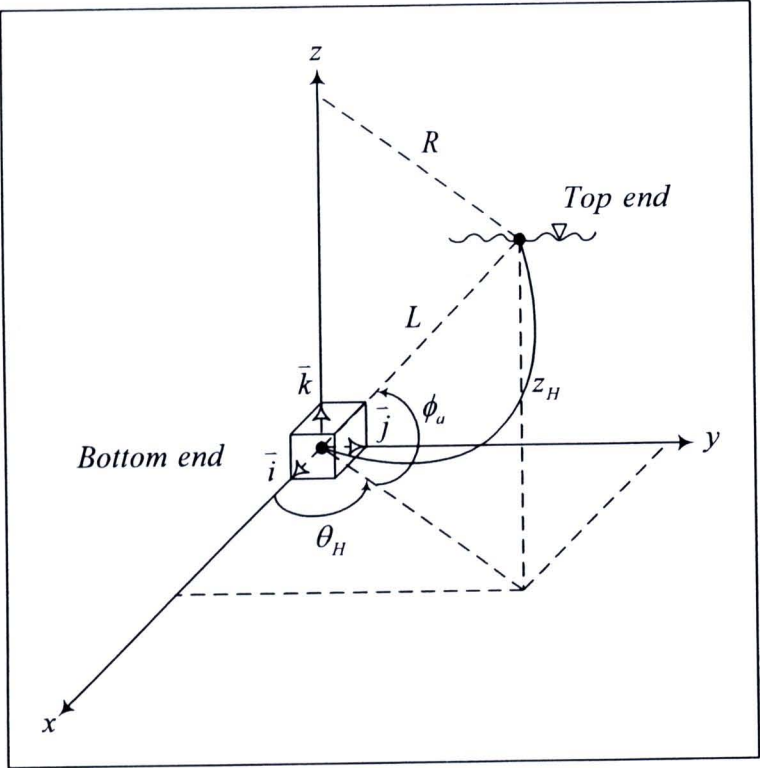


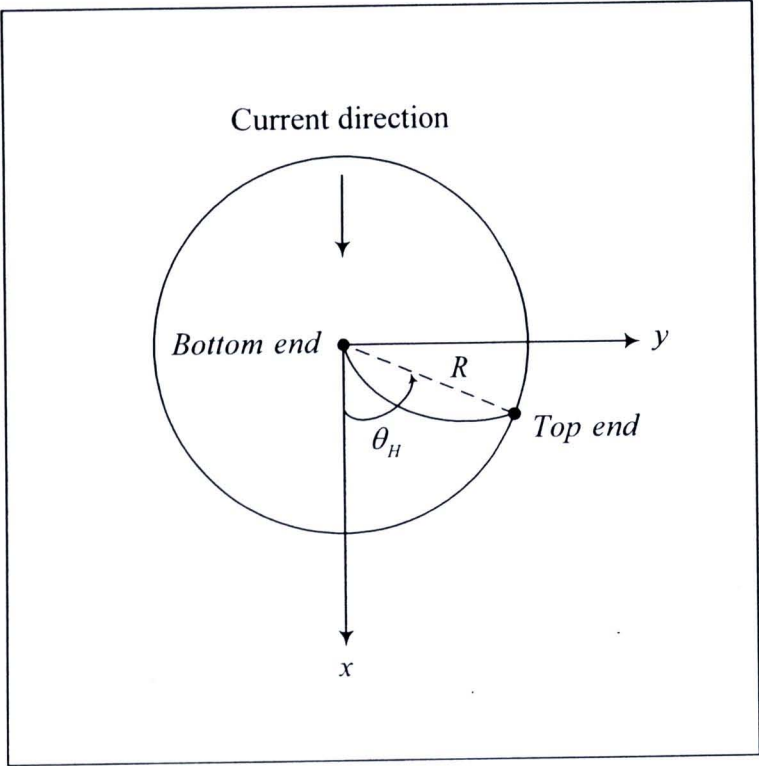
บทที่ 4 ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์สภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเลในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เคเบิลสองลักษณะคือการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบทั่วไป และการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ระเบียบวิธียิงเป้า ในการหาคำตอบเชิงตัวเลข สำหรับการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบทั่วไป โดยจะทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับงานวิจัยของ Chucheesakul, Srinil, และ Petchpear [18] ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหาในสามมิติโดยคำนึงถึงผลของการยึดตัวตามแนวแกน ในระบบพิกัดฉาก ทำการเปรียบเทียบทั้งสองกรณีคือ กรณีที่กำหนดค่าแรงดึงที่ปลายบนและกรณีที่กำหนดค่าความยาวของเคเบิลก่อนเกิดการยึดตัว สำหรับการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว ได้ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับงานวิจัยของ Chucheesakul และ Wang [17] ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหาในสองมิติโดยไม่คำนึงถึงผลของการยึดตัวตามแนวแกน และทำการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปัญหาในสามมิติกับงานวิจัยของ Friswell [15] โดยที่แปรเปลี่ยนตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลในทิศทางต่างๆ กัน โดยไม่คำนึงถึงผลของการยึดตัวตามแนวแกน

เนื่องมาจากงานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่จะเป็นการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลใต้ทะเลที่สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์สภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเลทั้งสามสภาวะคือ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ, สภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ, และสภาวะวิกฤต โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรหลัก ในงานวิจัยนี้ใช้ s_0 เป็นตัวแปรหลัก ซึ่งจะสามารถทำการวิเคราะห์ปัญหาได้ถึงสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ โดยงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาจะใช้ z_0 เป็นตัวแปรหลักซึ่งไม่สามารถหาคำตอบได้ นอกจากนี้ยังทำการแปรเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรเหล่านั้น ที่มีต่อสภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเล



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลในสามมิติ



รูปที่ 4.2 ทิศทางของกระแสไฟฟ้า

4.1 ผลการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบทั่วไป

ก่อนที่จะทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสถานะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเล จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณเชิงตัวเลข โดยทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Chucheeepsakul, Srinil, และ Petchpeart [18] ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบบดงแสดงตารางที่ 4.1 หลังจากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสถานะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเล โดยจะทำการวิเคราะห์ที่ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศาตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลที่ใช้ในการวิเคราะห์กรณีเคเบิลใต้ทะเลแบบทั่วไป

คุณสมบัติของเคเบิล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
1. ความลึกของเคเบิล	z_H	500	m
2. ระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ	R	300	m
3. เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเคเบิล	D	0.023	m
4. น้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิลต่อความยาว	W_e	12.3	N / m
5. ความหนาแน่นของน้ำทะเล	ρ_w	1021	kg / m^3
6. โมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล	E	1.628×10^6	kN / m^2
7. อัตราส่วนปัวซอง	ν	0	-
8. ความเร็วของกระแสน้ำคงที่ตลอดความลึก ตามแนวแกน x	V_{cx}	3.7	km / hr
9. ความเร็วของกระแสน้ำคงที่ตลอดความลึก ตามแนวแกน y	V_{cy}	0	km / hr
10. สัมประสิทธิ์แรงลากในแนวตั้งฉากกับเคเบิล	C_{DN}	1	-
11. สัมประสิทธิ์แรงลากในแนวสัมผัสกับเคเบิล	C_{DT}	0.005	-
12. มุมระหว่างแกน x กับระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ	θ_H	0 - 180	deg

4.1.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

ตรวจสอบผลการวิเคราะห์ของเคเบิลใต้ทะเล โดยทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัย Chucheeepsakul, Srinil, และ Petchpeart [18] จะทำการเปรียบเทียบผลกับระเบียบวิธีอื่นๆ การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น

สองกรณี คือ กรณีกำหนดค่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิล และกรณีกำหนดค่าความยาวของเคเบิลก่อนเกิดการยืดตัว โดยไม่คิดอัตราส่วนปัวซอง

1. กรณีกำหนดค่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิล

ใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลดังแสดงตารางที่ 4.1 กำหนดค่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิล (T_H) เท่ากับ 25 kN ทำการเปรียบเทียบค่าแรงดึงที่ปลายล่างและความยาวของเคเบิลหลังเกิดการยืดตัว ที่ θ_H เท่ากับ 0, 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 องศา ตามลำดับ

$$\begin{aligned}T_x &= T(0) \cos \psi \cos \phi \\T_y &= T(0) \cos \psi \sin \phi \\T_z &= T(0) \sin \psi\end{aligned}$$

(4.1)

โดยที่ T_x, T_y , และ T_z คือองค์ประกอบของแรงดึงมีทิศทางตามแกน x, y , และ z ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงที่ปลายล่างและความยาวของเคเบิลหลังเกิดการยืดตัว เมื่อทำการกำหนดค่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิล (T_H) เท่ากับ 25 kN

θ_H (deg)	T_x (N)		T_y (N)		T_z (N)		s_{total} (m)	
	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้
0	13044.82	13044.11	0.00	0.00	13917.26	13917.91	587.18	587.17
30	11860.42	11859.58	5175.96	5176.16	14004.06	14004.69	587.26	587.26
60	8495.53	8494.37	9168.88	9169.16	14379.25	14379.75	587.21	587.21
90	3421.33	3419.87	11057.49	11057.63	15122.82	15123.05	586.44	586.44
120	-2401.30	-2402.74	10051.10	10051.01	15986.68	15986.52	584.99	584.99
150	-7179.69	-7180.87	5986.84	5986.70	16565.43	16564.99	583.71	583.71
180	-9024.87	-9025.90	0.00	0.00	16735.32	16734.78	583.25	583.25

2. กรณีกำหนดค่าความยาวของเคเบิลก่อนเกิดการยืดตัว

ใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลดังแสดงตารางที่ 4.1 กำหนดค่าความยาวของเคเบิลก่อนเกิดการยืดตัว (s_L) เท่ากับ 550 m ทำการเปรียบเทียบค่าแรงดึงที่ปลายล่างและความยาวของเคเบิลหลังเกิดการยืดตัว ที่ θ_H เท่ากับ 0, 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 องศา ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงที่ปลายล้งและความยาวของเคเบิลหลังเกิดการยืดตัว เมื่อทำการกำหนดค่าความยาวของเคเบิลก่อนเกิดการยืดตัว (s_L) เท่ากับ 550 m

θ_H (deg)	T_x (N)		T_y (N)		T_z (N)		s_{total} (m)	
	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้	งานวิจัย [18]	งานวิจัย นี้
0	23641.38	23640.24	0.00	0.00	31267.22	31267.34	584.16	584.16
30	21078.44	21077.15	10398.83	10398.83	31397.05	31397.03	584.19	584.19
60	13875.27	13873.76	18226.12	18225.98	31798.88	31798.60	584.18	584.18
90	3525.50	3523.99	21387.02	21386.73	32344.86	32344.35	584.00	583.99
120	-7370.05	-7371.37	18747.21	18746.87	32752.43	32751.80	583.62	583.62
150	-15613.5	-15614.6	10871.72	10871.51	32895.07	32894.39	583.27	583.27
180	-18671.6	-18672.5	0.00	0.00	32905.52	32904.85	583.14	583.14

จากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 พบว่าผลการวิเคราะห์เคเบิลได้หาค่าใกล้เคียงกับผลงานวิจัยของ Chucheeepsakul, Srinil, และ Petchpeart [18] มาก แสดงว่าแบบจำลองสมการต่างๆ ในระบบพิกัดทรงกระบอกที่นำมาใช้นั้น มีความถูกต้อง เชื่อถือได้

4.1.2 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสถานะสมดุลของเคเบิลได้ทะเล

ในการวิเคราะห์สถานะสมดุลของเคเบิลได้ทะเล จะมีตัวแปรสำคัญต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบที่สถานะสมดุล การแปรเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ล้วนมีผลกระทบต่อตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลได้ทะเลทั้งสิ้น ในงานวิจัยนี้จะทำการแปรเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้คือ แปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบและความลึกของเคเบิล (R/z_H), แปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ (V), แปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล (W_c), และแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล (E) โดยจะทำการวิเคราะห์ที่ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา ตามลำดับ

1. กรณีแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบและความลึกของเคเบิล (R / z_H)

ใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลจากตารางที่ 4.1 กำหนดให้ค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ (R) เท่ากับ 229 m เป็นค่าคงที่ แล้วทำการแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล (z_H) โดยให้มีอัตราส่วน R / z_H เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 4, 6, และ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R / z_H = 1$

θ_H (deg)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
30	0.50827	1.20377	1.31631	1.32158	0.24270	2.53716	-0.50816	1.27275
60	0.48992	1.18864	1.34095	1.34628	0.40770	2.58507	-0.50370	1.07985
90	0.42922	1.13215	1.33506	1.34011	0.55320	2.74323	-0.48785	0.95130
120	0.32024	1.02760	1.26486	1.26909	0.73840	2.90928	-0.46409	0.89832
150	0.18464	0.89551	1.13934	1.14249	1.12960	3.05809	-0.48073	0.89285

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิลที่ $\theta_H = 30$ องศา

R / z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.2	0.28488	1.24622	1.26545	1.28358	0.10800	3.07244	-0.30975	1.08781
0.4	0.35222	1.26714	1.30151	1.31154	0.17070	2.97782	-0.38313	1.14797
0.6	0.41329	1.25859	1.30745	1.31477	0.20980	2.84725	-0.42125	1.20518
0.8	0.46526	1.23436	1.31348	1.31950	0.23110	2.69645	-0.46817	1.24613
1	0.50827	1.20377	1.31631	1.32158	0.24270	2.53716	-0.50816	1.27275
2	0.62965	1.06548	1.30882	1.31274	0.25390	1.92950	-0.61909	1.28592
4	0.70477	0.93624	1.29762	1.30101	0.24270	1.59608	-0.69236	1.22896
6	0.72980	0.88334	1.29027	1.29351	0.23600	1.50717	-0.71634	1.19767
8	0.74200	0.85529	1.28765	1.29083	0.23130	1.47540	-0.72913	1.18118

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล

ที่ $\theta_H = 60$ องศา

R/z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.2	0.26653	1.22904	1.26406	1.28186	0.18980	3.03564	-0.31652	1.05503
0.4	0.32622	1.24302	1.29525	1.30506	0.29740	2.91194	-0.37204	1.07874
0.6	0.38726	1.23498	1.31652	1.32376	0.35670	2.78757	-0.42325	1.08858
0.8	0.44259	1.21457	1.32985	1.33587	0.39020	2.67525	-0.46537	1.08797
1	0.48992	1.18864	1.34095	1.34628	0.40770	2.58507	-0.50370	1.07985
2	0.62972	1.06971	1.35937	1.36351	0.42560	2.35415	-0.60952	1.02042
4	0.72073	0.95683	1.36085	1.36455	0.41540	2.24611	-0.67647	0.95216
6	0.75218	0.91045	1.35884	1.36243	0.40820	2.21806	-0.69937	0.92240
8	0.76778	0.88586	1.35662	1.36016	0.40430	2.20510	-0.71036	0.90607

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล

ที่ $\theta_H = 90$ องศา

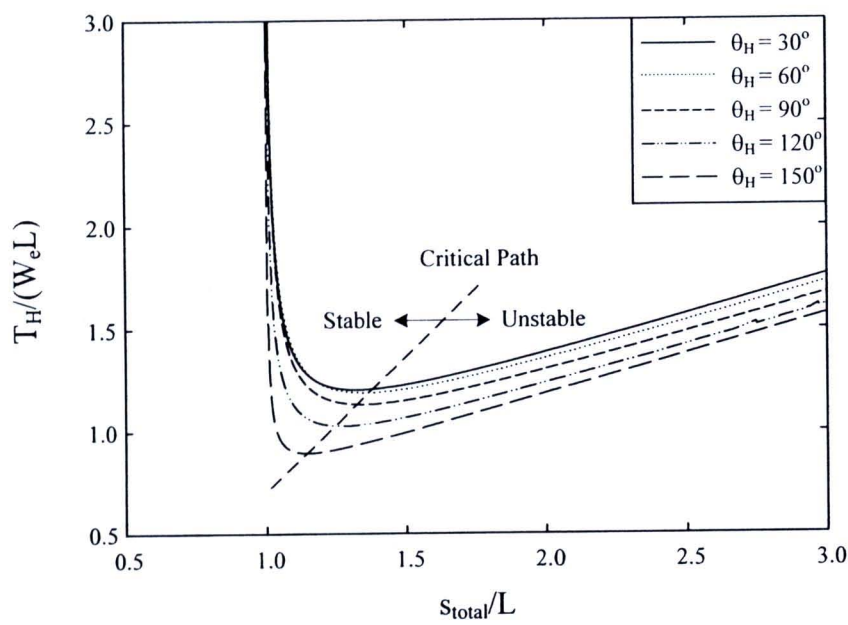
R/z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.2	0.23514	1.19937	1.25271	1.26987	0.23390	3.03515	-0.31582	1.01841
0.4	0.27591	1.19534	1.27471	1.28397	0.38240	2.93566	-0.35443	1.00894
0.6	0.32759	1.17862	1.29899	1.30579	0.46810	2.85428	-0.40689	0.99111
0.8	0.38045	1.15625	1.31929	1.32495	0.52020	2.79110	-0.45128	0.97102
1	0.42922	1.13215	1.33506	1.34011	0.55320	2.74323	-0.48785	0.95130
2	0.58893	1.03393	1.37507	1.37914	0.60670	2.63130	-0.59766	0.87987
4	0.70414	0.94554	1.39466	1.39845	0.61270	2.58035	-0.67233	0.82216
6	0.74597	0.90961	1.39747	1.40120	0.61160	2.56481	-0.69767	0.79915
8	0.76713	0.89059	1.39978	1.40349	0.60870	2.55907	-0.71121	0.78751

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล
ที่ $\theta_H = 120$ องศา

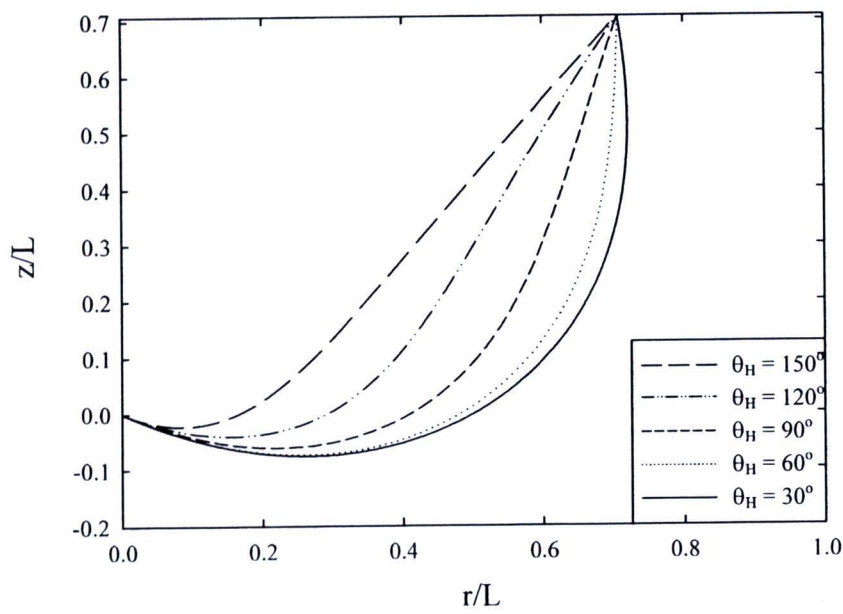
R / z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.2	0.19692	1.16306	1.21341	1.22962	0.23820	3.05746	-0.23772	0.99267
0.4	0.20336	1.12562	1.22859	1.23694	0.42100	3.00180	-0.31822	0.96053
0.6	0.23201	1.08663	1.23699	1.24288	0.55970	2.96107	-0.36471	0.93506
0.8	0.27387	1.05376	1.25196	1.25676	0.66020	2.93255	-0.41858	0.91462
1	0.32024	1.02760	1.26486	1.26909	0.73840	2.90928	-0.46409	0.89832
2	0.50165	0.95173	1.30536	1.30883	0.91010	2.84009	-0.62282	0.84631
4	0.64571	0.89244	1.33155	1.33490	0.96140	2.79609	-0.73761	0.80288
6	0.69917	0.86819	1.33754	1.34089	0.97040	2.78020	-0.77622	0.78437
8	0.72636	0.85522	1.33947	1.34283	0.97370	2.77200	-0.79507	0.77416

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล
ที่ $\theta_H = 150$ องศา

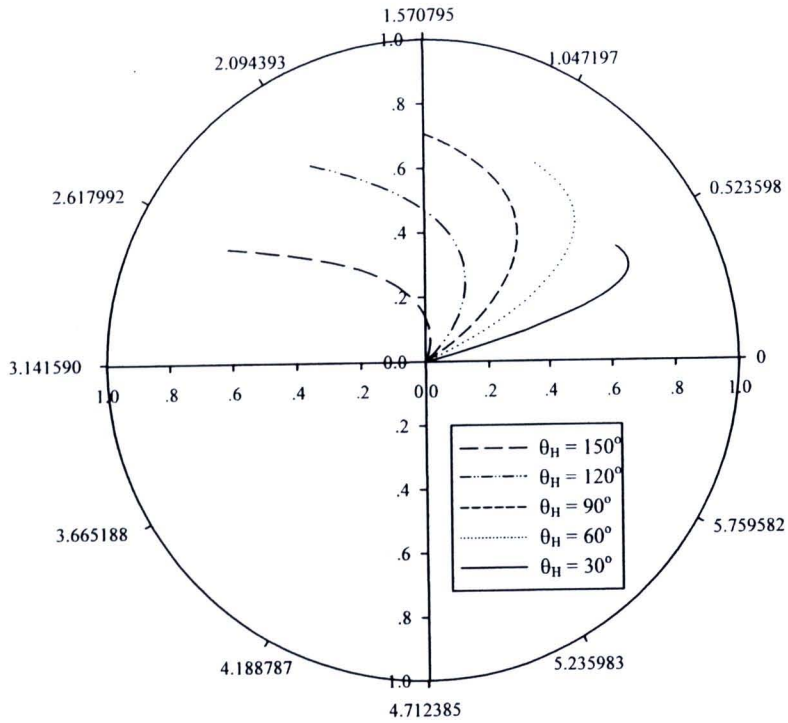
R / z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.2	0.16387	1.13146	1.19189	1.20736	0.16310	3.09831	-0.20656	0.97303
0.4	0.12655	1.05113	1.16796	1.17531	0.35600	3.07741	-0.26201	0.93449
0.6	0.11601	0.97358	1.14152	1.14627	0.57880	3.06949	-0.30152	0.91160
0.8	0.13784	0.92108	1.13309	1.13673	0.85000	3.06603	-0.36750	0.89992
1	0.18464	0.89551	1.13934	1.14249	1.12960	3.05809	-0.48073	0.89285
2	0.40677	0.86101	1.20065	1.20338	1.66700	3.00685	-0.84378	0.86102
4	0.57859	0.82997	1.24316	1.24593	1.77110	2.96638	-0.99602	0.82334
6	0.64092	0.81470	1.25622	1.25905	1.77450	2.95267	-1.04215	0.80633
8	0.67240	0.80606	1.26196	1.26483	1.77130	2.94584	-1.06397	0.79685



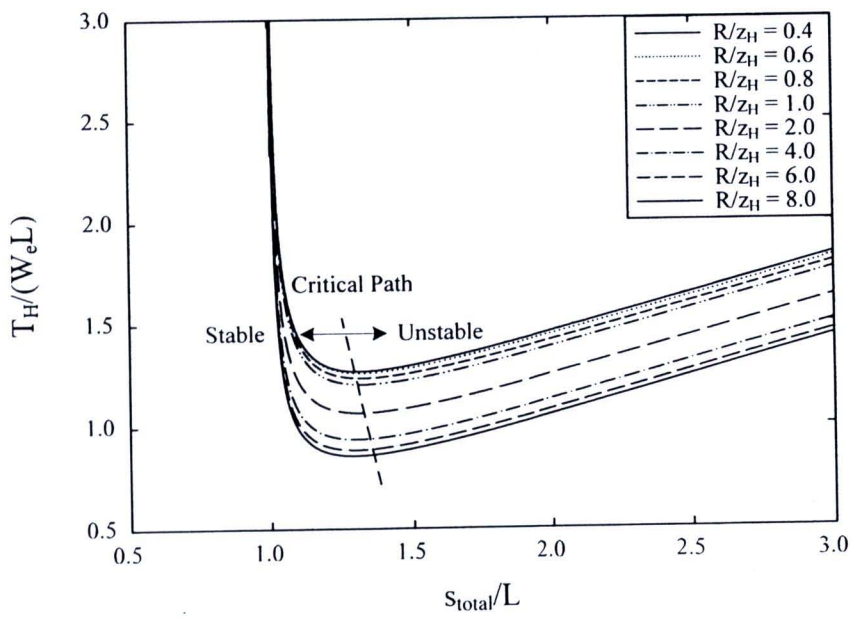
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R / z_H = 1$



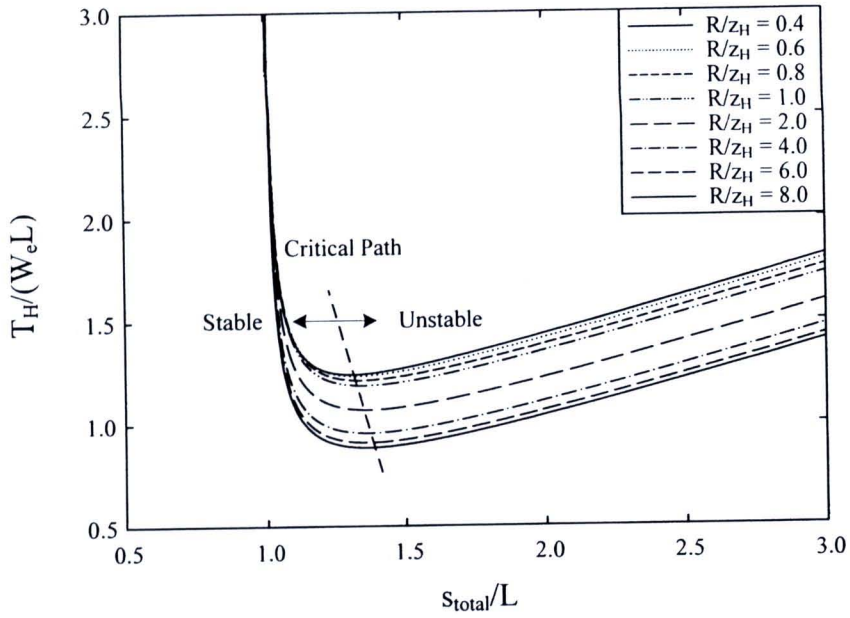
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง z / L กับ r / L ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R / z_H = 1$



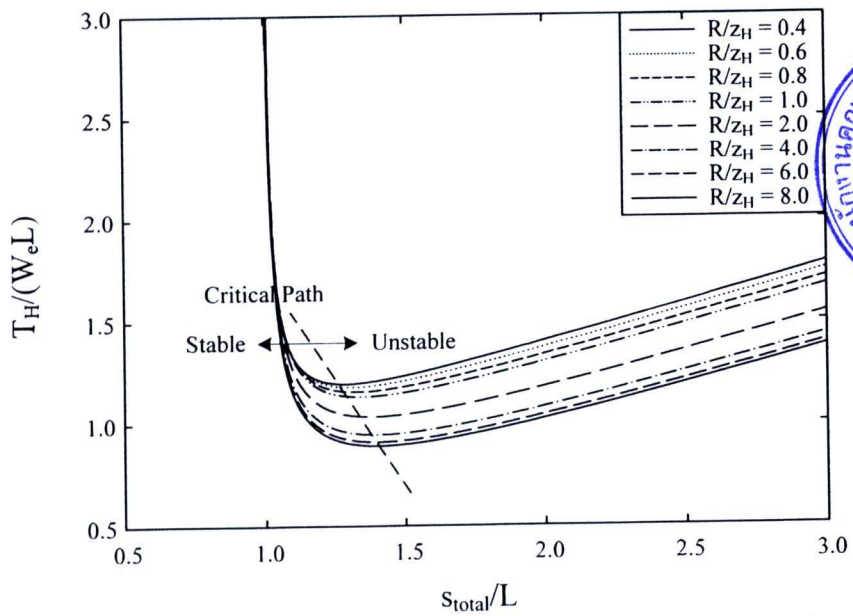
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งของเคเบิลบนพิกัด $r - \theta$ ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R/z_H = 1$



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล ที่ $\theta_H = 30$ องศา

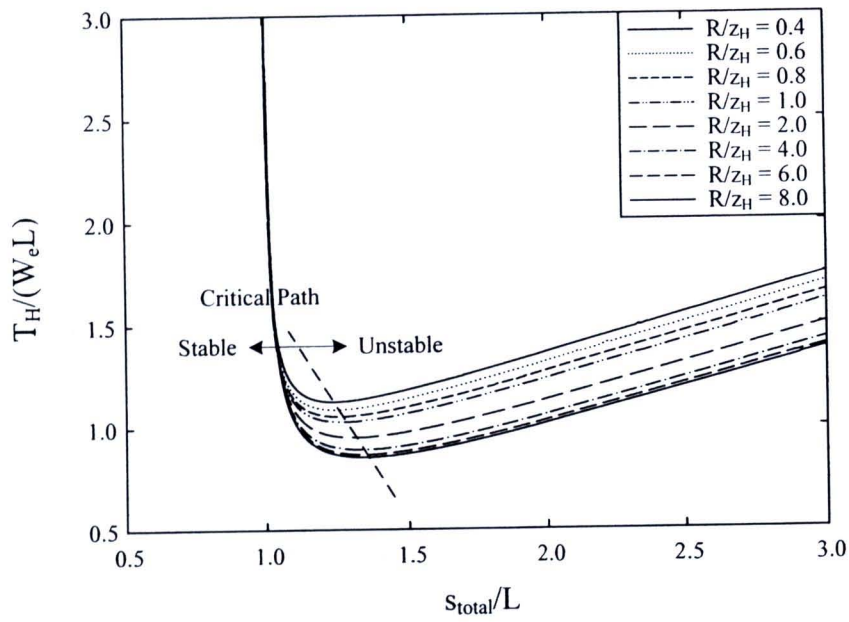


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล ที่ $\theta_H = 60$ องศา

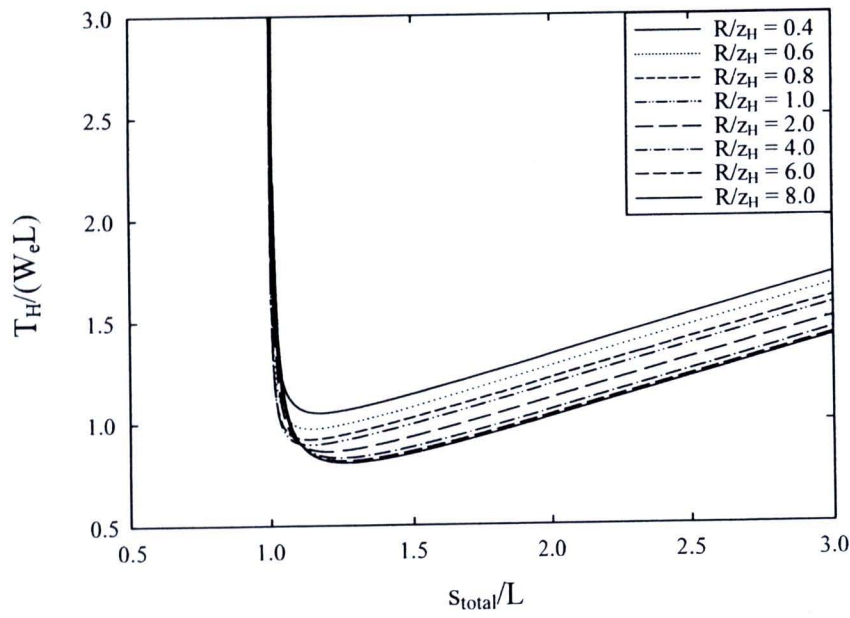


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล ที่ $\theta_H = 90$ องศา





รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล ที่ $\theta_H = 120$ องศา



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความลึกของเคเบิล ที่ $\theta_H = 150$ องศา

วิเคราะห์ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้จากการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบและความลึกของเคเบิล (R/z_H) โดยแปรเปลี่ยนตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลในทิศทางต่างๆ กัน

- จากรูปที่ 4.3 พิจารณาที่ R/z_H เท่ากับ 1 จะพบว่าเมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 30 องศา และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น เนื่องจากตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลที่เปลี่ยนไป ทำให้แรงลากเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำจะมีทิศทางหักล้างกับน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงต่ำสุดมีค่าน้อยลงในทำนองเดียวกันกับค่าความยาวของเคเบิลทั้งก่อนและหลังเกิดการยึดตัวก็จะน้อยลงเช่นกัน โดยที่ θ_H เท่ากับ 60 องศา จะมีค่ามากที่สุด และจากตารางที่ 4.4 ความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิล ที่ θ_H เท่ากับ 30 องศา จะมีค่าการยึดตัวมากที่สุดและจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น

- จากรูปที่ 4.6-4.10 เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา จะพบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่าน้อยลงเมื่อเคเบิลถูกวางตัวในน้ำตื้นหรือค่า R/z_H มาก

- เมื่อพิจารณาผลการคำนวณเชิงตัวเลขตามตารางที่ 4.5-4.9 ความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิลที่วางตัวในน้ำลึกหรือค่า R/z_H น้อย จะมีค่าการยึดตัวมากกว่าเคเบิลที่วางตัวในน้ำตื้นหรือค่า R/z_H มาก ทั้งนี้เนื่องจากแรงที่มากระทำกับเคเบิลในน้ำลึกจะมีค่ามากกว่า

2. กรณีแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ (V)

ใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลจากตารางที่ 4.1 กำหนดให้ค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ (R) เท่ากับ 229 m และค่าความลึกของเคเบิล (z_H) เท่ากับ 183 m แล้วทำการแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำเท่ากับ 0, 0.5, 1.0, 1.5, และ 2.0 m/s ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $V_{cx} = 2.0$ m/s

θ_H (deg)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_L$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
30	0.98866	1.56781	1.64922	1.65860	0.10980	2.93543	-0.37762	0.69413
60	1.04178	1.63635	1.84522	1.85646	0.16580	2.93233	-0.36978	0.55917
90	0.98509	1.60139	1.93355	1.94516	0.20650	2.98545	-0.35297	0.50503
120	0.76865	1.40740	1.80963	1.81894	0.24420	3.04957	-0.32603	0.49469
150	0.42405	1.07996	1.50297	1.50850	0.26450	3.11119	-0.28260	0.49806

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ
ที่ $\theta_H = 30$ องศา

V_{cx} (m/s)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.0	0.38119	1.00318	1.19806	1.20148	0.52360	0.52360	-0.67995	1.27084
0.5	0.42138	1.04152	1.22168	1.22536	0.41810	0.85615	-0.63900	1.34761
1.0	0.54215	1.15549	1.30603	1.31065	0.25860	2.27736	-0.54885	1.30674
1.5	0.73603	1.33544	1.46108	1.46757	0.16030	2.79779	-0.45790	0.97306
2.0	0.98866	1.56781	1.64922	1.65860	0.10980	2.93543	-0.37762	0.69413

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ
ที่ $\theta_H = 60$ องศา

V_{cx} (m/s)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.0	0.38119	1.00318	1.19806	1.20148	1.04720	1.04720	-0.67994	1.27084
0.5	0.41130	1.03249	1.22172	1.22536	0.79460	1.57500	-0.64700	1.28959
1.0	0.52877	1.14550	1.34004	1.34476	0.43320	2.46966	-0.54768	1.08325
1.5	0.74394	1.35134	1.55933	1.56650	0.25170	2.79584	-0.44534	0.77330
2.0	1.04178	1.63635	1.84522	1.85646	0.16580	2.93233	-0.36978	0.55917

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ
ที่ $\theta_H = 90$ องศา

V_{cx} (m/s)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.0	0.38119	1.00318	1.19806	1.20148	1.57080	1.57080	-0.67994	1.27084
0.5	0.38851	1.01045	1.21162	1.21513	1.20410	2.09345	-0.66246	1.22723
1.0	0.47351	1.09446	1.34026	1.34476	0.59950	2.68356	-0.53526	0.94667
1.5	0.68097	1.29975	1.60371	1.61084	0.32420	2.89200	-0.42454	0.67342

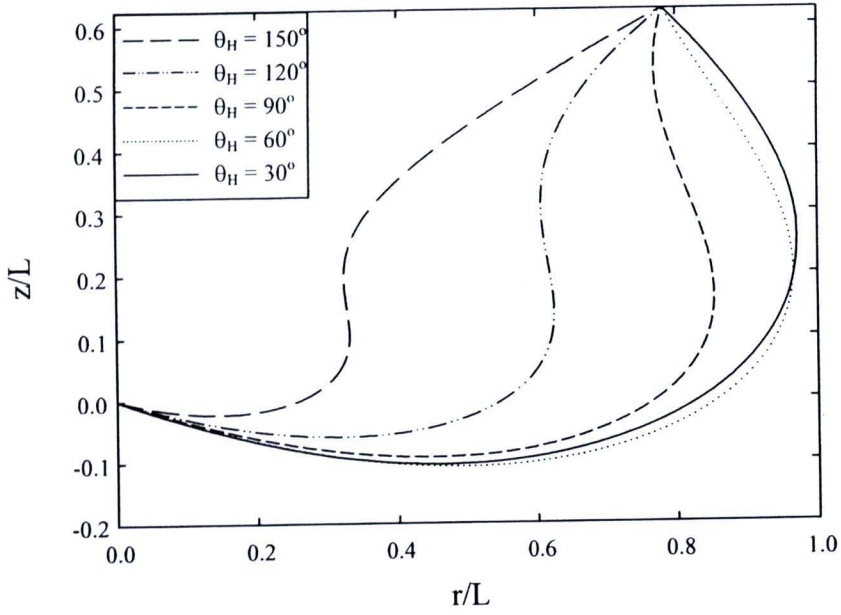
2.0	0.98509	1.60139	1.93355	1.94516	0.20650	2.98545	-0.35297	0.50503
-----	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	---------

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ
ที่ $\theta_H = 120$ องศา

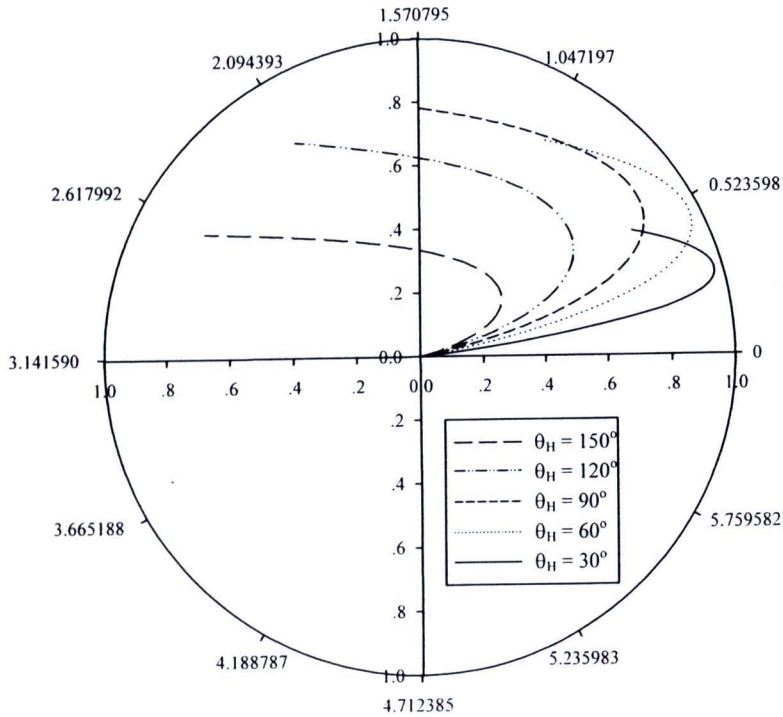
V_{cx} (m/s)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.0	0.38119	1.00318	1.19806	1.20148	2.09440	2.09440	-0.67994	1.27084
0.5	0.36076	0.98330	1.19133	1.19466	1.74830	2.48048	-0.68963	1.18960
1.0	0.37190	0.99722	1.26933	1.27312	0.84740	2.87471	-0.52717	0.89860
1.5	0.51694	1.14773	1.50616	1.51192	0.40490	2.99835	-0.39110	0.64704
2.0	0.76865	1.40740	1.80963	1.81894	0.24420	3.04957	-0.32603	0.49469

ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ
ที่ $\theta_H = 150$ องศา

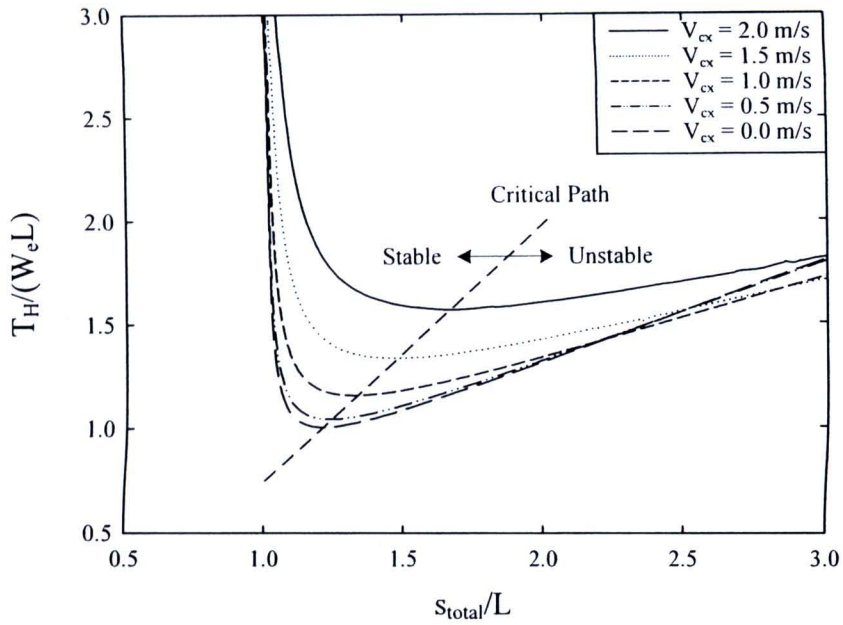
V_{cx} (m/s)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.0	0.38119	1.00318	1.19806	1.20148	2.61800	2.61799	-0.67994	1.27084
0.5	0.34232	0.96599	1.17782	1.18101	2.45380	2.81031	-0.72257	1.17645
1.0	0.25555	0.88429	1.15425	1.15713	1.46240	3.03686	-0.64813	0.90143
1.5	0.27159	0.91163	1.28316	1.28677	0.50370	3.09720	-0.34625	0.65008
2.0	0.42405	1.07996	1.50297	1.50850	0.26450	3.11119	-0.28260	0.49806



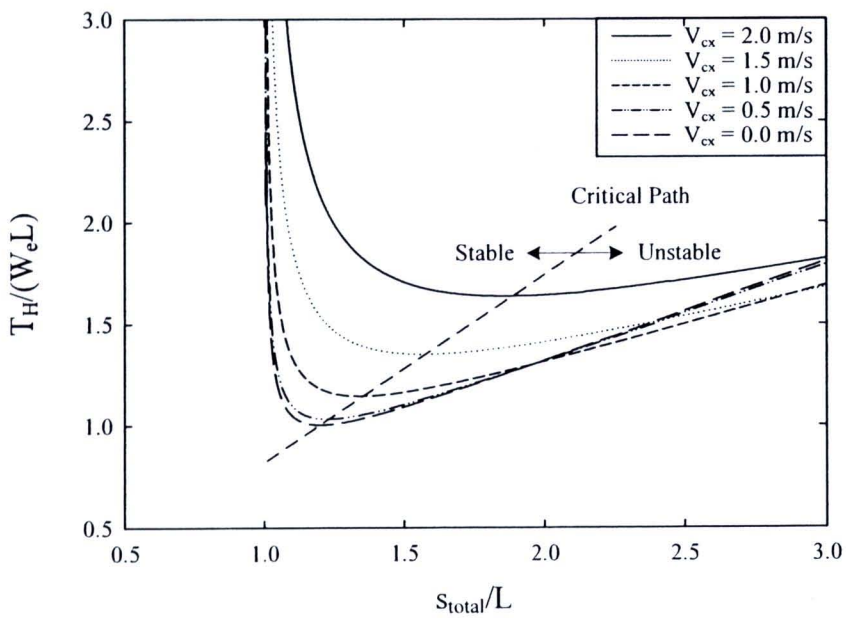
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง z/L กับ r/L ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H
ที่ $V_{cx} = 2.0$ m/s



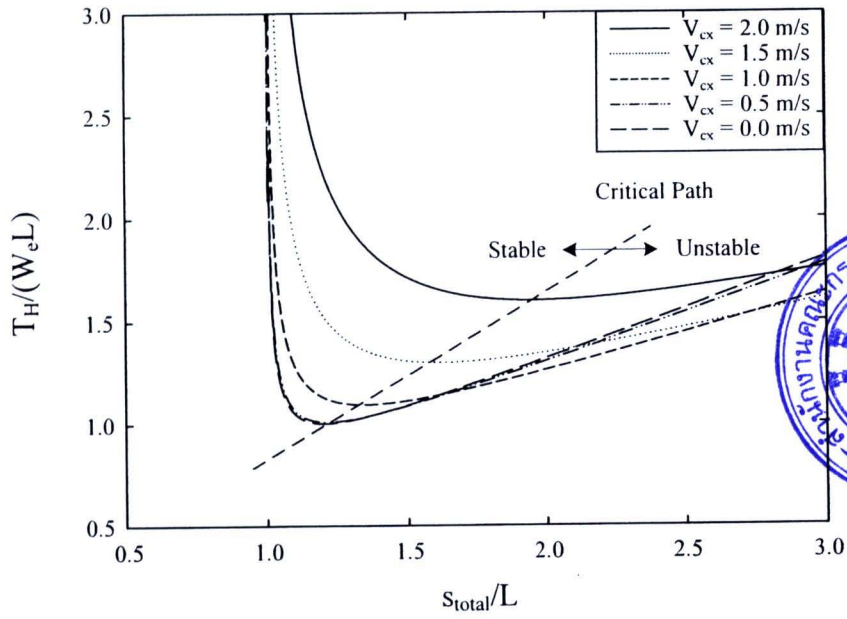
รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของเคเบิลบนพิกัด $r-\theta$ ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H
ที่ $V_{cx} = 2.0$ m/s



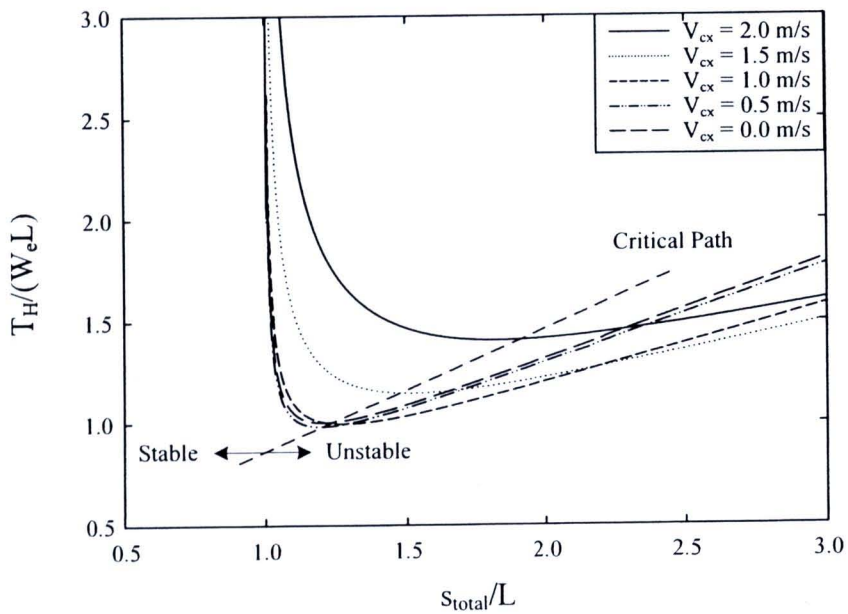
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ ที่ $\theta_H = 30$ องศา



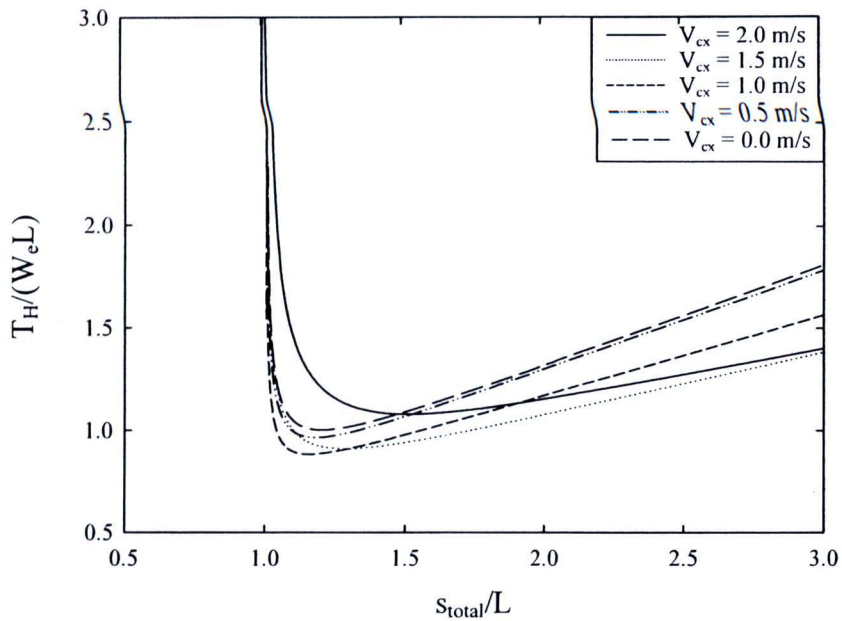
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ ที่ $\theta_H = 60$ องศา



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ ที่ $\theta_H = 90$ องศา



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ ที่ $\theta_H = 120$ องศา



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ ที่ $\theta_H = 150$ องศา

วิเคราะห์ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้จากการแปรเปลี่ยนค่าความเร็วของกระแสน้ำ (V) โดยแปรเปลี่ยนตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลในทิศทางต่างๆ กัน

- จากตารางที่ 4.10 พิจารณาที่ V_{cx} เท่ากับ 2.0 m/s จะพบว่าเมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 60 องศา และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น เนื่องจากตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลที่เปลี่ยนไป ทำให้แรงลากเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำจะมีทิศทางหักล้างกับน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงต่ำสุดมีค่าน้อยลง แต่เมื่อพิจารณาที่ V_{cx} ไม่เกิน 1.0 m/s จากตารางที่ 4.11-4.15 พบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 30 องศา และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4.10 ความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิล ที่ θ_H เท่ากับ 60 องศา จะมีค่าการยึดตัวมากที่สุดและจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น

- จากรูปที่ 4.13-4.17 เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา จะพบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากขึ้น เมื่อความเร็วของกระแสน้ำเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ V_{cx} เท่ากับ 2.0 m/s จะมีค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) มากกว่า V_{cx} เท่ากับ 0 m/s อยู่ถึง 1.56284 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้เคเบิลต้องรับแรงที่มากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ค่าแรงดึงต่ำสุดที่ V_{cx} เท่ากับ 2.0 m/s มีค่ามาก

- เมื่อพิจารณาผลการคำนวณเชิงตัวเลขตามตารางที่ 4.11-4.15 ที่ V_{cx} เท่ากับ 2.0 m/s เคเบิลจะเกิดการยึดตัวตามแนวแกนได้มากที่สุด และที่ V_{cx} เท่ากับ 0 m/s ซึ่งเป็นเคเบิลภายในน้ำหนักกระทำ

ของตัวเอง จะเกิดการยืดตัวตามแนวแกนน้อยที่สุด เพราะจะมีแค่แรงเนื่องจากน้ำหนักประสิทธิผลมากระทำ แรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเคเบิลก็จะมีค่าน้อย ส่งผลทำให้การยืดตัวน้อยกว่ากรณีที่ V_{cx} ไม่เท่ากับ 0 m/s

3. กรณีแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล (W_e)

ใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลจากตารางที่ 4.1 กำหนดให้ค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ (R) เท่ากับ 229 m และค่าความลึกของเคเบิล (z_H) เท่ากับ 183 m แล้วทำการแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิลเท่ากับ 15, 20, 30, 40, และ 50 N/m ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $W_e = 30$ N/m

θ_H (deg)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
30	0.44980	1.06491	1.23641	1.24583	0.36270	1.23253	-0.61469	1.38035
60	0.43623	1.05306	1.23992	1.24924	0.66410	1.91920	-0.61799	1.25872
90	0.40120	1.01965	1.22672	1.23560	0.98860	2.34019	-0.62569	1.15811
120	0.35257	0.97248	1.18999	1.19807	1.47490	2.64729	-0.65710	1.11038
150	0.31473	0.93661	1.15996	1.16737	2.27790	2.89974	-0.74139	1.10247

ตารางที่ 4.17 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ที่ $\theta_H = 30$ องศา

W_e (N/m)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
15	0.52060	1.13469	1.29159	1.29700	0.27640	2.12180	-0.56531	1.33980
20	0.48546	1.10060	1.26297	1.26971	0.31420	1.72811	-0.58663	1.37848
30	0.44980	1.06491	1.23641	1.24583	0.36270	1.23253	-0.61469	1.38035
40	0.43164	1.04577	1.22350	1.23560	0.39270	1.00297	-0.63275	1.36550
50	0.42050	1.03332	1.21060	1.22536	0.41440	0.87459	-0.63517	1.34901

ตารางที่ 4.18 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 60$ องศา

W_e (N/m)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_L$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
15	0.50617	1.12324	1.31541	1.32088	0.47210	2.38833	-0.56243	1.12682
20	0.47046	1.08794	1.27662	1.28335	0.55280	2.20391	-0.58840	1.19747
30	0.43623	1.05306	1.23992	1.24924	0.66410	1.91920	-0.61799	1.25872
40	0.41985	1.03537	1.22365	1.23560	0.73490	1.73038	-0.63704	1.28046
50	0.41023	1.02422	1.21078	1.22536	0.78580	1.59683	-0.64268	1.28715

ตารางที่ 4.19 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 90$ องศา

W_e (N/m)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_L$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
15	0.45392	1.07455	1.30886	1.31406	0.66550	2.63161	-0.55050	0.99152
20	0.42508	1.04510	1.26674	1.27312	0.79800	2.52141	-0.58805	1.07214
30	0.40120	1.01965	1.22672	1.23560	0.98860	2.34019	-0.62569	1.15811
40	0.39167	1.00841	1.21051	1.22195	1.10850	2.20886	-0.64711	1.19962
50	0.38678	1.00177	1.20109	1.21513	1.18970	2.11110	-0.65857	1.22204

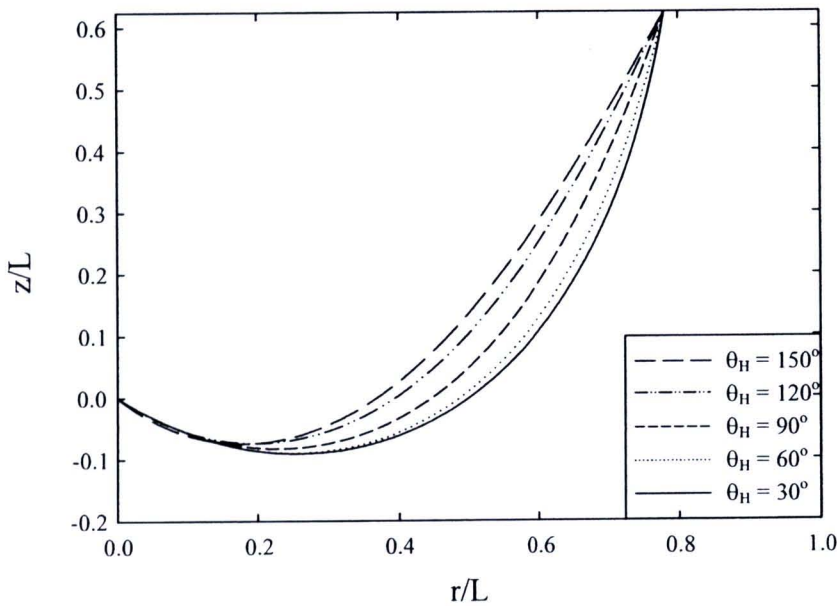
ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 120$ องศา

W_e (N/m)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_L$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
15	0.36278	0.98704	1.24822	1.25265	0.95160	2.84441	-0.55986	0.94208
20	0.35355	0.97602	1.21636	1.22195	1.17680	2.77140	-0.61475	1.02191
30	0.35257	0.97248	1.18999	1.19807	1.47490	2.64729	-0.65710	1.11038
40	0.35537	0.97320	1.18399	1.19466	1.63400	2.55916	-0.67910	1.15669

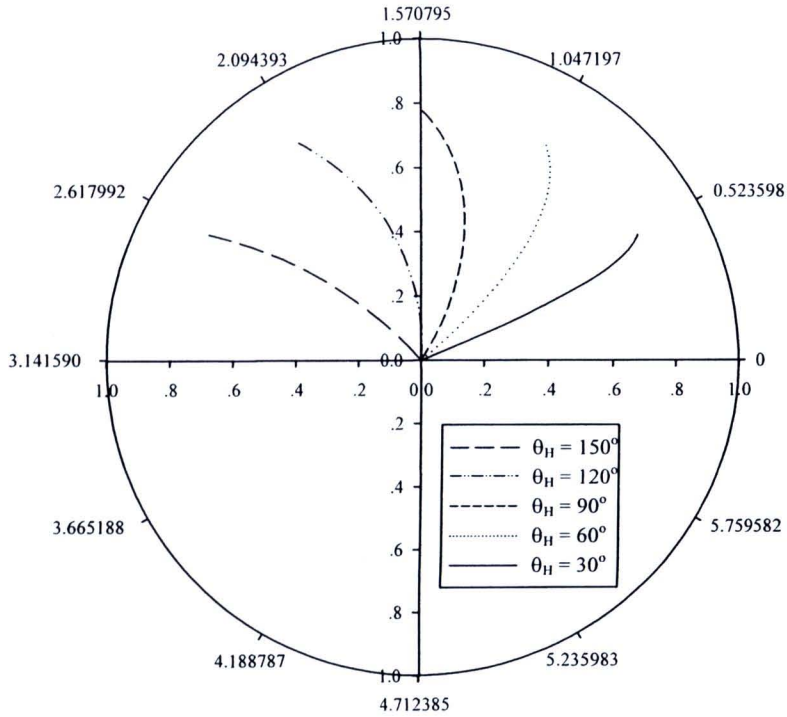
50	0.35797	0.97388	1.17797	1.19125	1.73460	2.49022	-0.67948	1.18221
----	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	---------

ตารางที่ 4.21 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของ
เกลียว ที่ $\theta_H = 150$ องศา

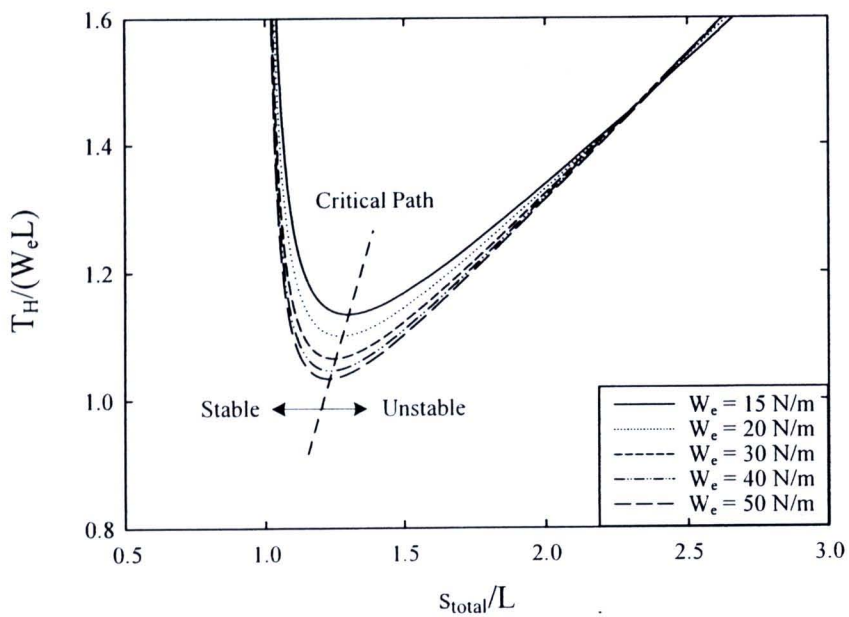
W_c (N/m)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
15	0.26564	0.89292	1.15020	1.15372	1.67080	3.01673	-0.69355	0.94362
20	0.28748	0.91246	1.15236	1.15713	1.99960	2.97085	-0.74034	1.01967
30	0.31473	0.93661	1.15996	1.16737	2.27790	2.89974	-0.74139	1.10247
40	0.32961	0.94905	1.16411	1.17419	2.38820	2.85092	-0.72957	1.14486
50	0.33866	0.95592	1.16486	1.17760	2.44610	2.81562	-0.71657	1.16956



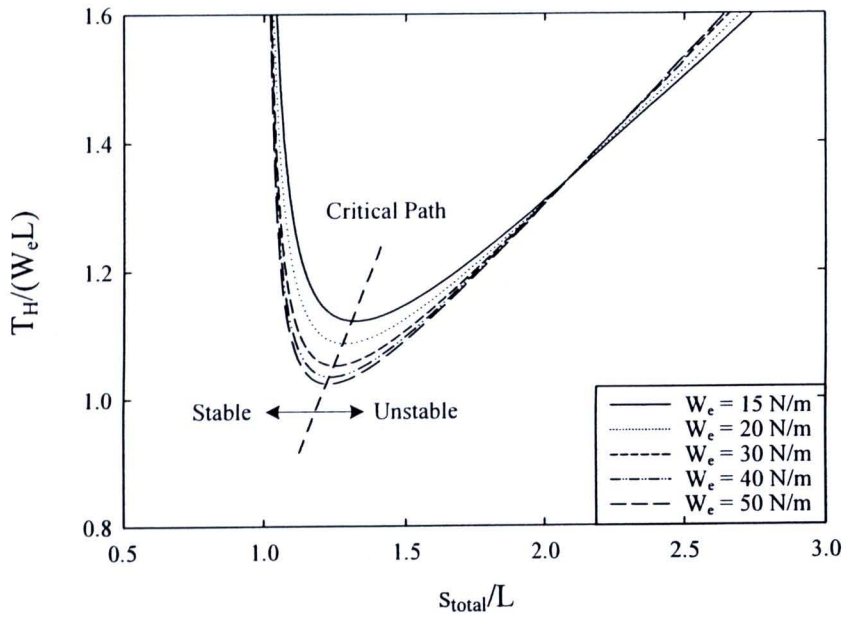
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง z/L กับ r/L ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H
ที่ $W_c = 30$ N/m



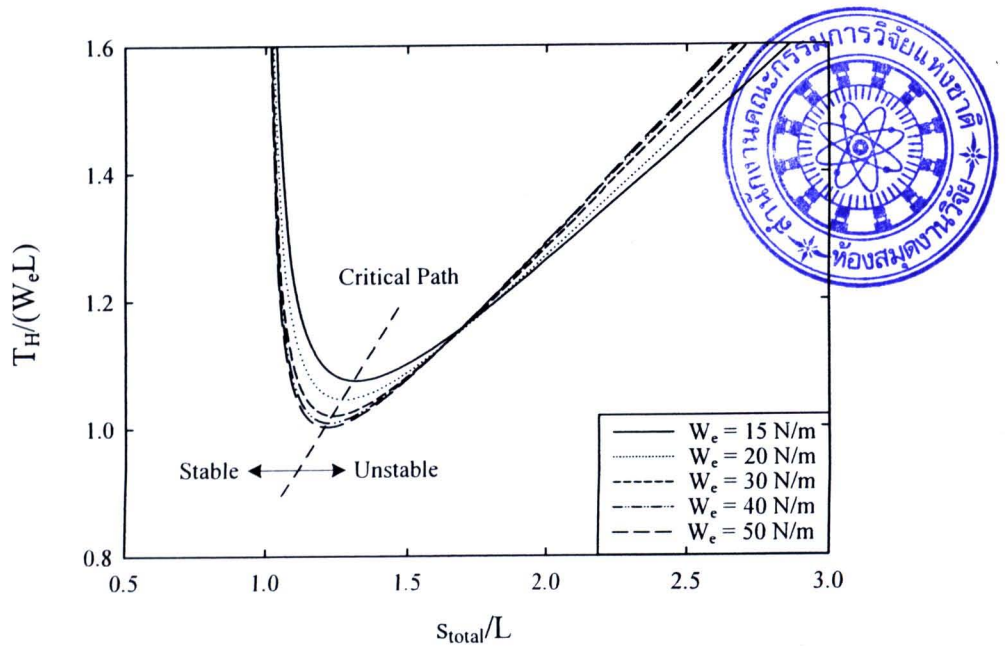
รูปที่ 4.19 ตำแหน่งของเคเบิลบนพิกัด $r-\theta$ ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $W_e = 30 \text{ N/m}$



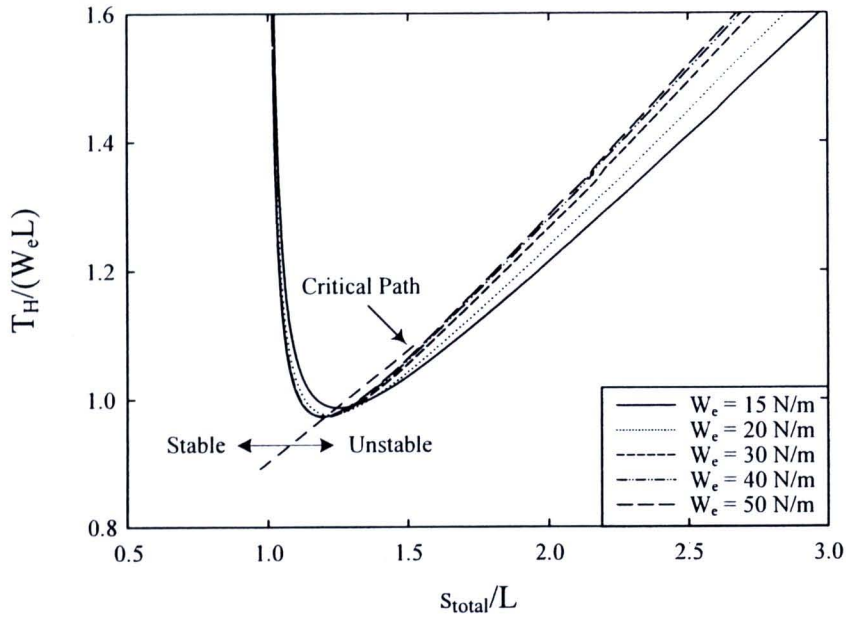
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า น้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ที่ $\theta_H = 30$ องศา



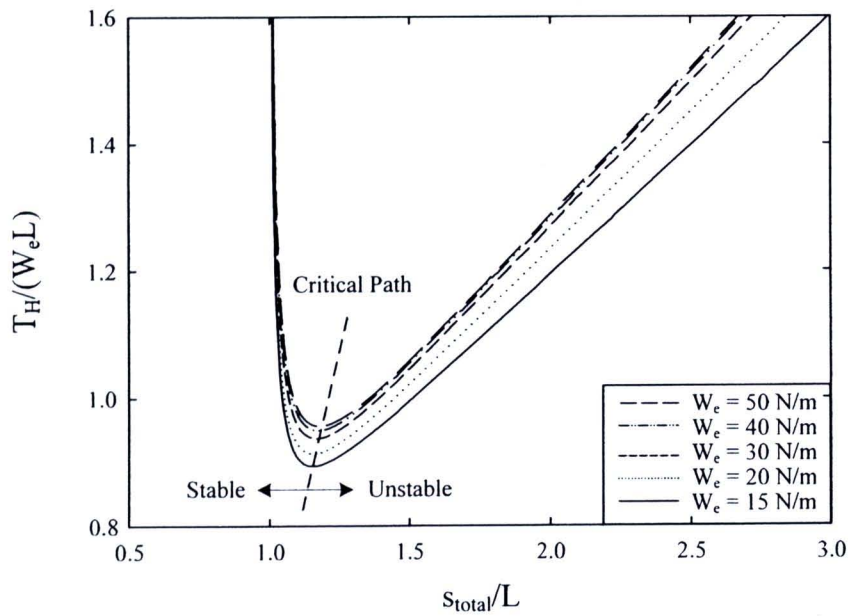
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ที่ $\theta_H = 60$ องศา



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ที่ $\theta_H = 90$ องศา



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ที่ $\theta_H = 120$ องศา



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ที่ $\theta_H = 150$ องศา

วิเคราะห์ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้จากการแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล (W_e) โดยแปรเปลี่ยนตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลในทิศทางต่างๆ กัน

- จากตารางที่ 4.16 พิจารณาที่ W_c เท่ากับ 30 N/m จะพบว่าเมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 30 องศา และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น เนื่องจากตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลที่เปลี่ยนไป ทำให้แรงลากเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำจะมีทิศทางหักล้างกับน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงต่ำสุดมีค่าน้อยลงความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิล ที่ θ_H เท่ากับ 30 องศา จะมีค่าการยึดตัวมากที่สุด และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น
- จากรูปที่ 4.20-4.24 เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา จะพบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่าน้อยลง เมื่อเพิ่มน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล
- เมื่อพิจารณาผลการคำนวณเชิงตัวเลขตามตารางที่ 4.17-4.21 ที่ W_c เท่ากับ 50 N/m เคเบิลจะเกิดการยึดตัวตามแนวแกนได้มากที่สุด และที่ W_c เท่ากับ 15 N/m จะเกิดการยึดตัวตามแนวแกนน้อยที่สุด

4. กรณีแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล (E)

ใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลจากตารางที่ 4.1 กำหนดให้ค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ (R) เท่ากับ 229 m และค่าความลึกของเคเบิล (z_H) เท่ากับ 183 m แล้วทำการแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิลเท่ากับ 1×10^5 , 5×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 , 1×10^8 , และ 2×10^8 kN/m² ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $E = 1 \times 10^6$ kN/m²

θ_H (deg)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
30	0.55047	1.16147	1.30986	1.31747	0.25130	2.33439	-0.54309	1.29085
60	0.53771	1.15229	1.34718	1.35499	0.41830	2.49927	-0.54126	1.06444
90	0.48149	1.10072	1.34753	1.35499	0.57770	2.70020	-0.52514	0.92797
120	0.37593	1.00008	1.27710	1.28335	0.80680	2.88614	-0.51584	0.88082
150	0.25173	0.87978	1.15586	1.16055	1.37250	3.04429	-0.62837	0.88408

ตารางที่ 4.23 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 30$ องศา

E (kN/m ²)	$\overline{T}_B$	$\overline{T}_H$	$\overline{s}_L$	$\overline{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
1×10^5	0.53663	1.11075	1.24751	1.31747	0.24780	2.35698	-0.53397	1.27838
5×10^5	0.54884	1.15537	1.30240	1.31747	0.25090	2.33706	-0.54205	1.28941
1×10^6	0.55047	1.16147	1.30986	1.31747	0.25130	2.33439	-0.54309	1.29085
1×10^7	0.55195	1.16707	1.31670	1.31747	0.25170	2.33195	-0.54404	1.29216
1×10^8	0.55210	1.16764	1.31739	1.31747	0.25170	2.33170	-0.54413	1.29229
2×10^8	0.55210	1.16767	1.31743	1.31747	0.25170	2.33169	-0.54414	1.29230

ตารางที่ 4.24 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 60$ องศา

E (kN/m ²)	$\overline{T}_B$	$\overline{T}_H$	$\overline{s}_L$	$\overline{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
1×10^5	0.52488	1.10293	1.28301	1.35499	0.41260	2.50896	-0.52944	1.04743
5×10^5	0.53620	1.14636	1.33952	1.35499	0.41770	2.50040	-0.53991	1.06245
1×10^6	0.53771	1.15229	1.34718	1.35499	0.41830	2.49927	-0.54126	1.06444
1×10^7	0.53908	1.15774	1.35420	1.35499	0.41900	2.49823	-0.54249	1.06625
1×10^8	0.53922	1.15829	1.35491	1.35499	0.41900	2.49812	-0.54261	1.06643
2×10^8	0.53922	1.15832	1.35495	1.35499	0.41900	2.49812	-0.54262	1.06644

ตารางที่ 4.25 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 90$ องศา

E (kN/m ²)	$\overline{T}_B$	$\overline{T}_H$	$\overline{s}_L$	$\overline{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
1×10^5	0.47066	1.05545	1.28925	1.35840	0.56660	2.70723	-0.51542	0.90954
5×10^5	0.48022	1.09529	1.34020	1.35499	0.57670	2.70073	-0.52357	0.92581

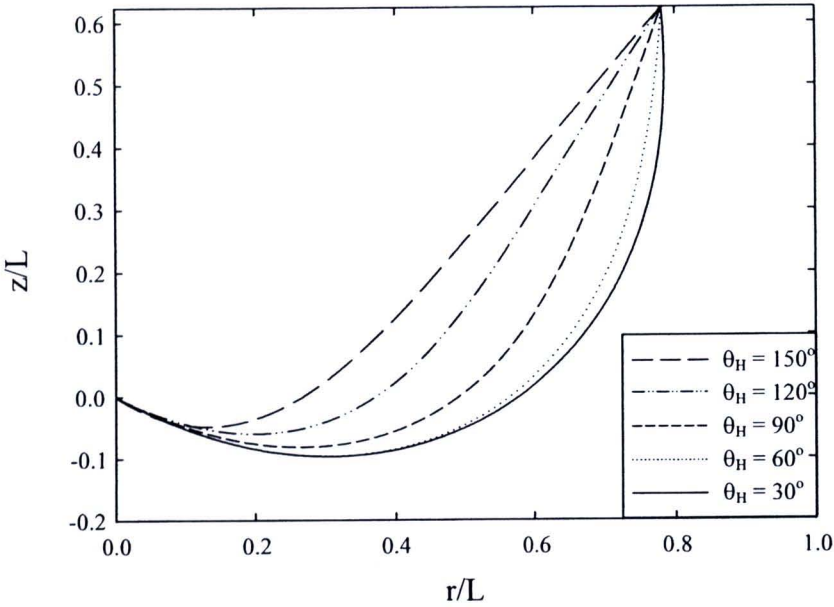
1×10^6	0.48149	1.10072	1.34753	1.35499	0.57770	2.70020	-0.52514	0.92797
1×10^7	0.48265	1.10569	1.35424	1.35499	0.57850	2.69973	-0.52655	0.92994
1×10^8	0.48277	1.10620	1.35492	1.35499	0.57860	2.69968	-0.52670	0.93013
2×10^8	0.48277	1.10622	1.35496	1.35499	0.57860	2.69968	-0.52670	0.93015

ตารางที่ 4.26 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 120$ องศา

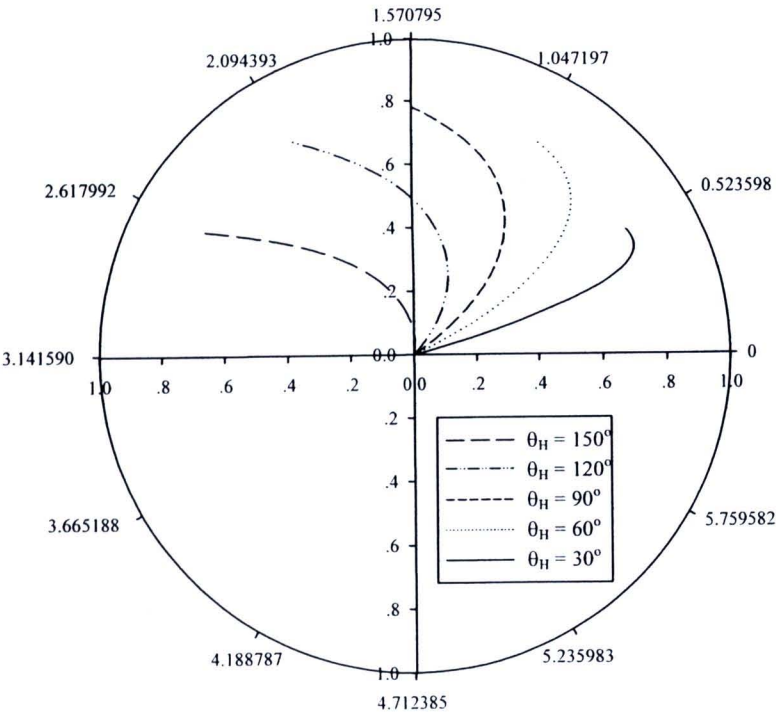
E (kN/m ²)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
1×10^5	0.36730	0.96121	1.22848	1.28677	0.78770	2.89019	-0.50706	0.86371
5×10^5	0.37492	0.99544	1.27095	1.28335	0.80520	2.88640	-0.51424	0.87879
1×10^6	0.37593	1.00008	1.27710	1.28335	0.80680	2.88614	-0.51584	0.88082
1×10^7	0.37685	1.00432	1.28272	1.28335	0.80830	2.88590	-0.51729	0.88266
1×10^8	0.37695	1.00475	1.28329	1.28335	0.80840	2.88588	-0.51743	0.88285
2×10^8	0.37695	1.00478	1.28332	1.28335	0.80840	2.88587	-0.51744	0.88286

ตารางที่ 4.27 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ
เคเบิล ที่ $\theta_H = 150$ องศา

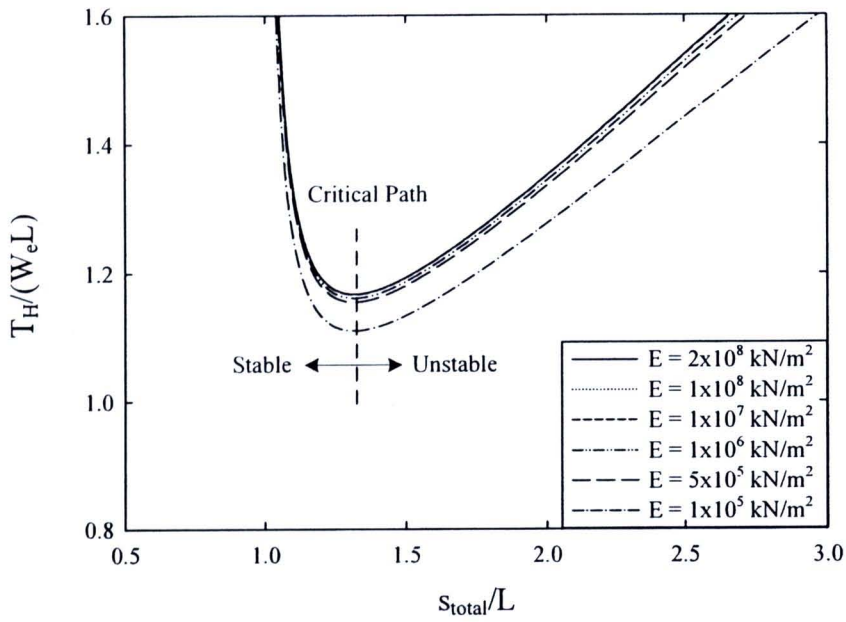
E (kN/m ²)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
1×10^5	0.24409	0.84699	1.11338	1.15713	1.35160	3.04516	-0.60562	0.86875
5×10^5	0.25084	0.87589	1.15125	1.16055	1.36820	3.04455	-0.62698	0.88233
1×10^6	0.25173	0.87978	1.15586	1.16055	1.37250	3.04429	-0.62837	0.88408
1×10^7	0.25254	0.88333	1.16007	1.16055	1.37640	3.04405	-0.62961	0.88568
1×10^8	0.25262	0.88369	1.16050	1.16055	1.37680	3.04403	-0.62974	0.88584
2×10^8	0.25263	0.88371	1.16052	1.16055	1.37690	3.04403	-0.62974	0.88585



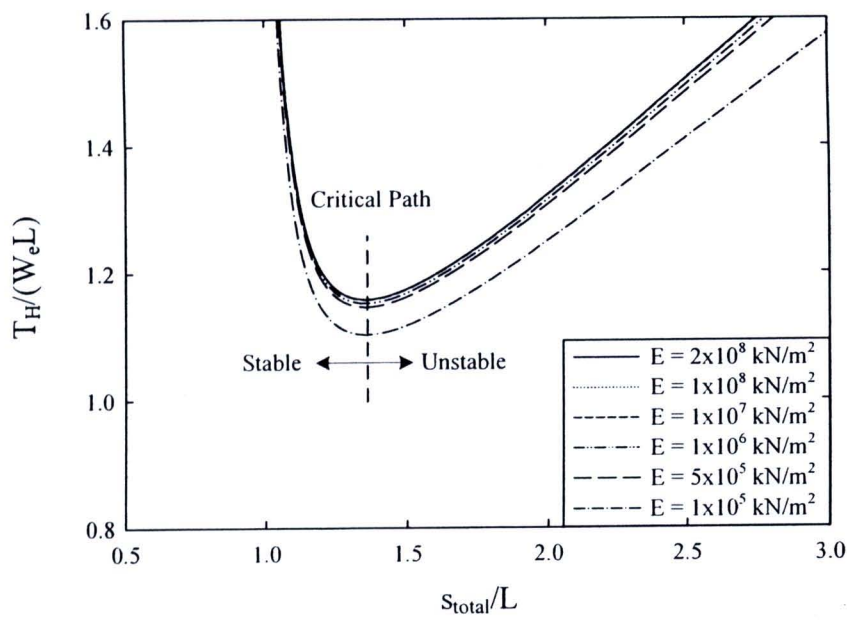
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง z/L กับ r/L ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $E = 1 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$



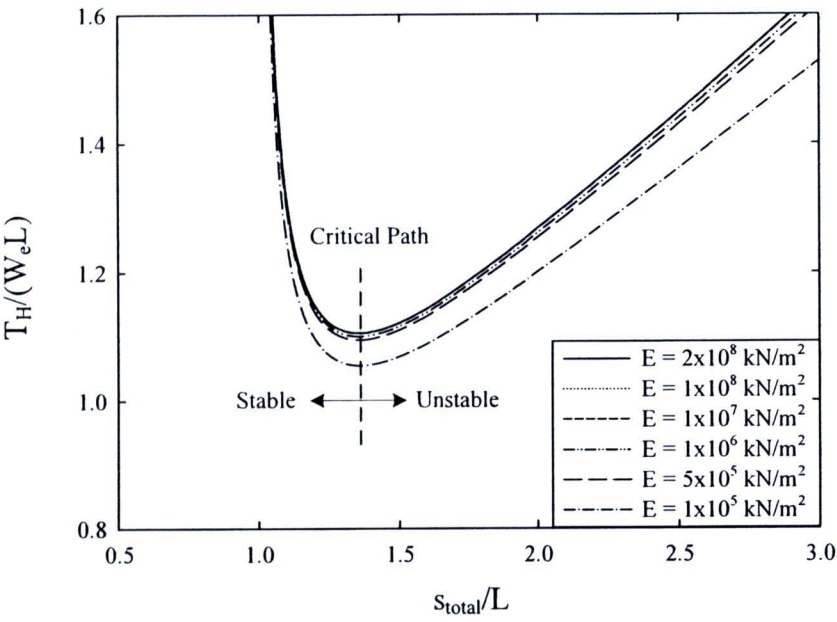
รูปที่ 4.26 ตำแหน่งของเคเบิลบนพิกัด $r - \theta$ ณ สภาวะวิกฤต เมื่อทำการแปรเปลี่ยนค่าของ θ_H ที่ $E = 1 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$



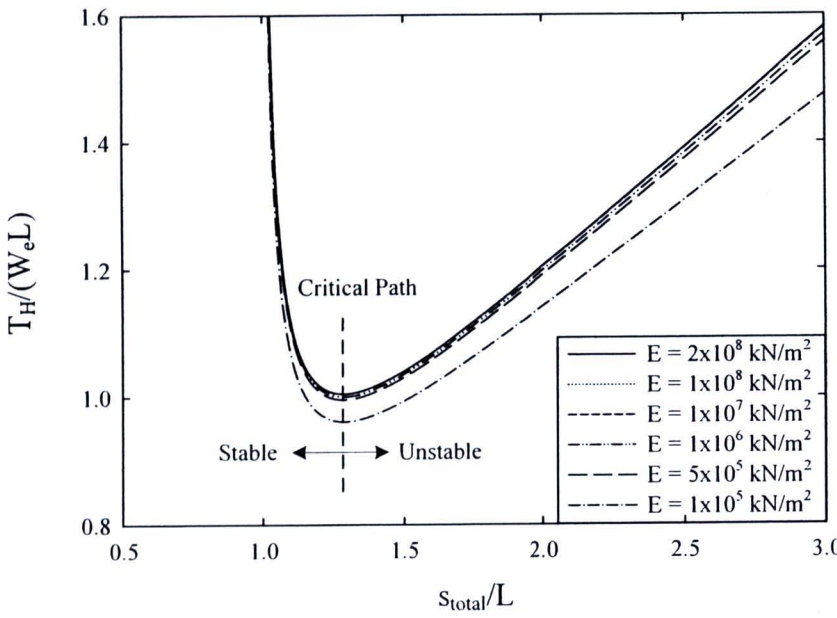
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า
โมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล ที่ $\theta_H = 30$ องศา



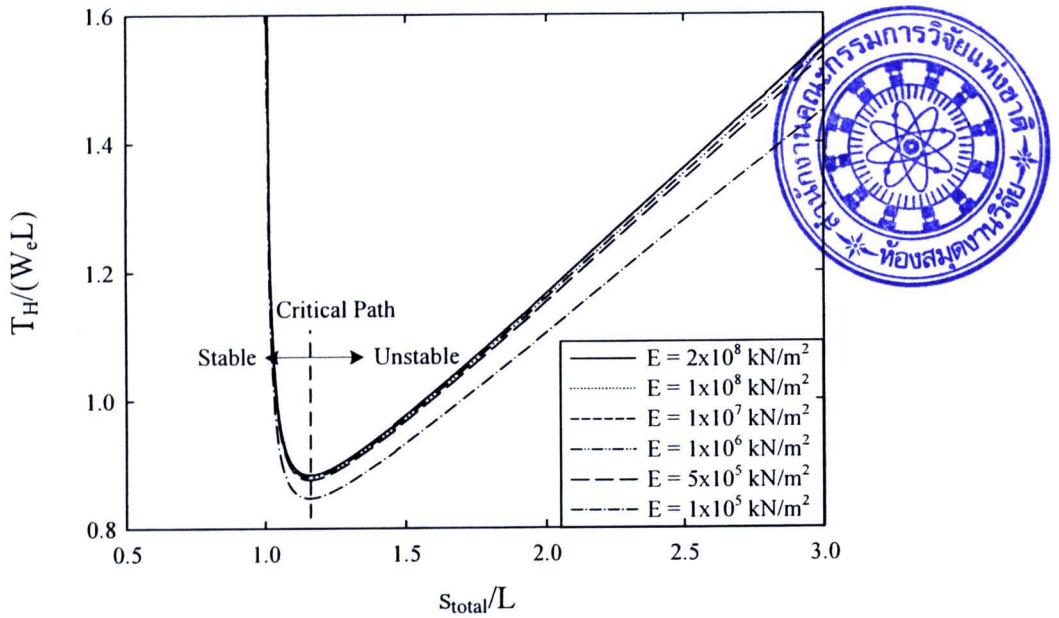
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า
โมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล ที่ $\theta_H = 60$ องศา



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า
โมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล ที่ $\theta_H = 90$ องศา



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า
โมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล ที่ $\theta_H = 120$ องศา



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (W_e L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า
โมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล ที่ $\theta_H = 150$ องศา

วิเคราะห์ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้จากการแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล (E) โดยแปรเปลี่ยนตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลในทิศทางต่างๆ กัน

- จากตารางที่ 4.22 พิจารณาที่ $E = 1 \times 10^6$ kN/m² จะพบว่าเมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 30 องศา และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น เนื่องจากตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลที่เปลี่ยนไป ทำให้แรงลากเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำจะมีทิศทางหักล้างกับน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงต่ำสุดมีค่าน้อยลงความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิล ที่ θ_H เท่ากับ 30 องศา จะมีค่าการยึดตัวมากที่สุด เพราะรับแรงที่มากกว่า θ_H อื่นๆ และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น

- จากรูปที่ 4.27-4.31 เมื่อ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา จะพบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่าน้อยลง เมื่อโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิลลดลง

- เมื่อพิจารณาผลการคำนวณเชิงตัวเลขตามตารางที่ 4.23-4.27 ที่ $E = 1 \times 10^5$ kN/m² เคเบิลจะเกิดการยึดตัวตามแนวแกนได้มากที่สุด และที่ $E = 2 \times 10^8$ kN/m² จะเกิดการยึดตัวตามแนวแกนน้อยที่สุด เพราะค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิลยิ่งมาก ก็จะทำให้เคเบิลสามารถต้านทานการยึดตัวได้มากขึ้นด้วย

4.1.3 แรงดึงภายในเคเบิลภายใต้สภาวะสมดุล

แรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเคเบิลแต่ละตำแหน่งอาจจะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการรับแรงที่มากระทำต่างๆ กัน ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดแรงดึงสูงสุด แรงดึงต่ำสุด ของแต่ละสภาวะสมดุล และความยาวของเคเบิลหลังเกิดการยืดตัว เพื่อสามารถนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 4.28 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 30$ องศา

สภาวะ		$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	0.77065	1.46645	1.07456	0.34730	1.19329	0.10999	1.27624
	2s	0.59640	1.29242	1.13631	0.31520	1.71810	-0.12426	1.33363
	3s	0.53589	1.23178	1.19807	0.28950	2.12198	-0.29210	1.32781
	4s	0.51341	1.20910	1.25982	0.26540	2.37698	-0.41574	1.30205
วิกฤต	cr	0.50827	1.20377	1.32158	0.24270	2.53716	-0.50816	1.27275
ไร้เสถียรภาพ	4u	0.51367	1.20894	1.39260	0.21870	2.65682	-0.58731	1.24076
	3u	0.53711	1.23205	1.51302	0.18340	2.77919	-0.67857	1.19449
	2u	0.59817	1.29257	1.72299	0.13700	2.89358	-0.76638	1.13287
	1u	0.77275	1.46609	2.21704	0.07670	3.00212	-0.84534	1.04817

ตารางที่ 4.29 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 60$ องศา

สภาวะ		$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	0.79502	1.49420	1.07456	0.65160	1.85065	0.15653	1.10126
	2s	0.60121	1.30053	1.13631	0.56940	2.14424	-0.07491	1.11692
	3s	0.52986	1.22904	1.19807	0.51200	2.33272	-0.24396	1.11024
	4s	0.50044	1.19943	1.25982	0.46470	2.46160	-0.37225	1.09802
วิกฤต	cr	0.48992	1.18864	1.34628	0.40770	2.58507	-0.50370	1.07985
ไร้เสถียรภาพ	4u	0.50121	1.19961	1.46053	0.34410	2.69213	-0.61974	1.05827

เสถียรภาพ	3u	0.53074	1.22881	1.59331	0.28390	2.77413	-0.70452	1.03752
	2u	0.60331	1.30085	1.83416	0.20490	2.86635	-0.78794	1.00911
	1u	0.79773	1.49422	2.38070	0.11050	2.96947	-0.85672	0.97041

ตารางที่ 4.30 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R/z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 90$ องศา

สภาวะ		$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	0.71390	1.41638	1.07456	0.95240	2.30732	0.20445	0.95974
	2s	0.53250	1.23550	1.13631	0.80830	2.48802	-0.03901	0.96357
	3s	0.46566	1.16874	1.19807	0.71090	2.59819	-0.21861	0.96059
	4s	0.43832	1.14137	1.25982	0.63480	2.67373	-0.35554	0.95648
วิกฤต	cr	0.42922	1.13215	1.34011	0.55320	2.74323	-0.48785	0.95130
ไร้เสถียรภาพ	4u	0.43889	1.14164	1.44509	0.46560	2.80634	-0.60673	0.94550
	3u	0.46604	1.16855	1.57169	0.38100	2.85910	-0.69820	0.93985
	2u	0.53359	1.23569	1.80019	0.27180	2.92114	-0.78727	0.93218
	1u	0.71519	1.41640	2.31585	0.14400	2.99558	-0.85830	0.92138

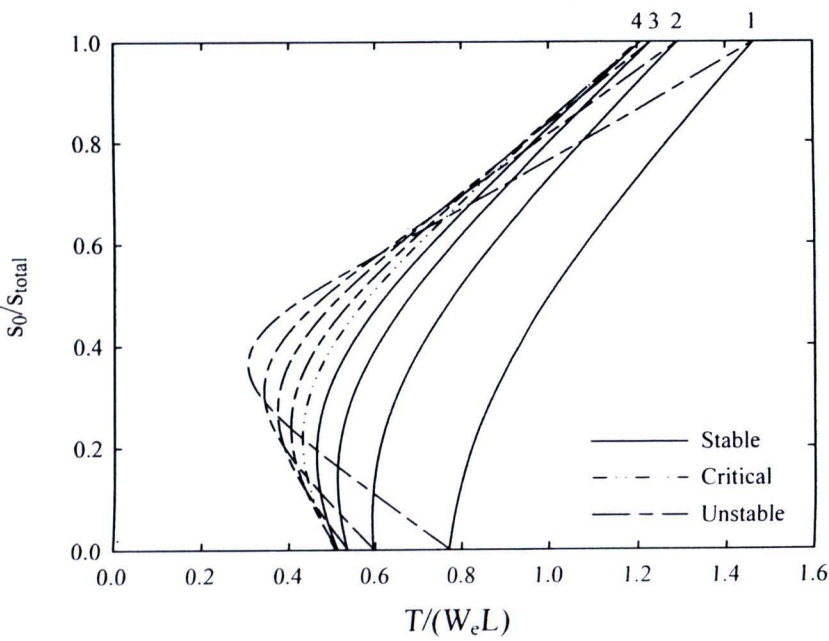
ตารางที่ 4.31 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R/z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 120$ องศา

สภาวะ		$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	0.48083	1.18722	1.07456	1.24540	2.69881	0.18841	0.88971
	2s	0.36557	1.07265	1.13631	1.02140	2.80442	-0.09900	0.89505
	3s	0.32961	1.03692	1.19807	0.87010	2.86458	-0.30135	0.89711
	4s	0.32037	1.02773	1.25982	0.75380	2.90440	-0.44616	0.89820
วิกฤต	cr	0.32024	1.02760	1.26909	0.73840	2.90928	-0.46409	0.89832
ไร้เสถียรภาพ	4u	0.32036	1.02771	1.27835	0.72340	2.91392	-0.48119	0.89844
	3u	0.32982	1.03713	1.36481	0.60120	2.94888	-0.60719	0.89921

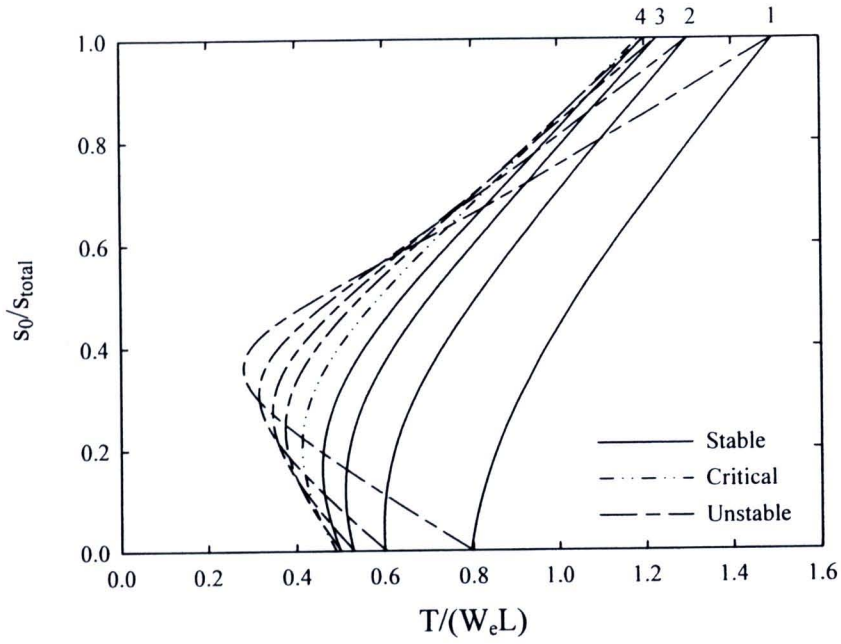
	2u	0.36521	1.07233	1.51302	0.44640	2.98746	-0.73088	0.89990
	1u	0.48046	1.18707	1.86195	0.24440	3.03540	-0.83878	0.90048

ตารางที่ 4.32 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R/z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 150$ องศา

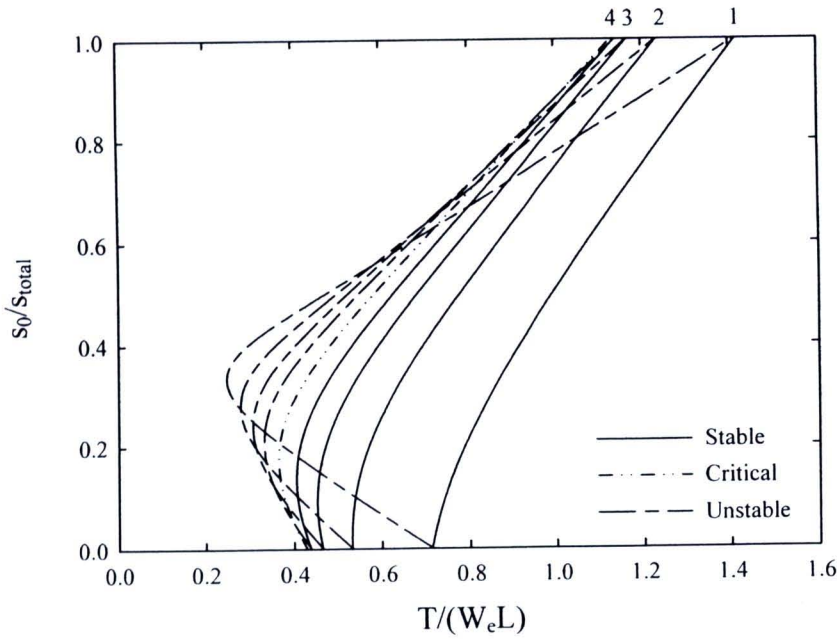
สภาวะ		$\overline{T}_B$	$\overline{T}_H$	$\overline{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	0.26571	0.97605	1.04368	1.78780	2.97866	0.18652	0.88176
	2s	0.20849	0.91910	1.07456	1.52450	3.01903	-0.09830	0.88784
	3s	0.18986	0.90063	1.10543	1.32320	3.04136	-0.30709	0.89081
	4s	0.18477	0.89563	1.13631	1.15900	3.05578	-0.45644	0.89258
วิกฤต	cr	0.18464	0.89551	1.14249	1.12960	3.05809	-0.48073	0.89285
ไร้เสถียรภาพ	4u	0.18471	0.89559	1.14866	1.10110	3.06025	-0.50347	0.89310
	3u	0.18948	0.90039	1.19189	0.92610	3.07227	-0.62714	0.89445
	2u	0.20802	0.91891	1.26909	0.69440	3.08574	-0.75022	0.89587
	1u	0.26547	0.97616	1.44509	0.39540	3.10161	-0.84987	0.89736



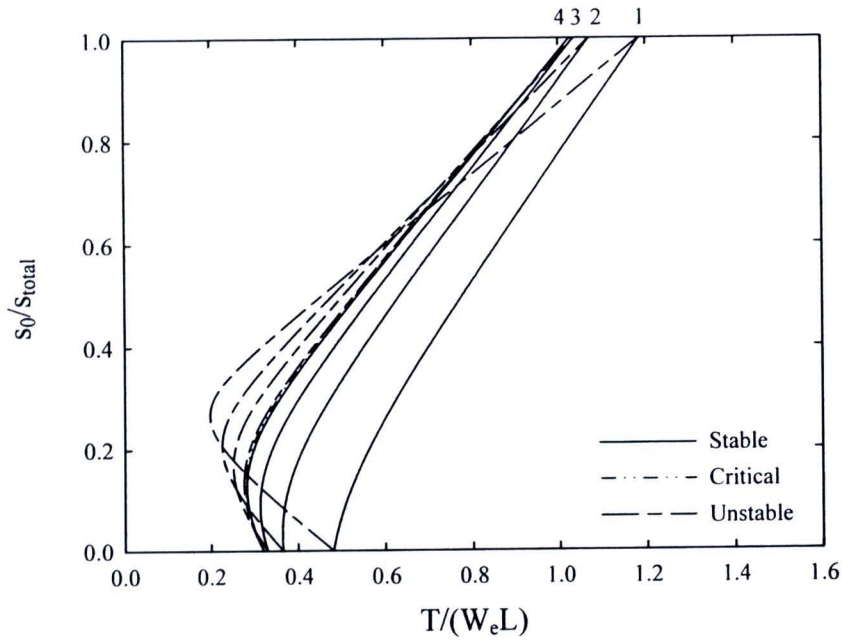
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (W_e L)$ ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R/z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 30$ องศา



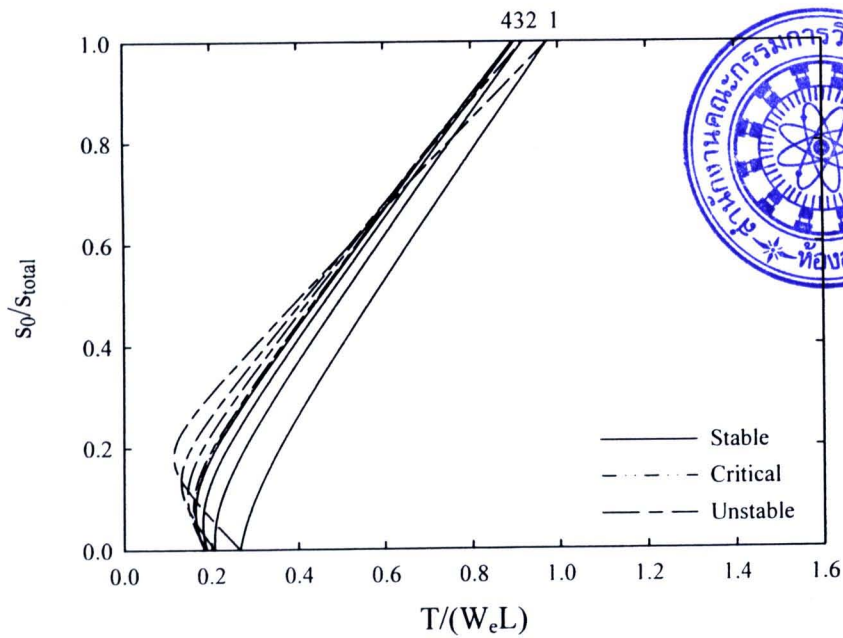
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (W_e L)$ ณ สถานะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สถานะวิกฤต และสถานะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 60$ องศา



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (W_e L)$ ณ สถานะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สถานะวิกฤต และสถานะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 90$ องศา



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (W_e L)$ ณ สถานะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สถานะวิกฤต และสถานะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 120$ องศา



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (W_e L)$ ณ สถานะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สถานะวิกฤต และสถานะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 150$ องศา

จากรูปที่ 4.32-4.36 พิจารณาแรงดึงที่จุดยึดครั้งที่ปลายบนและปลายล่างของเคเบิล จะพบว่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิลจะมีค่ามากกว่าแรงดึงที่ปลายล่างของทุกๆ θ_H และที่ระดับความลึกเดียวกันแรงดึงที่สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ จะมีค่ามากกว่าแรงดึงที่สภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพเสมอ แต่จะมีค่าเท่ากันตรงที่จุดยึดครั้งที่ปลายบนและปลายล่างดังรูป นั่นคือ แรงดึงหนึ่งค่าสามารถทำให้เกิดสภาวะสมดุลได้สองแบบคือ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพและสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ โดยจะมีค่าแรงดึงต่ำสุด ซึ่งเรียกว่าสภาวะวิกฤต เป็นเส้นแบ่งระหว่างสภาวะสมดุลทั้งสอง

4.2 ผลการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว

สำหรับการวิเคราะห์เคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว ได้ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับงานวิจัยของ Chucheeepsakul และ Wang [17] ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหาในสองมิติ และสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาในสามมิติ ได้ทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Friswell [15] ในงานวิจัยที่ผ่านมาจะมีสองแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาคือ แบบจำลองของ Berteaux [1] กับแบบจำลองของ Seck-Hong [6] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของทั้งสองแบบจำลอง หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างและความลึกของเคเบิล (R/z_H) ที่มีต่อสภาวะสมดุลของเคเบิลใต้ทะเล โดยจะทำการวิเคราะห์ที่ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา ตามลำดับ

ตารางที่ 4.33 ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลที่ใช้ในการวิเคราะห์กรณีเคเบิลใต้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว

คุณสมบัติของเคเบิล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
1. ความลึกของเคเบิล	z_H	40	m
2. ระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ	R	60	m
3. เส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล	D	0.023	m
4. น้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิลต่อความยาว	W_c	0	N / m
5. ความหนาแน่นของน้ำทะเล	ρ_w	1021	kg / m^3
6. โมดูลัสความยืดหยุ่นของเคเบิล	E	1.628×10^6	kN / m^2
7. อัตราส่วนปัวซอง	ν	0	-
8. แรงลากในแนวราบเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำคงที่ตลอดความลึก ตามแนวแกน x	q_x	1000	N / m
9. แรงลากในแนวราบเนื่องจากความเร็วของ	q_y	0	N / m

กระแสน้ำคงที่ตลอดความลึก ตามแนวแกน y			
10. มุมระหว่างแกน x กับระยะห่างปลายบนกับ ปลายล่างตามแนวราบ	θ_H	30 - 150	deg

4.2.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

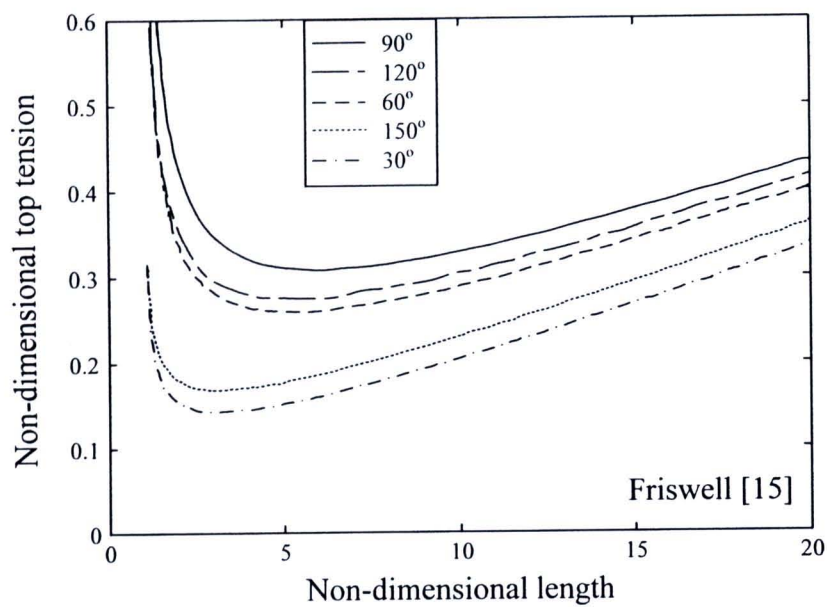
ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว โดยใช้ระบบพิกัดทรงกระบอกสำหรับในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับระบบพิกัดฉากในงานวิจัยของ Chucheeepsakul และ Wang [17] และงานวิจัยของ Friswell [15] ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหาในสองมิติและสามมิติตามลำดับ

1. การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเคเบิลในสามมิติ

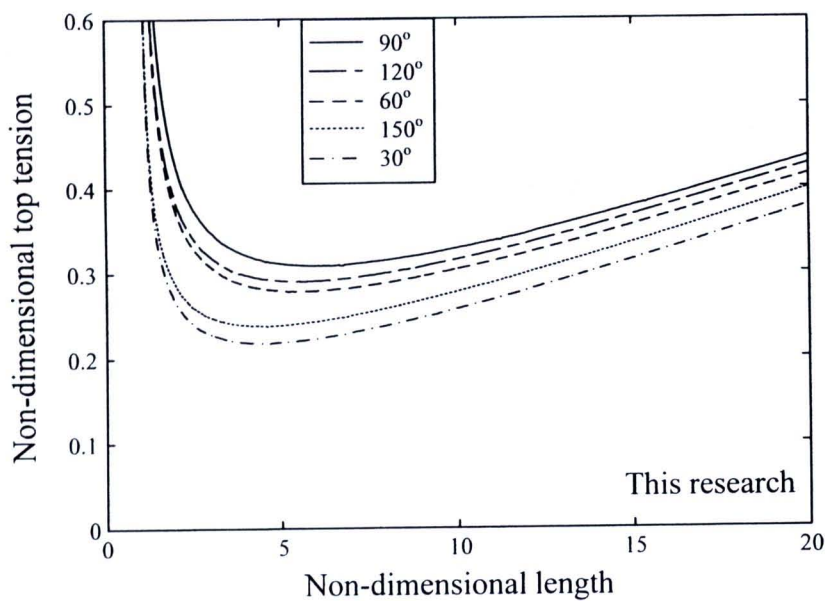
ตรวจสอบผลการวิเคราะห์ของเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวในสามมิติ กรณีไม่คำนึงถึงผลของการยืดตัวตามแนวแกนกับงานวิจัยของ Friswell [15] การวิเคราะห์ปัญหาจะใช้หลักการเดียวกับแบบจำลองของ Berteaux [1] ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลจะใช้ตามตารางที่ 4.1 กำหนดให้ค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ (R) เท่ากับ 229 m, ค่าความลึกของเคเบิล (z_H) เท่ากับ 183 m, ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงลากในแนวสัมผัสกับเคเบิล (C_{DT}) เท่ากับ $0.03/\pi$, ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงลากในแนวตั้งฉากกับเคเบิล (C_{DN}) เท่ากับ 1.8, และจะไม่คิณน้ำหนักประสิทธิผลของเคเบิล (W_e) โดยจะทำการเปรียบเทียบที่ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา ตามลำดับ

ตารางที่ 4.34 ผลการเปรียบเทียบเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Friswell [15] ณ สภาวะวิกฤต

θ_H (deg)	Non-dimensional top tension		ความแตกต่าง (%)	Non-dimensional length		ความแตกต่าง (%)
	งานวิจัยนี้	Friswell [15]		งานวิจัยนี้	Friswell [15]	
30	0.21758	0.14185	53.39	4.69813	3.03872	54.61
60	0.27824	0.25925	7.32	5.23030	5.30944	1.49
90	0.30845	0.30806	0.13	6.29464	5.94456	5.89
120	0.29025	0.27421	5.85	5.60555	4.92077	13.92
150	0.23750	0.16903	40.51	4.60261	3.00832	53.00



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่ปลายบนกับความยาวของเคเบิลใต้ทะเลแบบไร้หน่วย
ในงานวิจัยของ Friswell [15]



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่ปลายบนกับความยาวของเคเบิลใต้ทะเลแบบไร้หน่วย
ในงานวิจัยนี้

จากรูปที่ 4.37 และ 4.38 จะเห็นว่าสำหรับกรณีที่ θ_H เท่ากับ 90 องศา จะได้ค่าแรงดึงต่ำสุดที่เท่ากัน แต่สำหรับกรณีที่ θ_H เท่ากับ 60 และ 120 องศา ในงานวิจัยนี้จะได้ค่าแรงดึงต่ำสุดมากกว่างานวิจัยของ Friswell [15] ส่วนที่ θ_H เท่ากับ 30 และ 150 องศา ในงานวิจัยนี้สามารถทำการหาค่าแรงดึงที่

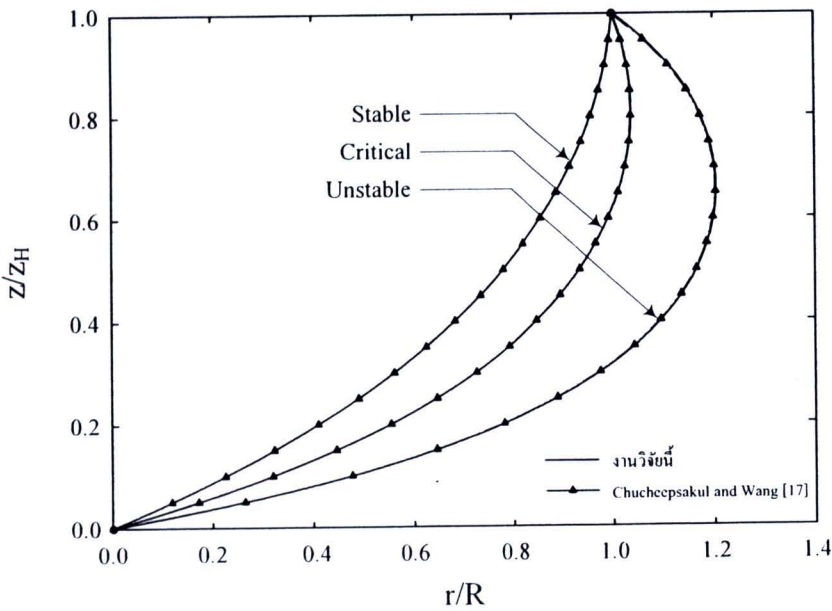
ปลายบนของเคเบิลในกรณีที่เคเบิลมีความตึงมาก จะได้ค่าแรงดึงที่ปลายบนมากกว่าในงานวิจัยของ Friswell [15] ที่หาค่าแรงดึงที่ปลายบนได้ประมาณ 0.32 ดังแสดงในรูปที่ 4.37

2. การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเคเบิลในสองมิติ

ตรวจสอบผลการวิเคราะห์ของเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวในสองมิติ กรณีไม่คำนึงถึงผลของการยืดตัวตามแนวแกนกับงานวิจัยของ Chucheesakul และ Wang [17] โดยจะใช้แบบจำลองของ Seck-Hong [6] และใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลตามตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.35 ผลการเปรียบเทียบเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Chucheesakul และ Wang [17] ณ สภาวะสมดุล

สภาวะ	งานวิจัย	$T_H / (q_x H)$	s_L / H	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	งานวิจัยนี้	0.53276	1.89385	0.26289	1.44079
	Chucheesakul และ Wang [17]	0.53275	1.89400	0.26288	1.44080
วิกฤต	งานวิจัยนี้	0.39075	2.06000	0.17868	2.10632
	Chucheesakul และ Wang [17]	0.39076	2.06000	0.17869	2.10633
ไร้เสถียรภาพ	งานวิจัยนี้	0.53278	2.50250	0.11274	2.69676
	Chucheesakul และ Wang [17]	0.53275	2.50000	0.11318	2.69606



รูปที่ 4.39 ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง r / R กับ z / z_H ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Chucheesakul และ Wang [17] ณ สภาวะสมดุล

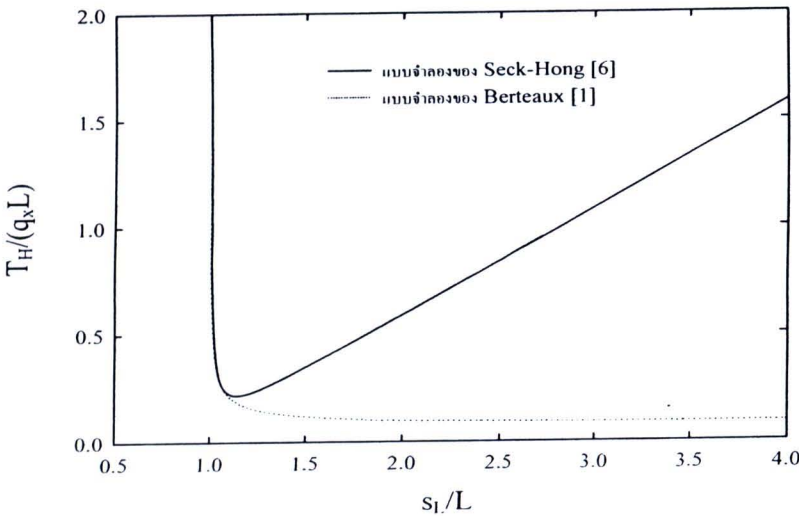
ผลการเปรียบเทียบเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Chucheeepsakul และ Wang [17] มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าแบบจำลองสมการต่างๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลในสองมิติ มีความถูกต้องเชื่อถือได้ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

4.2.2 เปรียบเทียบเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวตามแบบจำลองของ Berteaux กับ Seck-Hong

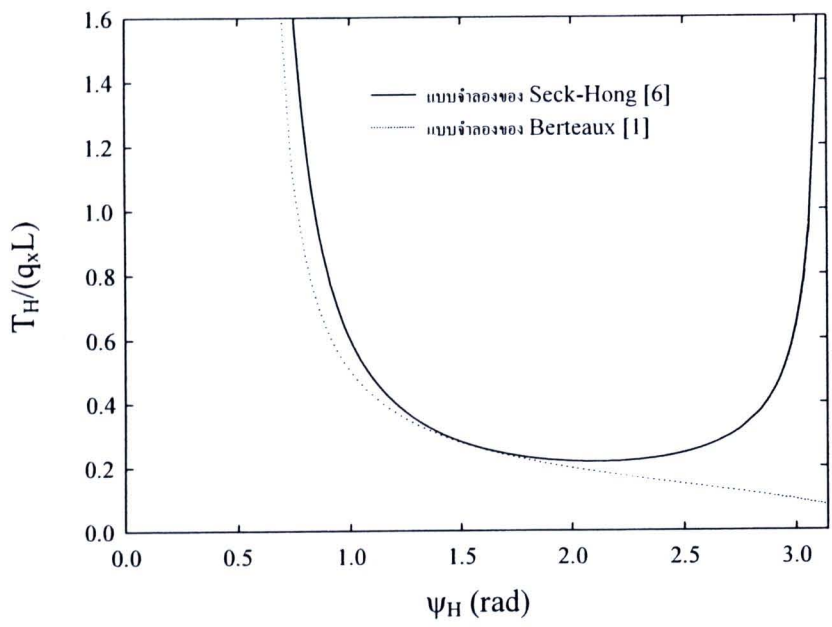
เพื่อหาแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวที่เหมาะสม โดยจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของสองแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลตามตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.36 ผลการเปรียบเทียบเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัวตามแบบจำลองของ Berteaux [1] กับแบบจำลองของ Seck-Hong [6] ณ สภาวะสมดุล

สภาวะ	แบบจำลอง	$T_H / (q_x L)$	s_L / L	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	Berteaux [1]	0.99182	1.00401	0.45555	0.76867
	Seck-Hong [6]	1.43363	1.00401	0.45531	0.76835
วิกฤต	Berteaux [1]	0.08744	3.44053	0.03870	3.08205
	Seck-Hong [6]	0.21675	1.14268	0.17868	2.10632
ไร้เสถียรภาพ	Berteaux [1]	0.08790	3.72204	0.03596	3.08861
	Seck-Hong [6]	1.44646	3.72204	0.03084	3.09299



รูปที่ 4.40 ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (q_x L)$ กับ s_L / L ตามแบบจำลองของ Berteaux [1] กับแบบจำลองของ Seck-Hong [6]



รูปที่ 4.41 ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H/(q_x L)$ กับ ψ_H ตามแบบจำลองของ Berteaux [1] กับแบบจำลองของ Seck-Hong [6]

จากการเปรียบเทียบของทั้งสองแบบจำลองจะพบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบนและความยาวของเคเบิล มีค่าเท่ากัน ในสภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพเท่านั้น เมื่อเข้าสู่สภาวะวิกฤต ผลเปรียบเทียบของทั้งสองแบบจำลองนั้นค่อนข้างแตกต่างกันคือ แบบจำลองของ Berteaux [1] จะทำการคำนวณหาค่าที่สภาวะวิกฤต ได้ยาก เนื่องจากแบบจำลองของ Berteaux [1] จะกำหนดให้แรงลากเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำกระทำในทิศทางสัมผัสและตั้งฉากกับเคเบิลตลอดความยาว มีผลทำให้ผลรวมของแรงในแนวตั้งมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งจะไม่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว เพราะผลรวมของแรงในแนวตั้งต้องเท่ากับศูนย์ จะเป็นไปตามสมมติฐานของ Seck-Hong [6] ในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลตามแบบจำลองของ Seck-Hong [6] โดยใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลในสามมิติ ที่คำนึงถึงผลของการยึดตัวตามแนวแกน

4.2.3 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสภาวะสมดุลของเคเบิลได้ทะเล

ในการวิเคราะห์สภาวะสมดุลของเคเบิลได้ทะเลแบบสะเทินลอยตัว จะมีตัวแปรสำคัญต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบที่สภาวะสมดุล การแปรเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ล้วนมีผลกระทบต่อตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลได้ทะเลทั้งสิ้น ในงานวิจัยนี้จะนำแบบจำลองของ Seck-Hong [6] มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของเคเบิลในสามมิติ โดยทำการแปรเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ แปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ

และความลึกของเคเบิล (R/z_H) โดยจะทำการวิเคราะห์ที่ θ_H เท่ากับ 30, 60, 90, 120, และ 150 องศา ตามลำดับ

1. กรณีแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบและความลึกของเคเบิล (R/z_H)

ใช้ข้อมูลทางกายภาพของเคเบิลจากตารางที่ 4.33 กำหนดให้ค่าความลึกของเคเบิล (z_H) เท่ากับ 40 m เป็นค่าคงที่ แล้วทำการแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ (R) โดยให้มีอัตราส่วน R/z_H เท่ากับ 0.5, 1, 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.37 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R/z_H = 1$

θ_H (deg)	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
30	1.00287	0.39048	1.16124	1.21269	0.13740	2.66086	0.26735	0.74595
60	0.91334	0.55984	1.19444	1.24804	0.28700	2.60732	0.31590	0.53154
90	0.75455	0.75455	1.21116	1.26572	0.43040	2.71120	0.39527	0.39527
120	0.55984	0.91339	1.19444	1.24804	0.53420	2.85463	0.53154	0.31589
150	0.39030	1.00265	1.16126	1.21269	0.47950	3.00419	0.74576	0.26727

ตารางที่ 4.38 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 30$ องศา

R/z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.5	0.92678	0.53949	1.20507	1.24773	0.10380	2.92130	0.39302	0.71825
1	1.00287	0.39048	1.16124	1.21269	0.13740	2.66086	0.26735	0.74595
3	1.04770	0.22612	1.04908	1.15028	0.15350	2.21691	0.10157	0.48926
5	1.05026	0.20105	0.98650	1.13747	0.15430	2.13341	0.06139	0.32629
7	1.05078	0.19346	0.93518	1.13137	0.15540	2.09631	0.04419	0.24232
9	1.05097	0.19024	0.89303	1.12999	0.15530	2.08723	0.03435	0.19089

ตารางที่ 4.39 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบน
กับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 60$ องศา

R / z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.5	0.85918	0.63556	1.20450	1.24773	0.20920	2.82426	0.44726	0.62440
1	0.91334	0.55984	1.19444	1.24804	0.28700	2.60732	0.31590	0.53154
3	0.95852	0.48417	1.11783	1.22934	0.34910	2.37328	0.13090	0.26136
5	0.96406	0.47377	1.05668	1.22573	0.35680	2.34059	0.08048	0.16433
7	0.96568	0.47070	1.00190	1.22330	0.36000	2.32808	0.05805	0.11931
9	0.96635	0.46941	0.95508	1.22386	0.36020	2.32624	0.04519	0.09313

ตารางที่ 4.40 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบน
กับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 90$ องศา

R / z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.5	0.75463	0.75463	1.20419	1.24773	0.29540	2.84618	0.52731	0.52731
1	0.75455	0.75455	1.21116	1.26572	0.43040	2.71120	0.39527	0.39527
3	0.75446	0.75446	1.14536	1.26096	0.55750	2.58407	0.17457	0.17457
5	0.75445	0.75445	1.08385	1.26005	0.57350	2.56805	0.10810	0.10810
7	0.75444	0.75444	1.02719	1.25865	0.57950	2.56205	0.07808	0.07808
9	0.75444	0.75444	0.97550	1.25699	0.58340	2.55824	0.06113	0.06113

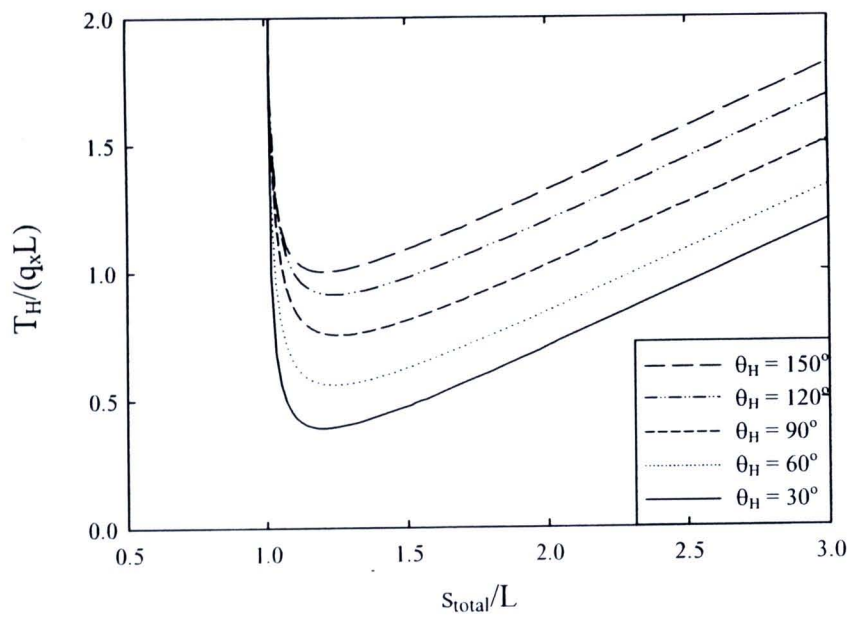
ตารางที่ 4.41 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบน
กับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 120$ องศา

R / z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.5	0.63571	0.85931	1.20449	1.24773	0.31730	2.93240	0.62448	0.44730
1	0.55984	0.91339	1.19444	1.24804	0.53420	2.85463	0.53154	0.31589

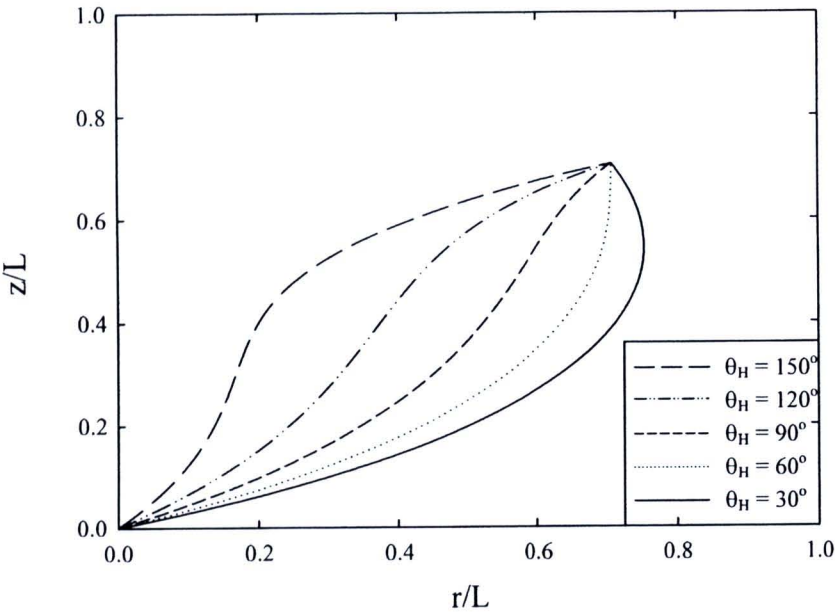
3	0.48417	0.95851	1.11783	1.22934	0.76830	2.79252	0.26136	0.13089
5	0.47377	0.96406	1.05668	1.22573	0.80100	2.78483	0.16433	0.08048
7	0.47070	0.96568	1.00190	1.22330	0.81350	2.78158	0.11931	0.05805
9	0.46940	0.96635	0.95509	1.22386	0.81530	2.78142	0.09313	0.04519

ตารางที่ 4.42 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบน กับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 150$ องศา

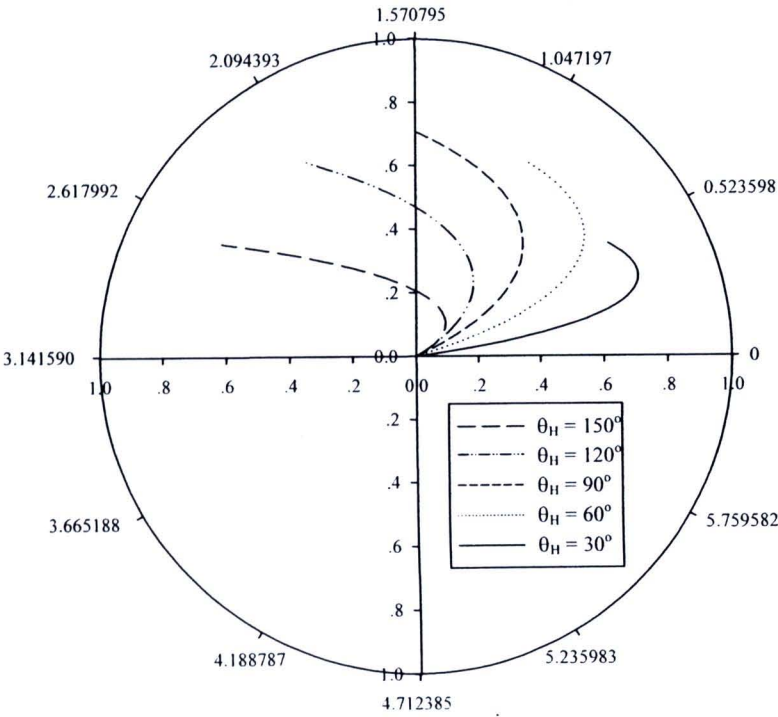
R/z_H	$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_L$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
0.5	0.53972	0.92703	1.20505	1.24773	0.22040	3.03783	0.71840	0.39309
1	0.39030	1.00265	1.16126	1.21269	0.47950	3.00419	0.74576	0.26727
3	0.22616	1.04776	1.04119	1.14237	0.96380	2.98460	0.50109	0.10387
5	0.20108	1.05030	0.98650	1.13747	1.00780	2.98733	0.32628	0.06139
7	0.19348	1.05081	0.93517	1.13137	1.04500	2.98621	0.24234	0.04419
9	0.19026	1.05060	0.89302	1.12999	1.05410	2.98634	0.19092	0.03435



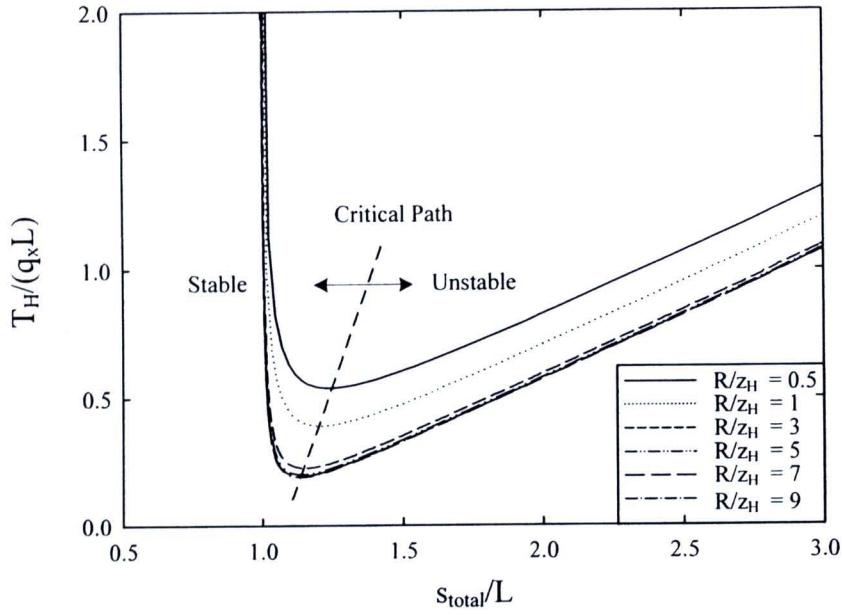
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (q_s L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R/z_H = 1$



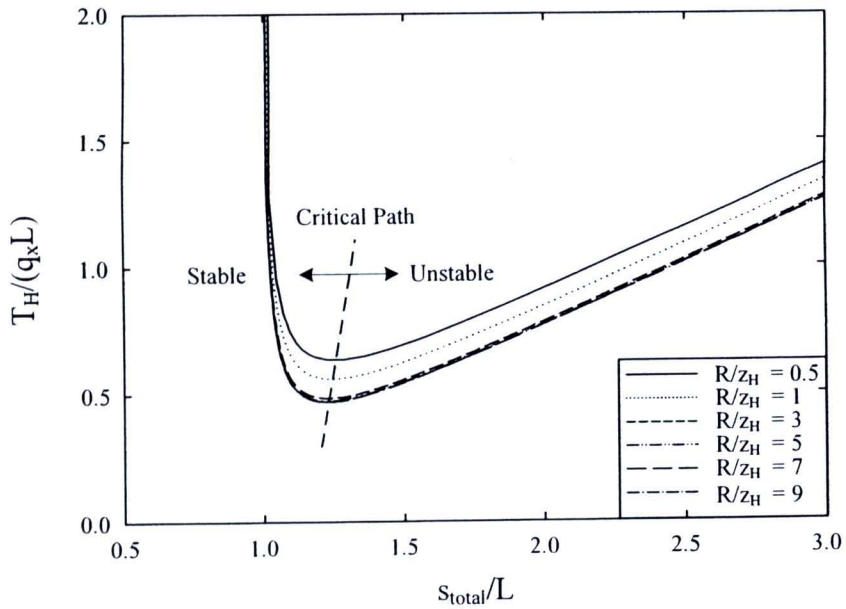
รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง z/L กับ r/L ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R/z_H = 1$



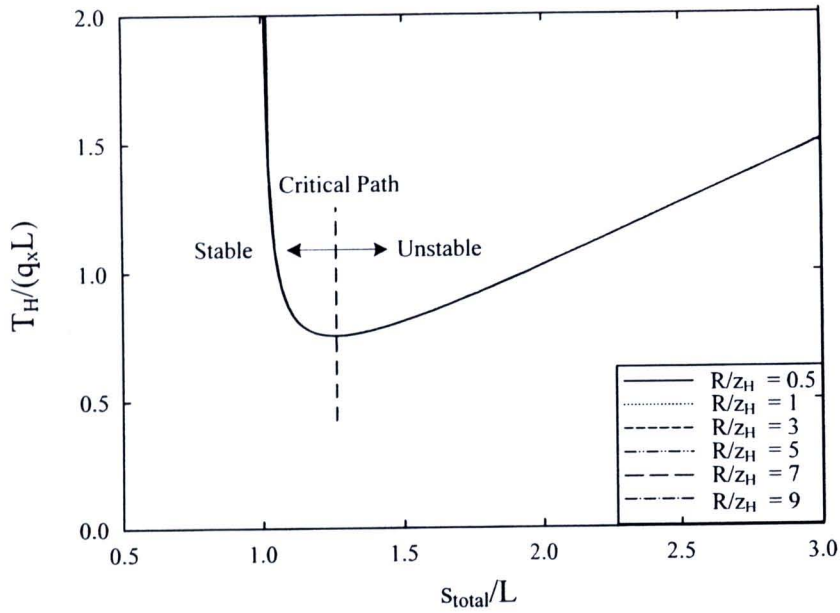
รูปที่ 4.44 ตำแหน่งของเคเบิลบนพิกัด $r-\theta$ ณ สภาวะวิกฤต เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H ที่ $R/z_H = 1$



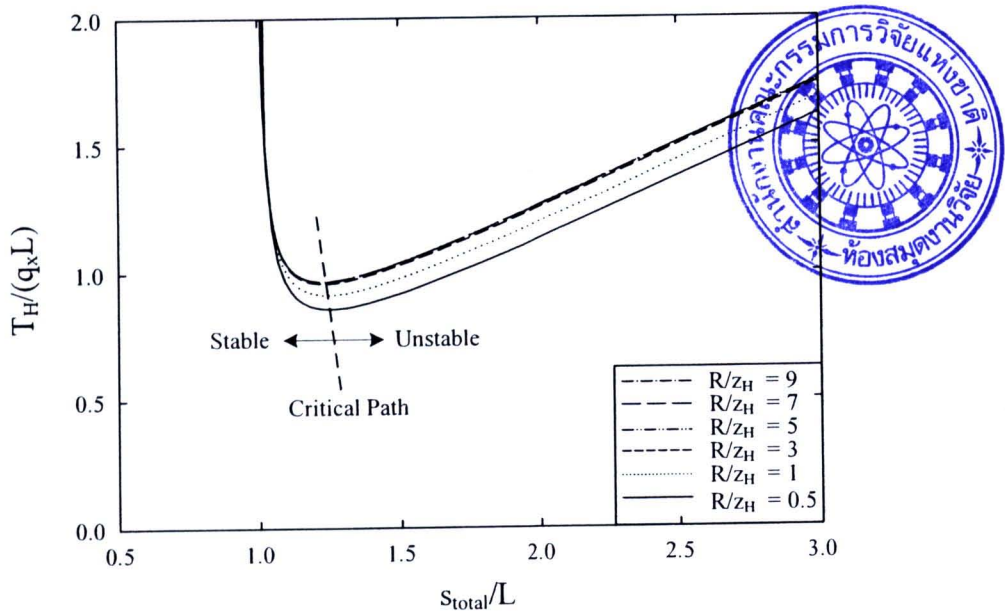
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (q_x L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า ระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 30$ องศา



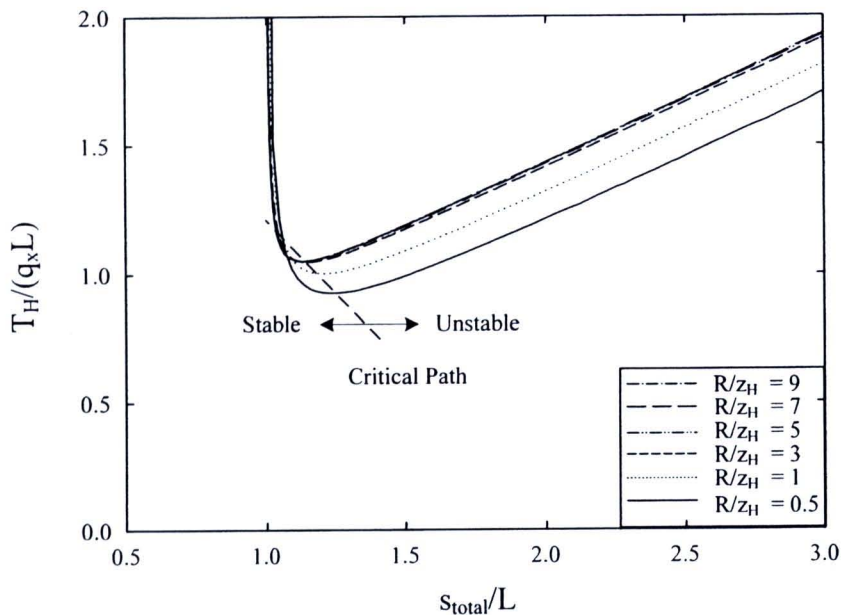
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (q_x L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า ระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 60$ องศา



รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (q_x L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 90$ องศา



รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (q_x L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 120$ องศา



รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_H / (q_x L)$ กับ s_{total} / L เมื่อแปรเปลี่ยนค่า ระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบ ที่ $\theta_H = 150$ องศา

วิเคราะห์ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้จากการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างปลายบนกับปลายล่างตามแนวราบและความลึกของเคเบิล (R/z_H) โดยแปรเปลี่ยนตำแหน่งการวางตัวของเคเบิลในทิศทางต่างๆ กัน

- จากรูปที่ 4.42 เมื่อแปรเปลี่ยนค่า θ_H จะพบว่า ค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 150 องศา และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H ลดลง ในทางกลับกัน ค่าแรงดึงที่ปลายล่าง ($\bar{T}_B$) ณ สภาวะวิกฤต จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 30 องศา และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ θ_H เพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4.37 ความยาวของเคเบิลทั้งก่อนและหลังเกิดการยึดตัวจะมีค่ามากที่สุดเมื่อ θ_H เท่ากับ 90 องศา ในทำนองเดียวกันกับค่าความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิลจะมีค่ามากที่สุดด้วย พิจารณาที่ θ_H เท่ากับ 30 และ 150 องศา จะมีค่าการยึดตัวตามแนวแกนที่เท่ากัน ซึ่งจะเหมือนกันกับ θ_H เท่ากับ 60 และ 120 องศา

- จากรูปที่ 4.45-4.49 เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงที่ปลายบน ($\bar{T}_H$) ณ สภาวะวิกฤต สำหรับที่ θ_H เท่ากับ 30, 60 องศา พบว่าจะมีค่าน้อยลงเมื่อเคเบิลถูกวางตัวในน้ำตื้นหรือค่า R/z_H มาก แต่ในทางกลับกันที่ θ_H เท่ากับ 120, 150 องศา พบว่าจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเคเบิลถูกวางตัวในน้ำตื้น แต่สำหรับที่ θ_H เท่ากับ 90 องศา พบว่าค่าแรงดึงที่ปลายบนจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ ค่าของ R/z_H

- เมื่อพิจารณาผลการคำนวณเชิงตัวเลขตามตารางที่ 4.38-4.42 ความสามารถในการยึดตัวตามแนวแกนของเคเบิลที่วางตัวในน้ำตื้นหรือค่า R/z_H มาก จะมีค่าการยึดตัวมากกว่าเคเบิลที่วางตัวในน้ำลึกหรือค่า R/z_H น้อย

4.2.4 แรงดึงภายในเคเบิลภายใต้สภาวะสมดุล

แรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเคเบิลแต่ละตำแหน่งอาจจะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการรับแรงที่มากระทำต่างๆ กัน ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งที่เกิดแรงดึงสูงสุด แรงดึงต่ำสุด ของแต่ละสภาวะสมดุล และความยาวของเคเบิลหลังเกิดการยืดตัว เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 4.43 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 30$ องศา

สภาวะ		$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	1.29817	0.68580	1.03591	0.26960	1.35014	0.48946	1.09726
	2s	1.10880	0.49642	1.07127	0.21710	1.90773	0.40675	1.08360
	3s	1.04333	0.43095	1.10662	0.18650	2.24645	0.35520	1.00095
	4s	1.01565	0.40327	1.14198	0.16550	2.44655	0.31835	0.90798
วิกฤต	cr	1.00287	0.39048	1.21269	0.13740	2.66086	0.26735	0.74595
ไร้เสถียรภาพ	4u	1.01458	0.40216	1.28340	0.11890	2.77629	0.23301	0.62365
	3u	1.04600	0.43361	1.38947	0.09940	2.87069	0.19689	0.48908
	2u	1.10926	0.49692	1.54856	0.08060	2.94769	0.16086	0.36393
	1u	1.29838	0.68602	1.86636	0.05590	3.03378	0.11121	0.21204

ตารางที่ 4.44 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 60$ องศา

สภาวะ		$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	1.07330	0.71974	1.07127	0.49070	2.06566	0.49834	0.79342
	2s	0.98523	0.63168	1.10662	0.42330	2.24968	0.44289	0.73208
	3s	0.94394	0.59038	1.14198	0.37570	2.37848	0.40079	0.67358
	4s	0.91837	0.56482	1.19501	0.32440	2.51330	0.35264	0.59628
วิกฤต	cr	0.91340	0.55984	1.24804	0.28700	2.60732	0.31590	0.53154

ໄຮ່ ເສື້ຍຣາຟ	4u	0.91888	0.56533	1.30108	0.25810	2.67699	0.28662	0.47747
	3u	0.94033	0.58677	1.38947	0.22180	2.76055	0.24879	0.40567
	2u	0.98345	0.62988	1.51321	0.18590	2.83853	0.21037	0.33203
	1u	1.07192	0.71837	1.72534	0.14550	2.91894	0.16645	0.24860

ຕາຣາງທີ່ 4.45 ຜົນການຄຳນວນເຈິງຕົວເລື້ ຜົນ ສະຖາວະສມດູລແບບມີເສື້ຍຣາຟ ສະຖາວະວິກຸຖ ແລະສະຖາວະສມດູລແບບໄຮ່ເສື້ຍຣາຟ ເມື່ອ $R / z_H = 1$ ທີ່ $\theta_H = 90$ ອງສາ

ສະຖາວະ		$\overline{T}_B$	$\overline{T}_H$	$\overline{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
ເສື້ຍຣາຟ	1s	0.94017	0.94017	1.00169	0.79530	2.34628	0.62012	0.62012
	2s	0.84216	0.84216	1.04479	0.68160	2.45996	0.56223	0.56223
	3s	0.78063	0.78063	1.10291	0.56750	2.57413	0.49319	0.49319
	4s	0.75873	0.75873	1.15781	0.48880	2.65277	0.43903	0.43903
ວິກຸຖ	cr	0.75455	0.75455	1.21116	0.43040	2.71120	0.39527	0.39527
ໄຮ່ ເສື້ຍຣາຟ	4u	0.75989	0.75989	1.26359	0.38480	2.75675	0.35913	0.35913
	3u	0.78049	0.78049	1.34971	0.32730	2.81427	0.31108	0.31109
	2u	0.84278	0.84277	1.51913	0.25160	2.89002	0.24404	0.24405
	1u	0.94135	0.94130	1.73590	0.19230	2.94954	0.18922	0.18881

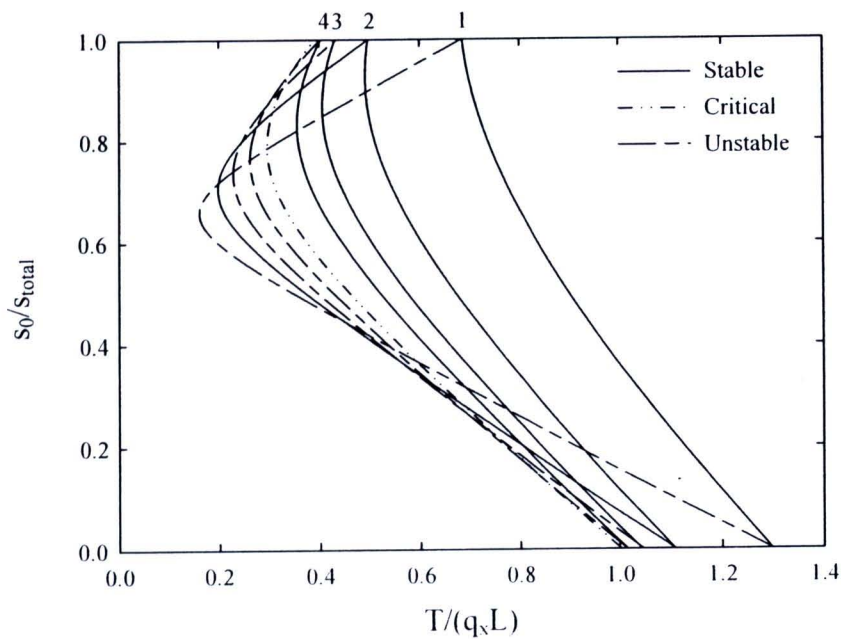
ຕາຣາງທີ່ 4.46 ຜົນການຄຳນວນເຈິງຕົວເລື້ ຜົນ ສະຖາວະສມດູລແບບມີເສື້ຍຣາຟ ສະຖາວະວິກຸຖ ແລະສະຖາວະສມດູລແບບໄຮ່ເສື້ຍຣາຟ ເມື່ອ $R / z_H = 1$ ທີ່ $\theta_H = 120$ ອງສາ

ສະຖາວະ		$\overline{T}_B$	$\overline{T}_H$	$\overline{S}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
ເສື້ຍຣາຟ	1s	0.71974	1.07329	1.07127	1.07590	2.65089	0.79342	0.49834
	2s	0.63167	0.98523	1.10662	0.89190	2.71830	0.73208	0.44289
	3s	0.59038	0.94393	1.14198	0.76310	2.76586	0.67358	0.40079
	4s	0.56481	0.91837	1.19501	0.62830	2.81722	0.59628	0.35264
ວິກຸຖ	cr	0.55984	0.91339	1.24804	0.53420	2.85463	0.53154	0.31589
ໄຮ່	4u	0.56532	0.91887	1.30108	0.46460	2.88350	0.47745	0.28662

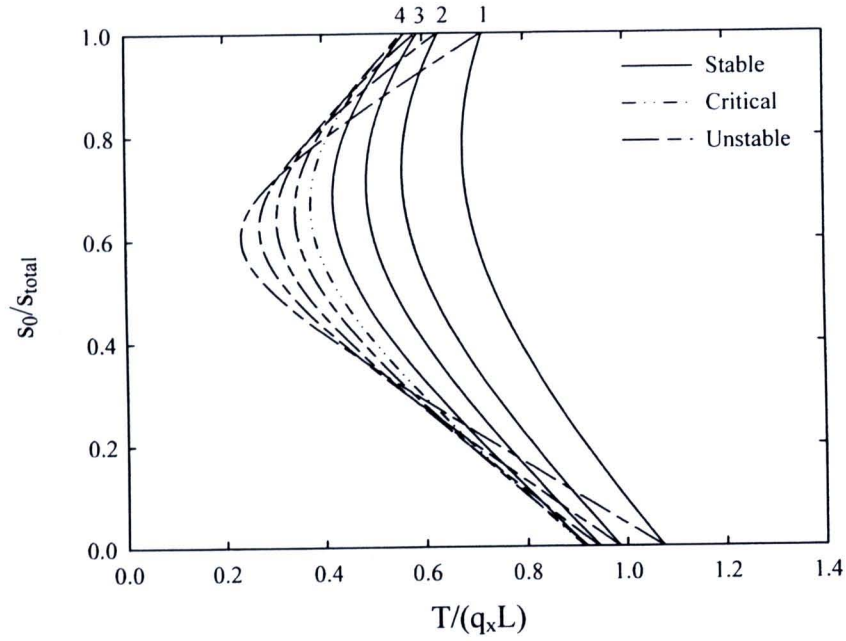
เสถียรภาพ	3u	0.58675	0.94030	1.38947	0.38100	2.91979	0.40564	0.24878
	2u	0.62991	0.98344	1.51321	0.30320	2.95573	0.33212	0.21033
	1u	0.71999	1.07344	1.72534	0.22230	2.99639	0.24990	0.16634

ตารางที่ 4.47 ผลการคำนวณเชิงตัวเลข ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R/z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 150$ องศา

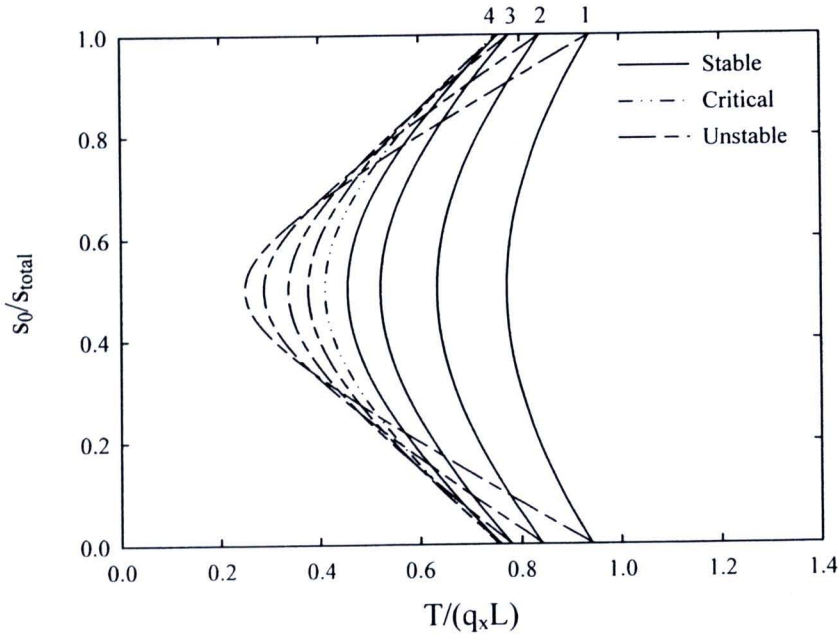
สภาวะ		$\bar{T}_B$	$\bar{T}_H$	$\bar{s}_{total}$	ϕ_B (rad)	ϕ_H (rad)	ψ_B (rad)	ψ_H (rad)
เสถียรภาพ	1s	0.68578	1.29815	1.03591	1.79140	2.87199	1.09726	0.48946
	2s	0.49642	1.10880	1.07127	1.23380	2.92451	1.08361	0.40675
	3s	0.43093	1.04331	1.10662	0.89500	2.95507	1.00094	0.35519
	4s	0.40324	1.01561	1.14198	0.69490	2.97610	0.90789	0.31834
วิกฤต	cr	0.39030	1.00265	1.21269	0.47950	3.00419	0.74576	0.26727
ไร้เสถียรภาพ	4u	0.40068	1.01304	1.28340	0.36620	3.02273	0.62298	0.23251
	3u	0.43370	1.04612	1.38947	0.26950	3.04165	0.49227	0.19636
	2u	0.49796	1.11044	1.54856	0.19280	3.06027	0.36572	0.16118
	1u	0.68630	1.29869	1.95515	0.10780	3.08569	0.21198	0.11137



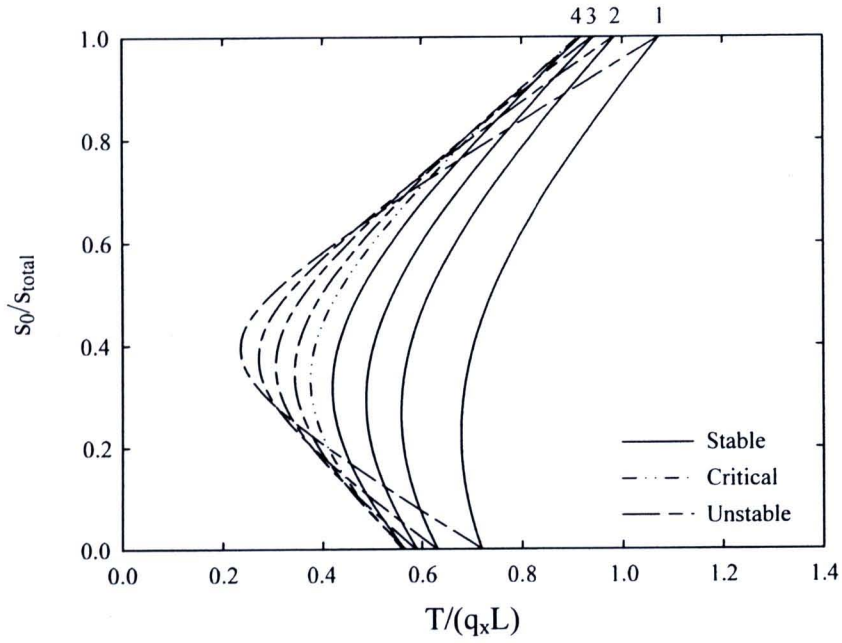
รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0/s_{total} กับ $T/(qL)$ ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R/z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 30$ องศา



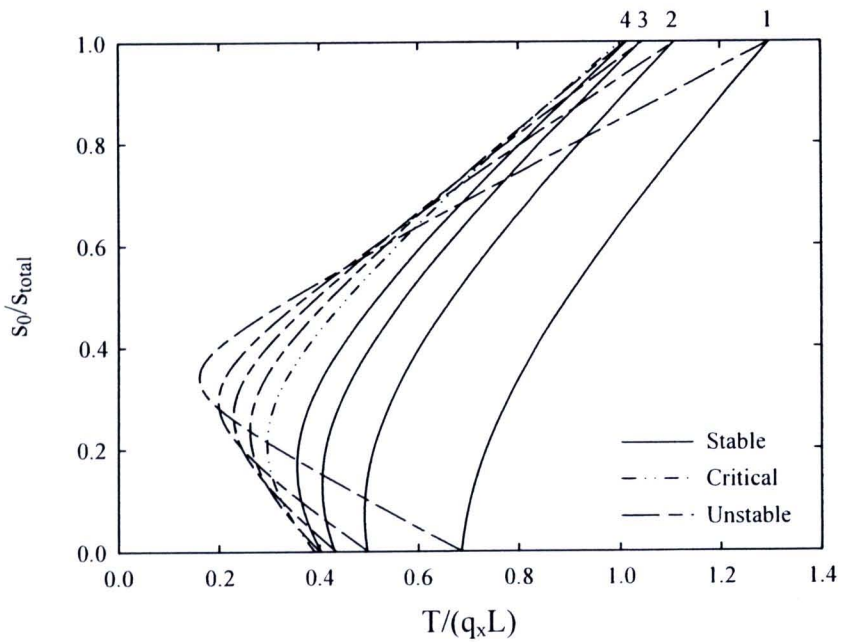
รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (q_x L)$ ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 60$ องศา



รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (q_x L)$ ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 90$ องศา



รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (q_x L)$ ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 120$ องศา



รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง s_0 / s_{total} กับ $T / (q_x L)$ ณ สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ
สภาวะวิกฤต และสภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพ เมื่อ $R / z_H = 1$ ที่ $\theta_H = 150$ องศา

จากรูปที่ 4.50-4.54 พิจารณาแรงดึงที่จุดยึดครั้งที่ปลายบนและปลายล่างของเคเบิล ที่ θ_H น้อยกว่า 90 องศา จะพบว่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิลจะมีค่าน้อยกว่าแรงดึงที่ปลายล่างของเคเบิล ส่วนที่ θ_H มากกว่า 90 องศา จะพบว่าแรงดึงที่ปลายบนของเคเบิลจะมีค่ามากกว่าแรงดึงที่ปลายล่างของเคเบิล เมื่อ θ_H เท่ากับ 90 องศา แรงดึงที่ปลายบนและปลายล่างของเคเบิลจะมีค่าเท่ากัน และที่ระดับความลึกเดียวกันแรงดึงที่สภาวะสมดุลแบบมีเสถียรภาพ จะมีค่ามากกว่าแรงดึงที่สภาวะสมดุลแบบไร้เสถียรภาพเสมอ แต่จะมีค่าเท่ากันตรงที่จุดยึดครั้งที่ปลายบนและปลายล่าง

