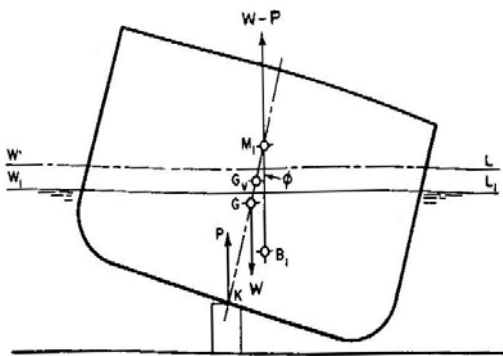


การทรงตัวเรือขณะเกยตื้น (Stability When Grounded)

น.อ.ผศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ้ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

การทรงตัวในกรณีที่เรือติดตื้นนั้น สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการพิจารณาการทรงตัวเรือขณะกำลังเข้าอยู่แห้ง (Dry Docking) หลายท่านอาจสงสัยในความสัมพันธ์ของ ๒ เหตุการณ์ดังกล่าว โดยเฉพาะผู้ที่ไม่ค่อยคุ้นเคยกับอยู่แห้ง ผู้เขียนขออธิบายลักษณะของการอยู่แห้งโดยย่อ ดังนี้ อยู่แห้งคือบริเวณที่จัดเตรียมไว้ซ่อมทำตัวเรือหรือส่วนประกอบใต้แนวน้ำ คล้าย ๆ อ่างกักน้ำที่มีประตูเปิดและปิด ได้อย่างสนิท พื้นด้านล่างมักทำเป็นแท่นหลัก ๆ เป็นระยะ ๆ ไว้สำหรับวางเรือและมีการใช้ท่อนไม้ (Wooden Blocks) ต่างๆ เข้ามาเสริมเพื่อปรับแต่งให้เหมาะสมกับเรือแต่ละลำ เมื่อนำเรือเข้ามาในอ่าง และปิดประตูอ่างเรียบร้อยแล้วจะสูบน้ำออกโดยเร็ว ก่อนที่ท้ายเรือจะเริ่มวางบนหมอนจะหยุดสูบน้ำชั่วคราว เพื่อปรับแต่งให้เรืออยู่ในแนวการวางที่เหมาะสม แล้วจึงสูบน้ำออกต่อไปอย่างช้า ๆ เรือจะค่อย ๆ วางบนหมอนรองกระดูกที่เตรียมไว้ ในขณะเดียวกันมักใช้ไม้ค้ำยันเรือไว้คร่าว ๆ จากท้ายเรือไล่ไปทาง หัวเรือ ตำแหน่งที่ยันเรือควรตรงกับแนวกงเรือเพื่อป้องกันมิให้แผ่นเหล็กข้างเรือทะลุเสียหาย เมื่อค้ำยันแน่นหนาเรียบร้อยแล้วจะเร่งสูบน้ำออกให้เร็วขึ้น สุดท้ายเมื่อระดับน้ำลดลงเกือบถึงท้องเรือจะลดอัตราการสูบน้ำลงอีกครั้ง เพื่อจะสอด



หมอนรองตามส่วนโค้งท้องเรือ (Bilge Blocks) อีกที แต่ละจุดที่เรือสัมผัสกับหมอนรองเปรียบได้กับจุดที่เรือเกยตื้นต่างกันที่ลักษณะของพื้นท้องน้ำที่เรือติดตื้น และลักษณะการเกย ส่วนการลดลงของน้ำ ขึ้นกับการขึ้นลงตามธรรมชาติของกระแสน้ำ นอกจากนั้นยังอาจมีความเสียหายเกิดขึ้นกับเรือบางส่วน แต่สิ่งที่แตกต่างกันมากที่สุดคือการติดตื้นของเรือมักเกิดขึ้น

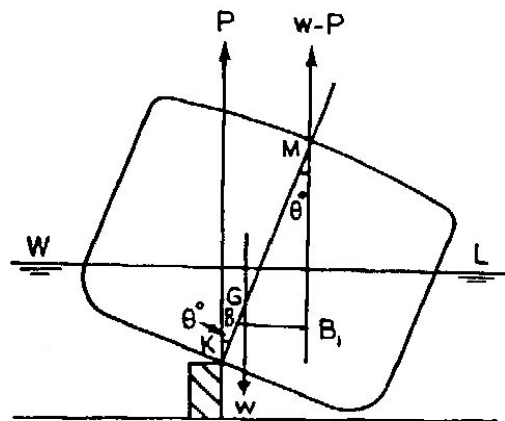
โดยไม่มีการเตรียมล่วงหน้า

รูปที่ ๑

ก่อนหน้าที่จะเข้าในอยู่แห้งเรือมักลอยในลักษณะเกิดทริมทางท้าย ทั้งนี้เพราะต้องเตรียมเรือให้มีน้ำหนักเบาที่สุด โดยเฉพาะไม่ควรมีน้ำมันเชื้อเพลิงและสิ่งที่เป็นอันตรายอยู่ในเรือขณะซ่อมทำ (การจัดวางน้ำหนักหลัก ๆ ประจำที่ในเรือทำให้เมื่อเรือมีน้ำหนักน้อยมักเกิดทริมท้ายเสมอ) เมื่อเป็นเช่นนี้จึงควรจัดวางหมอนรองกระดูกให้มีลักษณะลาดเอียงสอดคล้องกับการเกิดทริมเรือ เพื่อให้กระดูกสัมผัสกับหมอนรองตามลำดับอย่างเหมาะสม เมื่อระดับน้ำค่อย ๆ ลดลง ส่วนท้ายของเรือจะเริ่มแตะกับหมอนรองก่อน แรงที่หมอนรองรับเรือในแต่ละขณะจะมีขนาดเท่ากับผลต่าง ของระวางขับน้ำเมื่อเรือลอยในน้ำอย่างสมบูรณ์ (ไม่สัมผัสกับสิ่งใดเลย) กับระวางขับน้ำที่คำนวณได้ ขณะนั้น ๆ (ดูจากแนวน้ำข้างเรือ)

แรงรับเรือที่เกิดจากหมอนรองกระดูกจะส่งผลเช่นเดียวกับการนำน้ำหนักที่มีขนาดเท่าแรงนั้นออกจากจุดที่สัมผัส เมื่อเกิดแรงปฏิกิริยาจากหมอนรองย่อมส่งผลให้ระยะ GM เรือลดลง เรืออาจไม่เสถียร และจะมีการทรงตัวน้อยทันทีที่ทุกจุดตามแนวกระดูกเริ่มวางบนหมอนรอง ช่วงเวลานี้ถึงขณะที่ระดับน้ำลดลงจนพื้นท้องเรือและก่อนที่ช่างอยู่จะเสริมหมอนรองตามส่วนโค้งท้องเรือ (Bilge Blocks) ถือเป็นเวลาวิกฤตของการทรงตัวเรือขณะเข้าอู่แห้ง การสอดหมอนรองตามส่วนโค้งท้องเรือจะต้องกระทำก่อนที่เรือจะเอียงทางข้างมากและน้ำหนักส่วนใหญ่กดลงบนหมอนรองกระดูกมากเกินไป ถ้ายังสอดหมอนรองตามส่วนโค้งท้องเรือไม่เสร็จเรืออาจเอียงจนพลิกคว่ำ การหลีกเลี่ยงปัญหานี้สำหรับเรือที่มีระยะ GM น้อยอยู่แล้วคือจัดให้เรือเกิดริมทางท้ายโดยพยายามให้นานกับความลาดเอียงของหมอนรองกระดูกที่เตรียมไว้ เพื่อให้แต่ละจุดบนกระดูกวางลงบนหมอนในเวลาไล่เลี่ยกันและเสร็จสิ้นโดยเร็ว

รูปที่ ๒



ในขณะที่เรือเริ่มวางบนหมอนรองกระดูกเป็นจุดแรก เรือจะถูกพยุงไว้ด้วยน้ำหนักหนึ่งและจากแรงปฏิกิริยาจากหมอนรองอีกส่วนหนึ่ง รูปที่ ๒ แสดงตัวอย่างของเรือเมื่อเริ่มวางบนหมอนรองกระดูกและมีระดับกินน้ำลึกเท่ากับ W_1L_1 โดยก่อนที่เรือจะแตะกับหมอนรอง เรือลอยอยู่ที่ระดับกินน้ำลึก WL โดยมีความหมายของจุดต่าง ๆ ที่ปรากฏในรูป ดังนี้

P = แรงปฏิกิริยาจากหมอนรองที่กระทำต่อกระดูก

M_1 = จุดศูนย์เสถียร (Metacenter) เมื่อเรือลอยที่แนวน้ำ W_1L_1

G = จุดศูนย์กลางถ่วงเรือ เมื่อเรือลอยอย่างสมบูรณ์ (Water-borne) ที่แนวน้ำ WL

W = ระวางขับน้ำเมื่อเรือลอยในน้ำอย่างสมบูรณ์

$W-P$ = ระวางขับน้ำเมื่อเรือลอยที่แนวน้ำ W_1L_1 (วางบนหมอนรองเรือ)

$\overline{GM}_1$ = ความสูงศูนย์เสถียรที่แท้จริงชั่วขณะของเรือ (Virtual Metacentric Height) เมื่อเรือลอยที่แนวน้ำ W_1L_1

ถ้าแรง P เปรียบเสมือนน้ำหนักที่เอาออกจากเรือตรงจุด K และทำให้จุดศูนย์กลางถ่วงเรือเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่จุด G_V ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางที่แท้จริงชั่วขณะนั้นของเรือ และการที่เรือลอยโดยถูกพยุงด้วยน้ำหนักหนึ่งและวางบนหมอนรองส่วนหนึ่ง สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างแรงและโมเมนต์ต่าง ๆ ได้ ดังนี้

$$GG_V = \frac{KG \cdot P}{(W - P)}$$

ความสูงจุดศูนย์ถ่วงที่แท้จริงชั่วขณะหนึ่งของเรือ จากแนวกระดูกงู คือ

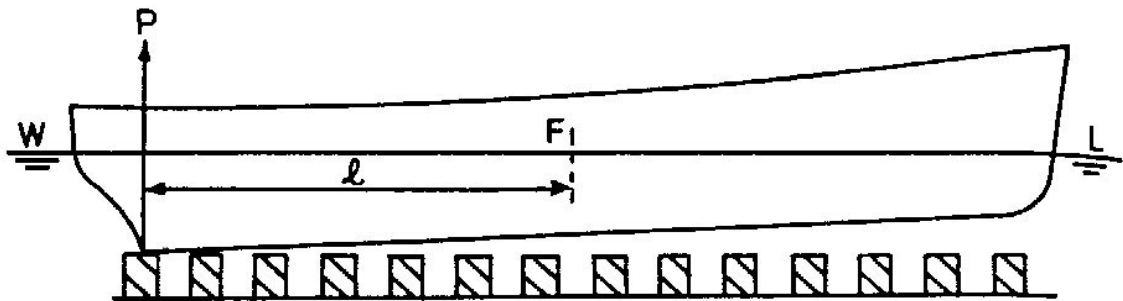
$$\overline{KG}_V = \overline{KG} + \frac{\overline{KG} \cdot P}{(W - P)}$$

หรือ

$$\overline{KG}_V = \frac{\overline{KG} \cdot W}{(W - P)}$$

ดังนั้นระยะความสูงศูนย์เสถียรเรือ ในขณะที่กำลังเข้าอยู่ (หรือเกยตื้น) คือ

$$\overline{G}_V M_1 = \overline{KM}_1 - \frac{\overline{KG} \cdot W}{(W - P)}$$



รูปที่ ๓

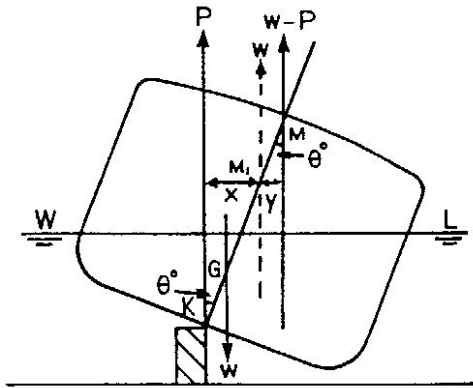
ถ้าระยะ $\overline{G}_V M_1$ มีค่าน้อยหรือติดลบ จะเสี่ยงต่อการเกิดอันตราย คือเรืออาจเอียงมากจนพลิกคว่ำในก่อนที่จะค้ำยันด้านข้างและสอดหอนรองส่วนโค้งท้องเรือได้ทัน รูปที่ ๓ แสดงสถานะเมื่อท้ายเรือเริ่มวางบนหอนรองกระดูกงู โดยมีแรง P เป็นแรงปฏิกิริยาตรงจุดสัมผัสและทำให้เกิดโมเมนต์เปลี่ยนทริม (Trimming Moment) ถ้าจุดสัมผัสดังกล่าวอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการลอยทางยาว (LCF) เป็นระยะ เท่ากับ ℓ ดังนั้นจึงเกิดโมเมนต์รอบจุด F เท่ากับ $P \times \ell$ โมเมนต์ดังกล่าวทำให้ระดับกินน้ำลึกหัวเรือเปลี่ยน จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เปลี่ยนทริมและค่า $MCT1 \text{ cm}$ คำนวณการเปลี่ยนแปลงทริมได้ ดังนี้

$$t(\text{AOX}) = \frac{\text{Trimming Moment}}{MCT1\text{cm}} = \frac{P \times \ell}{MCT1\text{cm}}$$

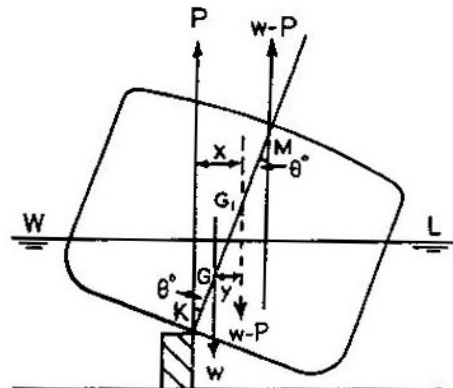
โดย t = การเปลี่ยนแปลงทริมที่เกิดขึ้น

ℓ = ระยะจากจุดสัมผัสหอนรองกระดูกงูถึงจุดศูนย์กลางการลอยทางยาวของแนวน้ำ

$MCT1 \text{ cm}$ = ค่าโมเมนต์ที่ต้องการเพื่อเปลี่ยนทริมเรือขณะนั้น 1 cm



รูปที่ ๔



รูปที่ ๕

รูปที่ ๔ และ ๕ แสดงภาพขวางของเรือขณะเข้าอยู่แฉ่งและเอียงเท่ากับ θ เมื่อเรือเอียงและมีโมเมนต์ของแรงจากภายนอกมากระทำ ย่อมทำให้ความสามารถในการทรงตัวลดลง ลักษณะนี้จุดศูนย์ถ่วงเรือจะเลื่อนสูงขึ้นชั่วขณะ ทำให้ความยาวแขนโมเมนต์ตั้งตรงเรือ (Righting Arm) ลดลง แนวทางวิเคราะห์กระทำได้ ๒ วิธี ดังนี้

วิธีการ (ก) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจุดศูนย์เสถียร

เมื่อพิจารณาแรงขนาน P และ $(W-P)$ ในรูปที่ ๓ ซึ่งแรงลัพธ์ของแรงทั้ง ๒ มีขนาด W และกระทำผ่านจุด M_1 ดังนั้น สมการสมดุลของโมเมนต์รอบจุด M_1 คือ

$$(W-P) \times Y = P \times X$$

หรือ

$$(W-P) \times MM_1 \sin \theta = P \times KM_1 \sin \theta$$

$$W \times GG_1 = P \times KG_1$$

$$(W \times MM_1) - (P \times MM_1) = P \times KM_1$$

$$W \times MM_1 = (P \times KM_1) + (P \times MM_1)$$

$$= P(KM_1 + MM_1)$$

$$= P \times KM$$

$$\therefore MM_1 = \frac{P \times KM}{W}$$

เห็นได้ว่าจากเดิมที่เรือมีความสูงศูนย์เสถียรเท่ากับ GM แต่เมื่อวางบนหมอนรองกระดูก ความสูงศูนย์เสถียรลดลงเหลือ GM_1 ระยะ MM_1 จึงเปรียบเสมือนความสูงศูนย์เสถียรที่สูญเสียไป ดังนั้น

$$\text{Virtual loss of GM} = MM_1 = \frac{P \times KM}{W}$$

เมื่อเรือมีระยะ GM น้อยลง แชนโมเมนต์ตั้งตรงเรือย่อมสั้นลง เรือจะเริ่มไม่เสถียรมากขึ้น การพิจารณาการทรงตัวกระทำโดยนำระยะ GM ที่เหลือคือ GM_1 ไปหาขนาดแชนโมเมนต์ตั้งตรงเรือ (ด้วยสูตร Wall-sided Formula) แล้วนำไปพล็อตเส้นโค้งการทรงตัวขณะนั้น ต่อจากนั้นให้ตรวจสอบคุณสมบัติการ ทรงตัวว่าเหลือระยะการทรงตัวเป็นบวก (Range of Stability) อีกเท่าใด เพื่อระวังมิให้เรือเอียงเกินกว่าย่านการทรงตัวดังกล่าว (รายละเอียดเรื่องนี้ ดูได้ใน วารสาร โรงเรียนนายเรือ ปีที่ ๒ ฉบับที่ ๒ และ ฉบับที่ ๓)

วิธีการ (ข) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง

วิธีการนี้แตกต่างจากวิธีการ (ก) คือ แทนที่จะคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับจุด M แต่จะคำนวณการเคลื่อนขึ้นของจุด G แทน พิจารณาได้ดังนี้

จากรูปที่ ๕ สมมติว่าจุดศูนย์ถ่วงเรือเคลื่อนขึ้นไปอยู่ที่จุด G_1 ซึ่งขณะนั้นเรือถูกพุงด้วยหมอนรองกระดูกงูไว้ส่วนหนึ่ง ระดับน้ำที่เรือลอยจึงลดลง ดังนั้นน้ำหนักเรือที่กระทำผ่านจุด G_1 จึงมีปริมาณเท่ากับ $(W - P)$ และสมการสมดุลของโมเมนต์รอบจุด G_1 คือ

$$W \times Y = P \times X$$

หรือ

$$W \times GG_1 \sin \theta = P \times KG_1 \sin \theta$$

$$\begin{aligned} W \times GG_1 &= P \times KG_1 \\ &= P(KG + GG_1) \\ &= P \times KG + P \times GG_1 \end{aligned}$$

$$W \times GG_1 - P \times GG_1 = P \times KG$$

$$GG_1(W - P) = P \times KG$$

$$GG_1 = \frac{P \times KG}{(W - P)}$$

ระยะ GG_1 จึงเปรียบเสมือนการสูญเสียความสูงศูนย์เสถียรที่เกิดขึ้น ดังนั้น

$$\text{Virtual loss of GM} = GG_1 = \frac{P \times KG}{(W - P)}$$

เมื่อนำระยะ GM ที่เหลือคือ G_1M ไปหาขนาดแชนโมเมนต์ตั้งตรงเรือที่เหลือดังในวิธีการ (ก) จะสามารถตรวจสอบสมรรถนะการทรงตัวกับเกณฑ์ต่าง ๆ ได้เช่นกัน

จากข้างต้นอาจกล่าวได้ว่า การพิจารณาความสามารถในการทรงตัวเรือขณะเข้าอู่แห้งหรือเกยตื้น สามารถกระทำได้ ๒ วิธี การจะพิจารณาการลดลงของจุด M ดังในวิธี (ก) หรือการเคลื่อนขึ้นของจุด G ในวิธี (ข) นั้นมิใช่ประเด็นสำคัญ เนื่องจากความสามารถในการทรงตัวเรือจะพิจารณาหลัก ๆ จาก ขนาดแชนโมเมนต์ตั้งตรงหรือโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Moment) มิใช่ความสูงจุดศูนย์เสถียรที่เหลือเพียง



อย่างเดียว เรือที่ยังมีระยะศูนย์เสถียรอยู่มากอาจไม่ปลอดภัยขณะเข้าอู่แห้งก็ได้หากเอียงจนเกินยานการทรงตัวที่เรือสามารถกลับมาตั้งตรงได้เอง

ตัวอย่างที่ ๑ เรือลำหนึ่งมีระวางขับน้ำ 6,000 tonnes กำลังถูกนำเข้าอู่แห้งและลอยในลักษณะเกิดทริมท้าย 0.3 m. ข้อมูล Hydrostatics ในปัจจุบันของเรือคือ มีระยะ KM = 7.5 m., KG = 6 m., MCT1cm = 90 tonnes-m จุดศูนย์กลางการลอยทางยาวของแนวน้ำปัจจุบัน (LCF) อยู่ห่างจากท้ายเรือ 45 m. จะคำนวณหาระยะความสูงศูนย์เสถียรในขณะเริ่มวิกฤต ซึ่งหมายถึงขณะเมื่อท้ายเรือเริ่มวางบนหมอนรองกระดูกงู ได้ดังนี้

วิธีทำ สมมติว่าเมื่อเกิดสถานการณ์วิกฤตแล้วเรือลอยแบบขนาน คือทันทีที่ท้ายเรือวางบนหมอนรองเกิดการเปลี่ยนทริมหัว 0.3 m. ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของโมเมนต์เปลี่ยนทริมและค่า MCT1cm จะคำนวณขนาดแรงที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนทริมดังกล่าว ได้ดังนี้

$$P = \frac{MCT_{1cm} \times t}{\ell}$$

P = แรงปฏิกิริยาจากหมอนรองเรือ, ℓ = ระยะ LCF จากท้ายเรือ, t = การเปลี่ยนทริม

$$\text{เพราะฉะนั้น } P = \frac{90 \times 30}{45} = 60 \text{ tonnes}$$

พิจารณาด้วยวิธี (ก)

$$\begin{aligned} \text{จาก Virtual loss of GM (MM}_1\text{)} &= \frac{P \times KM}{W} \\ &= \frac{60 \times 7.5}{6,000} \\ &= 0.075 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\text{GM ใหม่คือ } KM - KG - MM_1 = 7.5 - 6.0 - 0.075 = 1.425 \text{ m.}$$

พิจารณาด้วยวิธีการ (ข)

$$\begin{aligned} \text{จาก Virtual loss of GM (GG}_1\text{)} &= \frac{P \times KG}{(W - P)} \\ &= \frac{60 \times 6.0}{(6,000 - 60)} \\ &= 0.061 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\text{GM ใหม่คือ } KM - KG - GG_1 = 7.5 - 6.0 - 0.061 = 1.439 \text{ m.}$$

ถึงแม้ระยะ GM ที่คำนวณได้จากทั้ง ๒ วิธีมีค่าไม่เท่ากันแต่ล้วนเป็นคำตอบที่เชื่อถือได้ เพราะเมื่อนำคำตอบจากทั้ง ๒ วิธีไปคำนวณขนาดโมเมนต์ตั้งตรงเรือจะได้ค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะวิธีการทั้งสองล้วนวิเคราะห์จากสมดุลของแรงและโมเมนต์ พิสูจน์ได้ดังนี้

สมมติว่า ขณะที่เรือในตัวอย่างที่ ๑ เริ่มวางบนหมอน เรือเอียงไปเป็นมุมเล็ก ๆ เท่ากับ θ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จากวิธี (ก) โมเมนต์ตั้งตรง} &= W \times GM_1 \sin \theta \\ &= 6,000 \times 1.425 \sin \theta \\ &= 8,550 \sin \theta \text{ tonnes-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากวิธี (ข) โมเมนต์ตั้งตรง} &= (W - P) \times G_1M \sin \theta \\ &= (6,000 - 60) \times 1.439 \sin \theta \\ &= 8,549 \sin \theta \text{ tonnes - m.} \end{aligned}$$

เห็นได้ว่าโมเมนต์ตั้งตรงเรือที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ความสามารถในการทรงตัวเรือจะขึ้นอยู่กับขนาดของโมเมนต์ตั้งตรงเรือดังกล่าว ซึ่งจะต้องพล็อตและตรวจดูจากเส้นโค้งการทรงตัวเรือว่าขณะนี้

เรือเอียงได้มากเท่าไรก่อนที่จะโมเมนต์จะเปลี่ยนเป็นโมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment)

ตัวอย่างที่ ๒ เรือขนาดระวางขับน้ำ 3,000 tonnes ยาว = 100 m. มีระยะ KM = 6 m., KG = 5.5 m. จุดศูนย์กลางการลอยทางยาวอยู่ห่างจากกลางลำไปทางท้ายเรือ 2 m., MCT1cm = 40 tonnes-m. ถ้าต้องการควบคุมมิให้ระยะ GM ช่วงเวลาวิกฤตขณะเข้าอู่แห้งมีระยะไม่ต่ำกว่า 0.3 m. จะคำนวณหาปริมาณมากที่สุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ก่อนเรือเข้าอู่แห้ง ได้ดังนี้

วิธีทำ การพิจารณาตัวอย่างนี้ก่อนอื่นต้องสมมติว่า การนำเรือเข้าอู่แห้งนิยมแต่งเรือให้ลอยในลักษณะ ทริมท้ายเสมอ และถ้าเรือลำนี้มีระยะ GM ในช่วงวิกฤตน้อยกว่า 0.3 m. อาจมีเสถียรภาพ การทรงตัวไม่ดี

สมการสมดุลของ Virtual loss of GM ที่ยอมให้เกิดได้คือ $KM - KG - \text{Change of GM} = 0.3$

ดังนั้น ระยะ GM ที่เปลี่ยนไปคือ $6.0 - 5.5 - 0.3 = 0.2$ m.

วิธีการ (ก) จาก Virtual loss of GM (MM_1) $= \frac{P \times KM}{W}$

$$\therefore P = \frac{MM_1 \times W}{KM} = \frac{0.2 \times 3000}{6.0} = 100 \text{ tonnes}$$

แรงปฏิกิริยาสูงสุดที่ทำให้เกิดโมเมนต์เปลี่ยนทริมหัวเรือ คือ 100 tonnes ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์เปลี่ยนทริมกับค่า MCT1cm คือ

$$\begin{aligned} t &= \frac{\text{Trimming Moment}}{MCT1cm} = \frac{P \times \ell}{MCT1cm} \\ &= \frac{100 \times 48}{40} = 120 \text{ cm} \text{ ทางท้ายเรือ} \end{aligned}$$

วิธีการ (ข) จาก Virtual loss of GM (GG_1) $= \frac{P \times KG}{(W - P)}$

$$\begin{aligned} \therefore P &= \frac{GG_1(W - P)}{KG} = \frac{0.2(3000 - P)}{5.5} \\ P &= \frac{600}{5.7} = 105.26 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

ดังนั้น $t = \frac{P \times \ell}{MCT1cm} = \frac{105.26 \times 48}{40} = 126.32 \text{ cm.}$ ทางท้ายเรือ

คำตอบจากทั้ง ๒ วิธีล้วนถูกต้องและเป็นไปได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะจุด M และจุด LCF ของเรือมิได้อยู่คงที่ตลอดเวลา โดยเฉพาะเมื่อระวางขับเรื่อน้ำเปลี่ยน ดังนั้นการใช้ระยะ KM และตำแหน่ง LCF ก่อนเรือ วางบนหมอนรองมาคำนวณ จึงไม่ถูกต้องทีเดียวนัก แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติสามารถยอมรับ วิธีการคำนวณตามแบบ (ก) และ (ข) ได้ เพราะเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเร็วมากและ สถานะการณ์อาจ แปรเปลี่ยนไปได้เรื่อย ๆ คำตอบที่แน่นอนจึงไม่ใช่สาระสำคัญที่สุด การเตรียมการ การระวัง และความ



เข้าใจธรรมชาติการทรงตัวในแต่ละขณะนับว่ามีความสำคัญมากกว่า คำแนะนำสำหรับเรื่องนี้คือหากมีข้อมูลพอควรคำนวณทั้ง ๒ วิธีไว้ล่วงหน้า และวิเคราะห์เลือกคำตอบที่นำไปความปลอดภัยแก่เรือมากกว่า เช่นควรปรับทิมท้ายก่อนเรือเข้าอยู่เป็นเท่าใด หรือเมื่อเรื่อนั่งบนหมอนรองเรือแล้วอย่าให้เอียงเกินเท่าใด เป็นต้น เพื่อจะได้ **เตรียมการ** นำเรือเข้าอยู่ได้อย่างเหมาะสม ในขณะเดียวกันก็ไม่ควรละเลยผลการคำนวณจากวิธีอื่น

ตัวอย่างที่ ๓ เรือขนาด 5,000 tonnes ก่อนเข้าอยู่แห่งมีระดับกินน้ำลึกท้ายเรือมากกว่าหัวเรืออยู่ 0.45 m. มีระยะ KM = 7.5 m., KG = 6 m., MCT1cm = 120 tonnes-m. มีจุด LCF อยู่ห่างท้ายเรือ 60 m. จะคำนวณหาความสูงศูนย์เสถียรขณะวิกฤตก่อนที่เรือจะวางบนหมอนรองทั้งหมดเสร็จสิ้น (สมมติให้จุด M เลื่อนสูงขึ้น 0.075 m.) ได้ดังนี้

วิธีทำ คำนวณโมเมนต์เปลี่ยนทิมเรือได้ดังนี้

$$P = \frac{MCT_{1cm} \times t}{\ell} = \frac{120 \times 45}{60} = 90 \text{ tonnes}$$

วิธีการ (ก) Virtual loss of GM (MM_1) = $\frac{P \times KM}{W} = \frac{60 \times 7.5}{5,000} = 0.136 \text{ m.}$

วิธีการ (ข) Virtual loss of GM (GG_1) = $\frac{P \times KG}{(W - P)} = \frac{60 \times 6}{(5,000 - 90)} = 0.110 \text{ m.}$

จากวิธีการ (ก) คำนวณระยะ GM ขณะวิกฤตได้ ดังนี้ $GM_1 = KM + (\text{Rise of M}) - KG - MM_1$
 $= 7.5 + 0.075 - 6 - 0.136$
 $= \underline{1.439 \text{ m.}}$

จากวิธีการ (ข) คำนวณระยะ GM ขณะวิกฤตได้ ดังนี้ $GG_1 = KM + (\text{Rise of M}) - KG - GG_1$
 $= 7.5 + 0.075 - 6 - 0.110$
 $= \underline{1.465 \text{ m.}}$

การสูญเสียระยะ GM เมื่อเรือวางบนหมอนรองเรือ

เมื่อเรือวางบนหมอนรองกระดูกครบทุกตำแหน่ง เรือจะเปลี่ยนทิมต่อไปอีกไม่ได้ ดังนั้นระดับน้ำข้างเรือจะเริ่มลดลงทันทีและลดต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอตามอัตราการสูบน้ำออกจากอยู่ ช่วงเวลานี้สามารถคำนวณแรงลอยตัวที่ลดลงแต่ละระดับกินน้ำลึก 1 cm. ได้จากค่า T.P.C. ของเรือ แรงลอยตัว ที่ลดลงดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับแรงปฏิกิริยาของหมอนรองกระดูกที่จะต้องรับภาระเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หมอนรองกระดูกจะรับภาระน้ำหนักเต็มเท่าที่เท่ากับน้ำหนักเรือเมื่อเรือไม่ถูกพยุงด้วยน้ำอีกต่อไป ดังนั้นขนาดของแรงปฏิกิริยา (P) ในแต่ละขณะสามารถคำนวณได้จากผลต่างของน้ำหนักเรือทั้งหมด (หาได้ก่อนเข้าอยู่แห่ง) กับระวางขับน้ำขณะนั้น ๆ (หาจากระดับน้ำข้างเรือ)



การคำนวณภาวะวิกฤตของการสูญเสียระยะ GM เมื่อเรือวางบนหมอนเรียบร้อยแล้วแต่น้ำในอุ้งยังสูบน้ำออกไม่หมด จะพิจารณาจากจุดที่เรือเริ่มวางบนหมอนครบถ้วน และดูว่าเหลือระยะกินน้ำลึกอีกเท่าใด เพราะระยะกินน้ำลึกที่เหลือเกี่ยวข้องโดยตรงกับสมรรถนะการลอยของเรือ ซึ่งอธิบายด้วยความสูงของจุดศูนย์เสถียร (M) และจุดศูนย์กลางการลอย (B)

ตัวอย่างที่ ๔ เรือลำหนึ่งมีระวางขับน้ำก่อนเข้าอู่แห้งเท่ากับ 5,000 tonnes และลอยในลักษณะไม่เกิดทริม มีระยะ KM = 6 m., KG = 5.5 m. มีค่า T.P.C. = 50 tonnes จะคำนวณหาการสูญเสียระยะสูงศูนย์เสถียร (Virtual loss of GM) ในขณะที่เรือวางบนหมอนครบทั้งหมด และยังมีเหลือระดับกินน้ำลึกข้างเรืออีก 0.24 m. (สมมติให้ใช้ข้อมูล Hydrostatics เหมือนกันทั้ง ๒ สถานะ) ได้ดังนี้

วิธีทำ จากค่า T.P.C. ที่กำหนดให้ ดังนั้นแรงที่จะยังคงถ่ายทอดลงสู่หมอนรองกระดูกงูทั้งหมดก็คือ น้ำหนักที่ต้องการให้เรือเปลี่ยนระยะกินน้ำลึกอีก 24 cm. คือ

$$\begin{aligned} P &= \text{T.P.C.} \times 24 \text{ cm.} \\ &= 50 \times 24 \\ &= 1,200 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

พิจารณาด้วยวิธี (ก) จาก Virtual loss of GM (MM_1) = $\frac{P \times KM}{W}$ $\therefore MM_1 = \frac{1,200 \times 6.0}{5,000}$ $= 1.44 \text{ m.}$	พิจารณาด้วยวิธีการ (ข) จาก Virtual loss of GM (GG_1) = $\frac{P \times KG}{(W - P)}$ $\therefore GG_1 = \frac{1,200 \times 5.5}{(5,000 - 1,200)}$ $= 1.74 \text{ m.}$
--	---

การเกยตื้นกับการเข้าอู่แห้งเปรียบเสมือนเหตุการณ์เดียวกัน ต่างกันตรงที่การเกยตื้นมักเกิดขึ้นโดยไม่มีเตรียมการล่วงหน้า เรือจึงมีน้ำหนักมาก ตัวเรืออาจได้รับความเสียหายและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำข้างเรือเป็นไปตามธรรมชาติ แต่การคำนวณยังคงใช้หลักการเดียวกันกับการนำเรือเข้าอู่แห้ง ตัวอย่างของการคำนวณเมื่อเรือเกยตื้นเป็นดังนี้

ตัวอย่างที่ ๕ เรือขนาดระวางขับน้ำ 8,000 tonnes เกยตื้นบนสันทรายในลักษณะไม่เกิดทริม และหยั่งความลึกจากแนวน้ำถึงพื้นทรายได้เท่ากับ 5.2 m. ถ้าขณะนั้นน้ำลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งเมื่อคำนวณและตรวจสอบจากมาตราน้ำ พบว่าน้ำจะลดลงจนกระทั่งระดับกินน้ำลึกเรือเหลือ 3.2 m. คำนวณหาระยะความสูงศูนย์เสถียรของเรือเมื่อน้ำลดลงเต็มที่ ดังกล่าว (ข้อมูล Hydrostatics ของเรือเมื่อเริ่มเกยตื้นคือ KM = 5.0 m. และมีค่า T.P.C. = 15 tonnes และ KG = 4.0 m.) ได้ดังนี้



วิธีทำ จาก $P = T.P.C. \times$ การลดของระดับน้ำ

$$= 15 \times (5.2 - 3.2) \times 100 = 3,000 \text{ tonnes}$$

พิจารณาด้วยวิธี (ก) จาก Virtual loss of GM (MM_1) = $\frac{P \times KM}{W}$ $\therefore MM_1 = \frac{3,000 \times 5.0}{8,000} = 1.88 \text{ m.}$ $\therefore GM_1 = KM - KG - MM_1$ $= 5.0 - 4.0 - 1.88$ $= \underline{-0.88 \text{ m.}}$	พิจารณาด้วยวิธีการ (ข) จาก Virtual loss of GM (GG_1) = $\frac{P \times KG}{(W - P)}$ $\therefore GG_1 = \frac{3,000 \times 4.0}{(8,000 - 3,000)} = 2.40 \text{ m.}$ $\therefore G_1M = KM - KG - GG_1$ $= 5.0 - 4.0 - 2.40$ $= \underline{-1.40 \text{ m.}}$
---	--

ทั้งสองวิธีให้ผลการคำนวณระยะ GM เป็นลบ แสดงว่าไม่ว่าจะเชื่อถือผลการคำนวณจากวิธีใด ถ้าระดับน้ำข้างเรือลดลงเหลือ 3.2 m. เรือจะมีการทรงตัวไม่เสถียร เมื่อพิจารณาจากกรณีแย่ที่สุด คือ เรือมีระยะ GM เท่ากับ -1.40 m. ดังนั้น คำนวณย้อนกลับเพื่อหาขนาดแรง P ที่พอดีทำให้เรือมีระยะ GM เท่ากับ 0 ได้ดังนี้ $G_1M = KM - KG - 0 = 5.0 - 4.0 = 1.0 \text{ m.}$

$$\therefore 1.0 = \frac{P \times KG}{(W - P)}$$

$$P = \frac{(W - P)}{KG} = \frac{8000 - P}{4} = 2666.67 \text{ tonnes}$$

จากค่า T.P.C. เรือจะลดระดับน้ำลงได้อีก ดังนี้ $\frac{P}{T.P.C. \times 100} = \frac{2666.67}{1.5 \times 100} = 1.78 \text{ m.}$

แสดงว่าระดับน้ำข้างเรือที่เริ่มไม่เสถียรคือ $5.2 - 1.78 = 3.42 \text{ m.}$

ดังที่กล่าวไว้เบื้องต้นว่า ไม่ควรละเลยวิธีพิจารณาอื่น ดังนั้น คำนวณหาระยะกินน้ำลึกที่เรือเริ่มไม่เสถียร

ด้วยวิธีการ (ก) ได้ดังนี้ $1.0 = \frac{P \times KM}{W}$

$$P = \frac{W}{KM} = \frac{8000}{5} = 1600 \text{ tonnes}$$

ระดับน้ำข้างเรือจะลดลงได้อีกดังนี้ $\frac{P}{T.P.C.} = \frac{1600}{15 \times 100} = 1.067 \text{ m.}$

แสดงว่าเมื่อพิจารณาตามวิธีการ (ก) ระดับน้ำที่เรือเริ่มไม่เสถียร คือ $5.2 - 1.067 = 4.13 \text{ m.}$ ดังนั้นหากต้องการนำเรือออกจากตื้นควรกระทำให้เสร็จสิ้นก่อนที่ระดับน้ำข้างเรือจะลดเหลือ 4.13 m. ซึ่งน่าจะปลอดภัยกว่าการเลือกคำตอบจากวิธีการ (ข) คือ 3.42 m. แต่อย่างไรก็ตามเหตุการณ์เรือคว่ำอาจเกิดขึ้นก่อนหน้านี้นี้ได้ คือในช่วงที่เรือมีระยะ GM เป็นบวกแต่มีแขนโมเมนต์ตั้งตรงเรือและยานการทรงตัวเหลือน้อย หากถูกกระทำด้วยแรงจากภายนอก เช่น คลื่น-ลมที่แรงมาก เรืออาจพลิกคว่ำได้ทุกขณะ

สรุป

การเปลี่ยนแปลงระยะ GM ของเรือขณะเข้าอู่แห้งเกิดขึ้นเร็วมากและสถานการณ์อาจแปรเปลี่ยนไปได้เรื่อย ๆ การเตรียมการ การระวัง และความเข้าใจธรรมชาติการทรงตัวในแต่ละขณะนับว่ามีความสำคัญมาก หากมีข้อมูลพอเพียงควรคำนวณทั้ง ๒ วิธีไว้ล่วงหน้า และวิเคราะห์เลือกคำตอบที่นำไปสู่ความปลอดภัยแก่เรือมากกว่า เพื่อเตรียมการนำเรือเข้าอู่แห้งได้อย่างเหมาะสม ในขณะเดียวกันก็ไม่ควรละเลยผลการพิจารณาอื่นๆ จากความรู้เกี่ยวกับการนำเรือเข้าอู่แห้งที่ได้กล่าวมาทั้งหมด เห็นได้ว่าการเกยตื้นกับการเข้าอู่แห้งเปรียบเสมือนเหตุการณ์เดียวกัน ต่างกันตรงที่การเกยตื้นมักเกิดขึ้นโดยไม่มีเตรียมล่วงหน้า การกล่าวเช่นนี้คงไม่ถูกต้องที่สุดนัก เพราะการเกยตื้นเป็นยุทธวิธีสำคัญในการยกพลขึ้นบก และถ้าหากมีความรอบรู้เกี่ยวกับสมรรถนะของเรือและการเกยตื้นเป็นอย่างดีสามารถใช้ยุทธวิธีการรบชั้นสูงของเรือผิวน้ำใด ๆ และเรือดำน้ำให้ได้เปรียบในเชิงยุทธได้ นอกจากนั้นในสถานการณ์คับขัน เช่น บังคับเรือไม่ได้หรือต้องการหลบพายุ การนำเรือเกยตื้นประกอบกับการทอดสมออาจช่วยชีวิตและรักษาเรือไว้ได้ทางหนึ่ง ผู้เขียนจะพยายามนำเสนอสาระเกี่ยวกับวิศวกรรมทางเรือ ในลักษณะให้ความรู้และเป็นประโยชน์กับการเรียนการสอนในโรงเรียนนายเรือเช่นนี้ มาเสนอในโอกาสต่อ ๆ ไป

เอกสารอ้างอิง

- D.R.Derrett, *Ship Stability for Masters and Mates*, 4th Edition
H.J.Pursey, *Merchant Ship Stability (Metric Edition)*, Nautical Press, Southampton, 1982.
Lewis, E.V. (Ed.) (1988), *Principle of Naval Architecture*, Volume 1, SNAME, New York.
- เอกสารประกอบการสอน วิชาการคำนวณการทรงตัวเรือ โดย น.อ.ผศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ้ง, กองวิชา วิศวกรรมเครื่องกลเรือ, โรงเรียนนายเรือ