บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์

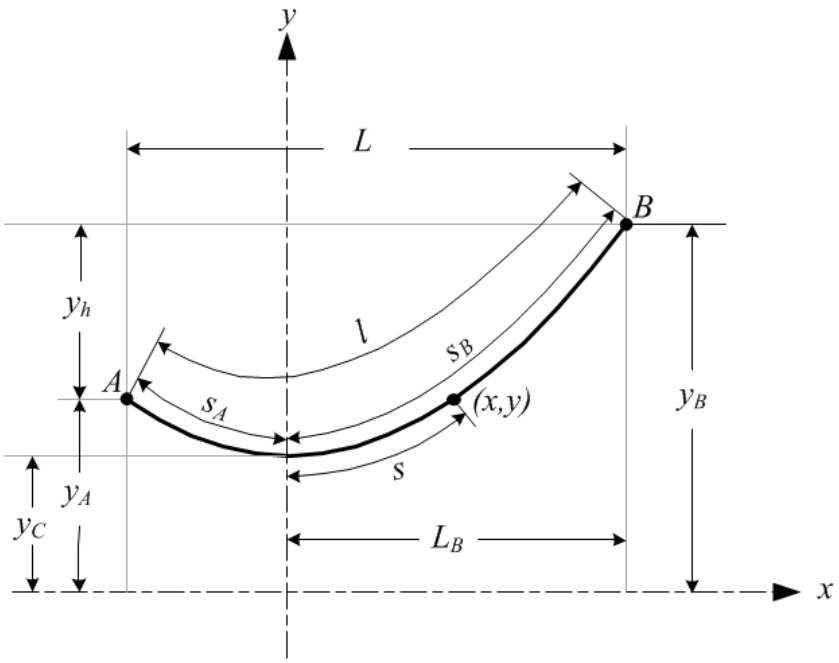
โครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาแบบจำลองของท่อลำเลียงของไหลแบบแคทีนารีเมื่อท่อลำเลียงของไหลอยู่ในสภาวะสมดุล โดยมีผลกระทบเนื่องจากแรงภายนอก น้ำหนักประสิทธิผลของท่อลำเลียงของไหล และแรงเนื่องจากความเร็วของของไหลภายในท่อลำเลียงของไหล ซึ่งแรงทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของท่อลำเลียงของไหลในทะเลลึก จึงทำให้แบบจำลองนี้ต้องทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น อีกทั้งทำการเปรียบเทียบในกรณีที่เปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิล (T_H) การเปลี่ยนแปลงค่าความเร็ว (v) การเปลี่ยนแปลงความยาวส่วนโค้ง (s_t) และการเปลี่ยนแปลงค่ายกระดับ (Y_H) โดยการนำผลที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมฟอร์แทนมาทำการแสดงผลในรูปแบบกราฟและเปรียบเทียบผล ดังต่อไปนี้

4.1 การเปรียบเทียบผลกับการคำนวณเชิงตัวเลขกับสมการแคทีนารี

ก่อนทำการศึกษาวิเคราะห์พารามิเตอร์จำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม และผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยของ Cella [8] โดยการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Cella [8] นั้นได้นำผลที่ได้จากตัวโปรแกรมไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับสมการความแม่นตรงของแคทีนารีเมื่ออยู่ในสภาวะที่จุดยึดปลายทั้งสองด้านของท่อลำเลียงของไหลอยู่ต่างระดับกันซึ่งอยู่ในกรณีเดียวกันกับงานวิจัยเฉพาะเรื่องนี้ พบว่า ผลเฉลยที่ได้จากสมการแม่นตรงมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม ซึ่งนำพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์เคเบิลแบบเส้นโค้งแคทีนารีที่มีจุดรองรับต่างระดับกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 ประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้ ความยาวของเส้นโค้งแคทีนารี น้ำหนักประสิทธิผล และค่าความต่างระดับในแนวดิ่งของจุดยึดที่ปลายทั้งสอง พร้อมทั้งผลจากการเปรียบเทียบข้อมูลในตารางที่ 4.2 พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกันดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์เคเบิลแบบเส้นโค้งแคทีนารีที่มีจุดรองรับต่างระดับกัน

คุณสมบัติของเคเบิล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
1. ความยาวของเส้นโค้งแคทีนารี	l	305	เมตร
2. น้ำหนักประสิทธิผล	w	13	นิวตันต่อเมตร
3. ค่าความต่างระดับในแนวดิ่งของจุดยึดที่ปลายทั้งสอง	y_h	36	เมตร
4. แรงปฏิกิริยาแนวราบที่จุดรองรับ	T_x	8153.69	นิวตัน



รูปที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของเส้นโค้งแคทีนารีแบบยกระดับ

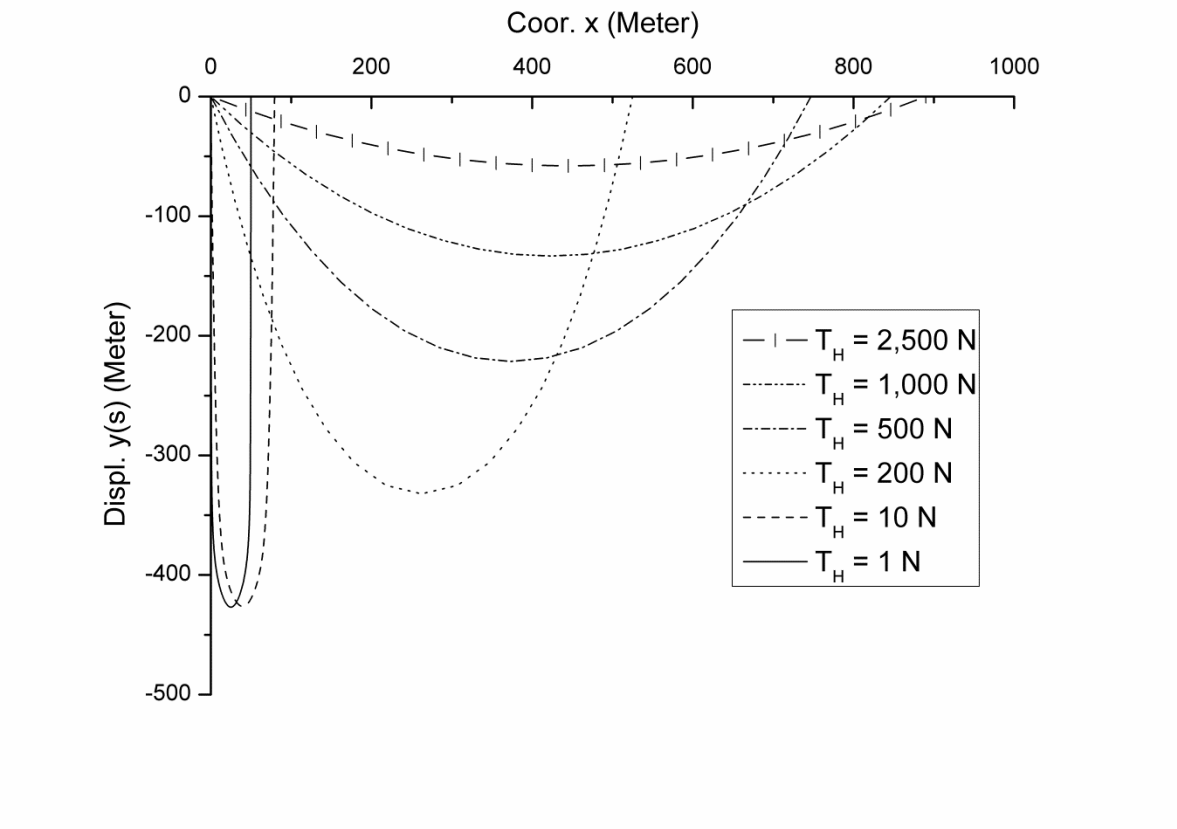
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบคำตอบเชิงตัวเลขกับงานวิจัยอื่น

คุณสมบัติของเคเบิล	หน่วย	งานวิจัยของ Cella [8]	งานวิจัยนี้
1. ระยะในแนวราบระหว่างจุดรองรับ (L)	เมตร	300	300
2. ระยะในแนวราบระหว่างจุดรองรับที่สูงสุดจนถึงระยะแอ่นตัวต่ำสุดของเคเบิล (L_B)	เมตร	224.3770	223.8400
3. ระยะในแนวดิ่งระหว่างจุดรองรับที่สูงสุดจนถึงระยะแอ่นตัวต่ำสุดของเคเบิล $(y_B - y_C)$	เมตร	40.5644	40.5436

จากตารางที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรในการวิเคราะห์จะทำให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่มีความสอดคล้องกันดังต่อไปนี้ ทำการกำหนดค่าความยาวส่วนโค้ง น้ำหนักแผ่กระจาย ความต่างระดับในแนวดิ่ง และแรงปฏิกิริยาในแนวราบที่จุดรองรับให้มีค่าที่เท่ากัน เมื่อทำการวิเคราะห์จากโปรแกรม และคำนวนจากสมการผลเฉลยของงานวิจัย พบว่า ระยะในแนวราบระหว่างจุดรองรับ ระยะในแนวราบระหว่างจุดรองรับที่สูงสุดจนถึงระยะแอ่นตัวต่ำสุดของเคเบิล และระยะในแนวดิ่งระหว่างจุดรองรับที่สูงสุดจนถึงระยะแอ่นตัวต่ำสุดของเคเบิล มีค่าใกล้เคียงกันเป็นอย่างมากดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.2

4.2 สมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดึงในแนวราบที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน

ในกรณีนี้ได้แสดงผลโดยทำการเปลี่ยนแปลงแรงดึงในแนวราบที่ปลายบนของเคเบิลที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน โดยกำหนดให้มีความยาวที่เท่ากันและนำผลที่ได้มาทำการแสดงผลในรูปแบบกราฟ โดยมีคุณสมบัติของเคเบิลดังนี้ ไม่มีการยกระดับในแนวดิ่ง และไม่มีความเร็วในเคเบิลในทุกกรณี โดยใช้ชิ้นส่วนทั้งหมดในการคำนวณจำนวน 20 ชิ้น



รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของเคเบิลที่มีจุดรองรับระดับเดียวกันโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงในแนวราบที่ปลายบนของเคเบิล

จากรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรในการวิเคราะห์จะทำให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่มีความสอดคล้องกันดังต่อไปนี้ เมื่อทำการกำหนดค่าความยาวส่วนโค้ง และน้ำหนักแผ่กระจายให้มีค่าคงที่ในทุกเส้นของเคเบิล แต่ทำการเปลี่ยนแปลงแรงปฏิกิริยาในแนวราบที่จุดรองรับให้มีค่าแตกต่างกันพบว่า เมื่อแรงปฏิกิริยานั้นมีค่าลงเรื่อยๆสายเคเบิลในแต่ละเส้นจะมีความแอ่นตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนเข้าใกล้ศูนย์ในที่สุด และมีค่ามุมที่ปลายบนลดลง จนกระทั่งเคเบิลทั้งสองอยู่ในสภาวะสมดุล

แบบวางตัวขนานกันในแนวดิ่ง และมีค่ามุมที่ปลายของเคเบิลเป็นศูนย์ ดังนั้นจากรูปแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อลดแรงปฏิกิริยาลงนั่นหมายความว่าค่าแรงดึงลดลงทำให้สายเคเบิลเกิดการหย่อนตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆนั่นเอง

4.3 สภาวะสมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน

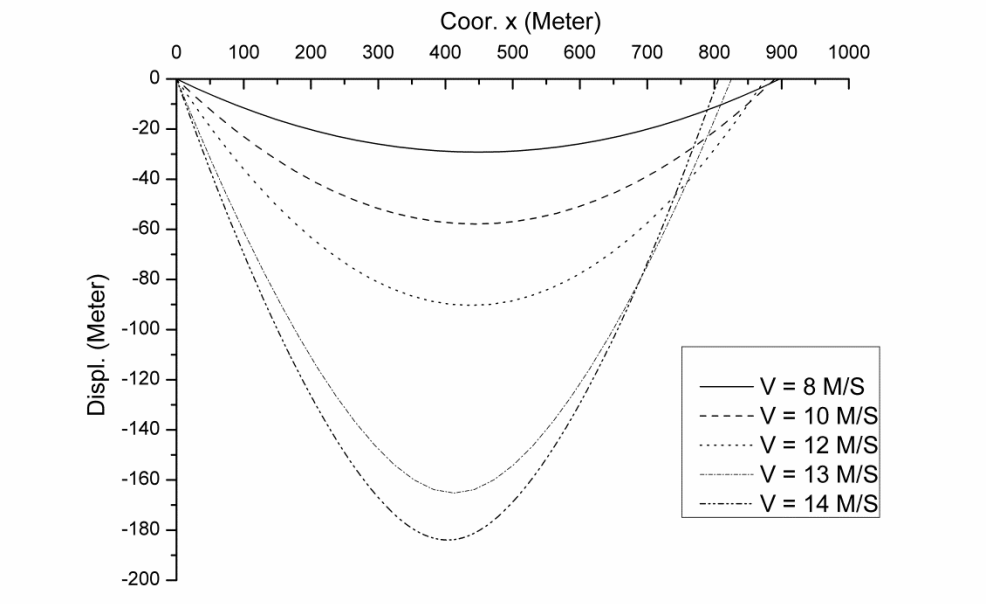
ในกรณีนี้ได้แสดงผลโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วภายในท่อลำเลียงที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน โดยกำหนดให้มีความยาวที่เท่ากันและนำผลที่ได้มาทำการแสดงผลในรูปแบบกราฟ โดยมีคุณสมบัติของท่อลำเลียงดังนี้ ไม่มีการยกระดับในแนวดิ่ง มีค่าแรงดึงที่ปลายบนเท่ากัน มีค่าความยาวส่วนโค้งเท่ากัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในท่อลำเลียง ดังแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ให้เห็นในตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ท่อลำเลียงที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน โดยเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของของไหลภายในท่อลำเลียง

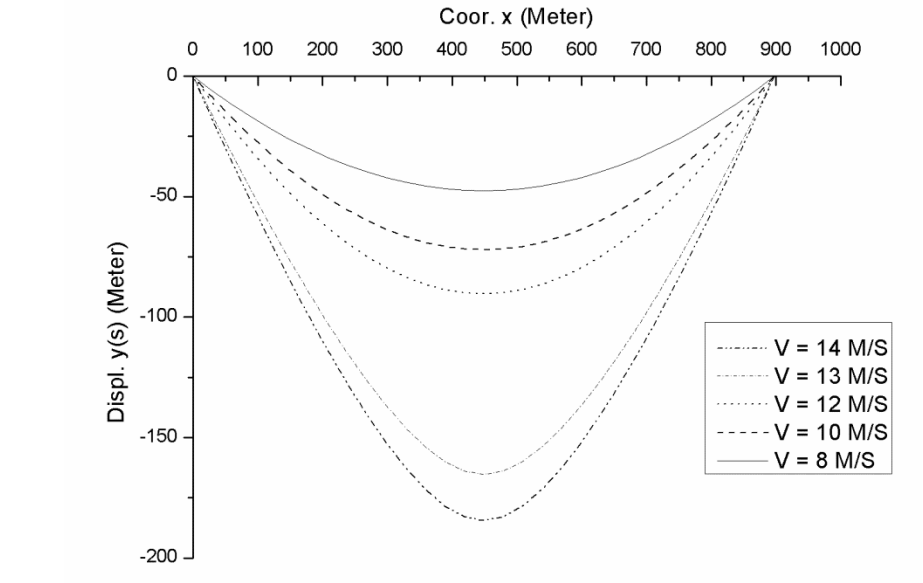
คุณสมบัติของท่อลำเลียงของไหล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
1. แรงดึงที่ปลายบน	T_H	5000	กิโลนิวตัน
2. ระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง	Y_H	0	เมตร
3. ความยาวส่วนโค้ง	s_t	900	เมตร
4. ความเร็วของของไหลภายในท่อ	v	8, 10, 12, 13, 14	เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.3 แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเร็วของท่อลำเลียงที่มีจุดรองรับระดับเดียวกันจะเห็นว่าเมื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลอง สามารถแสดงผลดังต่อไปนี้กำหนดค่าความยาวส่วนโค้ง แรงปฏิกิริยาในแนวราบที่จุดรองรับ และน้ำหนักแผ่กระจายให้มีค่าคงที่ในทุกเส้นของท่อลำเลียง แต่ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วภายในท่อลำเลียงให้มีค่าแตกต่างกันพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วภายในท่อลำเลียงจะมีความแอ่นตัวเพิ่มมากขึ้นจนมีค่าเข้าใกล้ค่าศูนย์ในที่สุด ดังนั้นจากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อเพิ่มความเร็วภายในท่อลำเลียง ตั้งแต่ค่า 8, 10, 12, 13 และ 14 เมตรต่อวินาที หากใส่ค่าความเร็วมากเกิน 14 เมตรต่อวินาทีแล้วจะทำให้กราฟที่ได้เกิดการหักงอและไม่เป็นเส้นโค้งแคทีนารี ค่าความเร็วของของไหลภายในท่อลำเลียงที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมดจึงน้อยกว่า 14 เมตรต่อวินาที นั่นหมายความเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจะทำให้ท่อลำเลียงเกิดการหย่อนตัวเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง และรูปที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเร็วของท่อลำเลียงที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวส่วน

โค้งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าความยาวส่วนโค้งจะทำให้ระยะตามแนวแกน x มีค่าใกล้เคียงกันมากจนเปรียบเสมือนเป็นจุดเดียวกัน



รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเร็วของท่อลำเลียงที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน



รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเร็วของท่อลำเลียงที่มีจุดรองรับระดับเดียวกัน และเปลี่ยนแปลงค่าความยาวส่วนโค้ง

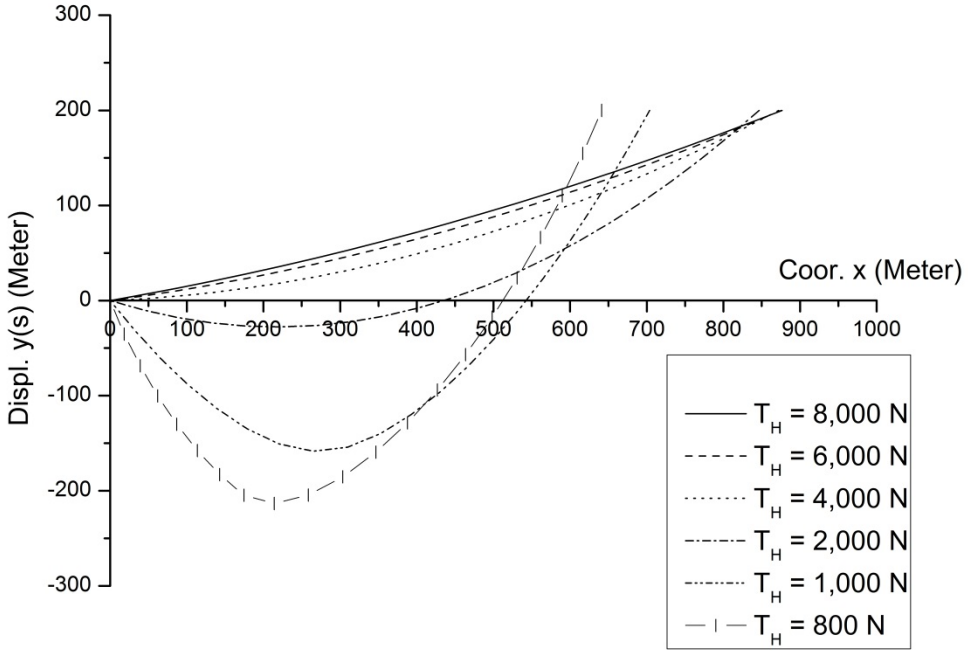
4.4 สภาวะสมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดึงที่ปลายบน

สภาวะสมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดึงที่ปลายบนทางแนวราบที่แตกต่างกันและนำผลที่ได้มาทำการแสดงผลในรูปแบบกราฟ โดยมีคุณสมบัติของท่อลำเลียงดังนี้ ความยาวส่วนโค้งของท่อลำเลียงของไหล ระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่งหรือระยะยกของท่อลำเลียงของไหล และความเร็วของของไหลภายในท่อมีค่าคงที่ในทุกกรณี ดังที่แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ให้เห็นในตารางที่ 4.4 ซึ่งเปลี่ยนแปลงเพียงค่าแรงดึงที่ปลายบน ดังนี้

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ท่อลำเลียงของไหลที่มีความเร็วของของไหลภายในท่อในสภาวะสมดุล ในกรณีที่เปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงที่จุดปลายบนของท่อลำเลียงของไหลแบบแอ่นตัวมาก

คุณสมบัติของท่อลำเลียงของไหล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
1. แรงดึงที่ปลายบน	T_H	1000, 2000, 4000, 6000, 8000	กิโลนิวตัน
2. ระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง	Y_H	200	เมตร
3. ความยาวส่วนโค้ง	s_t	900	เมตร
4. ความเร็วของของไหลภายในท่อ	v	5	เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.5 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการกำหนดค่าความยาวส่วนโค้ง ระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง ความเร็วของของไหลภายในท่อ และน้ำหนักแผ่กระจายให้มีค่าคงที่ในทุกเส้นของท่อลำเลียง แต่ทำการเปลี่ยนแปลงแรงดึงที่ปลายบนของท่อลำเลียงของไหลให้มีค่าแตกต่างกันพบว่า เมื่อเพิ่มค่าแรงดึงที่ปลายบนของท่อลำเลียงของไหลเพิ่มมากขึ้นท่อลำเลียงของไหลในแต่ละเส้นจะมีความแอ่นตัวลดลงจนมีความค่ามุมที่ปลายบนของท่อลำเลียงเพิ่มมากขึ้น การแอ่นตัวลดลง ดังนั้นจากรูปแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อเพิ่มค่าแรงดึงที่ปลายบนของท่อลำเลียง จะทำให้ท่อลำเลียงของไหลมีค่าความแอ่นตัวลดลงทำให้ค่ามุมที่ปลายบนมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งในทางตรงกันข้ามเมื่อลดค่าแรงดึงที่ปลายบนของท่อลำเลียงจะทำให้ท่อลำเลียงของไหลมีค่าความแอ่นตัวมาขึ้นทำให้ค่ามุมที่ปลายบนมีค่าลดลงตามไปด้วย



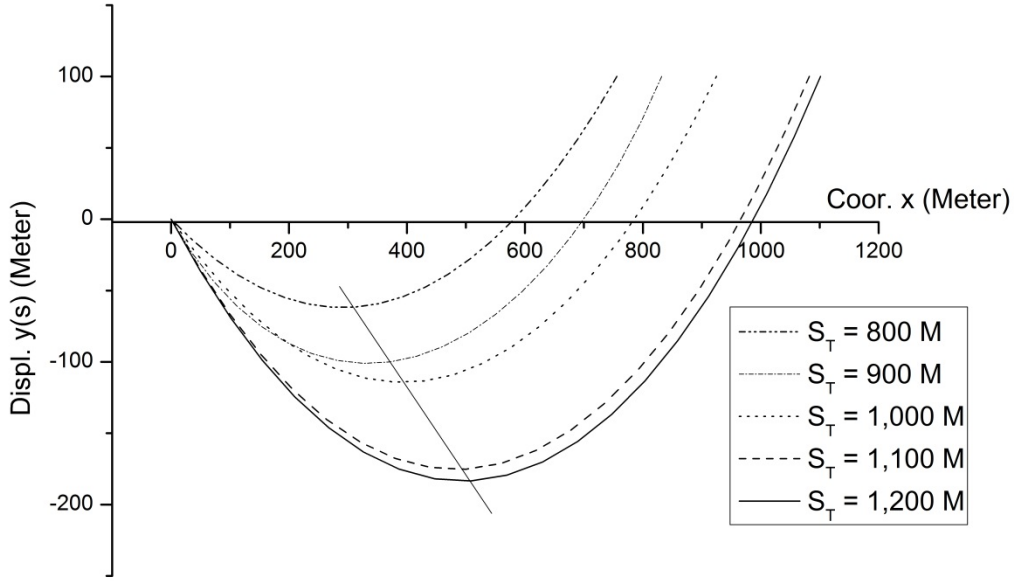
รูปที่ 4.5 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของท่อลำเลียงของไหลที่มีจุดรองรับต่างระดับกันโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงที่จุดปลายบนทางแนวราบของท่อลำเลียงของไหลแบบแอ่นตัวมาก

4.5 สภาวะสมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวส่วนโค้ง

สภาวะสมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความยาวส่วนโค้งของท่อลำเลียงของไหลแบบแคทีนารี โดยกำหนดให้มีความยาวที่แตกต่างกันและนำผลที่ได้มาแสดงผลในรูปแบบกราฟ โดยมีคุณสมบัติของท่อลำเลียงของไหลดังนี้ แรงดึงที่ปลายบนของท่อลำเลียงของไหล ระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่งหรือระยะยกของท่อลำเลียงของไหล และความเร็วของของไหลภายในท่อมีค่าคงที่ในทุกกรณี ดังที่แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ให้เห็นในตารางที่ 4.5 ซึ่งเปลี่ยนแปลงเพียงค่าความยาวส่วนโค้ง ดังนี้

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ท่อลำเลียงของไหลที่มีความยาวส่วนโค้งของท่อลำเลียงของไหลในสภาวะสมดุล

คุณสมบัติของท่อลำเลียงของไหล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
1. แรงดึงที่ปลายบน	T_H	1000	กิโลนิวตัน
2. ระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง	Y_H	100	เมตร
3. ความยาวส่วนโค้ง	s_t	800, 900, 1000, 1100, 1200	เมตร
4. ความเร็วของของไหลภายในท่อ	v	0	เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของท่อลำเลียงของไหลที่มีจุดรองรับต่างระดับกันโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวส่วนโค้งของท่อลำเลียงของไหลแบบแอ่นตัวมาก

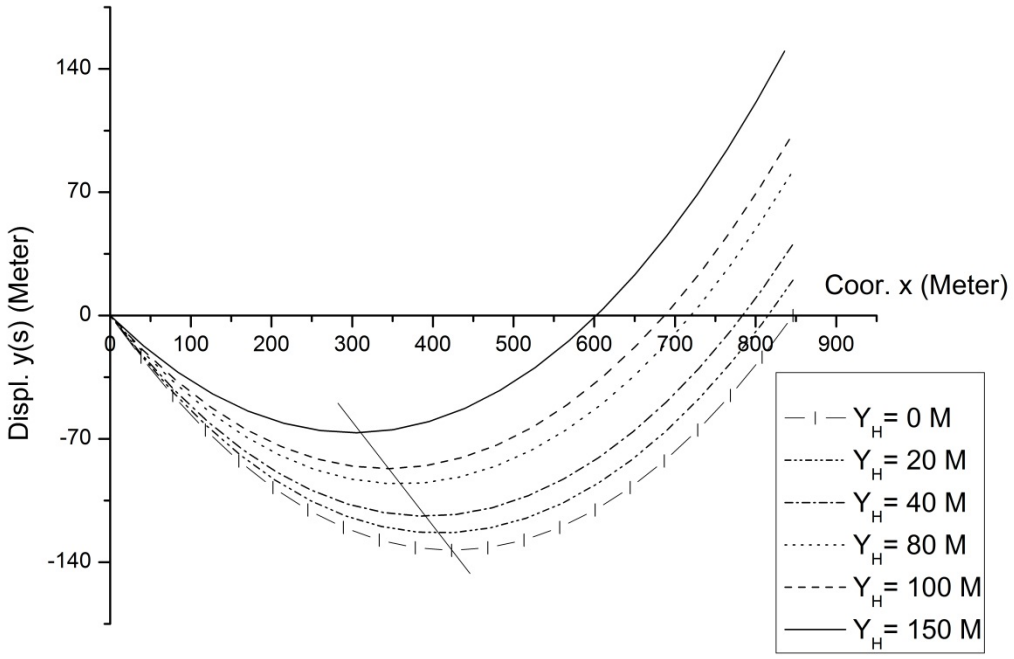
จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของเส้นทางเดินที่จุดต่ำสุดของเส้นโค้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวส่วนโค้งในกรณีต่างๆ พบว่า ส่วนโค้งของการแสดงผลในรูปแบบกราฟมีแนวโน้มอยู่ในแนวเดียวกันโดยสังเกตได้จากเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างจุดต่ำสุดของเส้นโค้งในทุกๆการเปลี่ยนแปลงความยาวส่วนโค้ง และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวส่วนโค้งระยะที่จุดปลายของท่อลำเลียงของไหลจะขยับเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อลดความยาวส่วนโค้งลง อีกทั้งมุมที่ปลายบนของท่อลำเลียงของไหลในแต่ละเส้นจะมีมุมที่มีองศาใกล้เคียงกันจึงทำให้เส้นทางเดินที่จุดต่ำสุดของเส้นโค้งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.6 สภาวะสมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง

สภาวะสมดุลของเคเบิลเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่งของท่อลำเลียงของไหลแบบแคทีนารี โดยมีการเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่งที่แตกต่างกันและนำผลที่ได้มาทำการผลในรูปแบบกราฟ โดยมีคุณสมบัติของท่อลำเลียงของไหลดังนี้ แรงดึงที่ปลายบนของท่อลำเลียงของไหล ความยาวส่วนโค้งของท่อลำเลียงของไหล และความเร็วของของไหลภายในท่อลำเลียงให้มีค่าคงที่ในทุกกรณี ดังที่แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ให้เห็นในตารางที่ 4.6 ซึ่งเปลี่ยนแปลงเพียงระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง ดังนี้

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ท่อลำเลียงของไหลที่มีระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่งของท่อลำเลียงของไหลในสภาวะสมดุล

คุณสมบัติของท่อลำเลียงของไหล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
1. แรงดึงที่ปลายบน	T_H	1000	กิโลนิวตัน
2. ระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง	Y_H	0, 20, 40, 60, 80, 100, 150	เมตร
3. ความยาวส่วนโค้ง	s_t	900	เมตร
4. ความเร็วของของไหลภายในท่อ	v	0	เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.7 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของท่อลำเลียงของไหลที่มีจุดรองรับต่างระดับกันโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าการยกระดับของจุดยึดทั้งสองด้านของท่อลำเลียงของไหลแบบแอ่นตัวมาก

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของเส้นทางเดินที่จุดต่ำสุดของเส้นโค้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่งแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการแสดงผลในรูปแบบกราฟแนวเดียวกันในทุกๆกรณีโดยสังเกตได้จากเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างจุดต่ำสุดของเส้นโค้งของการเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างจุดรองรับในแนวดิ่ง และแสดงให้เห็นว่าเมื่อท่อลำเลียงของไหลนี้มีระยะความยาวส่วนโค้งคงที่ในทุกกรณีแต่ยกระดับในระยะที่แตกต่างกันทำให้เคเบิลเกิดการแอ่นตัวและมีค่ามุมที่ปลายบนสอดคล้องกันหรือเกือบเท่ากัน ดังนั้นแนวโน้มของแบบจำลองในกรณีเปลี่ยนแปลงค่าต่างระดับจะมีทิศทางของเส้นทางเดินที่จุดต่ำสุดไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน