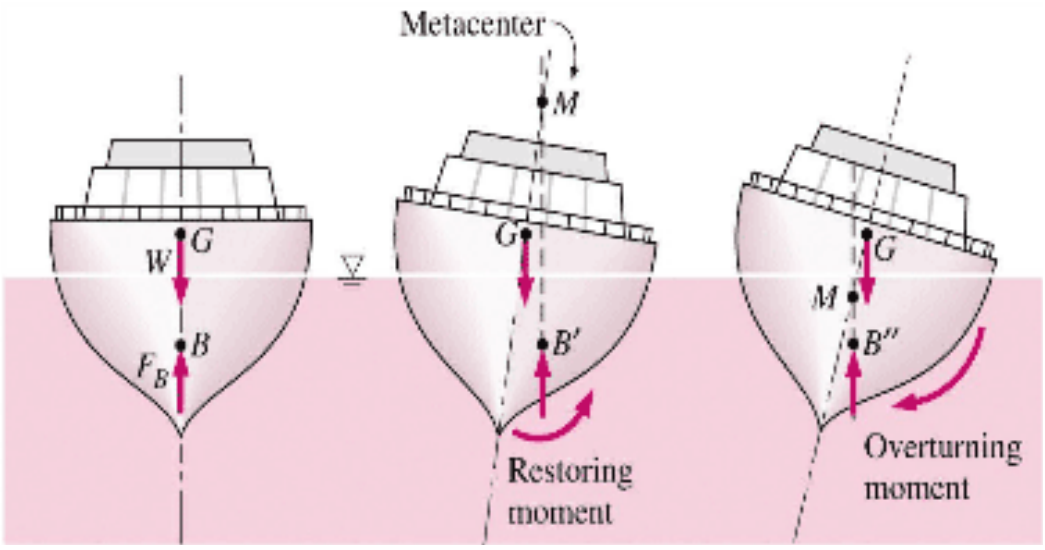
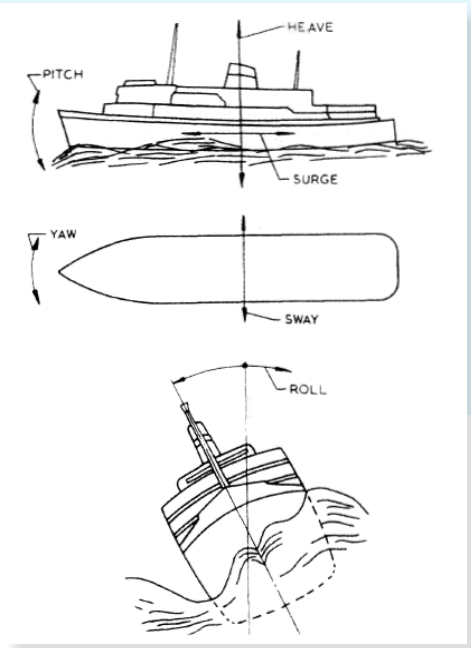
เทคโนโลยีระบบลดอาการโคลงเรือ

โดย : นาวาเอก ชลัมพ์ โสมาภา
หัวหน้าแผนกออกแบบเครื่องกล กองออกแบบกลจักร
กรมแผนการช่าง กรมอู่ทหารเรือ



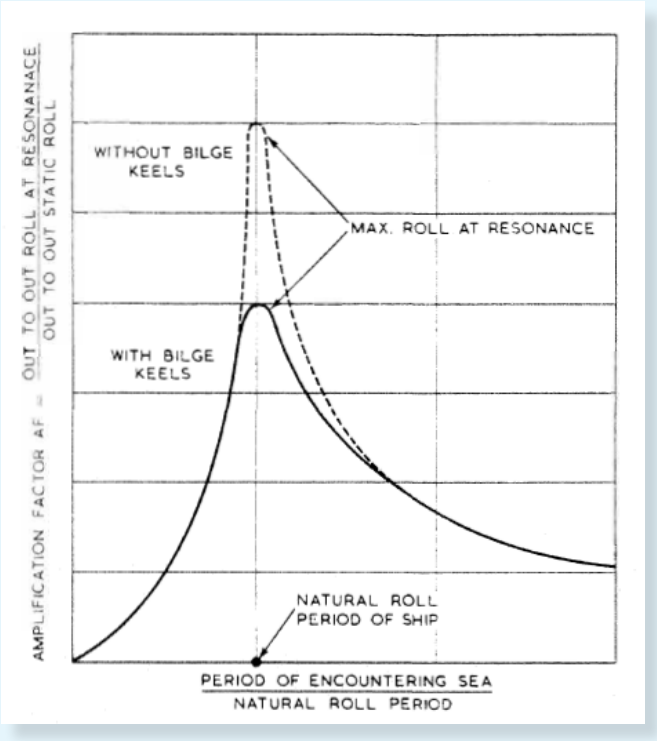
บทนำ

เรือที่แล่นในทะเลนั้นปกติจะมีอาการเคลื่อนตัว ๖ ลักษณะ ด้วยกัน (เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า 6 Degrees of Freedom) ได้แก่ Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw (รูปภาพที่ ๑) ซึ่งจากอาการของเรือทั้งหมดเหล่านี้ เฉพาะลักษณะอาการโคลงแบบ Rolling เท่านั้น ที่สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการติดตั้ง Bilge Keels หรือ ถังลดอาการโคลง (Anti-Rolling Tanks) หรือ ครีบลดอาการโคลง (Fin Stabilizers) ซึ่งหากมีการผสมผสานการทำงานกันระหว่างครีบลดอาการโคลงกับถังลดอาการโคลง ก็อาจเพิ่มความเสถียรของเรือได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงความเร็วสูงสุด



รูปภาพที่ ๑ : ลักษณะอาการของเรือจากคลื่นลมในทะเล (Ship Motions)

โดยทั่วไปนั้นเราอาจบอกได้ว่าเรือมีสภาพเหมือนกับระบบ *"Damped Mass Elastic System"* ซึ่งจะมีคาบการโคลงธรรมชาติในตัวมันเอง และการโคลงจะมีขนาดใหญ่และรุนแรงขึ้น ด้วยจากสาเหตุของการเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ก็ได้จากแรงคลื่นในทะเลแม้จะมีขนาดเล็ก การหลีกเลี่ยงการโคลงเนื่องจากเรโซแนนซ์ (Resonant Rolls) นั้น สามารถทำได้ด้วยการสร้างแรงตรงข้ามให้เกิดขึ้น มีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงข้าม เพื่อลดแรงของคลื่น จากรูปภาพที่ ๒ แสดงถึงแอมพลิจูดของการโคลงจากเรโซแนนซ์ อัตราส่วนของแอมพลิจูดเหล่านี้คือ แฟกเตอร์ของค่าแอมพลิจูดทางพลศาสตร์ (Dynamic Amplification Factor) ที่สามารถถูกจำกัดให้ลดลงได้ด้วย การทำให้เกิด Damping ของเรือ เช่น Viscous Damping และจากการติดตั้ง Bilge Keels



รูปภาพที่ ๒ : Roll Amplification Factor

ทฤษฎีว่าด้วยการโคลงของเรือ

จากรูปภาพที่ ๓ ค่า G คือจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity) B คือศูนย์กลางกำลังลอย (Center of Buoyancy) W คือ น้ำหนักหรือระวางขับน้ำของเรือ θ คือมุมโคลง (Roll Angle) M คือ จุดที่เกิดจากจุดตัดของเส้นตรงลากในแนวดิ่งผ่านจุด B กับ เส้นกึ่งกลางเรือ (Centerline of the Ship) หรือที่เรียกว่า Meta-Center และระยะ GM เรียกว่า Meta-Centric Height ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญมากและมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะการโคลงของเรือ (Rolling Characteristics) และค่าความเสถียรของเรือ (Stability of Ship)

เมื่อเรือที่มีความเสถียร (Stable Condition) ถูกทำให้เอียง (Heeled Over) ไปนั้น จะมีแรงคู่ควบขนาดเท่ากับ ***W.GM.Sin*** θ ที่จะผลักให้เรือกลับมาอยู่ในแนวตั้งตรงเหมือนเดิมได้ แต่ขณะที่เรืออยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร (Unstable Condition) แรงคู่ควบ หรือเรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า Couple จะยิ่งผลักเรือให้อยู่ในสภาพเอียงมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งในกรณีนี้ ตำแหน่ง G จะอยู่เหนือตำแหน่ง M ดังนั้นค่า GM จึงถือว่าติดลบซึ่งหมายความว่าการทรงตัวของเรือไม่อยู่ในสภาพที่สามารถยอมรับได้

คาบการโคลงโดยธรรมชาติ (Natural Rolling Period) คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการโคลงของเรือไปและกลับสู่ตำแหน่งเดิม มีสมการดังนี้

$$T = \frac{C \times beam}{\sqrt{GM}}$$

โดยที่ C คือค่าคงที่ หาได้จากเรือที่มีรูปทรงตัวเรือคล้ายกัน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ๐.๗๒ ถึง ๐.๘๐ สำหรับเรือสินค้า ตัวอย่างเช่น ถ้าเรือลำหนึ่งมีค่าความกว้างตัวเรือสูงสุด (Maximum Beam) เท่ากับ ๑๖ เมตร มีค่า GM = 0.49 เมตร และค่า C = 0.80 ดังนั้น

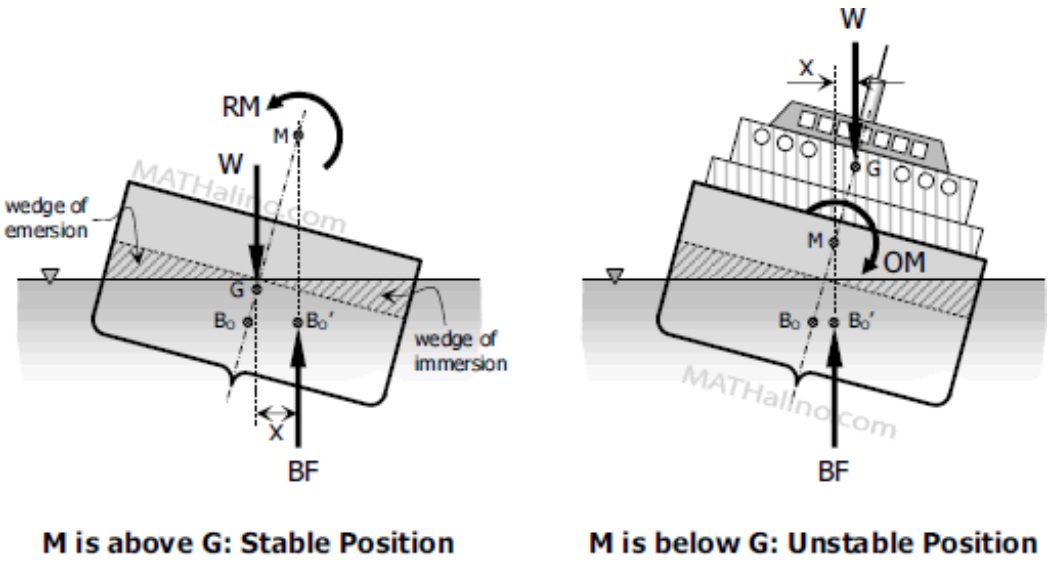
$$T = \frac{0.80 \times 16}{\sqrt{0.49}} = 18.29\ s$$

ถ้าค่า GM เปลี่ยนไปเป็น ๐.๖๔ เมตร

$$T = \frac{0.80 \times 16}{\sqrt{0.64}} = 16.0\ s$$

ถ้าเรือที่มีลักษณะ *"Stiff"* จะมีค่า GM มาก แต่จะมีคาบการโคลงธรรมชาติน้อย ส่วนเรือที่มีลักษณะ *"Tender"* จะมีค่า GM น้อยแต่มีคาบการโคลงมาก ในเรือสินค้าขนาดใหญ่ค่าการกินน้ำลึกและระวางน้ำหนักอาจเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเดินทาง ซึ่งจะส่งผลให้คาบการโคลงธรรมชาติเปลี่ยนแปลง และแปรผกผันกับ $\sqrt{GM}$

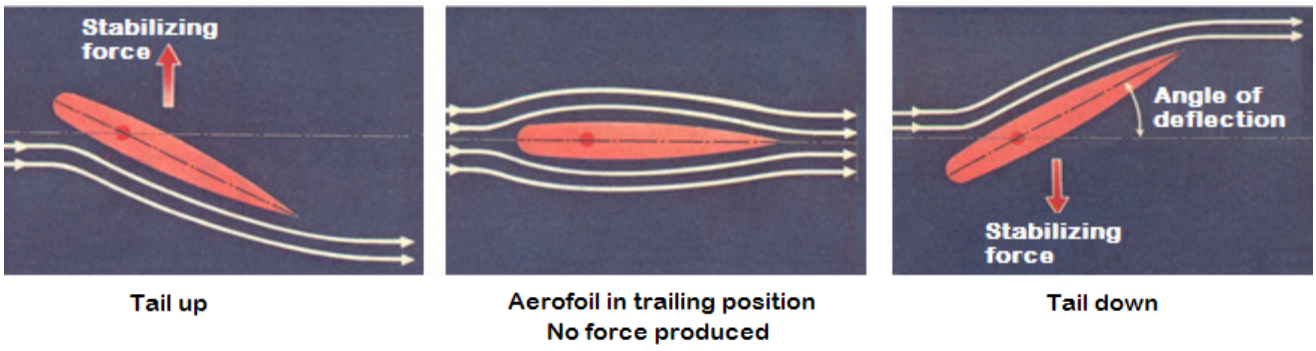
เรือที่อยู่ในสภาวะ Beam Sea จะโคลงทำมุม θ โมเมนต์การโคลงที่เกิดขึ้นจากการกระทำของคลื่นจะมีค่าเท่ากับโมเมนต์ที่เรือต้องการเพื่อที่จะเอียงเรือทำมุม θ ในทะเลที่สงบ แต่ถ้า θ มีขนาดเล็ก ค่าโมเมนต์การเอียง (Heeling Moment) จะมีค่า ***W.GM.*** θ (θ มีหน่วยเรเดียน) ซึ่งเป็นพื้นฐานการคำนวณแรงที่จะสร้างความเสถียรให้กับเรือที่ต้องการ



รูปภาพที่ ๓ : เปรียบเทียบเรือที่มีความเสถียรกับเรือที่ไม่มีความเสถียร

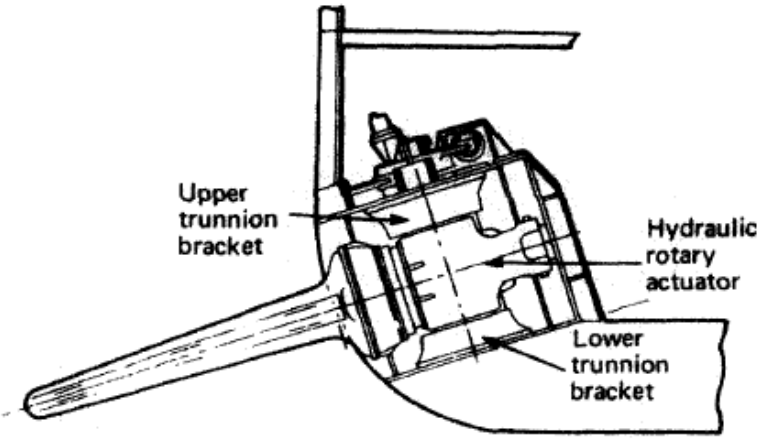
การทำงานของครีบลดอาการโคลง (Fin Stabilizers)

กำลังในการลดอาการโคลงด้วยครีบนั้น เกิดขึ้นจากการที่ครีบลดอาการโคลงทั้งสองข้างเคลื่อนที่ไปในทะเลโดยที่แรงยก หรือ *"Lift"* นั้นเกิดขึ้นจากการไหลของกระแสน้ำ (Stream Flow) ผ่านด้านบนและด้านล่างของ *"Aerofoil"* หรือ *"Hydrofoil Shape"*(รูปภาพที่๔)ขณะที่ส่วนหัวของครีบเอียงยกขึ้นกระแสน้ำที่ไหลผ่านด้านบนของ *"Aerofoil"*จะทำให้เกิดแรงยกขึ้นที่ด้านนั้นของตัวเรือเนื่องจากความดันด้านบนของ *"Aerofoil"* ลดลงขณะที่แรงยกเกิดขึ้นที่ข้างใต้ของ *"Aerofoil"*การเอียงลงของครีบจะส่งผลตรงข้ามกล่าวคือความดันลดลงด้านใต้ครีบและเกิดแรงกดเพิ่มขึ้นที่ส่วนบนของครีบทำให้เกิดแรงผลักลง ซึ่งหากไม่มีการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของเรือด้วยอัตราเร็วที่เหมาะสมแล้ว ครีบลดอาการโคลงจะไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เพราะครีบมีขนาดไม่ใหญ่นัก ดังนั้นเครื่องลดอาการโคลงแบบ Active Fin Stabilizers ควรติดตั้งในเรือชนิดที่มีความเร็วพอสมควร

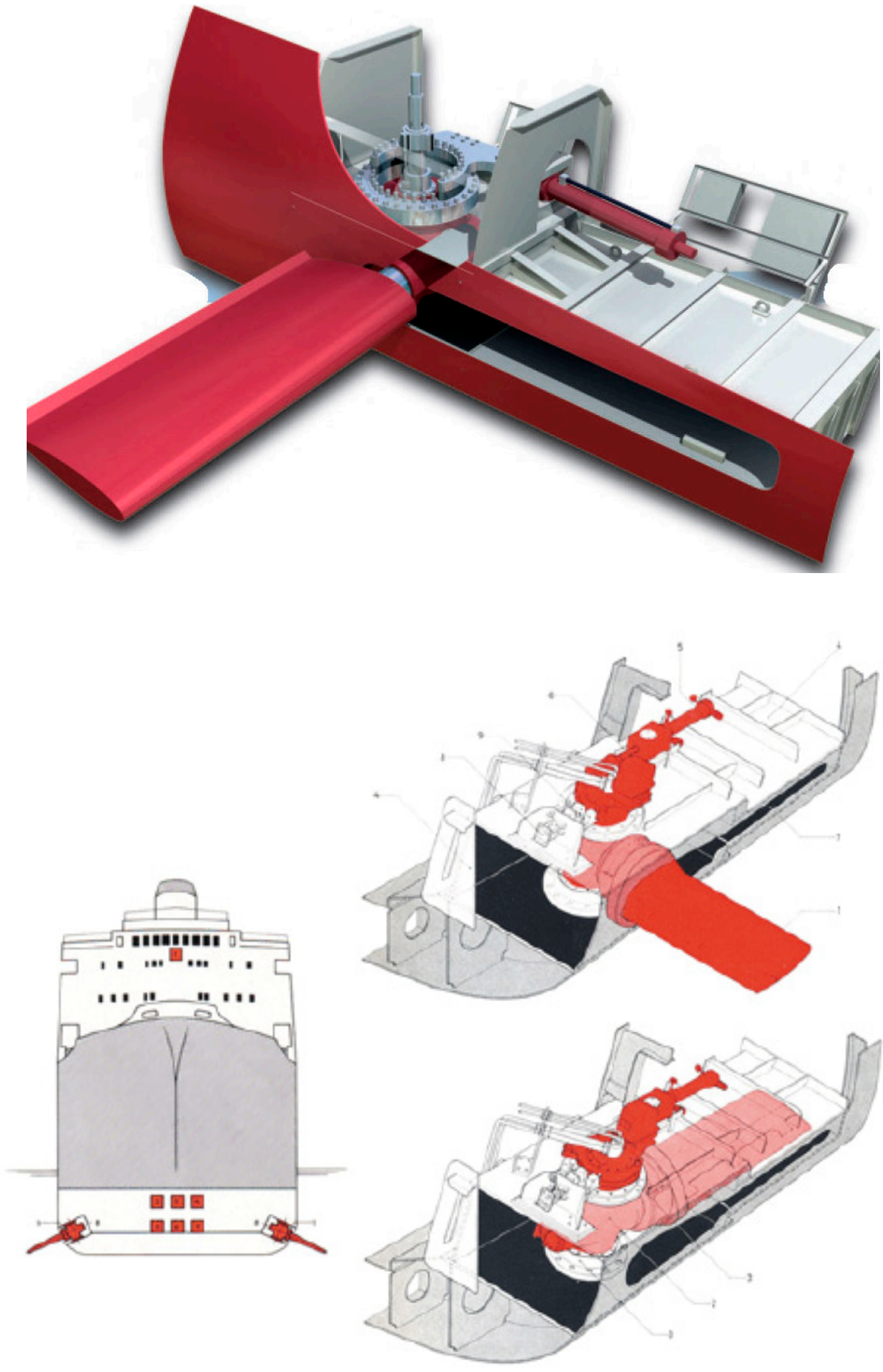


รูปภาพที่ ๔ : การทำงานของครีบลดอาการโคลงตามหลัก Fluid Mechanics

ส่วนที่เป็น Hydrofoil อาจสามารถขยับได้ทั้งหมด โดยอาจมี Flap หรือไม่มี Flap ก็ได้ บางส่วนสามารถขยับได้หรือบางส่วนขยับไม่ได้ก็ได้ ครีบเหล่านี้ปกติจะถูกทำให้เอียงด้วยกำลังส่งจากระบบไฮดรอลิกส์ โดยทั่วไปครีบลดอาการโคลงแบบไม่สามารถพับเก็บได้ (Non-Retractable Fins) จะเหมาะสมกับการใช้ในกรณีที่ตัวเรือมีเนื้อที่จำกัดและมักติดตั้งที่ส่วนโค้งของท้องเรือโดยที่ครีบลดอาการโคลงจะไม่ยื่นออกไปเกินกว่าเส้นแนวดิ่งวัดจากด้านข้างเรือเพื่อลดโอกาสเสี่ยงที่ครีบจะไปชนกับผนังตลิ่งหรือท่าเรือ



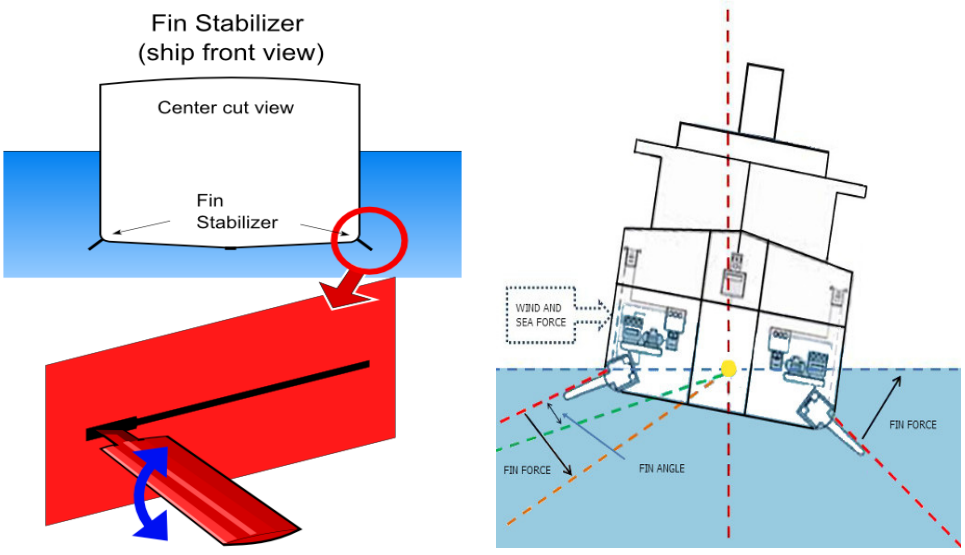
รูปภาพที่ ๕ : ส่วนประกอบของครีบลดอาการโคลง (Fin Stabilizers)



รูปภาพที่ ๖ : ครีบลดอาการโคลงแบบพับเก็บได้ (Retractable Fins)

การติดตั้งและอุปกรณ์ของเครื่องลดอาการโคลงแบบครีบ (Fin Stabilizers)

การติดตั้งครีบลดอาการโคลงอาจมีจำนวน ๑ หรือ ๒ คู่ แล้วแต่ขนาดและความจำเป็นติดตั้งเข้ากับตัวเรือทั้ง ๒ ข้าง ข้างละหนึ่งชุด (รูปภาพที่ ๗) ขนาดของครีบแต่ละอันจะถูกกำหนดโดยคุณลักษณะของเรือ เช่น ความกว้าง (Breath) กินน้ำลึก (Draught) ระวางขับน้ำ (Displacement) เป็นต้น ปกติแล้วขนาดของครีบลดอาการโคลงจะมีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดความใหญ่ของเรือ ครีบอาจเป็นชนิดที่สามารถพับเก็บได้ (Retractable) คือสามารถพับหรือเลื่อนเข้าไปเก็บอยู่ภายในตัวเรือได้ หรืออาจเป็นแบบชนิดติดอยู่กับที่ ครีบทำงานเพื่อสร้างโมเมนต์ (Righting Moment) ให้เกิดขึ้นกับเรือขณะที่เรือเอียงหรือโคลงเนื่องจากคลื่นหรือเกิดแรงกระทำจากด้านหนึ่งมุมเอียงของครีบ (Angle of Tilt) และโมเมนต์ที่กระทำต่อเรือจะถูกคำนวณโดยระบบควบคุม (Sensing Control System) ความเร็วเรือที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะช่วยให้ครีบสามารถสร้างแรงผลักซึ่งจะส่งผลให้เกิดโมเมนต์ขึ้นได้



รูปภาพที่ ๗ : ตำแหน่งที่ติดตั้งระบบลดอาการโคลงในเรือ

เราอาจเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องลดอาการโคลงได้กับการทำงานของระบบหันเลี้ยว (Steering Gear) กล่าวคือ สัญญาณส่งจากระบบควบคุม (Control Unit) ทำให้เกิดการปรับมุมของครีบจนหยุดนิ่งเมื่อมุมครีบอยู่ตำแหน่งที่ต้องการ ระบบไฮดรอลิกส์ส่งกำลัง (Hydraulic Power Unit) ที่ทำงานร่วมกับปั๊มไฮดรอลิกส์ (Displacement Pump) จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของครีบ ประสิทธิภาพของครีบช่วยลดอาการโคลงขึ้นอยู่กับความเร็วการขยับตัวของครีบซึ่งต้องมีความเร็วที่เคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งสู่อีกตำแหน่งหนึ่ง รูปทรงครีบเป็นสี่เหลี่ยม และภาคตัดขวางเป็นแบบ Streamline กลไกการทำงานจะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นหากมีการใช้ Movable Flap หรือเป็นครีบแบบ Fixed แต่มีบางส่วนอาจขยับได้ ก็จะช่วยเพิ่มโมเมนต์ให้กับเรือได้มากขึ้น

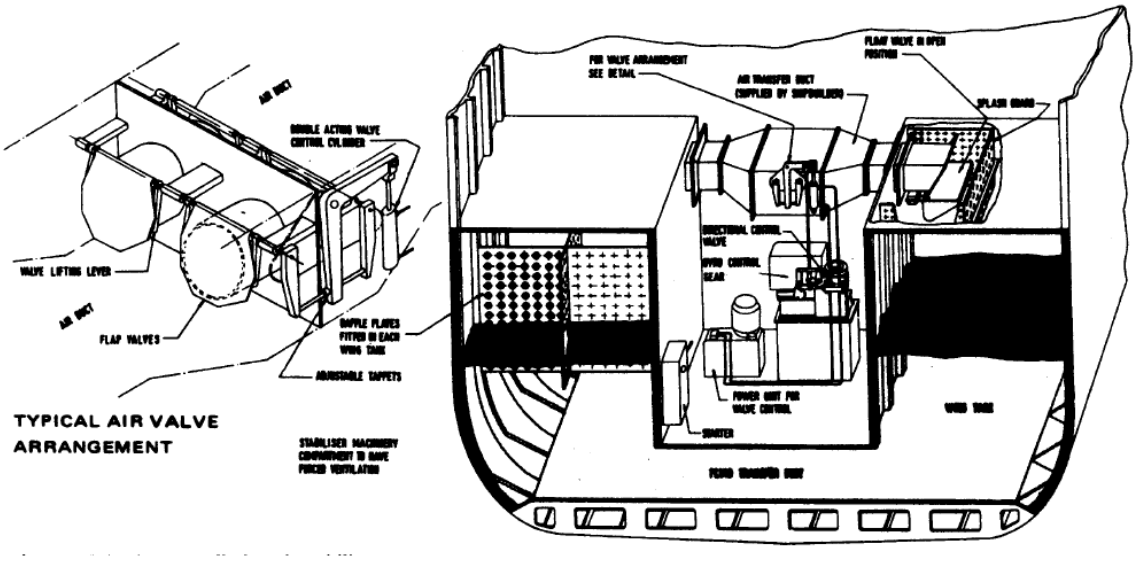
ระบบควบคุมซึ่งส่งสัญญาณการให้อาการเคลื่อนตัวของครีบนั้นใช้ไยโรสโคป (Gyroscopes) รับอาการของเรือที่ถูกคลื่นกระทำ เช่น ความเร็วการเคลื่อนที่ขึ้นลงเรือ (Vertical Velocity) และอาการโคลงซ้ายขวาของเรือ (Rolling Velocity) ด้วยระบบควบคุมนี้ การเคลื่อนตัวของครีบจะเป็นฟังก์ชั่นของมุมโคลง (Roll Angle) ความเร็วการโคลง (Roll Velocity) ความเร่งการโคลง (Roll Acceleration) เป็นต้น

ครีบลดอาการโคลงนั้นจะช่วยให้เกิดความเสถียรของตัวเรือได้ดีและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ในกรณีที่ระบบลดอาการโคลงที่มีความซับซ้อนมากขึ้น อย่างไรก็ตามที่ความเร็วเรือต่ำลงประสิทธิภาพในการลดอาการโคลงจะลดลง และถ้าเรือจอดนิ่งการลดอาการโคลงเรือจะทำได้ยากยิ่งขึ้น

ถังลดอาการโคลง (Tank Stabilizers)

ถังลดอาการโคลง (รูปภาพที่ ๘) ทำหน้าที่สร้างโมเมนต์หรือแรงต้านการโคลง (Anti–Rolling Force) เกิดจากการชะลอการไหลของน้ำที่อยู่ในถังติดตั้งอยู่ในตำแหน่งแนวขวางที่เหมาะสม (Transverse Tank) การทำงานของระบบนั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วเรือและสามารถทำงานได้ในขณะที่เรือจอด

หากพิจารณามวลน้ำที่อยู่ในถังแนวขวางเรือ (Athwartships Tank) ขณะที่เรือโคลง น้ำจะถูกทำให้เคลื่อนที่หลังจากเรือโคลงไปชั่วขณะ ดังนั้นเมื่อเรือจบการโคลงและกำลังจะกลับสู่ตำแหน่งเดิม น้ำที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะส่งอาการต้านการโคลงกลับตำแหน่งเดิม จึงเห็นได้ว่ามวลน้ำนั้นสามารถต้านการโคลงเมื่อเกิดการโคลงของเรือแต่ละครั้ง ถังแนวขวางนี้เรียกว่า “Flume” ระบบนี้ถือว่าเป็นแบบ Passive เพราะการไหลของน้ำเกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วง



รูปภาพที่ ๘ : ถังลดอาการโคลงควบคุมด้วยอากาศ (Air-Controlled Tank Stabilizer)

จากรูปภาพที่ ๘ เป็นการวางระบบถังแนวขวาง (Wing Tank) ซึ่งมีลักษณะการทำงานแบบ Passive ยิ่งถังมีความสูงด้านข้างมากเท่าไร ยิ่งสามารถยอมให้มีมวลน้ำขนาดใหญ่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นยิ่งจะเป็นการเพิ่มโมเมนต์ต้านทานการโคลงมากขึ้น อย่างไรก็ตามระดับน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นต้องไม่สูงขึ้นจนเต็มถังปีก (Wing Tank) ท่ออากาศ (Air Duct) ที่ติดตั้งระหว่างถังปีกทั้งสองมีวาล์วที่ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ตรวจจับการโคลง (Roll Sensing Device) ค่าความแตกต่างของความดันอากาศ (Differential Air Pressure) ระหว่างถังทั้งสองจะได้รับการปรับเพื่อให้น้ำได้รับการควบคุมและประสานเพื่อลดอาการโคลงมากที่สุด

ระบบของถังต้องได้รับการออกแบบเฉพาะสำหรับเรือแต่ละลำโดยการใช้ข้อมูลจากการทดสอบจากโมเดล (Model Test) ระดับน้ำในระบบมีความสำคัญมากและต้องมีการปรับตามสภาพตามขนาดน้ำหนักของเรือ นอกจากนั้น ยังมีผลกระทบจากพื้นที่ผิวอิสระ (Free Surface Effect) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของน้ำจะลดความเสถียรของเรืออย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ระบบการทำงานแบบถังสามารถให้การทรงตัวและความเสถียรที่ Zero Speed ได้ อีกทั้งระบบถังลดอาการโคลงมีความซับซ้อนน้อยกว่าระบบลดอาการโคลงแบบครีบด้วย

สรุป

จะเห็นได้ว่าเครื่องลดอาการโคลงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับเรือที่ต้องการลดอาการโคลงของเรือให้โคลงน้อยลงโดยเฉพาะเรือรบ ซึ่งระบบลดอาการโคลงจะช่วยให้กำลังพลและลูกเรือสามารถปฏิบัติงานบนเรือได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปฏิบัติการรบและการใช้อาวุธปืนประจำเรือ ปัจจุบันมีชนิดของเครื่องลดอาการโคลงหลากหลายและมีคุณลักษณะแตกต่างกันไป การพิจารณาระบบในการติดตั้งนั้นจึงควรต้องดูความเหมาะสมที่เข้ากับคุณลักษณะของเรือนั้น ๆ เช่น ความกว้างตัวเรือ การกินน้ำลึก ระวางขับน้ำ ฯลฯ เป็นต้น เพื่อที่จะได้ระบบลดอาการโคลงที่สามารถทำงานได้อย่างดีมีประสิทธิภาพอย่างเต็มที่