วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ
ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2562
Royal Thai Naval Academy
Journal of Science and Technology
Vol.2 Issue 1, August 2019

การสั่นสะเทือนของเรือ
Ship Vibration

น.อ.ผศ.วัฒนา น้อยทอง
กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

บทคัดย่อ

การสั่นสะเทือนของเรือที่มากเกินไป เป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบขับเคลื่อน ความเสียหายต่อโครงสร้างเรือ และความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่อยู่บนเรือ ถึงแม้ระดับของการสั่นสะเทือนไม่สูงมากที่จะทำให้เกิดความเสียหายดังกล่าว แต่ก็ยังทำให้เกิดปัญหาความไม่สะดวกสบายต่อการปฏิบัติงานหรือพักอาศัยในเรือ รวมถึงส่งผลให้วงรอบการซ่อมบำรุงระบบต่างๆของเรือเพิ่มมากขึ้น

เครื่องจักรใหญ่ เครื่องจักรช่วย และใบจักร เป็นแรงกระตุ้นหลักที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับเรือ ตัวเรือจะเปรียบเสมือนคานแบบปลายทั้งสองข้างเป็นอิสระซึ่งอยู่ภายใต้แรงพลวัตต่างๆ ทั้งนี้ แรงพลวัตจากเครื่องจักรใหญ่และเครื่องจักรช่วยจะถูกส่งผ่านไปยังฐานแท่นเครื่อง จุดรองรับ และส่งต่อไปยังตัวเรือ แรงพลวัตจากเพลาใบจักรจะถูกส่งผ่านแบริ่งเพลาใบจักรไปยังตัวเรือ การหมุนของใบจักรทำให้เกิดความดันน้ำที่ไม่คงที่รอบๆผิวของตัวเรือ การตอบสนองของเรือต่อแรงพลวัตเหล่านี้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อโครงสร้างเรือและอุปกรณ์ต่างๆ

ในบทความนี้ จะไม่ลงลึกเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการของการสั่นสะเทือน แต่จะกล่าวเน้นถึงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับเรือ และวิธีการแก้ไขหรือลดการสั่นสะเทือนของเรือที่สร้างเสร็จแล้ว

Abstract

Excessive ship vibration can be a serious problem and lead to damage to the propulsion system, structural damage to the primary structure and damage to shipboard equipment. Even if the vibration level is not high enough to result in major damages, it can lead to crew discomfort and fatigue and increase the frequency of maintenance works for ship systems.

The Auxiliary and main engine and the propeller are the principal vibration exciting sources. The hull structure responds as a both ends free beam when subjected to dynamic loads. Dynamic forces from the main and auxiliary engines are directly transmitted to the hull through their supports and foundations. Dynamic forces from the shafting system are transmitted to the hull through shaft bearings. The propeller induces fluctuating pressures on the surface of the hull. The response to this dynamic forces can cause the vibration of the ship structures and equipment.

This article is not about the basic fundamental of vibration. It is focused on the causes of vibration on board ships and the reduction of vibration on ships already built.

1. คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสั่นสะเทือนของเรือ

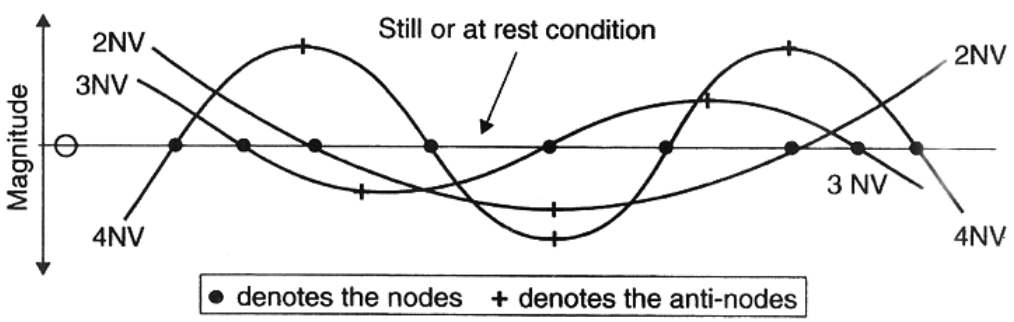
ก่อนอื่นขอทบทวนคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสั่นสะเทือนของเรือ ดังต่อไปนี้

1.1 บัพ (Node)

เมื่อพิจารณา คาน (Beam) หรือเรือซึ่งกำลังสั่นสะเทือน บัพคือจุดบนคานหรือบนเรือที่ไม่มีการเคลื่อนไหวหรือแอมพลิจูดเป็นศูนย์ บนวัตถุที่กำลังสั่นสะเทือนอาจจะมีบัพ เกิดขึ้น 2, 3 หรือ 4 จุด หรือมากกว่านั้น ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปภาพที่ 1

1.2 ปฏิบัพ (Anti-node)

คือตำแหน่งบนคานหรือเรือที่มีขนาดของการสั่นสะเทือนหรือแอมพลิจูดมากที่สุด การลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มมวลให้กับวัตถุที่กำลังสั่นสะเทือน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมวลเหล่านี้ถูกติดไว้ที่ตำแหน่งปฏิบัพ



รูปภาพที่ 1 *บัพและปฏิบัพของวัตถุที่สั่นสะเทือน*

1.3 โหมด (Mode)

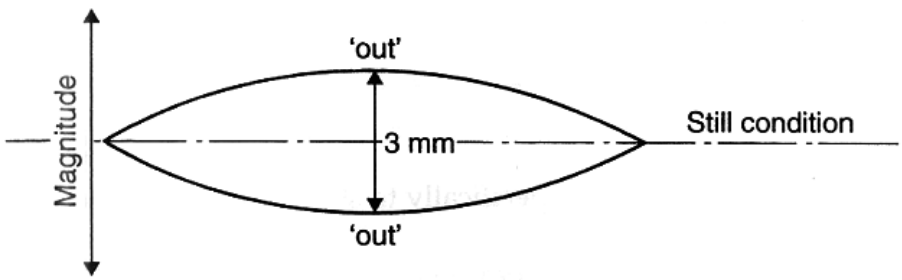
คือลักษณะหรือทิศทางการสั่นสะเทือนของคานหรือเรือ การสั่นสะเทือนอาจจะเกิดขึ้นในแนวดิ่ง (Vertical: V) ในแนวนอน (Horizontal: H) หรือในทิศทางการบิด (Torsional: T) ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า 2NV โหมด คือการสั่นสะเทือนของเรือในทิศทางตั้งฉากที่ประกอบด้วยบัพจำนวน 2 จุด ส่วน 3NH โหมด คือการสั่นสะเทือนของเรือในแนวนอนที่ประกอบด้วยบัพจำนวน 3 จุด

1.4 แอมพลิจูด (Amplitude)

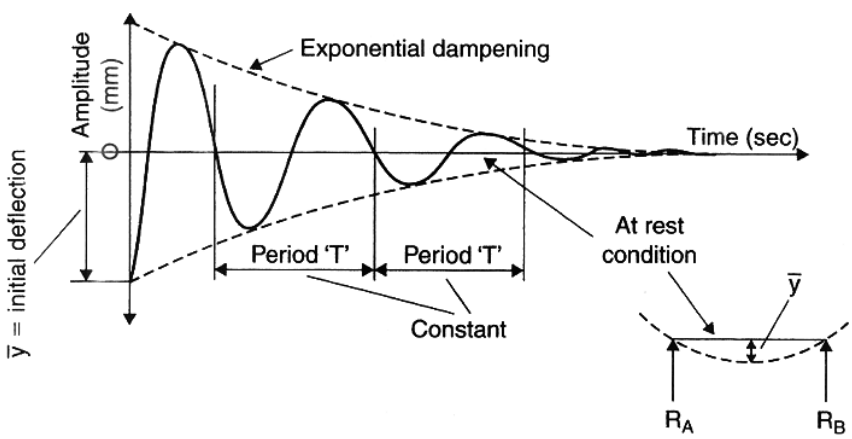
คือระยะครึ่งหนึ่งที่วัดจากจุดต่ำสุดและสูงสุด (Out to Out) ของการสั่นสะเทือน (ดูรูปภาพที่ 2) โดยปกติแอมพลิจูดของแผ่นเหล็กตัวเรือที่กำลังสั่นสะเทือนมีขนาดประมาณ 1.5 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ดี หนังสือชื่อ Ship Vibration ที่เขียนโดย F. Todd ได้กล่าวไว้ว่า แอมพลิจูดสามารถมีขนาดได้สูงถึง 6 มิลลิเมตร

1.5 ความถี่ (Frequency)

คือการเคลื่อนที่ของคานหรือเรือที่วัดในหน่วย รอบ/นาที ซึ่งเป็นส่วนกลับของคาบเวลา (T) ดังที่แสดงในรูปภาพที่ 3



รูปภาพที่ 2 *การสั่นสะเทือนของแผ่นเหล็ก*

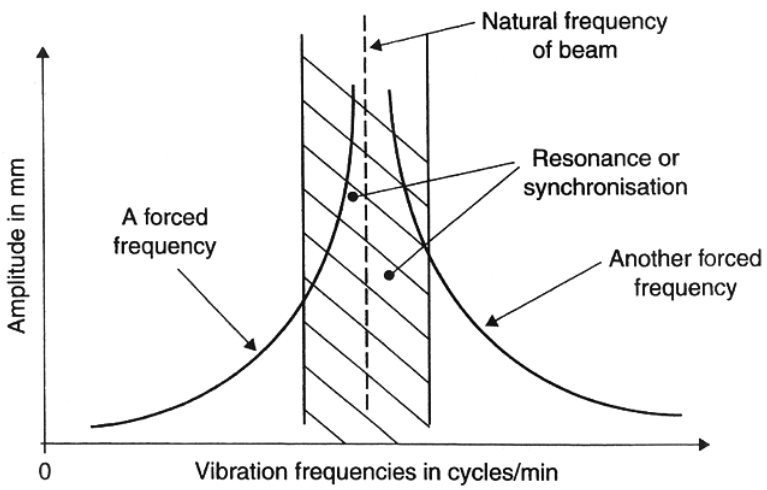


รูปภาพที่ 3 *ความถี่ธรรมชาติ 'N' โดยที่ N = 1/T*

1.6 การสั่นพ้อง (Resonance)

ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อความถี่จำนวน 2 ความถี่ ที่เกี่ยวเนื่องกับการสั่นสะเทือนของเรือมีค่าใกล้เคียงกัน หนึ่งในความถี่เหล่านี้อาจจะเป็นความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ของเรือ และอีกความถี่อาจจะเป็นความถี่ของแรงภายนอกที่มากระทำต่อเรือ ทั้งสองความถี่นี้มีหน่วย รอบ/นาที

เมื่อสองความถี่นี้ประสานกัน หรือมีค่าเท่ากัน ปัญหาของการสั่นสะเทือนของเรือจะกลายเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง (ดูรูปภาพที่ 4) เพราะความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจะเพิ่มสูงขึ้นมาก



รูปภาพที่ 4 *การสั่นพ้องของความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) และความถี่ของแรงกระทำภายนอก (Forced frequency)*

ตารางด้านล่างแสดงข้อมูลของบัพ โหมด และความถี่ธรรมชาติที่วัดมาจากเรือต่างๆ ค่าความถี่ทั้งหมดนี้มีหน่วยรอบ/นาที (หมายเหตุ ค่าความถี่ธรรมชาติของเรือบรรทุกน้ำมันดิบขนาดใหญ่ (VLCC) มีค่าน้อยมาก)

ประเภทของเรือ	LBP (เมตร)	ระวางขับน้ำ (ตัน)	โหมด 2NV	โหมด 2NH	โหมด 3NV	โหมด 4NV
เรือบรรทุกน้ำมัน (Oil tanker)	147	19120	74	110	185	-
เรือบรรทุกผู้โดยสาร-สินค้า (Passenger - cargo ship)	127	8600	123	180	237	315
เรือบรรทุกถ่านหินและแร่ (Bulk Ore carrier)	160	16200	45	120	106	168
เรือบรรทุกน้ำมันดิบขนาดใหญ่ (VLCC)	300	250000	35	35	-	-

2. สาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือน

2.1 หนึ่งในสาเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของเรือ คือ แรงไม่สมดุล (Unbalanced force) ที่ส่งมาจากจุดที่เครื่องยนต์แบบลูกสูบ (Reciprocating engine) ถูกติดตั้ง ส่วนเครื่องยนต์แบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine engine) ซึ่งไม่มีชิ้นส่วนใดไม่สมดุล ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนได้น้อยมาก หรือไม่เกิดขึ้นเลย

2.2 แรงผลักของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine) ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนโดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำ (Low speed diesel engine) สามารถสร้างปัญหาการสั่นสะเทือนของเรือได้มาก เนื่องจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของตัวเรือ

2.3 ปัญหาการสั่นสะเทือนของเรือสามารถมาจากใบจักรเรือ (Propeller) ซึ่งมีได้หลายสาเหตุ ดังต่อไปนี้

2.3.1 มีการไหลที่ผิดปกติหรือไม่ราบเรียบของน้ำผ่านใบจักร

2.3.2 ความเสียหายของใบ (Propeller blade) เช่น ใบแตก หรือคดงอ

2.3.3 ความไม่สมดุลของใบจักรที่นำมาติดตั้งใหม่ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ไม่บ่อยนัก เพราะโดยปกติบริษัทผู้ผลิตใบจักรพยายามปรับแต่งให้ใบจักรสมดุลมากที่สุด

2.3.4 ใบจักรมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้มันอยู่ใกล้กับท้ายเรือและหางเสือมากเกินไป หรือพูดอีกอย่างหนึ่งว่า ระยะห่าง (Clearance) ของใบจักรน้อยเกิดไป (ดูรูปภาพที่ 5)

2.3.5 แต่ละใบของใบจักร 1 พวงมีความแตกต่างของพิทช์ (Pitch variation) จากโคนใบ (Propeller root) ถึงปลายใบ (Propeller tip) ที่ไม่เหมือนกัน

2.3.6 ใบจักรที่มีจำนวนใบที่ไม่เหมาะสม มีจำนวนใบมากเกินไปหรือน้อยเกินไป อาจทำให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance) ได้

2.4 ผลกระทบที่เกิดจากทะเล (Sea effects)

การสั่นสะเทือนอาจจะเกิดได้จาก Pounding effect ซึ่งก็คือเมื่อเรือโต้คลื่น หัวเรือจะลอยขึ้นและตกลงมา ทำให้ท้องเรือส่วนหัวเรือกระแทกน้ำ (ดูรูปภาพที่ 6) และผลกระทบจากทะเลหลักอีกอย่างเกิดขึ้นจากความถี่ของคลื่นทะเลมีค่าเท่ากันกับค่าความถี่ของตัวเรือ การสั่นสะเทือนของตัวเรือแบบนี้เรียกว่า Whipping ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ความเร็วสูง (Fast container ship)

3. การลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของเรือที่สร้างเสร็จแล้ว

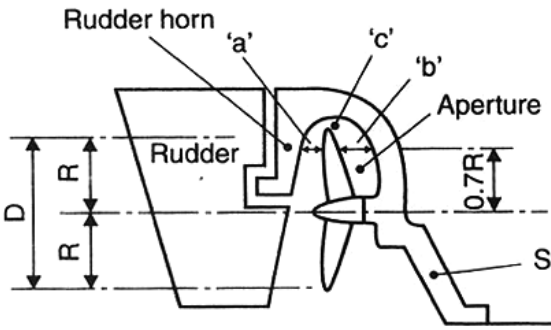
เราสามารถหาแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนได้โดยใช้เครื่องตรวจจับ (Vibrograph) อุปกรณ์นี้จะวัดค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่ความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance frequency)

3.1 ถ้าหากมีเครื่องจักรช่วย (Auxiliary engine) ของเรือ ที่ก่อให้เกิดปัญหาการสั่นสะเทือน เราสามารถดำเนินการเพื่อลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนได้ดังนี้:

3.1.1 ปรับเปลี่ยนรอบเครื่องเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้อง

3.1.2 แก้ไขชิ้นส่วนที่ไม่สมดุลของเครื่องจักรนั้นๆ

3.1.3 รองฐานเครื่องจักรด้วยวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ เช่น ยางแข็ง หรือสปริงโลหะ วัสดุเหล่านี้จะช่วยหน่วงการเคลื่อนที่เหมือนกับโช้คอัพของรถยนต์



Dimension	Minimum clearance	For a diametre of 5 m
'a'	0.08 × D	40 cm
'b'	0.15 × D	75 cm
'c'	0.08 × D	40 cm

รูปภาพที่ 5 *ระยะห่างระหว่างใบจักรกับหางเสือของเรือ*

รูปภาพที่ 6 *ท้องเรือส่วนหัวกระแทกน้ำ (Pounding)*

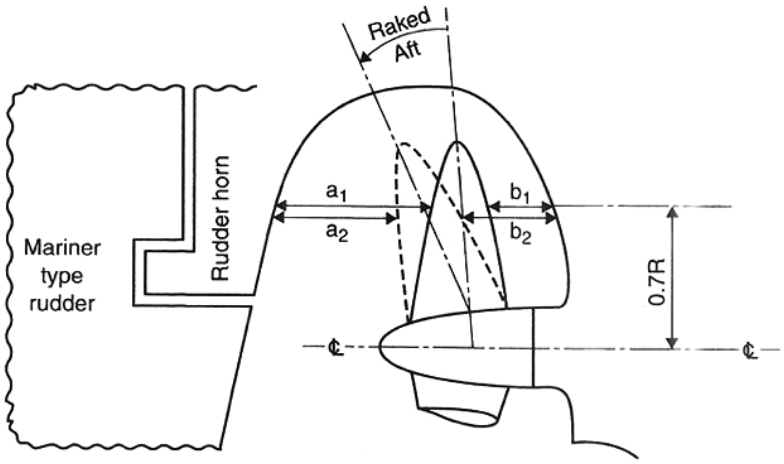
3.2 ถ้าการสั่นสะเทือนเกิดจากเครื่องจักรใหญ่ของเรือ ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

3.2.1 ปรับเปลี่ยนรอบเครื่องเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้อง (Resonance)

3.2.2 เพิ่มน้ำหนักถ่วง (Balance weight) เพื่อลดแรงไม่สมดุลที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน

3.2.3 ถ้าเป็นเรือที่มีสองเพลาใบจักร (Twin-screw ship) ความเร็วรอบของใบจักรทางด้านซ้ายสามารถที่จะถูกปรับแต่งเพื่อให้รอบการหมุนของใบจักรแตกต่างจากอีกด้านหนึ่งเล็กน้อย ในปัจจุบัน การปรับแต่งนี้สามารถทำได้โดยใช้เซ็นเซอร์ไฟฟ้า

3.3 ถ้าปัญหาการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นเฉพาะที่ใดที่หนึ่ง เช่น ห้องพักของประจำเรือ เราสามารถที่จะเชื่อมกงขนาดเล็ก (Stiffener) ติดกับเข้ากับแผ่นเหล็กตัวเรือ ซึ่งจะช่วยลดแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนลงได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพ



รูปภาพที่ 7 *การเพิ่มมุมเอียงของใบ (Rake) ไปทางด้านท้ายเรือ เพื่อเพิ่มระยะห่างของใบจาก b1 เป็น b2*

สูงสุด เพราะการสั่นสะเทือนอาจจะย้ายจุดไปที่อื่น ซึ่งอาจจะเป็นห้องพักของประจำเรืออีกห้องที่อยู่ถัดไป นอกจากนี้ เหล็กจำนวนมากอาจต้องถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหานี้

3.4 ถ้าปัญหาการสั่นสะเทือนเกิดจากใบจักรเรือ ให้ดำเนินการตามสิ่งต่อไปนี้:

3.4.1 เปลี่ยนใบจักรพวงใหม่ ที่มีความสมดุลและไม่มีความเสียหาย เช่น ใบงอ หรือชำรุด

3.4.2 เปลี่ยนใบจักรพวงใหม่ ที่มีจำนวนใบแตกต่างจากเดิม เช่น ใช้ใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ แทนที่ พวงที่ประกอบด้วยใบ 3 ใบ (ดูเพิ่มเติมในตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนใบจักรที่เหมาะสมในหัวข้อถัดไป)

3.4.3 เพิ่มระยะห่างระหว่างใบจักรและท้ายเรือ โดยการเพิ่มมุมเอียงของใบ (Rake) ไปทางด้านท้ายเรือ (ดูรูปภาพที่ 7)

3.4.4 เติมน้ำใส่ถังอับเฉาท้ายเรือ ซึ่งเป็นการหน่วงแรงสั่นสะเทือนทางท้ายเรือที่เกิดจากใบจักร ลดการแพร่กระจายแรงสั่นสะเทือนขึ้นไปทางด้านบนบริเวณที่พักอาศัยหรือสะพานเดินเรือ

3.4.5 เปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุก ยกตัวอย่างเช่น เพิ่มหรือถ่ายน้ำออกจากถังอับเฉา จะสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติของตัวเรือได้ ซึ่งมันอาจจะถูกเปลี่ยนไปเป็นความถี่ที่ไม่เกิดการสั่นพ้องกับความเร็วรอบของเพลาใบจักรหรือเครื่องยนต์ขึ้น

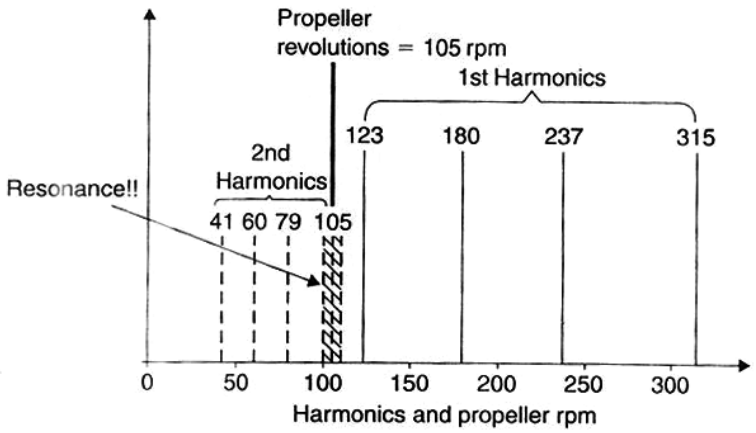
3.5 ถ้าปัญหาการสั่นสะเทือนของเรือเกิดจากผลกระทบของทะเล ให้ดำเนินการตามสิ่งต่อไปนี้:

3.5.1 ปรับเปลี่ยนทิศทางของหัวเรือ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้องระหว่างความถี่ธรรมชาติ ของตัวเรือกับความถี่ของแรงจากคลื่นลม

3.5.2 เพิ่มหรือลดความเร็วเรือเพื่อหลีกเลี่ยงการสั่นสะเทือนที่เกิดจากคลื่นลมในทะเล

4. การคำนวณหาจำนวนใบของใบจักรที่เหมาะสม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น หากจำนวนใบของใบจักรไม่เหมาะสม มากหรือน้อยไป สามารถทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงได้ ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการคำนวณหาจำนวนใบของใบจักรที่เหมาะสม ว่าจะใช้ใบจักรที่มีจำนวนใบ 3 ใบ หรือ 4 ใบ ซึ่งจะนำไปติดตั้งกับเรือบรรทุกผู้โดยสารและสินค้า



รูปภาพที่ 8 *แสดงฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 และ 2 ของเรือที่มีใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 3 ใบ ที่จุดที่เกิดการสั่นพ้อง ความถี่ของแรงที่เกิดจากการหมุนของใบจักรจะเท่ากับความถี่ธรรมชาติของเรือ*

(Passenger-cargo ship) ลำหนึ่ง ซึ่งมีความเร็วรอบของใบจักรเท่ากับ 105 รอบ/นาที (rpm) เรือบรรทุกผู้โดยสารและสินค้าดังกล่าวมีความถี่ธรรมชาติ (มีหน่วยเป็น รอบ/นาที) ดังนี้:

2NV = 123, 2NH = 180, 3NV = 237, 4NV = 315

สำหรับเรือมีใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 3 ใบ, ฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 = 123, 180, 237 และ 315

สำหรับเรือมีใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 3 ใบ, ฮาร์โมนิคลำดับที่ 2 = 123/3, 180/3, 237/3 และ 315/3

= 41, 60, 79 และ 105 ตามลำดับ

หมายเหตุ ฮาร์โมนิคลำดับที่ 2 สามารถคำนวณได้จากฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 หารกับจำนวนใบของใบจักร

สำหรับเรือมีใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ, ฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 = 123, 180, 237 และ 315

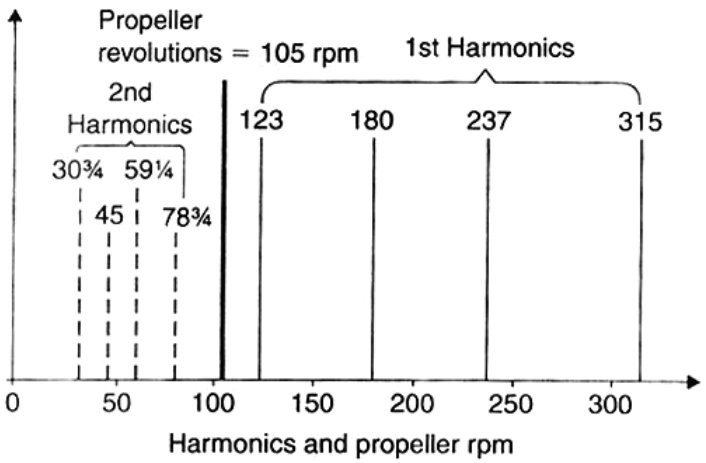
สำหรับเรือมีใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ, ฮาร์โมนิคลำดับที่ 2 = 123/4, 180/4, 237/4 และ 315/4

= 30.75, 45, 59.25 และ 78.75 ตามลำดับ

รูปภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบของใบจักรซึ่งมีค่า 105 รอบ/นาที มีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของฮาร์โมนิคลำดับที่ 2 ดังนั้นจะเกิดการสั่นสะเทือนที่มีความรุนแรงเนื่องจากเกิดการสั่นพ้องระหว่างความถี่ทั้งสองดังกล่าว ข้อแนะนำคือให้เพิ่มจำนวนใบของใบจักรจาก 3 ใบ เป็น 4 ใบ และสังเกตอาการของเรืออีกครั้ง

รูปภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ สามารถใช้งานได้ดี เพราะความเร็วรอบที่ 105 rpm อยู่ห่างไกลจากช่วงที่จะเกิดการสั่นพ้องกับทั้งฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 และ 2

ข้อสรุป: ติดตั้งใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ แทนที่พวงที่ประกอบด้วย 3 ใบ



รูปภาพที่ 9 *ฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 และ 2 สำหรับใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ ไม่มีการสั่นพ้องเกิดขึ้น*

5. บทสรุป

การสั่นสะเทือนของเรือเกิดจากแรงกระตุ้นหลักๆ ได้แก่ เครื่องจักรใหญ่ เครื่องจักรช่วย ใบจักร และคลื่นลมในทะเล การสั่นสะเทือนของเรือเหมือนกับการผุกร่อนตรงที่เราไม่สามารถป้องกันมิให้มันเกิดขึ้นได้ แต่ หากเราทราบสาเหตุ และแก้ไขอย่างถูกวิธี เราสามารถที่จะลดความรุนแรงของมันลงจนถึงระดับที่ยอมรับได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Dr. C.B. Barrass. (2004). Ship vibration. Ship design and performance for masters and mates. First edition. Elsevier Butterworth-Heinemann

[2] Jan Babicz. (2015). Encyclopedia of ship technology. Second edition. WÄRTSILÄ CORPORATION

[3] https://www.marineinsight.com/naval-architecture/types-of-vibrations-on-ships-machinery-vibrations/