.309	0.0601	0.0341	0.0601	0.0340	0.0000	0.2941
	0.0532	53.2000	1000	1001.45	1,137,027.126	0.0715	0.0406	0.0716	0.0405	0.1399	0.2469
	0.0707	70.7000	1000	1002.56	1,138,289.090	0.0950	0.0540	0.0949	0.0537	0.1053	0.5587

TTF	O/D	O (m.)	D (m.)	L (m.)	T (N.)	การหักเห		สมการคาร์ทีนารี		ความแตกต่าง (%)	
						$Sin\beta$	$Sin\alpha$	$Sin\beta$	$Sin\alpha$	$Sin\beta$	$Sin\alpha$
2.50	0.0000						0.0000		0.0000		
	0.0025	2.5000	1000	1000.00	1,234,109.575	0.0033	0.0020	0.0033	0.0020	0.0000	0.0000
	0.0181	18.1000	1000	1000.17	1,234,312.300	0.0236	0.0142	0.0236	0.0142	0.0000	0.0000
	0.0260	26.0000	1000	1000.35	1,234,532.000	0.0339	0.0204	0.0339	0.0204	0.0000	0.0000
	0.0420	42.0000	1000	1000.90	1,235,217.750	0.0547	0.0329	0.0547	0.0329	0.0000	0.0000
	0.0584	58.4000	1000	1001.74	1,236,254.800	0.0761	0.0458	0.0760	0.0456	0.1314	0.4386
	0.0751	75.1000	1000	1002.88	1,237,657.450	0.0978	0.0589	0.0976	0.0587	0.2045	0.3407



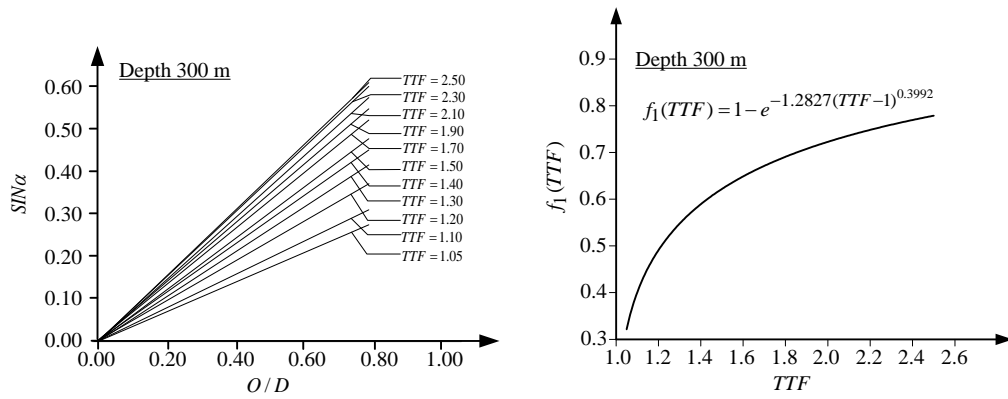
(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ปลายบน (มุม α) (ข) ฟังก์ชันความชัน f_1 ของ TTF

รูปที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายบน (มุม α) กับระยะเชิงต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 1,000 เมตร



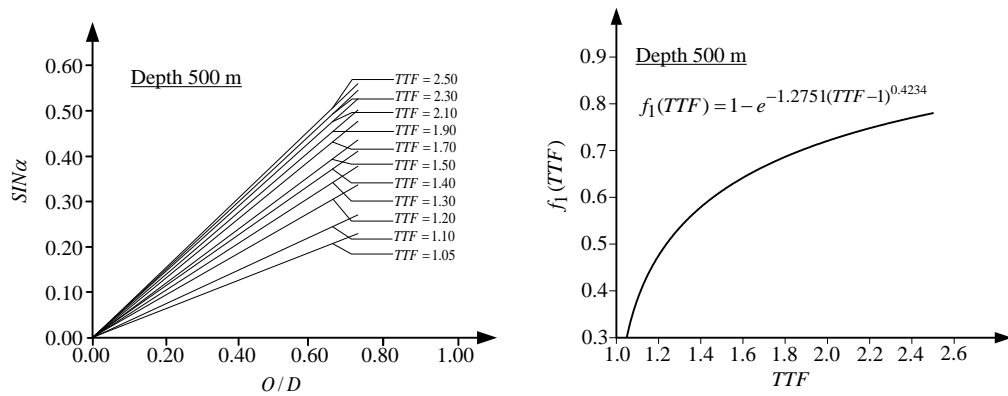
(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ปลายล่าง (มุม β) (ข) ฟังก์ชันความชัน g_1 ของ TTF

รูปที่ 5.19 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายล่าง (มุม β) กับระยะเชิงต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 1,000 เมตร



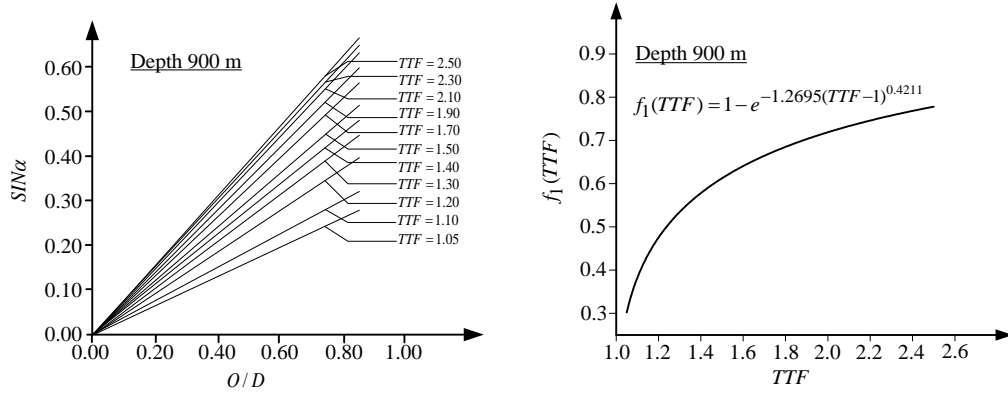
(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ปลายบน (มุม α) (ข) ฟังก์ชันความชัน f_1 ของ TTF

รูปที่ 5.20 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายบน (มุม α) กับระยะเชิงต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 300 เมตร



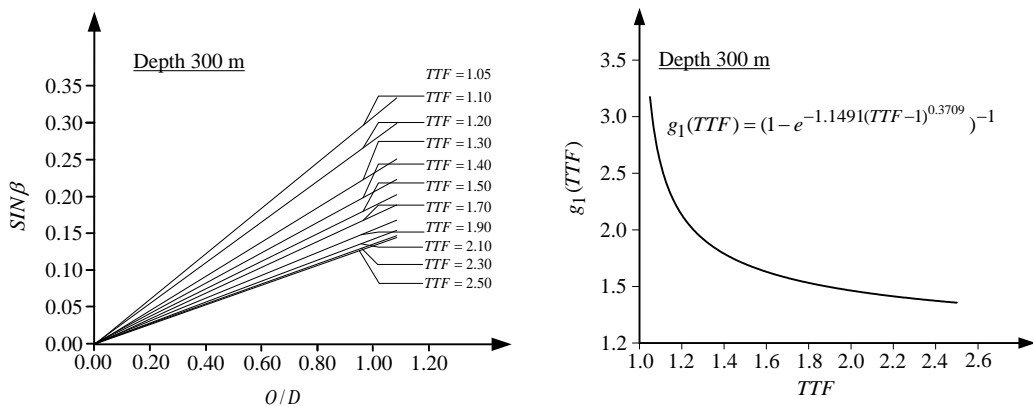
(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมปลายบน (มุม α) (ข) ฟังก์ชันความชัน f_1 ของ TTF

รูปที่ 5.21 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายบน (มุม α) กับระยะเชิงต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 500 เมตร



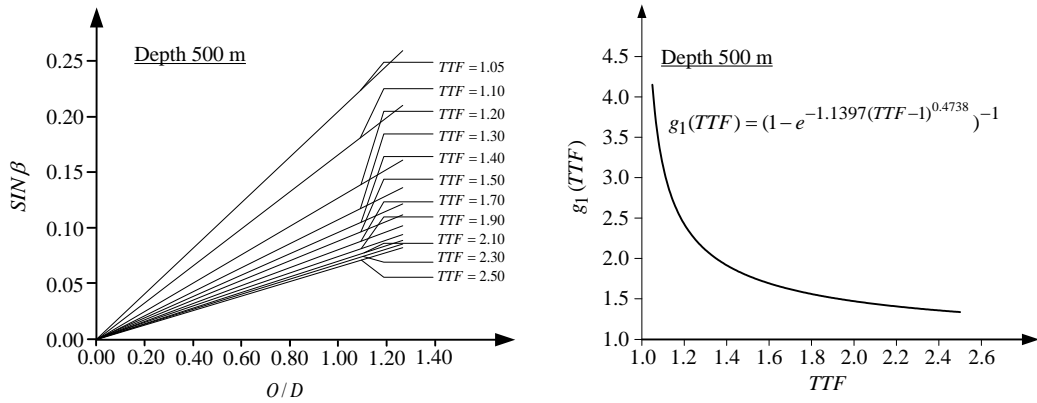
(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ปลายบน (มุม α) (ข) ฟังก์ชันความชัน f_1 ของ TTF

รูปที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายบน (มุม α) กับระยะเชิงต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 900 เมตร



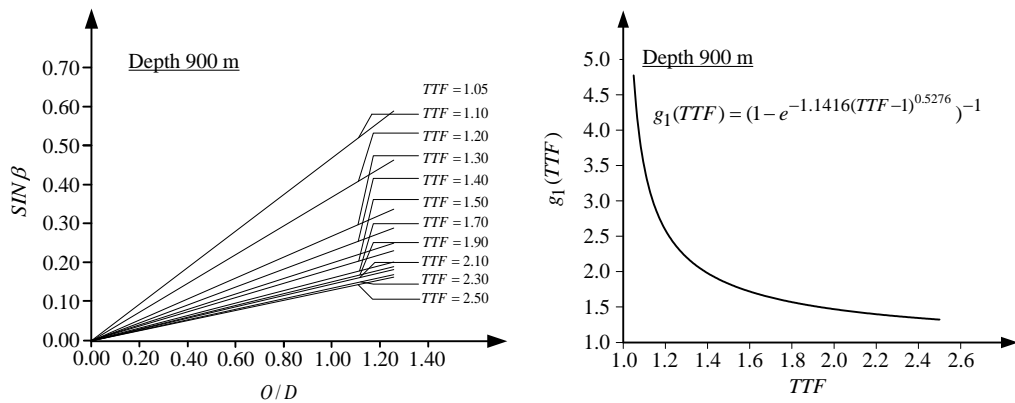
(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ปลายล่าง (มุม β) (ข) ฟังก์ชันความชัน g_1 ของ TTF

รูปที่ 5.23 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายล่าง (มุม β) กับระยะเชิงต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 300 เมตร



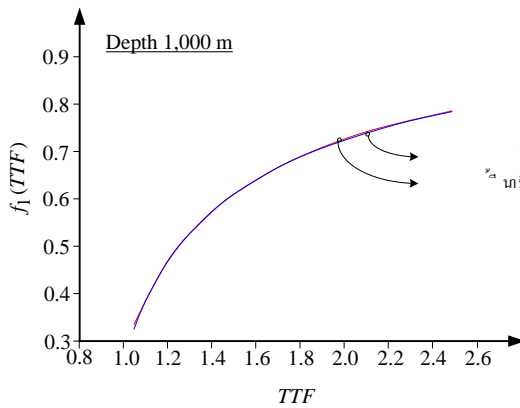
(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ปลายล่าง (มุม β) (ข) ฟังก์ชันความชัน g_1 ของ TTF

รูปที่ 5.24 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายล่าง (มุม β) กับระยะเยื้องต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 500 เมตร

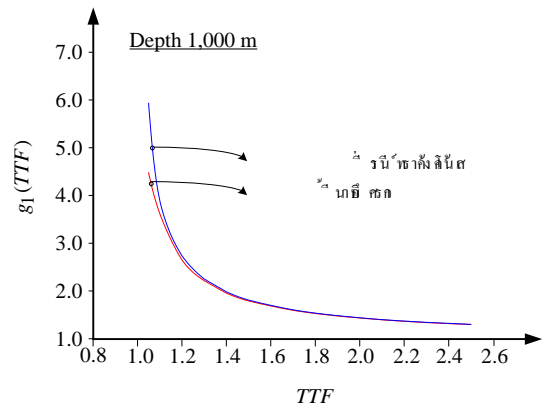


(ก) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ปลายล่าง (มุม β) (ข) ฟังก์ชันความชัน g_1 ของ TTF

รูปที่ 5.25 ผลการวิเคราะห์มุมที่ปลายล่าง (มุม β) กับระยะเยื้องต่อความลึก (O/D) ในแต่ละ TTF และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 900 เมตร



(ก) พังก์ชันความชัน f_1 ของ TTF

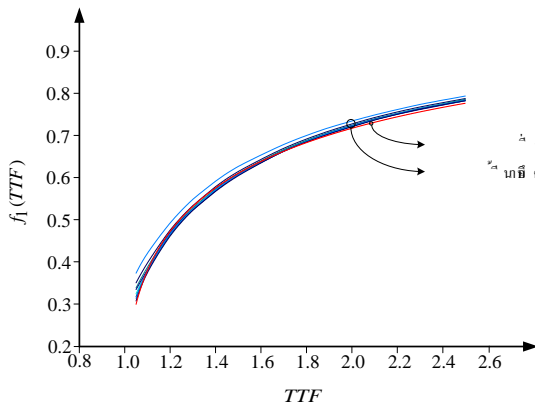


(ข) พังก์ชันความชัน g_1 ของ TTF

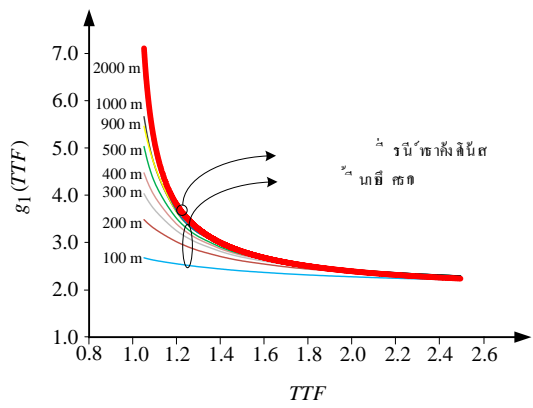
รูปที่ 5.26 กราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 1,000 เมตร สำหรับมุมที่ปลายบน (มุม α) และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึก 1,000 เมตร สำหรับมุมที่ปลายล่าง (มุม β) โดยเปรียบเทียบระหว่างการศึกษานี้ (คิด Flexural Rigidity) กับกรณีศึกษาของเส้นโค้งคาร์ทีนารี (ไม่คิด Flexural Rigidity)

จากรูปที่ 5.26 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ามุมที่ปลายล่าง (มุม β) ที่ระดับความลึก 1,000 เมตร ที่ได้จากการศึกษานี้ (คิด Flexural Rigidity) กับกรณีศึกษาของเส้นโค้งคาร์ทีนารี (ไม่คิด Flexural Rigidity) พบว่าค่าของฟังก์ชันความชันที่ได้จาก 2 วิธีนี้เริ่มมีความแตกต่างกันเมื่อค่า TTF มีค่าน้อยกว่า 1.5 ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนมากเมื่อ TTF มีค่าเท่ากับ 1.05 ซึ่งความแตกต่างของฟังก์ชันความชันมีค่ามากถึง 24.5 % ส่วนการเปรียบเทียบค่ามุมที่ปลายบน (มุม α) แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ได้จาก 2 วิธีนี้มีความแตกต่างกันน้อยกว่ามาก โดยที่ TTF เท่ากับ 1.05 จะมีค่าความแตกต่างของฟังก์ชันความชันอยู่เพียง 3 %

รูปที่ 5.27 แสดงกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึกต่างๆ โดยจะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษานี้กับกรณีศึกษาที่ได้จากสมการของเส้นโค้งคาร์ทีนารี ซึ่งพบว่า ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป รูปแบบของกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ได้จากการศึกษานี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟของกรณีศึกษาที่ได้จากสมการของเส้นโค้งคาร์ทีนารี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่า EI หรือค่า Flexural Rigidity จะส่งผลมากต่อสมดุลสถิตศาสตร์ของท่อเมื่อท่อติดตั้งในทะเลที่มีระดับความลึกน้อยๆ

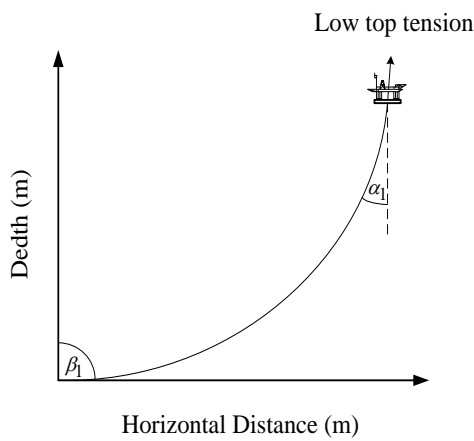


(ก) ฟังก์ชันความชัน f_1 ของ TTF

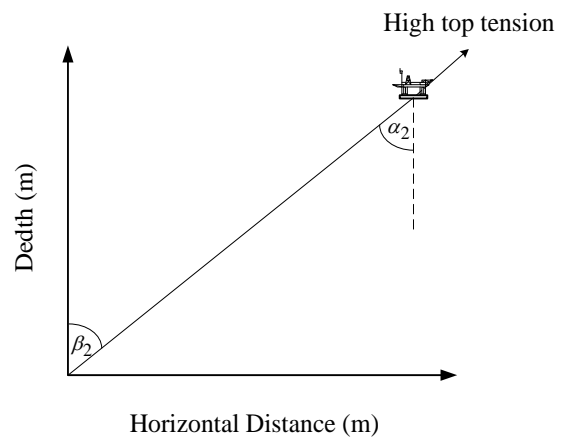


(ข) ฟังก์ชันความชัน g_1 ของ TTF

รูปที่ 5.27 กราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึกต่างๆ สำหรับมุมที่ปลายบน (มุม α) และกราฟฟังก์ชันความชันของ TTF ที่ระดับความลึกต่างๆ สำหรับมุมที่ปลายล่าง (มุม β) โดยเปรียบเทียบระหว่างการศึกษานี้ (คิด Flexural Rigidity) กับกรณีศึกษาของเส้นโค้งคาร์ทีนารี (ไม่คิด Flexural Rigidity)



(ก) ค่าแรงดึงที่ปลายบนน้อย

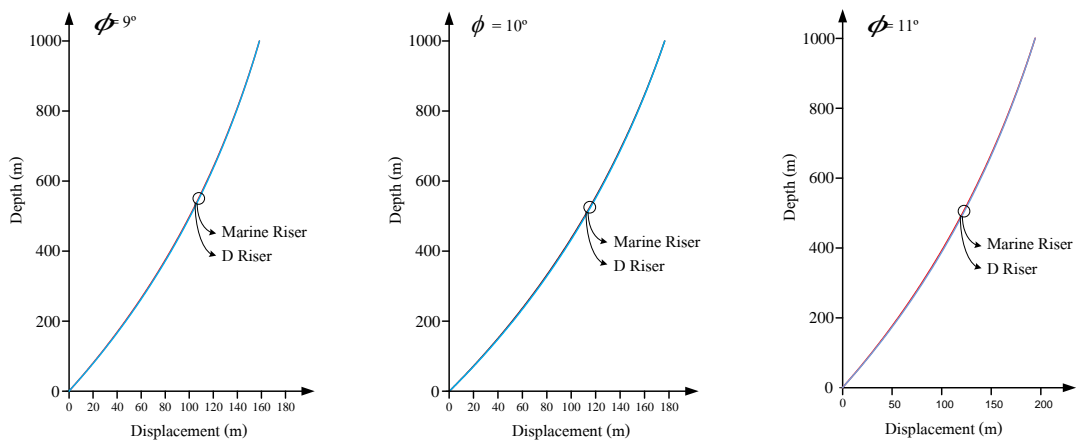


(ข) ค่าแรงดึงที่ปลายบนมาก

รูปที่ 5.28 กราฟแสดงค่ามุมที่ปลายบนและปลายล่างที่เปลี่ยนไป ทำให้ท่อชุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเลนั้นหย่อนน้อยลง

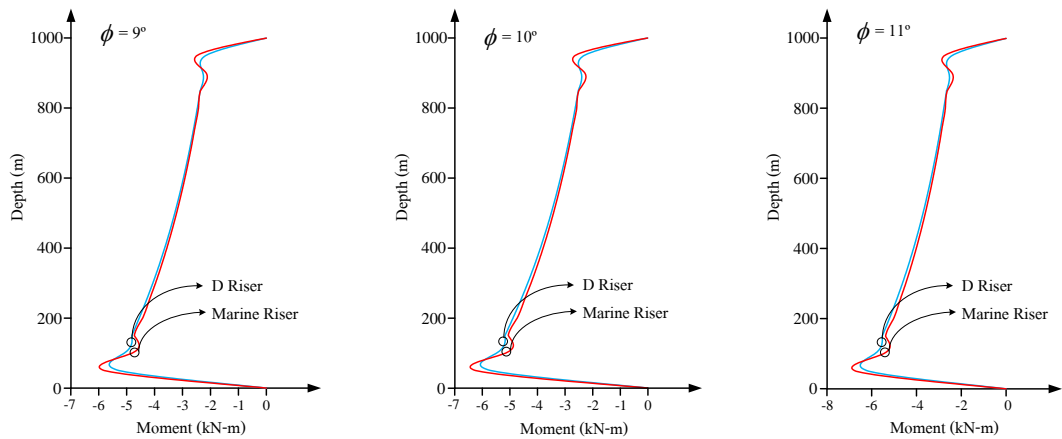
ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบการแอ่นตัวและโมเมนต์ตัดที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” กับโปรแกรม “Driser 2013” ที่ระดับความลึกต่างๆ เมื่อกำหนดให้มุมเอียง (ϕ) ระหว่างหลุมเจาะกับแท่นขุดเจาะที่ผิวน้ำเท่ากับ 11 องศา

Depth	MarineRiser 2013		Driser 2013		ความคลาดเคลื่อน (%)	
	Displacement (m.)	Moment (N-m.)	Displacement (m.)	Moment (N-m.)	Displacement (m.)	Moment (N-m.)
1000	194.3803	0.0000	194.3803	0.0000	0.0000	0.0000
900	182.5689	-2548.3523	182.7522	-2400.2432	0.1003	6.1706
800	169.4791	-2779.098	169.8407	-2712.6378	0.2129	2.4500
700	154.9938	-3045.0002	155.5235	-2973.5012	0.3406	2.4045
600	138.9794	-3353.417	139.6592	-3268.4204	0.4868	2.6005
500	121.2808	-3713.3887	122.0815	-3611.2043	0.6559	2.8296
400	101.717	-4135.8219	102.5929	-4012.3547	0.8538	3.0772
300	80.0758	-4632.8907	80.9564	-4482.8996	1.0877	3.3459
200	56.1074	-5214.1821	56.8854	-5024.0783	1.3677	3.7839
100	29.5203	-5864.3044	30.0323	-5477.4811	1.7048	7.0621
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



(ก) การแอ่นตัวที่มุม 9 องศา (ข) การแอ่นตัวที่มุม 10 องศา (ค) การแอ่นตัวที่มุม 11 องศา

รูปที่ 5.29 กราฟแสดงสัมพันธ์ระหว่างความลึกและค่าการแอ่นตัวของท่อขุดเจาะ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” กับโปรแกรม “Driser 2013” เมื่อกำหนดให้มุมเอียง (ϕ) ระหว่างหลุมเจาะกับแท่นขุดเจาะที่ผิวน้ำเท่ากับ 9, 10 และ 11 องศา ตามลำดับ

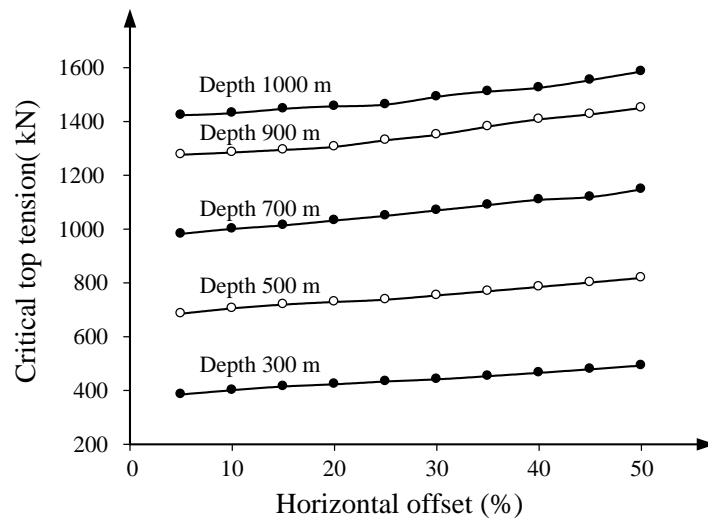


(ก) ค่าโมเมนต์คัตที่มุม 9 องศา (ข) ค่าโมเมนต์คัตที่มุม 10 องศา (ค) ค่าโมเมนต์คัตที่มุม 11 องศา

รูปที่ 5.30 กราฟแสดงสัมพันธ์ระหว่างความลึกและค่าโมเมนต์คัตของท่อขุดเจาะ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” กับโปรแกรม “Driser 2013” เมื่อกำหนดให้มุมเอียง (ϕ) ระหว่างหลุมเจาะกับแท่นขุดเจาะที่ผิวน้ำเท่ากับ 9, 10 และ 11 องศา ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.29 และ 5.30 แสดงให้เห็นว่า ที่มุมเอียง (ϕ) ต่าง ๆ ค่าการแอ่นตัวของท่อขุดเจาะที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย 2 โปรแกรมนี้ จะมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.0 – 1.9 % จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าที่มุมเอียง (ϕ) มาก ๆ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม “MarineRiser 2013” จะคลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้จากโปรแกรม “Driser 2013” ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้โปรแกรม “MarineRiser 2013” ในการวิเคราะห์ท่อขุดเจาะและลำเลียงของไหลใต้ทะเล ไม่ควรกำหนดมุมเอียง (ϕ) มากกว่า 10 องศา และเมื่อกำหนดให้ค่ามุนน้อยกว่า 10 องศา จะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำสูง

จากรูปที่ 5.31 แสดงให้เห็นว่าแรงดึงที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ท่อเกิดการโก่งเดาะ จะแปรผันตามระยะเอียงในแนวราบระหว่างหลุมเจาะกับท่อและระดับความลึกของทะเล เมื่อความยาวของท่อมากขึ้น ทำให้น้ำหนักของตัวท่อเพิ่มขึ้นจึงต้องใช้แรงดึงที่ปลายบนมากขึ้นเพื่อรับน้ำหนักของท่อ และเพื่อให้ท่อสามารถอยู่ในสภาวะสมดุลได้ ขณะเดียวกันเมื่อระยะเอียงระหว่างหลุมเจาะกับแท่นขุดเจาะที่ผิวน้ำมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้ท่อเกิดการแอ่นตัวมากขึ้น จึงต้องใช้แรงดึงที่ปลายบนเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงสัมพันธระหว่างแรงดึงวิกฤตและระยะเยื้องที่ผิวน้ำที่ระดับความลึกต่างๆที่ได้จากโปรแกรม “Driser 2013”