ค. 200-0001-1064

การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount และ Shock Mount

(Isolator Mount & Shock Mount Selection Calculation)

คำแนะนำทางช่าง กรมอู่ทหารเรือ

ค. 200-0001-1064

การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount และ Shock Mount

(Isolator Mount & Shock Mount Selection Calculation)

คำแนะนำทางช่าง กรมอู่ทหารเรือ

ค. 200-0001-1064

การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount และ Shock Mount

(Isolator Mount & Shock Mount Selection Calculation)

แก้ไขครั้งที่ ..... เมื่อ .....

แก้ไขครั้งที่ ..... เมื่อ .....

แก้ไขครั้งที่ ..... เมื่อ .....

ประกาศกรมอู่ทหารเรือ
เรื่อง กำหนดมาตรฐานงานช่าง กรมอู่ทหารเรือ

อาศัยอำนาจความในข้อ ๗.๓ และข้อ ๑๓ แห่งระเบียบกรมอู่ทหารเรือว่าด้วยมาตรฐานช่าง พ.ศ. ๒๕๓๐ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ จึงกำหนดคำแนะนำทางช่าง กรมอู่ทหารเรือ หมายเลข มอร. ๒๐๐ – ๐๐๐๑ – ๑๐๖๔ เรื่อง การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount และ Shock Mount (Isolator Mount & Shock Mount Selection Calculation) ไว้ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๑๖ ตุลาคม พ.ศ.๒๕๖๔

พลเรือตรี
(เกื้อกูล กลิ่นเอี่ยม)
จก.กพช.อร.

รายการแก้ไข

หมายเลขหน้า	การแก้ไขครั้งที่

บันทึกการแก้ไข

วัน เดือน ปี	รายการแก้ไข

ค. 200 – 0001 – 1064

มาตรฐานงานช่าง กรมอู่ทหารเรือ

การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount และ Shock Mount

(Isolator Mount & Shock Mount Selection Calculation)

1. เอกสารอ้างอิง

1. Isolator Selection, Barry Controls (www.barrycontrols.com)

2. Vibration and Shock Isolation Products Catalog, Tech Products (www.novibes.com)

3. Mechanical Vibration and Shock Measurements, J T Broch, 2nd edition, Bruel & Kjaer, Copenhagen, 1980

4. Mechanical Vibrations, J.P. Den Hartog, 4th edition, Dover Publication Inc., New York, 1985

5. Vibration Damping Control and Design, C. W. de Silva, CRC Press, 2007

6. Harris' Shock and Vibration Handbook, C. M. Harris, A.G. Piersol, 5th edition, McGraw-Hill, Singapore, 2002

7. Vibration Mounts: EVOLO® Series, EVOLO® 611: Grand A – D Catalog, Loggers B.V., The Netherlands, 2011

8. The Response of Surface Ships to Underwater Explosions, W.D. Reid, DSTO, Melbourne, Australia,

9. Technical Section: Vibration and Shock, Tech Product Corporation (www.novibes.com)

10. STANAG 4142 Shock Resistance Analysis of Equipment For Surface Ships

11. MIL–STD–167–1 Mechanical Vibration for Shipboard Equipment Type I & II, 2005

12. MIL–STD–901–D Shock Tests. H.I. (High–Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for, 1989

13. Defence Standard 22-26 (NES 2026) Specification for the Type X Resilient Mount and the Leaf Spring Assembly of the Type Y Resilient Mount

14. Defence Standard 22-27 (NES 2027) Specification for the Type Y Resilient Mount

15. Shock Response Spectrum – A Primer, J.E. Alexander, Sound & Vibration/June 2009

16. Document Sheet Cable Mounting Type SMC22: Rubber Design®, Type SMC22 Catalog, Rubber Design B.V., The Netherlands, 2011

17. Selection Guide, Aeroflex Isolators for Shock and Vibration, Aeroflex International (www.vmc-kdc.com)

18. Thai Navy Vessels at Zhonghua Shipyard: Operating and Maintenance Instructions for the Air Conditioning and Mechanical Ventilation Installation, Stork Bronswerk B.V.

2. ความมุ่งหมาย

-

3. ขอบเขต

-

4. เนื้อเรื่อง

4.1 กล่าวนำ

การสั่นสะเทือน (Vibration) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรกลมีแรงภายนอกมากระทำให้เกิดการสั่นสะเทือน หรือเมื่อเครื่องจักรกลทำงานก็จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นกับเครื่องจักรกลนั้น การสั่นสะเทือนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาด (Amplitude) ของแรงที่มากระทำและความถี่ (Frequency) ของแรงที่มากระทำ สำหรับแรงที่มากระทำให้เครื่องจักรกลทำงานจนเกิดการสั่นสะเทือนนั้น แรงที่มากระทำมีแหล่งกำเนิดแบ่งได้เป็นสองลักษณะคือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากแรงภายในตัวเครื่องจักรกลนั้น ๆ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นเอง (Internally Excitation) และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงภายนอกที่มากระทำให้เครื่องจักรกลนั้น ๆ เกิดการสั่นสะเทือน (Externally Excitation) ผลจากการสั่นสะเทือนจะส่งผลให้เกิดความเค้น (Stress) กับชิ้นส่วนของเครื่องจักร และเนื่องจากเป็นความเค้นที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้เครื่องจักรเกิดความล้า (Fatigue) ส่งผลให้ความแข็งแรงของเครื่องจักรลดลง ทำให้เกิดความเสียหาย (Failure) ในที่สุด ทั้งนี้หากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จะต้องแก้ไขเพื่อลดขนาดของการสั่นสะเทือนให้มีค่าน้อยลงจนสามารถยอมรับได้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น การลดขนาดการสั่นสะเทือนสามารถกระทำได้โดยป้องกันไม่ให้เครื่องจักรกลถูกแรงภายนอกมากระทำจนมีขนาดการสั่นสะเทือนสูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้ หรือป้องกันไม่ให้การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรกลที่กำลังทำงานส่งผ่านแรงที่เกิดขึ้นไปกระทำให้อุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น กระทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า Isolator Mount หรือบางกรณีจะเรียกว่า Shock Mount ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะลดขนาดของแรงที่จะส่งผ่านไปยังเครื่องจักรกลเช่นกัน แต่แรงดังกล่าวมีค่าสูงมาก ๆ ในการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount หรือ Shock Mount จะอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน แต่มีวิธีการคำนวณแตกต่างกัน ทั้งนี้ในการออกแบบเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount หรือ Shock Mount ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการป้องกันแรงสั่นสะเทือนที่จะส่งไปยังเครื่องจักรเป็นสำคัญ สำหรับเครื่องจักรกลโดยทั่วไปที่ไม่มีความจำเป็นในการปฏิบัติงานทางยุทธการอาจจะออกแบบให้ติดตั้งบน Isolator Mount ก็เพียงพอ แต่เครื่องจักรกลบางอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมาก จำเป็นต้องใช้งานในขณะปฏิบัติการ จำเป็นต้องทนต่อแรงภายนอกที่มีค่าสูงมาก ๆ เช่น แรงระเบิดใต้น้ำ อุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นต้องติดตั้งบน Shock Mount เอกสารฉบับนี้จะแบ่งออกเป็นสองหัวข้อในการคำนวณประกอบด้วย การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount สำหรับงานติดตั้งเครื่องจักรกลโดยทั่วไป และการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount สำหรับงานติดตั้งเครื่องจักรกลที่ต้องการทนแรงภายนอกที่มีค่าสูงมาก ๆ

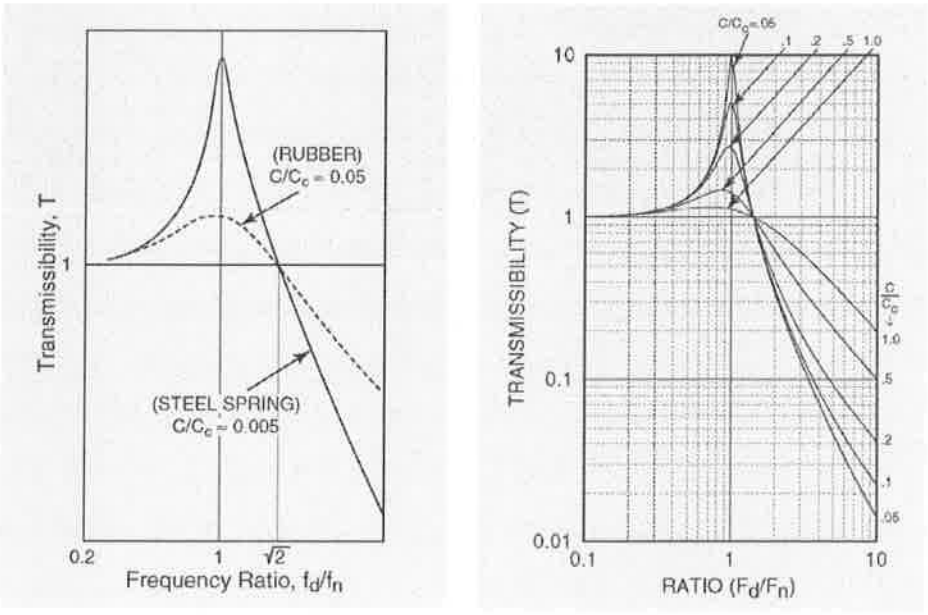
4.2 การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount

Isolator Mount เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบให้ลดขนาดของแรงที่จะส่งผ่านขึ้นไปยังเครื่องจักรกล หรือลดขนาดของแรงที่ส่งผ่านลงมาจากเครื่องจักรกลที่เกิดจากการทำงานไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ Isolator Mount ที่มีใช้งานในปัจจุบันผลิตจากวัสดุหลากหลายประเภท ดังในตารางที่ 1

Material	Approximate Damping Factor (C/C_c)	$Tranmissibility_{max}$ (Approx.)
Steel Spring	0.005	100
Elastomers:		
Natural Rubber	0.05	10
Neoprene	0.05	10
Butyl	0.12	4.0
Friction Damped Springs	0.33	1.5
Metal Mesh	0.12	4.0
Air Damping	0.17	3.0
Felt and Cork	0.06	8.0
High Damped Silicone	0.15+	ไม่มีข้อมูล
Friction Damped Spring	0.30+	ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 1 ประเภทและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ Isolator Mount [6.1, 6.2]

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่า Damping Factor ของวัสดุต่าง ๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ค่า Damping Factor จะมีผลให้ Transmissibility มีค่าแตกต่างกันตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Transmissibility Curves ที่ Damping Factor ต่าง ๆ [6.1]

โดยปกติแล้วนิยมใช้ Steel Spring สำหรับเป็น Isolator ในกรณีที่ต้องการป้องกันแรง Shock สูง ๆ (เรียกว่า Shock Mount จะกล่าวในหัวข้อที่ 3) โดยจะมีลักษณะดังในรูป ที่ 2 ส่วน Isolator Mount ทั่ว ๆ ไป จะนิยมใช้ Elastomer ซึ่งเป็น Polymer ประเภทหนึ่ง และจะมีลักษณะดังในรูปที่ 3 และ 4

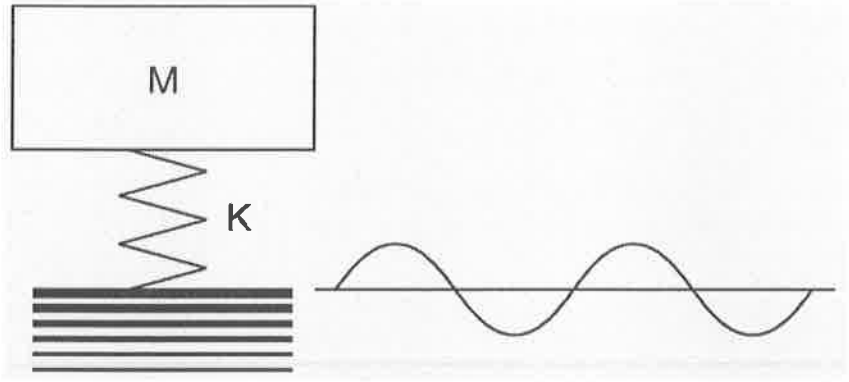
รูปที่ 2 Steel Spring Isolator (Wire Rope Spring Isolator)

รูปที่ 3 Elastomer Isolator

รูปที่ 4 Neoprene Elastomer Mounts & Pads

4.2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount

จาก [6.3 – 6.5] ทฤษฎีทางการสั่นสะเทือนที่เกี่ยวข้องในการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount นี้คือ การหาอัตราส่วนของขนาดการเคลื่อนที่ของมวลในระบบเทียบกับขนาดการเคลื่อนที่ของฐานของตัวมันเอง โดยเปรียบเทียบขนาดการเคลื่อนที่กับตำแหน่งอ้างอิงที่สนใจ หากพิจารณาเครื่องจักรกลว่าติดตั้งอยู่บนฐาน (Seating) ซึ่งวางอยู่บนโครงสร้างดังในรูปที่ 5 นั้น เมื่อต้องการทราบว่าหากมีแรงมากระทำให้เครื่องจักรกลเกิดการทำงานจนมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นนั้น เครื่องจักรกลดังกล่าวจะเกิดขนาดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (Vertical) เท่าไรเมื่อเทียบกับขนาดการเคลื่อนที่ของฐานของตัวมันเอง สามารถหาอัตราส่วนของขนาดการเคลื่อนที่ดังกล่าว (เป็นการเคลื่อนที่แบบ Absolute Motion) ได้โดยสมการที่ 1 คือ



รูป 5 การเคลื่อนที่แบบ Absolute Motion

$$\frac{X}{Y}=\sqrt{\frac{1+\left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2+\left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \qquad (1)$$

เมื่อ X คือ ขนาดการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล

Y คือ ขนาดการเคลื่อนที่ของฐานของเครื่องจักรกล

ξ คือ Damping Ratio ของเครื่องจักรกล

ω คือ ความถี่ของแรงที่มากระทำให้เครื่องจักรกลเกิดการสั่นสะเทือน (*rad/s*) – Disturbing Frequency

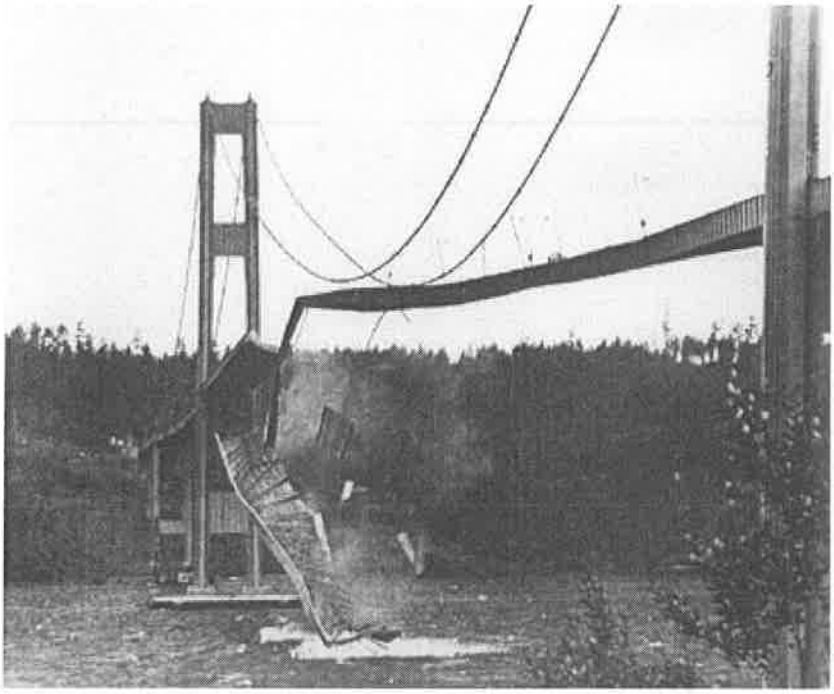
ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักรกล (*rad/s*) – Natural Frequency

จากสมการ (1) ดังกล่าว จะเห็นได้ว่าหากเครื่องจักรกลไม่มีตัวหน่วงการเคลื่อนที่ในระบบ (Damping Ratio, ξ มีค่าเท่ากับศูนย์) สมการที่ 1 จะลดรูปลงเหลือเพียง

$$\frac{X}{Y}=\sqrt{\frac{1}{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2}} \qquad (2)$$

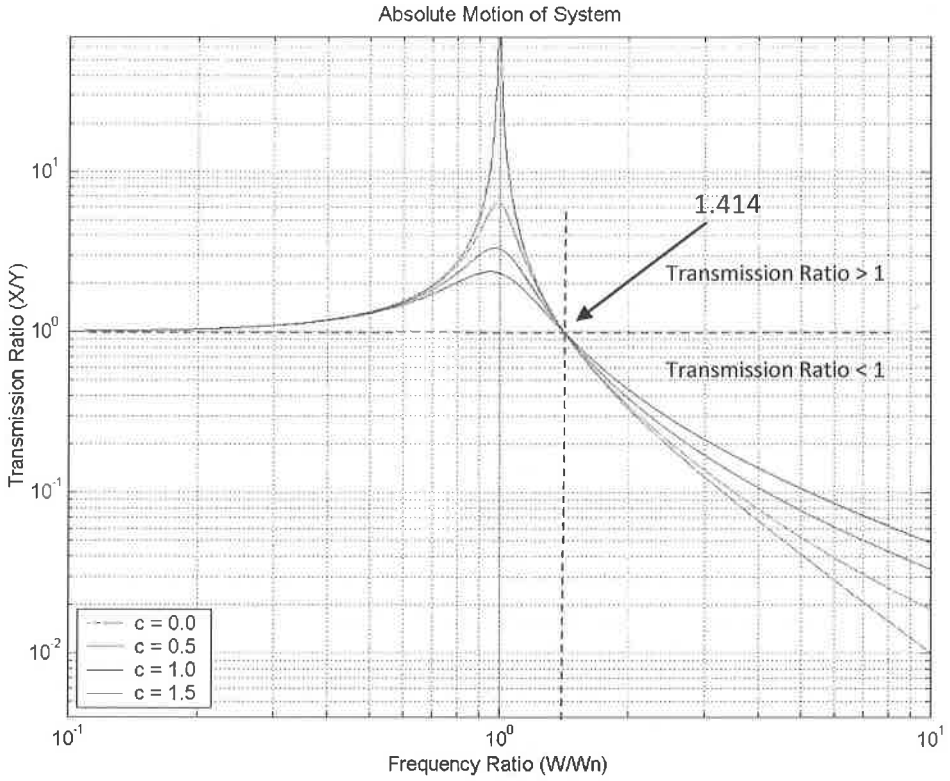
หากแรงที่มากระทำให้เครื่องจักรกลเกิดการเคลื่อนที่จนเกิดการสั่นสะเทือนนี้มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักรกล จะทำให้ $\frac{\omega}{\omega_n}$ มีค่าเท่ากับหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ตัวหารในสมการที่ (2) มีค่าเป็นศูนย์ส่งผลให้อัตราส่วนของขนาดการเคลื่อนที่ ($\frac{X}{Y}$) มีเป็นค่าอนันต์ (Infinite Value) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วเครื่องจักรกลจะมีขนาดการเคลื่อนที่สูงมาก และเกิดซ้ำ ๆ ไปเรื่อย ๆ จนทำให้เครื่องจักรกลเกิดความล้า

(Fatigue) จนกระทั่งความล้าที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าความแข็งแรงของวัสดุ และส่งผลทำให้เครื่องจักรกลเกิดการชำรุดได้ในที่สุด ตัวอย่างที่เคยเกิดขึ้นได้แก่กรณีการพังชำรุดของ Tacoma Narrow Bridge ที่ถูกแรงลมกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ และแรงลมดังกล่าวมีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของสะพานส่งผลให้สะพานเคลื่อนตัวอย่างรุนแรง เกิดความล้า และพังลงในที่สุด



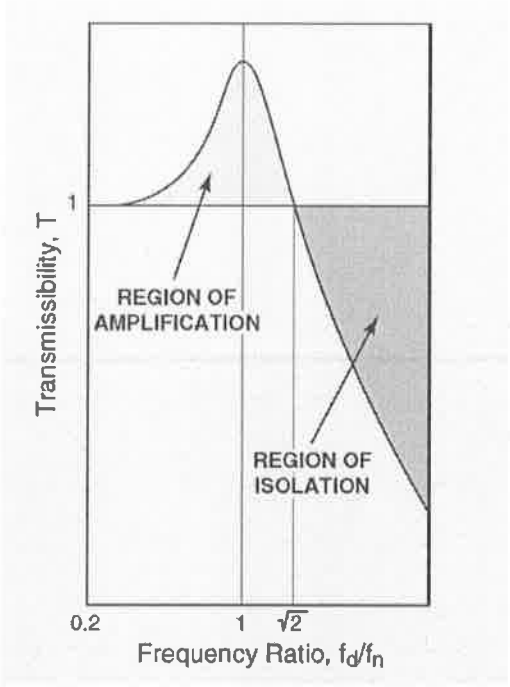
รูปที่ 6 การพังชำรุดของ Tacoma Narrow Bridge ที่เกิดจากปรากฏการณ์ Resonance

ดังนั้นหากพิจารณาในเรื่องของอัตราส่วนของแรงที่มากระทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (หรือในที่นี้คือการเคลื่อนที่) จะสามารถพิจารณาหาอัตราส่วนของแรงที่มากระทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของทั้งเครื่องจักรกลและฐานของตัวมันเองได้ ค่าอัตราส่วนของแรงนี้เรียกว่า Transmission Ratio (Transmissibility) ของระบบ และสามารถ Plot ขนาดอัตราส่วนของ Transmission Ratio ของระบบ (อัตราส่วนของการเคลื่อนที่) ดังกล่าวได้ดังในรูปที่ 7 โดยเป็นการ Plot อัตราส่วนของ Transmission Ratio ที่ $\frac{\omega}{\omega_n}$ มีค่าต่าง ๆ และค่า Damping Ratio (ξ) มีขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ศูนย์จนถึง 1.5



รูปที่ 7 ขนาดการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลในระบบ Absolute Motion

จากรูปที่ 7 นี้จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อระบบไม่มีตัวหน่วง (Damping Ratio, $\xi = 0$) Transmission Ratio จะมีค่าสูงมากเมื่อความถี่ของแรงที่มากระทำให้เครื่องจักรเกิดการสั่นสะเทือนมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ ($\frac{\omega}{\omega_n} = 1$) ปรากฏการณ์นี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า “Resonance” (ปรากฏการณ์กำธร) และเมื่อระบบเริ่มมีตัวหน่วงในระบบ ขนาดของ Transmission Ratio ที่ตำแหน่ง $\frac{\omega}{\omega_n} = 1$ จะลดลงตามขนาดของตัวหน่วง ยิ่งมีค่ามาก ขนาดของ Transmission Ratio ยิ่งน้อยลง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟทุก ๆ เส้นจะผ่านจุดที่อัตราส่วนระหว่างความถี่ของแรงที่มากระทำและความถี่ธรรมชาติของระบบมีค่าเท่ากับ 1.414 และหลังจากจุดนี้ไปแล้ว อัตราส่วนของ Transmission Ratio มีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ (แรงที่ส่งผ่านไปยังเครื่องจักรกลให้เกิดการสั่นสะเทือนมีค่าน้อยกว่าแรงที่ส่งมา หรือเครื่องจักรกลเคลื่อนที่น้อยกว่าฐานเคลื่อนที่ – เกิด Isolation) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการให้เกิดขึ้นในการใช้งานจริง ดังนั้นในการออกแบบจึงจะต้องออกแบบให้อัตราส่วนของ Transmission Ratio มีค่าน้อยกว่า 1 เท่านั้น และที่ช่วงของกราฟที่ Transmission Ratio มีค่าน้อยกว่า 1 นี้ เรียกว่า “Isolation Region” ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ย่านที่มีความถี่มากกว่า 1.414 เท่าของความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักรกล ($1.414 \times \omega_n$) เป็นต้นไป ในทางตรงกันข้ามย่านที่มีความถี่น้อยกว่า 1.414 เท่า ของความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักรกลค่า Transmission Ratio จะมีค่ามากกว่า 1 มาก ย่านนี้เรียกว่า “Amplifier Region” ซึ่งเป็นย่านที่ไม่ควรใช้งานเครื่องจักรกล (รูป 8)



รูป 8 Amplification Region และ Isolation Region [6.1]

4.2.2 หลักการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในหัวข้อที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อจะเลือกใช้ Isolator Mount สำหรับเครื่องจักรกลนั้น จะต้องทำให้ Transmission Ratio (Transmissibility) มีค่าน้อยกว่า 1 เพื่อให้อยู่ใน Isolation Region จาก [6.6] พบว่าสามารถกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการ Isolation และ Maximum Transmissibility เพื่อใช้ในการออกแบบได้ดังในตารางที่ 2

Isolation Efficiency (%)	Maximum Transmissibility	Required $\frac{\omega}{\omega_n}$
90	0.1	3.32
80	0.2	2.45
70	0.3	2.08
60	0.4	1.87
50	0.5	1.73
40	0.6	1.63
30	0.7	1.56
20	0.8	1.50
10	0.9	1.45
0	1.0	1.41

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Isolator Efficiency – Transmissibility [6.6]

ดังนั้นถ้าต้องการค่า Transmissibility ต่ำ ๆ ก็จะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพการ Isolation สูง ๆ ซึ่งก็จะส่งผลให้ต้องมีค่า $\frac{\omega}{\omega_n}$ ที่สูงตามไปด้วย ทำให้ต้องเลือกใช้ Isolator ที่จะทำให้ระบบมีค่าความถี่ธรรมชาติ (ω_n) ต่ำ ๆ เมื่อเทียบกับความถี่ของแรงที่มากระทำ (ω) และเพื่อให้ระบบอยู่ใน Isolation Region จะต้องทำให้เครื่องจักรกลของมีค่าความถี่ธรรมชาติ (อย่างน้อยที่สุด) มีค่าเท่ากับ 1.414 เท่าของความถี่ของแรงที่มากระทำ มิฉะนั้นระบบของจะไปอยู่ใน Amplifier Region

ในการคำนวณเพื่อหาค่าต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

ความถี่ธรรมชาติของระบบ (Natural Frequency) สามารถหาได้จากสมการ (3) คือ

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (3)$$

เมื่อ k คือค่า Stiffness ของระบบ (N/m)

m คือมวลของระบบเครื่องจักรกล (kg)

หรือหากรู้ความถี่ของแรงที่มากระทำ (Disturbing Frequency, ω in rad/s) ก็สามารถหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบได้จากสมการ (4) คือ

$$\omega_n = \frac{\omega}{1.414} \qquad (4)$$

ดังนั้นหากรู้ว่าแรงที่จะมากระทำกับเครื่องจักรกลที่กำลังออกแบบติดตั้ง Isolator Mount มีค่าความถี่ของแรงที่มากระทำ (Disturbing Frequency) ดังกล่าวอยู่ในย่าน 4 – 10 *rad/s* หรือประมาณ 25 – 60 Hz จะต้องทำให้ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักรกลมีค่าความถี่ธรรมชาติไม่เกิน 2.8 *rad/s* หรือ 17 Hz (4) เพื่อให้เกิดการ Isolation ขึ้นในระบบ การออกแบบดังกล่าวกระทำได้โดยนำค่าความถี่ธรรมชาติที่ต้องการ (ในที่นี้คือ 2.8 *rad/s*) ไปคำนวณกลับในสมการ (3) เพื่อหาค่า Stiffness ของระบบ (ค่ามวลของระบบเครื่องจักรกลสามารถหาได้จากคู่มือของบริษัทผู้ผลิต) เช่นหากเครื่องจักรกลมีน้ำหนักประมาณ 100 *kg* ดังนั้นค่า Stiffness ของระบบที่ต้องการจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (5) และมีค่าเท่ากับ 784 *N/m*

$$k = (\omega_n)^2 \times m \qquad (5)$$

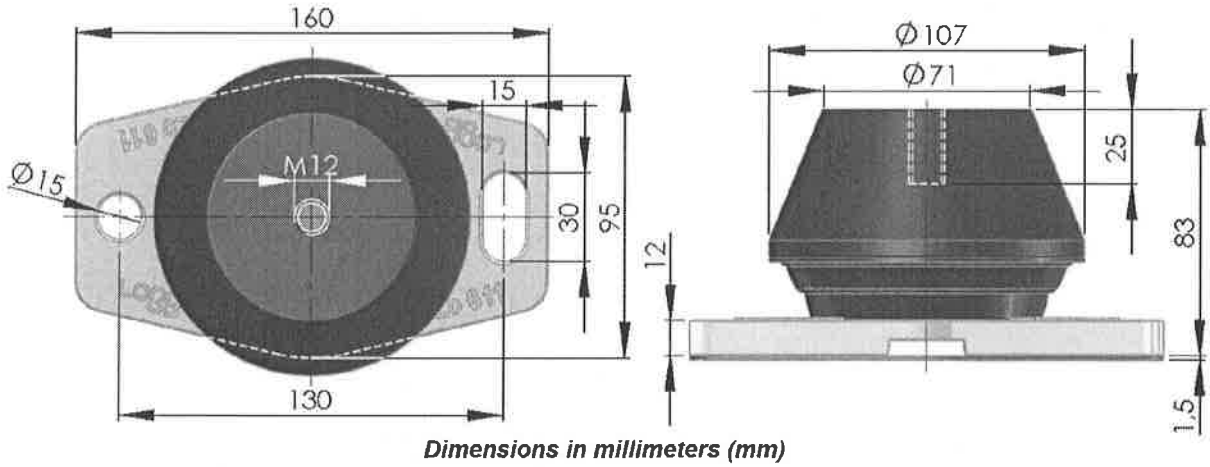
ดังนั้นจะได้ว่าค่าความถี่ของ Disturbing Frequency ที่น้อยที่สุด (ในกรณีที่มีหลาย ๆ ค่า) จะต้องมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบ เพื่อให้ระบบมีค่า Transmission Ratio น้อยกว่า 1 เพื่อให้ระบบอยู่ใน Isolation Region

<u>หมายเหตุ</u> ในการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount นี้ จะไม่นำค่า Damping มาร่วมในการคำนวณ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ Isolator Mount นี้มีค่า Damping Ratio รวมอยู่ด้วยแล้ว (ตารางที่ 1) สิ่งที่ต้องการคือหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ (ด้วยค่า Stiffness) เพื่อไปใช้ออกแบบให้ระบบอยู่ใน Isolator Region เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ของแรงที่มากระทำ

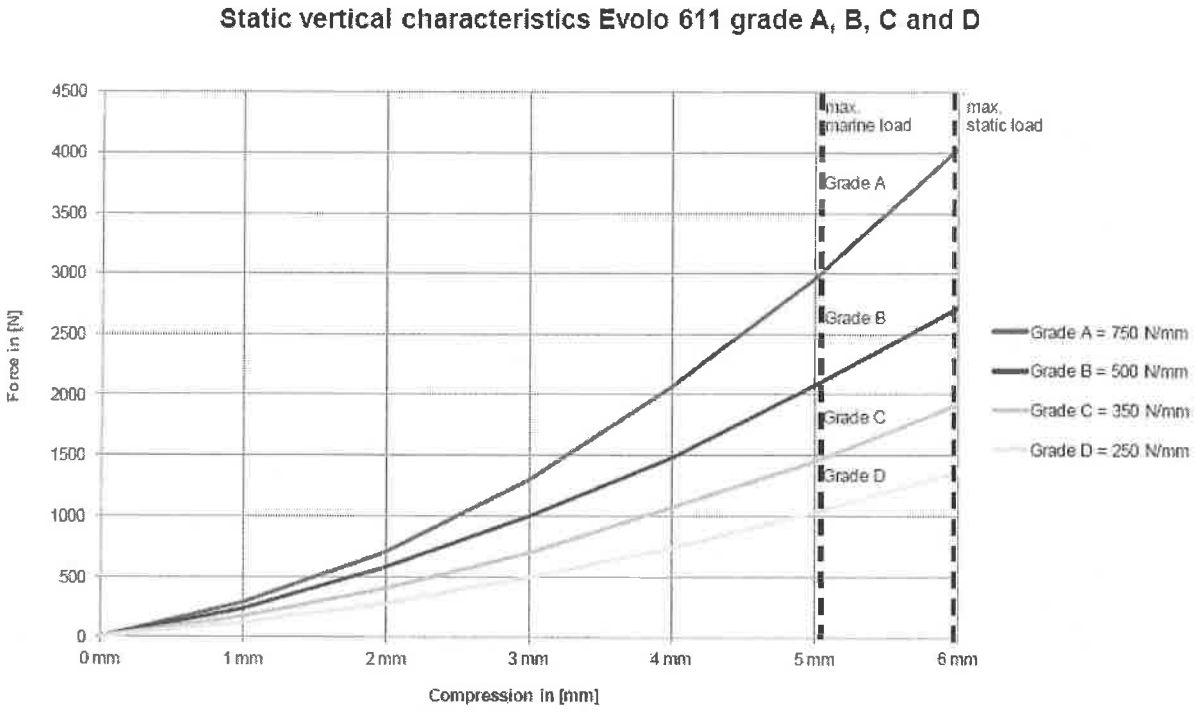
เมื่อได้ค่า Stiffness ของระบบมาแล้ว จะต้องพิจารณาหาว่า Isolation Mount ตัวใดที่มีค่า Stiffness ตรงหรือใกล้เคียงกับที่ต้องการ ก็เลือกใช้ Isolation Mount ดังกล่าวในระบบของต่อไป ปัญหาที่จะพบในการคำนวณก็คือบริษัทผู้ผลิต Isolator Mount มักจะไม่ให้ค่า Stiffness ของ Isolator Mount แต่จะให้ค่าขีดความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด (Maximum Load, $P_{\max}$ in N) ของ Isolator Mount และค่า Deflection (Δ) ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานแทน เช่นดังในรูปที่ 10

Isolator Mount Grade	Maximum Load (N)
A	4000
B	2750
C	1900
D	1300

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของ Isolator Mount [6.7]



รูป 9 ตัวอย่างของ Dimension ของ Isolation Mount [6.7]



รูปที่ 10 Static Vertical Characteristics ของ Isolator Mount Grade A, B, C และ D [6.7]

ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณหาค่า Stiffness ของ Isolator Mount โดยใช้สมการ (6) คือ

$$k = \frac{P_{\max}}{\Delta} \qquad (6)$$

4.2.3 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount

เครื่องจักรกลมีมวลเท่ากับ 1190 kg จะออกแบบให้ใช้ Isolator Mount จำนวน 6 ตัว โดยต้องการให้มีค่า Transmission Ratio ไม่น้อยกว่า 30% (Transmission Ratio > 0.3) และความถี่ของแรงที่จะมากระทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (Disturbing Frequency) มีค่าเท่ากับ 1200 rpm (125.66 rad/s หรือ 20 Hz)

ขั้นตอนที่ 1. คำนวณหาค่า Static Load ของแต่ละ Isolator Mount

ในขั้นแรกจะต้องคำนวณว่า Isolator แต่ละตัวจะรับน้ำหนักเท่าไร จากข้อมูลที่มี เครื่องจักรกลมีมวลเท่ากับ 1190 kg ใช้ Isolator Mount จำนวน 6 ตัว ดังนั้นเราสามารถคำนวณได้ว่า Isolator Mount แต่ละตัวจะรับน้ำหนักเท่าได้เท่าไร โดยคำนวณจาก

Isolator Mount แต่ละตัวจะรับน้ำหนัก = มวลของเครื่องจักร/จำนวน Isolator Mount

= 1190 ÷ 6

= 198.3 kg

Static Load (N) ที่เกิดขึ้นกับ Isolator Mount แต่ละตัว = มวล x อัตราเร่ง

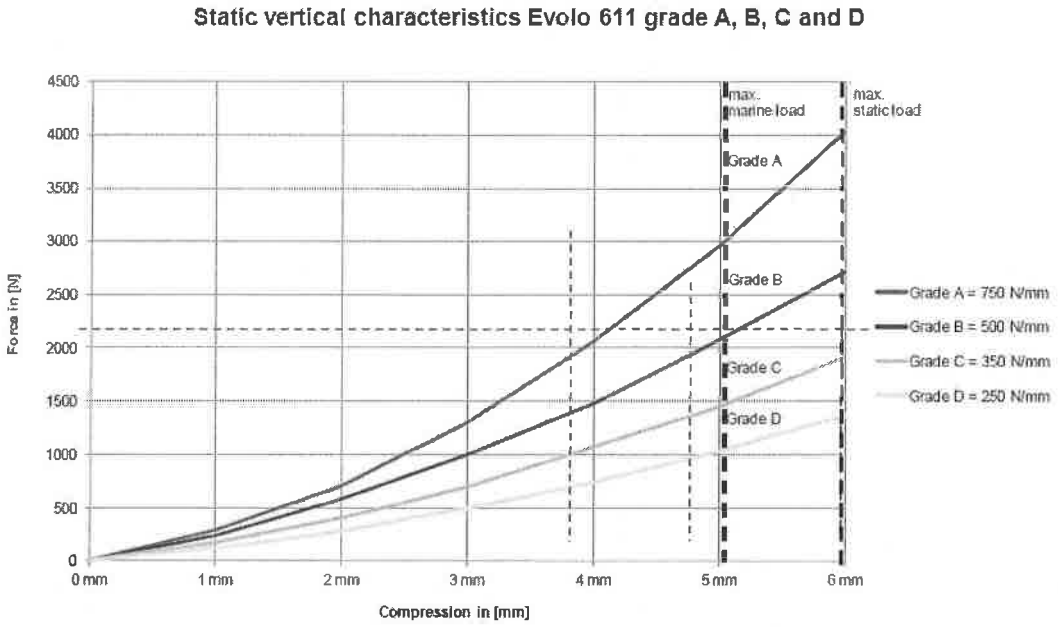
= 198.3 x 9.81

Static Load ที่เกิดขึ้นกับ Isolator Mount แต่ละตัว = 1945.7 N

ตรวจสอบ Maximum Load ที่ Isolator Mount สามารถรองรับใช้งานได้จากตารางที่ 3 พบว่า Isolator Mount Grade C และ D มีค่า Maximum Load ต่ำกว่า Static Load ที่จะเกิดขึ้น (1900 N และ 1300 N ตามลำดับ) จึงเหลือเพียง Isolator Grade A (4000 N) และ B (2750 N) เท่านั้น ที่สามารถใช้งานได้

ขั้นตอนที่ 2. จะเป็นการคำนวณเพื่อหาค่า Stiffness

จากผลการคำนวณที่ได้ จะนำค่าไปตรวจสอบค่า Deflection ของ Isolator Mount ว่าที่แรงเท่ากับ 1945.7 N จะเกิด Deflection เท่าไร (ดังรูปที่ 11) แล้วนำค่า Deflection ที่ได้ดังกล่าวไปคำนวณหาค่า Stiffness (k) ของ Isolator Mount โดยใช้สมการ (6) จะได้ค่า Stiffness สำหรับ Isolator Mount 1 ตัว จากนั้นจึงคำนวณหา Stiffness รวมของระบบโดยในการใช้งาน Isolator Mount นี้ เป็นการใช้งานแบบที่ Isolator Mount ต่อขนาน (Parallel) กันทั้งหมด ดังนั้นค่า Stiffness รวมสามารถคำนวณได้เท่ากับ 6 เท่าของ Stiffness 1 ตัว



รูปที่ 11 Static Deflection ของ Isolator Mount Grade A, B, C และ D ที่ Load ต้องการ

จากรูปที่ 11 จะพบว่า Isolator Mount Grade A ที่ Static Load เท่ากับ 1945.7 N จะมีค่า Compression เท่ากับ 3.80 $mm.$ และ Isolator Mount Grade B ที่ Static Load เท่ากับ 1945.7 N จะมีค่า Compression เท่ากับ 4.8 $mm.$ นำค่า Compression ของ Isolator ทั้ง 2 แบบไปแทนค่าในสมการ (6) ในส่วนของค่า Deflection และแทนค่า $P_{\max}$ ของ Isolator Mount แต่ละแบบจากตารางที่ 3 ก็จะได้ค่า Stiffness ของ Isolator Mount แต่ละแบบ

Isolator Mount Grade A Stiffness = $\frac{P_{max}}{\Delta}$

P_{max} ของ Isolator Mount Grade A = 4000 N

Δ ของ Isolator Mount Grade A = 3.80 $mm.$

= 0.0038 $m.$

Stiffness ของ Isolator Mount Grade A = 4000 ÷ 0.0038

= 1052631.58 N/m

ใช้ Isolator Mount จำนวน 6 ตัว

Total Stiffness Mount Grade A = 1052631.58 x 6

= 6315789.47 N/m

ด้วยการคำนวณแบบเดียวกันจะสามารถคำนวณค่า Stiffness ของ Isolator Mount Grade B ได้เท่ากับ 572916.67 N/m (2750 ÷ 0.0048) และจะได้ Total Stiffness Mount สำหรับ Grade B เท่ากับ 3437499.99 N/m (572916.67 x 6)

ขั้นตอนที่ 3. คำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของระบบ นำค่า Stiffness รวมที่คำนวณได้นี้ไปคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบโดยใช้สมการ (3) จะได้ความถี่ธรรมชาติของระบบออกมา ตรวจสอบดูว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่า Disturbing Frequency ที่จะเกิดขึ้นหรือไม่ หากต่ำกว่าจึงจะสามารถใช้งานได้ (อยู่ใน Isolation Region)

จากสมการ (3) $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

ความถี่ธรรมชาติของ Isolator Mount Grade A, ω_n = $\sqrt{\frac{6315789.47}{1190}}$

= 72.85 rad/s หรือ 11.59 Hz

และความถี่ธรรมชาติของ Isolator Mount Grade B, ω_n = 53.75 rad/s หรือ 8.55 Hz

ความถี่ของแรงที่จะมากระทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (Disturbing Frequency) มีค่าเท่ากับ 20 Hz (1200 rpm หรือ 125.66 rad/s) ซึ่งความถี่ธรรมชาติของ Isolator Mount Grade A และ B มีค่าต่ำกว่า สามารถนำไปใช้ลดขนาดการสั่นสะเทือนได้ (อยู่ใน Isolation Region)

ขั้นตอนที่ 4. คำนวณค่า Transmission Ratio ที่เกิดขึ้น

นำค่า Disturbing Frequency และ Natural Frequency ไปคำนวณหาค่า Transmission Ratio ของระบบโดยใช้สมการ (2) Isolator Mount ตัวใดให้ค่าเท่ากับหรือมากกว่าที่ต้องการ จึงจะเป็น Isolator Mount ที่สามารถนำมาใช้งานกับเครื่องจักรกลตามที่ออกแบบไว้ได้

จาก (4), $\frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{1}{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2}}$

โดย ω = 20 Hz (โจทย์กำหนด) และ ω_n ของแต่ละ Isolator Mount Grade จะได้ค่า Transmission Ratio $\left(\frac{X}{Y}\right)$ ของแต่ละ Isolator Mount เท่ากับ

Transmission Ratio ของ Isolator Mount Grade A, $\left(\frac{X}{Y}\right)_{\text{Grade A}} = \sqrt{\frac{1}{\left(1-\left(\frac{20}{11.59}\right)^2\right)^2}}$

$= 0.506$

และ Transmission Ratio ของ Isolator Mount Grade B, $\left(\frac{X}{Y}\right)_{\text{Grade B}} = 0.223$

จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า Isolator Mount Grade A จะให้ค่า Transmission Ratio สูงกว่า Grade B และค่า Transmission Ratio ของ Isolator Mount Grade A ผ่านเกณฑ์ตามที่ต้องการ (มากกว่า 30%) ดังนั้นในกรณีนี้จะใช้ Isolator Mount Grade A จำนวน 6 ตัว เพื่อติดตั้งร่วมกับเครื่องจักรที่มีน้ำหนัก 1190 kg ทั้งนี้ Isolator Mount Grade B ก็สามารถใช้งานได้**เพียงแต่ไม่ตรงตามความต้องการเท่านั้น** (Transmission Ratio < 30%) และจากตารางที่ 2 จะพบว่าที่ค่า Transmission Ratio (Transmissibility) เท่ากับ 0.5 ของ Isolator Mount Grade A จะมี Isolation Efficiency เท่ากับ 50% และค่า $\frac{\omega}{\omega_n}$ ประมาณ 1.73 ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ (20 ÷ 11.59 = 1.72) และสามารถสรุปค่าต่าง ๆ ได้ดังในตารางที่ 4 ดังนี้

Isolator Grade	A	B	C	D
Deflection (mm.)	3.8	4.8	5.9	-
Max Load (N)	4000.0	2750.0	1900.0	1300.0
Static Load (N)	1945.7	1945.7	1945.7	1945.7
Max Load > Static Load	Yes	Yes	No	No
Stiffness (N/m)	1052631.6	572916.7	-	-
Total Stiffness (N/m)	6315789.5	3437499.9	-	-
Total mass (kg.)	1190.0	1190.0	-	-
Natural Frequency (rad/s)	72.8	53.7	-	-
Natural Frequency (Hz)	11.6	8.6	-	-
Disturbing Frequency (rad/s)	125.7	125.7	-	-
Disturbing Frequency (Hz)	20.0	20.0	-	-
Disturbing Freq. > Natural Freq.	Yes	Yes	-	-
Transmission Ratio Required	>0.3	>0.3	-	-
Transmission Ratio	0.5	0.2	-	-
Selection	Yes	No	-	-

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณหาค่า Transmission Ratio ของ Isolation Mount

จากตัวอย่างที่แสดงนี้ สามารถสรุปขั้นตอนในการดำเนินการได้คือ

- กำหนด Transmission Ratio (TR) ที่ต้องการ (30%, 50% หรือ 90%) ซึ่ง TR ที่มากก็จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นอาจจะไม่จำเป็นต้องกำหนด TR ที่สูงเกินความจำเป็น

- หาค่า Disturbing Frequency ที่จะเกิดขึ้น โดยมากคือรอบการทำงานของเครื่องจักรที่อยู่ใกล้เคียง เช่น หากติดตั้งเครื่องจักรกลในห้องเครื่องจักรช่วยที่มีมอเตอร์ติดตั้งอยู่จำนวน 3 ตัว ทำงานที่ 1200 *rpm*, 1500 *rpm* และ 1800 *rpm* ดังนั้น Disturbing Frequency คือย่าน 1200 – 1800 *rpm* (20 – 30 *Hz*) เป็นต้น ในการคำนวณต้องใช้ค่าน้อยที่สุด ในกรณีนี้คือ 1200 *rpm* (20 *Hz*) ในการคำนวณ

- หาค่ามวลของเครื่องจักร

- เลือกจำนวน Isolator Mount ที่ต้องการใช้ (ใช้มากก็มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นตามมา)

- คำนวณแรงที่จะเกิดขึ้น (Static Load) ที่จะเกิดขึ้นบน Isolator Mount แต่ละตัวเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักร

- ตรวจสอบดูว่าแรงที่เกิดขึ้นไม่เกิน Maximum Load ที่ Isolator Mount แต่ละตัวสามารถใช้งานได้ (Maximum Load > Static Load)

- คำนวณค่า Stiffness ของ Isolator Mount หนึ่งตัว โดยใช้สมการ (5) หรือ (6)

- คำนวณค่า Total Stiffness ของ Isolator Mount ที่ใช้ทั้งหมด

- คำนวณค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ (Natural Frequency) โดยใช้สมการ (3) หรือ (4)

- ตรวจสอบดูว่าค่าความถี่ธรรมชาติของระบบต้องมีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดของ Disturbing Frequency ที่จะเกิดขึ้น หากยังมีค่าสูงกว่าต้องพิจารณาเลือก Isolator Mount ใหม่

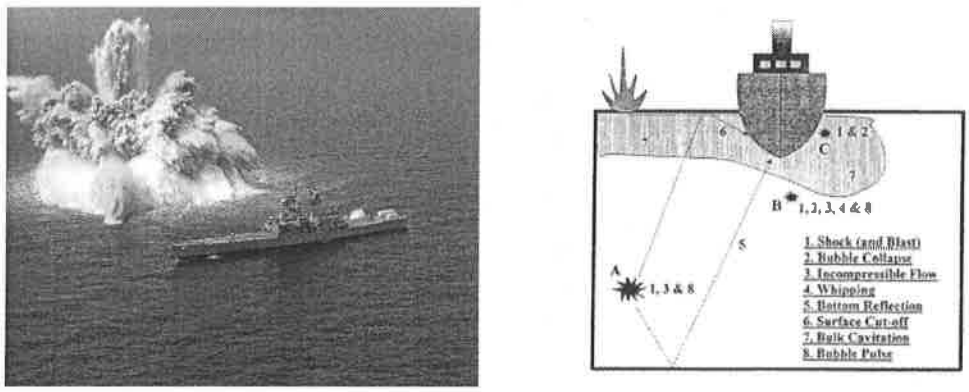
- คำนวณค่า Transmission Ratio ของระบบ โดยใช้สมการ (2) ซึ่งต้องไม่เกิน 1 เพื่อให้ระบบอยู่ในย่าน Isolation Region

- ตรวจสอบดูว่าค่า Transmission Ratio ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามค่าที่ได้ตั้งไว้ หากยังไม่ได้อาจจะต้องพิจารณาเลือก Isolator Mount ตัวใหม่ที่สามารถให้ค่า Transmission Ratio ตามที่ต้องการ

จากตัวอย่างการคำนวณในหัวข้อที่ 2 จะเห็นได้ว่าการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount มีวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก เพียงแต่ต้องตรวจสอบกลับไป – มา ระหว่างผลการคำนวณและคุณสมบัติของ Isolator Mount ที่เลือกใช้เพื่อให้ได้ Isolator Mount ที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ

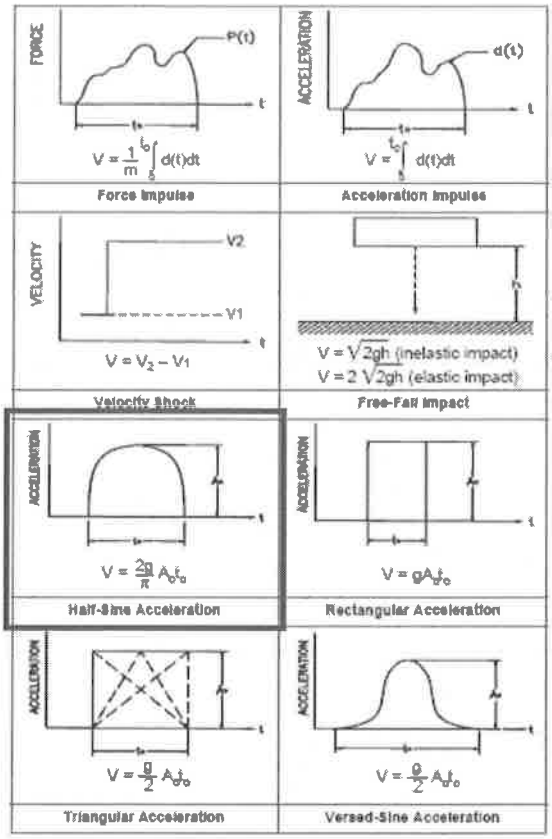
4.3 การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount

Shock Mount เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดการส่งผ่านแรงทั้งจากเครื่องจักรกลไปยังโครงสร้าง หรือลดแรงจากโครงสร้างไปยังเครื่องจักรกล เพื่อลดการสั่นสะเทือนเช่นเดียวกับ Isolator Mount แต่ Shock Mount แตกต่างจาก Isolator Mount ตรงขนาดของแรงที่ต้องการจะลดการส่งผ่าน ในขณะที่ Isolator Mount จะใช้งานเพื่อลดขนาดของแรงที่เกิดขึ้นโดยทั่ว ๆ ไป แต่ Shock Mount จะใช้เพื่อลดขนาดของแรงที่มีขนาดใหญ่ เช่น แรงระเบิดใต้น้ำ (Underwater Explosion) เป็นต้น การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount จึงมีความแตกต่างจากการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount อยู่บ้าง แต่โดยพื้นฐานแล้วยังคงเป็นเรื่องเดียวกัน เพียงแต่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของแรง Shock ที่มากระทำ ซึ่งจะมีค่าสูงมาก ๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะวัดขนาดของแรง Shock เป็นขนาดของอัตราเร่งที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรง Shock ต่อเวลา โดยจะนำอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมาหารอัตราเร่งดังกล่าวแล้วเรียกว่า “แรง G” เช่นมีแรง Shock มากระทำ 50 G หรือ 100 G เป็นต้น แรง Shock โดยทั่วไปจะทำในลักษณะเป็น Transient Load โดยมีช่วงเวลาในการกระทำเพียงสั้น ๆ แต่ขนาด (Magnitude) ของแรงที่มากระทำจะมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้โครงสร้างที่รองรับแรง Shock เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นอย่างรุนแรง เช่นการระเบิดใต้น้ำตามรูปที่ 1 จะมี Shock Wave มากระทำกับโครงสร้างของเรือ และโครงสร้างจะส่งผ่านแรงดังกล่าวไปยังส่วนต่าง ๆ เอกสาร [6.8] จะมีรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงระเบิดใต้น้ำที่จะส่งผลต่อเรือผิวน้ำ ทั้งนี้หากเครื่องจักรไม่ได้ติดตั้งอยู่บน Shock Mount ก็จะต้องรับแรง Shock ดังกล่าวไปโดยตรง เครื่องจักรเมื่อได้รับแรงก็จะเกิดการเคลื่อนที่ (การสั่นสะเทือน) กลับไป – มา ทำให้เกิดความล้า (Fatigue) ทำให้เกิดความเสียหายในที่สุด แต่หากเครื่องจักรติดตั้งอยู่บน Shock Mount ที่ได้รับการออกแบบมาให้ลดขนาดแรง Shock ที่จะส่งผ่านไปยังเครื่องจักรก็จะช่วยลดขนาดของการเคลื่อนที่ (การสั่นสะเทือน) ช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้



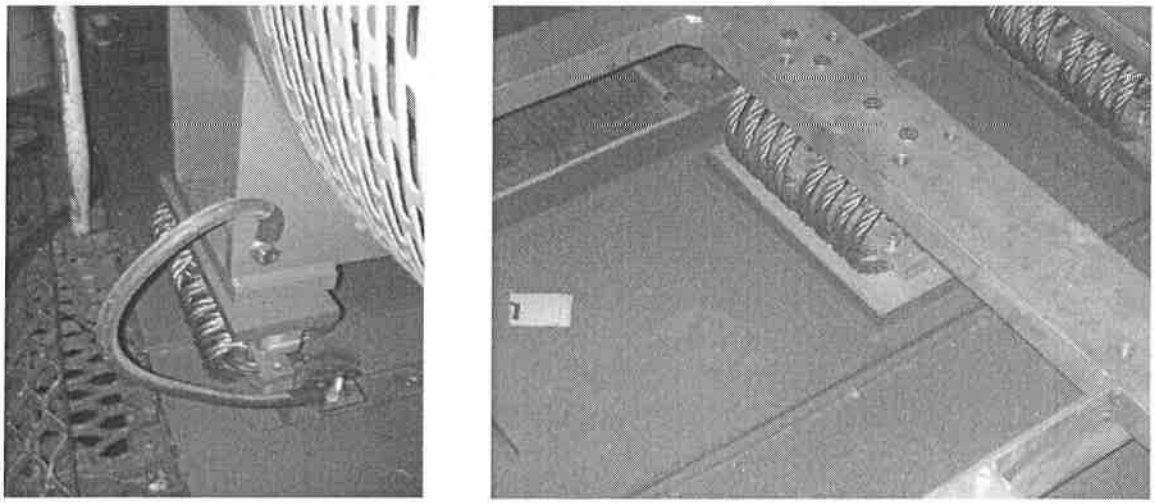
รูปที่ 12 แรง Shock ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระเบิดใต้น้ำ [6.8]

ในการคำนวณแรง Shock โดยทั่วไปมักจะพิจารณาว่าเป็น Pulse (Transient) หรือ Free–Fall Impact โดยปกติแล้วหากไม่ใช่ Free–Fall Impact ก็มักจะพิจารณาว่าแรง Shock จะอยู่ในรูปของกราฟ เช่น Half–Sine Wave หรือ Triangular Wave หรือ Rectangular Acceleration (รูปที่ 13) ทั้งนี้โดยมากแล้วนิยมใช้สมการของ Half–Sine Wave ในการคำนวณมากกว่ารูปแบบอื่น ๆ [6.9]



รูปที่ 13 ลักษณะโดยทั่วไปของ Shock Excitation [6.2]

แรง Shock ที่มีขนาดใหญ่นี้ Isolator Mount ธรรมดาทั่ว ๆ ไปจะไม่สามารถรองรับแรงขนาดนี้ได้ จำเป็นต้องใช้ Isolator Mount ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ เพื่อรองรับแรง Shock หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “Shock Mount” หรือ “Cable Mount” ซึ่ง Shock Mount ส่วนมากจะทำจากวัสดุที่เป็นโลหะ เช่น เหล็กถัก เป็นเส้นลวดแล้วขดเป็นวงสำหรับรองรับอุปกรณ์ ดังในรูปที่ 14 ซึ่งสามารถพบได้ในเรือของกองทัพเรือ เช่น เรือฟริเกต หรือเรือล่าทำลายทุ่นระเบิด



รูปที่ 14 การติดตั้ง Shock Mount หรือ Cable Mount บนเรือฟริเกต

4.3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount

ทฤษฎีพื้นฐานของการสั่นสะเทือนและการออกแบบ Shock Mount มีพื้นฐานเช่นเดียวกับ Isolator Mount ตามหัวข้อ 2.1 และเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ [6.1 – 6.6] โดยมีสมการที่เกี่ยวข้อง และสมการเพิ่มเติมสำหรับการออกแบบ Shock Mount ดังนี้

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของระบบสามารถหาได้จากสมการ (3)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{3}$$

เมื่อ k คือค่า Stiffness ของระบบ (N/m)

m คือมวลของระบบเครื่องจักรกล (kg)

f_n คือความถี่ธรรมชาติของระบบ (Hertz, Hz) คำนวณได้จาก $f_n = \frac{\omega_n}{2\pi}$

ค่า Stiffness ของระบบที่เราต้องการจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (5)

$$k = (\omega_n)^2 \times m \tag{5}$$

ในกรณีที่รู้ว่าจะมีภาระ (Load) หรือน้ำหนักสูงสุดมากระทำเท่าไร (Maximum Load, $P_{\max}$) และส่งผลให้เกิด Deflection (Δ) เท่าไร สามารถคำนวณหาค่า Stiffness ได้จากสมการ (6) คือ

$$k = \frac{P_{\max}}{\Delta} \tag{6}$$

เมื่อ P_{max} คือภาระหรือน้ำหนักสูงสุดที่มากระทำ (N)

Δ คือ Deflection ที่เกิดขึ้น (m)

ค่าแรง Shock ที่ส่งผ่าน (Transmitted Shock) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) [6.1] คือ

$$G_t = \frac{V(2\pi f_n)}{g} \tag{7}$$

เมื่อ G_t คือค่า Transmitted Shock ของระบบ (G)

V คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลเมื่อโดนแรง Shock มากระทำ (m/s)

f_n คือความถี่ธรรมชาติของระบบ (Hz)

g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

ค่า Dynamic Deflection (Δ_d) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8) [6.1] คือ

$$\Delta_d = \frac{V}{2\pi f_n} \qquad (8)$$

เมื่อ Δ_d คือค่า Dynamic Deflection ของระบบ (m) ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรง Shock Load มากระทำ

ในกรณีที่ใช้ Half-Sine Wave เป็นแรง Shock ที่กระทำกับระบบ สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้จากสมการที่ (9) [6.2] คือ

$$V = \frac{2g}{\pi} A_0 t_0 \qquad (9)$$

เมื่อ V คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลเมื่อโดนแรง Shock มากระทำ (m/s)

g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

A_0 คือขนาดของแรง Shock (Magnitude) (G)

t_0 คือช่วงเวลาที่แรง Shock มากระทำ (sec)

4.3.2 หลักการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount

หลักการในการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount จะแตกต่างจากวิธีการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount แต่หลักการพื้นฐานยังคงอ้างอิงจากทฤษฎีเดียวกัน ในการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount นั้นนอกจากจะต้องคำนวณเพื่อหาค่าพื้นฐานต่าง ๆ (Static Deflection, Static Stiffness, Natural Frequency) แล้วนั้นยังจะต้องคำนวณหาค่าพื้นฐานเหล่านี้ในขณะที่เกิดการเคลื่อนที่ด้วย (Dynamic Deflection, Dynamic Stiffness) โดยจะต้องกำหนดความต้องการต่าง ๆ ในการป้องกันแรง Shock ที่จะเกิดขึ้นสำหรับเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณเสียก่อน ในกรณีนี้จะนำมาตรฐาน STANAG 4142 Shock Resistance Analysis of Equipment for Surface Ships [6.10] (STANAG ย่อมาจาก Standardization NATO Agreement: STANAG) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในกลุ่ม North Atlantic Treaty Organization (NATO) เป็นค่ามาตรฐาน เนื่องจากเป็นมาตรฐานทางทหารเพียงฉบับเดียวที่มีอยู่ และมีข้อมูลเพียงพอสำหรับใช้ในการคำนวณ ส่วนมาตรฐานทางการทหารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Vibration และ Shock คือ

- MIL-STD-167-1A Mechanical Vibration for Shipboard Equipment (Type I – Environmental and Type II – Internally Excited)
- MIL-STD-901-D Shock Tests. H.I. (High-Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for

- Defence Standard 22-26 (NES 2026) Specification for the Type X Resilient Mount and the Leaf Spring Assembly of the Type Y Resilient Mount

- Defence Standard 22-27 (NES 2027) Specification for the Type Y Resilient Mount

มาตรฐาน MIL–STD–167–1A ของ ทร.สหรัฐ [6.11] มักจะใช้อ้างอิงในการกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์อยู่เสมอ ๆ โดยมาตรฐานนี้จะกล่าวถึงเกณฑ์การสั่นสะเทือนของสภาวะแวดล้อมที่อุปกรณ์จะถูกนำไปติดตั้ง และเกณฑ์การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายในเครื่องจักรกระทำให้เกิดการสั่นสะเทือน เกณฑ์ที่น่าสนใจจากมาตรฐานนี้ที่เกี่ยวข้องกับแรง Shock คืออุปกรณ์ที่จะติดตั้งอยู่กับเสากระโดงเรือ (Mast) จะต้องออกแบบให้สามารถรับแรง (Static Load) ได้อย่างน้อย 2.5 G ในแนวตั้ง (Vertical) และแนวขวาง (Transverse) สำหรับ MIL–STD–901–D [6.12] เป็นมาตรฐานที่กำหนดวิธีการในการทดสอบเพื่อให้อุปกรณ์ที่จะนำไปติดตั้งบนเรือรบของ ทร. สหรัฐมีความคงทนต่อแรง Shock ที่อาจจะเกิดขึ้นในสภาวะสงคราม โดยแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 Grade คือ

- Shock Grade A คือ อุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการปฏิบัติการรบของเรือ (Combat Capability)

- Shock Grade B คือ อุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นต่อการใช้ในการปฏิบัติการรบของเรือ แต่อาจจะส่งผลต่อบุคคล หรืออุปกรณ์ Grade A ได้

นอกจากนี้ยังแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 3 ระดับ (Class) ได้แก่

- Equipment Class I ได้แก่ อุปกรณ์ที่จะต้องผ่านข้อกำหนดในการรับแรง Shock โดยจะต้องสามารถติดตั้งอุปกรณ์บนโครงสร้างตัวเรือได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้ Shock Mount หรือ Isolator Mount หรือ Resilient Mount ร่วมในการติดตั้ง

- Equipment Class II ได้แก่ อุปกรณ์ที่จะต้องผ่านข้อกำหนดในการรับแรง Shock เมื่อติดตั้งอุปกรณ์บนโครงสร้างตัวเรือ โดยใช้ Shock Mount หรือ Isolator Mount หรือ Resilient Mount ร่วมในการติดตั้ง

- Equipment Class III ได้แก่ อุปกรณ์ที่จะต้องผ่านข้อกำหนดในการรับแรง Shock โดยจะใช้หรือไม่ใช้ Shock Mount หรือ Isolator Mount หรือ Resilient Mount ร่วมในการติดตั้งก็ได้

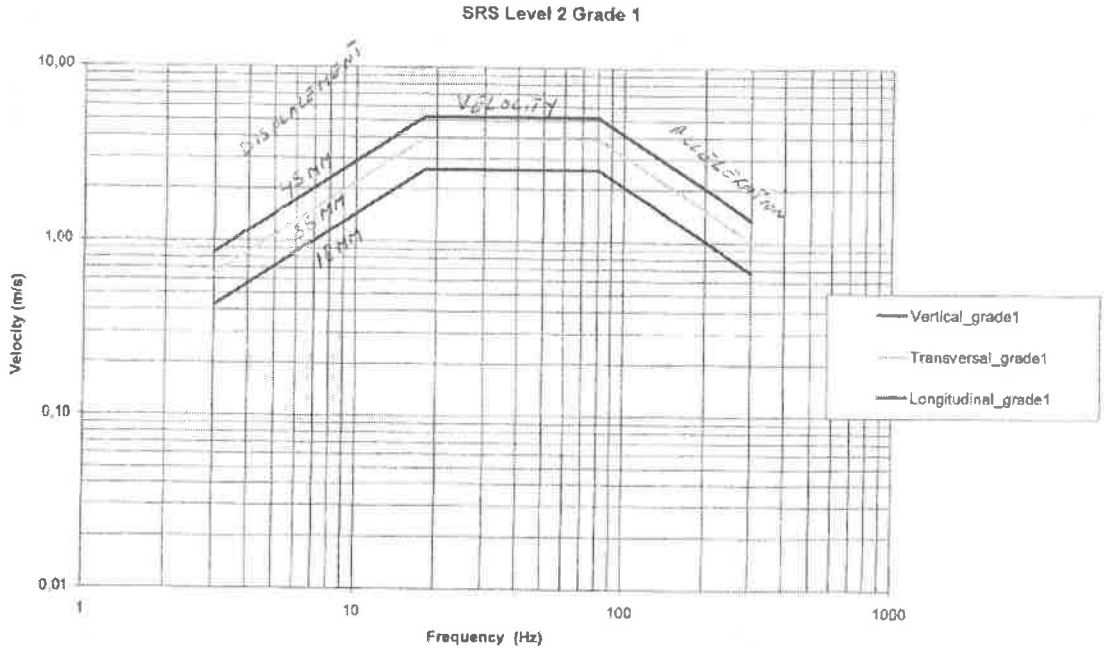
สำหรับมาตรฐาน Defence Standard เป็นมาตรฐานทางทหารของสหราชอาณาจักร (เรียกย่อว่า Def Stan) โดยมี Def Stan 22–26 และ 22–27 [6.13, 6.14] จะกล่าวถึงคุณลักษณะของ Resilient Mount (Isolator Mount และ Shock Mount) สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ทางทหาร ซึ่งสามารถนำมาใช้อ้างอิงในการกำหนดคุณลักษณะของ Shock Mount ได้

STANAG 4142 แบ่งเรือออกเป็น 5 “Shock Zone” (ผนวก ก.) ในการใช้งานจะต้องตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่จะติดตั้งตั้งอยู่ใน Shock Zone ใด (ปกติแล้วเครื่องจักรจะติดตั้งอยู่ที่ Shock Zone 1) สมมติว่าต้องการคำนวณเพื่อออกแบบ Shock Mount สำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งใน Shock Zone 1 (ซึ่งจะติดตั้งอยู่ในบริเวณส่วนล่างของเรือ รวมถึง Tank Top และ Ship Side ที่อยู่สูงไม่เกิน 1 เมตรจาก Design Waterline) จาก STANAG 4142 จะได้ข้อกำหนดตามตารางที่ 5 คือ

Direction	*m.*	*m/s*	m/s^2
Upward	0.045	8	3200
Downwards	0.035	4	1600
Transverse	0.035	4	1600
Longitudinal	0.018	2	800

ตารางที่ 5 ค่า Shock Zone 1 ตามมาตรฐาน STANAG 4142 [6.6]

และจากตารางดังกล่าวสามารถนำไปเขียนกราฟใน Monograph ได้ตามรูปที่ 15 เพื่อแสดง Shock Response Spectrum (SRS) (รายละเอียดเกี่ยวกับ SRS สามารถศึกษาได้จากเอกสาร [6.15]) ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีแรง Shock มากระทำตามมาตรฐาน STANAG 4142 คือ



รูปที่ 15 Shock Response Spectrum (SRS) Level 2 Grade 1 (Shock Zone 1) [6.16]

จากรูปที่ 15 จะเห็นได้ว่าในช่วงความถี่ต่ำตั้งแต่ 3 – 18 *Hz* กราฟจะมีลักษณะเฉียงขึ้น ซึ่งหมายความว่าหากความถี่ธรรมชาติที่คำนวณได้อยู่ในช่วงนี้จะถือว่าเป็น Displacement Shock การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นหลัก ในช่วง 18 – 80 *Hz* จะถือว่าเป็นช่วง Velocity Shock ความเร็วของการเคลื่อนที่เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นหลัก และในช่วงความถี่สูง ช่วง 80 – 30 *Hz* จะถือว่าเป็นช่วง Acceleration Shock ความเร่งของการเคลื่อนที่เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นหลัก

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า หากติดตั้งอุปกรณ์ที่บริเวณ Shock Zone 1 ตามมาตรฐาน STANAG 4142 แล้ว อุปกรณ์จะต้องทนแรง Shock ได้อย่างน้อย 320 *G* (3200/9.81) และจะต้องเกิด Dynamic Deflection ไม่เกิน 45 มิลลิเมตร (0.045 เมตร) และมีค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เหนือ Shock Mount ไม่เกิน 8 เมตร/วินาที ดังนั้น ในการคำนวณจะใช้ค่า 320 G เป็นแรง Shock (Input Shock) สำหรับการคำนวณในแนวตั้ง (Upward และ Downward) ส่วนในแนวขวาง (Transverse) ก็จะต้องใช้ค่า 160 *G*

เป็น Input Shock หรือในแนวตามยาว (Longitudinal) ก็จะต้องใช้ค่า 80 G เป็น Input Shock ในการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount หากอุปกรณ์ติดตั้งในตำแหน่งอื่น ๆ ก็พิจารณาเลือกใช้ค่า Input Shock ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ ทั้งนี้เอกสารอ้างอิง [6.17] กล่าวไว้ว่าโดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้งานทางการทหารมักจะต้องออกแบบให้สามารถรองรับแรง Shock ได้ถึง 25 G เป็นอย่างน้อย ซึ่งเมื่อตรวจสอบกับเอกสารการออกแบบระบบปรับอากาศของเรือฟริเกตชุด ร.ล.นเรศวร พบว่าผู้ผลิตได้ออกแบบให้สอดคล้องตามมาตรฐานของกองทัพเรือประเทศเนเธอร์แลนด์ (Dutch Navy Standard) ที่กำหนดให้ทนแรง Shock ได้ถึง 25 G เช่นเดียวกัน [6.18] (ผนวก ข.)

ในการคำนวณในเบื้องต้นจะใช้หลักการเดียวกับการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount ด้วยการคำนวณหาค่า Static Deflection ที่เกิดขึ้นกับ Shock Mount แต่ละตัว แล้วนำค่า Static Deflection ที่เกิดขึ้นไปตรวจสอบเพื่อดูว่า Shock Mount ที่เลือกมานั้นรองรับ Deflection ที่จะเกิดขึ้นโดยรวมได้หรือไม่ หากว่ารองรับได้ก็นำค่า Static Deflection ไปคำนวณหาค่า Static Stiffness แล้วนำค่า Static Stiffness นี้ไปคำนวณหาค่า Dynamic Stiffness โดยใช้ความสัมพันธ์ Dynamic/Static Ratio ที่ผู้ผลิต Shock Mount ต้องให้ข้อมูล เมื่อได้ Dynamic Stiffness ก็จะสามารถหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบได้ในที่สุด ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบนี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าต่าง ๆ (ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรง Shock มากระทำ หรือค่า Shock Deflection ที่เกิดขึ้น หรือค่า Transmitted Shock) โดยค่าเหล่านี้จะต้องตรวจสอบย้อนกลับกับมาตรฐาน STANAG 4142 เพื่อให้มั่นใจว่า Shock Mount ที่เลือกใช้สามารถป้องกันอุปกรณ์จากแรง Shock ที่จะเกิดขึ้น และไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

4.3.3 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount

สมมติว่าจะติดตั้งเครื่องจักรที่มีมวล 5126 กิโลกรัม โดยออกแบบให้ใช้ Shock Mount จำนวน 4 ตัว โดยจะติดตั้งให้สามารถรองรับแรง Shock ได้ตาม STANAG 4142 โดยบริเวณที่ติดตั้งอยู่ใน Shock Zone 1 จะมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้ (ตัวอย่างการคำนวณคิดในแนว Upward เท่านั้น เนื่องจากเป็นแนวที่มีน้ำหนักกดลงมากที่สุด เกิดการเคลื่อนที่สูงสุด และรับแรง Shock โดยตรง)

<u>ขั้นตอนที่ 1.</u> คำนวณหาค่า Static Load ของแต่ละ Shock Mount

จากมวลของเครื่องจักร และจำนวน Shock Mount ที่จะใช้งาน จะสามารถคำนวณได้ว่าแต่ละ Shock Mount ต้องรองรับ Static Load เท่าไร

เครื่องจักรมีมวล (m)	=	5126 kg
ออกแบบใช้ Shock Mount	=	4 ตัว
ดังนั้น Shock Mount แต่ละตัวจะรองรับ Static Load	=	5126 ÷ 4
	=	1281.5 kg

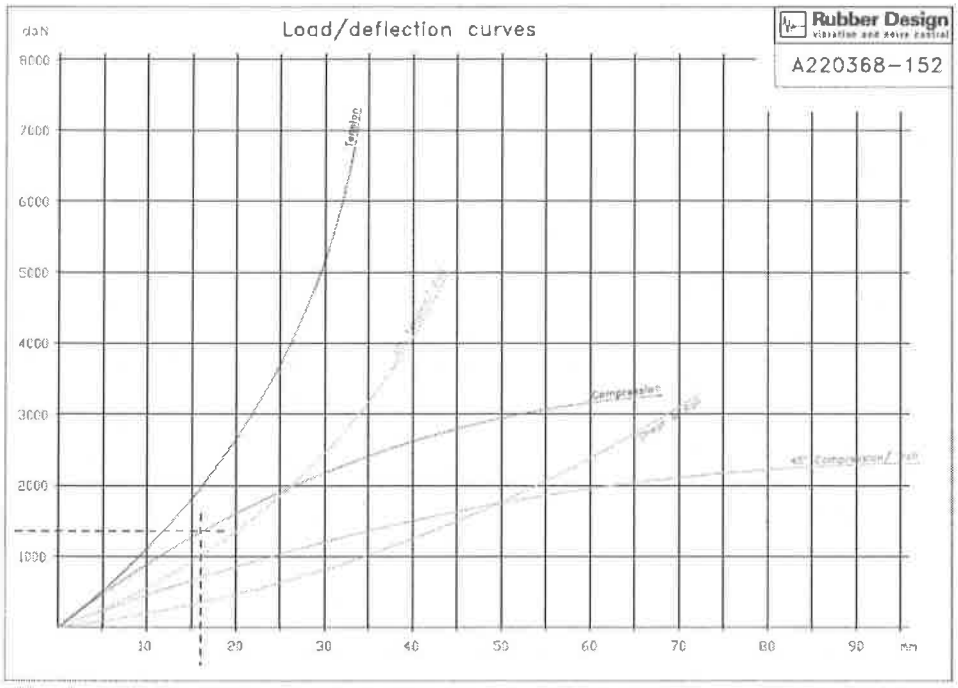
ในกรณีนี้เราเลือกใช้ Shock Mount แบบ Cable Mount ซึ่งมีข้อมูลตามตารางที่ 6 (สามารถหาได้จากบริษัทผู้ผลิต)

Load Mode: Compression	Rated Load at 10 Hz (kg)	Max. Static Load (kg)	Max. Dynamic Travel ($mm.$)	Ratio of Dyn./Stat.
Grade A	245	743	103	1.8
Grade B	420	966	75	1.8
Grade C	505	1290	68	1.8
Grade D	815	1416	51	1.8

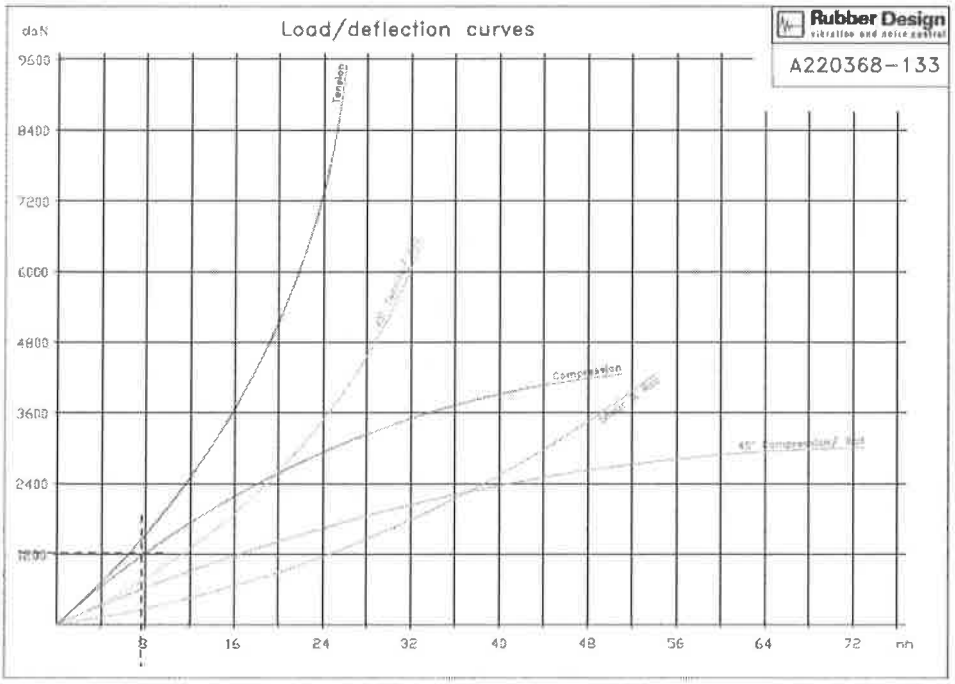
ตารางที่ 6 คุณลักษณะของ Shock Mount [6.16]

จากตารางที่ 6 เราจะเห็นได้ว่ามี Cable (Shock) Mount จำนวน 2 รุ่นที่สามารถใช้งานได้ คือ Cable (Shock) Mount Grade C (Max. Static Load = 1,290 kg) และ Grade D (Max. Static Load = 1,416 kg) ที่มีคุณสมบัติสามารถรองรับ Static Load ที่แต่ละ Cable (Shock) Mount ต้องรองรับ (1,281.5 kg)

อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องพิจารณาร่วมด้วยในกรณีนี้คือขนาดการเคลื่อนที่เมื่อมีแรง Shock มากระทำกับระบบ (Max. Dynamic Travel) จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า Cable (Shock) Mount Grade C มี Maximum Dynamic Travel เท่ากับ 68 มิลลิเมตร ในขณะที่ Grade D มี Maximum Dynamic Travel เท่ากับ 51 มิลลิเมตร เมื่อตรวจสอบ Load/Deflection Curve ของ Shock Mount ทั้งสองรุ่น (ขอได้จากผู้ผลิต) จะพบว่าที่น้ำหนัก 1,281.5 กิโลกรัม Cable (Shock) Mount Grade C จะเกิด Deflection เนื่องจากแรงกด (Compression) ประมาณ 15.7 มิลลิเมตร (รูปที่ 16) และ Grade D จะเกิด Deflection ประมาณ 7 มิลลิเมตร (รูปที่ 17)



รูปที่ 16 Load/Deflection Curve ของ Shock Mount Grade C [6.16]



รูปที่ 17 Load/Deflection Curve ของ Shock Mount Grade D [6.16]

ในการตรวจสอบว่า Cable (Shock) Mount Grade ใดที่จะสามารถใช้งานได้จะต้องนำขนาดการเคลื่อนที่ที่จะเกิดขึ้นตามมาตรฐานมาพิจารณารวมด้วย (เมื่อมีน้ำหนักกดลงที่ Shock Mount ทำให้เกิด Deflection และเมื่อมีแรง Shock มากระทำจะเกิดการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอีก) เมื่อนำมาตรฐาน STANAG 4142 ซึ่งกำหนดไว้ว่าเมื่อเกิดแรง Shock มากระทำกับระบบจะต้องเกิด Dynamic Deflection (Upward) ไม่เกิน 45 มิลิเมตรมาคำนวณร่วมด้วย (ตาราง 5) โดยจะพบว่า Cable (Shock) Mount Grade C จะเกิด Deflection

รวมทั้งสิ้นเท่ากับ 60.7 มิลิเมตร (45 + 15.7) ในขณะที่ Grade D จะเกิด Deflection รวมทั้งสิ้น 52 มิลลิเมตร (45 + 7) เมื่อนำค่าไปตรวจสอบกับคุณลักษณะเฉพาะของ Shock Mount ในตารางที่ 6 จะพบว่า Shock Mount Grade C มีค่า Maximum Dynamic Travel มากกว่าที่จะเกิดขึ้นจริง (68 > 60.7) สามารถใช้งานได้ แต่ Grade D มีค่า Maximum Dynamic Travel น้อยกว่าที่จะเกิดขึ้นจริง (51 < 52) จึงไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นในการเลือกใช้งานจะนำ Cable (Shock) Mount Grade C ไปใช้ในการคำนวณต่อไป

ขั้นตอนที่ 2. จะเป็นการคำนวณเพื่อหาค่า Static Stiffness และ Dynamic Stiffness

ในการหาค่า Static และ Dynamic Stiffness จะเริ่มจากหาค่า Mount Static Deflection โดยใช้สมการ (6)

จาก $k = \frac{P_{Max}}{\Delta}$ (6)

ในกรณีนี้ P_{Max} = 1281.5 x 9.81

= 12,571.52 N

Δ_{Static} = 0.0157 m.

เมื่อแทนค่าในสมการ (6) จะได้ค่า k_{Static} (Static Stiffness) ของ Shock Mount แต่ละตัวได้เท่ากับ

k_{Static} = $\frac{P_{Max}}{\Delta_{Static}}$

= 800,733.44 N/m หรือเท่ากับ 800.73 kN/m

จากตารางที่ 6 จะพบว่า Shock Mount มีค่าอัตราส่วนระหว่าง Dynamic/Static เท่ากับ 1.8 ดังนั้นเราจะสามารถคำนวณ Dynamic Stiffness, $k_{Dynamic}$ ของ Cable Mount แต่ละตัวได้เท่ากับ

$k_{Dynamic}$ = k_{Static} x Ratio of Dynamic/Static

= 800.73 x 1.8

= 1,441.31 kN/m

และเมื่อคำนวณ $k_{Dynamic}$ รวมทั้งระบบจะได้จากการนำจำนวน Shock Mount x $k_{Dynamic}$

= 4 x 1441.31

= 5,765.26 kN/m

ขั้นตอนที่ 3. เป็นการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ

ความถี่ธรรมชาติของระบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) โดยแทนค่า k ด้วย $k_{Dynamic}$ รวมของทั้งระบบ (5,765.26 kN/m) และ m เท่ากับ 5,126 กิโลกรัม จะได้ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ (ω_n) เท่ากับ

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{Total\ Dynamic}}{\mathrm{m}}}$$

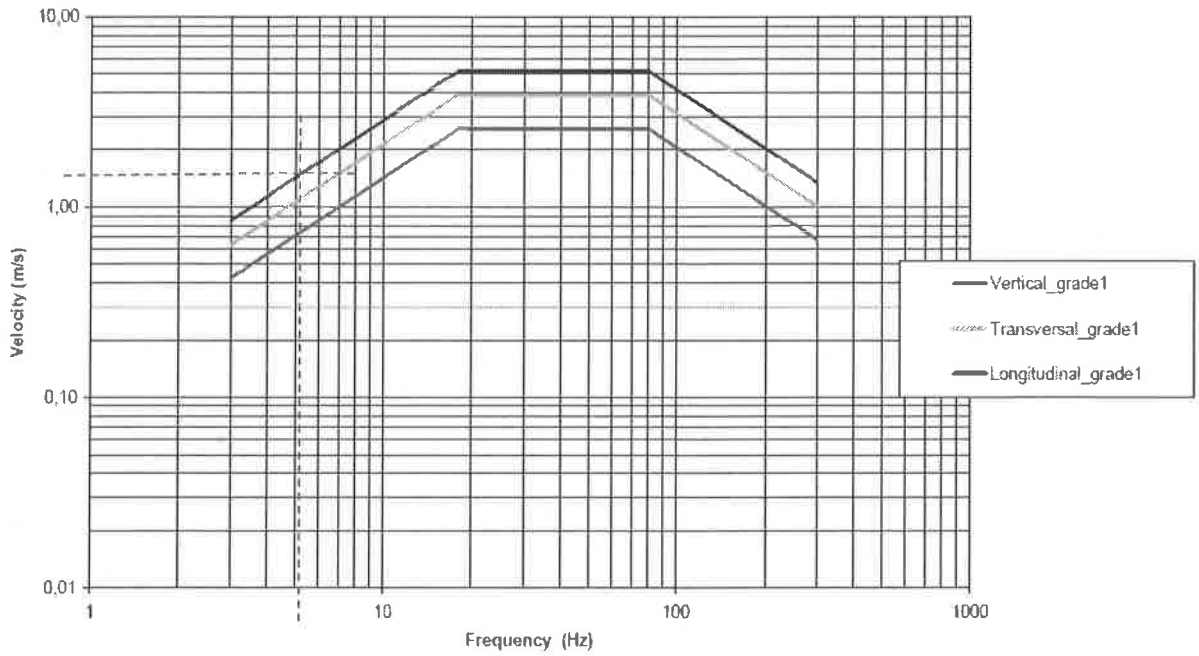
$$= 33.53\ rad/s$$

$$f_n = 5.33\ Hz$$

ขั้นตอนที่ 4. เป็นการตรวจสอบย้อนกลับเพื่อดูว่าระบบมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่

- **การหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่**

จากรูป 18 เราสามารถลากเส้นตั้งฉากกับแกน X ในตำแหน่งของความถี่เท่ากับ 5.33 Hz เมื่อไปตัดกับเส้น Vertical Grade 1 แล้วลากไปตัดกับแกน Y จะได้ค่าความเร็วเท่ากับ 1.5 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บน Cable Mount Grade C จะเกิดความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 5.33 Hz จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ 1.5 เมตร/วินาทีเหนือ Shock Mount ซึ่งผ่านตามที่กำหนดไว้ใน STANAG 4142 ที่กำหนดให้ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ Upward ไม่เกิน 8 เมตร/วินาที (ตารางที่ 5)



รูปที่ 18 Shock Response Spectrum (SRS) Level 2 Grade 1 (Shock Zone 1) [6.16]

ในกรณีที่ไม่มี SRS Curve ตามรูปที่ 18 เราจะสามารถคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ได้จากสมการของ Half-Sine Wave (สมการที่ 6) โดยจะต้องรู้ช่วงเวลาที่แรง Shock มากระทำกับอุปกรณ์ (t_0) จึงจะสามารถคำนวณได้โดยใช้ขนาดของแรง Shock (Magnitude) (A_0) เท่ากับ 320 G (ในการลองสมมติค่าต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความเร็วเท่ากับ 1.5 m/s จะได้ว่า t_0 จะมีค่าเท่ากับ 0.75 วินาที)

- **การหาค่า Dynamic Deflection**

จากข้อมูลถึงตอนนี้จะสามารถคำนวณได้ว่าเมื่อมีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 5.33 Hz และเกิดความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ 1.5 m/s เกิด Dynamic Deflection ขึ้นเท่าไรโดยใช้สมการ (8) ซึ่ง Dynamic Deflection จะมีค่าเท่ากับ

จาก (8), $\Delta_d = \dfrac{V}{2\pi f_n}$

$$\Delta_d = \frac{1.5}{2\pi(5.33)}$$

= 0.0447 เมตร (44.79 มิลิเมตร)

ซึ่งต่ำกว่าที่กำหนดไว้ใน STANAG 4142 (ไม่เกิน 45 มิลิเมตร) เช่นกัน

- **การหาค่า Transmitted Shock**

ขั้นตอนในการคำนวณหาว่าจะเกิดแรง Shock ส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ (Transmission Shock) เท่าไรสามารถคำนวณได้จากสมการ (7) ซึ่งจะได้เท่ากับ

จาก (7), $G_t = \dfrac{V(2\pi f_n)}{g}$

$$G_t = \frac{1.5(2\pi(5.33))}{9.81}$$

= 5.12 G

แสดงให้เห็นว่าเมื่อเราใช้ Cable (Shock) Mount Grade C จำนวน 4 ตัวจะสามารถลดขนาดแรง Shock ที่มากระทำกับเครื่องจักรที่ติดตั้งใน Zone 1 ลงเหลือเพียง 5.12 G เท่านั้น และยังเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน STANAG 4142 อีกด้วย (รองรับแรง Shock ได้ไม่น้อยกว่า 320 G)

จากผลการคำนวณสามารถสรุปค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

Shock Mount Grade	A	B	C	D
Max. Static Load (kg)	743	966	1290	1416
Max Dynamic Travel ($mm.$)	103	75	68	51
Static Load (kg)	1218.5	1218.5	1218.5	1218.5
Max Load > Static Load	No	No	Yes	Yes
Static Deflection ($mm.$)	-	-	15.7	7
STANAG 4142 (Upward) Deflection (mm.)	45	45	45	45
Total Deflection ($mm.$)	-	-	60.7	52
Total Deflection < Max Dynamic Travel	-	-	Yes	No
Static Stiffness (kN/m)	-	-	800.73	-
Dynamic/Static Ratio	1.8	1.8	1.8	1.8
Dynamic Stiffness (kN/m)	-	-	1441.31	-
Total Dynamic Stiffness (N/m)	-	-	5765.24	-
Total mass (kg)	5126	5126	5126	5126
Natural Frequency (rad/s)	-	-	33.53	-
Natural Frequency (Hz)	-	-	5.33	-
Velocity (m/s)	-	-	1.5	-
STANAG 4142 (Upward) Velocity (m/s)	8	8	8	8
Velocity < STANAG 4142 Velocity	-	-	Yes	-
Dynamic (Shock) Deflection ($mm.$)	-	-	44.79	-
STANAG 4142 (Upward) Deflection (mm.)	45	45	45	45
Shock Deflection < STANAG 4142 Deflection	-	-	Yes	-
Transmitted Shock (G)	-	-	5.1	-
STANAG 41421 Input Shock Load (G)	320	320	320	320
Transmitted Shock < STANAG 4142 Input Shock	-	-	Yes	-
Selection	-	-	Yes	-

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount โดยใช้เกณฑ์ STANAG 4142

จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าถ้าจะติดตั้งเครื่องจักรใน Shock Zone 1 เพื่อให้สามารถรองรับแรง Shock ได้ตามมาตรฐาน STANAG 4142 (0.045 $m.$, 8 m/s, 3200 m/s^2) จะต้องติดตั้งเครื่องจักรบน Shock Mount Grade C ซึ่งจะทำให้เกิด Shock Deflection เท่ากับ 0.04479 เมตร เครื่องจักรจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.5 เมตร/วินาทีเหนือ Shock Mount และลดขนาดแรง Shock ลงเหลือ 5.1 G ทั้งนี้หากคำนวณเพื่อเปรียบเทียบในแนวอื่น ๆ (Transverse และ Longitudinal) ก็จะใช้หลักการเดียวกัน

ในการคำนวณ โดยนำคุณลักษณะของ Shock Mount ที่จะใช้งานมาคำนวณและเปรียบเทียบตามที่ได้ทำมาแล้ว

จากตัวอย่างดังกล่าวสามารถสรุปขั้นตอนในการคำนวณได้ดังนี้

- กำหนดมาตรฐานที่จะใช้อ้างอิงในการคำนวณ (กรณีนี้คือ STANAG 4142)
- หาค่ามวลของเครื่องจักร
- เลือกจำนวน Isolator Mount ที่ต้องการใช้ (ใช้มากก็มีค่าใช้จ่ายมาก)
- คำนวณแรงที่จะเกิดขึ้น (Static Load) ที่จะเกิดขึ้นบน Isolator Mount แต่ละตัวเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักร
- ตรวจสอบดูว่าแรงที่เกิดขึ้นไม่เกิน Maximum Load ที่ Isolator Mount แต่ละตัวสามารถใช้งานได้ (Maximum Load > Static Load)
- คำนวณ Deflection (Static Deflection) ที่จะเกิดขึ้นบน Shock Mount แต่ละตัวเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักร
- นำค่า Deflection ที่คำนวณได้ไปรวมกับค่าตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อตรวจสอบดูว่า Shock Mount สามารถรองรับ Deflection รวมได้ (Total Deflection < Max. Dynamic Travel)
- คำนวณค่า Static Stiffness ของ Shock Mount หนึ่งตัว โดยใช้สมการ (3)
- คำนวณค่า Dynamic Stiffness ของ Shock Mount โดยใช้ Dynamic/Static Ratio ของ Shock Mount จากบริษัทผู้ผลิต แล้วคำนวณค่า Dynamic Stiffness รวมทั้งหมด
- คำนวณค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ (Natural Frequency) โดยใช้สมการ (1)
- นำค่าความถี่ธรรมชาติไปหาค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากกราฟ Shock Response Spectrum ของ STANAG 4142 หรือใช้สมการ (6) ตรวจสอบดูว่าความเร็วที่เกิดขึ้นไม่เกินที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน STANAG 4142 (Velocity < STANAG 4142 Velocity)
- คำนวณค่า Dynamic Deflection ของระบบ โดยใช้สมการ (5) ซึ่งต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน STANAG 4142 (Shock Deflection < STANAG 4142 Deflection)
- คำนวณค่า Transmitted Shock โดยใช้สมการ (4) ซึ่งจะต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน STANAG 4142 (Transmitted Shock < STANAG 4142 Input Shock)

จากตัวอย่างการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount จะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนที่สลับซับซ้อนกว่าการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount พอสมควร โดยเฉพาะการที่จะต้องตรวจสอบผลการคำนวณที่ได้กับคุณสมบัติของ Shock Mount ที่จะเลือกใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วคุณสมบัติของ Shock Mount มักจะไม่ได้รับจากผู้ผลิต Shock Mount หากไม่ได้ร้องขอ เช่นรูปที่ 16 และ 17 เป็นต้น ทั้งนี้ผู้ออกแบบจะต้องร้องขอข้อมูลของ Shock Mount ต่าง ๆ ที่จำเป็นจากบริษัทผู้ผลิตเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ

4.4 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount และ Shock Mount

จากตัวอย่างการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount ในหัวข้อที่ 2 และการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount ในหัวข้อที่ 3 จะเห็นได้ว่ามีพื้นฐานจากทฤษฎีเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันอยู่บ้างในส่วนของขั้นตอนการคำนวณ และตรวจสอบย้อนกลับ สามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้

หัวข้อ	การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount	การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Shock Mount
แนวคิดในการออกแบบ	• ออกแบบให้อยู่ใน Isolator Region	• ออกแบบให้ทนแรง Shock Input ได้ตามมาตรฐาน
มาตรฐานในการออกแบบ	• กำหนด % Isolation	• Military Standard
ข้อมูลที่ต้องคำนวณ	• เฉพาะค่าพื้นฐาน	• เพิ่มการคำนวณค่าพื้นฐานในช่วง Dynamic
ข้อมูล Mount ที่ใช้ในการคำนวณ	• Max Load • Load Deflection Curve	• Max Load • Load Deflection Curve • Max Dynamic Travel • Dynamic/Static Ratio
การตรวจสอบย้อนกลับ	• Deflection ที่เกิดขึ้นไม่เกินที่ Mount ออกแบบไว้ • % Isolation ได้เท่ากับหรือมากกว่าที่กำหนด	• Deflection ที่เกิดขึ้นไม่เกินที่ Mount ออกแบบไว้ และอยู่ในย่านที่มาตรฐานกำหนด • ความเร็วของการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรไม่เกินที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน • ทนแรง Shock ได้ตามมาตรฐาน

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolator Mount และ Shock Mount

4.5 สรุป

การคำนวณเพื่อเลือกใช้ Isolation และ Shock Mount สำหรับเครื่องจักรกลที่แสดงให้เห็นในหัวข้อที่ 2 และ 3 เป็นวิธีการคำนวณเบื้องต้นเพื่อให้สามารถเลือกใช้ Isolation Mount หรือ Shock Mount ได้ถูกต้องตามหลักการทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามเมื่อสามารถคำนวณตามทฤษฎีได้แล้ว ผู้ออกแบบยังจะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของเครื่องจักร และอุปกรณ์ Isolation Mount และ Shock Mount เกี่ยวกับสภาวะการใช้งาน สภาพการใช้งาน พื้นที่ในการติดตั้ง ฯลฯ แล้วนำมาวิเคราะห์ และออกแบบให้เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบที่ติดตั้ง Isolation Mount หรือ Shock Mount จะสามารถใช้งานได้จริง โดยปกติแล้วบริษัทผู้ผลิตจะจัดหา Isolation Mount หรือ Shock Mount มาพร้อมกับอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการติดตั้งอยู่แล้ว วิธีการการคำนวณนี้จะช่วยให้สามารถตรวจสอบได้ว่า Isolation Mount หรือ Shock Mount ที่ส่งมาพร้อมกับเครื่องจักรนั้น จะสามารถรองรับการใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ (ใช้ Isolate หรือป้องกันแรง Shock ได้ผล – ใช้แล้วระบบอยู่ใน Isolation Region ไม่ใช่อยู่ใน Amplifier Region – ป้องกันแรง Shock ได้อย่างน้อย 25 G หรือมากกว่า ฯลฯ) รวมทั้งตรวจสอบได้ว่า Isolation Mount หรือ Shock Mount มีขนาดและคุณสมบัติที่เหมาะสม (ติดตั้งได้ในสถานที่จริง สามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมนั้นได้) เพื่อให้การออกแบบติดตั้งเครื่องจักรในเรือของกองทัพเรือสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

4.6 ผนวก ก. STANAG 4142 Shock Resistance Analysis of Equipment for Surface Ships

- A ship is divided into 5 "Shock Zones"
- "Shock Zone 0"; unsupported hull plating up to 1 m above water line.
- "Shock Zone 1"; ship bottom structure including tank top and ship side to 1 m above design waterline.
- "Shock Zone 2"; lower deckes and bulkheads, main bulkheads as well as ship side above 1 m. from design waterline.
- "Shock Zone 3"; decks and smaller bulkheads, more than 2 m. from waterline, and superstructure.
- "Shock Zone 4"; the mast.

Shock levels relating to the Flexible Support Ship

For "Shock Zone 0" NMC is to be consulted

For "Shock Zone 1" the following NS(m. m/s, m/s2) values shall be used:

Upward direction	NS(0.045; 8; 3200)
Downwards	NS(0.035; 4; 1600)
Transverse direction	NS(0.035; 4; 1600)
Longitudinal direction	NS(0.018; 2; 800)

For "Shock Zone 2"

Upward direction	NS(0.050; 6; 1000)
Downwards	NS(0.035; 3; 500)
Transverse direction	NS(0.035; 3; 500)
Longitudinal direction	NS(0.018; 1.5; 250)

For "Shock Zone 3"

Upward direction	NS(0.056; 4; 630)
Downwards	NS(0.035; 2; 320)
Transverse direction	NS(0.035; 2; 320)
Longitudinal direction	NS(0.018; 1; 160)

For "Shock Zone 4" NMC is to be consulted

The Explosion Shock Test level can go up to 48% levels mentioned above

Larged rigidly mounted masses reduce the shock movements. For rigidly mounted rigid compartments from 1 ton to 20 ton in weight the acceleration will be multiplied with a factor = weight in ton raised to:

for "Zone 1" -0.56 power...

4.7 ผนวก ข. มาตรฐานการกำหนดแรง Shock ตาม Dutch Navy Standard

SPECIFICATION OF THE AIRCONDITIONING AND MECHANICAL VENTILATION ON TWO THAI NAVY VESSELS AT ZHONGHUA SHIPYARD

The main equipment consist of three (3) chilled water units eight (8) central airconditioning units suitalbe for connection to a medium pressure circular or rectangular duct system.

Design conditions:

Summer:	Outside	: 35°C ~ 70% R.H.
	Inside	: 25 to 26°C at 45/55% R.H.
Seawater temperature		: 32°C to 35°C
Fresh air		: in balance with air exhaust systems with a minimum of 25 to 30 m3/hr/person
Occupancy		: 172 persons
Heating		: not required
Classification		: General requirementws for Dutch Navy standards with shockproof construction for 25 g.
Power supply		: Main power : 380V - 50Hz - 3 phase Controls : 220V - 50Hz - 1 phase

1.1 The frigate consists decks 03, 02, 01, 1, 2, 3 and 4. Worksrooms, accommodation and aggregate rooms are arranged on each deck, without doors and windows to outside.
The airconditioning system is provided for worksrooms and accommodation. No heating is provided.

Three (3) sets of packaged water chilled units with refrigerating equipment for R-22 have been supplied. One set is located in water system is connected to the coolers of eight (8) central airconditioning units, a number of fan coil units for compartments with high heat load and to gravity coils in ammunition spaces.

การแจกจ่าย

หน่วย	จำนวนเล่ม	เลขทะเบียน
กร.		
กผช.กร.	1	
กพช.อร		
จก.กพช.อร.	1	
ผ.วิชาการ กวจพ.กพช.อร.	1	
ห้องสมุด กวจพ.กพช.อร.	3	
กคภ.กพช.อร.	2 (รวมต้นฉบับ)	
กผช.อร.		
กผงร.กผช.อร.	1	
กอร.กผช.อร.	1	
กอจ.กผช.อร.	1	
กอฟ.กผช.อร.	1	
อธบ.อร.		
กผป.อธบ.อร.	1	
อจปร.อร.		
ห้องสมุด อจปร.อร.	1	
กผป.อจปร.อร.	1	
กคภ.อจปร.อร.	1	
กชส.อจปร.อร.	1	
กรก.อจปร.อร.	1	
กรล.อจปร.อร.	1	
กบต.อจปร.อร.	1	
อรม.อร.		
กผป.อรม.อร.	1	
กคภ.อรม.อร.	1	
กรก.อรม.อร.	1	
กรล.อรม.อร.	1	
กฟฟ.อรม.อร.	1	
กรง.ฐท.สส.		
กผกช.กรง.ฐท.สส.	1	
กงน.กรง.ฐท.สส.	1	
ฐท.สข.ทรภ.๒		
กงน.ฐท.สข.ทรภ.๒	1	

หน่วย	จำนวนเล่ม	เลขทะเบียน
ฐท.พง.ทรภ.๓		
กงน.ฐท.พง.ทรภ.๓	1	