บทที่ 5 สรุปผล

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์สมดุลสถิตยศาสตร์ของเคเบิลใต้ทะเลในสามมิติ ที่คำนึงถึงผลของการยึดตัวตามแนวแกน โดยใช้ระบบพิกัดทรงกระบอกในการบอกตำแหน่ง ภายใต้แรงกระทำของ แรงลากเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำคงที่ตลอดความลึก แรงลอยตัว น้ำหนักของเคเบิลเอง และแรงดันน้ำที่ระดับความลึกที่พิจารณา โดยมี s_0 เป็นตัวแปรอิสระ และมี r,θ, และ z เป็นตัวแปรตาม เพื่อบอกตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลที่สภาวะต่างๆ

การวิเคราะห์หาค่าที่สภาวะสมดุลของเคเบิลทั้งสามสภาวะคือ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ, สภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ, และสภาวะวิกฤต ในงานวิจัยนี้จะใช้ระเบียบวิธียิงเป้าร่วมกับระเบียบวิธีรุง เง-คุตตาอันดับที่สี่มาช่วยในการหาคำตอบเชิงตัวเลข โดยจะต้องใช้สมการอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งแปดสมการอันได้แก่ สามสมการสมดุล สามสมการเรขาคณิตของชิ้นส่วนย่อยของเคเบิล หนึ่งสมการนิยามความเครียด และหนึ่งสมการแรงดึงประสิทธิผล จากนั้นทำการกำหนดค่าสภาวะเริ่มต้นจากค่าเงื่อนไขขอบเขต ในส่วนที่เป็นตัวแปรไม่ทราบค่าต้องทำการสมมติให้ใกล้เคียงกับคำตอบที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์สภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเลในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เคเบิลสองลักษณะคือ การวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบทั่วไป และการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว โดยมีการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับงานวิจัยในอดีต และยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเล

5.1.1 เคเบิลใต้ทะเลแบบทั่วไป

การตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณเชิงตัวเลข ได้ทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Chucheepsakul, Srinil, และ Petchpeart [18] โดยเปรียบเทียบสองกรณี คือ กรณีกำหนดค่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิล และกรณีกำหนดค่าความยาวของเคเบิลก่อนเกิดการยืดตัว โดยไม่คิดอัตราส่วนปัวซอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าแบบจำลองสมการต่างๆ ที่นำมาใช้นั้นมีความถูกต้อง นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเล ดังนี้

1. กรณีแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบและความลึกของเคเบิล (R/z_H)

เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา เคเบิลที่มีตำแหน่งการวางตัวในน้ำลึกหรือค่า R/z_H น้อย จะมีค่าความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนมากกว่าเคเบิลที่มีตำแหน่งการวางตัวในน้ำตื้นหรือค่า R/z_H มาก ในทำนองเดียวกันกับค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\overline{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากกว่าเคเบิลที่มีตำแหน่งการวางตัวในน้ำตื้นหรือค่า R/z_H มาก

2. กรณีแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ (V)

เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา ความเร็วของกระแสน้ำที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เคเบิลเกิดการยึดตัวตามแนวแกนได้มากตามไปด้วย ในทำนองเดียวกันกับค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\overline{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากกว่าความเร็วของกระแสน้ำที่ลดลง

3. กรณีแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล (W_e)

เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา เมื่อน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิลเพิ่มขึ้น เคเบิลจะเกิดการยึดตัวตามแนวแกนได้มากขึ้น และค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\overline{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากขึ้นเมื่อน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิลลดลง

4. กรณีแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล (E)

เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิลที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิลมีค่าน้อยลง และค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\overline{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิลเพิ่มขึ้น

5.1.2 เคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว

การวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว ได้ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับงานวิจัยของ Friswell [15] ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหาในสามมิติ ที่ไม่คำนึงถึงผลของการยืดตัวตามแนวแกน โดยใช้หลักการเดียวกับแบบจำลองของ Berteaux [1] ผลการเปรียบเทียบจะให้ผลใกล้เคียงกันเฉพาะกรณีที่ θ_H เท่ากับ 90 องศา ซึ่งจะได้ค่าแรงดึงต่ำสุดที่เท่ากัน

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาในสองมิติ ได้ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับงานวิจัยของ Chucheepsakul และ Wang [17] โดยจะใช้แบบจำลองของ Seck-Hong [6] ผลการเปรียบเทียบมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าสมการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลในสองมิติ มีความถูกต้องเชื่อถือได้ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ แบบจำลองของ Seck-Hong [6] มา

ประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลในสามมิติโดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเล ดังนี้

1. กรณีแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบและความลึกของเคเบิล (R/z_H)

เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\overline{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต สำหรับที่ θ_H เท่ากับ 30, 60 องศา พบว่าจะมีค่าน้อยลงเมื่อเคเบิลถูกวางตัวในน้ำตื้น แต่ในทางกลับกันที่ θ_H เท่ากับ 120, 150 องศา พบว่าจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเคเบิลถูกวางตัวในน้ำตื้น แต่สำหรับที่ θ_H เท่ากับ 90 องศา พบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบนจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ ค่าของ R/z_H ความสามารถในการยืดตัวตามแนวแกนของเคเบิลที่วางตัวในน้ำตื้น จะมีค่าการยืดตัวมากกว่าเคเบิลที่วางตัวใน น้ำลึก

2. แรงดึงภายในเคเบิลภายใต้สภาวะสมดุล

เมื่อ θ_H เท่ากับ 90 องศา แรงดึงที่ปลายบนและปลายล่างของเคเบิลจะมีค่าเท่ากัน และที่ระดับความลึกเดียวกันแรงดึงที่สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ จะมีค่ามากกว่าแรงดึงที่สภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพเสมอ แต่จะมีค่าเท่ากันตรงที่จุดยึดรั้งที่ปลายบนและปลายล่าง นั่นคือ แรงดึงหนึ่งค่าสามารถทำให้เกิดสภาวะสมดุลได้สองแบบคือ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพและสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ โดยจะมีค่าแรงดึงต่ำสุด ซึ่งเรียกว่าสภาวะวิกฤต เป็นเส้นแบ่งระหว่างสภาวะสมดุลทั้งสอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์สมดุลสถิตยศาสตร์ของเคเบิลในระบบพิกัดทรงกระบอก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้างในทะเลได้ ซึ่งสามารถพัฒนาไปสู่งานออกแบบเคเบิลเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน นอกจากนั้นยังสามารถพัฒนาไปสู่การวิเคราะห์พลศาสตร์ของเคเบิล ที่คำนึงถึงผลของการยืดตัวตามแนวแกน ได้อีกด้วย