บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษาโครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้สมการแคทีนารีมาใช้ในการวิเคราะห์แรงดึงในท่อน้ำมันและรูปร่างท่อขณะติดตั้งแบบตัวเอสในทะเลน้ำตื้น อีกทั้งยังต้องการศึกษาความแม่นยำของวิธีสมการแคทีนารีแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ABAQUS โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากแรงภายในและการแอ่นตัวของท่อบริเวณโค้งหงาย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยขนาด 6, 8, 10, 12, 16 และ 20 นิ้ว ซึ่งมีการใช้งานในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมนอกฝั่ง โดยเลือกใช้ค่าความลึกน้ำทะเล 60 ถึง 80 เมตร ซึ่งเป็นช่วงเป็นกรณีศึกษาโดยความลึกน้ำทะเลในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมนอกฝั่งของไทยในช่วงนี้เป็นช่วงความลึกน้ำทะเลในอ่าวไทย

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการเปรียบเทียบแรงดึงท่อและรูปร่างของท่อขณะติดตั้งแบบตัวเอสจาก โดยเอสจะประกอบด้วยส่วน 2 คือ ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการวิเคราะห์ด้วยสมการแคทีนารี เมื่อโดยพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบผลของรูปร่างของท่อขณะติดตั้งบริเวณโค้งหงายเนื่องจากเป็นข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยวิธีสมการแคทีนารี สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

— บริเวณส่วนโค้งคว่ำในขั้นตอนการวิเคราะห์ โมเมนต์ดัดที่เกิดขณะติดตั้งที่ความลึกน้ำทะเล 60 และ 80 เมตร ที่ขนาดท่อ 6, 8, 10, 12, 16 และ 20 นิ้ว ตามลำดับ พบว่าโมเมนต์ดัดจะมีค่ามากที่สุดขณะที่ท่ออยู่บนโครงเหล็กวางท่อและโมเมนต์จะมีค่าคงที่เมื่อวางตัวบนโครงเหล็กวางท่อเนื่องจากรัศมีความโค้งของโครงเหล็กวางมีค่าคงที่ จะเห็นได้ว่ารัศมีความโค้งของโครงเหล็กวางท่อคือตัวแปรที่กำหนดมีโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในท่อ แต่อย่างไรก็ตามขณะติดตั้งจริงรัศมีความโค้งของโครงเหล็กวางท่อจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดท่อ

1. การวิเคราะห์ผลโมเมนต์ดัดขณะติดตั้งท่อน้ำมันแบบตัวเอสที่ความลึกน้ำทะเล 60 และ 80 เมตร สำหรับท่อขนาดท่อ 6, 8, 10, 12, 16 และ 20 นิ้ว ตามลำดับ จากการพิจารณาผลของโมเมนต์ดัดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า-โมเมนต์ดัดมีค่าเป็นบวกบริเวณโค้งคว่ำ คือจุดที่ซึ่งเป็นช่วงที่ท่อยกตัวจนถึงจุดดัดกลับของท่อ โมเมนต์ดัดมีค่าเป็นศูนย์ ณ ตำแหน่งจุดดัดกลับ

Formatted: Header distance from edge: 1.5 cm, Different first page header

Comment [C1]: ใส่ชื่อเกรดเฉพาะเป็นเหล็กอะไร

Comment [C2]: ใส่ชื่อเกรดเฉพาะเป็นเหล็กอะไร

Formatted: Tab stops: Not at 0.5 cm

Formatted: Tab stops: 0.5 cm, Left

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Indent: Left: 0 cm, Hanging: 0.5 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0.63 cm + Indent at: 1.27 cm

Formatted: No bullets or numbering

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: List Paragraph, Indent: Left: 0.12 cm, Add space between paragraphs of the same style

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

ของท่อและจุดที่ท่อสัมผัสพื้นทะเล และโมเมนต์ดัดมีค่าติดลบบริเวณโค้งหงาย ซึ่งเป็นช่วงคือจุดดัดกลับของท่อถึงจุดสัมผัสพื้นทะเล นอกจากนี้โมเมนต์จะมีค่าคงที่เมื่อวางตัวบนโครงเหล็กวางท่อ เนื่องจากรัศมีความโค้งของโครงเหล็กวางท่อมีค่าคงที่ จะเห็นได้ว่าและรัศมีความโค้งของโครงเหล็กวางท่อคืออตัวแปรที่ใช้กำหนดค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในท่อ

2. จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าค่าแรงดึงภายในท่อบนโครงเหล็กวางท่อมีความแตกต่างกับค่าแรงดึงท่อที่จุดสัมผัสพื้นทะเลเล็กน้อยโดยมีความแตกต่างกันในช่วง 4 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์

3. ค่าแรงดึงภายในท่อมีค่ามากขึ้นตามขนาดท่อ ยกเว้นท่อ 16 นิ้ว ค่าแรงดึงที่ใช้มีค่าน้อยกว่าค่าแรงดึงที่ใช้ติดตั้งท่อ 12 นิ้ว เนื่องจากท่อ 16 นิ้ว มีน้ำหนักท่อในน้ำน้อยกว่าท่อ 12 นิ้ว จึงทำให้ค่าแรงดึงที่ใช้สำหรับการวางท่อขนาด 16 นิ้วมีค่าลดลง

4. เมื่อพิจารณาผลรูปร่างของท่อบริเวณโค้งหงายที่ได้จากการวิเคราะห์แรงดึงท่อน้ำมันโดยสมการแคทีนารีเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ารูปร่างของท่อขนาด 6 นิ้ว ถึง 12 นิ้วมีความโค้งใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นรูปร่างของท่อขนาด 16 นิ้ว และ 20 นิ้วมีความโค้งต่างกันอย่างชัดเจน ผลการศึกษาสรุปได้ว่าสมการแคทีนารีสามารถใช้วิเคราะห์แรงดึงภายในท่อน้ำมันและรูปร่างการวางท่อสำหรับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 12 นิ้ว

5. เมื่อพิจารณาน้ำหนักของท่อในน้ำเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าแรงดึงในท่อที่จุดสัมผัสพื้นทะเลโดยสมการแคทีนารี พบว่าค่าแรงดึงที่จุดสัมผัสพื้นทะเลที่ได้จากสมการแคทีนารีมีค่ามากกว่าผลจากวิธีไฟไนเอลิเมนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวท่อ 700 เมตร ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการแคทีนารีที่ในการวิเคราะห์และคำนวณปัญหาได้สำหรับท่อทุกขนาด

~~1.~~

~~2.~~

~~3. บริเวณส่วนโค้งหงาย พบว่าค่าโมเมนต์ดัดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อท่อเคลื่อนตัวผ่านจุดที่ท่อยกตัวออกจากโครงเหล็กวางท่อเนื่องจากทิศทางการดัดสองทิศทางตรงข้ามกัน จากนั้นโมเมนต์จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อท่อผ่านจุดดัดกลับของท่อซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของส่วนโค้งหงาย บริเวณนี้โมเมนต์จะมีค่าติดลบและโมเมนต์จะมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้งที่จุดสัมผัสกับพื้นทะเล~~

~~จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงพบว่าว่าค่าแรงดึงท่อบนโครงเหล็กวางท่อเปรียบเทียบค่าแรงดึงท่อที่กับที่จุดสัมผัสพื้นทะเลมีความแตกต่างกันเพียง 4%-12%~~

Formatted

Formatted

Formatted: List Paragraph, Indent: Left: 0.75 cm, Add space between paragraphs of the same style, No bullets or numbering

Formatted: List Paragraph, Thai Distributed Justification, Indent: Left: 0.12 cm, Add space between paragraphs of the same style, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, ... + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0.63 cm + Indent at: 1.27 cm

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Indent: Left: 1.27 cm, No bullets or numbering

Formatted

Formatted: Thai Distributed Justification, Indent: Left: 0.12 cm

Formatted

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Thai Distributed Justification, Indent: Left: 0.12 cm, Hanging: 0.63 cm, No bullets or numbering

Formatted: Thai Distributed Justification, Indent: Left: 0.12 cm

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Indent: Left: 0 cm, Add space between paragraphs of the same style

Formatted: Left, Indent: Left: 0.63 cm, Add space between paragraphs of the same style, No bullets or numbering

Formatted: Font: 12 pt, Font color: Auto, Complex Script Font: 15 pt

Formatted: List Paragraph, Left, Add space between paragraphs of the same style, No bullets or numbering

Formatted

Formatted: Font: 12 pt, Font color: Auto, Complex Script Font: 15 pt

Formatted: List Paragraph, Left, Add space between paragraphs of the same style, No bullets or numbering

Formatted

Formatted: Font:

Formatted: Indent: Left: 0.5 cm, No bullets or numbering

ในกรณีผลการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าค่าแรงดึงในท่อมีค่ามากขึ้นตามขนาดท่อ ยกเว้นท่อ 16 นิ้ว มีค่าแรงดึงที่ใช้มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดึงที่ใช้ติดตั้งท่อ 12 นิ้ว เพราะเนื่องจากท่อ 16 นิ้วมี มีหน่วยน้ำหนักท่อในน้ำน้อยกว่าท่อ 12 นิ้ว จึงทำให้ค่าแรงดึงที่ใช้สำหรับท่อขนาด 16 นิ้วลดลง

เมื่อพิจารณาผลรูปร่างของท่อบริเวณโค้งหงายที่ได้จากการวิเคราะห์แรงดึงท่อน้ำมันโดยวิธีสมการแคทีนารีเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ารูปร่างของท่อขนาด 6 นิ้ว ถึง 12 นิ้วมีความโค้งใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นรูปร่างของท่อขนาด 16 นิ้ว และ 20 นิ้วมีความโค้งต่างกันอย่างชัดเจน ผลการศึกษาในนี้สรุปได้ว่าสมการแคทีนารีสามารถใช้วิเคราะห์แรงดึงท่อน้ำมันขณะติดตั้งสำหรับท่อที่มีหน้าตัดเล็กไม่เกิน 12 นิ้วเมื่อเทียบพื้นที่หน้าตัดกับความยาวและไม่คำนึงถึงผลความแข็งแกร่งการดัด น้ำหนักของตัวท่อเองต่อหนึ่งหน่วยความยาว แรงลอยตัวของท่อ ที่ความลึกใดๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดึงในท่อที่จุดสัมผัสพื้นทะเลโดยวิธีสมการแคทีนารี พบว่าค่าแรงดึงที่จุดสัมผัสพื้นทะเลที่ได้จากสมการแคทีนารีมีค่ามากกว่าผลจากวิธีไฟไนเอลิเมนไม่เกิน 5 % ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวท่อ 700 เมตร ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการแคทีนารีที่ในการวิเคราะห์และคำนวณปัญหาได้

4. การโก่งดัดของท่อมีลักษณะคล้ายตัวเอส กล่าวคือมีการโก่งดัดสองทิศทางตรงข้ามกัน ส่วนที่อยู่บนโครงเหล็กวางท่อเป็นส่วนโค้งคว่ำกับส่วนโค้งหงาย ค่าโมเมนต์มีค่าสูงสุดในท่อส่วนที่อยู่บนโครงเหล็กวางท่อและมีจุดดัดกลับใกล้กับส่วนที่ท่อเริ่มยกตัวออกจากโครงเหล็กวางท่อ

5. เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของท่อโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีสมการแคทีนารีพบว่ารูปร่างของท่อในส่วนโค้งหงายของท่อขนาด 6 นิ้ว ถึง 12 นิ้ว มีความโค้งใกล้เคียงกันมาก รูปร่างของท่อที่ขนาดท่อ 16 นิ้ว และ 20 นิ้ว มีความโค้งต่างกันอย่างชัดเจน การคำนวณค่าแรงดึงในท่อโดยสมการแคทีนารีให้ค่าแรงดึงที่จุดสัมผัสพื้นทะเลมากกว่าผลจากวิธีไฟไนเอลิเมนไม่เกิน 5 % ผลการศึกษาในนี้สรุปได้ว่าวิธีสมการแคทีนารีสามารถใช้ในการวิเคราะห์แรงดึงและรูปร่างของท่อที่ใช้ในอ่าวไทยที่มีขนาดไม่เกิน 12 นิ้วได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการคำนวณพบว่าแรงดึงท่อในน้ำมันที่จุดสัมผัสพื้นทะเลด้วยวิธีสมการแคทีนารีมีค่าสูงกว่าผลที่ได้จากวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS จึงมีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต ดังนี้

Formatted: Font: (Default) +Headings CS (Angsana New), 16 pt, Complex Script Font: +Headings CS (Angsana New), 16 pt

Formatted: Font: (Default) +Headings CS (Angsana New), 16 pt, Complex Script Font: +Headings CS (Angsana New), 16 pt

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Normal, Indent: Left: 0 cm, Hanging: 0.5 cm, Don't add space between paragraphs of the same style

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Font color: Auto

Formatted: Left, No bullets or numbering

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted: Normal, Thai Distributed Justification, Don't add space between paragraphs of the same style, No bullets or numbering

Formatted: Font: (Default) AngsanaUPC, 16 pt, Complex Script Font: AngsanaUPC, 16 pt

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted ...

Formatted: Font color: Auto

Formatted ...

Formatted: Normal

Formatted ...

Formatted: Font: (Default) +Headings CS (Angsana New), 16 pt, Complex Script Font: +Headings CS (Angsana New), 16 pt

Formatted: Font: (Default) +Headings CS (Angsana New), 16 pt, Complex Script Font: +Headings CS (Angsana New), 16 pt

1. ควรศึกษาเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากพารามิเตอร์อื่นๆเพิ่มเติม ยกตัวอย่างเช่น การวางท่อแบบตัวเอสในน้ำลึก โดยวิเคราะห์ผลกระทบของความหนาคอนกรีตหุ้มท่อด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิ-เมนต์เพื่อการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณจริง
2. ควรจำลองการวางท่อด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม ABAQUS โดยคำนึงถึงผลกระทบจากแรงต้านทานจากดิน
3.2. ~~ผู้แต่งได้เสนอแนะวิธีการคำนวณแรงดึงของท่อโดยทฤษฎีแคทีนารีดังแสดงในภาคผนวก ค เกณฑ์การออกแบบเป็นไปตามมาตรฐาน DNV-OS-F101 [9]~~