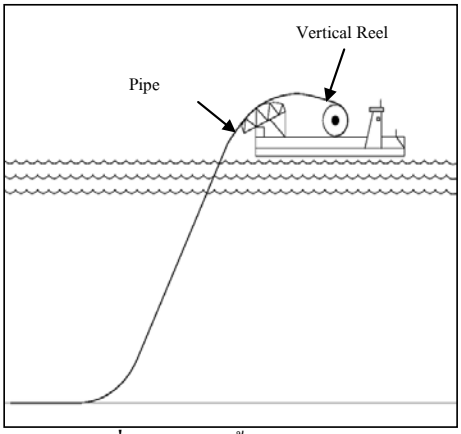
บทที่ 1 บทนำ

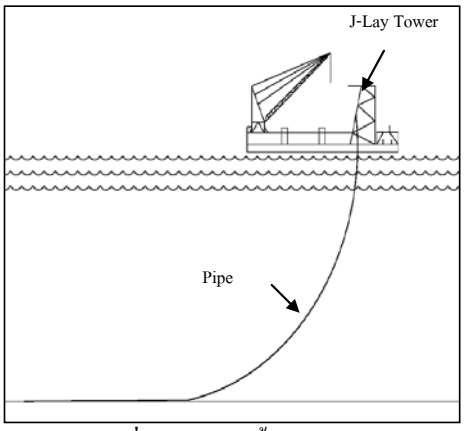
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การวิเคราะห์และออกแบบเพื่อกำหนดค่าแรงดึงท่อน้ำมันที่เหมาะสมขณะติดตั้งท่อน้ำมันใต้ทะเล (Offshore Pipeline Installation) เป็นปัญหาสำคัญของการวางท่อน้ำมัน เนื่องจากแรงดึงที่เหมาะสมเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยป้องกันความเสียหายจากการโก่งเดาะของท่อ อีกทั้งค่าแรงดึงของท่อบนพื้นทะเลเป็นตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรัศมีแนวท่อและระยะสัมผัสของแนวท่อน้ำมัน นอกจากค่าแรงดึงจะมีผลต่อความแข็งแรงของท่อขณะติดตั้งแล้ว ค่าแรงดึงที่คงค้าง (Residual tension) ในท่อหลังจากการติดตั้งยังส่งผลกระทบต่อการขยายตัวของท่อ (Pipeline expansion) เมื่อได้รับความร้อนจากของเหลวในท่อ ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องคำนวณหาค่าแรงดึงท่อที่เหมาะสม ในทางปฏิบัติการคำนวณค่าแรงดึงที่เหมาะสมสำหรับการวางท่อต้องการวิธีคำนวณที่มีความซับซ้อนจึงทำให้ต้นทุนการวิเคราะห์สูง การค้นหาวิธีโดยประมาณและมีระดับความถูกต้องที่ยอมรับได้จะช่วยทำให้ต้นทุนการวิเคราะห์ต่ำลง

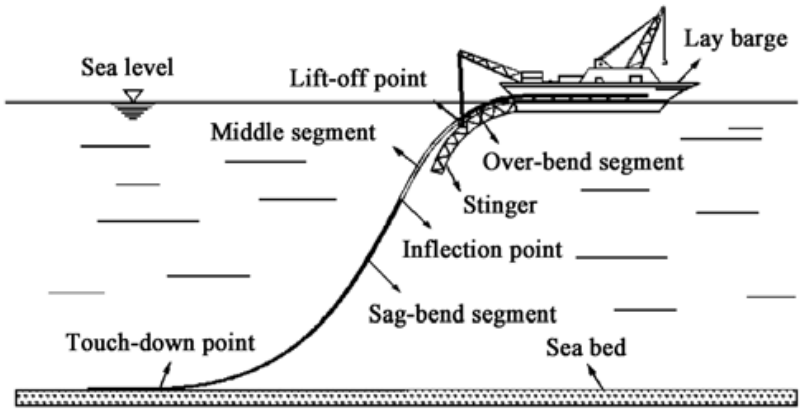
ในปัจจุบันการการติดตั้งท่อน้ำมันในทะเลสามารถติดตั้งได้ในหลายลักษณะ เช่น การติดตั้งแบบรอกม้วน (Reel lay) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และการติดตั้งแบบตัวเจ (J-lay) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 และการติดตั้งแบบตัวเอส (S-lay) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โดยที่ค่าแรงดึงท่อน้ำมันที่ใช้ในการติดตั้งจะขึ้นอยู่กับเทคนิคการติดตั้งนั้นๆ การติดตั้งท่อน้ำมันในทะเลน้ำตื้นเช่นอ่าวไทยมักใช้เทคนิคการติดตั้งแบบตัวเอส



รูปที่ 1.1 การติดตั้งแบบรอกม้วน



รูปที่ 1.2 การติดตั้งแบบตัวเจ



รูปที่ 1.3 องค์ประกอบของรูปร่างขณะติดตั้งแบบตัวเอส [1]

งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งท่อแบบตัวเอส มีดังนี้ ในปี ค.ศ. 1974 Palmer และคณะ [2] ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของแรงในท่อโดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เร้น (Finite Difference Method) พบว่ารูปร่างท่อขณะติดตั้งมีความสำคัญโดยการติดตั้งท่อด้วยเทคนิคการติดตั้งแบบตัวเอสจะต้องแบ่งองค์ประกอบของรูปร่างสำหรับการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ได้แก่ ส่วนที่อยู่บนโครงเหล็กวางท่อ (Stinger) เรียกว่า ส่วนโค้งคว่ำ (Overbend) และส่วนที่แขวนอยู่ระหว่างโครงเหล็กวางท่อกับพื้นทะเล เรียกว่า ส่วนโค้งหงาย (Sagbend) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งองค์ประกอบแต่ละส่วนจะใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าที่แตกต่างกัน

ต่อมาในปีค.ศ.1995 Endal และคณะ [3] พบว่าบริเวณที่ท่อสัมผัสกับโครงเหล็กวางท่อ ท่อจะมีการโก่งตัวมากทำให้เกิดความเครียดแบบพลาสติก (Plastic strain) ที่บริเวณหน้าตัดของท่อจึงต้องมีการจำกัดรัศมีความโค้งของโครงเหล็กวางท่อ เพื่อควบคุมค่าความเครียดแบบพลาสติก

จากนั้นต่อมาในปี ค.ศ.1998 Clauss [4] พบว่าสำหรับอุตสาหกรรมนอกฝั่งเทคนิคการติดตั้งท่อน้ำมันแบบตัวเอสบริเวณน้ำตื้นให้มีประสิทธิผลต้องคำนึงถึงการออกแบบเพื่อความปลอดภัยเป็นหลัก เริ่มจากการวิเคราะห์องค์ประกอบการวางท่อแบบตัวเอสในแต่ละชิ้นส่วน พบว่าท่อที่บริเวณส่วนโค้งหงายจะเกิดความเค้น (Stress) เนื่องจากลักษณะการงอของท่อในส่วนโค้งหงายถูกควบคุมด้วยค่าแรงดึงท่อที่เครื่องปรับแรงดึงท่อ (Tensioner) ดังนั้นการออกแบบความแข็งแรงของท่อจึงต้องคำนึงถึงความเค้นที่เกิดขึ้นขณะวางท่อเพื่อป้องกันการโก่งเดาะของท่อ

ในปี ค.ศ.1968 Dixon and Rutledge [5] แสดงการวิเคราะห์ค่าแรงดึงท่อบริเวณส่วนโค้งหงายโดยใช้สมการแคทีนารีแบบแข็งแกร่ง (Stiffened Catenary equation) ซึ่งรวมผลกระทบความแข็งแกร่งการดัด (Bending stiffeness) ซึ่งสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Analytical solution) ของรูปร่างการงอของท่อส่วนโค้งหงายในสภาวะสถิตซึ่งไม่คำนึงถึงแรงกระทำเชิงพลศาสตร์จากคลื่น

Guarracino and Mallardo [6] พบว่า จากวิธีการหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ก็ยังมีผู้เสนอระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เช่น วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เร้นและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เนื่องจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เหล่านี้ช่วยทำให้สามารถรวมผลกระทบที่ซับซ้อนมากขึ้นได้ เช่น แรงกระทำเชิงพลศาสตร์จากคลื่นและการวิเคราะห์การเสียรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear analysis) ในการวิเคราะห์การเสียรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้มีการศึกษาเพื่อรวมผลกระทบของความรีของท่อที่เพิ่มขึ้นตามค่าโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นและความเครียดแบบพลาสติกบริเวณหน้าตัดของท่อด้วย

ในปี ค.ศ.1989 Gu [7] พบว่าสมการแคทีนารี (Catenary equation) สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การวางท่อที่มีค่าความแข็งแกร่งการดัดน้อยๆได้ เนื่องจากผลกระทบของความแข็งแกร่งการดัดมีน้อยในท่อขนาดเล็กและจะมีผลน้อยลงมากเมื่อใช้ติดตั้งบริเวณน้ำลึกมากขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ.1992 Seyed and Patel [8] ได้เสนอวิธีปรับปรุงผลการคำนวณด้วยการเพิ่มผลการยืดตัวของท่อแนวในแนวแกนท่อและผลจากแรงดันภายในและภายนอกท่อเพิ่ม

สำหรับการติดตั้งท่อน้ำมันแบบตัวเอสในอ่าวไทยที่มีลักษณะเป็นทะเลน้ำตื้นมีความลึกน้ำทะเลประมาณ 60 ถึง 80 เมตร จากข้อมูลโครงการที่ผ่านมาพบว่าขนาดของท่อน้ำมันในอ่าวไทยมีหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว จนถึง 48 นิ้ว จากงานวิจัยในอดีตสำหรับท่อขนาดเล็กที่มี

ค่าความแข็งแกร่งการดัดน้อยมากๆ จะสามารถใช้สมการแคทีนารีในการคำนวณหาค่าแรงดึงท่อสำหรับการวางท่อขนาดเล็กในทะเลน้ำลึกได้ แต่ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาใดที่ระบุแน่ชัดถึงความเป็นไปได้ในการใช้สมการแคทีนารีเพื่อการวางท่อแบบรูปตัวเอสสำหรับท่อน้ำมันขนาดต่างๆที่ใช้จริงในอ่าวไทย

งานศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบและหาข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์การวางท่อแบบตัวเอสโดยอาศัยสมการแคทีนารีที่ง่ายต่อการคำนวณหาผลลัพธ์โดยเปรียบเทียบกับผลคำนวณที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งการคำนวณนี้อาศัยโปรแกรม ABAQUS ช่วยในการวิเคราะห์ สำหรับตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมที่ใช้จริงในอ่าวไทย ผลการวิจัยจะช่วยทำให้ทราบว่าสมการแคทีนารีมีความเหมาะสมสำหรับท่อน้ำมันที่มีขนาดเท่าใดได้บ้าง นอกจากนี้ผลการวิจัยจะนำไปสู่บทสรุปว่าสมการแคทีนารีให้ผลความคลาดเคลื่อนจากวิธีไฟ-ไนต์เอลิเมนต์มากน้อยเพียงใด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อจำลองพฤติกรรมของรูปร่างท่อน้ำมันขณะติดตั้งด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. เพื่อเปรียบเทียบกับรูปร่างท่อบริเวณส่วนโค้งหงายขณะติดตั้งที่ได้จากการวิเคราะห์และคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับสมการแคทีนารี
3. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำสมการแคทีนารีมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าแรงดึงในท่อและรูปร่างของท่อขณะติดตั้งในอ่าวไทย

1.3 สมมติฐาน

1. คุณสมบัติของท่อน้ำมันที่ใช้มีลักษณะยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic)
2. การวิเคราะห์ด้วยสมการแคทีนารีจะสมมติให้ท่อไม่สามารถรับแรงเฉือน (shear force) และโมเมนต์ดัด (bending moment) ได้ โดยแรงภายในท่อจะเป็นแรงดึงในแนวแกน (axial tension) ที่มีทิศทางสัมผัสกับท่อที่จุดต่างๆตลอดความยาวของท่อเท่านั้น นอกจากนี้ท่อจะไม่มีการยืดตัวภายใต้แรงกระทำ ดังนั้นความยาวของท่อก่อนและหลังรับแรงกระทำจะมีค่าเท่ากัน
3. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ABAQUS/Standard โดยกำหนดให้แบบจำลองเป็น Pipe Element ชนิด PIPE32H ซึ่งคำนึงถึงการรับแรงเฉือน (shear force) และโมเมนต์ดัดของท่อ (bending moment)

4. แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเป็นแบบจำลอง 3 มิติ โดยมีจุดรองรับที่ปลายท่อเป็นแบบยึดหมุน (Pined support) และโครงเหล็กวางท่อและพื้นทะเลใช้จุดรองรับแบบยึดแน่น (Fixed support)

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์แรงดึงภายในท่อขณะทำการติดตั้งแบบรูปตัวเอส โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการเชิงวิเคราะห์โดยใช้สมการแคทีนารีและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. ศึกษาค่าแรงดึงท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ชุดตัวแปรที่ความลึกน้ำต่างกันคือ 60 และ 80 เมตร โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และสมการแคทีนารี รวมกรณีศึกษาทั้งหมดจำนวน 24 กรณี
3. ข้อมูลสภาพสิ่งแวดล้อมจะอาศัยข้อมูลบริเวณโครงการอาทิตย์
4. การศึกษานี้พิจารณาแรงในสภาวะสถิตเท่านั้น โดยจะไม่คำนึงถึงแรงพลศาสตร์ของน้ำ (Hydrodynamic load) จากคลื่นและกระแสน้ำ (Wave and current)
5. การศึกษานี้กำหนดให้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อมีค่าอยู่ในช่วง 20:1 ถึง 30:1
6. กำหนดระดับความลึกน้ำทะเล (Water depth) ที่พิจารณาเท่ากับ 60 และ 80 เมตร
7. กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้เท่ากับ 6.625, 8.625, 10.75, 12.75, 16, และ 20 นิ้ว
8. กำหนดความหนาผนังท่อที่ใช้ตั้งแต่ 0.375, 0.50, 0.625, และ 0.812 นิ้ว
9. คุณสมบัติของท่อเป็นไปตามข้อกำหนด API Spec 5L [8]
10. การศึกษานี้ไม่พิจารณาผลกระทบจากแรงต้านทานจากดิน
11. การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของรูปร่างการวางท่อในบริเวณที่มีการแอ่นตัวแบบโค้งหงายเท่านั้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปABAQUS/Standard ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างแบบ 3 มิติได้ นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้ทั้งกรณีที่มีการแอ่นตัวน้อยและแอ่นตัวมากสำหรับการจำลองรูปแบบการวางท่อแบบตัวเอส
2. ~~1.~~2. อาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad ช่วยในการคำนวณหาค่าเริ่มต้น
3. ศึกษาผลกระทบของแรงดึงท่อเริ่มต้นโดยกำหนดให้ค่าความเค้นวอนมิส (Von Mises Stress) บริเวณส่วนโค้งหงายจะต้องมีค่าน้อยกว่า 60% ของกำลังครากท่อเหล็ก

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

Formatted: Thai Distributed Justification, 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: 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, Complex Script Font: AngsanaUPC

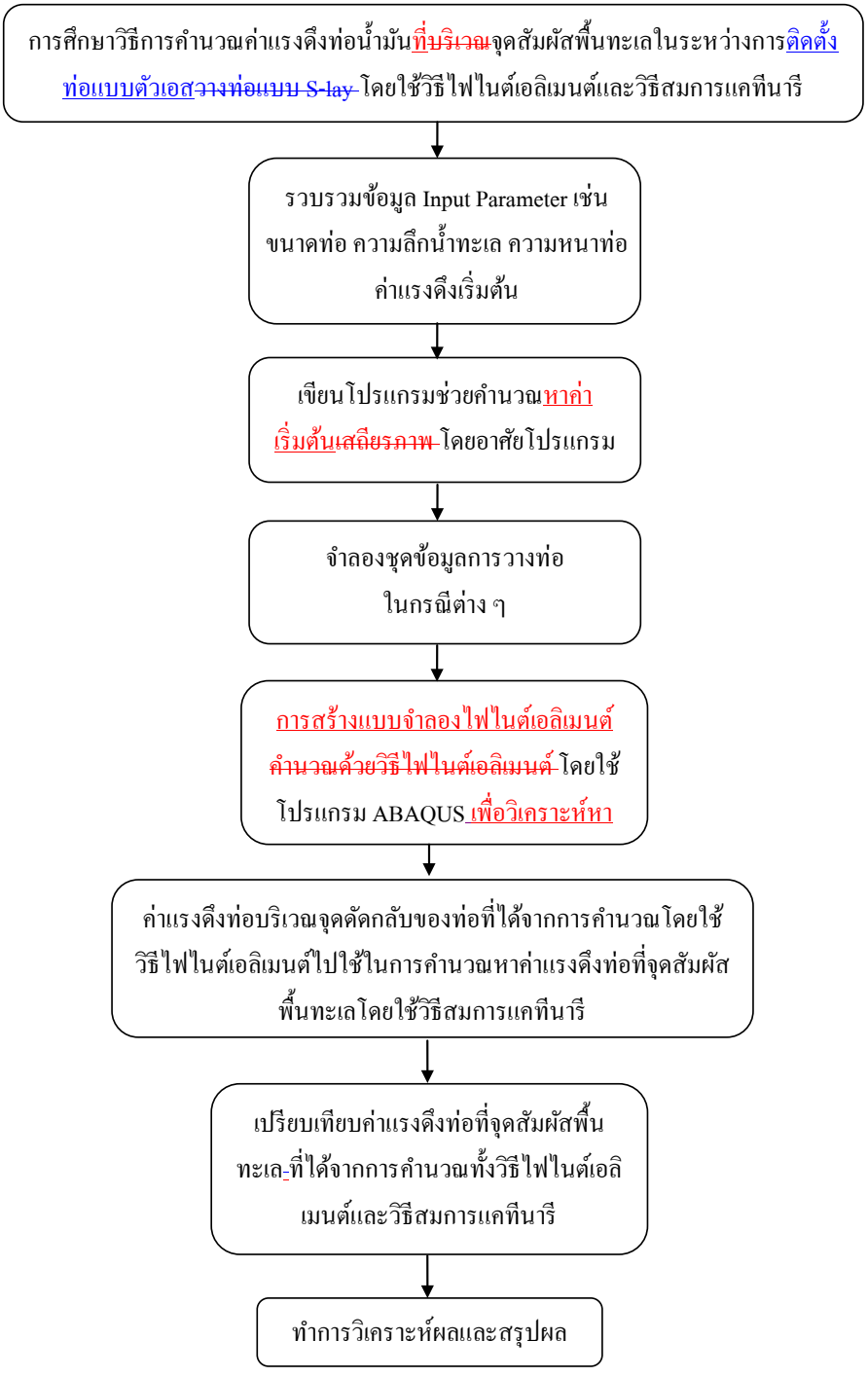
Formatted: Thai Distributed Justification, Indent: Left: 0 cm, Hanging: 0.5 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0.63 cm + Indent at: 1.27 cm

4. สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแอ่นตัวของท่อบริเวณส่วนโค้งคว่ำและบริเวณส่วนโค้งหงายแล้วนำค่าแรงดึงท่อที่จุดตัดกลับท่อ จากขั้นตอนแรกมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดึงท่อที่จุดสัมผัสพื้นทะเลโดยใช้สมการแคทีนารี
5. เปรียบเทียบค่าแรงดึงท่อที่จุดสัมผัสพื้นทะเลที่ได้จากการคำนวณทั้งวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีสมการแคทีนารี
6. วิเคราะห์และสรุปผลขนาดท่อ~~ค่าแรงดึงในท่อ~~ที่สามารถใช้สมการแคทีนารีในการคำนวณหาค่าแรงดึงท่อที่จุดสัมผัสพื้นทะเล

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพการดำเนินงานได้ดังรูปที่ 1.4

1.6 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. การวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลท่อน้ำมันที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กและขนาดกลางที่ถูกติดตั้งในน้ำตื้นบริเวณอ่าวไทย ผลการวิจัยจะช่วยสร้างข้อแนะนำว่าท่อขนาดใดบ้างที่สามารถใช้สมการแคทีนารีซึ่งมีวิธีการคำนวณที่ง่ายไปใช้ในการคำนวณหารูปร่างของท่อและแรงดึงขณะติดตั้ง
2. ข้อแนะนำที่ได้จากข้อที่หนึ่งจะช่วยแก้ปัญหาและลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์พฤติกรรมของท่อในขณะติดตั้งจึงจะช่วยลดต้นทุนในการวิเคราะห์ในอุตสาหกรรมท่อน้ำมันในน้ำตื้นบริเวณอ่าวไทย



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

Formatted: Indent: Left: -0.25 cm, Right: -0.32 cm