

1. กำลังลอยและการทรงตัวของเรือ

1.1 นิยาม

1.1.1 แรง (Forces) คือกำลังผลักดันหรือดึง ซึ่งสามารถชักจูงให้เกิดการเคลื่อนไหวหรือเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวได้

1.1.2 แรงของกำลังลอย (Force of Buoyancy) คือ แรงดันขึ้น หรือแรงยกที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ โดยกระทำผ่านจุด ๆ หนึ่ง เรียกว่า “ศูนย์กลางกำลังลอย (Center of Buoyancy) ซึ่งอยู่ที่จุดศูนย์กลางเรขาคณิต (Geometric Center) ของปริมาตรส่วนที่น้ำถูกแทนที่ (Displaced Volume) ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าเป็น “ปริมาตรระวางขับน้ำ”

1.1.3 แรงศูนย์กลาง (Force of Gravity) คือ แรงดึงดูดสู่ศูนย์กลางโลก อันเนื่องจากการที่โลกหมุนรอบตัวเอง แรงนี้มักเรียกตามหน่วยน้ำหนัก เช่น ออนซ์, ปอนด์ และตัน โดยจะกระทำตรงจุด ศูนย์ถ่วงของวัตถุ (จุดศูนย์กลางของน้ำหนักต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นวัตถุนั้น ๆ) ($g = 9.80665 \text{ m/s}^2$)

1.1.4 ระวางขับน้ำ (Displacement) คือ น้ำหนักของปริมาตรน้ำที่ถูกเรือแทนที่

1.1.5 ปริมาตรกำลังสำรอง (Reserve Buoyant Volume) คือ ปริมาตรของเรือส่วนที่ผิวน้ำได้ (Water-tight) เหนือแนวน้ำ ซึ่งถือว่าเป็นแฟกเตอร์เพื่อความปลอดภัย (Safety Factor) ปริมาตรกำลังสำรองจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงลอยตัวสำรอง เรือที่มีปริมาตรกำลังสำรองมากย่อมมีแรงลอยตัวสำรอง (Reserve Buoyancy) มากด้วย

1.1.6 กำลังลอยสำรอง (Reserve Buoyancy) คือ แรงลอยที่เรือยังสามารถมีได้ถึงแม้จะบรรทุกน้ำหนักเพิ่มจากปัจจุบัน หรืออีกนัยหนึ่งคือ ความสามารถในการบรรทุกเพิ่มขึ้นของเรือเรือที่มีปริมาตรกำลังสำรองมากย่อมมีแรงลอยตัวสำรองมากด้วย

1.1.7 Freeboard เป็นมาตรวัด กำลังลอยสำรองอย่างคร่าว ๆ Freeboard คือ ระยะวัดจากแนวน้ำบรรทุกเต็มที่ (Loaded Displacement) ถึงดาดฟ้าชั้น Freeboard Deck หรือ ดาดฟ้าผิวน้ำได้ชั้นที่สมบูรณ์ที่สุด หรือตามที่แต่ละสมาคมจัดชั้นเรือกำหนด เรือที่มีระยะ Freeboard มากย่อมมีกำลังลอยสำรองมาก

1.2 แรงลอยตัว (Buoyancy Force)

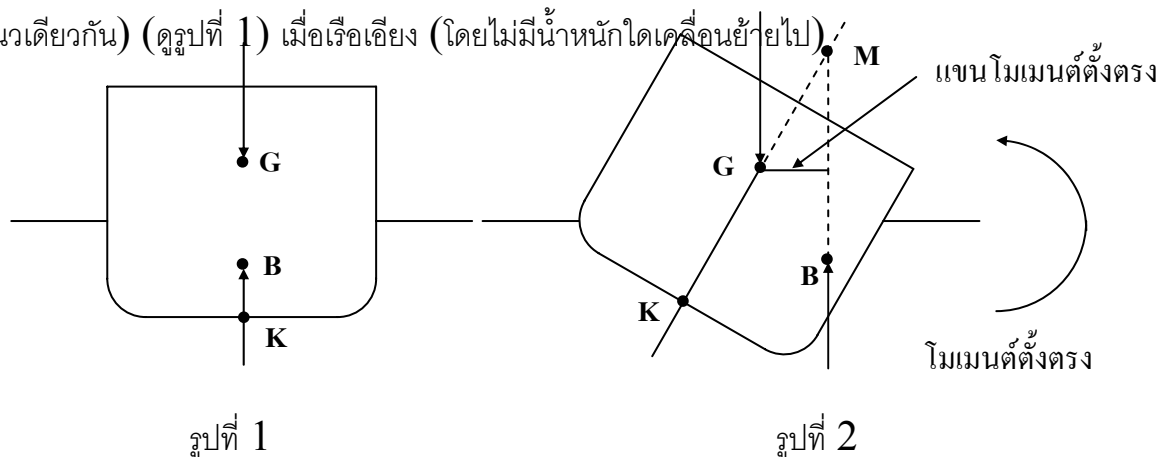
เรือจะลอยถ้าแรงของกำลังลอย (Force Buoyancy) มีขนาดอย่างน้อยเท่ากับน้ำหนักของเรือ หรือหมายถึงจะต้องมีปริมาตรกำลังลอยมากพอซึ่งอาจกำหนดได้จากขนาดพื้นที่แนวน้ำ (Waterplane Area) และความสามารถในการผิวน้ำ (Watertight) ที่ดี ถ้าเรือมีปริมาตรกำลังลอยสำรองมาก (มี Freeboard มาก) ก็จะสามารถลอยมาก ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพในการ ทรงตัวโดยรวมของเรือ

1.3 การทรงตัวอย่างปลอดภัย (Intact Stability)

คือ สถานะการทรงตัวของเรือในน้ำนิ่ง (Static Condition in Clam Water) อย่าง ปลอดภัยพิจารณาได้จากขนาดโมเมนต์แรงคู่ควบระหว่างแรงลอยตัว (ทิศทางขึ้นข้างบน)กับน้ำหนักเรือ (ทิศทางกระทำลงล่าง) หรือที่เรียกว่าเป็น “โมเมนต์ตั้งตรง” (Righting Moment) ระยะระหว่างแรง ลอยตัวกับแรงเนื่องจากน้ำหนัก คือ แขนของโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Arm) ซึ่งโมเมนต์ตั้งตรงและแขนของโมเมนต์ตั้งตรงจะเป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาการทรงตัวของเรือต่อไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการกระทำของแรงลอยตัวและแรงเนื่องจากน้ำหนักเรือ ตรวจจับที่ตำแหน่งทั้งสองก่อให้เกิดโมเมนต์ช่วยพยุงเรือกลับตั้งตรง เรือจะยังคงสามารถทรงตัวได้อย่างปลอดภัย

1.3.1 นิยามที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาการทรงตัว

1.3.1.1 โมเมนต์ตั้งตรง (Righting Moment; RM) เมื่อเรือลอยตั้งตรง แรงลอยตัวของเรือจะกระทำในทิศพุ่งขึ้นข้างบน ผ่านจุดศูนย์กลางการลอย (Center of Buoyancy จุด B) ส่วนทางพอดีกับแรงเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำตรงจุด G (จุด B และ G อยู่ในแนวเดียวกัน) (ดูรูปที่ 1) เมื่อเรือเอียง (โดยไม่มีน้ำหนักใดเคลื่อนย้ายไป)



แรงเนื่องจากน้ำหนักจะยังคงกระทำที่จุด G เช่นเดิม ในขณะที่ปริมาตรระวางขับน้ำย่อมต้องเปลี่ยนไปตามลักษณะการเอียงทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางการลอย (B) เคลื่อนที่ไปยังด้านที่เอียง ดังนั้นจุด B และ G จะไม่อยู่ในแนวเดียวกันต่อไป ทำให้เกิดโมเมนต์แรงคู่ควบระหว่างแรงลอยตัวและแรงเนื่องจากน้ำหนัก (ดูรูปที่ 2) ในทิศทางต้านการเอียงหรือกล่าวได้ว่าเป็นโมเมนต์ตั้งตรงเรือ ขนาดของโมเมนต์ตั้งตรงใช้วัดความสามารถในการทรงตัวที่แต่ละมุมเอียงของเรือ

1.3.1.2 แขนโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Arm; RA) แขนของโมเมนต์แรงคู่ควบในรูปที่ 2 (ระยะ GZ) เรียกว่าเป็น “แขนโมเมนต์ตั้งตรง” การคำนวณขนาดของโมเมนต์ตั้งตรงจะนำขนาดของแขนโมเมนต์นี้คูณกับน้ำหนักเรือดังนี้

$$\text{โมเมนต์ตั้งตรง} = \text{แขนโมเมนต์ตั้งตรง} \times \text{น้ำหนักเรือ}$$

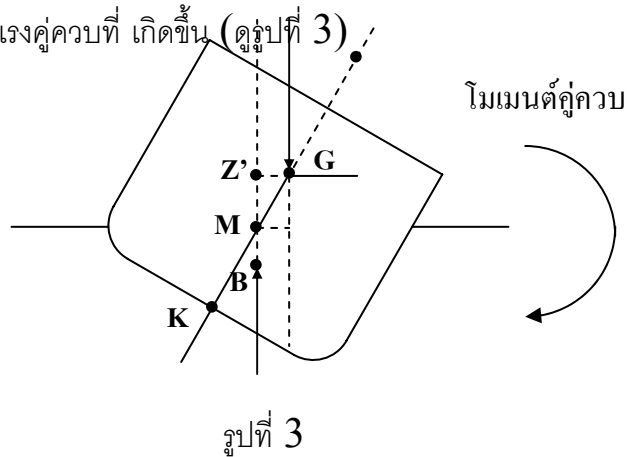
(1)

$$\text{(Righting Moment)} = \text{(Righting Arm} \times \text{Displacement)}$$

$$\text{(RM)} = \text{(R.A.} \times \Delta)$$

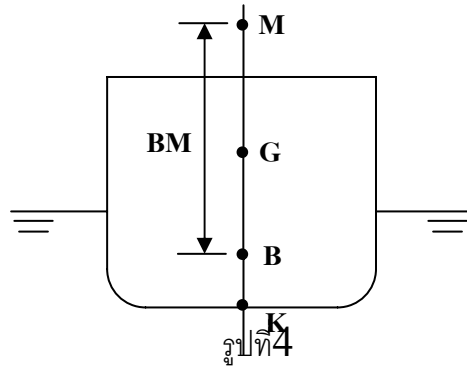
ถ้าน้ำหนักเรือไม่เปลี่ยนแปลงอาจใช้แขนโมเมนต์ตั้งตรงเป็นตัววัดความสามารถในการทรงตัวที่แต่ละมุมเอียงของเรือได้

1.3.1.3 จุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (Metacenter) คือ จุด M ในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นต่อแนวแรงกำลังลอยกับเส้นต่อของแนวเส้นกึ่งกลางทางขวาง (Center Line) ของเรือ ที่ เรียกว่าเป็นจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียรเพราะว่าถ้าจุดนี้อยู่ต่ำกว่า จุด G โมเมนต์จะเปลี่ยนเป็นโมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment) ดังนั้น ตำแหน่งของจุด M (เทียบกับจุด G) จะเป็นตัวกำหนดชนิดของโมเมนต์แรงคู่ควบที่เกิดขึ้น (ดูรูปที่ 3)



1.3.1.4 ความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (Metacentric Height) คือ ระยะวัดในแนวเส้นกึ่งกลางทางขวางจากจุด G ถึงจุด M (ระยะ GM ในรูปที่ 2) ถ้าจุด M อยู่สูงกว่าจุด G ระยะ GM จะเป็นบวก ก่อให้เกิดโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Moment) เรียกว่าเป็น โมเมนต์บวก (Positive Moment) ในทางกลับกันถ้าจุด M อยู่ต่ำกว่าจุด G ระยะ GM จะเป็นลบ ก่อให้เกิดโมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment) หรือ โมเมนต์ลบ (Negative Moment) ระยะ GM จึงใช้วัดค่าความสามารถในการทรงตัวของเรือแทนโมเมนต์ตั้งตรงและแขนโมเมนต์ตั้งตรงได้

1.3.1.5 รัศมีเปลี่ยนศูนย์เสถียรทางขวาง (Metacentric Radius, BM) คือระยะในแนวเส้นกึ่งกลางทางขวางจากจุด B ถึงจุด M



ถ้า K เป็นจุดอ้างอิงตรงแนวกระดูกงู

$$\text{ดังนั้นระยะ } BM = KM - KB \quad (2)$$

$$= KB + BG \quad (3)$$

หรือคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$BM = \frac{I_T}{\nabla} \quad (4)$$

โดย I_T = โมเมนต์อินเนอร์เซียทางขวาง (Transverse Moment of Inertia)

ของ

พื้นที่แนวน้ำ (Waterplane Area) ขณะนั้นของเรือ

∇ = ปริมาตรระวางขับน้ำ (Volume of Displacement)

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งมีขนาดโมเมนต์อินเนอร์เซียทางขวางเท่ากับ $1.5978 \times 10^6 \text{ m}^4$ และมีปริมาตรระวางขับน้ำเท่ากับ $7.2535 \times 10^5 \text{ m}^3$ จะคำนวณขนาดรัศมีเปลี่ยนศูนย์เสถียรทางขวาง (BM) ได้ดังนี้

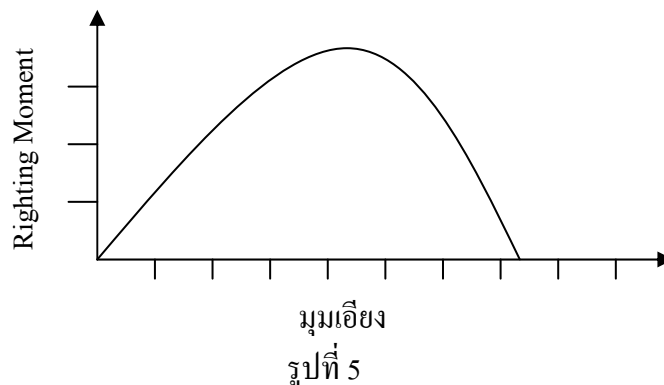
$$BM = \frac{1.5978 \times 10^6}{7.253 \times 10^5} = 2.203 \text{ m}$$

1.3.1.6 เส้นโค้งการทรงตัว (Stability Curve) คือเส้นโค้งแสดง

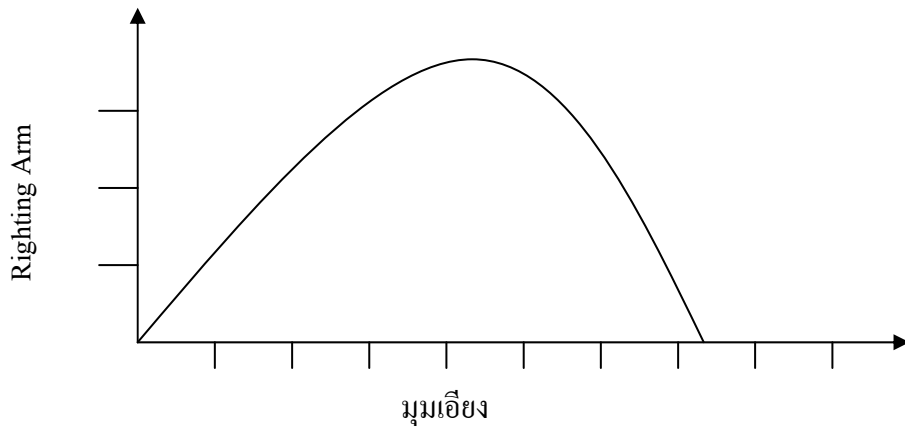
ความสามารถในการทรงตัวของเรือที่มักแสดงใน 4 ลักษณะดังนี้

1.3.1.6.1 เส้นโค้งโมเมนต์ตั้งตรง - มุมเอียง คือ เส้นโค้งการทรงตัวที่

อธิบาย ความสามารถในการทรงตัวของเรือในรูปของโมเมนต์ตั้งตรงที่มุมเอียงเรือต่าง ๆ (ดูรูปที่ 5)



1.3.1.6.2 เส้นโค้งแกนโมเมนต์ตั้งตรง – มุมเอียง คือ เส้นโค้งการทรงตัวที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวของเรือในรูปของขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรงที่มีมุมเอียงเรือต่าง ๆ (ดูรูปที่ 6)

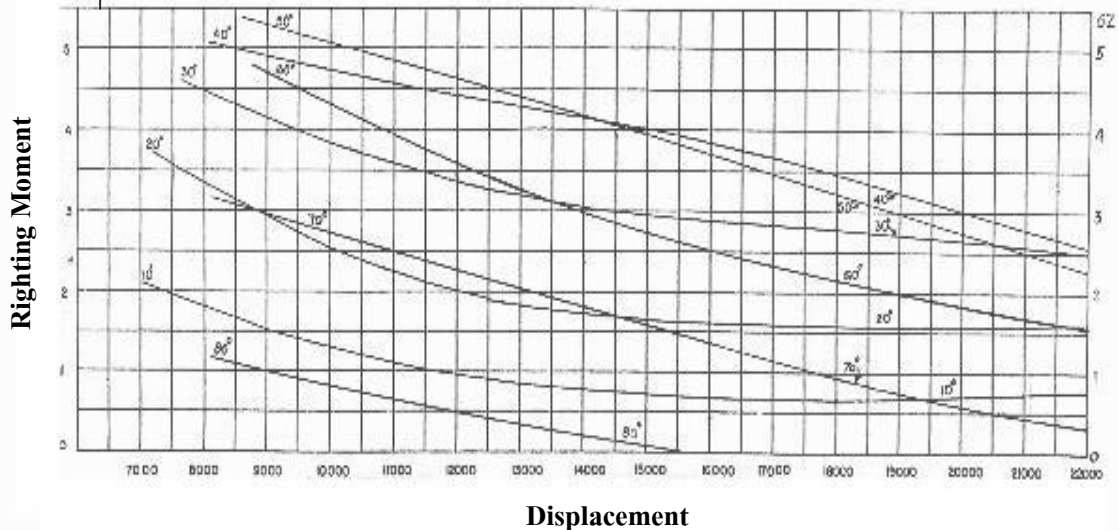


รูปที่ 6

เส้นโค้งการทรงตัวในรูปที่ 5 และ 6 จะมีรูปร่างเหมือนกันจะต่างกันก็ตรงหน่วยและขนาดของตัวแปรที่ปรากฏบนแกน **Ordinate** (แกนตั้ง) เท่านั้น

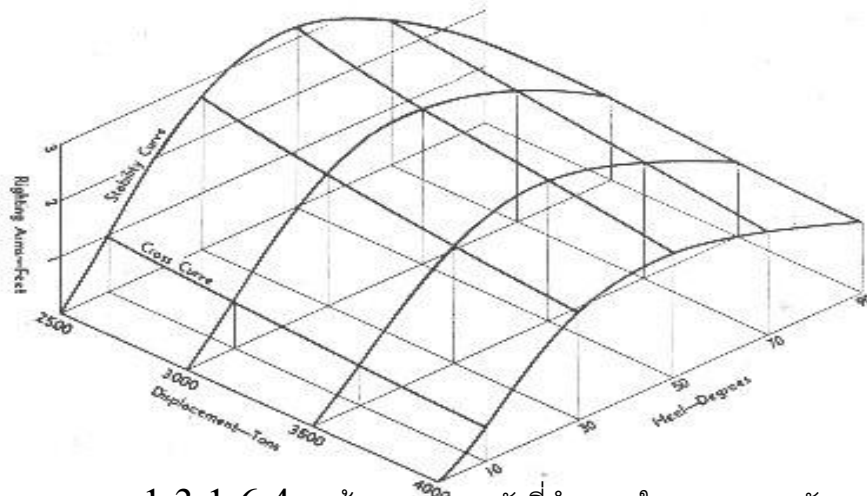
การนำเสนอเส้นโค้งการทรงตัว ดังในรูปที่ 5 มักจะต้องบอกค่าระวางขับน้ำกำกับไว้ด้วยเสมอ ทั้งนี้เพราะถ้าระวางขับน้ำเปลี่ยนขนาดโมเมนต์ตั้งตรงย่อมเปลี่ยนแปลงด้วย ($R.M. = GZ \times \Delta$)

1.3.1.6.3 เส้นโค้งการทรงตัวแบบ “Cross Curve” หรือ Cross Curve of Stability คือ เส้นโค้งการทรงตัวแบบในหัวข้อ 1.3.1.6.1 หรือ 1.3.1.6.2 ที่ขนาดระวางขับน้ำต่าง ๆ ของเรือ



รูปที่ 7

รูปที่ 7 เป็นตัวอย่าง Cross Curve of Stability แบบ 2 มิติ ที่พล็อตแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างแกนโมเมนต์ตั้งตรงมุมเอียง และระวางชั้นน้ำต่าง ๆ ส่วนรูปที่ 8 เป็นตัวอย่าง Cross Curve of Stability แบบ 3 มิติ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตั้งตรงมุมเอียง และระวางชั้นน้ำต่าง ๆ เช่นกัน



1.3.1.6.4 ข้อมูลการทรงตัวที่นำเสนอในแบบตารางตัวเลข คือ การนำเสนอข้อมูลการทรงตัวดังเช่นในหัวข้อ 1.3.1.6.3 ในรูปแบบตารางตัวเลข ซึ่งสามารถนำไป พล็อต เป็นเส้นโค้งการทรงตัวได้เช่นเดียวกัน (ดูรูปที่ 1.9) วิธีการเช่นนี้ ให้ความสะดวกในการอ่านค่าจาก ตารางข้อมูล แต่ขาดความต่อเนื่อง (Continuous) ไม่เหมือนการนำเสนอข้อมูลการทรงตัวแบบ กราฟที่ให้ข้อมูลการทรงตัวแบบต่อเนื่อง

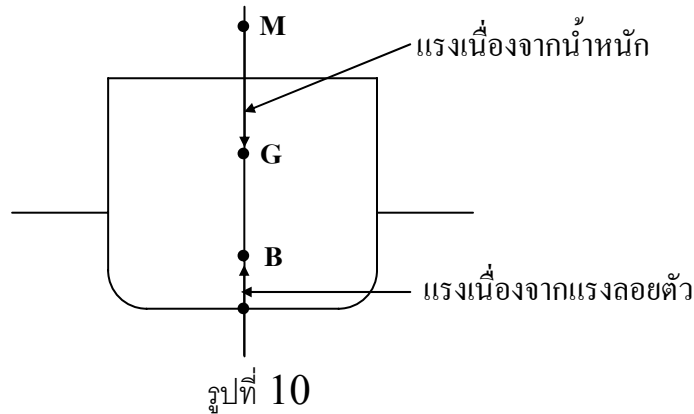
มุมเอียง ระวางชั้นน้ำ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0										
500										
1000										
1500				(ขนาดแกน โมเมนต์ หรือ โมเมนต์ตั้งตรง)						
2000										
2500										

รูปที่ 9

2. คุณลักษณะการทรงตัว

2.1 สถานะการทรงตัวแบบต่าง ๆ

2.1.1 Equilibrium คือ การลอยแบบสมดุลในลักษณะที่แรงลอยตัวมีขนาดเท่ากับแรงเนื่องจากน้ำหนักพอดีและกระทำสวนทางกันในแนวเส้นศูนย์กลางเรือทางขวาง (ดูรูปที่ 10)

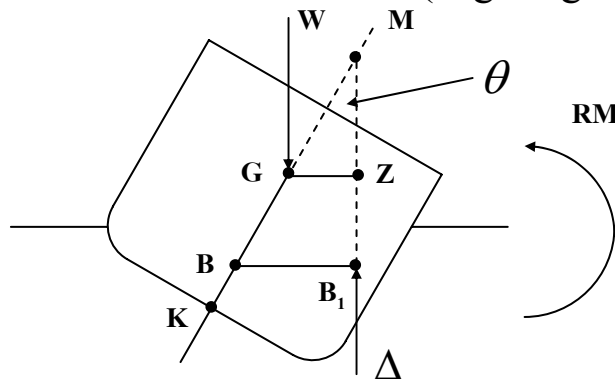


รูปที่ 10

เรือที่ทรงตัวในลักษณะนี้มักจะไม่เอียงเพราะความสมมาตรกันของเรือ ดังนั้นถ้าเพิ่มน้ำหนักหรือเอาน้ำหนักออกจากเรือในแนวเส้นศูนย์กลางเรือแล้วเรือจะจมลงหรือลอยขึ้นแบบขนาน

(Parallel Sinkage)

2.1.2 Stable Equilibrium คือ การทรงตัวในช่วงที่เมื่อเรือเอียงไปแล้วจะสามารถกลับมาตั้งตรงในสถานะแบบ Equilibrium ได้เหมือนเดิม การเอียงในช่วงสถานะเช่นนี้ถือว่าเรือมีการทรงตัวเป็นบวก (Positive Stability) เพราะโมเมนต์แรงคู่ควบระหว่างแรงลอยตัวและแรงเนื่องจากน้ำหนัก มีค่าเป็นบวก หรือเป็นโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Moment)



การทรงตัวในสถานะนี้ (ดูรูปที่ รูปที่ 11) เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อเรือเอียงจุดศูนย์กลางการลอย (Center of Buoyancy) จะเลื่อนไปตามการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางถ่วงของปริมาตรระวางขับน้ำ (ไปทางด้านปริมาตรส่วนใหญ่) จากจุด B ไปยังจุด B_1 ดังนั้น แรงลัพธ์ของแรงลอยตัวจะกระทำผ่านจุด B_1 ไปตัดกับเส้นต่อของแนวเส้นกึ่งกลางทางขวาง (ตรงจุด M) ถ้าน้ำหนักเรือยังคงที่และไม่มีส่วนใดเคลื่อนย้ายแรงจากน้ำหนักจะยังคงกระทำผ่านจุด G เกิดเป็นแรงคู่ควบที่มีแขนยาวเท่ากับ GZ และมีทิศทางต้านการเอียงของเรือ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{โมเมนต์ตั้งตรง} = \text{ระวางขับน้ำ} \times \text{แขนโมเมนต์ตั้งตรง}$$

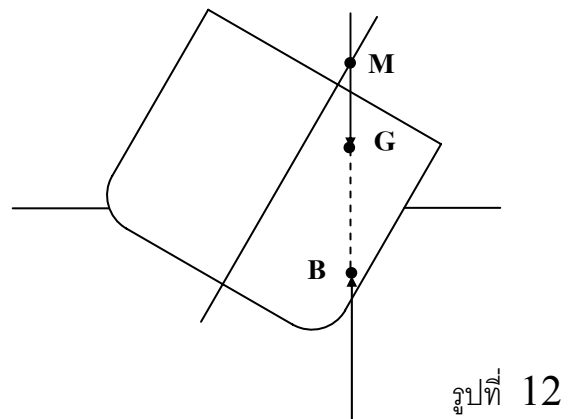
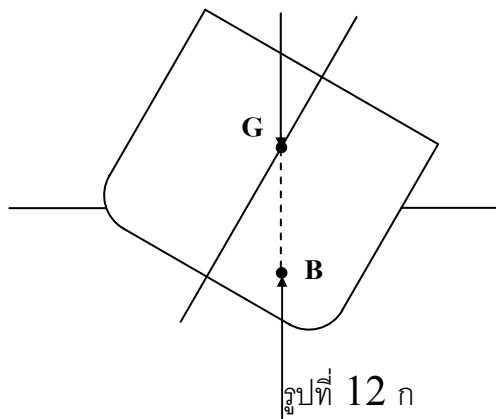
$$(5) \quad (\text{Righting Moment ; R.M.}) = (\Delta \times GZ)$$

โดย Δ = ระวางขับน้ำหรือน้ำหนักเรือ
 GZ = แขนโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Arm)
 $= GM \sin \theta$ (GM = ความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร)

(6) ดังนั้น $R.M. = \Delta \times GZ = \Delta \times GM \sin \theta$

(7)

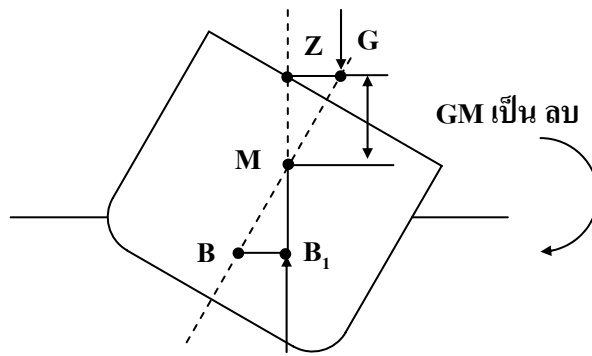
2.1.3 Neutral Equilibrium คือ การทรงตัวที่เมื่อเรือเอียงไปแล้วจะไม่กลับมาตั้งตรงได้เองแต่จะเอียงอยู่ถาวรในลักษณะสมดุล คล้ายกับการทรงตัวแบบ Equilibrium



ข

Equilibrium แต่เป็นสมดุลแบบเรือเอียง ถ้าจุด G ยังคงอยู่ในแนวเส้นศูนย์ศูนย์กลางทางขวาง จุด M จะทับกับจุด G พอดี (รูปที่ 12 ก) แต่ถ้าจุด G เลื่อนตามการเอียงของเรือดังในรูป 12 ข จุด M จะอยู่สูงกว่าจุด G ทั้ง 2 กรณีแขนโมเมนต์ตั้งตรงจะมีค่าเป็นศูนย์ ($GZ = 0$) ต่อไปถ้ามีแรงจากภายนอกมากกระทำเรืออาจกลับไปมีสถานะการทรงตัวแบบ Stable Equilibrium หรืออาจเอียงต่อไปจนล่มก็เป็นได้

2.1.4 Unstable Equilibrium เป็นการทรงตัวในลักษณะกลับกับสถานะ Stable Equilibrium คือ เมื่อเรือเอียงไปแล้วจะไม่กลับไปตั้งตรงได้อีก แต่จะเอียงต่อไปเรื่อย ๆ ด้วยโมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment) ที่มีทิศทางเสริมการเอียงของเรือ ในลักษณะนี้จะถือว่า โมเมนต์เป็นลบ (Negative Moment) และความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (GM) มีค่าเป็น ลบ กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อจุด G อยู่สูงกว่าจุด M (ดูรูปที่ 13)



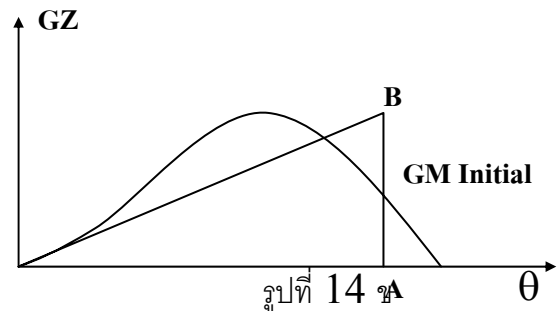
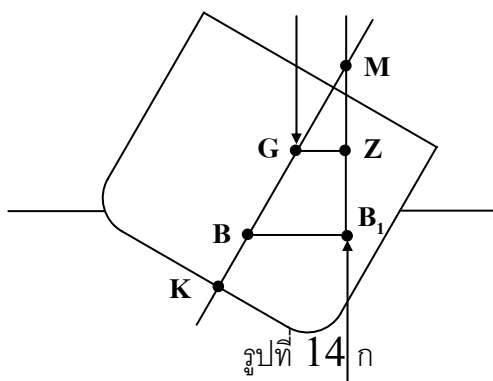
รูปที่ 13

2.2 คุณลักษณะและคุณสมบัติของเส้นโค้งการทรงตัว

เส้นโค้งการทรงตัวมีคุณสมบัติที่อาจหาได้รวม 5 ประการ ที่เรียกรวมว่า ความทรงตัวโดยรวม (Overall Stability) คือ

2.2.1 ให้ค่า Initial Stability

เมื่อเรือเอียงเล็กน้อย (ประมาณไม่เกิน 10^0) ตำแหน่ง จุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (M) จะยังคงไม่เปลี่ยน ซึ่งจะให้ความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (\overline{GM}) ในช่วงนี้เป็นตัววัดความสามารถในการทรงตัวแรกเริ่มของเรือ หรือเรียกว่าเป็น “Initial Stability” ของเรือ ที่สถานะบรรทุกขณะนั้น (ระยะ AB ในรูป 14 ข) ดังนั้นเมื่อเรือเอียงไปอีกเล็กน้อย (มุมเล็ก ๆ) ความสัมพันธ์ระหว่างแกนโมเมนต์ตั้งตรง



กับมุมเอียง คือ $\overline{GZ} = \overline{GM} \sin \theta \approx \overline{GM} \theta$ (มุม θ เล็ก)

(8)

และ $\overline{GZ} = GM \sin \theta$ (มุม θ มากกว่าประมาณ 10^0)

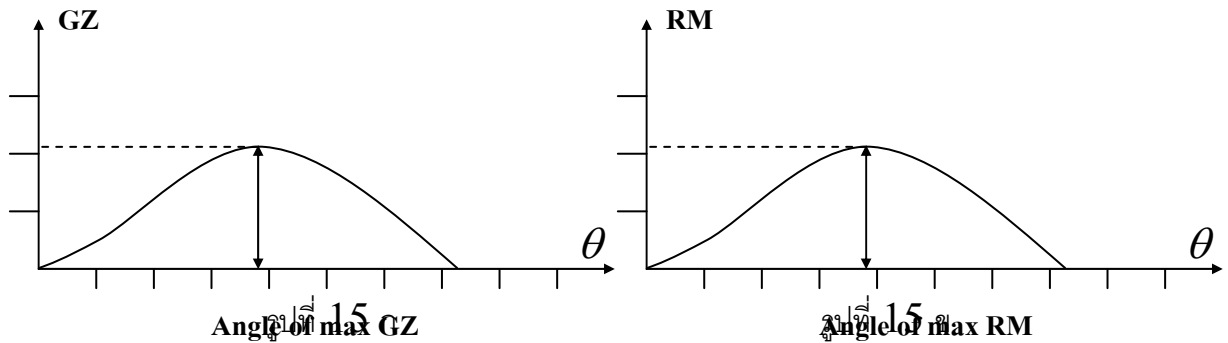
(9)

จากสมการที่ (8) พบว่า $\overline{GM} = \frac{\overline{GZ}}{\theta}$ (10)

หมายถึงเมื่อมุม θ เล็ก จะสามารถคำนวณหา \overline{GM} ได้จากความชันของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแกนโมเมนต์ตั้งตรง (\overline{GZ}) และมุมเอียง (θ) การหาค่า Initial Stability หรือ

Initial \overline{GM} ด้วยวิธี กราฟฟิกนิยมกำหนดให้มุมเอียงมีค่าเท่ากับ **1 radian (57.3^0)** ดังนั้นจึงสามารถหาค่า **Initial GM** ได้โดยลากเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งการทรงตัวในช่วงมุมเอียงไม่เกินประมาณ 10^0 ต่อเส้นสัมผัสนี้ ออกไปจนกระทั่งตัดกับเส้นทางดิ่งที่ตรงมุมเอียง **1 radian (57.3^0)** คือตรงจุด **A** ในรูปที่ 14 ข ความยาวของเส้น **AB** ที่อ่านได้บนสเกล **GZ** คือ **Initial GM** ของเรือที่สถานะการบรรทุกขณะนั้น

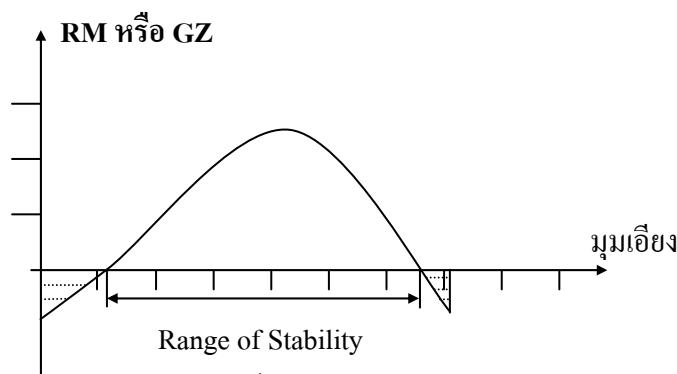
2.2.2 ให้ขนาดมากที่สุดของแขนโมเมนต์ตั้งตรง หรือขนาดสูงสุดของโมเมนต์ตั้งตรง (Maximum Righting Arm or Maximum Righting Moment)



ซึ่งก็คือจุดสูงสุดของเส้นโค้งการทรงตัวในรูปที่ 15 ก และ 15 ข ตามลำดับ

2.2.3 ให้ค่ามุมเอียงที่เกิดแขนโมเมนต์ตั้งตรงหรือมุมเอียงที่เกิดโมเมนต์ตั้งตรงสูงสุด (Angle of Maximum Righting Arm or Angle of Maximum Righting Moment) ซึ่งก็คือมุมตรงจุดสูงสุดของเส้นโค้งการทรงตัวดังในรูปที่ 15 ก และ 15 ข ตามลำดับ

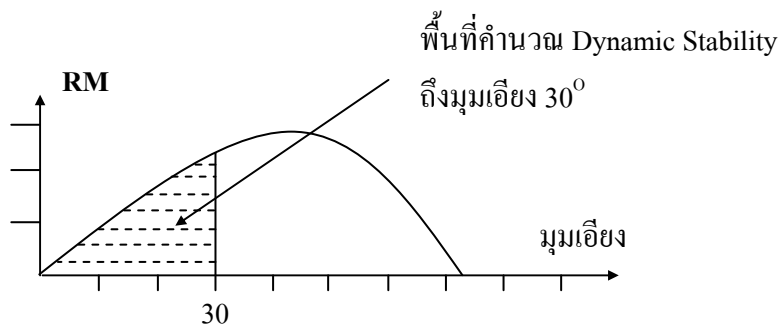
2.2.4 บอกค่าช่วงการทรงตัว (Range of Stability) หมายถึง ช่วงมุมเอียงที่เรือมีสถานะการทรงตัวแบบ **Stable Equilibrium** (โมเมนต์ตั้งตรง และระยะ **GM** เป็นบวก) นอกเหนือช่วงมุมเอียงนี้เรือจะมีการทรงตัวไม่เสถียร (โมเมนต์คว่ำเรือและค่า **GM** เป็นลบ)



รูปที่ 16

2.2.5 เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณหา Dynamic Stability ถึงมุมเอียงที่กำหนด

Dynamic Stability คือ งาน (work) ที่ต้องใช้เพื่อเอียงเรือไปถึงมุมที่กำหนด หรือในทางกลับกันคืองานที่ต้องการใช้ในการเอียงเรือจากมุมที่กำหนดให้กลับไปตั้งตรงดั้งเดิม



รูปที่ 17
ซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งการทรงตัวถึงมุมที่กำหนดคูณกับขนาดระวางขับนำขณะนั้น
คือ

$$\text{Dynamic Stability} = \Delta \cdot \int_{\theta}^{\theta+\Delta\theta} \overline{GZ} \cdot d\theta \quad (11)$$

$$= \Delta \cdot \int_0^{\theta} \overline{GZ} \cdot d\theta \quad (12)$$

หน่วยของ **Dynamic Stability** คือ โมเมนต์ - มุม (radian) คือ

Moment × Radian

(13)

หรือ
$$\text{Moment} \times \frac{\text{Degree} \times \pi}{180} \quad (14)$$

ตัวอย่าง เรือขนาด 10,000 tonnes มีข้อมูล Stability ตามมุมเอียงต่าง ๆ ดังในตาราง จงคำนวณหา **Dynamic Stability** ของเรือลำนี้ เมื่อเรือเอียงเป็นมุม 60°

มุมเอียง	GZ	S.M.	f (M _{GZ})
0	0	1	0
15	0.275	4	1.10
30	0.515	2	1.03
45	0.495	4	1.98
60	0.33	1	0.33
75	0.12	-	-
90	-0.1	-	-

ใช้ Simpson's 1st Rule คำนวณ

Dynamic Stability ในช่วงมุมเอียง 0

ถึง

60° ได้ดังนี้

$$\text{Dynamic} = \Delta \times \frac{h}{3} \times \sum f(M_{GZ})$$

$$\text{Stability} = 10^4 \times \frac{15\pi}{3 \times 180} \times 4.44$$

$\sum f(M_{GZ})$			4.44

= 3874.63 tonnes -
m-radian

2.2.6 Dynamic Stability ทั้งหมด (Total Dynamic Stability)

คืองานทั้งหมดที่ใช้ในการเอียงหรือต้านการเอียงของเรือในช่วงการทรงตัวตามข้อ

2.2.4

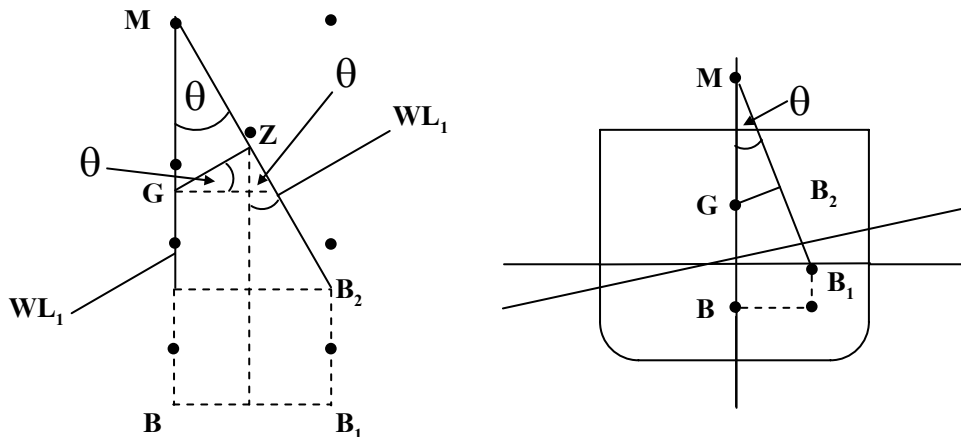
2.3 Overall Stability คือคุณสมบัติการทรงตัวของเรือทั้ง 5 ประการในข้อ 2.2.1 ถึง

2.2.5 ซึ่งอธิบายความสามารถในการทรงตัวของเรือโดยรวม ซึ่งประกอบด้วย

- Initial Stability
- ขนาดมากที่สุดของแกนโมเมนต์ตั้งตรง หรือ โมเมนต์ตั้งตรง
- มุมเอียงที่เกิดแกนโมเมนต์ตั้งตรง (หรือโมเมนต์ตั้งตรง) สูงสุด
- ช่วงการทรงตัวเป็นบวก
- Dynamic Stability ถึงมุมเอียงที่กำหนด

2.4 กรณีมุมเอียงมาก (Large Angle Stability)

เมื่อเรือเอียงมาก (ประมาณ 10^0 ขึ้นไป) ความสัมพันธ์ระหว่าง \overline{GM} และ \overline{GZ} จะไม่เป็นไปตามสมการที่ (8) หรือ (9) ทั้งนี้มีสาเหตุหลักมาจากการที่เส้นแนวน้ำใหม่ตัดกับเส้นแนวน้ำที่เดิมอยู่ในทางระดับไม่ตรงเส้นกึ่งกลางทางขวางพอดี ที่เป็นเช่นนี้เพราะรูปร่างของปริมาตรส่วนที่จมอยู่ในน้ำทั้งแนวกราบซ้ายและขวาไม่สมมาตรกัน (ด้านที่เรือเอียงมักมีปริมาตรมากกว่า) ทำให้จุดศูนย์กลางการลอยอยู่สูงกว่าในกรณีเมื่อเทียบกับเมื่อเรือเอียงเป็นมุมน้อยๆ (ดูรูปที่ 18)



ในกรณีที่รูปร่างด้านข้างเรือทั้ง 2 รูปที่ 18 ส่วนที่เปลี่ยนแปลงการจมนั้นมีลักษณะเป็นแนวตรง

(เปรียบเสมือนผนังตรง ๆ) จะคำนวณหาขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรง ได้จากสูตร “**Wall – sided Formular**” ดังนี้

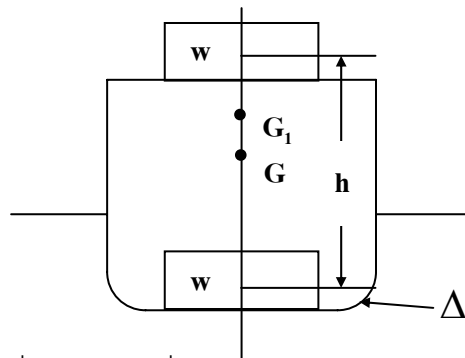
$$\overline{GZ} = \sin \theta \left[\overline{GM} + \frac{\overline{BM}}{2} \tan^2 \theta \right] \quad (15)$$

เห็นได้ว่า ถ้ามุม θ เล็ก เทอม $\tan^2 \theta$ จะยังมีค่าน้อย ทำให้สมการที่ (15) มีค่าประมาณเท่ากับสมการที่ (9) สอดคล้องกับกับกรณีเมื่อเรือเอียงเป็นมุมเล็ก

2.5 การเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่งและผลต่อ Overall Stability

การเคลื่อนย้ายน้ำหนักในทางดิ่ง แบ่งเป็น 2 กรณีใหญ่ ๆ คือ

- น้ำหนักรวมของเรือไม่เปลี่ยน
- น้ำหนักรวมของเรือเปลี่ยน



จากรูป 19 น้ำหนัก w ถูกเคลื่อนย้ายทางดิ่งเป็นระยะทาง h (วัดจากจุดศูนย์กลางมวลของน้ำหนัก) จากห้องเรือสู่ตาดฟ้าโดยน้ำหนักของเรือยังคงที่ย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงเรือ โดยจะเลื่อนไปอยู่ที่จุด G_1 เป็นระยะ $\overline{GG_1}$ คือ

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times h}{\Delta} \quad (16)$$

โดย $\overline{GG_1}$ = การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางถ่วงเรือ

w = น้ำหนักที่ถูกเคลื่อนย้าย

h = ระยะที่เคลื่อนย้าย

Δ = น้ำหนักรวมของเรือ

ถ้าเคลื่อนย้ายน้ำหนักหลายชั้น

$$\overline{GG_1} = \frac{\sum (w_i \times h_i)}{\Delta} \quad (17)$$

โดย w_i = น้ำหนักแต่ละชั้น

h_i = ระยะเคลื่อนย้ายของน้ำหนักแต่ละ

$\sum (w_i \times h_i)$ = ผลรวมของโมเมนต์น้ำหนัก (Weight Moment)

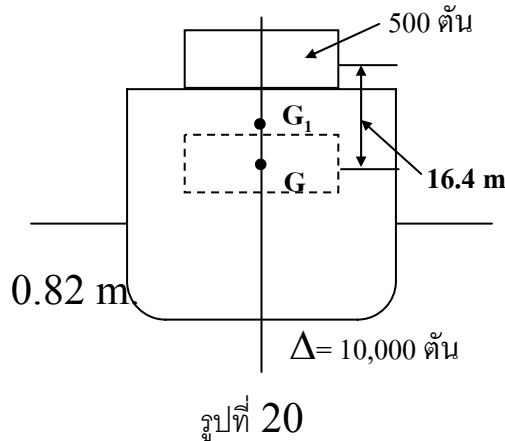
ถ้าเป็นการเคลื่อนย้ายที่ทำให้น้ำหนักรวมของเรือเปลี่ยน จะคำนวณได้ดังนี้

$$\overline{GG_1} = \frac{\sum (w_i \times h_i)}{(\Delta \pm \sum w_i)}$$

(18)

โดย $\sum w_i =$ ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในทางตั้ง

ตัวอย่างของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางตั้งโดยที่น้ำหนักเรือไม่เปลี่ยนแปลง เช่น ย้ายน้ำหนักขนาด 500 ตันจากจุด CG. ของเรือขนาด 10,000 ตันขึ้นวางบนดาดฟ้า เป็นระยะ 16.4 m ตามรูปที่ 20 จุด CG. จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่จุด G₁ คำนวณระยะการเคลื่อนที่ได้ดังนี้



$$\begin{aligned} GG_1 &= \frac{w \times h}{\Delta} \\ &= \frac{500 \times 16.4}{10,000} = \end{aligned}$$

2.4.1 ผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางตั้งต่อขนาดแขนโมเมนต์ตั้งตรง

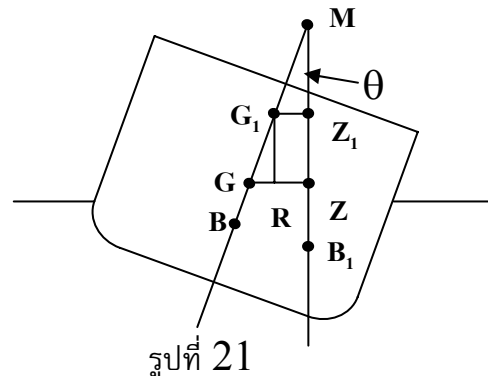
เมื่อจุดศูนย์ถ่วงของเรือเลื่อนไป ดังนั้นต่อไปหากเรือเอียงสมรรถนะการทรงตัวเรือย่อมเปลี่ยนแปลงไปหมายถึง Overall Stability ของเรือต้องเปลี่ยนแปลง เมื่อมองในเทอมของแขนโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Arm) ในรูปที่ 21 พบว่าถ้าจุดศูนย์ถ่วงเลื่อนขึ้นมาอยู่ที่จุด G₁ แขนโมเมนต์คู่ควบที่เดิมยาว \overline{GZ} ได้ลดความยาวลงเป็น $\overline{G_1Z_1}$ ระยะที่ลดไปนี้เรียกว่า “การสูญเสียความยาวแขนโมเมนต์ตั้งตรง (Loss of Righting Arm)” ซึ่งตามรูปคือระยะ \overline{GR} คำนวณได้ดังนี้

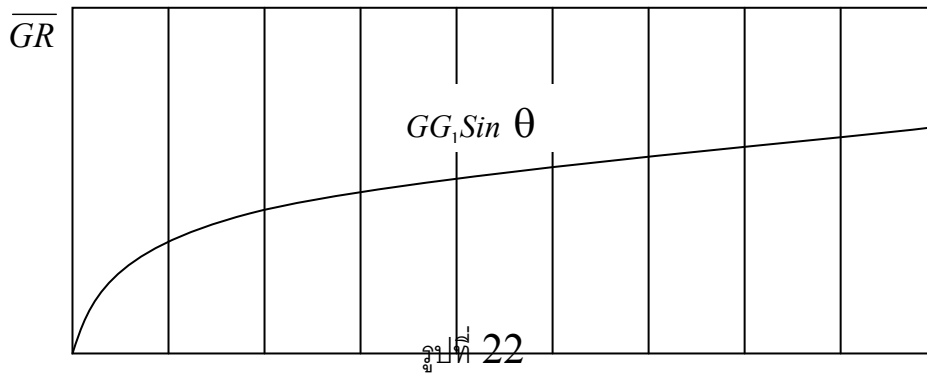
$$\overline{GR} = \overline{GG_1} \sin \theta \quad (19)$$

โดย $\overline{GG_1} =$ ระยะการเคลื่อนที่ตามแนวตั้งเดิมของจุด G

$\theta =$ มุมเอียงของเรือ

เมื่อพล็อตระยะ Loss of Righting Arm ที่เกิดขึ้นแต่ละมุมเอียง จะได้เส้นโค้งที่เรียกว่า “เส้นโค้งความสูญเสียแขนโมเมนต์ตั้งตรง (Loss of Righting Arm Curve)” รูปที่ 22 เป็นตัวอย่างเส้นโค้งดังกล่าว





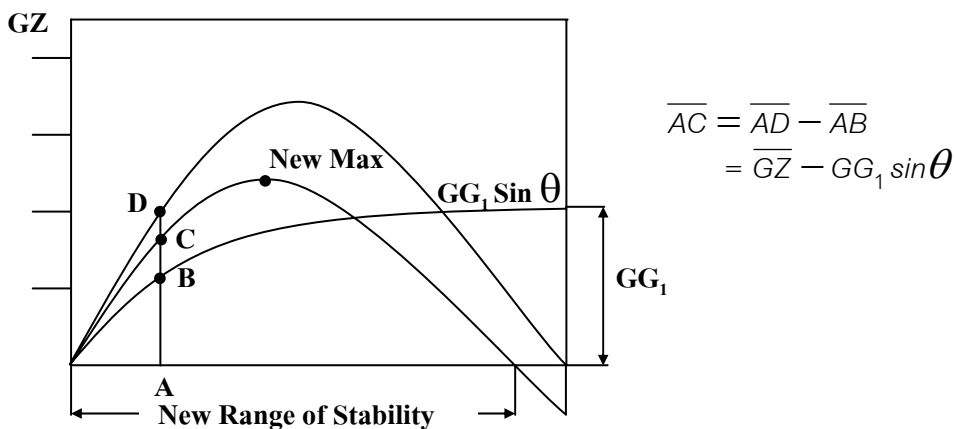
รูปที่ 22

ความเปลี่ยนแปลงต่อ Overall Stability หาได้โดยพล็อตเส้นโค้งความสูญเสียแขนโมเมนต์ตั้งตรงลงบนเส้นโค้งการทรงตัวแล้วหาผลรวมทางพีชคณิตของแขนโมเมนต์ตั้งตรงที่เหลือ ดังนี้ (ดูรูปที่ 23)

ถ้า Loss of Righting Arm ลดค่า Righting Arm ลง ให้ นำไปลบกัน

ถ้า Loss of Righting Arm เพิ่มค่า Righting Arm ขึ้น ให้ นำไปบวกเข้า

หมายเหตุ ขอให้สังเกตว่าไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขนาดหรือลดขนาดของแขนโมเมนต์ตั้งตรง ยังคงเรียกว่าเป็น “Loss of Righting Arm” เสมอ เพียงแต่กรณีแรกเรือสูญเสียการทรงตัว ในขณะที่กรณีหลังเรือมีการทรงตัวเพิ่มขึ้น



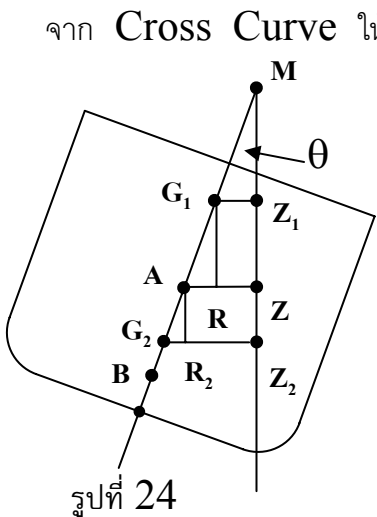
รูปที่ 23

2.4.2 การนำผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่งไปประกอบการอ่าน Cross Curve

Cross Curve of Stability มักถูกสร้างขึ้นโดยสมมติความสูงของจุด G ไว้

ที่หนึ่ง เพื่อใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการคำนวณขนาดแขนโมเมนต์ตั้งเรือ ความสูงของจุด G ดังกล่าวถือว่าเป็น ระยะ “KG อ้างอิง (Reference KG)”

เมื่อสร้างเรือเสรีจุด G ที่แท้จริงมักอยู่ที่ระยะความสูงอื่นอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าจุด G อ้างอิงก็ได้ ประกอบกับเมื่อบรรทุกน้ำหนักลงเรือในลักษณะต่าง ๆ ตำแหน่งจุด G ที่แท้จริงย่อมเปลี่ยนไป เมื่อเป็นเช่นนี้ เส้นโค้งการทรงตัวที่มีประจำอยู่บนเรือจึงเป็นเพียง **Cross Curve** ที่พล็อตเทียบกับจุด G สมมติเท่านั้น มิใช่จุด G ที่แท้จริงขณะนั้น จึงจำเป็นต้องปรับแก้ผลการอ่านระยะแกนโมเมนต์ตั้งตรง



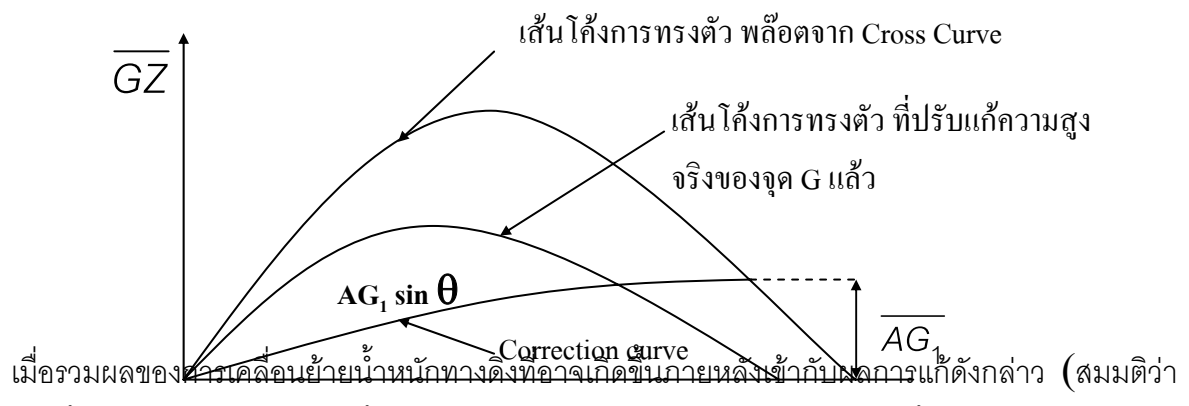
จาก **Cross Curve** ให้เป็นขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรงที่สอดคล้องกับความสูงจุด G ที่แท้จริงต่อไปจากรูปที่ 24 สมมติว่า A เป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณสร้าง **Cross Curve of Stability** ระยะ \overline{KG} สมมติในที่นี้คือ \overline{KA} ดังนั้น \overline{AZ} จึงเป็นขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรง ที่อ่านได้ทันทีจาก **Cross Curve** แต่ถ้าจุด G ของเรืออยู่สูงกว่าจุด G สมมติ เช่น อยู่ที่จุด G_1 จะทำให้ขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรงที่อ่านได้จาก **Cross Curve** ยาวกว่าความเป็นจริงอยู่เป็นระยะเท่ากับ \overline{AR} ในทางกลับกัน ถ้าจุด G อยู่ต่ำกว่าจุด G สมมติ เช่น อยู่ที่จุด G_2 ค่าที่อ่านได้จะสั้นกว่าความเป็นจริงอยู่เป็นระยะ $\overline{G_2R_2}$ เห็นได้ว่า \overline{AR} หรือ $\overline{G_2R_2}$ เป็นค่าแก้ (**Correction**) ที่

จะต้องนำไปประกอบการคำนวณเมื่ออ่านขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรงจาก **Cross Curve** ที่มีอยู่ในเรือเสมอ

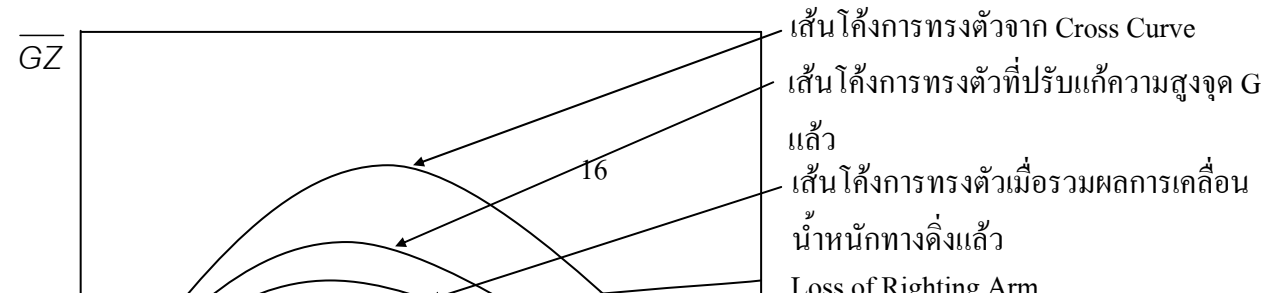
โดยที่ ระยะการสูญเสียแกนโมเมนต์ $\overline{AR} = \overline{AG_1} \sin \theta$

(20) และ ระยะการเพิ่มแกนโมเมนต์ $\overline{G_2R_2} = \overline{AG_2} \sin \theta$ (21)

การปรับแก้ขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรงดังในสมการที่ (20) และ (21) คือวิธีการเช่นเดียวกับการดำเนินการในกรณีของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่ง ดังนั้นการพล็อตเส้นโค้งการทรงตัวที่ปรับแก้แล้ว (พร้อมนำไปใช้) จึงมีลักษณะดังนี้ (กรณี จุด G อยู่สูงกว่า จุดอ้างอิง A)



เมื่อรวมผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่งที่อาจเกิดขึ้นภายหลังเข้ากับผลการแก้ดังกล่าว (สมมติว่า

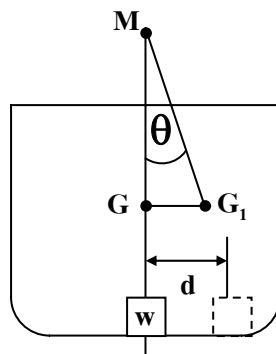


รูปที่ 26

2.6 การเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางขวางและผลต่อ Overall Stability

การเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางขวาง แบ่งเป็น 2 กรณีใหญ่ ๆ คือ

- น้ำหนักรวมของเรือไม่เปลี่ยน
- น้ำหนักรวมของเรือเปลี่ยน



ถ้าน้ำหนัก w ในรูปที่ 27 ถูกเคลื่อนย้ายทางขวางเรือเป็นระยะ d โดยน้ำหนักโดยรวมของเรือคงที่ จุดศูนย์กลางเรือจะเคลื่อนไปอยู่ที่จุด G_1 เป็นระยะ $\overline{GG_1}$ คือ

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times d}{\Delta}$$

(22)

โดย $\overline{GG_1}$ = ระยะการเคลื่อนที่ของจุด CG.

w = น้ำหนักที่ถูกเคลื่อนย้าย

d = ระยะที่เคลื่อนย้าย (วัดระหว่างจุดศูนย์กลางมวล)

Δ = น้ำหนักรวมของเรือ

ถ้าเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางขวางหลายชิ้น

$$\overline{GG_1} = \frac{\sum (w_i \times d_i)}{\Delta}$$

(23)

โดย w_i = น้ำหนักแต่ละชิ้น

d_i = ระยะเคลื่อนย้ายของน้ำหนักแต่ละชิ้น

$$\sum (w_i \times d_i) = \text{ผลรวมของโมเมนต์น้ำหนัก (Weight Moment)}$$

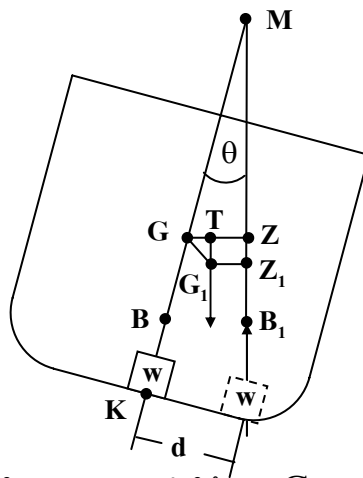
ถ้าเป็นการเคลื่อนย้ายที่ทำให้น้ำหนักรวมของเรือเปลี่ยน จะคำนวณได้ดังนี้

$$\overline{GG_1} = \frac{\sum (w_i \times d_i)}{(\Delta \pm \sum w_i)} \quad (24)$$

โดย $\sum w_i =$ ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในทางขวาง

2.6.1 ผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางขวางต่อขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรง

การเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางขวางส่งผลกระทบต่อ **Overall Stability** ของเรือในลักษณะเช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่ง พิจารณาได้จากรูปที่ 28



เมื่อน้ำหนัก w ถูกเคลื่อนย้ายในทางขวาง ทำให้จุด G ของเรือเลื่อนมาอยู่ที่จุด G_1 ทำให้แกนโมเมนต์ตั้งตรงที่เดิมยาวเท่ากับ GZ มีความยาวลดลงเป็น G_1Z_1 คือลดลงเป็นปริมาณเท่ากับ GT ดังนั้นในแต่ละมุมเอียงแกนโมเมนต์ตั้งตรงจะลดลงเป็นปริมาณเท่ากับ

$$\overline{GT} = GG_1 \cos \theta \quad (25)$$

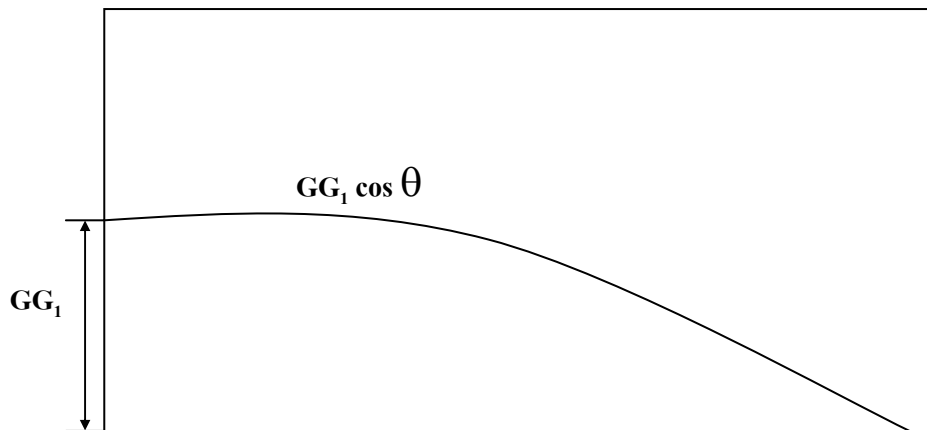
โดย $GG_1 =$ ระยะการเคลื่อนที่ของจุด G

$\theta =$ มุมเอียงของเรือ

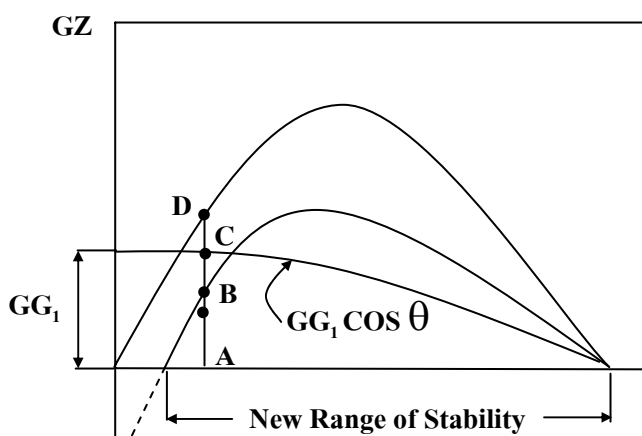
เมื่อพล็อตระยะ **Loss of Righting Arm** ที่เกิดขึ้นแต่ละมุมเอียงจะได้เส้นโค้ง “ความสูญเสียแขนโมเมนต์ตั้งตรง (**Loss of Righting Arm Curve**)” คล้ายกับที่เกิดในกรณีเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่ง (ดูรูปที่ 29) เช่นกัน ดังนี้

ถ้า **Loss of Righting Arm** ลดค่า **Righting Arm** ลง ให้นำไปลบกัน

ถ้า **Loss of Righting Arm** เพิ่มค่า **Righting Arm** ขึ้น ให้นำไปบวกเข้า



ความเปลี่ยนแปลงที่มีต่อ **Overall Stability** หาได้โดยพล็อตเส้นโค้งความสูญเสียแขนโมเมนต์ตั้งตรงอันเนื่องจากการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางขวางลงบนเส้นโค้งการทรงตัวเดิม (อาจเป็นภายหลังจากการแก้เส้นโค้งการทรงตัวในหัวข้อที่ 2.4.2 แล้ว)



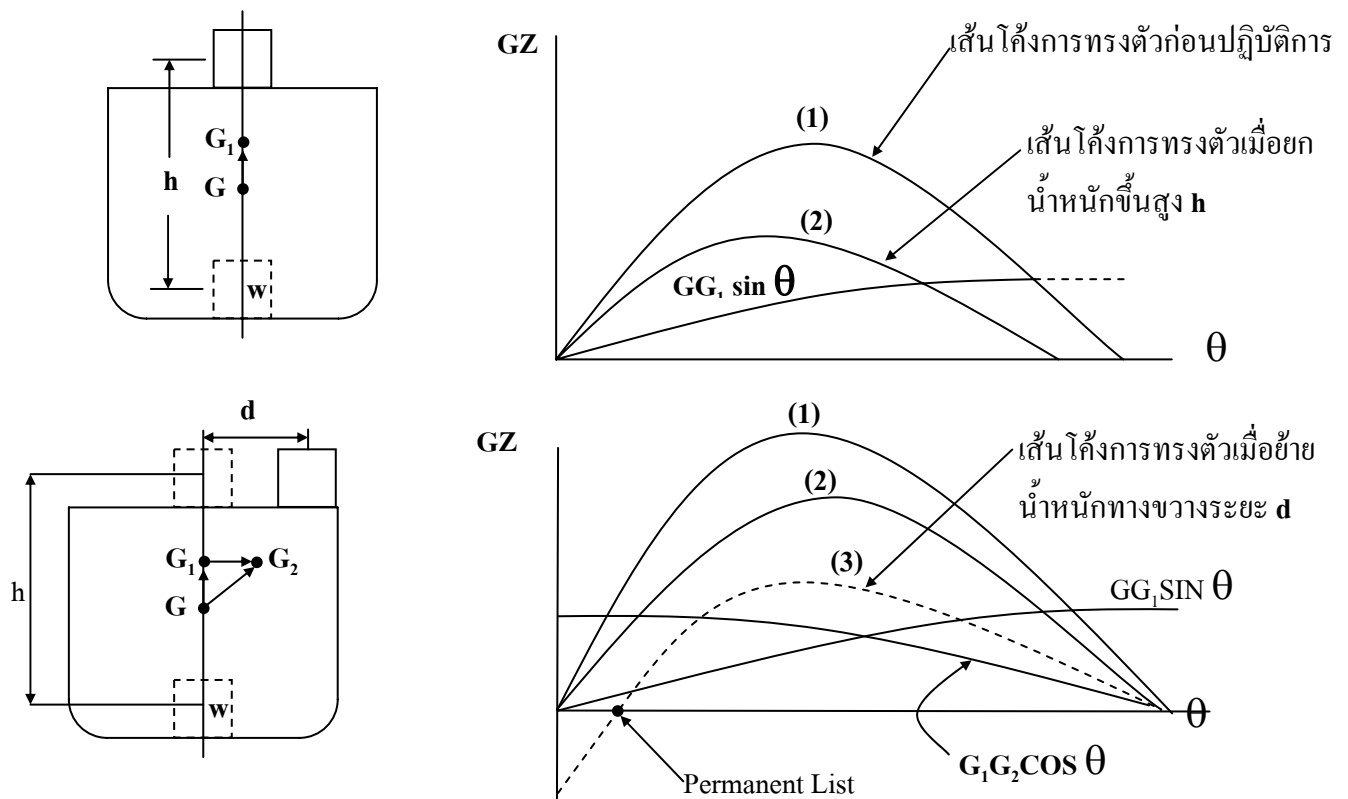
$$\begin{aligned} \overline{AB} &= \overline{AD} - \overline{AC} \\ &= \overline{GZ} - \overline{GG_1 \cos \theta} \end{aligned}$$

จากรูปที่ 30 พบว่าเส้นโค้งที่ 30 ของตัวใหม่มีขนาดแขนโมเมนต์ตั้งตรงเป็นลบจนถึงมุมเอียงค่าหนึ่ง หมายความว่า ถ้าเลื่อนน้ำหนัก **w** ดังในรูปที่ 28 เรือจะเอียงตามการเคลื่อนย้ายน้ำหนักไป

จนกระทั่งหยุดเอียงที่มุมเอียงหนึ่ง คือมีการทรงตัวเป็นแบบ **Neutral Equilibrium** อยู่ช่วงหนึ่ง มุมเอียงนี้จะเรียกว่าเป็น “มุมเอียงถาวร (Permanent List)” ต่อไปหากมีแรงภายนอกมากกระทำ เรือจะทรงตัว ต่อไปแบบ **Stable Equilibrium** ได้ภายในขอบเขตของ **Range of Stability** ในรูปที่ 30

2.7 การเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางเฉียงและผลต่อ Overall Stability

การเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางเฉียงเป็นกรณีผสมผสานของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางตั้งและทาง ขวางเข้าด้วยกัน มีข้อแนะนำสำคัญที่ช่วยให้สามารถพิจารณาการเคลื่อนที่ของจุดต่าง ๆ ได้ง่าย คือ ให้ พิจารณาการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางตั้งก่อนแล้วจึงพิจารณาการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางขวางตาม เหตุผลนี้มักสอดคล้องกับขั้นตอนการเคลื่อนย้ายน้ำหนักในเรือเสมอ คือ มักจะยกน้ำหนักที่ต้องการ ขึ้นตรง ๆ ก่อน แล้วจึงหันไปวางด้านข้างตามต้องการ

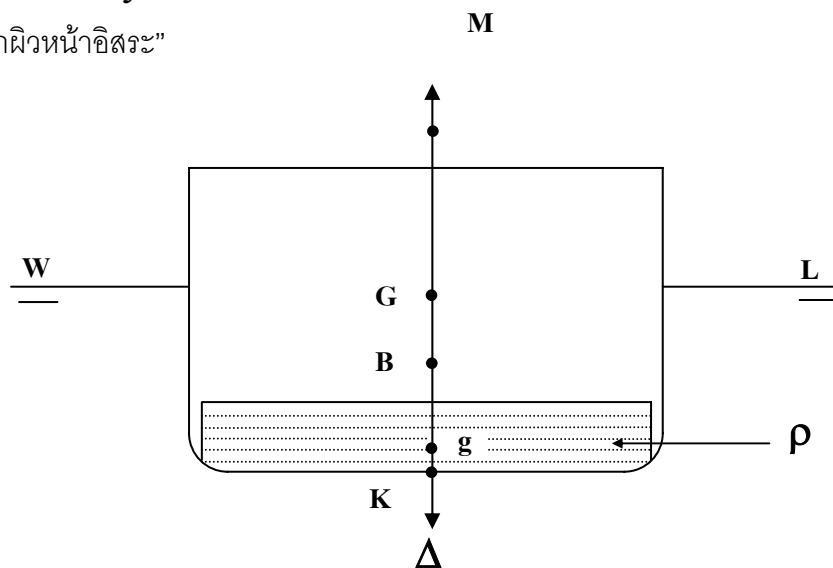


เมื่อพิจารณารูปที่ 31 ก) ซึ่งน้ำหนัก w ถูกเคลื่อนย้ายทางตั้งจากดาดฟ้าใต้ระวางขึ้นสู่ดาดฟ้าบนเป็น ระยะทางตั้ง h และทางขวาง d ดังนั้น เริ่มแรกจุด CG จึงเลื่อนขึ้นเป็นระยะเท่ากับ $\overline{GG_1} = \frac{w \times h}{\Delta}$ เป็นผลให้ต้องสูญเสียความยาวแขนโมเมนต์ตั้งตรงที่แต่ละมุมเอียงไปเท่ากับ $\overline{GG_1} \sin \theta$ เมื่อพล็อต ความสูญเสียดังกล่าวกับเส้นโค้งการทรงตัวเดิม (เส้นโค้งหมายเลข 1) จะได้เส้นโค้งการทรงตัวใหม่ เป็นเส้นโค้งหมายเลข 2 ต่อไปให้พิจารณาย้ายน้ำหนักทางขวาง ดังนั้น จุด CG จึงเคลื่อนที่ต่อไปอยู่

ที่จุด G_2 เป็นระยะ $\overline{G_1G_2} = \frac{w \times d}{\Delta}$ ทำให้สูญเสียความยาวแขนโมเมนต์ตั้งตรงแต่ละมุมเอียงอีก $G_1G_2 \cos \theta$ เมื่อพล็อตความสูญเสียนี้กับเส้นโค้งการทรงตัวล่าสุด (เส้นโค้งหมายเลข 2) จะได้เส้นโค้งการทรงตัว สุดท้ายที่รวมผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่งและทางขวางเข้าด้วยกันเป็นเส้นโค้งการทรงตัวหมายเลข 3 เกิด Permanent List และมี Overall Stability เปลี่ยนไปจากเดิม

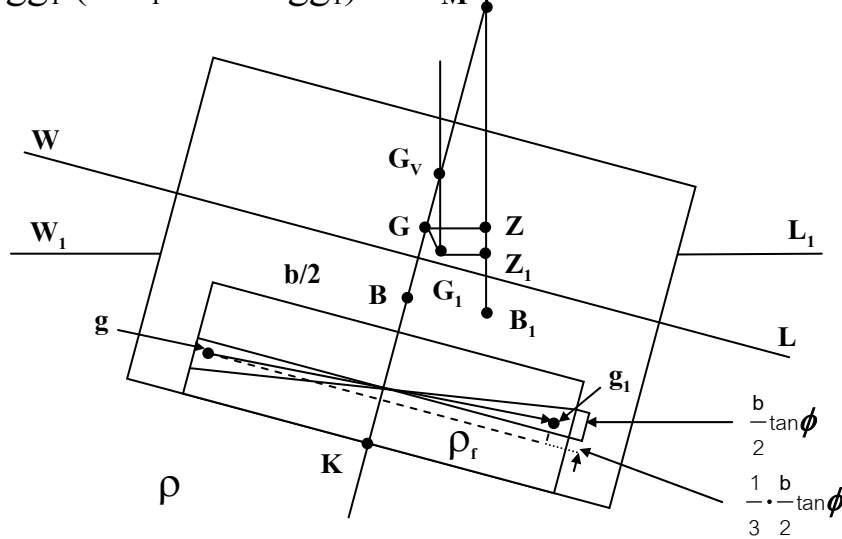
3. การเกิดผิวน้ำอิสระ (Free Surface Effects)

ก่อนหน้านี้ได้อธิบายเกี่ยวกับผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักที่มีต่อ Overall Stability ของเรือไปแล้วในหลายลักษณะ ต่อไปจะขออธิบายเกี่ยวกับผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักในลักษณะที่เกิดผลจากผิวน้ำอิสระ (Free Surface Effects) ซึ่งผลกระทบดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับผลของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักบนเรือ แต่น้ำหนักที่ถูกเคลื่อนย้ายในลักษณะนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยมิได้ตั้งใจ น้ำหนักดังกล่าวคือบรรดาน้ำหนักที่มีรูปร่างของผิวน้ำไม่คงที่และเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการเอียงของเรือหรือภาชนะที่บรรจุอยู่ เช่น น้ำในถังอับเฉา น้ำมันเชื้อเพลิง ของเหลวต่าง ๆ สินค้าประเภทกองเทได้ เช่น ปูนซีเมนต์ ผงเคมี น้ำตาลทราย ... ฯลฯ เห็นได้ว่าน้ำหนักเหล่านี้เป็นน้ำหนักที่มีลักษณะผิวน้ำเป็นอิสระ (Free Surface) ซึ่งผลกระทบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อบรรจุน้ำหนักดังกล่าวไม่เต็มภาชนะ ดังนั้น เมื่อเรือเอียงแรงโน้มถ่วงของโลกจะพยายามรักษาระดับของผิวน้ำอิสระไว้ ผลจากความเฉื่อย (Inertia) ของการเคลื่อนที่และจุดศูนย์ถ่วงของมวลน้ำหนักรวมที่เกิดผิวน้ำอิสระเปลี่ยนแปลงจะทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรวมของเรือเปลี่ยนไป ดังนั้นย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อ Overall Stability ของเรือด้วย อิทธิพลที่มีผลต่อความสามารถในการทรงตัวของเรือนี้จึงเรียกว่า เป็น “ผลจากผิวน้ำอิสระ”



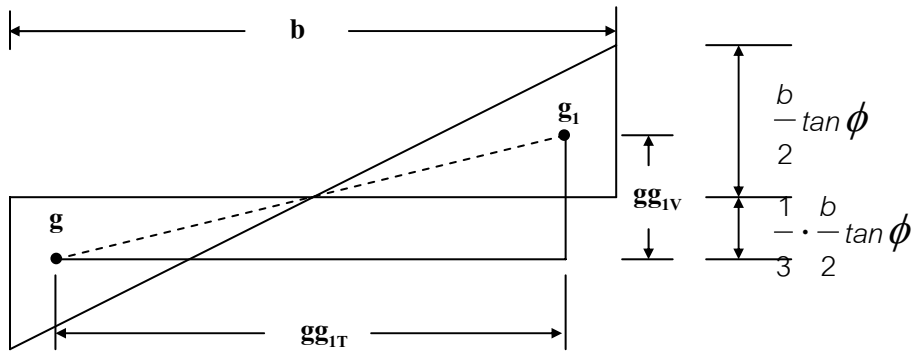
รูปที่ 32 ตัวอย่างการบรรจุทุกน้ำหนักที่มีผิวน้ำอิสระในเรือ

รูปที่ 32 เป็นตัวอย่างแสดงลักษณะการบรรทุกของเหลวหนัก Δ ซึ่งมีความหนาแน่นมวลเท่ากับ ρ ในถังบนเรือลำหนึ่ง ถ้าจุดศูนย์กลางถ่วงของของเหลวอยู่ที่ g และในสถานะปกติเรือยังไม่เอียง จุดศูนย์กลางการลอยและจุดศูนย์กลางถ่วงรวมของระบบจะอยู่ที่ B และ G ตามลำดับ (ในแนวเส้นกึ่งกลางลำเรือพอดี) ต่อไปถ้าสมมติให้เรือเอียงเล็กน้อยดังในรูปที่ 33 เป็นมุม ϕ เนื่องจากถังบรรทุกของเหลวไม่เต็ม ดังนั้นเมื่อเรือเอียงผิวหน้าของเหลวจึงอิสระที่จะไม่เอียงตาม โดยจะยังคงรักษาแนวระดับตามแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้ปริมาตรของเหลวในถังเปลี่ยนรูปร่างไป ผลที่ตามมาคือจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของของเหลวเปลี่ยนไปอยู่ที่จุด g_1 ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางถ่วงของปริมาตรเต็ม ถ้าไม่มีผลจากผิวหน้าอิสระเมื่อเรือเอียงเป็นมุม ϕ แขนโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Arm) จะมีขนาดเท่ากับ GZ และมีความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (Metacentric Height) เท่ากับ GM แต่เนื่องจากผลของผิวหน้าอิสระ จุด CG รวมของเรือจะเคลื่อนที่จาก G ไปยัง G_1 ซึ่งเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของ gg_1 (GG_1 ขนานกับ gg_1) วิเคราะห์ได้ดังนี้



กำหนดให้ถังกว้าง b ยาว c ความหนาแน่นมวลของน้ำในถังและที่เรือลอยอยู่มีค่าเท่ากับ ρ_f และ ρ มีน้ำหนักจำเพาะเป็น w และ W ตามลำดับ จากรูปที่ 34 ถ้ากำหนดให้ gg_{1T} เป็นระยะการเคลื่อนที่ในแนวระดับของจุดศูนย์กลางถ่วงเต็ม ดังนั้น เมื่อเรือเอียง ϕ

$$gg_{1T} = \frac{2}{3}b \tag{26}$$



รูปที่ 34 การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางถ่วงเต็มของเพลลาในรูปที่

และให้ gg_{1V} เป็นระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดศูนย์กลางถ่วงล้ม ดังนั้นเมื่อเรือเอียง ϕ

$$gg_{1V} = \frac{2}{3} \frac{b}{2} \tan \phi = \frac{b}{3} \tan \phi \quad (27)$$

จากสมการที่ (26) ดังนั้น

$$gg_{1V} = \frac{1}{2} gg_{1T} \tan \phi$$

(28)

โดยลิมมีน้ำหนักเป็น

$$w = \rho_f g \left(\frac{1}{2} \frac{b}{2} \frac{b}{2} \tan \phi \right) \cdot l \quad (29)$$

หรือ

$$w = \rho_f g \frac{b^2 l}{8} \tan \phi \quad (30)$$

ดังนั้นโมเมนต์ของแรงเนื่องจากลิมหนัก w เคลื่อนที่จึงทำให้จุด CG . รวมของเรือเคลื่อนที่ดังนั้นการเคลื่อนที่ในทางระดับ (GG_{1T})

$$\begin{aligned} GG_{1T} &= \frac{w \times gg_{1T}}{\Delta} = \frac{\left[\rho_f g \frac{b^2 l}{8} \tan \phi \right] \begin{bmatrix} 2 \\ - \\ 3 \end{bmatrix}}{\rho \cdot g \cdot \nabla} \\ &= \frac{\rho_f}{\rho} \frac{b^3 l}{12} \frac{\tan \phi}{\nabla} \\ &= \frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{i}{\nabla} \tan \phi \end{aligned} \quad (31)$$

(32)

โดย $i = \frac{b^3 l}{12} =$ Transverse Moment of Inertia ของถัง

การเคลื่อนที่ในทางตั้ง (GG_{1V})

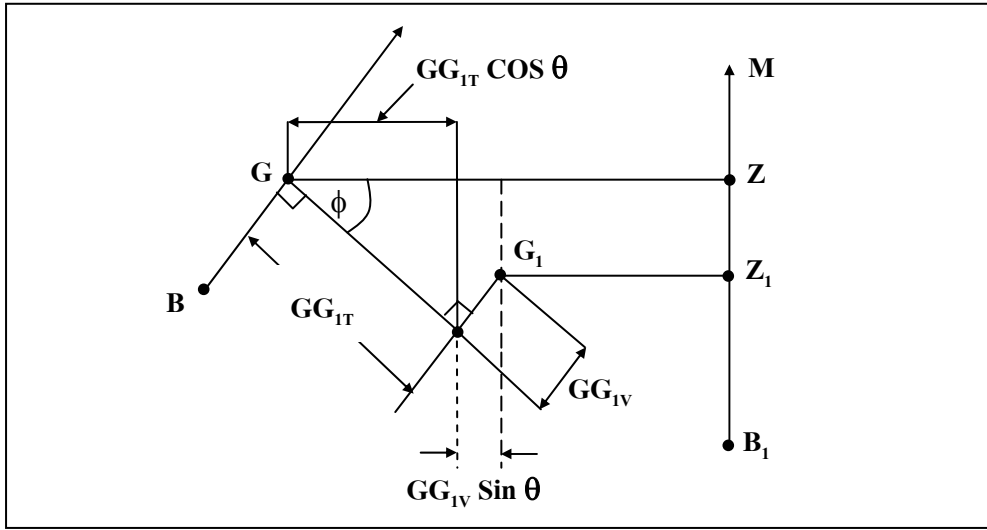
$$\begin{aligned} GG_{1V} &= \frac{w \times gg_{1V}}{\Delta} = \frac{\left[\rho_f g \frac{b^2 l}{8} \tan \phi \right] \begin{bmatrix} b \tan \phi \\ 3 \end{bmatrix}}{\rho \cdot g \cdot \nabla} \\ &= \frac{\rho_f}{\rho} \frac{b^3 l}{12} \frac{\tan^2 \phi}{2 \nabla} \end{aligned} \quad (33)$$

$$= \frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{i}{\nabla} \frac{\tan^2 \phi}{2} \quad (34)$$

จากสมการที่ (32) และ (34) ดังนั้น

$$GG_{1V} = GG_{1T} \frac{\tan \phi}{2} \quad (35)$$

นำผลการวิเคราะห์ที่ตั้งในสมการที่ (32) และ (34) มาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาด **Righting Arm** ของเรือ ได้ดังในรูปที่ 35



โดย **Righting Arm** ใหม่มีขนาดลดลงเหลือเท่ากับ G_1Z_1 ดังนี้
 รูปที่ 35 การเปลี่ยนแปลงขนาดของ **Righting Arm** เนื่องจากผลของผิวหน้า
 $G_1Z_1 = GZ - GG_{IT} \cos \phi - GG_{IV} \sin \phi$

(36)

$$\begin{aligned}
 &= GM \sin \phi - \left(\frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{i}{\nabla} \tan \phi \right) \cos \phi - \left(\frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{i}{\nabla} \frac{\tan^2 \phi}{2} \right) \sin \phi \\
 &= \sin \phi \left[GM - \frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{i}{\nabla} \left(1 + \frac{\tan^2 \phi}{2} \right) \right] \quad (37)
 \end{aligned}$$

เทอมทางขวาของสมการที่ (37) แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงศูนย์เสถียร (**Metacentric Height**) อันเนื่องมาจากผลของผิวหน้าอิสระที่มุมเอียงต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามการแทนค่า $GZ = GM \sin \phi$ ในสมการที่ (36) ใช้ได้จำกัดเฉพาะเมื่อเรือเอียงเป็นมุมน้อย ๆ ไม่เกินกว่าประมาณ 7° ถึง 10° (ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเรือ) ดังนั้นด้วยมุมเอียงขนาดนี้ยอมทำให้เทอม $\frac{\tan^2 \phi}{2}$ ในสมการที่ (37) มีค่าน้อยมาก การคำนวณขนาด **Righting Arm** ของเรือที่ได้รับผลกระทบจากผิวหน้าอิสระแต่เอียงเป็นมุมเล็ก ๆ จึงสามารถลดรูปสมการได้เป็น

$$G_1Z_1 = \left(GM - \frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{i}{\nabla} \right) \sin \phi \quad (38)$$

เทอม $\frac{\gamma_f i}{\gamma \nabla}$ จึงเปรียบเสมือนระยะความสูงศูนย์เสถียร (GM) ที่ลดลงเนื่องจากผลของผิวหน้าอิสระ หากมองในลักษณะจุด M คงที่ (มุมเอียงน้อย ๆ เท่านั้น) บางครั้งจึงเรียกการสูญเสียความสูงศูนย์เสถียรนี้ว่าเป็น “Virtual Rise” ของจุดศูนย์ถ่วงเรืออันเกิดจากผิวหน้าอิสระ” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$GG_{Virtual} = \frac{\gamma_f i}{\gamma \nabla} = \frac{\rho_f i}{\rho \nabla} = FSC \quad (39)$$

ดังนั้นในการคำนวณเกี่ยวกับผลจากผิวหน้าอิสระจะใช้สมการที่ (39) เป็น “ค่าแก้ผิวหน้าอิสระ (Free Surface Correction; FSC)” ในเทอมของการลดขนาดความสูงศูนย์เสถียรโดยที่สามารถใช้ได้กับถึงรูปร่างหน้าตัดทุกชนิด ดังนั้นระยะความสูงศูนย์เสถียรประสิทธิผลที่รวมผลของการเกิดผิวหน้าอิสระเข้าไว้ด้วยจะมีค่าเป็น

$$GM_{Eff} = KM - KG - FSC \quad (40)$$

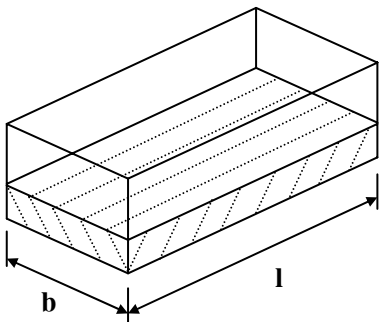
3.1 Virtual Rise of G

ระยะ GG_V ในรูปที่ 33 เรียกว่าเป็น “Virtual Rise of G” สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$GG_V = \frac{l}{\nabla} \quad (A)$$

โดย l = โมเมนต์อินเนอเซียของผิวหน้าอิสระรอบแกนทางยาว
 ∇ = ปริมาตรระวางขับน้ำเรือ

ในกรณีของถึงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจะคำนวณโมเมนต์อินเนอเซียของผิวหน้าอิสระได้



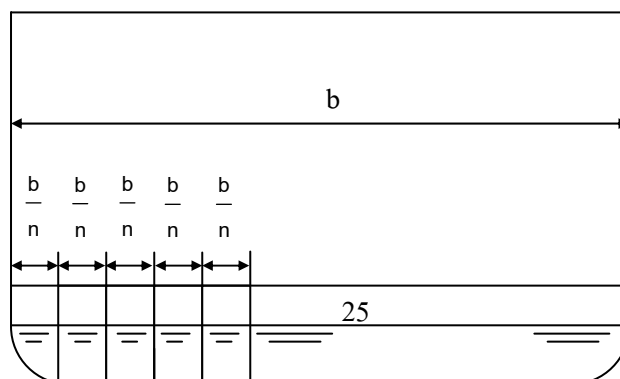
$$l = \frac{b^3 l}{12} \quad (B)$$

โดย b = ความกว้างของผิวหน้าอิสระ (ทางขวางเรือ)

l = ความยาวของผิวหน้าอิสระ (ตามยาวเรือ)

รูปที่ 36

3.2 ผลจากผิวหน้าอิสระในถึงที่แบ่งเป็นส่วนตามยาว (Effect of Longitudinal Subdivision)



ในกรณีที่ตั้งบรรจขของเหลวถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ตามความยาว (Longitudinal Subdivision) จำนวน n ส่วนดังในรูปที่ 37 ถ้าถังนี้กว้าง b ตั้งแต่ละส่วนจึงมีความกว้างเท่ากับ

$$\frac{b}{n} \text{ ดังนั้นจากสมการที่ (39) FSC ของแต่ละส่วนจะมีค่าเท่ากับ } FSC = \frac{\rho_f i}{\rho \nabla}$$

(C)

แทนค่า $i = \frac{1}{12} \left(\frac{b}{n}\right)^3$ เพราะฉะนั้นค่าแก้ผิวหน้าอิสระของถังที่แบ่งตามยาว n ส่วนเท่า ๆ กัน จะมี

$$\begin{aligned} \text{ค่า FSC ของแต่ละส่วนเท่ากับ } FSC &= \frac{\rho_f}{\rho} \frac{1}{12} \frac{b^3}{\nabla} \frac{1}{n^3} \\ &= \frac{\rho_f}{\rho} \frac{i}{\nabla} \frac{1}{n^3} \end{aligned} \quad (41)$$

$$= \frac{\gamma_f}{\gamma} \frac{i}{\nabla} \frac{1}{n^3} \quad (42)$$

ดังนั้นจะคำนวณความสูงศูนย์เสถียรที่สูญเสียไปเนื่องจากผิวหน้าอิสระ (Virtual Loss of Metacentric Height) ของถังย่อยทั้งหมด จำนวน n ถัง ได้ดังนี้

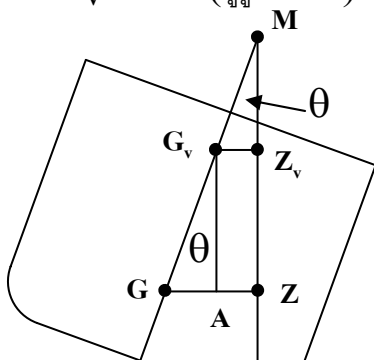
$$FSC_n = n \times \frac{\rho_f}{\rho} \frac{i}{\nabla} \frac{1}{n^3} \quad (43)$$

$$= \frac{\rho_f}{\rho} \frac{i}{\nabla} \frac{1}{n^2} \quad (44)$$

โดย n คือจำนวนถังย่อย เมื่อเปรียบเทียบสมการ (C) กับสมการที่ (44) พบว่าการแบ่งถังเป็นส่วนๆตามยาวจะช่วยลดผลจากผิวหน้าอิสระได้เป็นทวีคูณ

3.3 ผลของผิวหน้าอิสระต่อ Overall Stability

ผิวหน้าอิสระทำให้เกิด Virtual Rise of G เป็นผลให้ จุด CG ของเรือเคลื่อนที่สูงขึ้นกว่าที่ควรเป็น ดังนั้นขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรงจึงสั้นลงผลกระทบนี้สามารถพิจารณาได้ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่ง โดยที่ทุกๆมุมเอียงเรือจะสูญเสียแกนโมเมนต์ตั้งตรงไปเป็นขนาด $GG_V \sin \theta$ (ดูรูปที่ 38) หรือ



$$GA = GG_V \sin \theta \quad (D)$$

$$\text{หรือ } GA = \frac{l}{\nabla} \sin \theta$$

(E)

ดังนั้นแกนโมเมนต์ตั้งตรงจึงลดขนาดลงเป็น

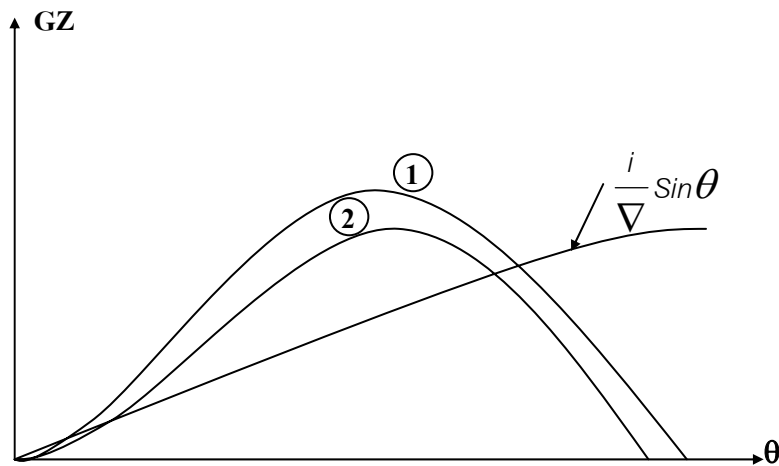
แกนโมเมนต์ตั้งตรงจากการเกิด **Virtual Rise of G**

$$G_V Z_V = GZ - GA \quad (\text{F})$$

$$= GZ - GG_V \sin \theta \quad (\text{G})$$

$$= GZ - \frac{i}{\nabla} \sin \theta \quad (\text{H})$$

เมื่อพล็อตการสูญเสียขนาดแกนโมเมนต์ตั้งตรง(เทอมที่ 2 ทางขวาของสมการ (G))ลงบนเส้นโค้งการทรงตัว และรวมค่าทางพีชคณิตเท่ากับเส้นโค้งการทรงตัวเช่นดังในวิธีการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่ง จะได้เส้นโค้งการทรงตัวใหม่ดังในรูป 39 (เส้นที่ 2)



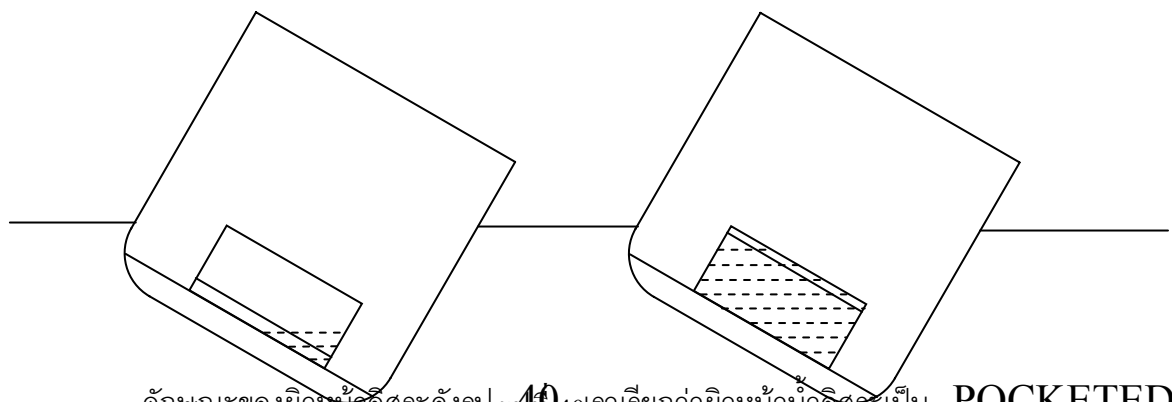
3.4 การพิจารณาลดผลจากผิวหน้าอิสระ ^{รูปที่ 39}

ในที่นี้จะพิจารณาลดผลจากผิวหน้าอิสระที่เกิดขึ้นในเรือในลักษณะของการสูญเสียแรงลอยตัวของเรือไปบางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากจะครอบคลุมทั้งในกรณีของการเกิดผิวหน้าอิสระในถังต่างๆ และกรณีของเรือทะเลน้ำท่วมห้องทำให้ห้องที่น้ำท่วมเปิดสู่ผิวหน้าอิสระภายนอก(**Free Communication**)เกิดผิวหน้าอิสระเช่นเดียวกับผิวน้ำน่านอกเรือ ซึ่งก่อนอื่นจะต้องทำความเข้าใจและคุ้นเคยกับนิยามสำคัญดังต่อไปนี้

3.4.1 LOOSE WATER คือ ของเหลวที่บรรจุอยู่ในถังหรือในห้องเพียงบางส่วน ทำให้เกิดผิวน้ำอิสระ มีผลกระทบ 2 ประการหลัก คือ 1. เกิด Free Surface Effect และ 2) เกิด Free Communication Effect

3.4.2 FREE SURFACE คือ ผิวน้ำของห้องที่บรรจุของเหลวเพียงบางส่วน และของเหลวนั้นไหลไปมาได้โดยอิสระ เพราะว่าผิวน้ำของของเหลวพยายามที่จะรักษาระดับขนานกับแนวระดับเสมอ ห้องที่เกิด Free Surface จะเรียกว่า”เป็นห้องที่มีผิวน้ำของเหลวเป็นอิสระ” กรณีนี้ก็คือกรณีเดียวกับที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.3 องค์ประกอบที่ได้รับผลกระทบจากการเกิด Free Surface คือ: การทรงตัวของเรือ (Stability)

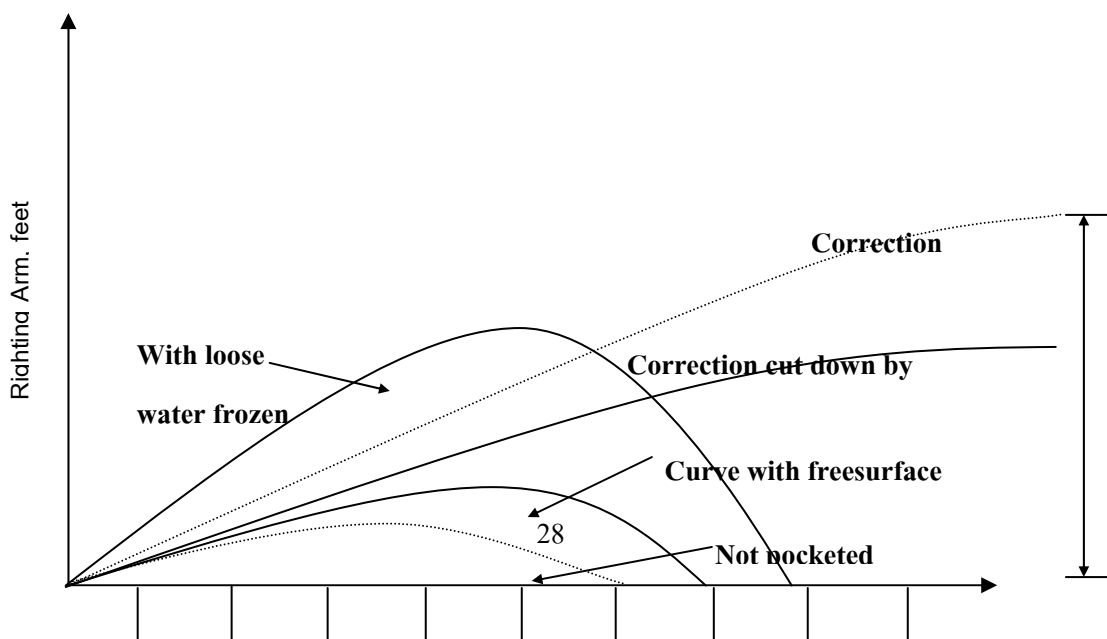
3.4.3 POCKETING คือ ของเหลวที่บรรจุเกือบเต็มหรือใช้เกือบหมด



- ลักษณะของผิวน้ำอิสระดังรูป 40 เราเรียกว่าผิวน้ำอิสระเป็น **POCKETED** ผลกระทบลักษณะนี้จะทำให้ความกว้าง (b) ของ F.S. ลดลงบางส่วนและช่วยให้จุด G เสมือนลดลงจึงทำให้จุด G รวมของเรือลดต่ำกว่าเมื่อเทียบกับไม่เกิด **Pocketing** ทำให้เส้นโค้งการทรงตัวที่เหลือนั้นขึ้นบ้างดังรูป 41

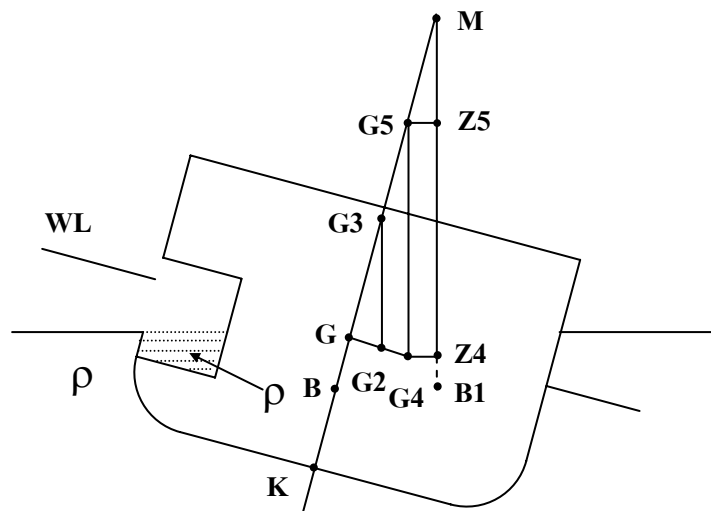
- ไม่มีการประเมินค่าในทางตัวเลขกับผลกระทบของ F.S. ในลักษณะ **Pocketing** ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อย เพียงแต่แสดงให้เห็นว่าการเกิด **Pocketing** จะช่วยลดการสูญเสีย **Over-all Stability**

- ในทางปฏิบัติก็คือ ควรบรรจุของเหลวลงในถังหรือไม่ก็ปล่อยให้ถังว่างเปล่า



3.4.5 Surface Permeability คือ ความสามารถในการดูดซับบนพื้นผิว - เป็นลักษณะของห้องที่มีส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ใด ๆ ติดตั้งอยู่ เช่น ห้องเก็บสินค้า ห้องเครื่องจักรต่าง ๆ เป็นต้น ดังนั้น ถ้าเกิดความเสียหาย เช่น น้ำท่วมบางส่วน ผิวของผิวหน้าอิสระจึงเกิดขึ้นไม่เต็มพื้นที่ ผลกระทบต่อการทรงตัวจึงลดลง การหาค่าผลกระทบจากผิวหน้าอิสระในกรณีที่มีผิวหน้าไม่อิสระเต็มพื้นที่นั้นค่อนข้างยุ่งยาก บางครั้งอาจไม่ต้องคำนึงถึง โดยอาจกระทำในลักษณะลดค่าผลกระทบเป็นสัดส่วนลงมาจากกรณี ผิวหน้าอิสระเต็มพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามการละเลยไม่คิดถึงผลกระทบเช่นนี้อาจทำให้ผลการคำนวณการทรงตัวผิดพลาดได้บ้าง

3.4.5 Free Communication Effect คือ ผลกระทบที่เกิดจากน้ำท่วมห้องนอกศูนย์กลาง (Off Center Flood) อีกทั้งข้างเรือเปิดติดต่อกับทะเล (Shell Open to Sea) ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42

- เมื่อเรือได้รับความเสียหายในลักษณะ **Free Communication** จุดศูนย์กลางน้ำหนักเดิมอยู่ที่ G_1 จะเคลื่อนไปที่ G_2 ในขณะที่น้ำไหลเข้าห้องจะเกิด **Free Surface** แต่เมื่อเรือเอียงต่อไปอีกทำให้น้ำจำนวนหนึ่งไหลเข้ามาอีกทำให้ศูนย์กลางน้ำหนักเคลื่อนจาก G_2 ไปยัง G_4 อีกครั้งหนึ่ง ในทำนองเดียวกัน เมื่อเรือเอียงไปในทิศตรงข้าม (ห้องที่น้ำท่วมยกตัวสูงขึ้น) จะเกิดผิวหน้าอิสระจำนวนหนึ่งและน้ำจำนวนหนึ่งไหลออกจึงเข้าลักษณะการถอดถอนน้ำหนักนอกเส้นศูนย์กลางลำทางขวาง การเคลื่อนของจุด G จึงเคลื่อนจาก $G_1 \rightarrow G_2 \rightarrow G_4$ ตามลำดับ

- จากเหตุนี้สามารถที่จะหา การเปลี่ยนแปลงของจุด G ได้โดยอาศัยหลักการเดียวกับการคำนวณผลกระทบจากผิวหน้าอิสระ โดยลากเส้นแนวตั้งจาก G_4 ตัดแกนเส้นศูนย์กลางลำทางขวางที่

G_5 และลากเส้น G_5 ขนานกับแนวระนาบตัดเส้นต่อแนวแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ที่จุด Z_5 ทำให้ระยะ $G_5Z_5 = G_4Z_4$ เป็นแกนโมเมนต์ที่ตั้งตรงเมื่อเรือเสียหายในลักษณะนี้

- ผลกระทบต่อ **Initial Stability** คือเกิดการสูญเสียความสูงศูนย์เสถียรเพิ่มขึ้นกว่าการเกิด ผิวหน้าอิสระตามปกติ เพราะจุด G เพิ่มขึ้นอีกดังนี้

$$G_3G_5 = \frac{a \cdot y^2}{\nabla}$$

โดย $a =$ พื้นที่ของห้องที่เกิด F.C. $= b \times l \text{ (A}^2\text{)}$
 $y =$ ระยะจากศูนย์กลางห้องที่เกิด FC เทียบกับแนว CL ของเรือ (ft.)

$\nabla =$ ปริมาตรระวางขับน้ำปัจจุบัน

- ผลกระทบต่อ **Over-all Stability** คือจะเกิดการสูญเสียแกนโมเมนต์ที่ตั้งตรงใน 2 ลักษณะ คือ (ดูรูปที่ 43)

3.4.5.1 การเกิดผิวหน้าอิสระ ทำให้จุด G เคลื่อนที่จาก G_1 ไปยัง G_3 จึงสูญเสียแกนโมเมนต์

ที่ตั้งตรงในแต่ละมุมเอียง ดังนี้

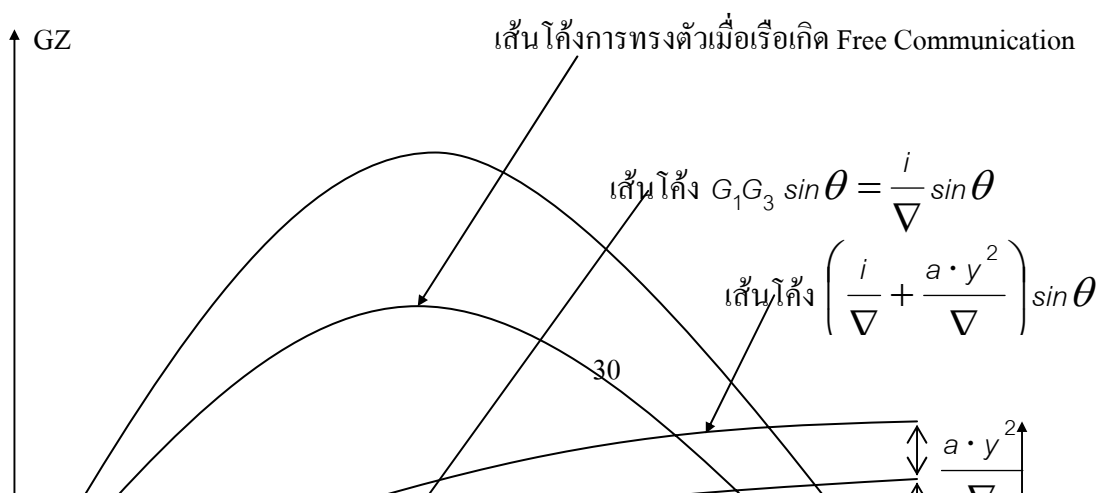
$$\begin{aligned} \text{ความสูญเสียแกนโมเมนต์ที่ตั้งตรงจากผิวหน้าอิสระ} &= G_1G_3 \sin \theta \\ &= \left(\frac{i}{\nabla} \right) \sin \theta \end{aligned}$$

3.4.5.2 ผลกระทบของ **Free Communication** ทำให้จุด G เลื่อนจาก G_3 ต่อไปยัง G_5 จึง

สูญเสียแกนโมเมนต์ที่ตั้งตรงในแต่ละมุมเอียง อีกดังนี้

$$\text{ความสูญเสียแกนโมเมนต์ที่ตั้งตรงจากผลของ Free Communication} = G_3G_5 \sin G$$

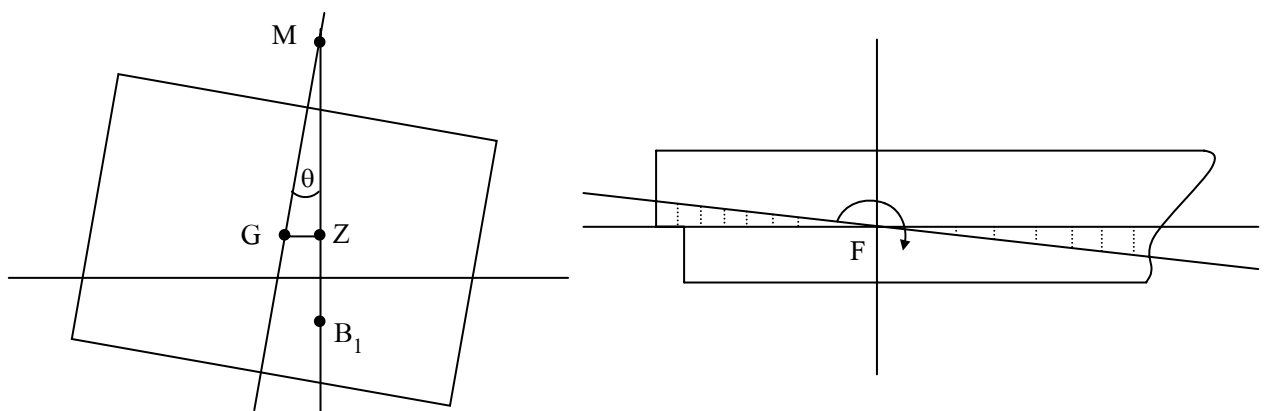
$$= \left(\frac{ay^2}{\nabla} \right) \sin G$$



4. ทริม (TRIM)

4.1 กล่าวโดยทั่วไป

จากที่ทราบแล้วว่าการเอียงในทางขวางของเรือ(List)เกิดขึ้นเนื่องจากแรงจากน้ำหนัก (Weight) กระทำในทิศตรงข้ามและเยื้องศูนย์กับแรงลอยตัว (Buoyancy) ทำให้เกิดโมเมนต์คู่ควบเอียงเรือไปกราบใดกราบหนึ่ง กระบวนการนี้จะสัมพันธ์กับตำแหน่งจุดศูนย์กลางการลอยในทางขวางของเรือ (Vertical Center of Buoyancy, VCB หรือระยะ KB) ในหัวข้อนี้จะอธิบายเกี่ยวกับความเอียงในทางยาวของเรือ (Longitudinal Inclination) หรือที่เรียกว่า “ทริม (Trim)” การเอียงในทางยาวจะมีลักษณะคล้ายกับการเอียงในทางขวางคือเกิดจากโมเมนต์ของแรงเยื้องศูนย์ โมเมนต์นี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “Trimming Moment” ซึ่งจะสัมพันธ์กับตำแหน่งจุดศูนย์กลางการลอยทางยาวของเรือ (Longitudinal Center of Flotation, LCF) การเอียงในทางยาวสามารถแสดงได้ทั้งในลักษณะมุมเอียงที่เทียบกับแนวเส้นฐานอ้างอิง (Baseline) หรือเทียบกับระนาบพื้นที่แนวน้ำ หรือในลักษณะความแตกต่างระหว่างระดับกินน้ำลึกหัวเรือและท้ายเรือ การพิจารณาทริมเรือมีประโยชน์ในการควบคุมเรือให้มีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนที่ดี มีความทนทะเล การหันเลี้ยว ความเร็ว และระยะจมของใบจักรหรือ Bulbous Bow ที่เหมาะสม รวมทั้งให้มีการกระจายการบรรทุกที่เอื้ออำนวยกับสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวมา ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานในเรือควรให้ความสำคัญต่อการควบคุมและปรับแต่งทริมของเรือเป็นอย่างมาก



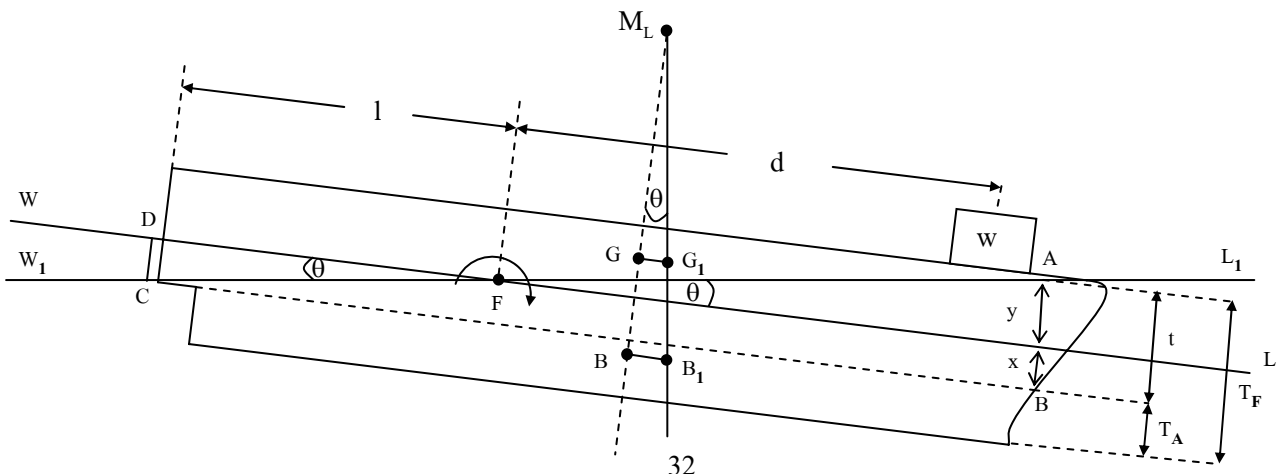
รูปที่ 44 การเอียงทางขวางและทางยาวของเรือ

4.1.1 จุดศูนย์กลางการลอยในทางยาวของเรือ (Center of Flotation, LCF)

จุดศูนย์กลางการลอยทางยาวเป็นจุดศูนย์กลางการหมุนของพื้นที่แนวน้ำในขณะเรือเอียงในทางยาว นิยมเขียนด้วยสัญลักษณ์ "F" ซึ่งจุด F เป็นจุดเดียวกับ Centroid ของพื้นที่แนวน้ำขณะนั้น ด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้ในกรณีที่เกิดทริมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักภายในเรือ (เช่น เคลื่อนย้ายน้ำหนักในแนวทางยาวของเรือ) จุด F จะยังคงอยู่ที่ระดับกินน้ำลึกเท่าเดิม และถ้าเพิ่มน้ำหนักหรือเอาน้ำหนักออกจากจุด F ของเรือพอดีจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทริมเกิดขึ้นเพราะเป็นการทำให้เรือลอยขึ้นหรือจมลงขนานกับแนวระดับน้ำเดิม (Parallel Sinkage) แต่อย่างไรก็ตามถ้าน้ำหนักที่เพิ่มหรือเอาออก ดังกล่าวมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับระวางขับน้ำของเรือ (ประมาณ 5% ขึ้นไป) จะทำให้ระดับกินน้ำลึกและพื้นที่แนวน้ำของเรือเปลี่ยนแปลงไปมากส่งผลให้ทั้งจุด F ซึ่งเป็น Centroid ของพื้นที่แนวน้ำและจุดศูนย์เสถียรทางยาว (Longitudinal Metacenter, M_L) ของเรือเลื่อนไป ตำแหน่งของจุด F ที่ระดับกินน้ำลึกต่าง ๆ ของเรือสามารถดูได้จากเส้นโค้ง Hydrostatic ซึ่งมักเป็นข้อมูลที่เทียบกับแนวอ้างอิงใดๆ เช่น แนว Amidships ของเรือ

4.1.2 โมเมนต์ที่ทำให้ทริมเรือเปลี่ยน (Moment to Change Trim, M.T.)

เมื่อมีการเคลื่อนย้ายน้ำหนักไปตามทางยาวของเรือจะทำให้จุดศูนย์กลางในทางยาว (Longitudinal Center of Gravity, LCG) ของเรือเคลื่อนที่ไป และเรือจะเอียงตามทางยาวทำให้ระดับกินน้ำลึกที่หัวเรือและท้ายเรือเปลี่ยนแปลงไป ผลต่างของระดับกินน้ำลึกดังกล่าวเรียกว่า "ทริม (Trim)" ถ้าวัดระดับกินน้ำลึกที่ด้านใดมากกว่าจะเรียกว่าเกิดทริมที่ด้านนั้น หากกินน้ำลึกที่หัวเรือและท้ายเรือเท่ากันจะถือว่าขณะนั้นเรือไม่เกิดทริม ดังนั้นเรือที่ระวางขนานกับเส้นแนวน้ำจะเรียก สถานะการกินน้ำลึกขณะนั้นว่าเป็น "On an Even Keel" ดังที่กล่าวแล้วว่าการที่เรือเอียงในทางยาวได้ก็เพราะเกิดโมเมนต์ปริมาณหนึ่งกระทำรอบจุดศูนย์กลางการลอยทางยาวของเรือจึงเรียกโมเมนต์ชนิดนี้ว่าเป็น โมเมนต์ที่ทำให้ทริมเรือเปลี่ยน ซึ่งนิยามวัดต่อหนึ่งหน่วยระยะทริมที่เปลี่ยน เช่น 1 cm. ดังนั้นจึงเรียกว่าเป็น "Moment to Change Trim 1 cm.; M.C.T.1cm.)" หรือวัดระยะเปลี่ยนเป็นนิ้วที่เรียกว่า "Moment to Change Trim 1 inch ;M.C.T.1inch)"



รูปที่ 45 โมเมนต์ทำให้เกิด Trim และการเคลื่อนที่ของจุด G,

จากรูปที่ 45 เมื่อน้ำหนัก w ถูกเคลื่อนย้ายจากท้ายเรือไปยังหัวเรือเป็นระยะ d โมเมนต์รอบจุด F (ขนาด $w \times d$) จะทำให้หัวเรือจมน้ำเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสมดุลที่ระดับเส้นแนวน้ำ W_1L_1 ทำให้จุดศูนย์กลางถ่วงเรือและจุดศูนย์กลางการลอยของปริมาตรส่วนที่อยู่ใต้น้ำของเรือเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ G_1 และ B_1 ตามลำดับ ถ้าเรือเอียงทางยาวเล็กน้อย (θ น้อย ๆ) จุดตัดระหว่างเส้นตั้งฉากที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางการลอยเดิมกับจุดศูนย์กลางการลอยแห่งใหม่คือตำแหน่งของจุดศูนย์เสถียรทางยาว (Longitudinal Metacenter) ซึ่งนิยมใช้สัญลักษณ์ M_L ในขณะที่ ระยะ GM_L คือ ความสูงศูนย์เสถียรทางยาว (Longitudinal Metacentric Height) และ BM_L คือรัศมีศูนย์เสถียรทางยาว (Longitudinal Metacentric Radius) ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วย ความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรัศมีศูนย์เสถียรทางขวางของเรือ (BM_T) คือ

$$BM_L = \frac{I_L}{\nabla} \quad (45)$$

โดย $I_L =$ โมเมนต์อินเนอร์เซียทางยาว (Longitudinal Moment of Inertia)

ขึ้นอยู่กับรูปร่างของพื้นที่แนวน้ำขณะนั้น มีหน่วยเป็น (หน่วย)⁴

$\nabla =$ ปริมาตรส่วนแทนที่น้ำขณะนั้นของเรือ มีหน่วยเป็น (หน่วย)³

เนื่องจากเรือมีอัตราส่วนความยาวต่อกินน้ำลึก ($\frac{L}{T}$) ค่อนข้างสูง ดังนั้น ระยะ BG จึงสั้นมากเมื่อ

เทียบกับระยะ BM_L ทำให้ $BM_L \approx GM_L$ ซึ่งความสัมพันธ์นี้เป็นเอกลักษณ์ที่สำคัญประการหนึ่งในการพิจารณาการทรงตัวทางยาวของเรือ จากความสัมพันธ์ของด้านในสามเหลี่ยมคล้าย

M_LGG_1 และ ABC ดังนั้น

$$\frac{GG_1}{GM_L} = \frac{AB}{BC} \quad (46)$$

ถ้าให้เรือเปลี่ยนทริมเพียง 1 cm. ($AB = 1$ cm.) โดยที่เรือยาว (100xL) cm. (L มีหน่วยเป็น m.)

ดังนั้น

$$GG_1 = GM_L \frac{AB}{BC}$$

$$= GM_L \frac{1}{100L}$$

โดย $GG_1 = \frac{w \times d}{\Delta}$ ดังนั้น โมเมนต์ขนาด $(w \times d)$ ที่ทำให้ทริมเรือเปลี่ยน 1 cm.
(M.C.T.1cm.)

มีค่าเท่ากับ
$$M.C.T.1cm. = \frac{\Delta \cdot GM_L}{100L} \quad (47)$$

และเช่นเดียวกันถ้ากำหนดให้เรือยาว (12xL) นิ้ว (L มีหน่วยเป็น ft.) จะคำนวณโมเมนต์ที่ทำให้ทริมเรือเปลี่ยน 1 inch ได้จากสมการ

$$M.C.T.1 inch = \frac{\Delta \cdot GM_L}{12L} \quad (48)$$

โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับทริมจะเรียกว่าเป็น “Trimming Moment” ซึ่งถ้าทราบขนาดของทริมและ M.C.T. ดังในสมการที่ (47) หรือ (48) จะสามารถคำนวณปริมาณโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ ดังนี้

$$Trimming Moment = M.C.T. \times t \quad (49)$$

โดย $M.C.T.$ = Moment to Change Trim ต่อ 1 cm. หรือ 1 inch
 t = ระยะทริมเปลี่ยนในหน่วยที่สอดคล้องกับ $M.C.T.$

4.2 การคำนวณเกี่ยวกับทริม

4.2.1 การคำนวณระดับกินน้ำลึกเมื่อทริมเปลี่ยน

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทริมเรือ ระดับกินน้ำลึกที่หัวเรือและท้ายเรือย่อมเปลี่ยนไป โดยเรือจะกินน้ำลึกเพิ่มขึ้นด้านหนึ่งในขณะที่อีกด้านจะกินน้ำลึกลดลง ระยะกินน้ำลึกที่เปลี่ยนไปดังกล่าวคำนวณได้โดยพิจารณาเรือที่กำลังเกิดทริมดังในรูปที่ 45 ซึ่งน้ำหนัก w ถูกเคลื่อนมาจากท้ายเรือเป็นระยะ d ทำให้ระดับกินน้ำลึกที่ท้ายเรือและหัวเรือเปลี่ยนไปเป็นระยะ x และ y ตามลำดับ ถ้ากำหนดให้จุดศูนย์กลางการลอยทางยาว(จุด F) อยู่ห่างจากท้ายเรือเป็นระยะ l ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของด้านในสามเหลี่ยมคล้าย DCF และ ABC พบว่า

$$\frac{x}{l} = \frac{t}{L} \quad (50)$$

โดย x = การเปลี่ยนแปลงระยะกินน้ำลึกที่ท้ายเรือ

- l = ระยะจุดศูนย์กลางการลอยทางยาว (จากท้ายเรือ)
- t = ระยะทริมที่เปลี่ยนไป
- L = ความยาวที่พื้นที่แนวน้ำของเรือ

4.2.2 การคำนวณเกี่ยวกับทริมเมื่อต้องการรักษาระดับกินน้ำลึกท้ายเรือไว้

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของน้ำหนักบนเรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงระดับกินน้ำลึกของเรือเกิดขึ้น ซึ่งในบางโอกาสมีความจำเป็นที่จะต้องรักษาระดับกินน้ำลึกของท้ายเรือไว้เท่าเดิม เช่น ต้องการให้เรือเกิดทริมทางท้ายเพื่อประสิทธิภาพการขับเคลื่อนตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ หรือเพื่อการเล่นในร่องน้ำจำกัดได้อย่างปลอดภัย ในการนี้อาจใช้ประโยชน์จากการปฏิบัติการเกี่ยวกับน้ำหนักตรงตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อช่วยรักษาระดับกินน้ำลึกของท้ายเรือเอาไว้ ถ้ากำหนดให้วางน้ำหนักหรือเอาน้ำหนักออกห่างจากจุด F ไปทางหัวเรือเป็นระยะ d ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของระยะดังในรูปที่ 45 พบว่าระยะกินน้ำลึกท้ายเรือจะเปลี่ยนแปลงด้วยความสัมพันธ์ $x = (l/L) \cdot t$ ถ้าสมมุติให้น้ำหนักดังกล่าวมีปริมาณเท่ากับ w น้ำหนักนี้ถ้ากระทำตรงจุด F จะทำให้เรือลอยหรือจมแบบขนานเป็นระยะเท่ากับ $w/T.P.C.$ **cm.** ดังนั้นการคำนวณในลักษณะนี้จึงต้องกำหนดให้ท้ายเรือเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้ามเท่ากับระยะดังกล่าว

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงระยะกินน้ำลึกของเรือ (x) = Parallel Sinkage(เป็นการลอยหรือจมแบบขนาน)

หรือ
$$x = \frac{l}{L} \times t = \frac{w}{T.P.C.}$$

แต่
$$t = \frac{\text{Trimming Moment}}{M.C.T.1 \text{ cm.}} = \frac{w \times d}{M.C.T.1 \text{ cm.}}$$

ทำให้
$$\frac{l \times w \times d}{L \times M.C.T.1 \text{ cm.}} = \frac{w}{T.P.C.}$$

ดังนั้น
$$d = \frac{L \times M.C.T.1 \text{ cm.}}{l \times T.P.C.} \tag{51}$$

โดย d = ระยะจากจุด F ไปถึงจุดที่ทำกรวางน้ำหนัก (วัดไปทางหัวเรือ)

L = ความยาวที่แนวน้ำของเรือ

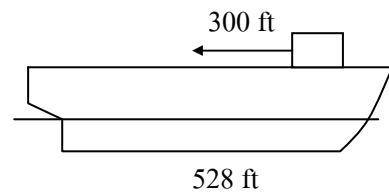
l = ระยะจากท้ายเรือถึงจุด **Center of Flotation (F)**

w = น้ำหนักที่กระทำ

ตัวอย่าง ถ้าอสมกัณฑ์ จำนวน 50 ตัน บนเรือขนาดยาว 528 ฟุต ดังในรูป ถูกเคลื่อนย้ายไป

ทางท้ายเรือเป็นระยะ 300 ฟุต จงคำนวณหาสถานะภาพการกินน้ำลึกใหม่ของเรือ

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } \Delta &= 11,800 \text{ ตัน} \\ T_F &= 19 \text{ ฟุต } 9 \text{ นิ้ว} \\ T_A &= 20 \text{ ฟุต } 3 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$



$$BM_L \approx GM_L = 1150 \text{ ฟุต} \quad (\text{อ่านจากเส้นโค้ง})$$

Hydrostatic

ของเรือ ที่ระวางขับน้ำ 11,800 ตัน)

LCF อยู่ที่กึ่งกลางลำ

วิธีทำ จาก $MCT 1 \text{ inch} = \frac{\Delta \cdot GM_L}{12L}$

ดังนั้น โมเมนต์เปลี่ยนทริมท้าย 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ $\frac{11800 \times 1150}{12 \times 528} = 1,940 \frac{\text{ft} \cdot \text{ton}}{\text{inch}}$

และโมเมนต์ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายน้ำหนักมีปริมาณ $= 50 \times 300 = 15,000$

ฟุต-ตัน

เพราะฉะนั้น เรือเปลี่ยนทริมไป $t = \frac{15000}{1940} = 8 \text{ นิ้ว}$

จาก $\frac{x}{l} = \frac{t}{L}$ โดยที่ $l = \frac{L}{2} = \frac{528}{2} = 264 \text{ ฟุต}$

\therefore ทริมท้ายเปลี่ยน $x = \frac{t \cdot l}{L} = \frac{8}{12} \times \frac{264}{528} = 4 \text{ นิ้ว}$

ดังนั้นทริมหัวเปลี่ยน $= t - x = 8 - 4 = 4 \text{ นิ้ว}$

	กินน้ำลึกหัว	กินน้ำลึกท้าย
สภาพเดิม	19' 9"	20' 3"
เปลี่ยนทริม	-	+ 4"
สภาพใหม่	19' 5"	20' 7"

4.3 ปฏิบัติการเกี่ยวกับทริม

4.3.1 คำแนะนำโดยทั่วไป

เรือส่วนใหญ่ออกแบบให้มีระดับกินน้ำลึกหัว - ท้ายเท่ากัน (ทริมเป็นศูนย์) การพยายามรักษาระดับกินน้ำลึกของเรือให้ใกล้เคียงกับแนวน้ำออกแบบ (Designed Waterline) มากที่สุดย่อมเป็นหลักประกันถึงประสิทธิภาพการขับเคลื่อนและบังคับหันเลี้ยวที่ดีที่สุดตามขอบเขตที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้

เรือบางลำถูกออกแบบให้มีระดับกินน้ำลึกท้ายเรือมากกว่าหัวเรือ เล็กน้อย (ทริมท้าย) ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการบังคับเรือในน่านน้ำจำกัด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อดำเนินการนำเรือเข้าร่องน้ำที่ต้องระมัดระวังเรื่องความลึกของระดับน้ำควรพยายามแต่งเรือให้เกิดทริมน้อยที่สุด

เรือขนาดเล็กบางลำถูกออกแบบให้มีระดับกินน้ำลึกท้ายเรือมากกว่าหัวเรืออย่างเห็นได้ชัด ลักษณะนี้บางทีเรียกว่า “**Drag**” การวัดระยะทริมที่เปลี่ยนไปของเรือในลักษณะ **Drag** เพื่อนำไปเป็นประโยชน์ในการคำนวณให้วัดจากความแตกต่างของระดับกินน้ำลึกหัวท้ายที่เปลี่ยนไปจากสภาพ **Drag**

4.3.2 คำแนะนำเมื่อทริมมีปริมาณมาก

การเกิดทริมมากไม่ว่าจะเป็นทริมท้ายหรือทริมหัว ย่อมลดทอนประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของเรือเมื่อเรือกินน้ำลึกแตกต่างไปจากแนวน้ำออกแบบ ย่อมทำให้ความสามารถในการทำความเร็วสูงสุด ลดลง ในการรักษาความเร็วที่ต้องการต่าง ๆ ย่อมต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น

การเกิดทริมหัวมาก ๆ ย่อมทำให้ใบจักรท้ายเรือจมใต้น้ำน้อยลง เป็นผลให้ประสิทธิภาพใบจักรลดลง และอาจสร้างความสั่นสะเทือนที่ท้ายเรืออย่างมาก นอกจากนั้น ยังทำให้ส่วนหัวเรือเปียกน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งของการพิจารณาผลกระทบจากพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเรือต่อไป

.....

4.4 ผลกระทบด้านพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเรือ

ในการเตรียมเรือเข้าอู่แห้ง (Dry Docking) ตามข้อแนะนำของ NAVSEA S 9086-CN-S1M-010/CH-079 Volume 1 ระบุว่า การที่เรือเกิดทริมในสัดส่วน 1 ฟุตต่อความยาวเรือ 100 ฟุต อาจเป็นอันตรายต่อการปฏิบัติการได้ นายทหารการอู่หรือเจ้าหน้าที่รับผิดชอบจำต้องพยายามลดทริมให้ได้มากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายดังกล่าว

เรือสินค้าและเรือใช้สอยหลายลำประสบอุบัติเหตุจมลงจากการเกิดน้ำท่วมที่หัวเรือ เนื่องจากห้องหัวเรือของเรือประเภทดังกล่าวมีขนาดใหญ่ เมื่อเรือเกิดทริมหัวมาก ๆ น้ำอาจเข้าท่วมห้องเหล่านั้น เกิดโมเมนต์กดหัวเรือมากกว่าโมเมนต์ตั้งตรงเรือทางยาว (Longitudinal Righting Moment) ทำให้หัวเรือจมนิ่ง (Plunging) ในที่สุด ปัญหาชนิดเดียวกันนี้เคยเกิดขึ้นกับเรือพิฆาต (Destroyer) บางลำมาแล้ว

การเกิดผิวน้ำอิสระในเรือส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทรงตัวทางยาว (Longitudinal Stability) น้อยกว่าการทรงตัวทางขวาง (Transverse Stability) เพราะการสูญเสียระยะสูงศูนย์เสถียรทางยาว (GM_L) และการสูญเสียแกนโมเมนต์ทางยาวมีน้อยกว่า

4.5 ผลของทริมที่มีต่อการทรงตัวทางขวาง

เส้นโค้งที่แสดงคุณสมบัติทาง Hydrostatic ของเรือ (Hydrostatic Curve) จะถูกสร้างขึ้นมาสอดคล้องกับข้อกำหนดในการออกแบบเรือ เช่น ไม่เกิดทริม ในการนำไปใช้งานโดยทั่วไป ถ้าสภาพปัจจุบันของเรือไม่เกิดทริมมากเกินไป (ไม่เกิน 1% ของความยาวเรือ) ไม่จำเป็นต้องปรับแก้ค่าใด ๆ แต่อย่างไรก็ตาม ทริมที่เกิดขึ้นยังมีผลต่อการทรงตัวทางขวางได้ในกรณีเฉพาะดังนี้

บรรดาเรือช่วยรบและเรือคุ้มกันเรือบรรทุกเครื่องบินนั้น ถึงแม้จะปฏิบัติการอยู่ในลักษณะไม่เกิดทริมแต่การเปลี่ยนแปลงที่มีต่อระยะ KM ยังจะต้องให้ความสนใจอยู่เป็นพิเศษ โดยส่วนใหญ่แล้ว ถ้าเรือจำพวกนี้เกิดทริมทางท้ายระยะ KM จะเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกัน ถ้าเกิดทริมหัวระยะ KM มักลดลง ทำให้บางครั้งจะแสดงเส้นโค้งสำหรับใช้ปรับแก้ค่าระยะ KM ให้ไว้ใน Hydrostatic Curve ด้วย

เรือรบความเร็วสูงที่มีรูปร่างท้ายเรือเหมือนเรือพิฆาตทั่วไป (Destroyer Type Stern) จะเกิดผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อระยะ KM เมื่อเกิดทริมท้าย แต่หากเป็นกรณีทริมหัวโดยเฉพาะทำให้ท้ายเรือเกือบโผล่พ้นน้ำจนหมดจะทำให้ระยะ KM ลดลงอย่างมาก

ทริมจะเกิดมากควบคู่ไปกับการเอียงมาก ๆ ของเรือซึ่งจะทำให้คาดฟ้าบนจมน้ำมากขึ้น เสี่ยงต่อความเสียหายด้านการทรงตัวของเรือและความทนทะเล ซึ่งถ้าคาดฟ้าบนจมน้ำไปมาก ๆ ย่อมลดทอนพื้นที่แนวน้ำโดยรวมของเรือลง มักส่งผลให้จุดเปลี่ยนศูนย์เสถียรทางขวาง (จุด M) ลดต่ำลง (ตรวจสอบได้จากเส้นโค้ง Hydrostatic ของเรือทั่วไปที่ระวางขับน้ำมาก ๆ ถ้า C_{wp} หรือ A_{wp} น้อยลง ระยะ KM มักจะน้อยลงด้วย)

5. การทดลองเอียงเรือ (Inclining Experiment)

จากความรู้เกี่ยวกับสมรรถนะในการทรงตัวของเรือทำให้ทราบว่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงและจุดศูนย์กลางการลอยของเรือมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทรงตัวของเรือโดยตรง โดยพิจารณาได้จากระยะความสูงศูนย์เสถียร (Metacentric Height; \overline{GM}) และรัศมีศูนย์เสถียรการลอยของเรือ (Metacentric Radius; \overline{BM}) เห็นได้ว่าระยะทั้งสองสัมพันธ์กับตำแหน่งจุดศูนย์กลางเสถียรของเรือ (Metacenter; M) โดยตรง การออกแบบเรือในยุคแรก ๆ จะประมาณตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของเรือจากเรือที่มีรูปร่างคล้ายกันที่พอทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงโดยประมาณบ้างแล้ว และเมื่อคำนวณอย่างละเอียดอีกก็จะทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงจากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์รวมของบรรดาน้ำหนักทั้งหลายกับปริมาณน้ำหนักรวมทั้งหมด วิธีการหนึ่งนอกจากจะทำให้ทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงแล้วในระหว่างออกแบบยังสามารถควบคุมการกระจายปริมาณน้ำหนักรวมของเรือให้เหมาะสมไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดได้เป็นอย่างดี ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับคุณลักษณะตามธรรมชาติของตำแหน่งศูนย์กลางถ่วงเรือจะแตกต่างจากตำแหน่งศูนย์เสถียร (M) และศูนย์กลางการลอย (B) ของเรือ กล่าวคือ จุดศูนย์กลางถ่วงเรือเป็นตัวแปรที่ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างปริมาตรส่วนแทนที่น้ำของเรือ (Volume of Displacement) โดยตรง แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายน้ำหนักภายในเรือ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงที่ระดับกินน้ำลึกต่าง ๆ ของเรือไว้ล่วงหน้าเพราะการบรรทุกจนถึงระดับกินน้ำลึกหนึ่ง ๆ นั้นสามารถจัดวางน้ำหนักลงในเรือได้หลายวิธี

วิธีการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของเรือในขั้นตอนการเตรียมการสร้างกระทำได้คร่าวๆ โดย แบ่งสถานะการบรรทุกของเรือออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ *ระวางขับน้ำบรรทุกเบา (Light Ship Displacement)* และ *ส่วนที่เป็นความสามารถในการบรรทุก* ซึ่งปริมาณส่วนหลังนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่าเป็น *“Dead Weight”* เห็นได้ว่าการแบ่งในลักษณะนี้จะแยกน้ำหนักของเรือออกมาส่วนหนึ่งและเพื่ออีกส่วนหนึ่งให้เป็นความสามารถในการบรรทุก โดยน้ำหนักส่วนแรกจะคิดเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำหนักประจำหลัก ๆ เช่น ตัวเรือ (Hull), เครื่องจักร, ส่วนประกอบ (Outfits), อุปกรณ์ (Equipments), น้ำในหม้อน้ำถึงระดับใช้การ (ถ้ามี), ของไหลในเครื่องจักรและระบบท่อทาง แต่มักไม่รวมถึงต่อไปนี้เป็นของเหลวที่บรรจุอยู่ในถัง (Tank), ลูกเรือ, สัมภาระ, สินค้า อาวุธยุทโธปกรณ์ ซึ่งโดยปกติแล้วนักออกแบบจะกำหนดให้ระดับกินน้ำลึกในสถานะบรรทุกเบาเป็น *“แนวน้ำออกแบบ (Designed Waterline; DWL)”* เรียกสถานะการบรรทุกเช่นนี้ว่าเป็น *“สถานะบรรทุกเบา (Light Ship Displacement)”* ส่วนความสามารถในการบรรทุกนิยามวัดเป็น *“Tonnage”* ซึ่งเป็นปริมาตรของระวางบรรทุก (1 Tonnage เท่ากับประมาณ 100 ft^3 หรือ 2.83 m^3) หรืออีกนัยหนึ่งคือความสามารถในการบรรทุกที่มีหน่วยเป็นปริมาตร โดยปกติแล้วเมื่อบรรทุกจนเต็มพิกัด (ปริมาตร) ดังกล่าวเรือจะมีระดับกินน้ำลึกอยู่ที่ เส้นแนวน้ำฤดูร้อน (Summer Draft) พอดี และเรียกสถานะการบรรทุกเช่นนี้ว่าเป็น *“ระวางขับน้ำบรรทุก (Loaded Displacement)”*

ดังนั้น Dead Weight คือผลต่างระหว่าง Loaded Displacement กับ Light Ship Displacement และมักจะคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของเรือทั้งสองสถานะนี้ไว้ล่วงหน้า แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะทราบข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักในเรือได้อย่างละเอียด ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงที่ได้จากการคำนวณจึงเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น การหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงที่แท้จริงจะทำได้ด้วยการทดลองเอียงเรือ (Inclining Experiment) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะกับเรือที่ค่อนข้างใหม่และเรือที่มีการเปลี่ยนแปลงรายการน้ำหนักเป็นปริมาณมาก ๆ

การทดลองเอียงเรืออาศัยหลักการสมดุลในการลอยของเรือผนวกกับความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายน้ำหนักภายในเรือดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ ก่อนทำการทดลองเอียงเรือจะต้องประมาณจำนวนน้ำหนัก(w) และระยะเคลื่อน(d) ของน้ำหนักที่จะใช้ทดลอง น้ำหนักที่ใช้ควรเป็นปริมาณที่ทำให้เรือเอียงเพียงเล็กน้อยก็พอ กำหนดล่วงหน้าได้ด้วยการคำนวณย้อนกลับโดยอาศัยค่าความสูงศูนย์กลางเสถียรโดยประมาณของเรือและระยะที่คาดว่าจะเคลื่อนย้ายน้ำหนักดังกล่าว การประมาณความสูงศูนย์กลางเสถียรนั้นอาจนำมาจากเรือที่มีลักษณะคล้ายกันหรือตัดแปลงจากข้อมูลทดลองเอียงเรือครั้งล่าสุด ส่วนระยะที่จะเคลื่อนย้ายน้ำหนักให้ดูตามความเหมาะสมของสถานที่และให้สอดคล้องกับมุมเอียงที่คาดไว้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องเตรียมน้ำหนักไว้หลายชุดและจัดให้มีการเคลื่อนย้ายทั้งในทางขวางและทางตามยาวของเรือ ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องของการทดลองและเป็นการกระจายน้ำหนักมิให้กดทับที่ใดที่หนึ่งเป็นปริมาณมาก ๆ เมื่อกำหนดขนาดและตำแหน่งที่วางเรียบร้อยแล้วให้ทำเครื่องหมายขนาดของน้ำหนักแต่ละก้อนพร้อมทั้งตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของน้ำหนักแต่ละก้อนไว้ให้ชัดเจน วิธีการเคลื่อนย้ายอาจใช้รางเลื่อนหรือเครื่องมือช่วยยกในเรือเป็นตัวเคลื่อนย้าย ซึ่งเมื่อเคลื่อนย้ายน้ำหนักไปตรงระยะที่กำหนดไว้แล้วจะต้องยึดน้ำหนักนั้น ๆ ไว้ให้อยู่กับที่

การทดลองเอียงเรือมิใช่ว่าจะกระทำเพียงครั้งเดียวแล้วข้อมูลที่ได้จะใช้ได้ตลอดไป หากมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับตำแหน่งการวางน้ำหนักในเรือหรือกระทำการใด ๆ ที่มีผลต่อน้ำหนักรวมของเรือก็ควรที่จะต้องทดลองเอียงเรือเพื่อหาความสูงศูนย์กลางเสถียรของเรือ(GM) เสมอ

5.1 การเตรียมการและการปฏิบัติในการทดลองเอียงเรือ สรุปได้ดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนเตรียมการ

ก่อนที่จะทำการทดลองเอียงเรือจะต้องมีการเตรียมการล่วงหน้าอย่างถูกต้อง *คำแนะนำสำหรับการเตรียมการที่สำคัญมีดังนี้*

5.1.1.1 ควรทดลองเอียงเรือในน้ำนิ่งในขณะที่กระแสลมมีกำลังอ่อนเพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของลมและคลื่นที่อาจมีต่อการทดลอง ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนและเสียเวลามาก หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ให้หันหัวเรือหรือท้ายเรือสู่ลมไว้ตลอดเวลา สถานที่ซึ่งนับว่าเหมาะสมกับการทดลองเอียงเรือมากที่สุดคือภายในอ่างของอุ้เรือ

5.1.1.2 ในขณะที่ทดลองควรปล่อยให้เรือลอยได้อย่างอิสระ ไม่มีสิ่งใดขัดขวางการลอยของเรือ เชือกที่ผูกเรือต้องคลายหรือปลดออกทั้งหมดและต้องพร้อมที่จะเข้าควบคุมเรือได้ทุกขณะ นอกจากนี้ ต้องแน่ใจว่าระดับน้ำขณะทดลองสูงพอที่ท้องเรือจะไม่แตะกับพื้นหรือโคนกับวัตถุข้างเรือหรือวัตถุใต้น้ำใด ๆ ในระหว่างทำการทดลอง

5.1.1.3 ผู้มัดและจัดเก็บสิ่งของต่าง ๆ บนเรือมิให้เคลื่อนที่ได้ ตรวจสอบบรรดาน้ำหนักที่แขวนอยู่ (Swinging Weight) เช่น เรือช่วยชีวิต ลอกขนาดใหญ่ สิ่งของในที่ลับตา ... ฯลฯ โดยยึดไว้ให้มั่นคงให้แกว่งในขณะทดลอง เพราะการแกว่งไปมาของน้ำหนักต่าง ๆ ในเรือจะส่งผลกับความละเอียดในการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง

5.1.1.4 ไม่ควรให้มีผลของผิวหน้าอิสระ (Free Surface Effects) เกิดขึ้นขณะทดลองโดยพยายามบรรจุของเหลวในถัง (Tank) ต่าง ๆ ให้เต็มหรือมีช่องว่างที่ปล่อยให้อากาศ หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ให้วัดปริมาตรของเหลวที่เกิดผิวหน้าอิสระทั้งหมดให้ละเอียดที่สุดเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณค่าแก้ไขเนื่องจากผิวหน้าอิสระ (Free Surface Correction; FSC) ดังกล่าว ส่วนของเหลวตามช่องทางต่าง ๆ เช่น ระบบระบายความร้อน ระบบปรับอากาศ ฯลฯ ให้บรรจุไว้ใกล้เคียงกับสภาพใช้การจริง

5.1.1.5 ในขณะที่ทำการทดลองผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทั้งหมดไม่ควรที่จะอยู่บนเรือ และควรจัดผู้ปฏิบัติการในเรือให้มีจำนวนและอยู่ในตำแหน่งที่มีสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานจริงของเรือ

5.1.1.6 ก่อนเริ่มทำการทดลองควรปรับแต่งเรือให้ตั้งตรงมากที่สุด ในกรณีที่เรือไม่สามารถลอยตั้งตรงได้ให้บันทึกมุมเอียงแรกเริ่มก่อนทำการทดลองซึ่งเรียกว่า “Residual List” และถ้าเป็นไปได้ไม่ควรให้เรือเกิดทริม (Trim) ถ้าเรือยังมีทริม ต้องแก้ไขให้ถูกต้อง

5.1.1.7 ต้องทราบความหนาแน่น (Density) ของน้ำในขณะทำการทดลอง โดยใช้ Hydrometer วัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่บริเวณใกล้ ๆ กับที่ทำการทดลองสัก 2-3 แห่ง ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถคำนวณขนาดระวางจับน้ำของเรือได้อย่างถูกต้อง (ต้องปรับแก้ขนาดระวางจับน้ำตามความหนาแน่นของน้ำ) ในกรณีที่ไม่มี Hydrometer ให้วัดอุณหภูมิของน้ำแล้วหาความหนาแน่นจากตารางคุณสมบัติของน้ำนั้น (ค่าแนะนำนี้ไม่เข้มงวดเท่าใดในการทดลองเรือในเขตโซนร้อนเพราะอุณหภูมิของน้ำไม่แตกต่างกันมากในช่วงเวลาทดลอง)

5.1.1.8 เตรียมน้ำหนักที่ทราบขนาดและตำแหน่งศูนย์กลางถ่วงที่แน่นอน (ประมาณ 0.5% ของระวางจับน้ำ) หากต้องการความละเอียดและมีพื้นที่ในการทดลองมากอาจเตรียมไว้หลายขนาดและควรทำแผนการเคลื่อนย้ายน้ำหนักไว้ล่วงหน้า นำน้ำหนักที่เตรียมไว้ติดตั้งบนเรือในแนวเส้นกึ่งกลางลำเรือ (Centerline) หรือเหนือจุดศูนย์กลางถ่วงของเรือ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายขนาดน้ำหนัก จุดที่วางและจุดศูนย์กลางถ่วงของน้ำหนักไว้ให้ชัดเจน ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของน้ำหนักจะมีประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงรวมของเรือทั้งในทางขวาง (KG_T) และทางยาว (LCG) โดยเฉพาะเมื่อมิได้ติดตั้งน้ำหนักเหล่านั้นไว้เหนือจุดศูนย์กลางถ่วงเดิมของเรือพอดี

5.1.1.9 ติดตั้งลูกตั้ง(ทำด้วยโลหะน้ำหนักประมาณ 5 – 10 ปอนด์)และสายดิ่งที่ทราบระยะแน่นอนและสามารถวัดความเบี่ยงเบนได้ (ควรมี 2 ชุด หรือมากกว่าเพื่อเปรียบเทียบกัน) โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งในแนวเส้นกึ่งกลางลำเรือ แต่ต้องระวังมิให้ถูกรบกวนโดยลม หากมีสายดิ่งหลายชุดให้ติดตั้งไว้ตามสถานที่ต่าง ๆ เช่น ที่ หัวเรือ ท้ายเรือ และกลางลำ

5.1.1.10 ควรที่จะทราบค่าประมาณของความสูงศูนย์เสถียร (GM) ในปัจจุบันของเรือ ถ้าเป็นเรือที่ต่อใหม่และทดลองเป็นครั้งแรกค่านี้อาจได้จากการคำนวณหรือประมาณจากเรือที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกัน หากเป็นการทดลองหลังจากดัดแปลงน้ำหนักต่าง ๆ ในเรือให้ประมาณจากเส้นโค้ง Hydrostatic หรือจากผลการทดลองครั้งล่าสุด เหตุผลที่จำเป็นต้องทราบระยะโดยประมาณดังกล่าวก่อนทำการทดลองก็เพื่อที่จะสามารถเตรียมน้ำหนักและระยะเคลื่อนย้ายที่เหมาะสม ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและการคาดหวังผลการคำนวณที่ถูกต้องเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบระวางขยับน้ำหนักในขณะทดลองอีกด้วย (น้ำหนักเรือ+น้ำหนักที่ใช้เคลื่อนย้าย) โดยดูจากเส้นโค้ง Hydrostatic หรือคำนวณโดยตรง

5.1.2 การปฏิบัติในขณะทดลอง

หลังจากเตรียมการล่วงหน้าอย่างถูกต้องต่อไปให้ดำเนินการดังนี้

5.1.2.1 คลายเชือกให้เรือลอยอย่างอิสระ

- บันทึกอุณหภูมิและความถ่วงจำเพาะของน้ำขณะนั้น
- บันทึกระดับกินน้ำลึกของหัวเรือและท้ายเรือเพื่อคำนวณทริม (Trim)
- บันทึกมุมเอียงแรกเริ่มก่อนทำการทดลองเอียงเรือ (Residual List) (ถ้ามี)

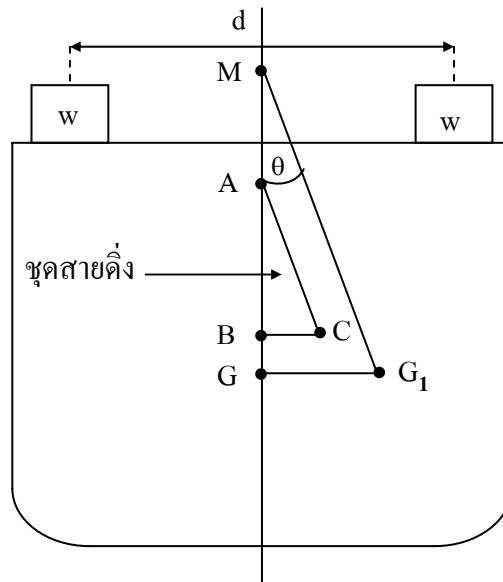
5.1.2.2 เคลื่อนน้ำหนักตามแผนที่เตรียมไว้ซึ่งอาจใช้ล้อเลื่อนหรืออุปกรณ์ช่วยยกในเรือเมื่อเคลื่อนย้ายเสร็จให้ผูกมัดน้ำหนักไว้ให้แน่น

- บันทึกปริมาณน้ำหนักที่เคลื่อนย้ายในแต่ละครั้ง
- บันทึกความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วงของน้ำหนักที่เคลื่อนย้ายสูงขึ้นหรือต่ำกว่าแนวที่วาง
- บันทึกระยะที่เคลื่อนย้าย (d)

5.1.2.3 การเคลื่อนย้ายน้ำหนักแต่ละครั้งจะทำให้เรือเอียงเป็นมุมเล็ก ๆ ในเบื้องต้นเรือจะโคลงไปมา ซึ่งจะต้องรอให้เรือและสายดิ่งนิ่งแล้วจึงจดระยะที่สายดิ่งเบี่ยงเบนไป พร้อมทั้งมุมเอียงที่เกิดขึ้น (ถ้าวัดได้) (ระยะ BC และ มุม θ ในรูปที่ 46)

5.1.2.4 ทำซ้ำข้อ 1 ถึง 3 ด้วยการใช้น้ำหนักและระยะเคลื่อนย้ายอื่นตามแผนที่เตรียมไว้ (ถ้ามี)

5.1.2.5 นำมุมเอียง ขนาดน้ำหนัก และระยะการเคลื่อนย้ายที่บันทึกไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยที่เป็นความสูงศูนย์เสถียร (GM) ของเรือต่อไป



รูปที่ 46

5.1.3 การปฏิบัติการเคลื่อนย้ายน้ำหนักวิเคราะห์ได้ดังนี้

เมื่อน้ำหนักปริมาตร w ถูกเคลื่อนเป็นระยะ d ดังในรูปที่ 46 จะทำให้จุดศูนย์กลางถ่วงของเรือเคลื่อนที่จากจุด G ไปยังจุด G_1 ในทิศทางขนาน(โดยประมาณ)กับทางเดินของน้ำหนัที่ที่ถูกเคลื่อนย้าย ซึ่งสามารถคำนวณหาความสูงศูนย์เสถียรได้จากกรวิเคราะห์ สามเหลี่ยมคล้าย ABC และ MGG_1 ได้ดังนี้

จากสามเหลี่ยม ABC
$$\cot \theta = \frac{AB}{BC} \text{ หรือ } \tan \theta = \frac{BC}{AB} \quad (51)$$

โดย AB = ความยาวสายดิ่ง

BC = ระยะที่สายดิ่งเบี่ยงเบน

และจากสามเหลี่ยม MGG_1
$$\cot \theta = \frac{GM}{GG_1} \text{ หรือ } \tan \theta = \frac{GG_1}{GM} \quad (52)$$

โดย GM = ความสูงศูนย์เสถียรที่ต้องการหา

GG_1 = ระยะการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางถ่วงเรือเนื่องจากการเลื่อนน้ำหนัก w

จากความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมคล้าย ABC และ MGG_1

$$\frac{GM}{GG_1} = \frac{AB}{BC} \quad (53)$$

โดยที่ระยะ GG_1 เกิดจากการกระทำของโมเมนต์ปริมาตร $w \times d$ ในระบบที่มีระวางขับน้ำเท่ากับ Δ

ดังนั้นแทนค่า $GG_1 = \frac{w \times d}{\Delta}$ ลงในสมการที่ (52) จะคำนวณความสูงศูนย์เสถียรได้ดังนี้

$$GM = \frac{AB}{BC} \times \frac{w \times d}{\Delta} \quad (54)$$

จากสมการที่ (54) ถ้าทราบระยะ AB, BC, d , ปริมาณของน้ำหนัก w และระวางขั้มน้ำรวมของเรือ (Δ) จะสามารถคำนวณระยะ GM ของเรือที่ระวางขั้มน้ำเท่ากับ Δ นั้นได้

หมายเหตุ การทดลองเอียงเรือไม่จำเป็นต้องให้เรือเอียงมากเพราะจะทำให้ตำแหน่งศูนย์เสถียรของเรือ (Metacenter) เคลื่อนไป เป็นผลให้การคำนวณผิดพลาด มุมเอียงที่ใช้จึงไม่ควรเกิน 2-3 องศา

ตัวอย่าง หลังจากได้มีการเตรียมการที่ทดลองเอียงเรือลำหนึ่งอย่างถูกต้องพบว่าในสภาพก่อนการทดลองเรือมีระวางขั้มน้ำ 8,000 ตัน และมีระยะ KM = 7 m. อุปกรณ์ที่เตรียมไว้คือ สายดิ่งพร้อมลูกตุ้มยาว 4 m. น้ำหนักจำนวน 25 ตัน สำหรับเคลื่อนย้ายทางขวางจากกราบซ้ายไปยังกราบขวาเป็นระยะ 15 m. ผลจากการเคลื่อนน้ำหนักดังกล่าว ทำให้สายดิ่งเบี่ยงออกจากแนวเดิมเป็นระยะ 20 cm.

จงคำนวณหา ความสูงศูนย์เสถียรและตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงต่ำสุดของเรือลำนี้ (สมมุติว่าจุดศูนย์เสถียรอยู่คงที่ตลอดการทดลอง)

วิธีทำ จากสามเหลี่ยมคล้าย ABC และ MGG₁

$$\frac{GM}{GG_1} = \frac{AB}{BC}$$

แทนค่า $w = 25$ tons, $d = 15$ m., $AB = 4$ m., และ $BC = 0.2$ m.

$$\text{ดังนั้น } GM = GG_1 \times \frac{AB}{BC} = \frac{w \times d}{\Delta} \times \frac{AB}{BC} = \frac{25 \times 15}{(8,000 + 25)} \times \frac{4}{0.2} = 0.9346 \text{ m.}$$

เมื่อระยะ KM คงที่ตลอดการทดลอง ดังนั้น

$$KG = KM - GM = 7.0 - 0.9346 = 6.0654 \text{ m.}$$

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าหากต้องการผลการคำนวณที่ละเอียดไม่ควรใช้น้ำหนักเพียงชุดเดียว ซึ่งโดยทั่วไปมักเตรียมน้ำหนักไว้หลายชุดและจัดให้มีการเลื่อนทั้ง 2 กราบของเรือเพื่อเป็นหลักประกันถึงความถูกต้องของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากตามทฤษฎีแล้วไม่ว่าจะเลื่อนน้ำหนักปริมาณเท่าใดไปทิศทางใดก็ตามค่าความลาดเอียง (Slope) ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์เอียงเรือกับ Tangent ของมุมเอียง ($\tan \theta$) จะมีค่าคงที่เสมอ (เฉพาะมุมเอียงไม่มาก)

5.2 การทดลองเอียงเรือโดยวิธีโคลงเรือ (Sallying Ship)

การทดลองเอียงเรือโดยวิธีการโคลงเรือ คือ การหาค่าระยะความสูงศูนย์เสถียรโดยคำนวณจากข้อมูลคาบเวลาของการโคลง (period of roll) ของเรือ การทดลองเอียงเรือโดยวิธีนี้อาจทำขึ้นเนื่องจากไม่พร้อมที่จะเคลื่อนย้ายน้ำหนักตั้งวิธีการก่อนหน้านี้หรือสภาพพื้นที่ในเรือจำกัด ปฏิบัติได้ดังนี้

ก. จัดให้คนประจำเรือจำนวนหนึ่งเคลื่อนที่จากกราบเรือด้านหนึ่งไปยังอีกกราบหนึ่งเพื่อทำให้เรือโคลง(จำนวนคนให้พอเพียงกับการเอียง 50 – 100 องศาและต้องสามารถจับเวลาการโคลงเป็นคาบได้ละเอียดแต่อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของเรือแต่ละลำ)

ข. ให้สัญญาณก่อนที่เรือจะโคลงไปสู่ประมาณ 1 – 2 วินาที เพื่อสั่งให้พลประจำเรือย้ายมาอยู่กลางลำ แล้วปล่อยให้เรือโคลงไปอย่างอิสระ

ค. จับเวลาของการโคลงครบ 1 รอบสมบูรณ์(อาจเฉลี่ยจากคาบการโคลงติดต่อกัน)

ง. ทำซ้ำในข้อ ก. ถึง ค. เพื่อให้ผลคำนวณถูกต้องแน่นอน (อย่างน้อยประมาณ 3 ครั้ง)

จ. คำนวณระยะสูงศูนย์เสถียรจากสมการ

$$GM = \frac{(0.44 \times B)^2}{T}$$

โดย B = ความกว้างที่แนวน้ำของเรือเป็นฟุต

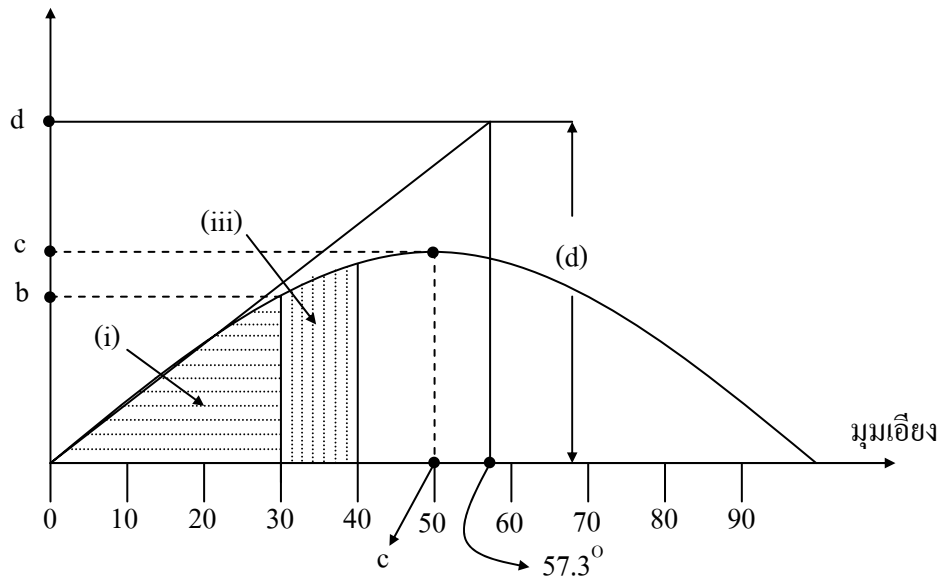
T = คาบเวลาการโคลงเป็นวินาที

หมายเหตุ ระยะ GM ที่คำนวณได้ด้วยวิธีการนี้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

5.3 เกณฑ์ในการพิจารณาการทรงตัวของเรือ (Stability's Criteria)

5.3.1 ภายใต้ข้อกำหนด Load Line Rules, 1968, Part I (Ships in General), Paragraph 2 ซึ่งตราขึ้นโดย International Maritime Organization (I.M.O.) ได้กำหนดเกณฑ์ต่ำสุดของคุณสมบัติการทรงตัวของเรือแต่ละลำต้องมี โดยสรุปได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

ปริมาณ	เกณฑ์ต่ำสุด
(a) พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งการทรงตัว (Area Under Stability Curve)	
(i) จนถึงมุมเอียง 30°	0.055 m. radian
(ii) จนถึงมุมเอียง 40° หรือมุมที่ขอบ ล่างของช่องเปิด(Opening) ที่ตัวเรือ (Super structure, Deckhouse) ซึ่ง ผนึกน้ำไม่ได้เริ่มแต่กับน้ำ	0.09 m. radian
(iii) พื้นที่ระหว่างมุมเอียง 30° ถึง 40° [หรือตามข้อ (ii)]	0.03 m. radian
(b) ระยะ Righting Lever (GZ) ที่มุมเอียง 30°	0.20 m. ควรเกิดที่มุมเอียงไม่น้อยกว่า 30°
(c) ระยะ Righting Lever มากที่สุด (Max.GZ)	0.15 m. 0.05 m. (เมื่อรวมน้ำหนักบรรทุกทุกเมื่อบรรทุกชุง)
(d) ระยะ Initial GM (ค่าเริ่มต้นที่เป็นความ สูง ศูนย์เสถียร) ที่มุม 57.3°	



รูปที่ 1.47

ตัวอย่าง เรือฟริเกตลำหนึ่งมีขนาดระวางขับน้ำปัจจุบันเท่ากับ 2500 ตัน มีข้อมูลแกนโมเมนต์ตั้งตรงจาก Cross Curve ดังนี้

มุมเอียง	0	5	10	15	20	25	30	35	40
GZ (m.)	0	0.52	1.59	2.504	4.118	5.958	7.858	9.94	12.0
มุมเอียง	45	50	55	60	65	70	75	80	85
GZ (m.)	13.25	14.0	13.95	13.18	11.05	7.55	3.73	1.66	0.4

วิธีทำ ใช้ Simpson's First Rule ช่วยในการคำนวณหาพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งการทรงตัวเพื่อประเมินกับเกณฑ์ของ IMO ดังนี้

มุมเอียง	GZ	S.M.	$f(A_1)$	S.M.	$f(A_2)$	S.M.	$f(A_3)$
0	0	1	0	1	0	-	-
5	0.52	4	2.08	4	2.08	-	-
10	1.59	2	3.18	2	3.18	-	-
15	2.504	4	10.016	4	10.016	-	-
20	4.118	2	8.236	2	8.236	-	-
25	5.958	4	23.832	4	23.832	-	-
30	7.858	2	15.716	1	7.858	1	15.716

35	9.94	4	39.76		55.202	4	39.76
40	12.0	1	12		$\Sigma f(A_2)$	1	12
			114.82				59.618
			$\Sigma f(A_1)$				$f(A_3)$

เกณฑ์พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งจนถึงมุมเอียง 40 องศา ต้องมากกว่า 0.095 m. radian

$$\begin{aligned}
 A_{0-40} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma f(A_1) \quad ; \quad h = 5 \text{ องศา} \\
 &= \frac{1}{3} \times \frac{5\pi}{180} \times 114.82 = 3.34 \text{ m. radian} \quad (\text{ผ่าน})
 \end{aligned}$$

เกณฑ์พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งจนถึงมุมเอียง 30 องศา ต้องมากกว่า 0.055 m.radian

$$\begin{aligned}
 A_{0-30} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma f(A_2) \quad ; \quad h = 5 \text{ องศา} \\
 &= \frac{1}{3} \times \frac{5\pi}{180} \times 55.202 = 1.61 \text{ m.radian} \quad (\text{ผ่าน})
 \end{aligned}$$

เกณฑ์พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งในระหว่างมุมเอียง 30 องศา ถึง 40 องศา ต้องมากกว่า 0.03 m.radian

$$\begin{aligned}
 A_{30-40} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma f(A_3) \quad ; \quad h = 5 \text{ องศา} \\
 &= \frac{1}{3} \times \frac{5\pi}{180} \times 59.618 = 1.73 \text{ m.radian} \quad (\text{ผ่าน})
 \end{aligned}$$

เกณฑ์ระยะ Righting Lever ที่มุมเอียง 30 องศา ต้องมากกว่า 0.20 m

จากข้อมูล Cross Curve มีค่าเท่ากับ 7.858 (ผ่าน)

เกณฑ์ Righting Lever มากที่สุดต้องเกิดที่มุมเอียงมากกว่า 30 องศา

จากข้อมูล Cross Curve เกิดที่มุมประมาณ 50 – 55 องศา (ผ่าน)

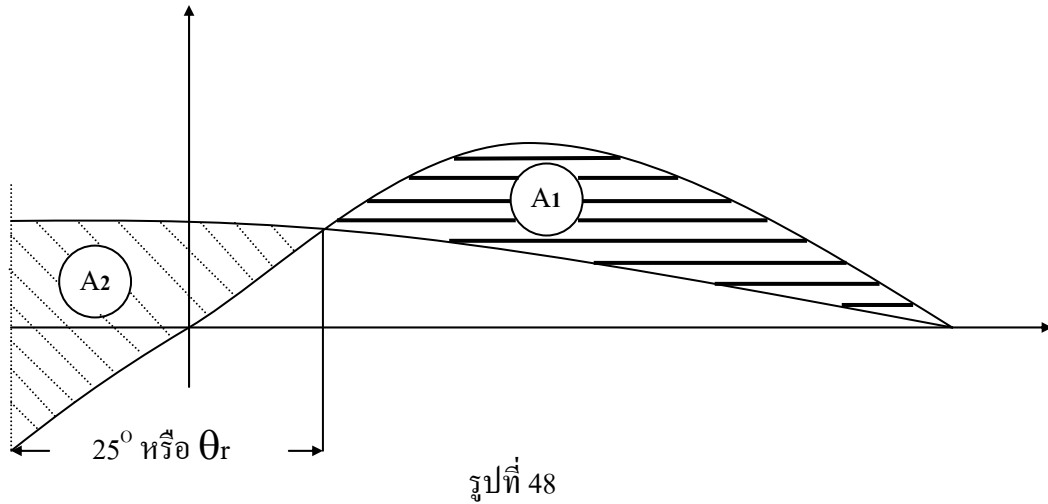
เกณฑ์ Initial GM คิดที่มุมเอียง 57.3 องศา ต้องมากกว่า 0.15 m

จากข้อมูล Cross Curve ค่าดังกล่าวมากกว่า 0.15 m แน่นอน (ผ่าน)

5.3.2 กองทัพเรือสหรัฐ กำหนดเกณฑ์พิจารณาความสามารถในการทรงตัวของเรือโคพิจารณาความสัมพันธ์ของเส้นโค้งการทรงตัวในเทอมของแขนการคืนตัว (Righting Arm) กับแขนโมเมนต์เอียงเรือ(Heeling Arm) ดังนี้

5.3.2.1 ขนาดแขนโมเมนต์เอียงเรือตรงจุดตัดกับแขนโมเมนต์ตั้งตรงเรือ (ตรงจุด C) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 % ของแขนโมเมนต์ตั้งตรงสูงสุด (Maximum Righting Arm)

5.3.2.2 ขนาดพื้นที่ A_1 ในรูปที่ 48 ต้องไม่น้อยกว่า 1.4 เท่าของขนาดพื้นที่ A_2 โดยที่ A_2 คือ พื้นที่ปิดล้อมโดยแขนโมเมนต์ทั้ง 2 ชนิด ก่อนถึงจุด C 25 องศา หรือ Φ_r (มุมโคลง)



.....

5.3.2.3 เกณฑ์ใน 5.3.2.1 และ 5.3.2.2 พิจารณาความสามารถในการทรงตัวอย่างปลอดภัยในน้ำนิ่ง ยังมีปัจจัยอื่นที่คงทำให้เรือเอียงมากขึ้นอีก ซึ่ง ทร.อม.แยกปัจจัยดังกล่าวไว้อีก 3 กรณี ซึ่งจะต้องนำไปรวมกับแขนโมเมนต์เอียงเรือทำให้สัดส่วนของพื้นที่แขนโมเมนต์ที่ตั้งตรงกับแขนโมเมนต์เอียงเรือลดลงอีกดังนี้

ก. การยกของหนักไปด้านกราบเรือ (Lifting of Heavy Weights over the side) ทำให้เกิดผลกระทบเช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายน้ำหนักของเรือ โดยจะเพิ่มแขนโมเมนต์เอียงเรือขึ้นแต่ละมุมเอียงอีก

$$\text{Heeling Arm} = \frac{w_1 \times d_1 \cdot \cos \theta}{\Delta} \quad (55)$$

โดย w_1 = น้ำหนักที่ถูกย้าย

d_1 = ระยะทางขวางจากกึ่งกลางลำถึงศูนย์กลางน้ำหนัก

Δ = ระวางขับน้ำ (รวมน้ำหนัก ด้วย)

θ = มุมเอียง

ข. กรณีที่ลูกเรืออยู่รวมกันเป็นจำนวนมากกราบใดกราบหนึ่ง (Crowding of Personal to One Side) เกิดผลกระทบเช่นเดียวกับกรณี 5.2.3.1 โดยทำให้แขนโมเมนต์เอียงเรือเพิ่มขึ้นอีก

$$\text{Heeling Arm} = \frac{w_2 \times d_2 \cdot \cos \theta}{\Delta} \quad (56)$$

โดย w_2 = น้ำหนักที่ถูกย้าย

d_2 = ระยะทางขวางจากกึ่งกลางลำถึงศูนย์กลางน้ำหนัก

Δ = ระวางขับน้ำ (รวมน้ำหนัก ด้วย)

θ = มุมเอียง

ค. ความเอียงเมื่อเรือหันเลี้ยวด้วยความเร็วสูง (High Speed Turning) ทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เสริมการเอียงของเรือยิ่งขึ้น ทำให้แขนโมเมนต์เอียงเรือเพิ่มขึ้นอีก

$$\text{Heeling Arm} = \frac{V^2 a}{g \cdot R} \cos \theta$$

โดย a = ระยะจากจุดศูนย์กลางถ่วงเรือถึงจุดกึ่งกลางระหว่างท้องเรือกับแนวน้ำ (ครึ่งหนึ่งของขนาดกินน้ำลึก) เมื่อเรือตั้งตรง

θ = มุมเอียงที่เกิดขึ้น

g = อัตราเร่งสู่ศูนย์กลางโลก

R = รัศมีวงหันเรือ

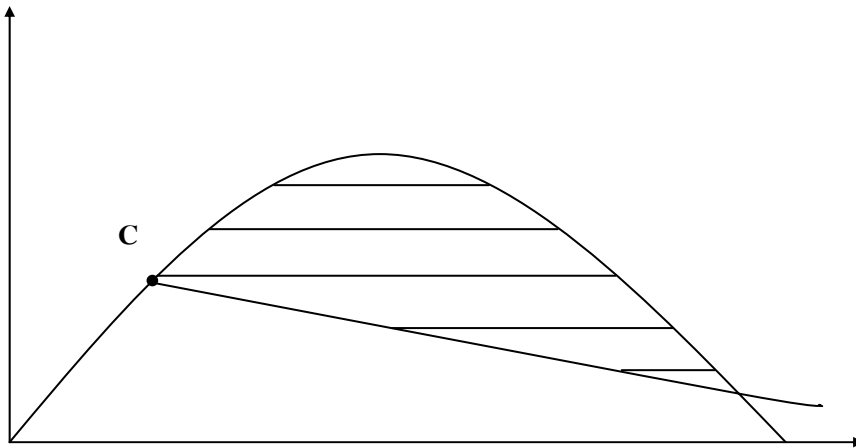
V = ความเร็วสัมผัสในขณะเรือหัน

ง. เกณฑ์สำหรับขีดความสามารถในการทรงตัวจากผลของการเอียงในข้อ ก ถึง ข คือ

1. จุด C ต้องเกิดไม่เกินมุมเอียง 15°
2. เกณฑ์เช่นเดียวกับข้อ 5.3.2.1
3. พื้นที่แรงงาในรูปที่ 49 ต้องน้อยกว่า 40% ของพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งการทรงตัว

ทั้ง

หมด



6. การสูญเสียการทรงตัว รูปที่ 49

6.1 นิยาม

6.1.1 น้ำท่วมเรือ (Flooding) คือปัญหาของการที่น้ำท่วมในเรือหลังจากตัวเรือได้รับความเสียหายเช่นถูกโจมตี, ไฟไหม้, ชนวัตถุได้แนวน้ำหรืออาจมาจากสาเหตุจูงใจเช่นน้ำหยาดดับไฟในห้อง สูบน้ำท่วมห้องหนึ่งๆเพื่อ แก้การทรงตัวหรือหรือช่วยให้เรือหลุดการเกยตื้น ผลที่ตามมาคือเกิดผลกระทบจากผิวน้ำอิสระ (Free Surface Effect) และผลจากการที่ตัวเรือเปิดติดต่อกับผิวน้ำภายนอกเรือ(Free Communication)ผลกระทบทั้งสองพิจารณาได้ในลักษณะของการเพิ่ม/ลด

6.2 น้ำท่วมเต็มห้อง (Solid Flooding) หมายถึง น้ำที่ท่วมเต็มห้องและไม่มีผิวหน้าอิสระ มีลักษณะดังนี้

6.2.1 ทุกส่วนของห้องเต็มไปด้วยน้ำ ในการนี้ก่อนอื่นอากาศที่อยู่ภายในห้องนั้นจะต้องถูกระบายออก (มิฉะนั้นน้ำจะเข้ามาแทนที่ไม่ได้) ทางช่องระบายอากาศหรือรอยแยกที่อยู่ด้านบน

6.2.2 ปัญหาน้ำท่วมเต็มห้องเปรียบเสมือนน้ำน้ำหนักที่เป็นของแข็งซึ่งหนักเท่ากับน้ำเต็มห้องดังกล่าวมาใส่ในเรือ จุดศูนย์กลางปริมาตรน้ำท่วมห้องก็คือจุดศูนย์กลางของน้ำหนักที่ใส่ลงในเรือดังกล่าว

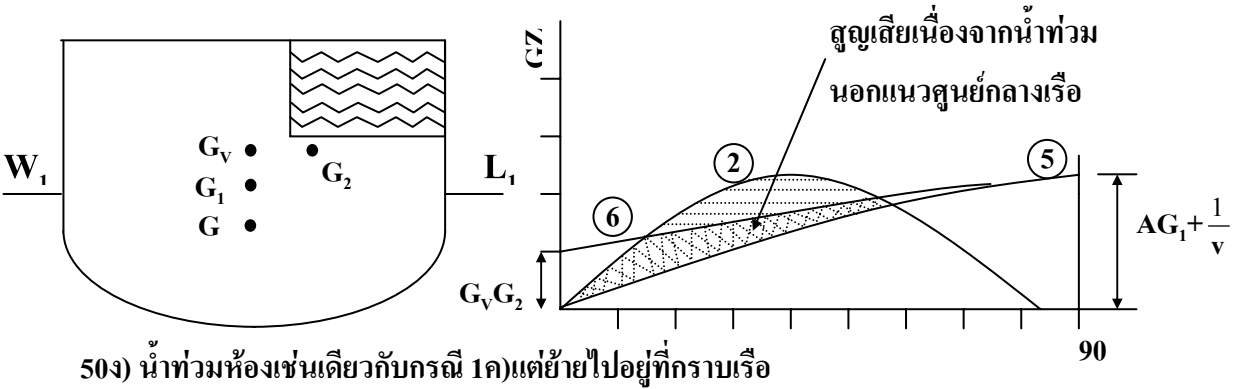
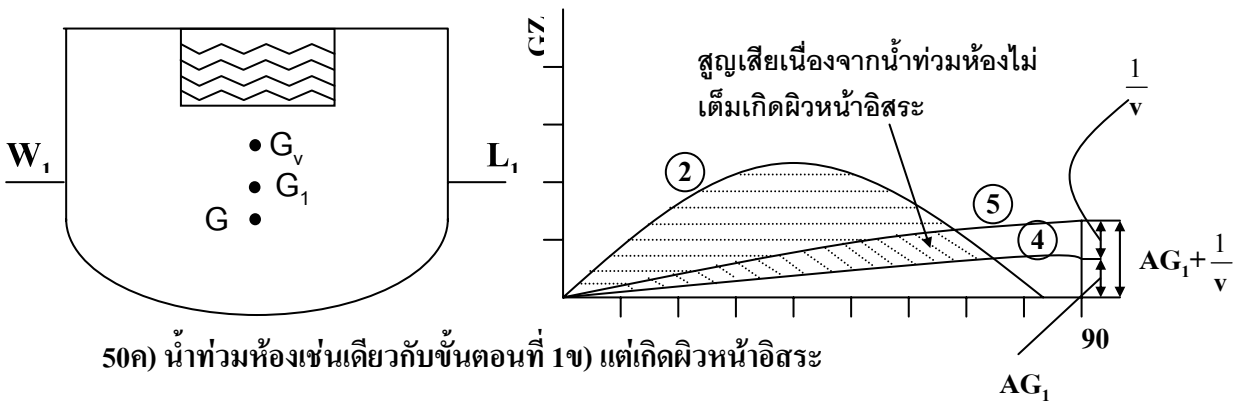
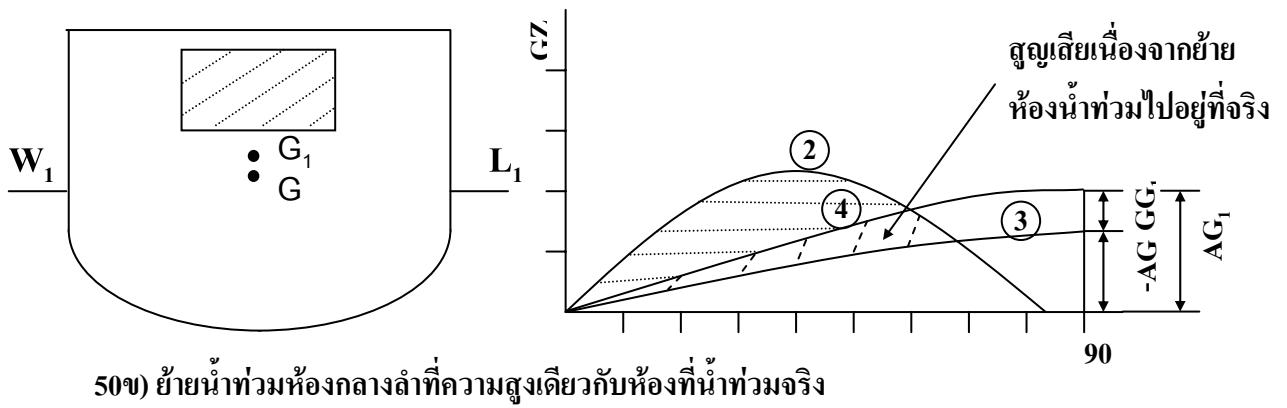
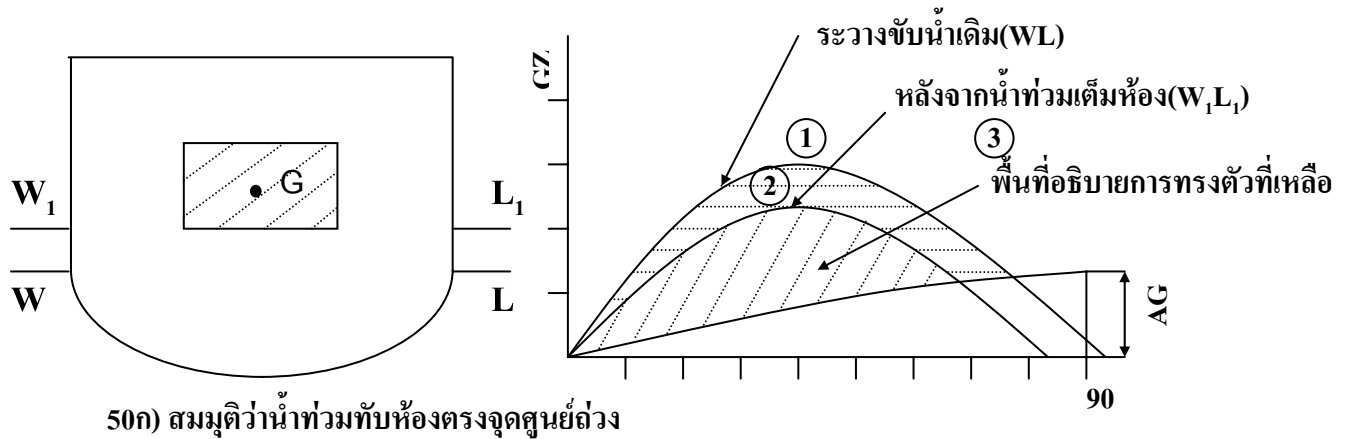
6.2.3 น้ำท่วมห้องจนเต็มอย่างสมบูรณ์ มักเกิดขึ้นกับห้องที่อยู่ในบริเวณต่ำกว่าแนวน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจุดศูนย์กลางถ่วงเรือ (G) มักอยู่เหนือกว่าแนวน้ำเล็กน้อย ดังนั้นการที่น้ำท่วมเต็มห้องได้แนวน้ำในแนวกึ่งกลางลำพอดี จึงทำให้จุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมแห่งใหม่ของเรือเลื่อนต่ำลงเป็นผลให้ความสามารถในการทรงตัวโดยรวม (Overall Stability) ของเรือดีขึ้น ถ้าเป็นการท่วมเต็มห้องนอกแนวศูนย์กลางเรือจะไม่ส่งผลดีดังกล่าว แต่จะทำให้เรือเอียงถาวร (Permanent List)

6.2.4 การคำนวณหาความสูงศูนย์กลางเสถียร (GM) และความสามารถในการทรงตัวที่เหลือกระทำได้เช่นเดียวกับปัญหาการเพิ่มน้ำหนักและเคลื่อนย้ายน้ำหนักภายในเรือ

6.3 น้ำท่วมไม่เต็มห้อง (Partial Flooding) คือปัญหาของการที่น้ำท่วมบางส่วนในห้องโดยเฉพาะห้องที่ยังคงมีขีดความสามารถในการพนักน้ำอยู่ (จัดอยู่ในประเภทห้อง "Intact Compartment") เมื่อเป็นเช่นนั้นน้ำจะไม่ถ่ายเทออกจากห้องนี้ ซึ่งอาจเป็นการท่วมจากความตั้งใจ เช่น น้ำดับไฟ น้ำจากระบบน้ำหยาด ท่อทางในห้องนั้นรั่ว หรือเรือทะเลแต่พนักน้ำเรียบร้อยแล้ว ผลที่เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือการเพิ่มน้ำหนักลงในห้องนั้นและผลของผิวหน้าอิสระ การพิจารณาความสามารถในการทรงตัวที่เหลือก็กระทำเช่นเดียวกับกรณีของการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่ง-ทางขวาง และแก้ผลกระทบจากผิวหน้าอิสระ สิ่งที่จะลดทอนผลจากผิวหน้าอิสระลงได้บ้างคือการที่เรือเอียงแล้วผิวหน้าอิสระลดลงเนื่องจากผิวหน้าอิสระท่วมถึงคาดฟ้าเหนือห้อง (Pocketing) และการที่ห้องไม่ได้ถูกน้ำท่วมจนเต็มปริมาตรอย่างแท้จริงเพราะมีวัตถุจับจองพื้นที่บางส่วนอยู่ (Surface Permeability)

6.4 ผลกระทบจากน้ำท่วมห้อง (Flooding Effect)

ผลกระทบที่เกิดจากน้ำท่วมห้องในลักษณะต่างๆที่กล่าวมาอธิบายได้ดังในรูปที่ 50 ดังนี้



รูปที่ 50

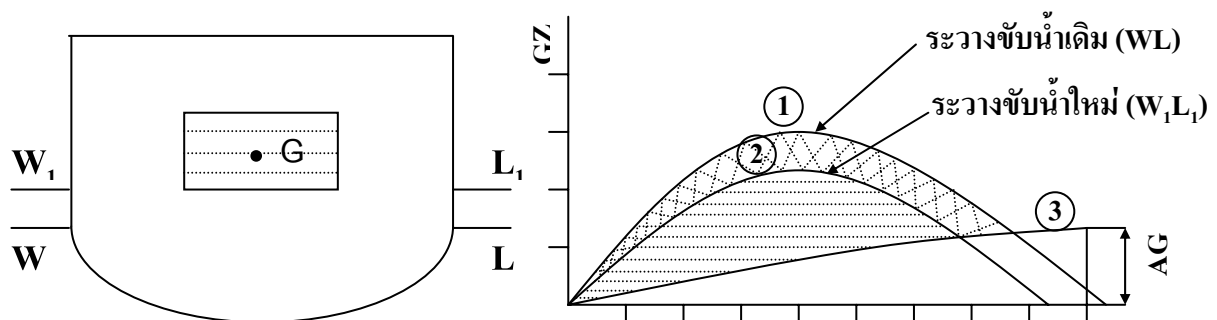
6.4.1 กรณีน้ำท่วมในรูป 50 ก) เริ่มจากเมื่อเกิดน้ำท่วมแบบไม่เต็มห้องดังในรูป 50ง) ก่อนอื่นต้องสมมติ ว่าน้ำปริมาณดังกล่าว ท่วมเต็มห้อง ทับจุด CG ของเรือพอดี ดังนั้นจึงพิจารณาผลกระทบต่อความสามารถในการทรงตัวในลักษณะของการเพิ่มน้ำหนักลงในเรือตามเส้นโค้งหมายเลข 3 เรือ จึงเหลือความสามารถในการทรงตัวซึ่งอธิบายได้โดยเส้นโค้งหมายเลข 2 พื้นที่แรเงาแสดงความสามารถในการทรงตัวจึงลดลง

6.4.2 ต่อจากนั้น ในรูป 50ข) ให้เลื่อนปริมาณน้ำดังกล่าวทางดิ่งไปยังจุดที่สูงเท่ากับความสูงที่น้ำท่วมจริง (สูงเท่ากับในรูป 50ง) เท่ากับเป็นการเคลื่อนย้ายน้ำหนักทางดิ่ง จนทำให้จุดศูนย์กลางเคลื่อนจาก G ไป G_1 เรือจึงสูญเสียความสามารถในการทรงตัวตามเส้นโค้งหมายเลข 4 สังเกตว่าพื้นที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวลดลงอีก

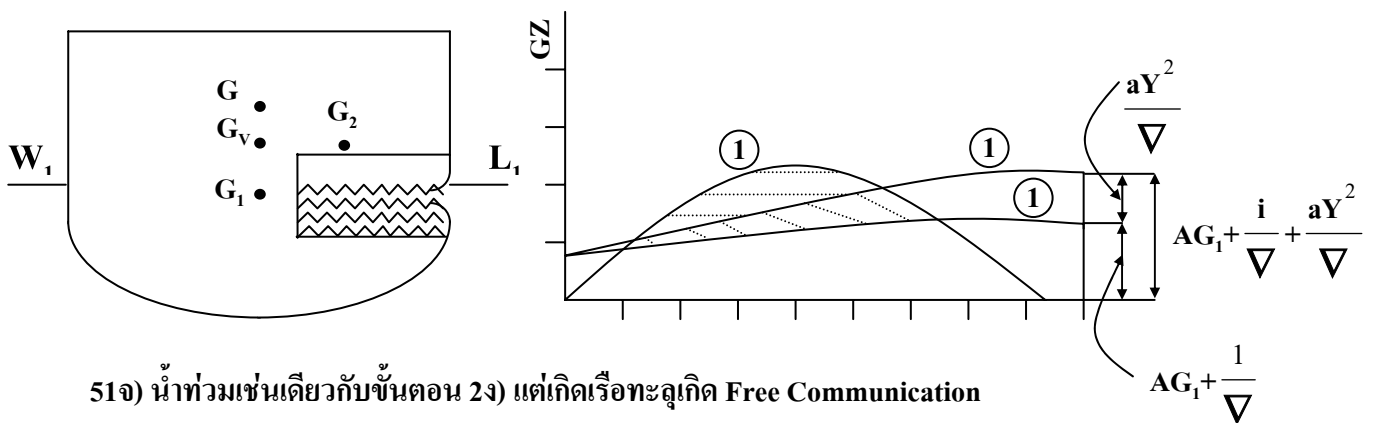
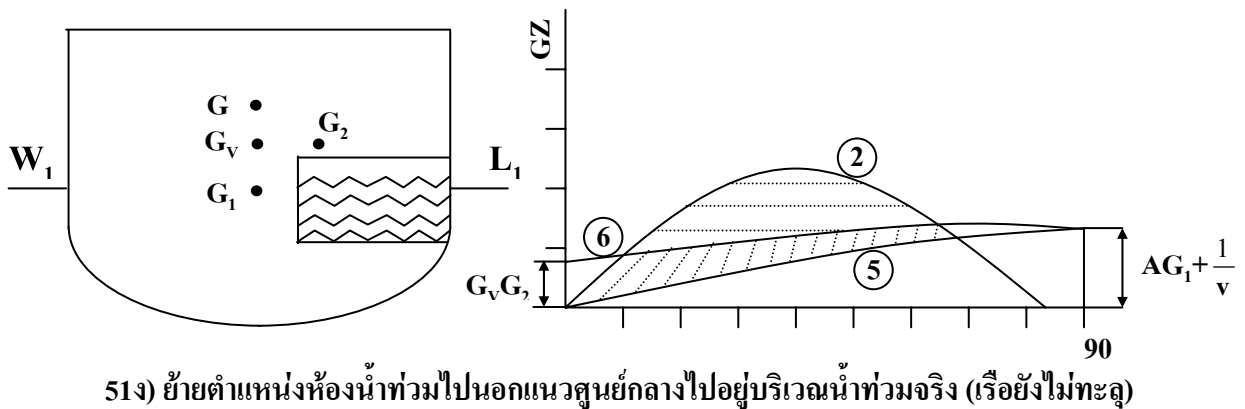
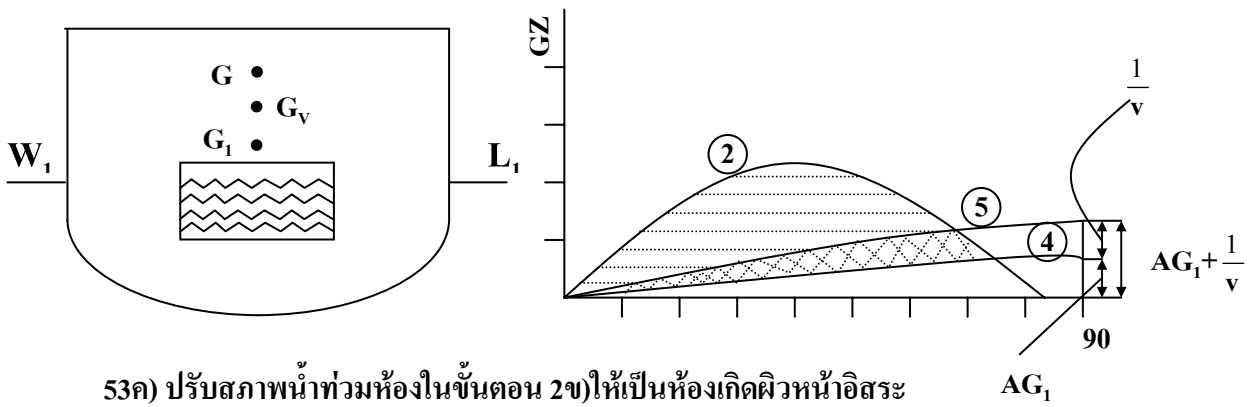
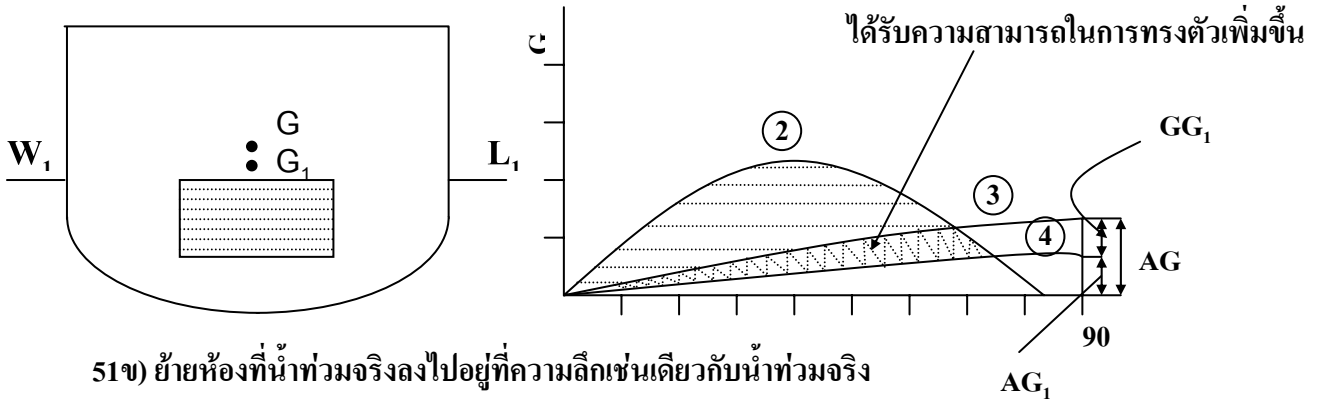
6.4.3 ขั้นตอนต่อไปในรูป 50ค) ให้ปรับสภาพน้ำท่วมเต็มห้องเป็นน้ำท่วมบางส่วน (ปริมาณน้ำเท่ากับ ข้อ 6.4.1 และ 6.4.2 ดังนั้นจึงเกิดผิวน้ำอิสระทำให้จุดศูนย์กลางเรือเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ G_V เรือสูญเสียความสามารถในการทรงตัวไปอีกตามเส้นโค้งหมายเลข 5 ลดพื้นที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวลงอีกเช่นกัน

6.4.4 ต่อไป ในรูป 50 ง) ให้ย้ายตำแหน่งที่น้ำท่วมที่เดิมสมมติว่าอยู่ในแนวกลางลำให้ไปอยู่นอกแนวตรงที่น้ำท่วมจริง จึงเป็นกรณีของการย้ายน้ำหนักทางขวาง จุดศูนย์กลางเรือจึงเลื่อนจาก G_V ไป G_2 เรือสูญเสียความสามารถในการทรงตัวไปอีกตามเส้นโค้งหมายเลข 6 พื้นที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวของเรือจึงลดลงอีก และปรากฏมูมเอียงถาวร (Permanent List) ในที่สุด

6.5 น้ำท่วมเรือในลักษณะห้องที่ท่วมเปิดติดต่อกับผิวน้ำน่านอกเรืออย่างอิสระ (Free Communication with the sea) คือ ผลกระทบที่เกิดจากน้ำท่วมห้องในลักษณะที่ผิวน้ำในน้ำในห้อง ดังกล่าวสอดคล้องกับระดับผิวน้ำน่านอกเรือตลอดเวลา อธิบายได้ดังในรูปที่ 51 ดังนี้



51ก) สมมติว่าน้ำท่วมห้องตรงจุดศูนย์กลาง ถ่วงของเรือพอดี



รูปที่ 51

6.5.1 กรณีน้ำท่วมไม่เต็มห้องและเกิด **Free Communication** เริ่มพิจารณาจากรูปที่ 51 ก) คือ สมมติว่า น้ำปริมาณดังกล่าว ท่วมเต็มห้องที่จุด **G** ของเรือพอดี้ จึงคำนวณผลกระทบการทรงตัวในลักษณะการเพิ่มน้ำหนักลงในเรือตามเส้นโค้งหมายเลข 3 เหลือความสามารถในการทรงตัวซึ่งอธิบายได้โดยพื้นที่แฉเงาที่บในรูป (เส้นโค้งหมายเลข 2)

6.5.2 ในรูป 53ข) เลื่อนปริมาณน้ำหนักดังกล่าวทางดิ่งลงไปอยู่ระดับเดียวกับเมื่อเกิด **Free Communication** จริง (สูงเท่ากับรูป 51จ) ทำให้จุดศูนย์ถ่วงเรือเลื่อนจาก **G** ลงไปยัง **G₁** เรือจึงมีความสามารถในการทรงตัวดีขึ้น ตามเส้นโค้งหมายเลข 4

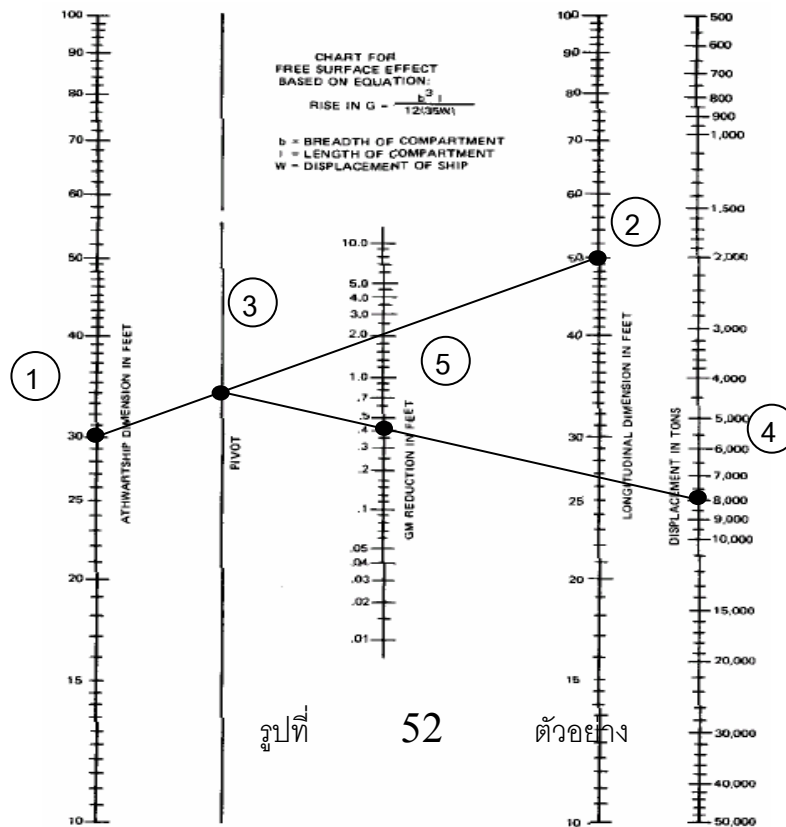
6.5.3 ขั้นต่อไปในรูป 51ค) ปรับสภาพการท่วมให้เป็นห้องที่เกิดผิวน้ำอิสระ (ปริมาณน้ำเท่ากับในข้อ 6.5.1 – 6.5.3) จุดศูนย์ถ่วงเรือจึงเลื่อนขึ้นจากผลดังกล่าวมาอยู่ที่ **G_v** เสียความสามารถในการทรงตัวไปอีกตามเส้นโค้งหมายเลข 5

6.5.4 ในรูป 51ง) ย้ายห้องน้ำท่วมไปนอกแนวกลางลำให้ตรงตำแหน่งที่เกิดปัญหาจริง แต่ยังไม่ให้เรือทะเล เท่ากับเป็นการย้ายน้ำหนักทางขวาง จุดศูนย์ถ่วงของเรือจึงย้ายไปยังจุด **G₂** เรือสูญเสียความสามารถในการทรงตัวไปตามเส้นโค้งหมายเลข 6 พื้นที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวจึงลดลงและปรากฏมูมเชิงถาวร (**Permanent List**)

6.5.5 ปรับสถานะในขั้นตอน 6.5.4 ให้เรือทะเลเปิดสู่ผิวน้ำภายนอกอย่างอิสระจึงสูญเสียความสามารถในการทรงตัวไปจากผลของ **Free Communication** ที่เกิดขึ้นอีก คือ ay^2/∇ (ตามเส้นโค้งหมายเลข 7) จึงเหลือพื้นที่แสดงความสามารถในการทรงตัวเพียงเล็กน้อย ดังในรูป 51 จ)

6.6 การพิจารณาปัญหาผลกระทบจากผิวน้ำอิสระด้วย **Monograph** หรือ **Alignment Chart**

Monograph หรือ **Alignment Chart** เป็นกราฟที่สร้างขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการคำนวณแก้ปัญหามลกระทบจากผิวน้ำอิสระ โดยวิธีกราฟฟิก ซึ่งสะดวกรวดเร็ว แต่มีขีดจำกัดคือเรื่องความละเอียดถูกต้องและการใช้ยังสอดคล้องกับค่าคงที่ซึ่งกำหนดไว้ล่วงหน้าบางค่า เพื่อสร้างกราฟดังกล่าว เช่น ค่าความหนาแน่นมวลของน้ำ ดังนั้น การนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องปรับแก้ผลต่างของค่าดังกล่าวอีกทีหนึ่ง รูปที่ 52 เป็นตัวอย่างของ **Monograph** หรือ **Alignment Chart**



วิธีใช้ Monograph หรือ Alignment Chart ในรูปที่ 52 คือ

6.6.1 นำขนาดทางขวางของห้องที่เกิดน้ำท่วม (ไม่เกิด Free Communication)

มาพล็อตลงตรงตำแหน่งหมายเลข 1 ในกราฟ

6.6.2 นำขนาดทางยาวของห้องในข้อ 6.6.1 พล็อตลงตรงตำแหน่งหมายเลข 2 แล้ว

ลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุด 1 และ 2 ได้จุดตัดเส้น Pivot ที่ตำแหน่งหมายเลข 3

6.6.3 ลากเส้นตรงจากจุดหมายเลข 3 ไปยังเส้นขนาดระวางชั้นน้ำตรงตำแหน่งระวางชั้นน้ำ

ปัจจุบัน (รวมน้ำท่วมแล้ว) หมายเลข 4 ตัดเส้นบอกการลดค่าระยะ GM ที่ตำแหน่งหมายเลข 5 ในรูปที่ 52

6.6.4 นำระยะ GM ที่ลดลงไปหักลบจากระยะ GM ก่อนเกิดน้ำท่วม โดยมีข้อแม้

เพิ่มเติม ดังนี้

6.6.4.1 ถ้าค่าความหนาแน่นน้ำต่างจากที่ระบุในกราฟ ให้นำค่าความถ่วงจำเพาะ

(คำนวณเปรียบเทียบระหว่างความหนาแน่นน้ำที่ปรากฏในกราฟกับความหนาแน่นน้ำปัจจุบัน) ไปหารออกจากค่าในสเกลของกราฟทุกเส้น และดำเนินการเช่นเดียวกับข้อที่ 6.6.1 ถึง 6.6.3 ต่อไป

6.6.4.2 ถ้าผิวหน้าอิสระที่เกิดขึ้นไม่เต็มพื้นที่ (มี Permeability Factor)

ให้นำ Permeability Factor คูณเข้ากับสเกลของกราฟทุกเส้น และดำเนินการเช่นเดียวกับข้อที่ 6.6.1 ถึง 6.6.3 ต่อไป

7. การเกยตื้น (Stranding)

7.1 ปัญหาที่เกิดจากการเกยตื้น (Problems Involved)

ไม่เพียงแต่เรือจะเกยตื้นอย่างไม่ตั้งใจเท่านั้น การเสียความสามารถในทรงตัวของเรือหรือความเสียหายต่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาจเป็นสาเหตุให้เรือต้องเกยตื้นในที่สุดได้ ดังนั้นในบางครั้งเมื่อ ผบ.เรืออาจจำเป็นต้องพิจารณาหาชายหาดที่สามารถจะนำเรือเข้าไปเกย ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความสะดวกในการกู้เรือออกในภายหลังด้วย พื้นที่ดังกล่าวเช่น บริเวณสันทราย พื้นเรียบอ่อน ซึ่งจะต้องพยายามหลีกเลี่ยงบริเวณที่เป็นโขดหิน, ยอดเขาใต้น้ำ, และต้องคำนึงถึงลักษณะการขวางกระแสน้ำและการต้องปะทะกับคลื่นอย่าให้รุนแรงด้วย ไม่ว่าจะเป็นการเกยตื้นโดยตั้งใจหรือไม่ก็ตาม ปัญหาที่ตามมาคือ

7.1.1 ความสามารถที่จะออกจากการเกยตื้นได้

7.1.2 ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือที่จะรองรับเหตุการณ์ต่างๆตามมาได้

7.1.3 ความสามารถในการทรงตัวของเรือในแต่ละสถานะ

7.2 ความสามารถที่จะออกจากการเกยตื้น (Ability to get off again)

7.2.1 ถ้าเรือเกยตื้นโดยมิได้ตั้งใจเรือมักใช้เครื่องจักรที่มีอยู่พยายามนำเรือออกจากที่ตื้น แต่ใบจักรมักมีประสิทธิภาพน้อยโดยเฉพาะในบริเวณน้ำตื้น ทำให้อาจเป็นอันตรายต่อเรือมากขึ้นเพราะใบจักรอาจจมลงในทราย นอกจากนั้นลมและภาวะน้ำขึ้น - ลงอาจส่งผลให้เรือเกยตื้นมากขึ้น การจะให้เรือหลุดออกจากตื้นยิ่งลำบากมากขึ้น ในภาวะที่ใบจักรและระบบกลับจักรมีแนวโน้มว่าไม่สามารถช่วยให้เรือหลุดออกได้จึงไม่ควรใช้เครื่องจักรปฏิบัติการดังกล่าว พี่ระลึกเสมอว่าการถ่วงเรือมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพราะเรืออาจกระแทกขึ้นลงอย่างรุนแรงเมื่อเรือถูกคลื่นซัด บางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้ระเบิดขนาดเล็กเปิดตัวเรือด้านต่ำๆให้น้ำเข้ามาถ่วงเรือมากขึ้น เพราะการตรึงเรือให้อยู่นิ่งๆในตื้นจะให้ความปลอดภัยมากกว่า

7.2.2 ภายหลังการถ่วงเรือเรียบร้อยแล้ว ตรวจสอบถึงภายในทั้งหมดว่าน้ำมรั่วหรือไม่ ตรวจสอบภายในตัวเรือโดยตลอดว่ามีโครงสร้างใดเสียหาย ตรวจสอบระดับของเหลวในถังเพื่อทราบความเอียงของเรือ ควรใช้เรือเล็กร่วมตรวจบริเวณเกยตื้นและทิศที่จะนำเรือออก โดยเฉพาะตำแหน่งหิน, ปะการัง หรืออุปสรรคกีดขวางใต้น้ำ และทิศทางกระแสน้ำ เพราะทันทีที่เรือหลุดจากตื้น กระแสน้ำอาจพาเรือไปกระทบสิ่งต่างๆดังกล่าว

7.2.3 ควรทอดสมออะไหล่ในทิศทางตรงข้ามกับการเกยตื้น เพื่อช่วยในการดึงเรือออก โดยใช้เรือเล็กนำสมอไปทิ้ง ในเรือสินค้าอาจใช้อุปกรณ์ช่วยยกที่มีอยู่กสมอไปทิ้งหลังจากนั้นใช้เครื่องกว้านสมอค่อย ๆ ดึงเรือเข้าหาสมอ นอกจากนั้นอาจใช้เรือลากจูงช่วยดึงเรือ ซึ่งเป็นการสะดวกกว่าเพราะเข้าลากเรือได้ในทุกทิศที่เหมาะสม

7.2.4 เมื่อเรือออกจากจุดเกยตื้นและอยู่ที่ระดับน้ำปลอดภัย อย่าพยายามใช้เครื่องจักรของเรือเพื่อหันเรือออกทันที เพราะจะทำให้สิ่งสกปรก, โคลน, ทราาย เข้าไปอุดในระบบระบายความร้อน ถ้ามีเรือลากจูง ควรให้เรือลากจูงไปสักพัก หลีกเลี่ยงการใช้ใบจักรที่ชำรุด, หลังจากนั้นควรแต่งทริมเรือ, สูบน้ำที่ท่วม และกำจัดสิ่งสกปรกที่อาจก่ออันตรายกับระบบต่างๆออกจากเรือโดยเร็ว

7.3 ความแข็งแรงของโครงสร้าง (Hull Strength)

ขณะเกยตื้น ตรงจุดที่เรือเกยจะถูกแรงทางดิ่งกระทำกับตัวเรือเป็นปริมาณมาก แรงแนี้ย่อมมีขนาดเท่ากับค่าของน้ำหนักของเรือขณะนั้นโดยไม่มีแรงลอยตัวจากน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลกระทบคือจะเกิดความเค้นที่บริเวณนั้นอย่างมากถ้าเรือเกยตื้นที่ปลายด้านหนึ่งของเรือจะเกิดความเค้นโก่งเรือทำให้เรือมีลักษณะตักท้องข้าง (Sagging) เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ควรเพิ่ม นน. ที่ปลายอีกข้างโดยใช้ นน. จากส่วนบริเวณกลางลำมาช่วย ถ้าเรือเกยตื้นกลางลำจะเกิดความเค้นทำให้เรือดุ้งกลาง (Hogging) เพิ่มขึ้น ดังนั้น ควรเพิ่ม นน. ที่กลางลำโดยใช้ นน. จากส่วนหัว – ท้ายเรือมาช่วย สิ่งที่ต้องคำนึงอื่นๆคือ หิน, ปะการัง ที่มีส่วนคมทำให้เกิดแรงรวมกระทำที่จุดเดียวซึ่งอาจทำให้เปลือกเรือแตกออกและเสียหายมากขึ้นเมื่อเรือมีการขยับตัว

7.4 ความสามารถในการทรงตัวของเรือขณะเกยตื้น (Stability)

เมื่อเรือเกยตื้น ย่อมสูญเสียความสามารถในการทรงตัวของเรือเนื่องจากแรงปฏิกิริยาจากจุดที่เกยซึ่งมีความสัมพันธ์กับสิ่งต่างๆเหล่านี้

7.4.1 ขนาดของแรงลอยตัวหรือจำนวนตันของระวางขับน้ำลดลงเนื่องจากการเกยตื้น หาได้จากความแตกต่างของระวางขับน้ำเมื่อเรือลอยอิสระกับระวางขับน้ำ (กินน้ำลึกเฉลี่ย) เมื่อเรือเกยตื้น และเพื่อให้ถูกต้องมากที่สุดต้องนำค่าทริมและการเอียงมาคิดด้วย ถ้าจุดสัมผัสคือกระดูกงู ผลกระทบจากการเกยจะคล้ายกับการนำน้ำหนักออกจากเรือ และระยะ GG_1 ของเรือเลื่อนขึ้น ดังนี้

$$GG_1 = \frac{P(KG)}{W - P} \quad \text{หรือ} \quad KG_1 = \frac{W(KG)}{W - P}$$

โดย P = จำนวนตันการเกยตื้น (วัดจากระยะกินน้ำลึกเฉลี่ยขณะเกยตื้น) หรือ แรงปฏิกิริยาตรงจุดเกยตื้นหรือแรงลอยตัวที่สูญเสียไป

$$Kg = \text{ค่าเมื่อเรือลอยอิสระ}$$

$$W - P = \text{ระวางขับน้ำที่สอดคล้องกับระยะกินน้ำลึกเฉลี่ยขณะเกยตื้น}$$

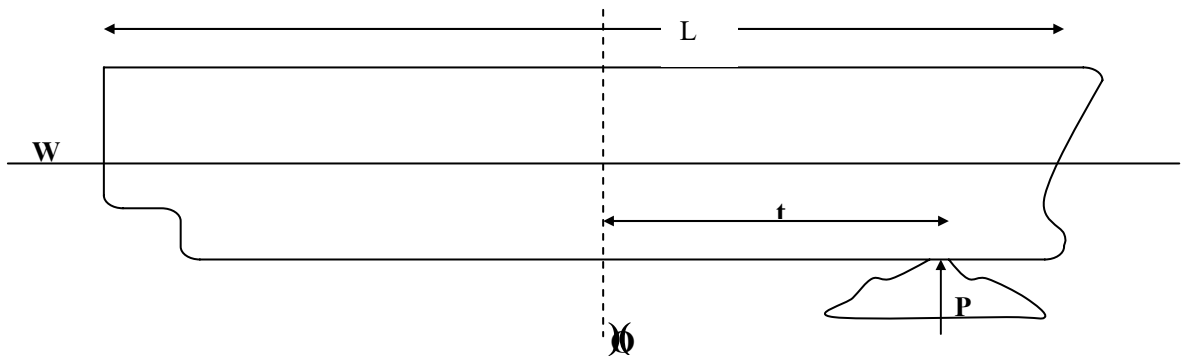
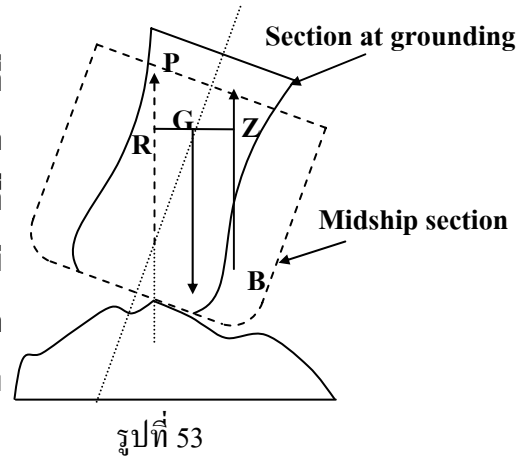
หมายเหตุ ในกรณีเข้าคู่แห่ง P คือแรงปฏิกิริยาตรงจุดหมอนรองเรือ

7.4.2 การเลื่อนของจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร(MM_1)หาได้จากความแตกต่างของระยะ KM ใน Hydrostatic Curve เมื่อเรือลอยอิสระ กับระยะ KM เมื่อเรือเกยตื้น โดย

$$G_1M_1 = GM \pm MM_1 - GG_1$$

7.4.3 ถ้าจุดสัมผัสอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งเรือจะเกิดทริมเทียบเท่ากับการย้ายน้ำหนักออกจากปลายด้านนั้น และถ้าจุดสัมผัสอยู่นอกแนวศูนย์กลางเรือจะเอียงเป็นมุมที่สอดคล้องกับการย้ายน้ำหนักทางขวางออกนอกเรือ (ด้วย G_1M_1) ถ้าค่า GM เป็นลบต้องระวังเรื่องการเอียงโดยเฉพาะเรือที่แคบเพราะจะพลิกคว่ำได้ง่าย ส่วนเรือที่เกยตื้นตลอดความยาวเรือและไม่เอียงจะไม่ล้มคว่ำแต่แม้ว่าจะลดลงสูงก็ตาม

7.4.4 ตรวจสอบส่วนหน้าตัดของเรือบริเวณจุดที่สัมผัสและลากเส้นสัมผัสรอบผิวตัวเรือ จากนั้นลากเส้นจากจุดสัมผัสในแนวตั้งตัด CL แล้วพิจารณาถ้าพบว่าเส้นที่ลากผ่านเหนือจุด G ขึ้นไป(เมื่อเรือลอยอิสระ) เรือจะไม่ล้มคว่ำ แต่ถ้าผ่านตรงกับจุด G พอดีหรือใต้จุด G ลงมาเรืออาจพลิกคว่ำได้ ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนการสูญเสียการทรงตัวเนื่องจากมีแรงตั้งขึ้นจากการเกยตื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง



7.4.5 จากรูป 53 แสดงแรง P (ค่าการเกย) บริเวณหัวเรือ ถ้าโมเมนต์ระหว่างแรง P เทียบกับ G เท่ากับแรงจากความลอย(Buoyancy Force) เรือจะยังคงเอียงอยู่ตามเดิม ถ้าโมเมนต์แรง P มากกว่าโมเมนต์ที่ตั้งตรงเรือจะเอียงต่อไป ถ้าผลรวมโมเมนต์ที่ตั้งตรงไม่เป็น (+) ขณะที่มีมุมเอียงมากขึ้นเรือจะพลิกคว่ำ

7.4.6 โมเมนต์ $(W - P) GZ$ ต้องมากกว่า $D(GR)$ ณ มุมเอียงหนึ่ง เพื่อให้ค่าโมเมนต์คืนตัวเป็น (+) ขนาดของ RA สอดคล้องกับระวางขับน้ำที่ Dm ต่ำสุด อาจหาได้จากเส้นโค้งการคืนตัว RA ต้องเป็นค่าแก้ไขความถูกต้องแล้ว (จากเรือลอยอิสระ) เพื่อหา GZ และระยะ GR หาจากการวาดรูปภาคตัดขวาง

7.4.7 แรงแพ P จะแตกต่างกันระหว่างระวางขึ้นน้ำเรือลอยอิสระ และการยกขึ้น, แรงแพ P ที่มากที่สุดเกิดขึ้นเมื่อเรือยกขึ้นขณะน้ำขึ้นเต็มที่จนถึงน้ำลงต่ำสุด ขณะน้ำลงต่ำสุด แรงแพตัวก็น้อยลง ขณะแรงแพ P มากขึ้นเป็นสัดส่วนกัน

7.4.8 แรงแพ P สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\frac{P}{TPI} + \frac{Pt^2}{(MTI)L} = \text{Inches full of tide หรือ}$$

$$P = \frac{\text{Inches full of tide}}{\frac{1}{TPI} + \frac{t^2}{(MTI)L}}$$

โดย t = ระยะจากจุดยกขึ้นถึงกลางลำ (ft)
 L = ความยาวเรือ (Lwl) (A)
 TPI = ต้นต่อน้ำ (เมื่อเรือลอยอิสระ, Dm ขณะยก)
 MTI = โมเมนต์ที่ทำให้เรือทริมเท่ากับ 1 นิ้ว
 (เมื่อเรือลอยอิสระ, Dm ขณะยก)

7.5 การแก้ไขการทรงตัวของเรือ เมื่อเรือใกล้จะล้มคว่ำ ค่าแก้ไขและวิธีการดูจากข้อ 6. เพื่อแก้ไขผลที่กระทบกับความแข็งแรงของตัวเรือและความสามารถที่จะลอยลำต่อไปได้

8. การเตรียมการเพื่อต่อต้านความเสียหาย

8.1 วัตถุประสงค์

อาจกล่าวได้ว่า 90% ของการป้องกันความเสียหายเรือกระทำก่อนที่เรือจะเสียหาย การเตรียมการที่ดีอย่างถูกต้องสามารถบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเรือได้เป็นอย่างมาก สิ่งที่ต้องเตรียมการก่อนการเกิดความเสียหายประกอบด้วย

8.1.1 ออกแบบระบบการป้องกันความเสียหาย

8.1.2 ศึกษาชนิดประเภทความเสียหายรวมทั้งการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นกับเรืออื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการประมาณความเสียหายของเรือ และมาตรการแก้ไขเมื่อเกิดความเสียหายในกรณีคล้ายๆกัน ซึ่งจะช่วยให้เจ้าหน้าที่ป้องกันความเสียหายมีประสบการณ์ความชำนาญรวมทั้งเข้าใจต้องแก้ถึงระบบห้องกันน้ำและการทรงตัวของเรือที่ตนเองปฏิบัติงานอยู่ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นกับเรือจริง ๆ แล้วจะไม่มีเวลามากนักโดยเฉพาะการคำนวณที่ต้องอาศัยทักษะความชำนาญจะไม่สามารถทำได้ถูกต้องภายในช่วงเวลาจำกัด

8.2 การป้องกันน้ำท่วมก่อนเรือเสียหาย

ความเร็วและถูกต้องแม่นยำเป็นหัวใจของการป้องกันน้ำท่วม เจ้าหน้าที่ประจำหน่วยป้องกันความเสียหายและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกนายจะต้องมีความคุ้นเคยกับอุปกรณ์ที่จัดเตรียมไว้สำหรับแก้ปัญหาการสูญเสียการทรงตัวเนื่องจากการเอียงทางขวาง (List) และการเอียงทางยาว (Trim) ทั้งนี้เรือควรจะต้องจัดทำคู่มือประกอบดังต่อไปนี้

8.2.1 คู่มือการระบายน้ำที่ท่วมขังตามทีต่าง ๆ (Drainage Bill) เนื่องจากอุปกรณ์ช่วยสูบน้ำระบายน้ำ เช่น เครื่องสูบน้ำแบบเคลื่อนที่และแบบประจำที่หรือเครื่องมือสูบน้ำถ่ายของเหลวอย่างอื่น มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะในเรื่องของการลดผลจากผิวน้ำอิสระจากปัญหาน้ำท่วม ผู้เกี่ยวข้องกับการป้องกันความเสียหายควรทราบขั้นตอนและวิธีการใช้ที่ถูกต้อง เช่น การสูบน้ำจากกราบที่เอียงไปยังกราบตรงข้ามจะแก้ปัญหาการเอียงของเรือได้เป็นอย่างดีแต่วิธีการนี้กลับเป็นอันตรายหากใช้ไม่ถูกต้องกับเรือที่มีระยะ GM เป็นลบ หรือไม่ได้ผลมากเท่ากับเรือที่น้ำท่วมเสมอกันทั้ง 2 กราบหรือไม่ได้ผลเลยกับเรือที่น้ำท่วมถึงกันได้ทั้ง 2 กราบ

8.2.2 คู่มือปลดถ่ายน้ำหนัก (Jettison Ship Bill) การปลดถ่ายน้ำหนักบนดาดฟ้าหรือในส่วนที่อยู่สูงจะต้องคำนึงถึงเวลาในการปฏิบัติและความชำนาญของผู้ใช้เครื่องมือช่วยยกและที่สำคัญที่สุดคือการสูญเสียอำนาจการรบที่ตามมา คู่มือที่กำหนดแนวทางและขั้นตอนการปลดถ่ายน้ำหนักควรจะต้องประกอบด้วยลำดับขั้นตอนของการกำหนดชนิดน้ำหนักที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายและมีอันตรายต่อความสามารถในการทรงตัวของเรือน้อยที่สุด ซึ่งจะต้องระบุระยะ GM ที่สูญเสียหรือเพิ่มขึ้นในระหว่างการเคลื่อนย้ายจนกระทั่งนำน้ำหนักแต่ละชิ้นออกจากเรือจนเสร็จ นอกจากนั้น

น้ำหนักที่กำหนดควรจะเป็นปริมาณที่เมื่อปฏิบัติการแล้วมีประสิทธิภาพช่วยรักษาหรือแก้ไขความเสียหายให้กับเรือได้เป็นอย่างมากด้วย

8.2.3 คู่มือสูบน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Oil Transfer Bill) คู่มือนี้ควรจัดทำให้สอดคล้องกับปฏิบัติการเกี่ยวกับการสูบน้ำมันของถังต่าง ๆ และระบบการใช้น้ำอับเฉาถ่วงเรือ เพราะการปฏิบัติที่ไม่ถูกต้องอาจสร้างโมเมนต์ทางขวางที่เป็นอันตรายต่อการทรงตัวของเรือ คู่มือนี้ควรระบุจำนวนของน้ำมันและน้ำอับเฉาที่ควรสูบน้ำเพื่อช่วยป้องกันความเสียหายในลักษณะต่างๆ นอกจากนั้นควรระบุอัตราการสูบน้ำในกรณีที่ต้องการเพิ่มโมเมนต์ทางขวางอย่างรวดเร็วและควรแสดงหลักนิยมในการปิดประตูล้นก้นน้ำตามช่องทางต่าง ๆ

8.2.4 คู่มือด้านน้ำท่วม เรือที่ติดตั้งระบบป้องกันตอร์ปิโดและเรือบรรทุกเครื่องบิน มักมีระบบที่ช่วยถ่วงให้เรือเอียงไปยังด้านตรงข้ามที่เสียหายได้อย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยเอียงเรือกลับเมื่อถูกยิงด้วยตอร์ปิโดป้องกันมิให้น้ำท่วมลูกกลมหวดเร็วเกินไปจนทำความเสียหายให้กับ เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องบินที่จอดอยู่ใต้ดาดฟ้า เรือทั้งสองประเภทดังกล่าวและเรืออื่นที่มีความพร้อม ควรจัดทำหลักนิยมการปิด/เปิดล้นถ่วงน้ำดังกล่าวไว้ด้วย

8.2.5 คู่มือความเสียหายจากน้ำท่วม (Flooding Effect Bill) เป็นคู่มือที่ระบุผลของผิวน้ำอิสระอันเกิดจากน้ำท่วมตามที่ต่าง ๆ ในลักษณะตารางแสดง Free Surface Effect ต่าง ๆ ที่มีผลต่อระยะ GM ของเรือ และอาจรวมถึงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระยะ GM เมื่อมีการเคลื่อนย้าย, เพิ่ม หรือลดน้ำหนักตามที่ต่าง ๆ

8.3 การเตรียมการขององค์กร วัตถุประสงค์ ประกอบด้วย

8.3.1 ตรวจสอบความพร้อมของประตูและฝากั้นน้ำ

8.3.2 ติดตั้งอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน

8.3.3 เตรียมอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายให้มีจำนวนมากพอ และตรวจสอบให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเสมอ

8.4 การควบคุมน้ำหนัก

เรือบรรทุกออกแบบให้มีระยะ Freeboard และแรงลอยตัวสำรอง (Reserve Buoyancy) เหมาะสมและมากพอสอดคล้องกับสมรรถนะตามภารกิจหลักของเรือทั้งนี้รวมถึงความสามารถในการรับน้ำที่เพิ่มเข้ามาในเรือเนื่องจากเรือทะเล ความสามารถดังกล่าวคำนวณจากรายการน้ำหนักประจำที่และไม่ประจำที่ในส่วนที่จำเป็นกับเรือและสอดคล้องกับข้อมูลการออกแบบเรือ เมื่อใช้งานเรือไปสักระยะเรือมักจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆที่ละนิด ทั้งนี้เนื่องจากเป็นธรรมชาติที่ผู้ปฏิบัติงานในเรือทุกคนจะทยอยนำสัมภาระที่ไม่จำเป็นขึ้นเรือซึ่งเป็นการลดระยะ Freeboard ของ

เรือโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ สิ่งนี้สามารถใช้เป็นเหตุผลในการห้ามมิให้นำสิ่งของขึ้นเรือโดยมิได้รับอนุญาต ซึ่งเป็นหลักถือปฏิบัติของเรือโดยทั่วไป ผลของการที่เรือบรรทุกน้ำหนักเกินกำหนด สรุปได้ดังนี้

8.4.1 ความต้านทานระหว่างเรือกับน้ำเพิ่มขึ้นตามขนาดระวางขับน้ำที่เพิ่มขึ้น ความเร็วเรือจึงลดลง

8.4.2 วงหันเรือลดลงเมื่อระวางขับน้ำเพิ่มขึ้น

8.4.3 ระยะเวลา GM ของเรือมักเพิ่มขึ้นเป็นผลให้สมรรถนะการทรงตัวลดลง

8.4.4 ความเค้นในทางยาว (Longitudinal Stress) เพิ่มขึ้น

8.4.5 ความทนทะเลลดลง เพราะระยะ Freeboard ลดลง เป็นผลให้

8.4.5.1 กำลังลอย (Reserve Buoyancy) ลดลง

8.4.5.2 ช่วงการทรงตัวเป็นบวก (Range of Stability) ลดลง

8.4.5.3 โอกาสที่คาดฟ้าเปียกเพิ่มขึ้นเมื่อเรือแล่นในคลื่น

9. มาตรการการแก้ไขความเสียหายของเรือ

มาตรการในการแก้ไขความเสียหายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

ก **มาตรการการปฏิบัติ ณ ที่เกิดเหตุ (Immediate Local Measure)** คือ การปฏิบัติโดยหน่วยป้องกันความเสียหาย ณ ที่ เกิดเหตุในการดับไฟ, การฉีกน้ำ หรือ การซ่อมทำฉุกเฉิน

ข **มาตรการการรักษาสภาพของเรือโดยรวม (Overall Ship Survival Measures)** คือ มาตรการต่าง ๆ ที่กระทำโดยนายทหารช่างกล โดยคำแนะนำจากศูนย์ป้องกันความเสียหาย ในการควบคุมการเอียงของเรือ (List), การรักษาระดับการกินน้ำลึกหัวท้าย (Trim), การรักษาการลอยตัว (Buoyancy), การรักษาความสามารถในการทรงตัว (Stability), การรักษาความแข็งแรงของโครงสร้างของเรือ (Hull Strength)

9.1 มาตรการการปฏิบัติ ณ ที่เกิดเหตุ (Immediate Local Measure)

มาตรการการปฏิบัติ ณ ที่เกิดเหตุ ประกอบด้วยความพยายามต่าง ๆ ในการสำรวจความเสียหาย ณ ที่เกิดเหตุ รายงานขอบเขตของความเสียหายไปยังศูนย์ป้องกันความเสียหาย ซึ่งในการปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้

9.1.1 กำหนดขอบเขตของการเกิดน้ำท่วม โดยกำหนดตำแหน่งของผนังเรือ คาดฟ้าเรือชั้นแรก

9.1.2 ควบคุมและกำจัดต้นเหตุของไฟ

9.1.3 กำหนดขอบเขตการป้องกันน้ำท่วมชั้นที่สอง เพื่อใช้ในการควบคุมน้ำท่วมในกรณีนี้

ขอบเขตการป้องกันชั้นแรกล้มเหลว

- 9.1.4 การเข้าไปยังห้องที่เกิดน้ำท่วมเพื่อทำการ อุด, ปะ, ค้ำจุน และสูบน้ำออกจากห้อง
- 9.1.5 จำแนกความเสียหายที่เกิดจากระบบท่อทาง และ ระบบไฟฟ้า
- 9.1.6 ซ่อมทำระบบท่อทางให้สามารถใช้งานได้ตามปกติ
- 9.1.7 ซ่อมทำระบบไฟฟ้ากำลัง
- 9.1.8 ซ่อมทำระบบสื่อสารฉุกเฉิน และ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- 9.1.9 ช่วยเหลือผู้ประสบบาดเจ็บ
- 9.1.10 เคลื่อนย้ายโครงสร้างที่เกิดการเสียหาย, ชยะ, น้ำมัน และ ทำความสะอาด
- 9.1.11 ควบคุมและจำกัดขอบเขตพื้นที่อันตราย
- 9.1.12 ระบายอากาศและแก๊สพิษออกจากห้อง
- 9.1.13 ตรวจสอบสารเคมีตกค้าง

มาตรการการปฏิบัติ ณ ที่เกิดเหตุเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การตัดสินใจในการปฏิบัติ ไม่ได้เป็นการตัดสินใจจากศูนย์ป้องกันความเสียหาย แต่เป็นการตัดสินใจจากผู้ควบคุม ณ ที่เกิดเหตุ ซึ่งต้องไม่ก่อให้เกิดความผิดพลาดจนความเสียหายที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นหน่วยป้องกันความเสียหายจะต้องได้รับการฝึกฝนให้สามารถปฏิบัติต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นด้วยความถูกต้องและรวดเร็ว อย่างไรก็ตามศูนย์ควบคุมความเสียหายต้องให้คำแนะนำที่ถูกต้องแก่หน่วยป้องกันความเสียหายอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้หน่วยป้องกันความเสียหายที่ทำงานแยกจากกัน สามารถประสานงานในการทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงคำแนะนำต่าง ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการปฏิบัติกับความเสียหายแก่หน่วยป้องกันความเสียหาย

9.2 มาตรการการรักษาสภาพของเรือโดยรวม (Over-All Ship-Survival Measures)

ข้อมูลโดยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับมาตรการรักษาสภาพของเรือโดยรวมประกอบด้วย

- 9.2.1 การปฏิบัติในการสำรวจความเสียหายโดยรวมมีวัตถุประสงค์ดังนี้
 - 9.2.1.1 เพื่อปรับปรุงระยะ GM และความสามารถในการทรงตัวโดยรวม
 - 9.2.1.2 เพื่อแก้ไขปัญหาหน้าหนังกนอกแนวศูนย์กลางเรือ
 - 9.2.1.3 เพื่อปรับปรุงแก้ไขแรงลอยตัว
 - 9.2.1.4 เพื่อปรับปรุงแก้ไขปัญหาการเอียงของเรือ
 - 9.2.1.5 เพื่อลดค่าความเค้นของเรือที่เสียหาย

9.2.2 ผลกระทบเนื่องจากวัตถุประสงค์ตามมาตราการดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบต่อสภาพของเรือโดยรวมในทางอื่นๆ มาตราการการปฏิบัติเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์อาจเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายน้ำหนัก การซ่อมทำห้องต่าง ๆ การปฏิบัติเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ข้อใดข้อหนึ่งอาจมีผลกระทบต่อวัตถุประสงค์ ข้ออื่น ๆ ดังนั้นการตัดสินใจเลือกมาตราการในการแก้ไข อาจหมายถึงการดำรงอยู่ หรือทำให้เกิดการสูญเสียเรือได้ ดังนั้นการตัดสินใจเพื่อเลือกมาตราการการแก้ไขของนายทหารช่างกลจึงต้องขึ้นอยู่กับ

9.2.2.1 ความรู้ความเข้าใจในการทรงตัวของเรือและคุณลักษณะของห้องต่าง ๆ

9.2.2.2 ความรู้ความเข้าใจในลักษณะโดยธรรมชาติและขอบเขตของความเสียหาย

9.2.2.3 ผลกระทบต่อการแก้ไขตามวัตถุประสงค์หนึ่งกับวัตถุประสงค์อื่น ๆ

9.2.3 การแก้ไขเนื่องจากการย้ายน้ำหนัก หรือ การเพิ่ม – ลดน้ำหนัก มีผลกระทบต่อทริมของเรือ และเช่นเดียวกันการย้ายน้ำหนักหรือการเพิ่ม – ลดน้ำหนักในทางแนวยาวของเรือมีผลต่อความเค้นในโครงสร้างของเรือ

9.3 มาตราการในการปรับปรุงค่า GM และการทรงตัวของเรือ

การปรับปรุงการทรงตัวของเรือสามารถกระทำได้ โดยการกำจัดผลของผิวหน้าอิสระ, การกำจัดน้ำหนักที่อยู่ในที่สูง, การเพิ่มน้ำหนักในต่ำ, การซ่อมทำรอยเปิดสู่ทะเล, การกู้ระยะฟรีบอร์ดที่สูญเสียไป โดยมีมาตราการดังนี้

9.3.1 กำจัดผลของผิวหน้าอิสระ

9.3.2 การรื้อถอนน้ำหนักที่อยู่ในที่สูง

9.3.3 การถ่วงเรือ

9.3.4 การถ่วงน้ำหนักลงสู่ที่ต่ำ

9.3.5 การซ่อมทำผนังห้องต่าง ๆ

9.4 การกำจัดผลของผิวหน้าอิสระโดยการสูบน้ำออก

การสูบน้ำออกจากเรือเพื่อลดผลของผิวหน้าอิสระสามารถกระทำได้โดยการใช้ ระบบสูบน้ำห้องเรือ, เครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่ หรือ การใช้ถังตัก การสูบน้ำออกจากเรือ สามารถกระทำได้โดยตรง หรือ การถ่วงน้ำลงไปยังห้องที่อยู่ในระดับต่ำกว่าก่อนที่จะทำการถ่วงน้ำลงไปยังห้องที่อยู่ในระดับต่ำกว่าก่อนที่จะทำการสูบน้ำถ่ายออกนอกเรือ ผลของความคงทนทะเลของเรือจากการแก้ไขโดยการสูบน้ำออกจากเรือ คือ

9.4.1 เป็นการปรับปรุงค่า GM ผลการทรงตัวของเรือโดยรวม โดยการกำจัดผลของผิวหน้าอิสระ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าน้ำที่ท่วมอยู่ในระดับสูง การสูบน้ำออกจึงเป็นการเคลื่อนย้ายน้ำหนักในที่สูง การย้าย

น้ำหนักจะเป็นผลทำให้ระยะฟรีบอร์ดเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของระยะฟรีบอร์ดมีผล ให้ค่า GM มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การทรงตัวของเรือดีขึ้น

9.4.2 เป็นการปรับปรุงการทรงตัวของเรือโดยรวม โดยการย้ายน้ำหนักที่ไม่ได้อยู่ในแนวศูนย์กลางออกไป ในกรณีที่ห้องที่เกิดน้ำท่วมไม่ได้อยู่ในแนวศูนย์กลางลำเรือ

9.4.3 ปรับแก้แรงสำรองในการลอยตัว

9.5 การกำจัดผลของผิวน้ำอิสระโดยการสูบน้ำเข้าจากทะเล

9.5.1 ข้อดีของการสูบน้ำเข้าห้องที่เกิดการเสียหาย คือ ในกรณีที่การเพิ่มน้ำหนักของน้ำทะเลที่สูบน้ำเข้าไป ทำให้ค่าจุดศูนย์กลางของน้ำหนักมีค่าต่ำลงจนไม่เกิดการสูญเสียการทรงตัว แต่น้ำที่สูบน้ำเข้าไปจะมีผลทำให้ค่าฟรีบอร์ดมีค่าลดลง ส่วนในกรณีอื่น ๆ การสูบน้ำออกจะให้ผลที่ดีกว่า

9.5.2 ในกรณีที่อากาศที่ถูกกักอยู่ในห้องทำให้เกิดผลของผิวน้ำอิสระเมื่อได้ทำการเติมน้ำเข้าไป ดังนั้นผู้ออกแบบเรือต้องออกแบบเรือให้มีที่อระบายสำหรับห้องที่อยู่ใต้น้ำ เพื่อให้สามารถเติมน้ำเข้าไปได้จนเต็ม หรือเพื่อให้สามารถควบคุมกำลังดันภายในห้องเพื่อใช้ควบคุมปริมาณน้ำที่เข้าเรือเพื่อป้องกันการเสียระยะฟรีบอร์ด การแก้ไขโดยการรักษากำลังดันภายในห้อง จะเป็นการดีกว่าการสูบน้ำเข้าไป เนื่องจากการสูบน้ำเข้าไปจะทำให้เกิดการเพิ่มน้ำหนักนอกแนวศูนย์กลาง

9.5.3 ผลของความทนทานของเรือจากการแก้ไขโดยการสูบน้ำเข้าเรือ คือ

9.5.3.1 เป็นการปรับปรุงค่า GM และการทรงตัวของเรือโดยรวม โดยการกำจัดผลของผิวน้ำอิสระ แต่ถ้าห้องนี้ไม่ได้อยู่ต่ำกว่าแนวน้ำ การแก้ไขจะไม่บังเกิดผล เพราะจะเป็นการเพิ่มน้ำหนักในทางสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดการสูญเสียระยะฟรีบอร์ด

9.5.3.2 ถ้าห้องที่ถูกน้ำท่วมอยู่นอกแนวศูนย์กลางลำเรือ การเพิ่มน้ำหนักเข้าไปจะทำให้เกิดผลเสียต่อการทรงตัวของเรือ

9.5.3.3 มีผลทำให้แรงสำรองในการลอยตัวลดลง

9.6 การกำจัดผลของผิวน้ำอิสระโดยวิธีการสูบน้ำของเหลวภายในเรือ

วิธีการและผลของกำลังผลของผิวน้ำอิสระโดยการสูบน้ำของเหลวภายในเรือ มีดังนี้

9.6.1 ถ้ามีถังน้ำที่ไม่ได้ถูกเติมจนเต็มมากกว่า 1 ถัง เราสามารถลดผลของผิวน้ำอิสระได้ โดยการสูบน้ำของเหลวจากถังอื่นมาใส่จนเต็ม ตัวอย่างเช่น การถ่ายน้ำจากถังปีก (Wing Tank) ที่อยู่ในระดับสูงลงสู่ถังห้องเรือ (Bottom Tank) แต่ถ้าถังปีกมีลักษณะแคบ คือมีความกว้างน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างของเรือ จะไม่เกิดผลของผิวน้ำอิสระ

9.6.2 ผลของความทนทานทะเลของเรือจากการแก้ไขโดยการสูบน้ำของเหลวภายในเรือ มีดังนี้

9.6.2.1 เป็นการปรับปรุงค่า GM และการทรงตัวของเรือโดยรวม เนื่องจากการกำจัดผลของผิวหน้าอิสระ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการถ่ายเทน้ำหนักลงสู่ที่ต่ำ

9.6.2.2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในแนวกกลางลำ ถ้าเป็นการถ่ายเทน้ำหนักอย่างสมดุลง

9.6.2.3 ไม่มีผลต่อแรงสำรองในการลอยตัว

9.7 การแก้ไขการทรงตัวของเรือโดยการถ่วงเรือ

การถ่วงเรือเป็นวิธีการในการปรับปรุงค่า GM และการทรงตัวของเรือโดยรวมโดยการเพิ่มน้ำหนักในที่ต่ำ โดยมีวิธีการและการปฏิบัติดังต่อไปนี้

9.7.1 การถ่วงเรือ คือ วิธีการในการเติมน้ำเข้าไปในท้องที่อยู่ต่ำกว่าเส้นแนวน้ำ เพื่อเป็นการปรับปรุงการทรงตัวของเรือ การถ่วงเรือโดยปกติจะกระทำก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้นกับเรือ การเพิ่มน้ำหนักให้แก่เรือภายหลังจากได้รับความเสียหาย อาจเป็นการปรับปรุงค่า GM ให้ดีขึ้น ถ้าหากว่าค่าฟรีบอร์ดและค่าสำรองของการลอยตัว สามารถรองรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ เรือเปล่าที่ได้รับความเสียหาย อาจมีการทรงตัวที่ดีขึ้นเมื่อได้รับการถ่วงเรือ

9.7.2 การถ่วงเรือสามารถกระทำได้โดย

9.7.2.1 การเติมน้ำ, น้ำมันเชื้อเพลิง ลงถ่วงน้ำอับเฉา

9.7.2.2 การสูบน้ำออกจากถ่วงน้ำอับเฉาโดยระบบสูบน้ำท้องเรือ

9.7.2.3 การเติมน้ำลงในถังควรเป็นการเติมโดยเติมลงถังโดยตรง เนื่องจากการเติมน้ำลงถังใดถังหนึ่งมากเกินไปจากระบบสูบน้ำภายในเรือ จะทำให้ความสมดุลงเสียไป การถ่วงเรือภายหลังจากที่เรือได้รับความเสียหาย ควรกระทำกับท้องหรือถังที่อยู่ในแนวกกลางลำ หรือกับท้องที่มีลักษณะสมดุลงกัน แต่อยู่คนละกราบถังที่ใช้ในการถ่วงเรือ ไม่ควรจะมีช่องทางเชื่อมต่อกันเนื่องจากอาจจะทำให้การเติมน้ำในการถ่วงเรือไม่เท่ากัน และการเติมน้ำในการถ่วงเรือควรมีการตรวจวัดอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ทราบถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการถ่วงเรือ

9.7.3 ในระหว่างการถ่วงเรือจะเกิดผลของผิวหน้าอิสระชั่วคราวขึ้น ผลของผิวหน้าอิสระชั่วคราว ไม่ก่อให้เกิดอันตรายถ้าความกว้างของถังที่ใช้มีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างเรือ และ ถังห้องได้ถูกเติมน้ำจนเต็ม ผลของความคงทนทะเลในการเพิ่มประสิทธิภาพการทรงตัวโดยการถ่วงเรือ ประกอบด้วย

9.7.3.1 เป็นการปรับปรุงค่า GM และการทรงตัวของเรือโดยรวม เนื่องมาจากการเพิ่มน้ำหนัก ในที่ต่ำ ซึ่งเป็นการลดค่า G ลงมามากกว่าการลดค่าฟรีบอร์ด ลดค่า M

9.7.3.2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักนอกแนวศูนย์กลางลำเรือ เว้นเสียแต่ว่าการถ่วงเรือกระทำโดยไม่สมดุลง

9.7.3.3 เป็นการลดค่าแรงสำรองการลอยตัว

9.8 การแก้ไขการทรงตัวของเรือโดยการเคลื่อนย้ายน้ำหนักของของเหลวลงสู่ที่ต่ำ

9.8.1 การปรับปรุงการทรงตัวของเรือสามารถกระทำได้โดยการเคลื่อนย้ายน้ำหนักของของเหลวลงสู่ที่ต่ำ ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

9.8.1.1 ระบายน้ำที่เกิดจากความเสียหายลงสู่ห้องที่อยู่ต่ำกว่าภายหลังจากที่ได้ทำการอุดรอยรั่วเรียบร้อยแล้ว

9.8.1.2 การสูบถ่ายของเหลวไปลงถังท้องเรือ ผลของผิวน้ำอิสระที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิบัติการจะไม่มีผลสำคัญ ถ้าความกว้างของถังที่ใช้มีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างเรือ มาตรการนี้ควรหลีกเลี่ยงถ้าเป็นการระบายน้ำจากกราบหนึ่งไปยังอีกกราบหนึ่ง หรือถ้าเป็นกรณีทำให้เกิดแรงนอกศูนย์กลางขึ้น

9.8.2 ผลของความคงทนทะเลเนื่องจากการถ่ายน้ำหนักลงสู่ที่ต่ำ คือ

9.8.2.1 เป็นการปรับปรุงค่า **GM** และการทรงตัวของเรือโดยรวมเนื่องมาจากการย้ายน้ำหนัก ของของเหลวลงสู่ที่ต่ำเพื่อพยายามลดผลของผิวน้ำอิสระ

9.8.2.2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในแนวศูนย์กลาง เว้นเสียแต่ว่าของเหลวได้มีการสูบถ่ายของเหลวขวางลำมากกว่าเป็นสูบถ่ายลงสู่ที่ต่ำ

9.8.2.3 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแรงสำรองการลอยตัว