



# วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2562

ISSN 2586-971X

Royal Thai Naval Academy Journal of Science and Technology

Vol.2 Issue 1, August 2019

## บทความวิจัย

1. Power Performance Prediction for Nonlinear Waves in Shallow Water  
นาวาเอก ผศ.दनัย ปฎิยทุธ
2. Coastal Unmanned Surface Vehicle (USV) Conceptual Hull Design Study  
นาวาตรี ศราวุธ ศรีนาแก้ว
3. Tsunami Propagation in the Gulf of Thailand  
นาวาโท พิเชษฐ์ บัวเฮงทรัพย์

## บทความวิชาการ

4. การสั่นสะเทือนของเรือ  
Ship Vibration  
นาวาเอก ผศ.วัฒนา น้อยทอง
5. ภูมิแพ้กรุงเทพ  
PM 2.5  
นาวาโทหญิง จุฑามาศ พบสุข
6. เสียงเรือ  
Ship Noise  
นาวาโท อัศนัย ไทรบุญจันทร์
7. การประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์เพื่อสนับสนุนการวางแผนทางทหาร ด้วยโปรแกรม WADER  
Evaluation of SONAR Performance to Support Military Planning by WADER Program  
นาวาโท ศิริวัฒน์ ศิริวัฒน์กุล
8. วิธีลดผลกระทบต่องานติดตั้งระบบขับเคลื่อนเรือในขั้นตอนการประกอบบล็อกท้ายเรือ  
Methods to Minimize Effects on Propulsion Installation for the Erection of Stern Blocks  
นาวาโท นภดล ต้นวัฒนะ



## คณะที่ปรึกษาวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พลเรือโท สุชา เคี่ยมทองคำ

พลเรือตรี ชนินทร์ ผดุงเกียรติ

พลเรือตรี สายัณห์ ไอยรารัตน์

พลเรือตรี สมพงษ์ ภูเวียง

พลเรือตรี สุขจิต นาวิสุรพล

พลเรือตรี วีรยุทธ ตุลาวรรณะ

ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ

รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ

รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ

เสนาธิการโรงเรียนนายเรือ

หัวหน้าฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ

ศาสตราจารย์ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ

## บรรณาธิการ

นาวาเอก สมมาตร ภูกระเป๋

ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

## กองบรรณาธิการ (ภายใน)

นาวาเอกหญิง สุวรรธณ ลิ่มสัมพันธ์

นาวาเอกหญิง รศ.ศิริรัตน์ บุญโสภณ

นาวาเอก สิทธิรักษ์ พรหมณีย์

นาวาเอก ผศ.दनัย ปฏิยุด

ผู้อำนวยการกองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

รองศาสตราจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

รองผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

## กองบรรณาธิการ (ภายนอก)

นาวาเอก บงกช สโมสร

นาวาเอก ณ์ฐพล บุญมาทัต

นาวาเอก สมบูรณ์ นุชทองม่วง

นาวาเอก ฐิติพงษ์ จินพงษ์

นาวาเอก ฉัตรชัย เหลืองทองคำ

นาวาโท ธรนกร ธาราเวชรักษ์

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ กาญจนหลัทัย มหาวิทยาลัยรังสิต

รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รง ภูพวงไพโรจน์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ โคจิศุภกร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดร.ไพบูลย์ ย้อยหยด มหาวิทยาลัยรังสิต

ดร.สมบูรณ์ สุขสารท มหาวิทยาลัยรังสิต

ดร.ไพศาล งามจรรยาภรณ์ มหาวิทยาลัยรังสิต



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีแก่ผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานและบทความวิจัยที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่ ปีละ 1 ฉบับ

## สถานที่ติดต่อ

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
โรงเรียนนายเรือ เลขที่ 204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270  
โทรศัพท์ : 0-2475-3992 โทรสาร : 0-2475-3994  
E-mail: rtna.edu.ee@gmail.com

## ออกแบบ-พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ก้อนเมฆ  
35/151 ม.1 ถ.ท่าน้ำ ช.บางศรีเมือง 41 ต.บางศรีเมือง อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000  
โทร. 0-2886-7971, 08-978-53650 โทรสาร : 0-2446-3722  
E-mail: chawin009@hotmail.com

บทความหรือข้อคิดเห็น ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน โรงเรียนนายเรือและกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

# สารบัญ

## บทความวิจัย

1. Power Performance Prediction for Nonlinear Waves in Shallow Water ..... 4  
นาวาเอก ผศ.दनัย ปฎิยทุท
2. Coastal Unmanned Surface Vehicle (USV) Conceptual Hull Design Study ..... 10  
นาวาตรี ศราวุธ ศรีนาแก้ว
3. Tsunami Propagation in the Gulf of Thailand..... 26  
นาวาโท พิเชษฐ์ ป้วเฮงทรัพย์

## บทความวิชาการ

4. การลั่นสะเทือนของเรือ..... 39  
Ship Vibration  
นาวาเอก ผศ.วัฒน์ น้อยทอง
5. ภูมิแพ้กรุงเทพ ..... 48  
PM 2.5  
นาวาโทหญิง จุฑามาศ พบสุข
6. เสียงเรือ ..... 56  
Ship Noise  
นาวาโท อัศนัย ไทรบุญจันทร์
7. การประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์เพื่อสนับสนุนการวางแผนทางทหาร ด้วยโปรแกรม WADER ..... 68  
Evaluation of SONAR Performance to Support Military Planning by WADER Program  
นาวาโท ศิริวัฒน์ ศิริวัฒนกุล
8. วิธีลดผลกระทบต่องานติดตั้งระบบขับเคลื่อนเรือในขั้นตอนการประกอบบล็อกท้ายเรือ..... 81  
Methods to Minimize Effects on Propulsion Installation for the Erection  
of Stern Blocks  
นาวาโท นภดล ต้นวัฒนนะ

# บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับนี้เป็นฉบับที่สองจัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ บทความวิจัย และบทความวิชาการ ในด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีของนักวิจัย คณาจารย์โรงเรียนนายเรือ ตลอดจนคณาจารย์และนิสิตนักศึกษาของสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการยกระดับผลงานทางวิชาการ ของโรงเรียนนายเรือ ให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

ในฉบับนี้มีบทความวิจัยที่น่าสนใจ จำนวน 3 บทความ ได้แก่ บทความวิจัยของ นาวาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดนัย ปฎิยุทธ์ ได้เสนอการนำทฤษฎี Stokes มาวิเคราะห์และทำนายคุณลักษณะต่าง ๆ ของคลื่นแบบ Nonlinear ในพื้นที่น้ำตื้น บทความวิจัยต่อมา นาวาตรี ศราวุธ ศรีนาแก้ว ได้เสนอแนวทางการออกแบบส่วนลำตัวของยานผิวน้ำไร้คนขับใกล้ฝั่ง (USV) ที่มีความคงทนต่อสภาวะของคลื่นในทะเล และบทความวิจัยของ นาวาโท พิเชษฐ์ บัวเฮงทรัพย์ ได้เสนอการศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิในพื้นที่อ่าวไทย นอกจากนี้ในฉบับยังมีบทความวิชาการที่น่าสนใจอีก 5 บทความ ได้แก่ บทความวิชาการของ นาวาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัฒนา น้อยทอง ได้เสนอสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของเรือและวิธีการลดการสั่นสะเทือนของเรือที่สร้างเสร็จแล้ว เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อระบบขับเคลื่อนของเรือ โครงสร้างเรือและอุปกรณ์ที่อยู่ในเรือ บทความวิชาการของ นาวาโทหญิง จุฑามาศ พบสุข ได้เสนอปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการด้านอนุกรมวิธาน ที่ส่งผลให้เกิดฝุ่น PM 2.5 และแนวทางการป้องกันในการดูแลสุขภาพ บทความวิชาการของ นาวาโท อัครชัย ไทรบุญจันทร์ ได้เสนอปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเสียง ของเรือ ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อการใช้งานเรือ บทความวิชาการของ นาวาโท ศิริวัฒน์ ศิริวัฒนกุล ได้เสนอการนำโปรแกรม WADER มาประเมินประสิทธิภาพการทำงานของโซนาร์ เพื่อสนับสนุนการวางแผนปฏิบัติการทางเรือให้ประสบความสำเร็จ และบทความวิชาการของ นาวาโท นกตล ตันวิฒนะ ได้เสนอวิธีลดผลกระทบของความคลาดเคลื่อนในบล็อกท้ายเรือต่อการติดตั้งระบบขับเคลื่อนเรือ ซึ่งจะช่วยให้การทำงานของระบบขับเคลื่อนเรือเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่ง วารสารวิชาการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านทุกท่าน และหากมีข้อเสนอแนะที่จะเป็นประโยชน์ ต่อการจัดทำวารสารวิชาการฉบับต่อ ๆ ไป กองบรรณาธิการยินดีรับคำแนะนำจากทุกท่าน เพื่อการพัฒนาคุณภาพของวารสารวิชาการ โรงเรียนนายเรือ

นาวาเอก สมมาตร กุบกระเป๋  
บรรณาธิการวารสารวิชาการ โรงเรียนนายเรือ  
ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



# Power Performance Prediction for Nonlinear Waves in Shallow Water

## Capt.Asst.Prof. DANAI PATIYOOT

Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy,  
204Sukhumvit Road, Paknam, Muang, Samutprakran, 10270, THAILAND

### Abstract

This paper looked at the power performance of wave with nonlinear characteristics in shallow water using wave theory of Stokes. The result showed that wave power was proportional to wave period for Stoke's theory, both for wave height and wave depth varied.

**Keywords:** Renewable energy, Wave energy, Nonlinear wave

### 1. Introduction

During the 1970s, it became clear that the world's known nonrenewable energy resources are decreasing rapidly and may be exhausted within the foreseeable future. In response to this disturbing prospect, the focus on building the renewable resources has begun. Ocean wave energy is one of those renewable energies that have been studied and researched.

The most conspicuous form of ocean energy is the surface wave. Waves are simply energy in transition, that is energy being carries away from its origin. One of the sources of wave energy is the "wind waves". Wind waves are actually a form of solar energy since the primary source of wind energy is the sun. Solar radiation is then collected by water.



It is most important to note that the distinction between deep and shallow water waves has little to do with absolute water depth but is determined by the ratio of water depth to wave length. In shallow water that ratio is less than or equal to 0.02.

In shallow water, wave becomes sharp crested with a broad trough; that is, the wave profile is nonlinear.

This purpose of this paper is intended to provide the theoretical analysis of wave in shallow water when nonlinear theories have to be applied, especially look into the power that wave can provide using the theory of Stokes.

## 2. Properties of Nonlinear wave

It should be noted that there is no mathematical theory that exactly describes the behaviour of water waves. The various wave theories simply approximate, to some degree, the actual phenomena.

Nonlinear waves have been found to occur in various physical disciplines and life science, manifesting phenomena that have been regarded, by and large, as being remarkable and often very challenging.

One failing of the linear wave theory is that it always predicts a sinusoidal profile. A deep water swell having a low value of  $kH$  will be well approximated by this profile; however, as the wave begin to shoal, that is, to be affected by the seafloor, the wave

profile will begin to change to one with a narrow crest and broad trough. This profile is said to be nonlinear.

Still Water Level (SWL) and Mean Water Level (MWL) coincide for the linear wave, however, the SWL will be below the MWL for the nonlinear wave since the MWL is defined as being half the distance from trough to crest. Since the position of the MWL is defined by the wave height  $H$ , this is the most logical level on which to place the origin of our coordinate system. [1]

### 2.1 Power of Nonlinear waves

In this section, we look at the nonlinear wave theory, stokes's second order theory, concentrating on power, in a shallow water condition.

Stokes (1847, 1880) introduces an irrotational water wave theory that utilizes series representations of wave properties. The accuracy of the theory depends on the number of terms contained in the series. For example, Stokes' first order theory is identical with the linear theory. Stokes' second order theory improves the accuracy in determining the wave profile and, in addition, the mass transport convection velocity and the breaking condition of the wave. Stokes' third and higher order theories successively add to the accuracy of the wave profile prediction. (2) For our purposes, the second order theory is satisfactory. [1]



Without derivation, the shallow water wave profile predicted by Stokes' second order theory is obtained from

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{3}{16} \frac{H^2}{k^2 h^3} \cos[2(kx - \omega t)] \quad (1)$$

Where  $k$  is the wave number of equation (2)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2)$$

and  $\omega$  is the circular frequency  $2\pi f$ .

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (3)$$

By comparing equation (3) and (1), it can be seen that the first term on the right-hand side of equation (1) is the expression for the linear profile; thus the second term is simply a correction to the first order (linear) theory. The expression for the wavelength  $\lambda$  and the phase velocity or the celerity are the same as those predicted by the linear theory, that is, expressions found in equations (4) and (5), respectively.

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \quad (4)$$

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kh) \quad (5)$$

The expression for the horizontal water particle velocity in shallow water according to the linear theory is

$$u = \frac{\omega H}{2kh} \cos(kx - \omega t) \quad (6)$$

Whereas that according to Stokes' second order theory is

$$u = \frac{\omega H}{2kh} \cos(kx - \omega t) + \frac{3}{16} \frac{\omega H^2}{k^3 h^4} \cos[2(kx - \omega t)] \quad (7)$$

Surface particle velocity actually increases as the depth decreases and wave's phase velocity decreases with decreasing depth, then at some point the maximum horizontal velocity of the surface particles will equal the phase velocity, that is

$$u_{\max}|_{z=H/2} = c \quad (8)$$

A wave is said to break when the particle velocity at a crest and the phase velocity are equal; that is

$$\text{At a crest, one can assume that} \\ \cos(kx - \omega t) = \cos[2(kx - \omega t)] = 1$$

For shallow water, phase velocity is

$$c = \sqrt{gh} \quad (9)$$

Thus if the results of equations (9) and (6) are used, the breaking condition in shallow water according to the linear theory is

$$\frac{\omega H_b}{2kh} = \sqrt{gh}$$





or, incorporating the results of the equation (10), (wavelength in shallow water)

$$\lambda = \sqrt{ghT} \quad (10)$$

the breaking height is

$$H_b = 2h \quad (11)$$

Combing equation (9), (8), and (7) results in the breaking condition according to Stokes' second order theory. The result is

$$\frac{\omega H_b}{2kh} \left[ 1 + \frac{3}{8} \frac{H_b}{k^2 h^3} \right] = \sqrt{gh}$$

or, using the result of equation (10), the breaking height is

$$H_b = \frac{16\pi^2 h^2}{3gT^2} \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{3gT^2}{4\pi^2 h}} \right] \quad (12)$$

Thus of equation (12) depends on both the period and the depth in shallow water, whereas the breaking height of equation (11) is independent of wave period.

The expressions for the total wave energy and the wave power in shallow water obtained using Stokes' second order theory are, respectively,

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda b}{8} \left[ 1 + \frac{9}{64} \frac{H^2}{k^4 h^6} \right] \quad (13)$$

and

$$P = \frac{\rho g H^2 \sqrt{ghb}}{8} \left[ 1 + \frac{9}{64} \frac{H^2 (gh)^2 T^4}{(2\pi)^4 h^6} \right] \quad (14)$$

$$\text{Or } P = \frac{\rho g H^2 \sqrt{ghb}}{8} \left[ 1 + \frac{9}{64} \frac{H^2 (gh)^2 T^4}{(2\pi)^4 h^6} \right]$$

where  $b$  is the crest width and the group velocity  $c_g$  is equal to the phase velocity in shallow water, from equation (15).

In shallow water ( $h \leq \lambda/20$ ), the waves remain stationary with respect to group boundaries; thus

$$c_g = c \quad (15)$$

The total energy for linear wave theory is obtained from

$$E = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2 \lambda b}{8} \quad (16)$$

The transfer of wave energy from point to point in the direction of wave travel is characterized by the energy flux or, more commonly, wave power:

$$P = \frac{\rho g H^2 c_g b}{8} \quad (17)$$

By comparing equation (13) with equation (16) of linear theory, and equation (14) with equation (17) of linear theory, it can be seen that Stokes' second order theory simply adds a correction factor  $\frac{9}{64} \frac{H^2}{k^4 h^6}$  to the energy and power expression of the linear theory.



### 3. Numerical results

#### 3.1 Relationship between Wave power and Wave period when Wave height varied.

##### A. Result

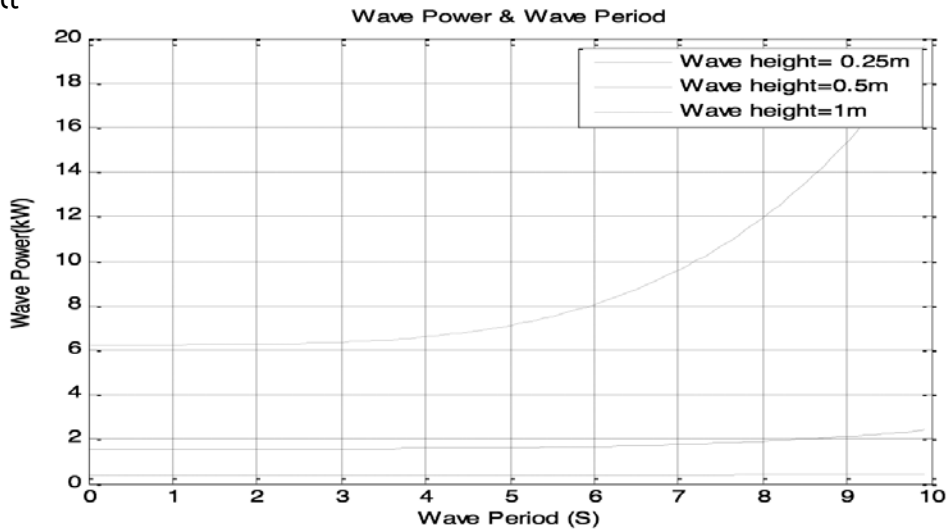


Figure 1 Graph Wave Power & Wave Period when Wave height varied for Stokes' Second order theory

#### 3.2 Relationship between Wave power and Wave period when Wave depth varied.

##### A. Result

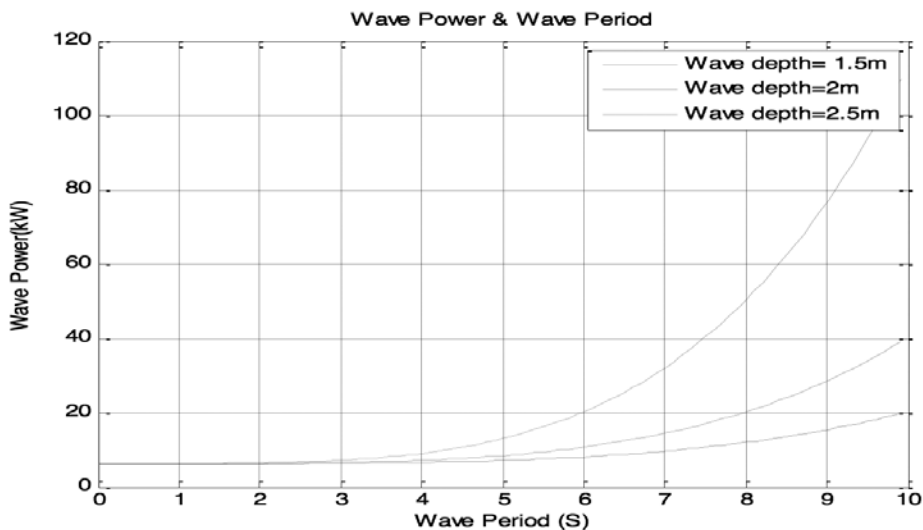


Figure 2 Graph Wave Power & Wave Period when Wave depth varied for Stokes' Second order theory



#### 4. Concluding Remarks

4.1 The Stokes' second order theory that analyzed in this paper were considered only in a shallow water, that is ratio of wave depth to wavelength is less than or equal 0.02.

4.2 The graph is plotted between wave power and wave period when wave height varied for Stokes' second order theory. The graph is shown in Figure 1. It can be seen that when wave period's increased, it made wave power increased. At the same wave period, if wave height's increased, it is increased the wave power.

4.3 Figure 2 showed graph of wave

power and wave period when wave depth varied for Stokes' second order theory. It can be seen that when wave period's increased, it made wave power increased. At the same wave period, if wave depth's increased, it is increased the wave power.

4.4 Figure 1 and 2 yielded the power function graphs of roughly equation of  $y=x^n + 1$ , when  $n=4$ . The reason they did not yield the proper power function graph because some constants involved which we can see from equation (14).

The reason we used Stokes' second order theory because its accuracy abilities to predict wave behavior in shallow water.

#### References

- [1] M. E. McCormick. 1981. Ocean Wave Energy Conversion: A Wiley-Interscience Publication,
- [2] B. Count. 1980. Power from Sea Waves: Academic Press, Inc.,
- [3] L. Debnath. 1990. Nonlinear Water Waves: Academic Press, Inc.,
- [4] C. C. Mei. 1983. The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves: A Wiley-Interscience Publication,
- [5] P. G. Andres. 1991. Basic Mathematics for Engineers: John Wiley and Sons, Inc.
- [6] C. H. Sisam 1990. Mathematics: A general Introduction: Henry Holt and Company, Inc.



# Coastal Unmanned Surface Vehicle (USV) Conceptual Hull Design Study

นาวาตรี ศรารุช ศรีนาแก้ว

กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ, ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ, 53864

s.srinakaew@gmail.com

## Abstract

The Applications of the Unmanned Surface Vehicle (USV) are widely used as can be seen in both commercial and military purposes. As the main design aspect of the hull is to endure the harsh sea condition where is not the human friendly environment, the hull performance in waves is the main area which needs a special investigation. This paper presents the study of the hull performance for three different hull geometries. These hulls are Deep Vee (DV), high-slenderness hull (NPL 5b) and the Royal Thai Naval Dockyard designed patrol boat (T991). Required propulsive power and hull performance in waves are investigated. The results show that the DV model seems to have advantage over other hull geometries.

## 1. Introduction

In the past few decades, Unmanned Surface Vehicle (USV) has been developed and widely investigated. The applications of USV are recently used in various fields such as oceanography, oceanic archeology, military and commercial. As the USV is normally operated at high sea condition

where human abilities are limited due to safety consideration and sea sickness, the performance in the harsh sea conditions is the focus for the early stage design. Those performances for the initial hull design are including resistance and required propulsive powering, and initial seakeeping.



This paper presents the conceptual hull design for the USV which can be used for the Royal Thai Navy to fulfil the missions which are considered as the high risk for the personnel. To demonstrate hull performances for different type of vessels three monohull configurations are evaluated to represent planning hull, high-slenderness hull and displacement hull respectively. The catamaran configuration for the high-slenderness hull is taken into account to compare the differences between those two configurations.

The resistance and required propulsive powering indicate the hull characteristics in term of the power consumption which is the basis for the early stage design. As the USV is normally operated at a high-speed regime, the range of speed evaluated is up to 40 knots. Four different resistance methods are used which are discussed in section 3. The initial seakeeping is another aspect that needs to be assessed. To represent to vessel behaviors in waves the Response Amplitude Operation (RAO) for heave, roll and pitch are investigated.

## 2. Hull Forms

Three different hull forms are assessed as the beginning point to compare hull characteristics and performance. These three hull forms include Deep-Vee shape

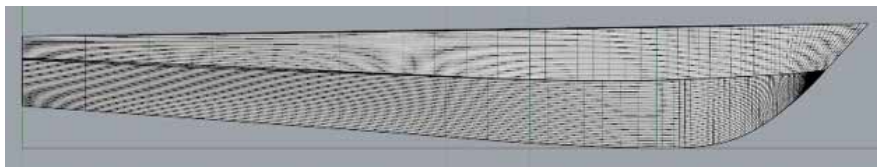
hull (DV) and Displacement Hulls. The DV hull was proved that it has a better motion resistance compared with other low deadrise angle planning hull (Kim et. al, 2013). Two high-speed displacement hulls are also investigated here since they are the high-speed design for coastal operation. The first of displacement hulls is The NPL 5b which has been thoroughly investigated since originated and proved that its high slenderness and very streamline configuration is most suit for high-speed craft design. Moreover, this hull is designed for the catamaran application. Another hull focused here is the Royal Thai Naval Dockyard designed patrol boat, T991, the hull is originally designed for the coastal patrol boat project which requires very high performance in term of resistance reducing and motion resistance aspects.

Figures 1, 2 and 3 show the different views for hull forms; figure 1 shows the sheer plan, figure 2 shows top view and figure 3 shows body plan. The hulls are required to have the same length over all (LOL) of 10 m as the goal of this stage to compare characteristics and performance.

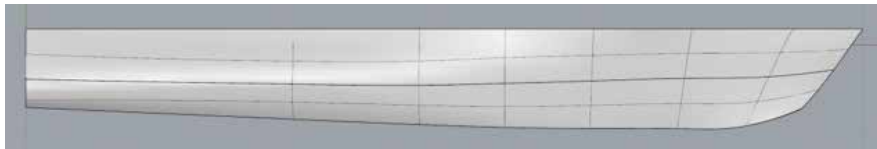
From figure 1, for the same length NPL 5b and T991 seem to have similar hull depth while the DV has higher depth. In

term of maximum breadth, the DV is higher than both NPL 5b and T991, see figure 2. The smallest beam is found for the NPL 5b which reflects its slenderness. To this point, these models have different characteristics but designed for the same purpose to operate at the high-speed regime. The

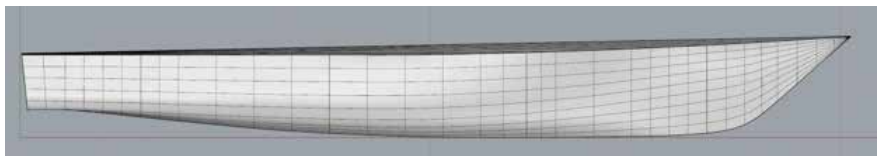
hull particulars are shown in table 1. The constraints for the design are the hull must be approximately 10 m long, weighs about 4 – 5 tones for monohull and slightly higher for catamaran. The catamaran configuration for the NPL 5b is taken into the consideration as it was originally designed for this application.



a)



b)



c)

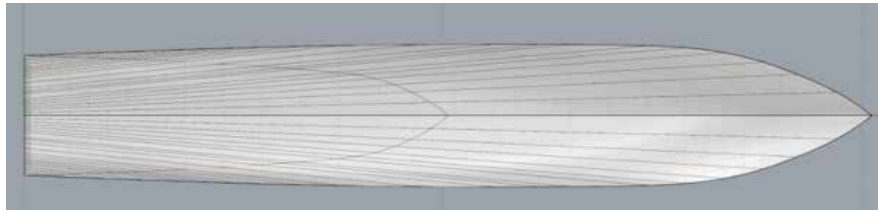
**Figure 1:** Sheer plan of a) Deep Vee (DV), b) NPL 5b and c) T991



a)

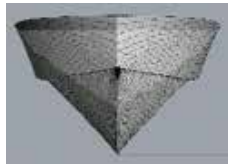


b)



c)

*Figure 2: Top view of a) DV, b) NPL 5b and c) T991*



a)



b)



c)

*Figure 3: Body plan of a) DV, b) NPL 5b and c) T991*

*Table 1: Comparison of hull particulars for different hull forms*

	DV	NPL 5b	T991	NPL 5b Cat
LOL, m	10.000	10.000	10.000	10.000
Displacement, te	4.491	4.354	4.421	5.220
DWL, m	0.850	0.800	0.550	0.600
WL Length, m	9.392	9.720	9.140	9.720
Beam max., m	1.800	1.250	1.800	5.500
Beam max extents on WL, m	1.550	1.150	1.571	5.300
Wetted Area, m <sup>2</sup>	18.422	17.531	15.894	35.062
Waterplane Area, m <sup>2</sup>	14.391	8.902	11.382	17.883
Prismatic coefficient (C <sub>p</sub> )	0.644	0.717	0.685	0.717
Block coefficient (C <sub>b</sub> )	0.307	0.475	0.546	0.475
Max Sect. area coefficient (C <sub>m</sub> )	0.521	0.731	0.802	0.731
Waterplane area coefficient (C <sub>w<sub>p</sub></sub> )	0.827	0.796	0.792	0.798

### 3. Resistance and Powering

To assess the resistance and required propulsive power for different hull forms, the design tool, Maxsurf, is used. Four different approaches are used and compared the results. The hull and propulsion efficiency are set as 45% (45 – 50% normal in practical use for propeller propulsor) margin while the fouling due to severe weather is not considered at this stage. The statistical method for determining a required propulsive power at the initial design stage using the regression analysis of random model experiment and full-scale data call Holtrop approach (Holtrop and Mennen, 1984). Slender body approach is also used as the hull models investigated have high slenderness. Another two approaches that are used call Savitsky

pre-planning and planning (Savitsky (1964) and Savitsky and Brown (1976)). These two are used as the DV model is considered as the planning hull. The pre-planning model used to determine the required power when the DV model is running at a low speed regime where the hull acts like the displacement hull. The later model, Savitsky planning model is then used to determine required power at the high-speed range where the hull rises and shows the planning characteristics.

Figure 4 shows the results for the DV model using the four different mathematical models mentioned above. The Holtrop model provides the highest required power so at early design stage this model will be used as it gives the highest required propulsive power.

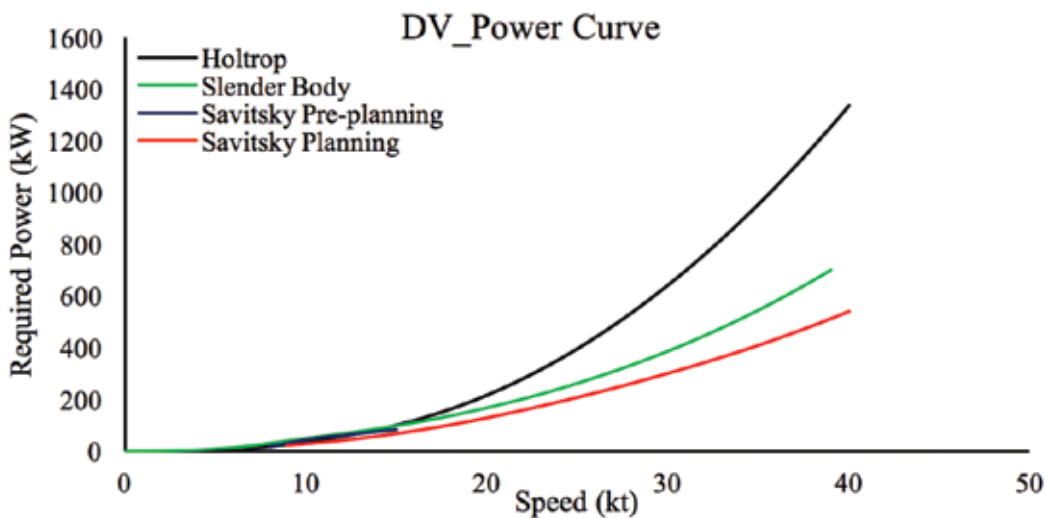


Figure 4: The comparison of required of DV model determined using different models





The results for all models are shown in figure 5. Total required power for the T991 model is highest and slightly higher than the DV model while the NPL – 5b model requires smallest propulsive power. For the low speed regime (< 10kts) the

required power is almost similar for all models. At the intermediate speed (10 < U < 20 kts) the DV and NPL 5b seem to require nearly the same amount of power while the T991 requires significantly higher power.

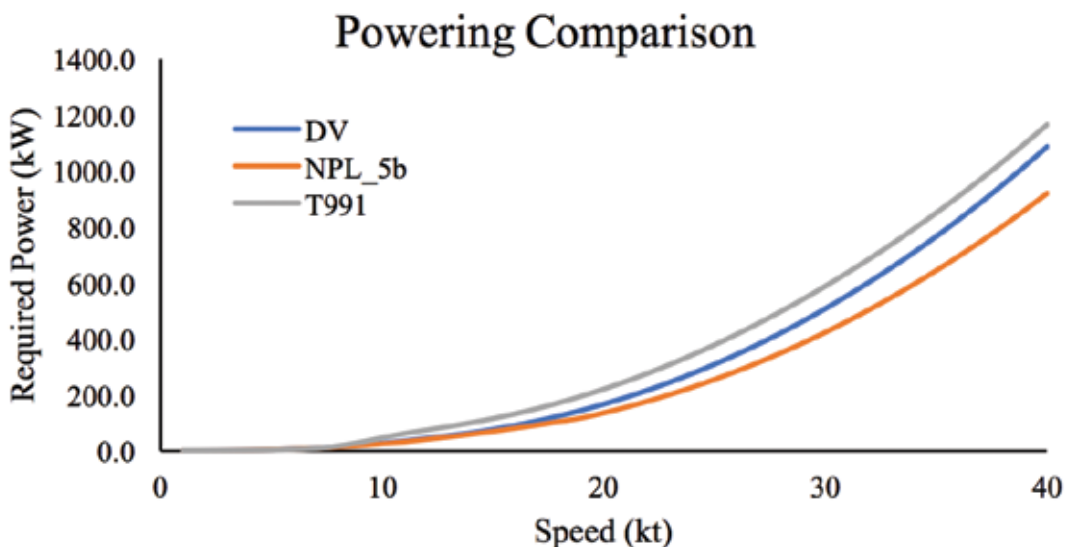


Figure 5: The required propulsive power for different models

#### 4. Initial Seakeeping

Hull performance in rough sea is another aspect which requires the careful investigation. Due to the operation area of the USV close to the shore line hence it is inevitable to face the a very rough sea or high sea state and effects of the sea floor. Three motions including heave, roll and pitch are most concerned. Heave motion might be able to harm the human and

equipment onboard the vessel as it can increase or decrease the acceleration rapidly. Pitch motion can cause even more severe damage to the vessel as the slamming can directly damage the hull structure hence reduce hull strength. Apart from that it can cause the engine to stop or damage due to the exceeded angle of operation. Roll motion also cause problem in term of cause keeping and sea sickness. This motion

is concerned as the USV is designed to operate remotely as it is comparatively small; hence the small roll motion can cause a large degree of error in course keeping and results in increasing fuel consumption.

The wave encounter angle ( $\beta$ ) orientation is shown in figure 6. The first angle of encounter starts from the head wave at  $180^\circ$  (head wave) and decreasing through the side of the ship until reaching  $0^\circ$  (following wave). At his stage the investigation is to demonstrate the effects of ( $\beta$ ) at different angles of  $180^\circ$  to  $0^\circ$  with the interval of  $45^\circ$ .

wave and ship motions to the fixed frame of reference hence the RAO depends mostly on hull form and angle of encounter ( $\beta$ ) not on speed or wave.

#### 4.1 Heading ( $\beta$ ) = $180^\circ$

Only heave and pitch RAO can be measured for the head wave because waves come and hit purely at the bow of the vessel hence roll motion can be neglected. Figures 7 and 8 show the heave and pitch RAO. The DV model shows a slightly high heave RAO at low frequency of encounter ( $\omega$ ) and decreasing when frequency

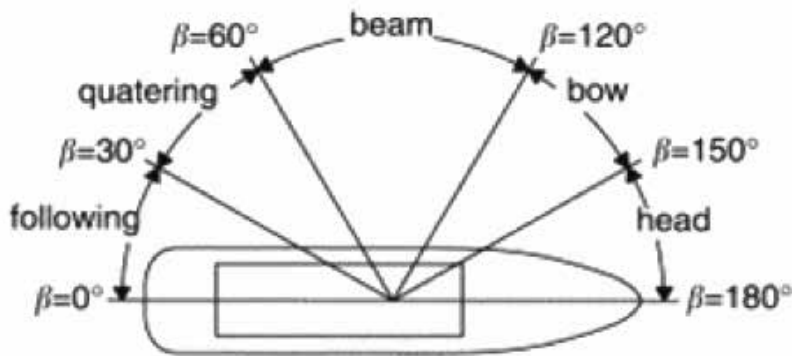


Figure 6: Angle of encounter ( $\beta$ ) of wave

The response amplitude operator (RAO) are measured to demonstrate the performance in waves for all hull forms. These RAOs include heave, roll and pitch. The RAO reflects the relationships between

of encounter decreases and shows the lowest RAO compared with other models. Other models seem to show the same trend of decreasing RAO but slightly higher than DV model.

The DV model shows a lowest pitch RAO compared with other models while the NPL 5b shows the highest RAO and the T991 and NPL 5b catamaran show the

similar characteristics which fall in between. This shows that model with the deeper bow part seems to have better pitch motion resistance.

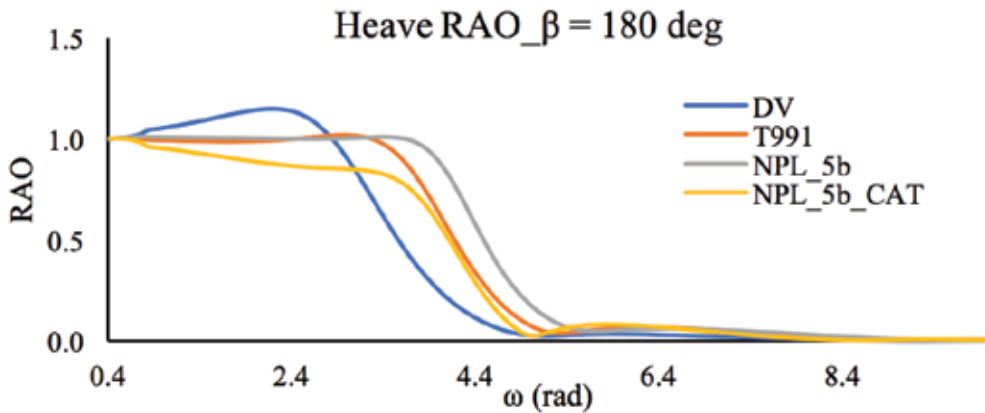


Figure 7: Heave RAO at  $\beta = 180^\circ$

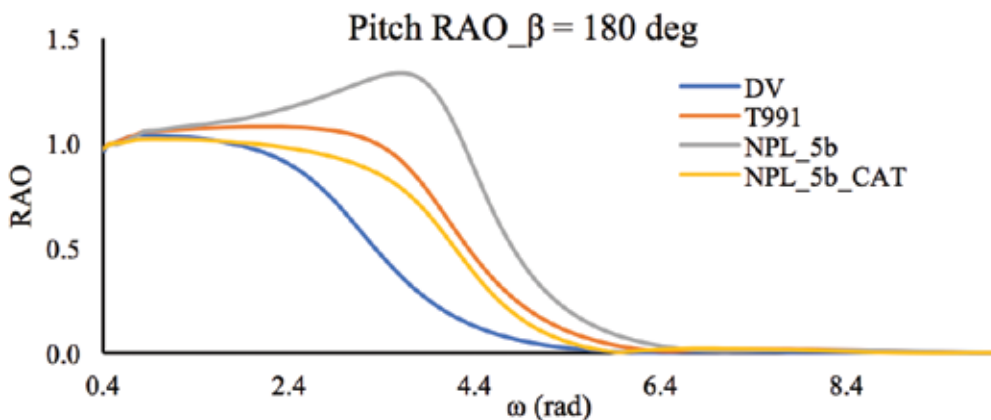


Figure 8: Pitch RAO at  $\beta = 180^\circ$

#### 4.2 Heading ( $\beta$ ) = $135^\circ$

Figures 9, 10 and 11 show the results for  $\beta = 135^\circ$ . At this angle of encounter, the catamaran configuration (NPL 5b catamaran) show the best performance compared with

other models, the DV and T991 show similar results while the NPL 5b shows the worst results. However, focusing merely on the highest RAO values for all motion, the results are

not much different except for the roll motion which the NPL catamaran shows the best performance.

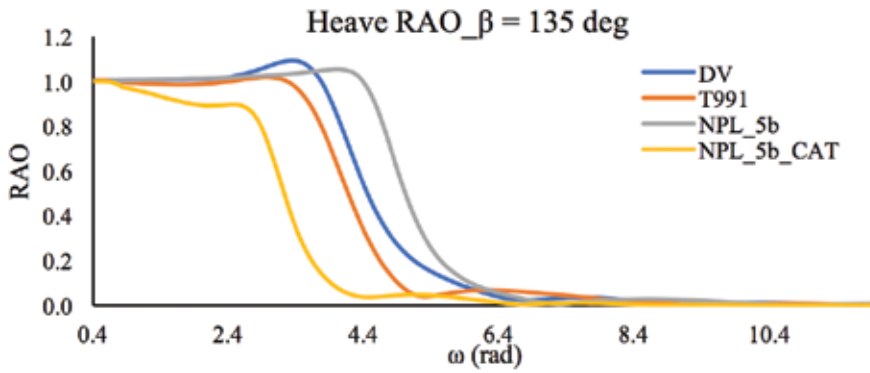


Figure 9: Heave RAO at  $\beta = 135^\circ$

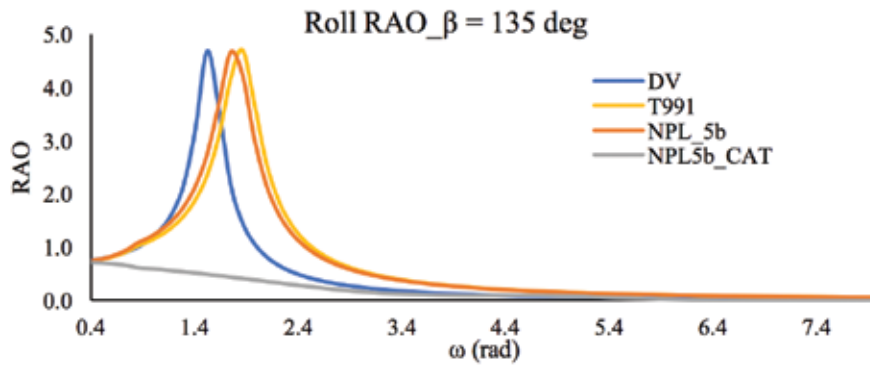


Figure 10: Roll RAO at  $\beta = 135^\circ$

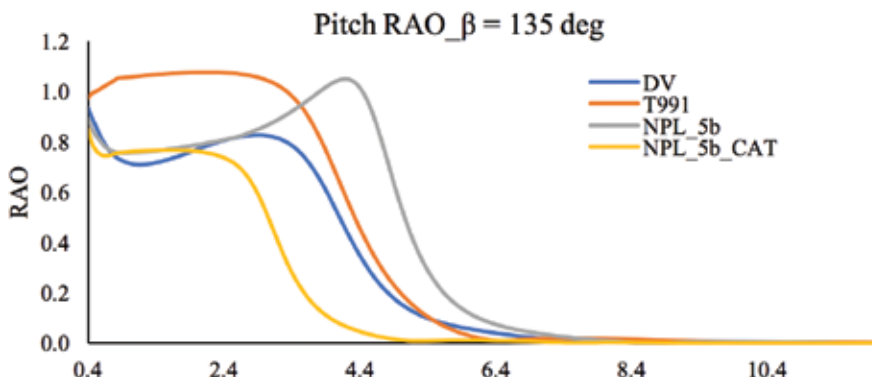


Figure 11: Pitch RAO at  $\beta = 135^\circ$

### 4.3 Heading ( $\beta$ ) = 90°

The results for the  $\beta = 90^\circ$  show in figures 12, 13 and 14. The DV model shows the best performance for the heave motion resistance while shows the worst for the

pitch motion resistance. This might be from the fact that the underwater wedge-shape design of the DV is very thin compared with other models. Again, the catamaran configuration shows the best performance for roll motion resistance.

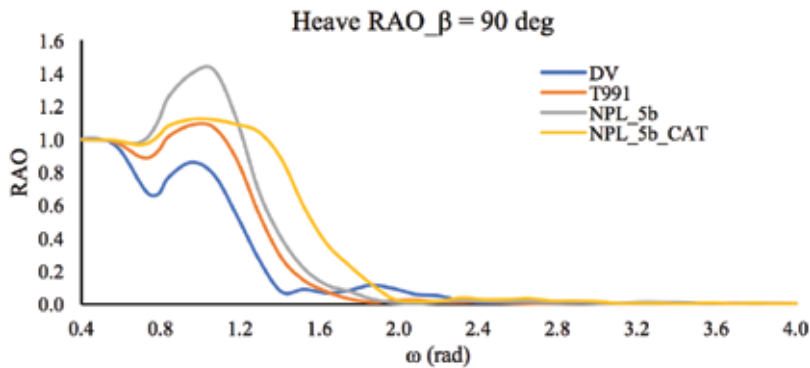


Figure 12: Heave RAO at  $\beta = 180^\circ$

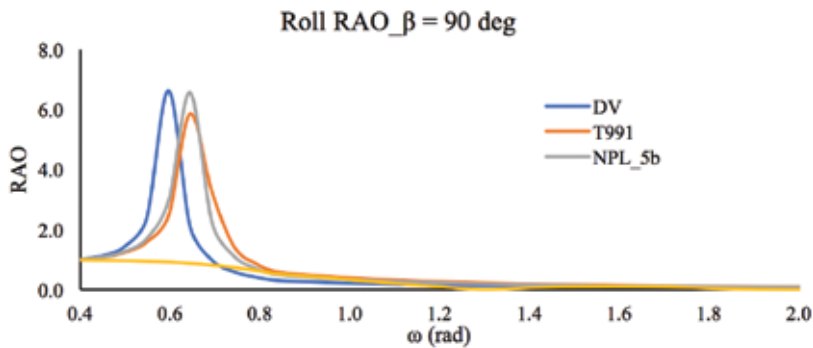


Figure 13: Roll RAO at  $\beta = 90^\circ$

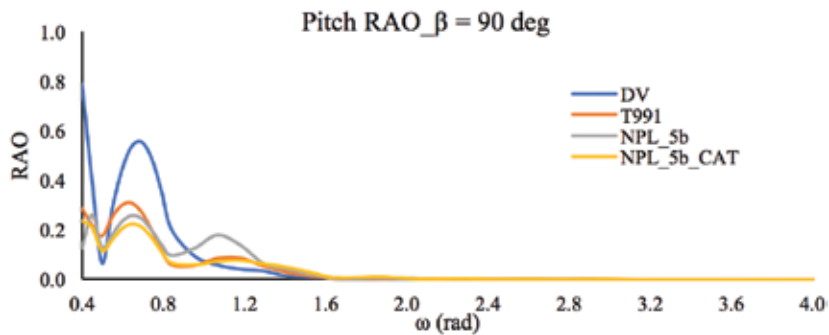


Figure 14: Pitch RAO at  $\beta = 90^\circ$

#### 4.4 Heading ( $\beta$ ) = 45°

The results for  $\beta = 45^\circ$  are shown in figures 15, 16 and 17. The results are quite difficult to justify however the DV model seems to show better heave motion

resistance while show quite worse roll motion resistance which is like the T991 model. The NPL 5b model shows the worst performance for pitch motion. The NPL 5b catamaran model shows the superior performance compared with other models.

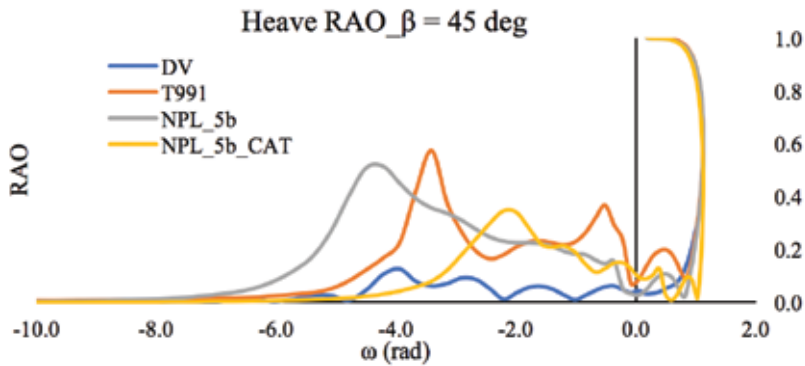


Figure 15: Heave RAO at  $\beta = 45^\circ$

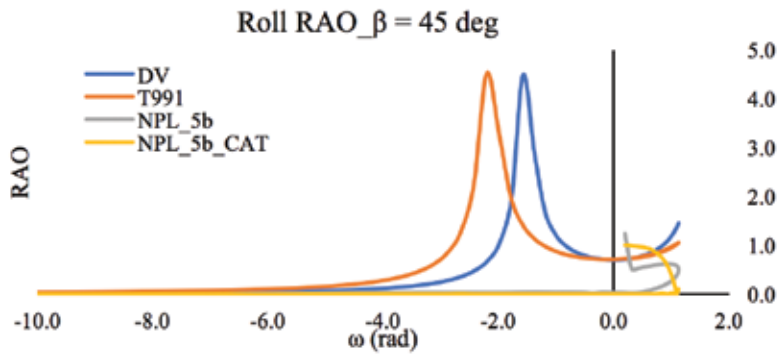


Figure 16: Roll RAO at  $\beta = 45^\circ$

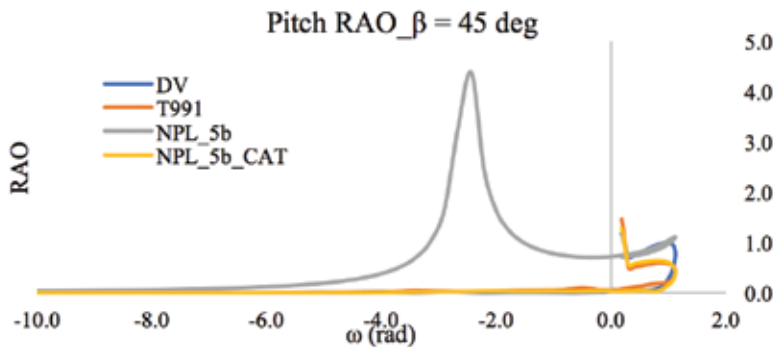


Figure 17: Pitch RAO at  $\beta = 45^\circ$



#### 4.5 Heading ( $\beta$ ) = 0°

The following wave encounter performance are shown in figures 18, 19 and 20. The DV and T991 show a high amplitude for the heave motion at the

same frequency of encounter compared with the NPL 5b and the NPL 5b catamaran models. The results for the pitch motion are quite similar for all models.

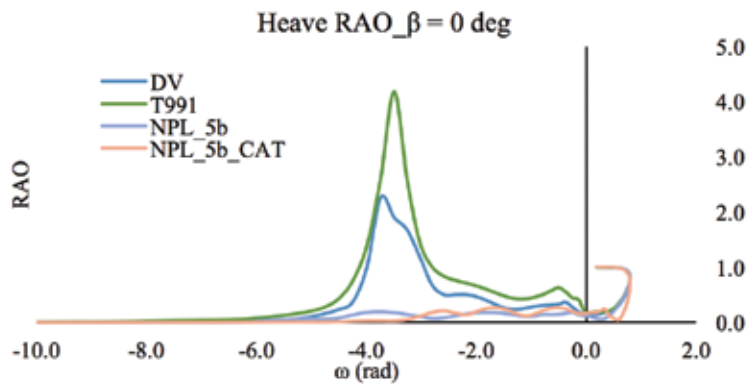


Figure 18: Heave RAO at  $\beta = 0^\circ$

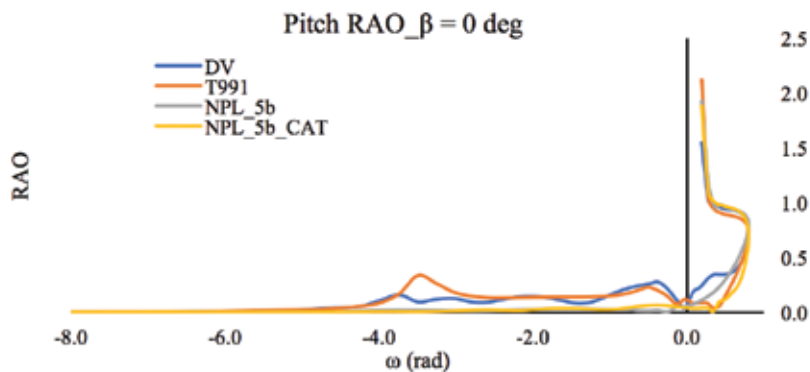


Figure 19: Pitch RAO at  $\beta = 0^\circ$

#### 4.6 First Spectral Moment of Motion ( $M_0$ )

The first response spectra show the probability of the peak motion or the motion to happen for the different angle of encounter ( $\beta$ ). Figures 20, 21 and 22 show the results for all RAOs discussed previously. It can be

seen that all hulls show quite similar trend except for the roll motion which the catamaran configuration shows the best result. The DV shows quite high value for

pitch motion for the following wave. This might be from the fact that the aft part of the DV is quite wide and shallow which is prone to emerge when hit by the following waves.

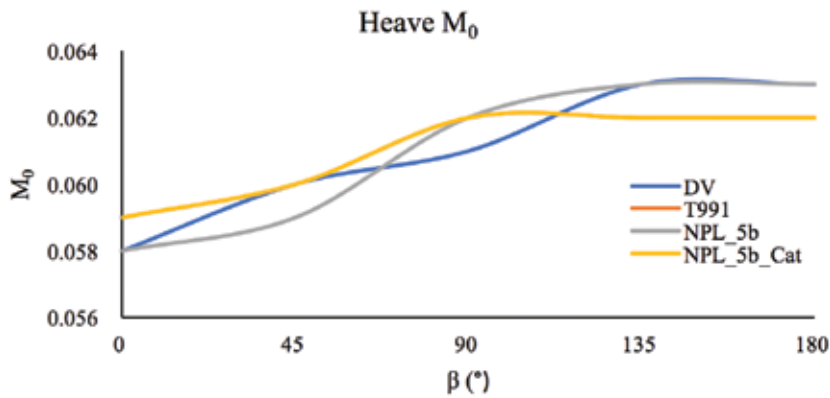


Figure 20: comparison of heave  $M_0$  for different models at various  $\beta$

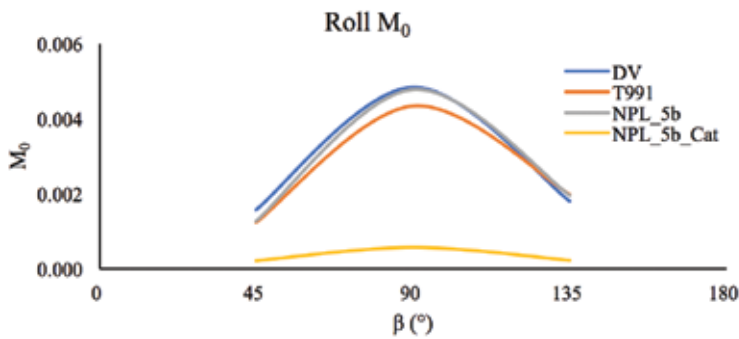


Figure 21: comparison of roll  $M_0$  for different models at various  $\beta$

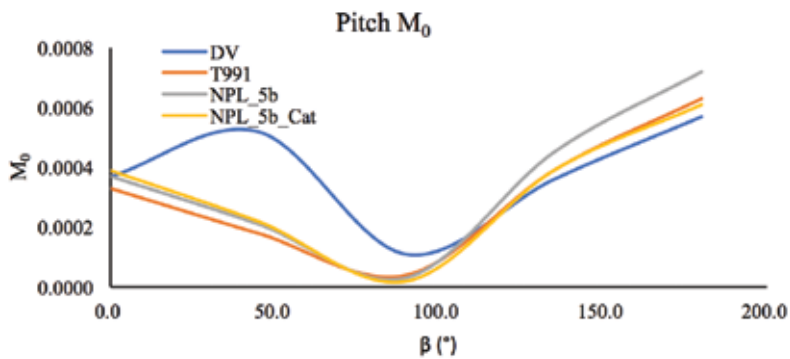


Figure 22: comparison of pitch  $M_0$  for different models at various  $\beta$





## 5. Hull evaluation and Conclusion

### 5.1 Required Propulsive Power and Space

The required propulsive power assessment shows that the high slenderness NPL 5b seems to be beneficial for the USV design compare with other model as it required lowest power to operate through the water. However, in term of space, the DV model seems to have advantage over other monohull configuration models as seen in table 1. The maximum breadth of the DV model is approximately 3.24 m compared with 1.25 m and 1.80 m for the NPL 5b and T991 models respectively. The maximum breadth at the DWL shows that the DV models has the maximum length compared with other monohull models. Hence, the DV model seems to be the better option for the investigation as it provides larger space compared with other monohull models. Moreover, the NPL 5b Catamaran model

provides the largest deck area as it has more area between demihulls to carry more equipment and payloads. However, the construction complexity is the challenge as the strength of the connected part between demihulls are more concerned.

### 5.2 Seakeeping performance

The evaluation of hull performance in waves is presented in table 2. The most capable of handling heave motion is the DV models. The best hull with the capability to resist the roll motion is the NPL 5b catamaran configuration model. The best hull to handle pitch motion is also the NPL 5b catamaran while another two models that show capability in handling pitch motion are DV and T991 models. However, the DV model seems to show slightly advantage over the T991 model because it has ability to handle both head and following waves.

*Table 2: The evaluation of hull performance in waves*

$\beta$	Heave				Roll				Pitch			
	DV	NPL 5b	T991	NPL 5b Cat	DV	NPL 5b	T991	NPL 5b Cat	DV	NP 5b	T991	NPL 5b Cat
180	/								/			
135				/				/				/
90	/							/		/		/
45	/					/		/	/		/	/
0		/								/		/



## 5.3 Concluding remarks

### 5.3.1 Conclusions

Three monohull and one catamaran configuration models are investigated including Deep Vee (DV), NPL 5b, T991 and NPL 5b catamaran. Propulsive powering and initial seakeeping are assessed. The required propulsive power study shows that the T991 model requires the largest amount of power at the very high-speed regime which is slightly higher than the DV model. The high slenderness NPL 5b requires least amount of power for the high-speed regime compared with those two models. The powering for catamaran configuration model cannot be calculated using the ship design tool, Maxsurf, hence at this stage it is assumed to be doubling of the monohull for the same draught. However, for the low speed regime ( $< 10$  kts) where the USV is expected to operate, the required propulsive power for all models are quite similar.

The initial seakeeping results show that the DV model has the better heave motion resistance performance while the DC model shows the better performance in handling roll and pitch motions. To this point, the suitable models to be further investigated is the DV and DC models.

### 5.3.2 Comments

From the conclusions made above, the DV hull is recommended for the USV project. Although it has less ability to handling pitch motion, the further investigation to study hull variants by varying deadrise angle, the parallel horizontal keel design, and length etc. The catamaran configuration seems to have advantages over the monohull, but it might bring the complexity to the project through the construction process. However, the catamaran model is still the possible option for other investigations.

## 5.4 Future works

### 5.4.1 Numerical Investigation

The early design stage mostly relies on the statistical model-based software hence the data acquired can be used as the starting point. The further numerical studies are needed for example to determine required propulsive power CFD software will be used. The initial seakeeping is also determined using the same package, so the data again can be used as only for the beginning point. In some cases, for more accurate and reliable results, the experiment will be considered.



#### 5.4.2 Structural Investigation

The structural analysis is needed for the further investigation. As the USV will mostly operate at the high sea condition where the vessel will face the harsh force and pressure from waves, the finite element

analysis (FEA) is recommended. Various FEA software can overcome this challenge such as Abaqus and ANSYS Fluent. The choice of material is another option to focus as this directly relates to the ease of build and maintenance, and price.

#### References

- [1] Kim, D.J., Kim, S.Y., You, Y.J., Rhee, K.P., Kim, S.H., and Kim, Y.G., (2013), Design of high-speed planing hulls for the improvement of resistance and seakeeping performance, *Int. J. Naval Archit. Ocean Eng.* 5:161~177
- [2] Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., (1984), A statistical re-analysis of resistance and propulsion data, *ISP*, Vol. 31, No. 363, November 1984.
- [3] Holtrop, J. (1988), A statistical resistance prediction method with a speed dependent form factor, *SMSSH'88*, Varna, Oct. 1988.
- [4] Savitsky, D., (1964), *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, Marine Technology, Vol. 1, No. 1, October 1964
- [5] Savitsky, D., and Brown, P.W., (1976), Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water, *Marine Technology*, Vol. 13, No. 4



## Tsunami Propagation in the Gulf of Thailand

Cdr.Pichet Puahengsup

Coastal Engineering Section, Oceanographic Division,

Hydrographic Department

ppuahengsup@yahoo.com

### Abstract

The earthquake off the west coast of Thailand on December 26, 2004 and the subsequent tsunami disaster has focused research interests among scientists. The research is not solely focused on the west coast of Thailand, but also the east coast. The reason for the research is that the Thailand's east coast is adjacent to China Sea, a part of the Pacific Ocean where earthquakes and volcanic eruptions are frequent. In addition, coastal elevation on the Thailand's east coast is generally low, thus making it extremely vulnerable to wave inundation with a height of a few meters. The Manila Trench is an excellent candidate to assess the risk of tsunami impact to the east coast of Thailand due to its close proximity. This study creates a hypothetical earthquake tsunami scenario caused by sudden movement of seafloor at the Manila Trench. Tsunami travel time will be strictly observed because it is the most critical information for tsunami warning. The time will be determined by numerically solving the shallow - water equation. The study reveals that tsunami reaches the southern part of Thailand 11.42 hours and reaches Bangkok 17.73 hours after an earthquake. The probability of tsunami generated by the Manila Trench is unlikely to result in loss of human life along Thailand's east coast due to the long travel time of the tsunami wave. The slower wave speed in the Gulf of Thailand allows time to evacuate people away from the coastal zone.



## 1. Introduction

The great Sumatra earthquake on December 26, 2004 was the second largest earthquake recorded during the last century. It led to the worst tsunami disaster with more than 200,000 lives lost and devastation throughout the Indian Ocean. Thailand was one of the countries impacted by the tsunami. Many questions about the earthquake and tsunami risk have arisen in Thailand. The questions are not solely focused on the west coast of Thailand, but also the east coast. Thailand's east coast stretches along the Gulf of Thailand, where the location of China Sea is linked to the Pacific Ocean and proximal to the Manila trench. It is one of the most active plate boundaries where earthquakes and volcanic eruptions are frequent - commonly referred to as the Pacific Ring of Fire (USGS, 2016). In addition, coastal elevation along the Gulf of Thailand is generally low, thus making it extremely vulnerable to inundation by waves with a height of a few meters.

The Pacific Ocean is bordered by active margin associated with plate subduction, active mountain construction, and earthquakes (Kennett, 1977). Liu et al. (2007) argued that 90 percent of global undersea earthquakes take place around the Pacific Ring of Fire. Recently, the United States Geological Survey (USGS) has assessed the Manila Trench as a high risk zone for tsunami sources (Wu et al., 2009).

Implying that the east coast of Thailand could be considered under the tsunami risk.

A tsunami is a water wave generated by the disturbance caused by submarine earthquakes, landslides, explosive volcanisms and meteorite impacts with the ocean (Chadha et al., 2006). Tsunamis around the world occur from many causes, but principally result from shallow earthquakes in subduction zones (Liu et al., 2007). Tsunami generated by earthquakes take place most likely in trench regions with a large tectonic movement during subduction (Fukao, 1979; Liu et al., 2007). Studies on seismic activities in the South East Asia show that the Philippines are seismically active with subduction earthquakes along the Manila Trench (Zhu et al., 2000; Michel et al., 2000; Kreemer et al., 2000; Bautista et al., 2001; Torregosa et al., 2001; Ruangrassamee and Saelem, 2009). It is also argued that there is potential tsunami sources in this region due to the fault rupture along the Manila Trench (Dao et al., 2009). Even though the probability of a great earthquake generated in the Manila Trench is unlikely, it may happen sometimes in the future (Megawati et al., 2009). This paper will discuss the probability of tsunami risk, generated from the Manila Trench, on Thailand's east coast. The trench is close to the Gulf of Thailand, so it is the most likely potential tsunamigenic source in this region.



The Hawaii Tsunami Education Curriculum: Kai E 'e program reported that there are 113 Tsunamis were recorded on earth from 2000 – 2010 of which 12 resulted in fatalities. That means tsunamis caused the fatality of humans in every year. It is thus important to study the probability of the Tsunami hazard for disaster preparedness.

## 2. Scenario Earthquakes for Numerical Modelling

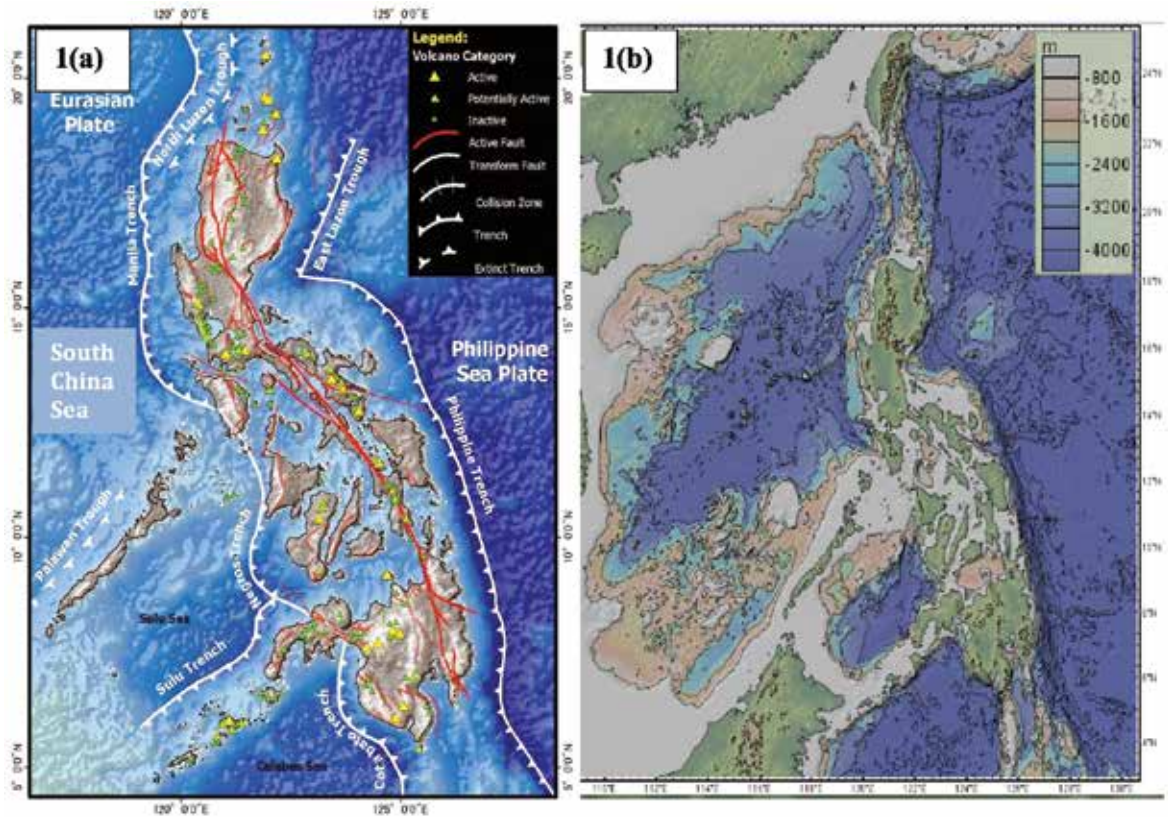
Tsunami modelling in this study is concerned with two areas. The first area is the South China Sea with the adjacent Philippine Sea Plate bordered by the Manila Trench. The second area is the Gulf of Thailand and Thailand's east coast. The South China Sea is a complex system, bordered by the Manila and Philippine Trenches (Fig. 1a). The South China Sea is the largest marginal sea in the Pacific Ocean. Depth in the South China Sea is generally shallow (< 600 m) in the northwestern and southwestern regions. However, the depth is greater than 5,000 m in the central and eastern basin (Fig. 1b)

Liu et al. (2007) studied tsunami hazards from potential earthquakes in the South China Sea area. The geological and geophysical data in this region were analyzed. They found that the crust in this region is under tremendous tectonic stresses from many directions due to the complex interactions

between tectonic plates – the Philippine Sea Plate, Sunda Plate, and Eurasia Plate. The Eurasia Plate moves toward the northwest approximately 10 mm/yr., whereas the Philippine Sea Plate moves from east to west roughly 50 mm/yr. Lin (2000) also proposed that the Manila Trench is where the Eurasian Plate subducts under the Philippine Sea Plate at a rate 70 mm/yr. This information implies that this region is a highly tectonically active.

The Gulf of Thailand is located between latitudes 6° and 14° N and longitudes 99° and 105° E. It is a shallow semi-enclosed basin that is bounded to the east of the South China Sea. Its greatest width is approximately 300 miles. Survey data from “Naga Expedition” undertaken by Scripps Institution of Oceanography shows bathymetry of the Gulf of Thailand (Fig. 2). The Gulf of Thailand is relatively shallow with a mean depth is 45 m, and the maximum depth of only 80 m. The general shape of the Gulf's bottom bathymetry can be considered as an elliptic paraboloid (Wattayakorn, 2006).

The coasts of Thailand have evolved due to both changing of sea level and accretion (Wattayakorn, 2006). Accretion has occurred in the inner Gulf of Thailand, from approximately 70 km to the present Chao Phraya delta (Siripong A., 2010). The



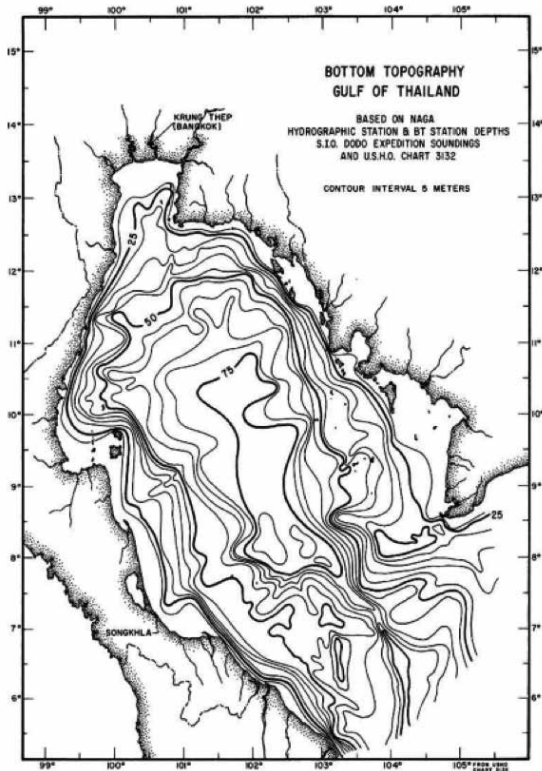
**Figure 1** (a) The South China Sea with Philippine Sea Plate bordered by the Manila Trench. Available from: <http://drrcca.blogspot.com/> Viewed November 5, 2016. (b) Bathymetry of the South China Sea generated by Global – Multi – Resolution (GRMT) on GeoMapApp.

east coast of Thailand stretches along the Gulf of Thailand. Its total coastline length is about 1,700 km. Cross section of coastal elevation at observation points along the Gulf of Thailand, including Prachuap Khiri Khan, Nakhon Si Thammarat, and Pattani provinces are illustrated in Fig. 3 illustrates that the east coastal plain is wide and flat, with heights of a few meters above mean sea level (M.S.L.) with widths of about 30 to 80 km landward.

### 3. Method

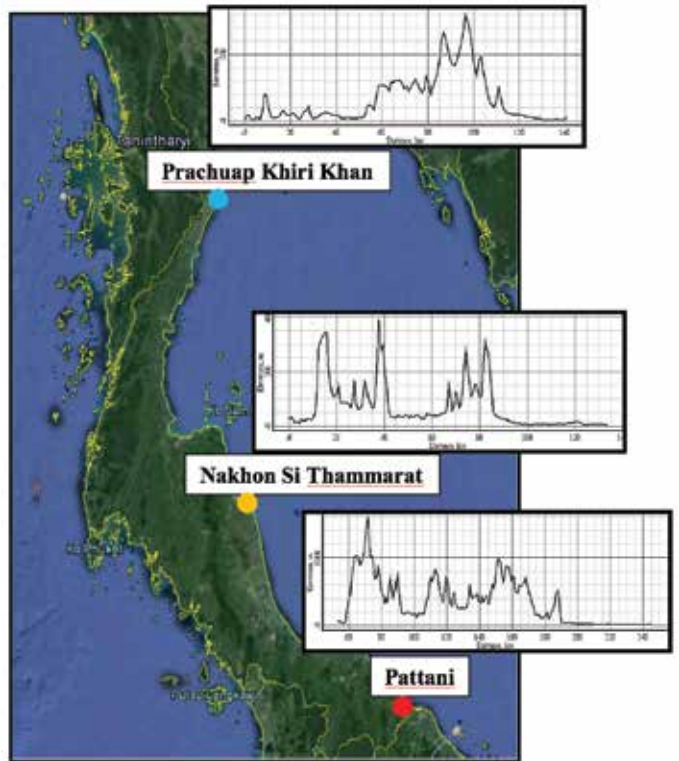
#### 3.1 Determination of Epicenter

Earthquakes around the Manila Trench and the Philippines from 1900 – 2012 were compiled from the USGS database to determine earthquake probability in this study. A return period, which is an estimated time for the likelihood of an event for each magnitude, will be discovered to confirm the probability of earthquakes generated in



**Figure 2** Bathymetry of the Gulf of Thailand based on data from the Naga Expedition, Cruise S11, Scripps Institution of Oceanography. Available from: <http://escholarship.org/uc/item/4mf3d0b7#page-2> Viewed November 5, 2016.

this region. To further tsunami modeling, it is important to define an epicenter which is the point on the earth's surface vertically above the focus of an earthquake. In this study, locations of hypothetical fault planes will be sources for tsunami modelling instead of utilizing an exact point of the epicenter. The six hypothetical fault planes, along the Manila Trench, used in this study



**Figure 3** Coastal elevations above M.S.L. along the Gulf of Thailand including Prachuap Khiri Khan, Nakhon Si Thammarat, and Pattani provinces. The cross sections are generated using GeoMapApp.

are suggested by the 2006 Tsunami Source Workshop and then issued by USGS (Kirby et al., 2006; Wu et al., 2009). Water depths along the fault planes are approximately 3,000 – 3,500 m, except fault planes 4 and 6 which have depths of 4,000 and 2,700 m, respectively. The 2006 Tsunami Source Workshop identified these faults based on the trench azimuth and the fault geometry





**Figure 4** Faults along the Manila Trench assigned by the 2006 Tsunami Source Workshop. Adapted from *Modeling Tsunami Hazards from the Manila Trench to Taiwan* by T.-R. Wu and H.-C. Huang, 2009, *Journal of Asian Earth Sciences*, 36, p.23.

(Fig. 4 and Table 1). For this reason, Fault characteristics, which determine whether or not a tsunami will form, are not necessary taken into consideration to determine the probability of the earthquake at these hypothetical locations.

### 3.2 Tsunami Simulation

Numerical simulation using the Win-ITDB model which uses shallow - water equation. Tsunamis behave like shallow water wave in the open ocean because of their wavelengths longer than the ocean depth. When tsunami waves move into shallow water, the wavelength decreases leading to a growth in height. The amount of energy in the wave remains the same even though tsunamis move to shallow water. Hence, simulation of tsunami propagation is related to ocean depth. Shallow water begins when the depth of water is less than 1/20 the wavelength (The Open University, 1999). The velocity of tsunami wave becomes a simple direct proportion function of depth as follows:

$$C = (gd)^{0.5}$$

Where,

C = wave speed (m s-1)

g = gravitational acceleration (9.81 m s-1)

d = Depth (m)

WinITDB is numerical modelling software used for tsunami travel time calculation. ITDB stands for Integrated Tsunami DataBase. The software is operated



*Table 1 Hypothetical fault planes along the Manila Trench issued by USGS.*

<b>Fault</b>	<b>Lon.</b>	<b>Lat.</b>	<b>Length (km)</b>	<b>Strike</b>	<b>Dip</b>	<b>Rake</b>
1	120.5	20.2	160	10	10	90
2	119.8	18.7	180	35	20	90
3	119.3	17.0	240	359	28	90
4	119.2	15.1	170	3	20	90
5	119.6	13.7	140	320	22	90
6	120.5	12.9	100	293	26	90

*Note:* Adapted from Modeling Tsunamis Hazards from the Manila Trench to Taiwan by T.-R. Wu and H.-C. Huang, 2009, Journal of Asian Earth Sciences, 36, p.23.

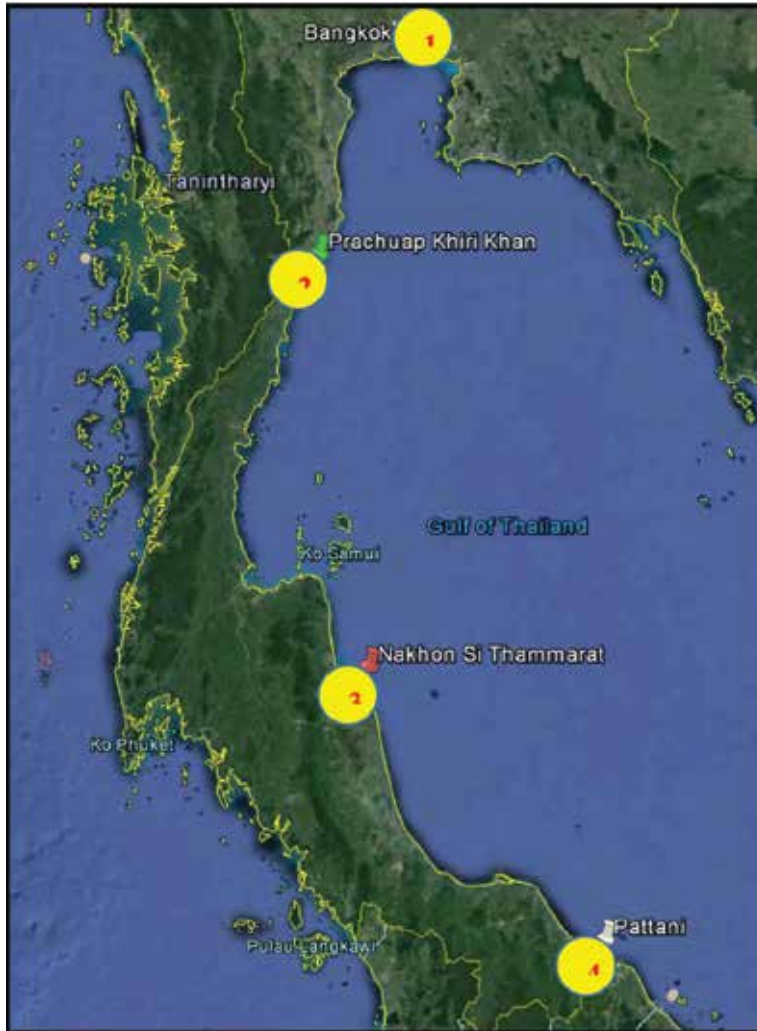
on a Windows operating system which requires few computational resources. It has been used by the Hydrographic Department of the Royal Thai Navy since tsunami event in 2004. This study will focus on tsunami travel time that is defined as the duration for the first wave hitting on the coast after the initiation of the tsunami. Tsunami travel time is the most critical information required for tsunami warning. Hence, the level of risk could be classified by travel time as well.

Four locations on the east coast along the Gulf of Thailand including Bangkok, Prachuap Khiri Khan, Nakhon Si Thammarat, and Pattani provinces will be nominated to observe the tsunami travel time. The locations of observations are illustrated in Fig. 5 and also summarized in Table 2.

#### 4. Results

Information provided by USGS illustrates that the Pacific Plate is subducting beneath the Philippine Plate. It starts from the south of Japan to the Mariana Island arc, which extend more than 3,000 km along the eastern margin of the Philippine Sea Plate. This subduction zone is characterized by rapid plate convergence and high-level seismicity extending to depths of over 600 km. The plate interface has been associated with a few great ( $M_w > 8.0$ ) “megathrust” earthquakes. Fig. 6 shows earthquake records in the past 100 years which are mostly about 7.5 – 8.0  $M_w$ .

The most recent tsunami in the South China Sea was generated by an earthquake magnitude of 7.6  $M_w$  in 1986 (Wang and Zhang, 2005). This earthquake magnitude



*Figure 5* The locations of observation points on the east coast along the Gulf of Thailand. The locations in longitude and latitude for all observation points are also provided in Table 2.

this region. The earthquake return periods, which is an estimated time for the likelihood of an earthquake in the China Sea, is summarized in Table 3 (Ruangrasamee and Saelem, 2009).

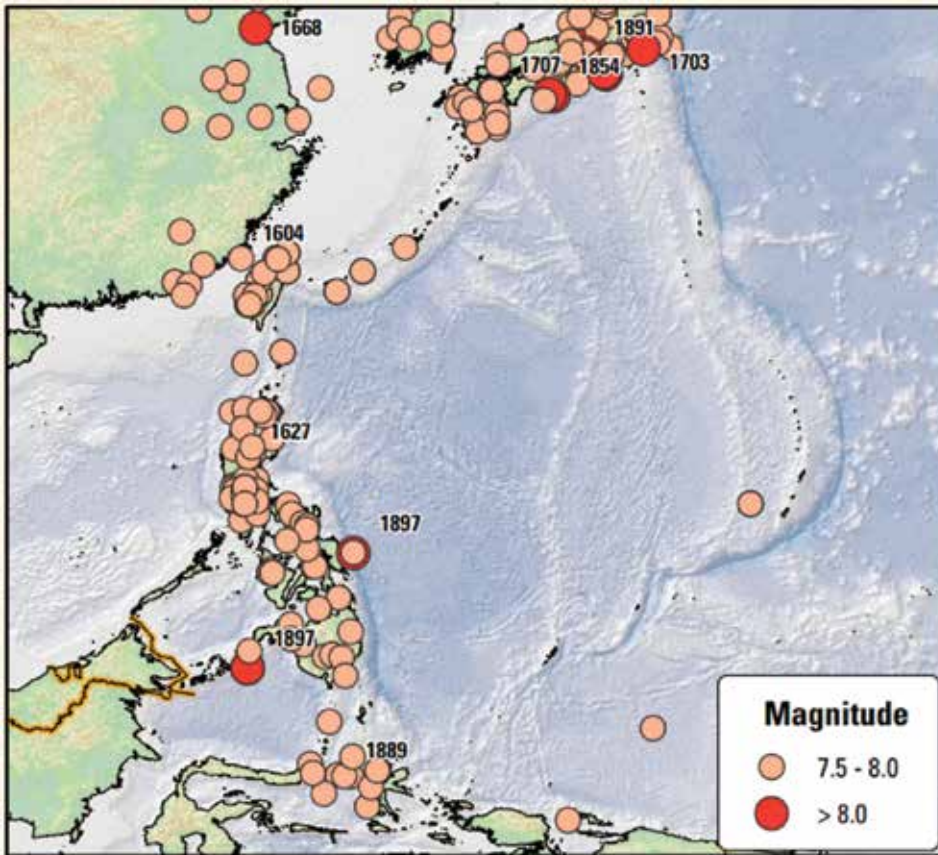
In order to determine tsunami travel time on the east coast of Thailand, locations of the six hypothetical fault planes along the Manila Trench, suggested

has a return period of about 19 years, which is a short period. It implies that the earthquake magnitude 7.5 Mw is likely occur in

by the 2006 Tsunami Source Workshop, are assigned as epicenters for WinITDB. Fig. 7 presents simulations of tsunami waves

*Table 2* Locations of observation points along the Gulf of Thailand

No.	Name (Provinces)	Lon.	Lat.
1	Bangkok	100.5	13.5
2	Prachuap Khiri Khan	99.8	11.8
3	Nakhon Si Thammarat	100.2	8.5
4	Pattani	102.1	6.3



*Figure 6 Seismicity of the Philippine Sea Plate and vicinity during 1900 – 2012. Available from <http://pubs.usgs.gov/of/2010/1083/m/pdf> Viewed November 6, 2016.*

generated from Fault 1 and 6, respectively. The red dot presents the epicenter at the Manila Fault that triggered tsunami event. The spacing between each contour presents 600 seconds time interval. Thus, each color, either red or green, represents a one hour time interval. Arrival times of the first wave peak at all observation points on the east coast along the Gulf of Thailand are summarized in Table 4.

The shortest time before a tsunami wave reaches the southern part of Thailand at the Pattani location is 11.42 hours, and arriving in Bangkok 17.73 hours after an earthquake. The waves travel very fast in the South China Sea, but slowdown in the Gulf of Thailand. This comes from observation of contours presented in Fig. 7. The contours are close together in the Gulf of Thailand whereas more widely spaced in the South China Sea. The details will be described in the next section.



*Table 3 Return period for each magnitude*

<b>Magnitude (<math>M_w</math>)</b>	<b>Return Period (Years)</b>
7.0	6
7.5	19
8.0	63
8.5	205
9.0	667

*Note:* Adapted from Effect of Tsunamis generated in the Manila Trench on the Gulf of Thailand by Ruangrassamee A. and Saelem N., 2009, Journal of Asian Earth Sciences 36, p.55-56.

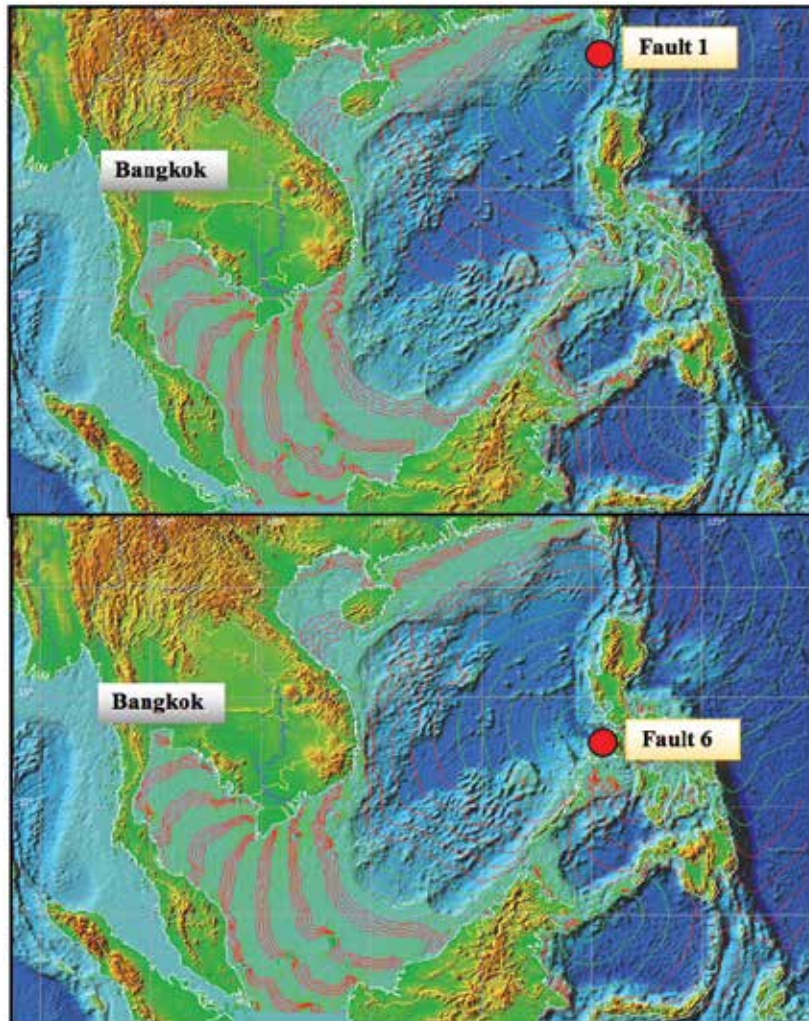
<b>Fault</b>	<b>Bangkok</b>	<b>Prachuap Khiri Khan</b>	<b>Nakhon Si Thammarat</b>	<b>Pattani</b>
1	19.03	16.65	15.01	12.53
2	18.21	16.28	14.18	11.96
3	18.05	15.85	14.01	11.75
4	17.80	15.65	13.76	11.53
5	17:73	15.38	13.72	11.42
6	18.32	15.98	14.47	12.23

*Table 4 Arrival times (hour) of the first wave peak at observation points on the east coast along the Gulf of Thailand.*

## 5. Discussions

This paper answers the question about tsunami risk on the east coast along the Gulf of Thailand. The South China Sea is under tremendous tectonic stresses from many directions due to the complex interactions among tectonic plates. Studies on seismic activities in the South East Asia reveal that there are seismically active with subduction earthquakes along the Manila

Trench. The trench is close to the Gulf of Thailand, so it is the most likely tsunamigenic source making it an excellent candidate to assess the risk of tsunami impact to the east coast of Thailand. Information from the USGS illustrates those earthquakes with magnitude 7.5  $M_w$ , which have a return period of about 19 years, are likely to occur in this region. The magnitude is great enough to trigger a tsunami event. The



*Figure 7* Tsunami waves generated from Fault 1 (Upper) and Fault 6 (Lower) travels across the South China Sea to the Gulf of Thailand. The red dot presents the epicenter at the Manila Fault that triggered tsunami event. The spacing between each contour presents 600 seconds time interval. Each color, either red or green, represents a one hour time interval.

probability of earthquakes in this region is therefore confirmed.

The tsunami numerical modelling software “WinITDB”, based on the shallow - water equations, allows determination of tsunami travel times. Four observation

points are defined along the Gulf of Thailand including Bangkok, Prachuap Khiri Khan Nakhon Si Thammarat, and Pattani provinces. The cross sections at these observation points show that the coastal elevation along the Gulf of Thailand is



generally low with a height of a few meters, thus making it extremely vulnerable to wave inundation. Six locations, suggested by the 2006 Tsunami Source Workshop, are assigned as sources of earthquakes at the Manila Trench for utilizing WinITDB. Tsunami waves propagate from earthquake sources whose water depth varies from 2,700 – 4,000 m depending on their locations. Travel speed of tsunami waves depends on water depth as a tsunami wave is considered as a shallow wave that satisfies shallow water equation.

This study reveals that tsunami can reach the southern part of Thailand in 11.42 hours and reach Bangkok 17.73 hours after an earthquake. Tsunami travel times to observation points on the Thailand's east coast descend from Faults 1 – 5 whereas the time generated from Fault 6 becomes longer. The reason is that the travel time depends on distance to the epicenter and depth. The location of Fault 6 is further to the east and depth is only 2,700 m which is least among other faults. The probability of tsunami generated by the Manila Trench is unlikely to result in loss of human life along Thailand's east coast due to the long travel time of the tsunami wave. The slower wave speed in the Gulf of Thailand allows time to evacuate people away from the coastal zone. In addition, the slow wave speed in the Gulf of Thailand implies that Thailand's

east coast would confront waves with a height of a few centimeters due to strong wave attenuation. The velocity of tsunami wave is a simple direct proportion function of depth, so the attenuation is predominantly caused by shape of the Gulf's bottom bathymetry and shallow depth. As stated, the general shape of the Gulf's bottom bathymetry is considered as an elliptic paraboloid with a mean depth is 45 m, and the maximum depth only 80 m.

## 6. Conclusions

The probability of the earthquakes with magnitude greater than 7.5 Mw is occurring in the vicinity of the Manila Trench is high. Even though coastal elevation on Thailand's east coast is generally low, tsunamis generated by the Manila Trench is unlikely to result in loss of human life along Thailand's east coast due to the long travel time of the tsunami wave. The slowdown of wave speed in the Gulf of Thailand will allow time to evacuate people away from the coastal zone. The slower wave speed in the Gulf of Thailand also implies that Thailand's east coast would confront waves with a height of a few centimeters due to strong wave attenuation. The strong wave attenuation is predominantly caused by shape of the Gulf's bottom bathymetry and shallow water depth.



## References

- [1] Chowdhury Shyamal, et al., 2005. Tsunami Hazards, FEMA Coastal Flood Hazard, Analysis and Mapping Guidelines, Focused Study Report, 42p.
- [2] Chadha, R.K. 2006. Tsunami Sources in the Indian Ocean: Factors and Impact on the Indian Landmass. The Indian Ocean Tsunami, p.33-38.
- [3] Geoffrey Blewitt, et al., 2006. Rapid Determination of Earthquake Magnitude using GPS for Tsunami Warning Systems. Retrieved October 31, 2016 from <http://www.earth.northwestern.edu/individ/seth/Texts/gpswarning.pdf>
- [4] Integrated Tsunami Database for the World Ocean (WinITDB Project): Tsunami Laboratory. Retrieved November 5, 2016 from [http://tsun.sccc.ru/tsun\\_hp.htm](http://tsun.sccc.ru/tsun_hp.htm)
- [5] Kirby, S., Geist, E., Lee, W.H.K., Scholl, D., Blakely, R., 2006. Tsunami Source Characterization for Western Pacific Subduction Zones: a preliminary report. In: USGS Tsunami Sources Workshop 2006. Houston, TX.
- [6] Robinson, Margaret K., 1974. The physical oceanography of the Gulf of Thailand, Naga Expedition; Bathythermograph (BT) temperature observations in the Timor sea, Naga Expedition, Cruise S11, Scripps Institution of Oceanography, 125p.
- [7] Ruangrassamee A. and Saelem N., 2009. Effect of Tsunamis generated in the Manila Trench on the Gulg of Thailand, Journal of Asian Earth Sciences 36, p.55-56
- [8] Susan L. Bilek, Kenji Satake and Kerry Sieh, 2007. Introduction to Special Issue on the 2004 Sumatra – Andaman Earthquake and the Indian Ocean Tsunami. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.97, No. 1A, doi: 10.1785/0210050633, p. s1-s5
- [9] Siripong A., 2010. Detect Coastline Changes in Thailand by remote sensing, International Archives of the Photogrammetry, remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto, Japan. P.992-995.
- [10] The Open University, 1999. Waves, Tides and Shallow – Water Processes, second edition, Butterworth – Heinemann, Oxford, 227 p.
- [11] The Accident Investigation Board Finland, 2004. Investigation Report (A 2/2004 Y): The Natural Disaster in Asia on 26 December 2004, 226 p.
- [12] United States Geological Survey (USGS): Earthquake Facts. Retrieved November 1, 2016 from <https://earthquake.usgs.gov/learn/facts.php>
- [13] Wattayakorn, G., 2006. Environmental Issues in the Gulf of Thailand, ResearchGate, Ch.16, doi: 10.1007/1-4020-3655-8-16, 12 p. Retrieved November 8, 2016 from [https://www.researchgate.net/publication/227211647\\_Environmental\\_Issues\\_in\\_the\\_Gulf\\_of\\_Thailand](https://www.researchgate.net/publication/227211647_Environmental_Issues_in_the_Gulf_of_Thailand)
- [14] Wu, T.-R., Huang and H.-C., 2009. Modeling Tsunamis Hazards from the Manila Trench to Taiwan, Journal of Asian Earth Sciences 36, p.21-28



# การสั่นสะเทือนของเรือ Ship Vibration

น.อ.ยศ.วัฒนา น้อยทอง

กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ  
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

## บทคัดย่อ

การสั่นสะเทือนของเรือที่มากเกินไป เป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบขับเคลื่อน ความเสียหายต่อโครงสร้างเรือ และความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่อยู่บนเรือ ถึงแม้ระดับของการสั่นสะเทือน ไม่สูงมากที่จะทำให้ความเสียหายดังกล่าว แต่ก็ยังทำให้เกิดปัญหาความไม่สะดวกสบายต่อการปฏิบัติงาน หรือพักอาศัยในเรือ รวมถึงส่งผลให้วงรอบการซ่อมบำรุงระบบต่างๆของเรือเพิ่มมากขึ้น

เครื่องจักรใหญ่ เครื่องจักรช่วย และใบจักร เป็นแรงกระตุ้นหลักที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับเรือ ตัวเรือจะเปรียบเสมือนคานแบบปลายทั้งสองข้างเป็นอิสระซึ่งอยู่ภายใต้แรงพลวัตต่างๆ ทั้งนี้ แรงพลวัตจาก เครื่องจักรใหญ่และเครื่องจักรช่วยจะถูกส่งผ่านไปยังฐานแท่นเครื่อง จุดรองรับ และส่งต่อไปยังตัวเรือ แรง พลวัตจากเพลลาใบจักรจะถูกส่งผ่านแบริงเพลลาใบจักรไปยังตัวเรือ การหมุนของใบจักรทำให้เกิดความดันน้ำ ที่ไม่คงที่รอบๆผิวของตัวเรือ การตอบสนองของเรือต่อแรงพลวัตเหล่านี้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อโครงสร้าง เรือและอุปกรณ์ต่างๆ

ในบทความนี้ จะไม่ลงลึกเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการของการสั่นสะเทือน แต่จะกล่าวเน้นถึงสาเหตุ ต่างๆ 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

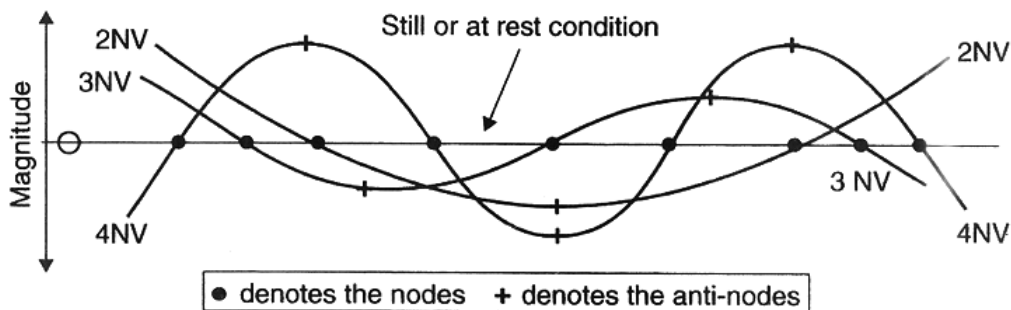
ก่อนอื่นขอทบทวนคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสั่นสะเทือนของเรือ ดังต่อไปนี้

### 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)

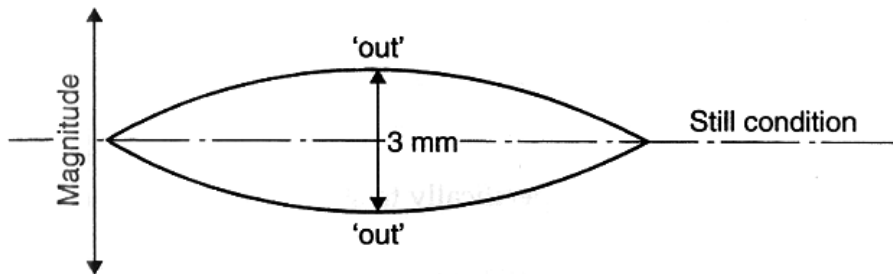
คือลักษณะหรือทิศทางการสั่นสะเทือนของคานหรือเรือ การสั่นสะเทือนอาจเกิดขึ้นในแนวตั้ง (Vertical: V) ในแนวนอน (Horizontal: H) หรือในทิศทางการบิด (Torsional: T) ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า 2NV โหมด คือการสั่นสะเทือนของเรือในทิศทางตั้งฉากที่ประกอบด้วยบัพจำนวน 2 จุด ส่วน 3NH โหมด คือการสั่นสะเทือนของเรือในแนวนอนที่ประกอบด้วยบัพจำนวน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

### 1.4 แอมพลิจูด (Amplitude)

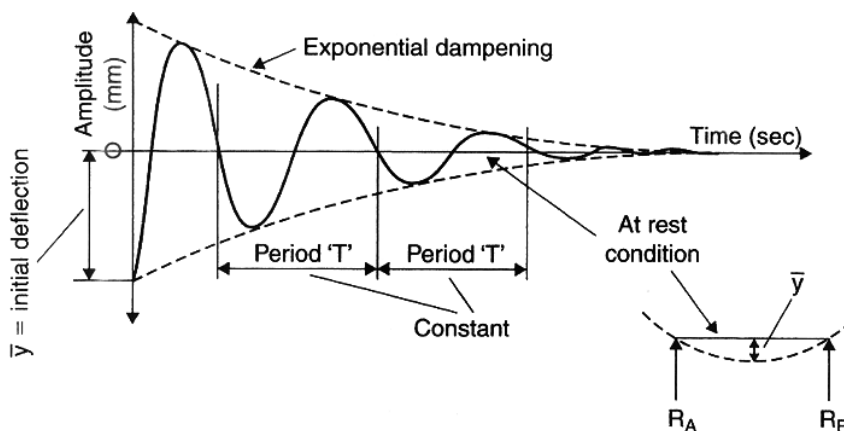
คือระยะครึ่งหนึ่งที่วัดจากจุดต่ำสุดและสูงสุด (Out to Out) ของการสั่นสะเทือน (ดูรูปภาพที่ 2) โดยปกติแอมพลิจูดของแผ่นเหล็กตัวเรือที่กำลังสั่นสะเทือนมีขนาดประมาณ 1.5 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ดี หนังสือชื่อ Ship Vibration ที่เขียนโดย F. Todd ได้กล่าวไว้ว่า แอมพลิจูดสามารถมีขนาดได้สูงถึง 6 มิลลิเมตร

### 1.5 ความถี่ (Frequency)

คือการเคลื่อนที่ของคานหรือเรือที่วัดในหน่วย รอบ/นาที ซึ่งเป็นส่วนกลับของคาบเวลา (T) ดังที่แสดงในรูปภาพที่ 3



รูปภาพที่ 2 การสั่นสะเทือนของแผ่นเหล็ก

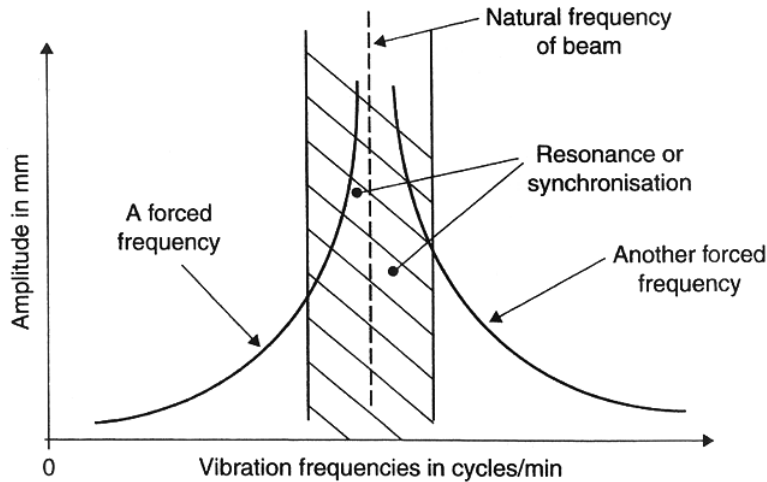


รูปภาพที่ 3 ความถี่ธรรมชาติ 'N' โดยที่  $N = 1/T$

## 1.6 การสั่นพ้อง (Resonance)

ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อความถี่จำนวน 2 ความถี่ ที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนของเรือมีค่าใกล้เคียงกัน หนึ่งในความถี่เหล่านี้อาจจะเป็น

เมื่อสองความถี่นี้ประสานกัน หรือมีค่าเท่ากัน ปัญหาของการสั่นสะเทือนของเรือจะกลายเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง (ดูรูปภาพที่ 4) เพราะความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจะเพิ่มสูงขึ้นมาก



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

ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ของเรือ และอีกความถี่อาจจะเป็นความถี่ของแรงภายนอกที่มากระทำต่อเรือ ทั้งสองความถี่นี้มีหน่วย รอบ/นาที่

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

ประเภทของเรือ	LBP (เมตร)	ระวางขนน้ำ (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 หนึ่งในสาเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของเรือคือ แรงไม่สมดุล (Unbalanced force) ที่ส่งมาจากจุดที่เครื่องยนต์แบบลูกสูบ (Reciprocating engine) ถูกติดตั้ง ส่วนเครื่องยนต์แบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine engine) ซึ่งไม่มีชิ้นส่วนใดไม่สมดุล ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนได้น้อยมาก หรือไม่เกิดขึ้นเลย

2.2 แรงผลักรวมของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine) ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำ (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) ของใบจักรน้อยเกินไป (ดูรูปภาพที่ 5)

2.3.5 แต่ละใบของใบจักร 1 พวงมีความแตกต่างกัน

ของพิทช์ (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) และผลกระทบจากทะเลหลักอีกอย่างเกิดขึ้นจากความถี่ของคลื่นทะเลมีค่าเท่ากับค่าความถี่ของตัวเรือ การสั่นสะเทือนของตัวเรือแบบนี้เรียกว่า Whipping ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ความเร็วสูง (Fast container ship)

## 3. การลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของเรือที่สร้างเสร็จแล้ว

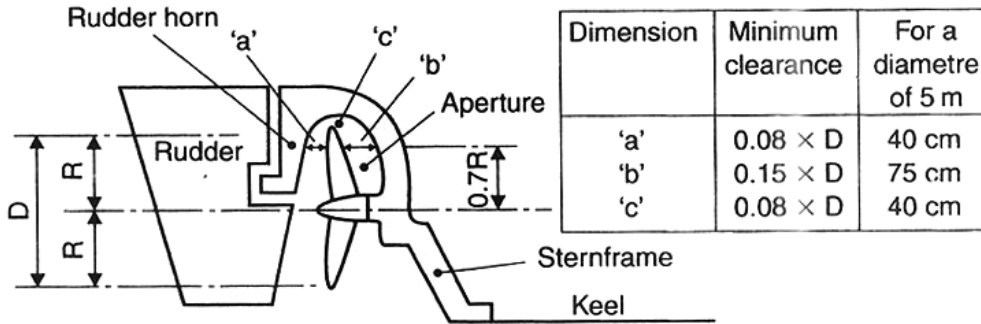
เราสามารถหาแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนได้โดยใช้เครื่องตรวจจับ (Vibrograph) อุปกรณ์นี้จะวัดค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่ความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance frequency)

3.1 ถ้าหากมีเครื่องจักรช่วย (Auxiliary engine) ของเรือ ที่ก่อให้เกิดปัญหาการสั่นสะเทือน เราสามารถดำเนินการเพื่อลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนได้ดังนี้:

3.1.1 ปรับเปลี่ยนรอบเครื่องเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้อง

3.1.2 แก้ไขชิ้นส่วนที่ไม่สมดุลของเครื่องจักรนั้นๆ

3.1.3 รองฐานเครื่องจักรด้วยวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ เช่น ยางแข็ง หรือสปริงโลหะ วัสดุเหล่านี้จะช่วยหน่วงการเคลื่อนที่เหมือนกับโช้คอัพของรถยนต์



รูปภาพที่ 5 ระยะห่างระหว่างใบจักรกับหางเสือของเรือ



รูปภาพที่ 6 ท้องเรือส่วนหัวกระแทกน้ำ (Pounding)

### 3.2 ถ้าการสั่นสะเทือนเกิดจากเครื่องจักรใหญ่ของเรือ ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

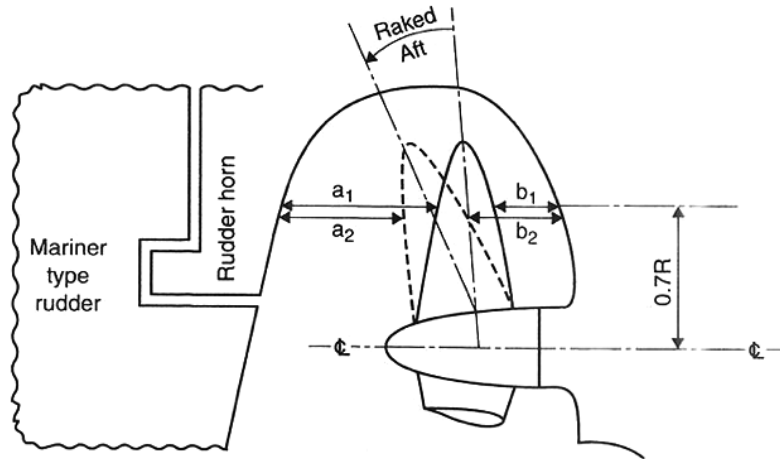
3.2.1 ปรับเปลี่ยนรอบเครื่องเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้อง (Resonance)

3.2.2 เพิ่มน้ำหนักถ่วง (Balance weight) เพื่อลดแรงไม่สมดุลที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน

3.2.3 ถ้าเป็นเรือที่มีสองเพลลาใบจักร (Twin-screw ship) ความเร็วรอบของใบจักรทางด้านซ้าย

สามารถที่จะถูกปรับแต่งเพื่อให้รอบการหมุนของใบจักรแตกต่างจากอีกด้านหนึ่งเล็กน้อย ในปัจจุบัน การปรับแต่งนี้สามารถทำได้โดยใช้เซ็นเซอร์ไฟฟ้า

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



รูปภาพที่ 7 การเพิ่มมุมเอียงของใบ (Rake) ไปทางด้านท้ายเรือ เพื่อเพิ่มระยะห่างของใบจาก  $b_1$  เป็น  $b_2$

สูงสุด เพราะการสั่นสะเทือนอาจจะย้ายจุดไปที่อื่น ซึ่งอาจจะเป็นห้องพักของประจำเรืออีกห้องที่อยู่ถัดไป นอกจากนี้ เหล็กจำนวนมากอาจต้องถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหานี้

### 3.4 ถ้าปัญหาการสั่นสะเทือนเกิดจากใบจักรเรือ ให้ดำเนินการตามสิ่งต่อไปนี้:

3.4.1 เปลี่ยนใบจักรพวงใหม่ ที่มีความสมดุล และไม่มี ความเสียหาย เช่น ใบงอ หรือชำรุด

3.4.2 เปลี่ยนใบจักรพวงใหม่ ที่มีจำนวนใบ แตกต่างจากเดิม เช่น ใช้ใบจักรที่ประกอบด้วยใบ จำนวน 4 ใบ แทนที่ พวงที่ประกอบด้วยใบ 3 ใบ (ดู เพิ่มเติมในตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนใบจักรที่เหมาะสมในหัวข้อถัดไป)

3.4.3 เพิ่มระยะห่างระหว่างใบจักรและท้ายเรือ โดยการเพิ่มมุมเอียงของใบ (Rake) ไปทางด้าน ท้ายเรือ (ดูรูปภาพที่ 7)

3.4.4 เติมน้ำใส่ถังอับเฉาท้ายเรือ ซึ่งเป็นการ หน่วงแรงสั่นสะเทือนทางท้ายเรือที่เกิดจากใบจักร ลดการแพร่กระจายแรงสั่นสะเทือนขึ้นไปทางด้าน บนบริเวณที่พักอาศัยหรือสะพานเดินเรือ

3.4.5 เปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุก ยกตัวอย่าง เช่น เพิ่มหรือถ่ายน้ำออกจากถังอับเฉา จะสามารถ เปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติของตัวเรือได้ ซึ่งมี นอาจจะถูกเปลี่ยนไปเป็นความถี่ที่ไม่เกิดการสั่นพ้อง กับความเร็วรอบของเพลลาใบจักรหรือเครื่องยนต์ขึ้น

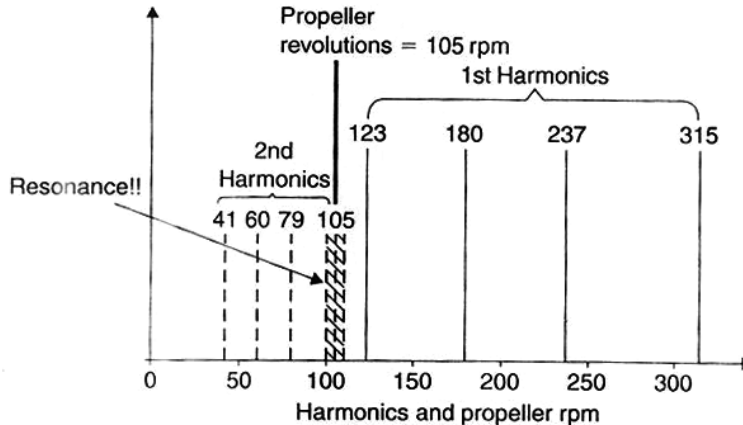
### 3.5 ถ้าปัญหาการสั่นสะเทือนของเรือเกิดจากผล กระทบของทะเล ให้ดำเนินการตามสิ่งต่อไปนี้:

3.5.1 ปรับเปลี่ยนทิศทางของหัวเรือ เพื่อที่จะ หลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้องระหว่างความถี่ ธรรมชาติ ของตัวเรือกับความถี่ของแรงจากคลื่นลม

3.5.2 เพิ่มหรือลดความเร็วเรือเพื่อหลีกเลี่ยง การสั่นสะเทือนที่เกิดจากคลื่นลมในทะเล

## 4. การคำนวณหาจำนวนใบของใบจักรที่เหมาะสม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น หากจำนวนใบ ของใบจักรไม่เหมาะสม มากหรือน้อยไป สามารถ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงได้ ตัวอย่างต่อไป นี้เป็นการคำนวณหาจำนวนใบของใบจักรที่เหมาะสม 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  $315/3$

$$= 41, 60, 79 \text{ และ } 105 \text{ ตามลำดับ}$$

หมายเหตุ ฮาร์โมนิคลำดับที่ 2 สามารถคำนวณได้จากฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 ทหารกับจำนวนใบของใบจักร สำหรับเรือมีใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ, ฮาร์โมนิคลำดับที่ 1 = 123, 180, 237 และ 315 สำหรับเรือมีใบจักรที่ประกอบด้วยใบจำนวน 4 ใบ,

ฮาร์โมนิคลำดับที่ 2 =  $123/4, 180/4, 237/4$  และ  $315/4$

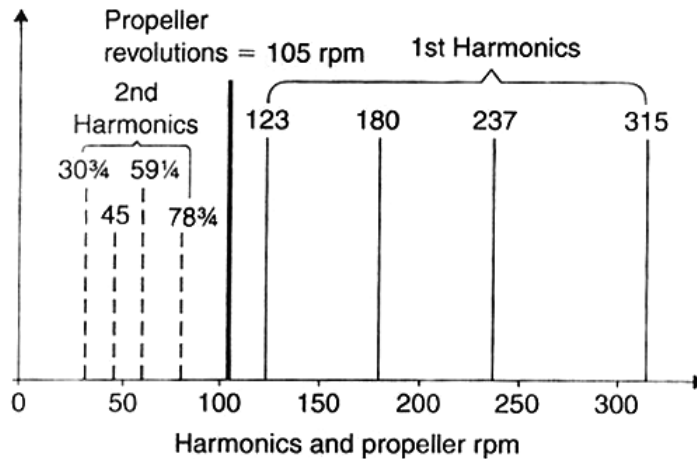
$$= 30.75, 45, 59.25 \text{ และ } 78.75 \text{ ตามลำดับ}$$

รูปภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบของใบจักรซึ่งมีค่า 105 รอบ/นาที มีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของฮาร์โมนิคลำดับที่ 2 ดังนั้นจะเกิดการสั่นสะเทือนที่มีความรุนแรงเนื่องจากเกิดการสั่นพ้องระหว่างความถี่ทั้งสองดังกล่าว ข้อเสนอแนะคือให้เพิ่มจำนวนใบของใบจักรจาก 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 การสั่นสะเทือนของเรือเหมือนกับการผูกกระทงที่เราไม่สามารถป้องกันมิให้มัน

เกิดขึ้นได้ 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/>



## ภูมิแพ้กรุงเทพ PM2.5

น.ท.หญิง จุฑามาศ พบสุข

หัวหน้าแผนกวิชาการ กองวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ

83 หมู่ 12 ถนนพุทธมณฑลสาย 3 เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170

### บทคัดย่อ

ฝุ่น PM2.5 ที่กำลังเป็นปัญหาในปัจจุบัน ในความเป็นจริงนั้น เกิดขึ้นมาหลายปีแล้ว แต่ที่ปรากฏในปีนี้เป็นเรื่องราวค่อนข้างรุนแรง เนื่องจากเกิดขึ้นไวกว่าปกติ ตั้งแต่กลางเดือนมกราคม ซึ่งโดยหลักปกติจะเกิดขึ้นกลางเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อสถานการณ์ยาวนานขึ้นจึงดูค่อนข้างรุนแรง โดยถ้าเราอยู่ในภาวะกลุ่มเสี่ยง เช่น ป่วยเป็นโรคระบบทางเดินหายใจ หรือโรคหัวใจและหลอดเลือด ควรที่จะหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีค่า ฝุ่น PM2.5 เกินมาตรฐาน หรือหากจำเป็นต้องอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว ก็ควรหาทางดูแลรักษาตัวเองด้วยการสวมหน้ากากอนามัยที่สามารถป้องกันฝุ่น PM2.5 ซึ่งในทีนี้จะยกปัจจัยในการเกิดที่เกี่ยวข้องทางด้านอุตุนิยมวิทยา เพื่อให้เกิดการเฝ้าระวัง หรือดำเนินการหาแนวทางแก้ไขในระยะยาวต่อไป

### Abstract

PM 2.5 or Particulate Matters smaller than 2.5 micron that cause health problems as we just have heard about nowadays actually exist and gradually accumulated from several years ago up until now. This condition occurs every year but it seems to be very tough this year. That's because it happens sooner than usual, early January instead of mid-February. The lengthier period the more trouble it causes. Those who have respiratory syndrome, heart diseases or vascular diseases are at risk of getting worse thus should avoid the areas where PM 2.5 level are over the standard. If it is necessary to enter the polluted areas, proper mask must be worn. This article also points out meteorological factors that contribute to this condition which will be beneficial for monitoring and may lead to finding sustainable solutions in the future.

## 1. บทนำ

ภูมิแพ้กรุงเทพ

“เมืองหลวงควั่นและฝุ่นมากมายที่สุดตามเข้าไป ร่างกายก็เป็นภูมิแพ้”

“หมอกจางๆ หรือควั่น คล้ายกันจนบางทีไม่อาจรู้ อยากจะถามดูว่าเธอเป็นดังหมอกหรือควั่น”

“คำว่ารักมันกลายเป็นฝุ่นไปแล้ว”

สารพัดสารพันเนื้อเพลงฝุ่นที่ได้ยินกันมานาน เจ็บซำมาก็เยอะ ออกหักมาก็หลายแต่ก็ไม่เจ็บใจ เจ็บคอเท่าฝุ่น PM2.5 ในเมืองหลวงอันศิวิไลซ์ของเราอีกแล้ว แต่เรายังใช้ชีวิตแบบเดิมๆ อยู่ทุกวัน ฝุ่นก็มีทุกวัน ควั่นดำก็มีทุกวัน สูดเข้าไปตั้งหลายปี ทำไมเพิ่งจะมาตื่นตัว แต่เอ๊ะๆ ว่าไปทำไมเจ็บคอ ทำไมไอ ทำไมจาม ทำไมคัน ทำไมทุกอย่างชั้นกว่า และทำไมบางทีมีเหมือนเลือดออกเวลาไอ หรือมันน่ากลัวขึ้นจริงๆ นะ

## 2. PM2.5 คืออะไร

**Particulate Matters** เป็นคำเรียกค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพซึ่งมีอยู่ด้วยกัน ๒ ชนิด ได้แก่ PM10 และ PM2.5 ส่วนตัวเลข 2.5 นั้นมาจากหน่วย 2.5 ไมครอนหรือไมโครเมตรนั่นเอง

จากภาพที่ปรากฏ เส้นผมว่าเล็กแล้ว PM2.5 กลับมีขนาดเล็กกว่าประมาณ 1 ใน 25 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมเราเสียอีก เล็กชนิดที่ว่าขนจมูกแน่ๆ ยังไม่สามารถกรองได้ แพ้ทางป่องยให้เธอผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ กระแสเลือด แถมเดินทางท่องเที่ยวเข้าเยี่ยมชมกระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายได้อย่างง่ายดาย ยกตัวอย่างเช่น เม็ดเลือดแดงมีขนาด 5 ไมครอน แต่ PM2.5 มีขนาดครึ่งหนึ่งของเม็ดเลือดแดง ดังนั้นถ้า PM2.5 สามารถเข้าไปเยี่ยมเยียนอวัยวะใดๆ ตามแต่ที่เม็ด



รูปที่ 1 แสดงขนาด ฝุ่น PM2.5 เทียบกับขนาดของของชนิดต่างๆ

เลือดแดงจะพาไปนั้น ก็จะเพิ่มหนทางในการเป็นโรคชนิดต่างๆ ได้อีกมากมาย โดยองค์การอนามัยโลกกำหนดให้ PM2.5 จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ของสารก่อมะเร็งเลยก็แล้ว เพราะด้วยผลระยะยาวของ PM2.5 จะทำให้การทำงานของปอดถดถอย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของโรคถุงลมโป่งพอง ที่อาจจะพ่วงแถมโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นมา แม้จะไม่ได้เป็นผู้สูบบุหรี่ก็ตาม โดย PM2.5 เกิดได้จาก 2 ปัจจัยหลักอันได้แก่

**2.1 แหล่งกำเนิดโดยตรง** ซึ่งยังคงแยกย่อย ได้อีก 4 แบบ

2.1.1 การเผาไหม้ในที่โล่ง เป็นการปล่อย PM2.5 มากที่สุดถึง 209,937 ตันต่อปี ดังจะเห็นได้ในพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหลาย ในพื้นที่การเพาะปลูกเชิงเดี่ยวเพื่อป้อนเข้าสู่การผลิตอาหารของบริษัทอุตสาหกรรมเกษตร พื้นที่หลักในการเพาะปลูกเชิงเดี่ยวนี้ อยู่บริเวณภาคเหนือตอนบนของไทย และภูมิภาคลุ่มน้ำโขง รวมไปถึงความใจดีของประเทศเพื่อนบ้านที่ข้ามพรมแดนโดยไม่ผ่านระบบการตรวจคนเข้าเมือง มายังประเทศไทยอีกด้วย

2.1.2 การคมนาคมขนส่ง มีการปล่อย PM2.5 ราว 50,240 ตันต่อปี โดยเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งดีเซลและแก๊สโซฮอล์เป็นหลัก ซึ่งรถเราๆ ท่านๆ ทั้งหลายยังใจดีตั้งตัวเป็นแหล่งกำเนิดออกไซด์ของ ไนโตรเจน (NOx) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ซึ่งล้วนส่งผลต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพของเราทั้งสิ้น

2.1.3 การผลิตไฟฟ้า มีการปล่อย PM2.5 ราว 31,793 ตันต่อปี ถึงแม้ว่าจะมีการปล่อยน้อยที่สุด แต่ท้ายที่สุดแล้วกลับพบว่าการผลิตไฟฟ้ามีส่วนในการปล่อยออกไซด์ของ ไนโตรเจน (NOx) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ออกสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุด

2.1.4 อุตสาหกรรมการผลิต ปล่อย PM2.5 ราว 65,140 ตันต่อปี โดยพื้นที่ที่พบมากที่สุดอยู่ในเขตมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยสาเหตุหลักเกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากสารเคมีและอุตสาหกรรม

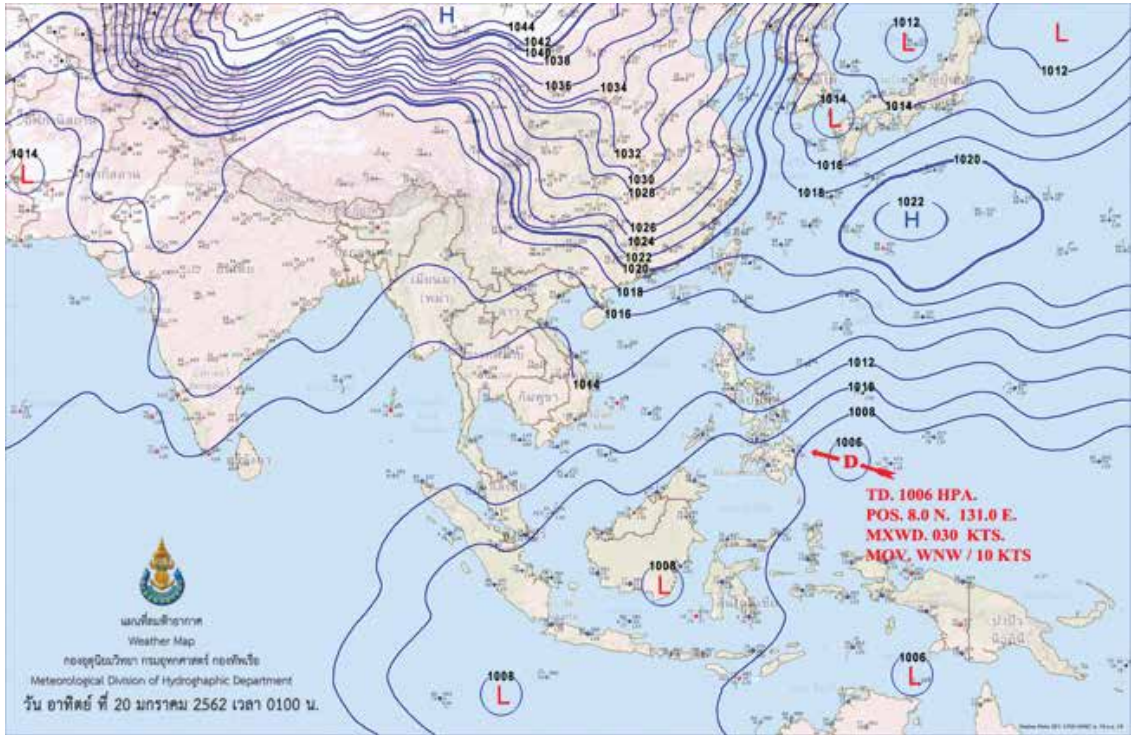
**2.2 การรวมตัวของก๊าซอื่นๆ ในบรรยากาศ** โดยเฉพาะออกไซด์ของ ไนโตรเจน (NOx) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) รวมทั้ง สารปรอท (Hg), แคดเมียม (Cd), อาร์เซนิก (As) หรือโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่ล้วนแล้วแต่เป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์

### 3. PM2.5 กับสภาพอุตุนิยมวิทยา

ฟังคนอื่นพูดในด้านอื่นมาก็เยอะ เราลองมาดูในแง่มุมมองของในแง่ นักพยากรณ์ ว่าทำไม PM2.5 ถึงชอบมาตอนฤดูหนาว จะขอสดชื่นกับหมอกสุดอากาศยามเช้าก็ซึกไม่แน่ใจแล้วว่านี้มันหมอกหรือควันกันแน่

เหล่าท่านทั้งหลายคงได้ยินคำว่า “ความกดอากาศ” มาบ้างแล้ว แต่จะส่งผลอย่างไร ต่อ PM2.5 มาตามต่อกัน ความกดอากาศ คืออากาศที่กดลงบนพื้นที่หนึ่งๆ ยิ่งบริเวณใกล้กันมีความต่างของความกดอากาศมาก ก็ยิ่งเกิดการถ่ายเทรุนแรงมาก ซึ่งจะปรากฏสิ่งที่เรารู้จักกันในชื่อ ลม นั่นเอง ในทางอุตุนิยมวิทยาเราจะได้ยินและได้เห็นสัญลักษณ์สำคัญ 2 อย่าง ได้แก่ L คือความกดอากาศต่ำ (Low) หรือบริเวณที่มีอากาศร้อน โมเลกุลอากาศมันจะเบาหรืออีกนัยหนึ่งคือน้ำหนักของอากาศที่กดมาพื้นที่หนึ่งจะมีค่าน้อยและ H คือความกดอากาศสูง (High) หรือบริเวณที่มีอากาศเย็น โมเลกุลอากาศมันจะหนัก หรืออีกนัยหนึ่งคือน้ำหนักของอากาศที่กดมาพื้นที่หนึ่งจะมีค่าน้อย

เมื่อเราเอาความแปรเปลี่ยนของความกดอากาศที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ไปมองในแง่ของการส่ง



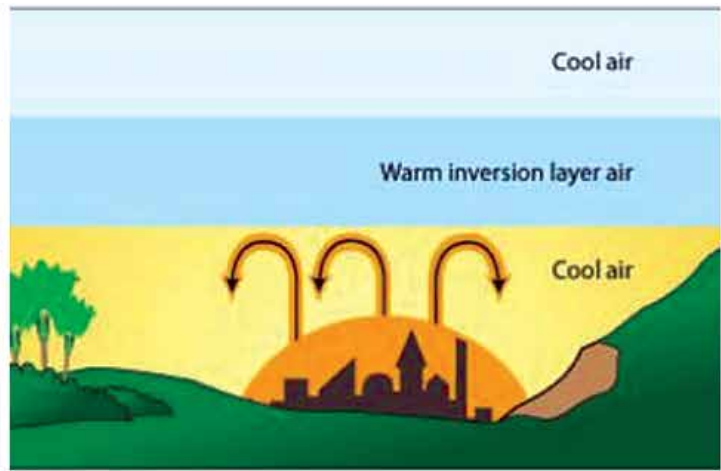
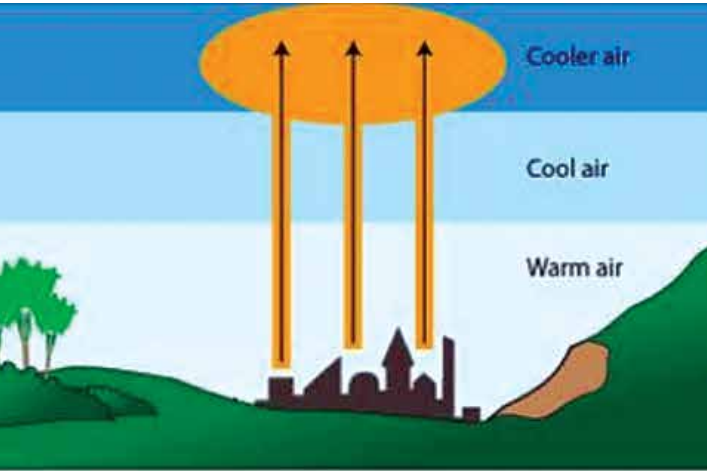
รูปที่ 2 แสดงแผนที่พยากรณ์อากาศผิวพื้น วิเคราะห์โดยกองอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์

พลังงาน การเปลี่ยนความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่กับการส่งผลกระทบต่อกันไปมาระหว่างสภาพอากาศกับสภาพพื้นที่ภูมิประเทศ สำหรับมวลอากาศที่เคลื่อนที่ไปมา ภาชนะของมันก็คือภูมิประเทศนั่นเอง ดังที่เราเคยได้ยินข่าวฝุ่นละอองและหมอกควันที่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่และไม่ยอมไปไหนก็เพราะตัวจังหวัดมีลักษณะเป็นแอ่งซึ่งมวลอากาศไว้ซึ่งจากผลของภูมิประเทศเช่นนี้ ทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า “สภาพอากาศนิ่ง Air stagnation” นั่นเองซึ่งในสภาวะนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาใดก็ได้ เนื่องด้วยปัจจัยหลักขึ้นกับภูมิประเทศ

ตามที่ได้กล่าวมักเกิดในช่วงฤดูหนาว ในความเป็นจริงแล้วมองให้เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ก็จะไม่พบว่ามี PM2.5 เกิดขึ้นทุกปีช่วงปลายฤดูหนาว

ต่อฤดูร้อน จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าอุณหภูมิผกผัน Temperature Inversion

จากภาพทางด้านซ้าย โดยทั่วไปพื้นโลกจะร้อนกว่าด้านบน อากาศร้อนจะยกตัวขึ้น ลมจะพัดมาแทนที่พวกมลภาวะทั้งหลายจึงสามารถกระจายออกจากพื้นที่นั้นรวมถึงสามารถลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกด้วย แต่ในส่วนของปลายฤดูหนาวดังภาพทางด้านขวา อากาศร้อนจากแสงแดดยังคงแผ่ลงมาเช่นเดิม แต่อุณหภูมิที่พื้นดินที่สะสมไว้คืออุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นมีมากกว่าด้านบน อากาศจึงไม่มีการยกตัวหรือยกตัวได้น้อย อีกทั้งในช่วงเวลา 1200 – 1500 ที่เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมินี้ทะเลในวันนั้นควรสูงขึ้น แต่อุณหภูมิพื้นไม่สูงหรือสูงไม่มาก อาจเนื่องจากความชื้นมีมากเป็นปริมาณที่



รูปที่ 3 แสดงชั้นของอุณหภูมิในสภาวะอากาศปกติ และสภาวะที่เกิดมลพิษ

คงที่ ส่งผลให้ความกดมีเสถียรภาพสูง ลมไม่เกิด ก็จะทำให้อากาศไม่สามารถลอยขึ้นไปได้อย่างเต็มที่ และเมื่อถึงเวลากลางคืนอุณหภูมิที่ลดลง ทำให้ความชื้นกลั่นตัวเป็นหมอก และกตฝุ่นควันในโดมอากาศให้ลงมาเข้มข้นที่ระดับภาคพื้น อีกทั้งในช่วงเวลาดังกล่าวมักไม่มีลมพัดมา ดังที่เรามักจะเห็นในเวลาเช้าช่วงฤดูหนาว เป็นการรวมปัจจัยที่ส่งผลด้านลบสภาพอากาศนี้ไม่ช่วยกันไปไหน ของเก่าไม่ไปของใหม่มาเพิ่ม และยังคงลักษณะเช่นนี้ต่อไปจนกว่าจะมีลม หรือบังเอิญฝนตกขึ้นมาเอง

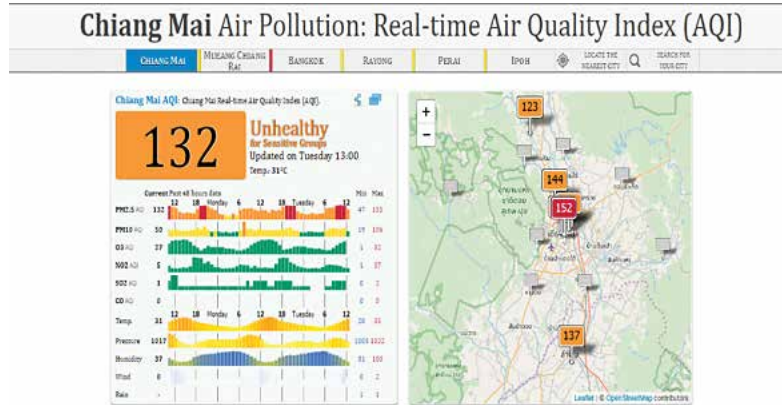
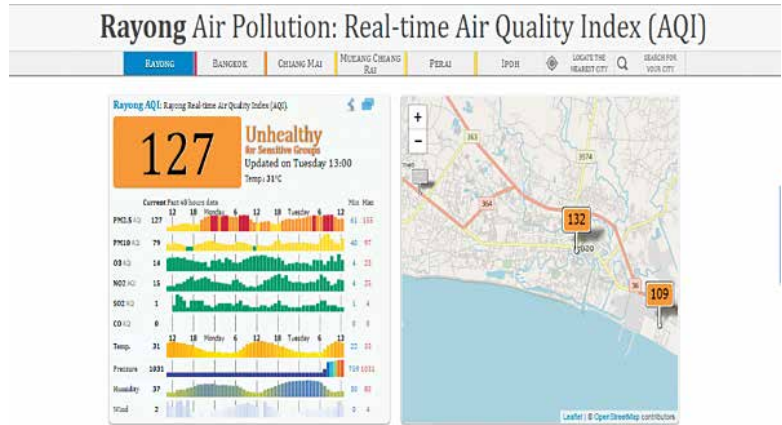
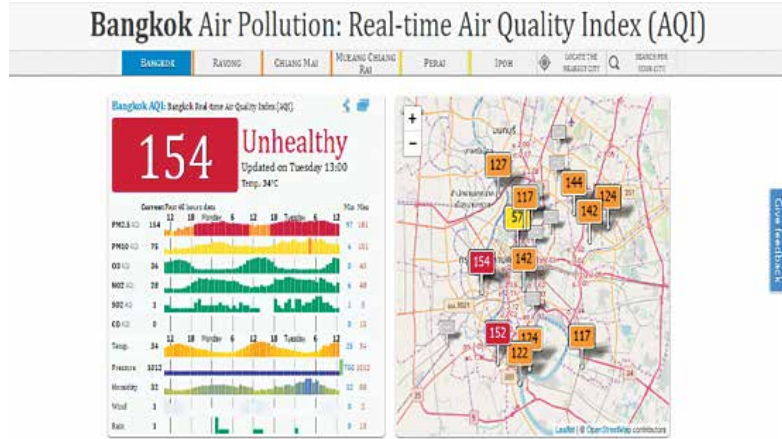
เมื่อกล่าวถึงเรื่องฝน คนมักจะนึกถึงฝนหลวง แล้วก็เกิดคำถามว่าทำไมไม่ทำ ซึ่งปัจจัยในการทำฝนหลวงนั้นประกอบไปด้วย ความชื้นในอากาศ ทิศทางและความเร็วลม ความกดอากาศ และสุดท้ายโชคชะตา ตัวอย่างเช่นใน ปี 2561 มีการทำฝนหลวงในพื้นที่ที่เกิดฝุ่นควัน มีการทำถึง 6 ครั้ง แต่สัมฤทธิ์ผลเพียงแค่ครั้งเดียว เนื่องจากปัจจัยหลายๆ อย่างไม่เพียงพอ เช่นนี้แล้ว การที่ความชื้นในช่วงปลายฤดูหนาวมีความคงที่ ความกดอากาศเบาบาง การทำฝนหลวงจึงยังไม่สัมฤทธิ์ผล

จากการกล่าวถึงสภาพอากาศนี้ ก็จะพบว่าจริงๆ แล้วสภาพอากาศนี้เกิดได้ทุกที่ แล้วแต่ปัจจัยความกดอากาศจะบังเอิญมาตุลกันจนไม่เคลื่อนไหว ยิ่งในบางพื้นที่ ที่มีลักษณะโดนหุบเขาบังหรือเป็นที่ลุ่มล้อมรอบด้วยที่ดอน กระแสลมพัดผ่านข้ามพื้นที่นั้นๆ ไปเป็นร่องปกติ แต่ถ้าเปรียบเทียบกับเมืองหลวงบ้านเราที่ภูเขาที่ไม่มี ดอนก็เหลือน้อย มีแต่หลุมบ่อถนนมากกว่าเสียอีก ทำไม PM2.5 จึงมีมากมาย และมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นทุกปีเนื่องจากลักษณะของเมืองกรุงเทพฯ มีตึกสูงมากมาย เปรียบประหนึ่งเหมือนมีภูเขาคอนกรีตล้อมรอบอากาศไว้ การระบายอากาศทำได้น้อย ทิศทางเดียวของการระบายอากาศมีทางเดียวก็เพียงแค่อลอยขึ้น แต่ก็ไม่สามารถลอยขึ้นได้ เนื่องด้วยมีอากาศบางส่วนกดทับลงมาอีก ลักษณะอากาศของพื้นที่ในบริเวณนั้นๆ มีลักษณะเหมือนกับมีฝาชีอากาศครอบไว้ จากเหตุนี้บวกกับการเกิดสภาพอากาศนี้ และเป็นผลที่ทำให้มลภาวะหายไปได้โดยยาก ดังนั้นแล้ว สิ่งที่เราทำกันอยู่ทุกวันนี้ มันคือการเตรียมกักตุนฝุ่นไว้เพื่อที่จะกลับมาเจอกันอีกทีในปีหน้าหรือเปล่า อย่างไรก็ตาม

ลองช่วยกันปรับเปลี่ยนพฤติกรรมกันดูสักนิด ช่วยกันคนละไม้ละมือ เพื่อให้แต่ละพื้นที่ในประเทศไทย กลับมาเป็นสีเขียวแสดงสภาวะอากาศสดใสกันเถาะ

ในโลกของเราเนี่ย ถ้าอากาศไม่เคลื่อนไหว ความชื้นและความร้อนก็จะถูกกักอยู่ในพื้นที่นั้น โดยมนุษย์เรานั้นจะระบายความร้อนด้วยการระเหยเหงื่อเป็นหลัก อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส ก็สามารถอยู่ได้ถ้าความชื้นในอากาศต่ำ กระแสลมที่เคลื่อนตัวผ่านจากที่เย็น (ความกดอากาศสูง H) ไปสู่ที่ร้อน (ความกดอากาศต่ำ L) เป็นตัวพาทั้งความร้อน ความชื้นและฝุ่นควันออกจากพื้นที่ แต่ถ้าอากาศหยุดนิ่ง ความชื้นจากแม่น้ำ คูน้ำ เหงื่อของคน ไม่สามารถระบายออกจากพื้นที่ และด้วยความชื้นที่สูงขึ้นนี้ จะส่งผลให้อากาศยิ่งทวีความร้อนมากขึ้น วิ่งเข้าหาเครื่องปรับอากาศกันว่องไว เพราะร่างกายเราขับเหงื่อออกก็จริงแต่ไม่ระเหย อุณหภูมิแค่ 35 องศา ก็เกินพอที่จะฆ่ากันให้ตายอย่างเลือดร้อนได้เลยทีเดียว และถ้าความชื้นถึง 100% พร้อมเกิดสภาพอากาศนิ่ง ที่ไม่สามารถนำความชื้นออกไปได้ ฝุ่นละอองและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ก็จะคงอยู่ในพื้นที่ ผลที่ปรากฏก็จะทั้งร้อน ทั้งอึดอัด หายใจไม่ออก และในบางคนที่แพ้ฝุ่นอยู่แล้ว ก็อาจเกิดเหตุฉุกเฉินต้องเข้าพบแพทย์โดยด่วนได้ง่าย

จากเหตุผลนี้ การตั้งโรงงานอุตสาหกรรมหรือสร้างเมืองใหญ่ๆ ในพื้นที่ดังกล่าว อันตรายจากฝุ่นควันก็จะสูง และ



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบสภาวะอากาศในประเทศไทย บริเวณ 3 พื้นที่ ในวันที่ 29 มกราคม 2562



รูปที่ 5 แสดงการป้องกันฝุ่น PM2.5 จากการสวมใส่หน้ากากชนิดต่าง ๆ

เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้แม้จะมีการควบคุมมลพิษของโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยออกให้เป็นไปตามมาตรฐานก็ตามแต่ ดังนั้นการพัฒนาตัวเมืองโดยไม่มีการศึกษาเรื่องภูมิประเทศหรือปล่อยให้การเติบโตมีมากกว่าความจำเป็นย่อมเพิ่มทวีอันตรายจากสภาวะอากาศนี้ต่อประชาชนในพื้นที่นั้นๆ อย่างแน่นอน

#### 4. แนวทางป้องกันและดูแลสุขภาพ

เมื่อปัญหายังไม่ถูกแก้และยังหาทางลงกันไม่ได้ คนที่แพ้กัต้องดูแลตัวเองกันไปก่อน โดยที่บางท่านอาจมองว่าฉันคนเดียวจะเริ่มได้อย่างไร ทุกอย่างเกิดขึ้นได้ สำเร็จได้ ถ้าทุกคนเริ่มต้นจากตัวเอง คิดเช่นนี้ 100 คนก็ได้ 100 แรง หลากหลายแนวทางในการแก้ปัญหาที่สามารถเริ่มต้นที่เราได้เช่น การใช้

ยานยนต์ส่วนตัวไปกับเพื่อน รวมกันหลายคนหนึ่งคัน มีเพื่อนร่วมเดินทาง การป้องกันฝุ่น PM2.5 นั้น ไม่ควรเผาไหม้ในที่โล่งแจ้งหรือออกไปในพื้นที่สาธารณะที่มีฝุ่น ควันมาก ๆ แต่ท้ายที่สุดแล้วหากเลี่ยงพื้นที่สาธารณะไม่ได้ควรสวมใส่หน้ากากอนามัย ชนิดที่สามารถป้องกันฝุ่น PM2.5 ได้ หรือที่เรียกกันว่าหน้ากากชนิด N95 หรือชนิดที่เป็นหน้ากากอนามัยธรรมดาถึงจะกันได้ไม่หมด แต่ก็ดีกว่าไม่ดูแลตัวเองเลย และสุดท้าย การดูแลตัวเองให้มีความแข็งแรงไว้ล่วงหน้า ด้วยการทานอาหารที่มีประโยชน์ ออกกำลังกาย แต่ในช่วงเวลาที่ฝุ่น PM2.5 มีมากมายเช่นนี้ ควรงดการออกกำลังกายกลางแจ้งไว้ก่อน เนื่องด้วยไม่สามารถใส่หน้ากากชนิด N95 ได้ในเวลาออกกำลังกาย ด้วยหน้ากากชนิดนี้ทำให้แรงต้านอากาศเวลาหายใจเพิ่มขึ้น หายใจเข้าและ





ออกใช้กล้ามเนื้อหัวใจ ใช้แรงมากขึ้น และการหายใจ  
ผ่านหน้ากาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ยังคง  
ค้างอยู่ในหน้ากาก ซึ่งจะเข้าไปในการหายใจเข้าใน

ครั้งถัดไป ก๊าซออกซิเจน (O2) จึงมีน้อยกว่าที่ควร  
อาจทำให้เกิดการหมดสติหรือถึงขั้นเสียชีวิตได้ ดูแล  
ตัวเอง รักษาสุขภาพทุกท่าน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] “ฝุ่น : เหตุใดสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก จึงพุ่งสูงขึ้นมาอีกครั้ง.” 2561.[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา <https://www.bbc.com/thai/thailand-46643980>
- [2] “PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ กับวิกฤตสุขภาพที่คนไทยจะต้องแลก.” 2561.[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://thestandard.co/pm-2-5-environmental-nano-pollutants/>
- [3] “มาทำความเข้าใจเรื่องอากาศกันเถอะ.” 2560.[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา <https://medium.com/discovery/>
- [4] “นิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม.”[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา [https://il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter2/chapter2\\_airpolution5.htm](https://il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter2/chapter2_airpolution5.htm)
- [5] ชาคริต โชติอมรศักดิ์, 2556. ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ และปัญหาหมอกควัน. รายงานการประชุม. การประชุมเชิงปฏิบัติการ การเตรียมความพร้อมรับมือผลกระทบสุขภาพ จากภาวะหมอกควันและไฟป่า ปี 2556. ภาควิชาภูมิศาสตร์. คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [6] ภาพประกอบจาก <https://thestandard.co/pm-2-5-environmental-nano-pollutants>, <http://www.rtnmet.org>, [https://www.chiangmaihealth.go.th/cmpho\\_web/document/151124144834740840.pdf](https://www.chiangmaihealth.go.th/cmpho_web/document/151124144834740840.pdf), <http://aqicn.org/city/bangkok>, [www.facebook.com/globebangkok](http://www.facebook.com/globebangkok)



## เสียงเรือ Ship Noise

น.ท.อัศนัย ไทรบุญจันทร์

กองวิชาอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ  
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

### บทคัดย่อ

เสียง เป็นคุณลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์อย่างหนึ่งของเรือ ถึงแม้เสียงจะไม่มีลักษณะทางกายภาพ แต่ส่งผลอย่างมากต่อการใช้งานเรือ เนื่องจากความมีเอกลักษณ์และสามารถแพร่ออกไปได้ไกลจากตัวเรือ ทำให้ถูกตรวจจับ วิเคราะห์และแยกแยะได้จากระยะไกล ในเรือสมัยใหม่ทั้งเรือเดินสมุทรและเรือพาณิชย์ต่างก็มีการคำนึงถึงปัจจัยเรื่องเสียงของเรือตั้งแต่ขั้นตอนในการออกแบบรวมถึงการเลือกใช้และจัดวางส่วนประกอบต่าง ๆ ของเรือตามคุณลักษณะเสียงตามที่ต้องการ สำหรับด้านการทหารโดยเฉพาะกองทัพเรือ นั้น ในปัจจุบันเรือดำน้ำรวมถึงอาวุธประเภทที่ระเบิดและตอร์ปิโดที่ทำงานด้วยเสียงยังคงเป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อเรือผิวน้ำ เสียงทั้งจากเรือผิวน้ำและเรือดำน้ำต่างเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากในการรบ เป็นตัวแปรที่สามารถชี้วัดความเป็นตายได้ บทความนี้จะกล่าวถึงเสียงของเรือ (Ship Acoustic หรือ Ship Noise) ว่าเกิดจากสาเหตุใดบ้าง เอกลักษณ์ทางเสียงของเรือ (Ship Acoustic (or Sound) Signature) คืออะไร เสียงเรือมีความสำคัญอย่างไร และวิธีการที่ช่วยลดเสียงที่เกิดจากเรือเป็นอย่างไร เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับเสียงของเรือ

### Abstract

“Sound” is one of the of the ship identities. Even though sound is not physical characteristic, it affects a lot in ship performances. Since sound can show an identity of the ship and travel at long distance, any ship can be analyzed and distinguished at long



distance if their sound can be detected. For modern ship such as tanker, merchant ship or cruiser, sound factor is carefully considered since the process of ship design, material (or machinery) selection and ship assembly to meet the sound characteristic they needed. In modern military, especially navy, submarine, acoustic mine and acoustic torpedo are considered important threats for the surface ships. Sound from surface or sub-surface ship is a very crucial factor for the ship survival. This article will focus on Ship Acoustic (or Ship Noise) which explains about the causes and effect of it. The article also mentions Ship Acoustic (or Sound) Signature, the importance of ship acoustic and how to reduce the acoustic level of the ship to give more understanding about ship acoustic to the reader.

## 1. บทนำ

เอกลักษณ์ (1) [เอกกะ-] น. ลักษณะที่เหมือนกันหรือมีส่วนร่วม (อ. identity).<sup>1</sup> เอกลักษณ์เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความเป็นลักษณะเฉพาะซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกหรือควรวรรณของสิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งออกจากสิ่งอื่น ๆ โดยปกติแล้วเมื่อเราจะกล่าวถึงเรือลำใดลำหนึ่งแบบเฉพาะเจาะจง เราก็จะบอกเอกลักษณ์ของเรือลำนั้นซึ่งปกติแล้วคือ ชื่อเรือ หรือ call sign ที่แตกต่างกันไปในเรือแต่ละลำ นอกเหนือจากชื่อเรือแล้วเรือยังมีเอกลักษณ์อื่น ๆ เพื่อช่วยในการจำแนกเรือแต่ละลำ คือ ลักษณะทางกายภาพ เช่น วัสดุ สี ขนาด อัตรากินน้ำลึก ความสูง รูปทรง เป็นต้น รวมถึงคุณลักษณะที่มีใช้กายภาพ เช่น ลักษณะการแพร่คลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ประเภทต่าง ๆ (AIS คลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุสื่อสาร เป็นต้น) และการสะท้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งนี้ในการจำแนกเรือลำหนึ่ง ๆ ออกจากเรือลำอื่น

จำเป็นที่จะต้องใช้ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มาประกอบกันเพื่อให้เกิดความถูกต้องสูงสุด การใช้ปัจจัยประกอบเพียงปัจจัยเดียวอาจทำให้ไม่สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม การอ่านชื่อหรือพิสูจน์เอกลักษณ์ต่าง ๆ ของเรือต่างก็มีข้อจำกัดเนื่องจากเรือบางลำที่มีการใช้งานในลักษณะผิดกฎหมายหรือเรือรบที่อยู่ภายใต้สภาวะที่มีการรบเรืออาจจะมีการพรางโดยการเปลี่ยนสีหรือเปลี่ยนชื่อรวมถึงดการแพร่คลื่นต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้การตรวจจับและจำแนกเอกลักษณ์เรือทำได้ยาก หรือต้องเข้าไปอยู่ในระยะใกล้ อย่างไรก็ตามในบรรดาคคุณลักษณะต่าง ๆ ของเรือเหล่านี้มีคุณลักษณะหนึ่งซึ่งถือได้ว่าเป็นเอกลักษณ์ที่สำคัญของเรือซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกเรือแต่ละลำได้นั้นคือเอกลักษณ์ทางเสียงของเรือ

<sup>1</sup> พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2554



## 2. เอกลักษณ์ทางเสียงของเรือ

เอกลักษณ์ทางเสียงของเรือ (Ship Acoustic (or Sound) Signature) เป็นคุณลักษณะเฉพาะของเรือลำหนึ่ง ๆ เช่นเดียวกับเสียงของคนที่มีความแตกต่างกัน ทั้งความดัง (Amplitude) หรือ ความดัน (Pressure) และ ความถี่ (Frequency) เรือทุก ๆ ลำเมื่อมีการเคลื่อนที่ก็จะก่อให้เกิดเสียงซึ่งมีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกตัวเรือ เรียกรวม ๆ ว่า เสียงเรือ (Ship Noise) ซึ่งแพร่ออกจากตัวเรือสู่น้ำผ่านชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวเรือหรือช่องว่างภายในตัวเรือผ่านการสั่นสะเทือน (Vibration) เสียงเหล่านี้มีที่มาแตกต่างกันและมีคุณลักษณะที่ไม่เหมือนกันในเรือแต่ละลำ ดังนั้นจึงถือได้ว่าเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของเรือลำหนึ่ง ๆ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นเสียงเฉพาะของเรือมีดังนี้<sup>2</sup>

### 2.1 เสียงจากเครื่องกลในเรือ (Machinery Noise)

คือเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่บนเรือ ประกอบด้วยเครื่องขับเคลื่อน เช่น เครื่องจักรใหญ่ มอเตอร์หลัก และชุดเกียร์ และเครื่องจักรกลสนับสนุน เช่น เครื่องไฟฟ้า ระบบแอร์ ปัมต่าง ๆ เป็นต้น เสียงเหล่านี้จะถูกส่งผ่านไปยังน้ำทะเลโดยการสั่นสะเทือนผ่านตัวเรือ โดยมีสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดเสียงคือ

2.1.1 การหมุนของชิ้นส่วนที่เกิดการไม่สมดุล เช่น เพลาขับ แกนมอเตอร์

2.1.2 การเคลื่อนอย่างไม่ต่อเนื่องของการเคลื่อนไหวยาวเป็นวงรอบ เช่น เฟืองต่าง ๆ มอเตอร์หรือใบพัดเทอไบน์

2.1.3 ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่สลับไปมา เช่น ลูกสูบ เครื่องจักร วาล์ว เป็นต้น

2.1.4 การเกิดโพรงอากาศและการปั่นป่วนของของไหลภายในท่อ ปัม หรือวาล์ว

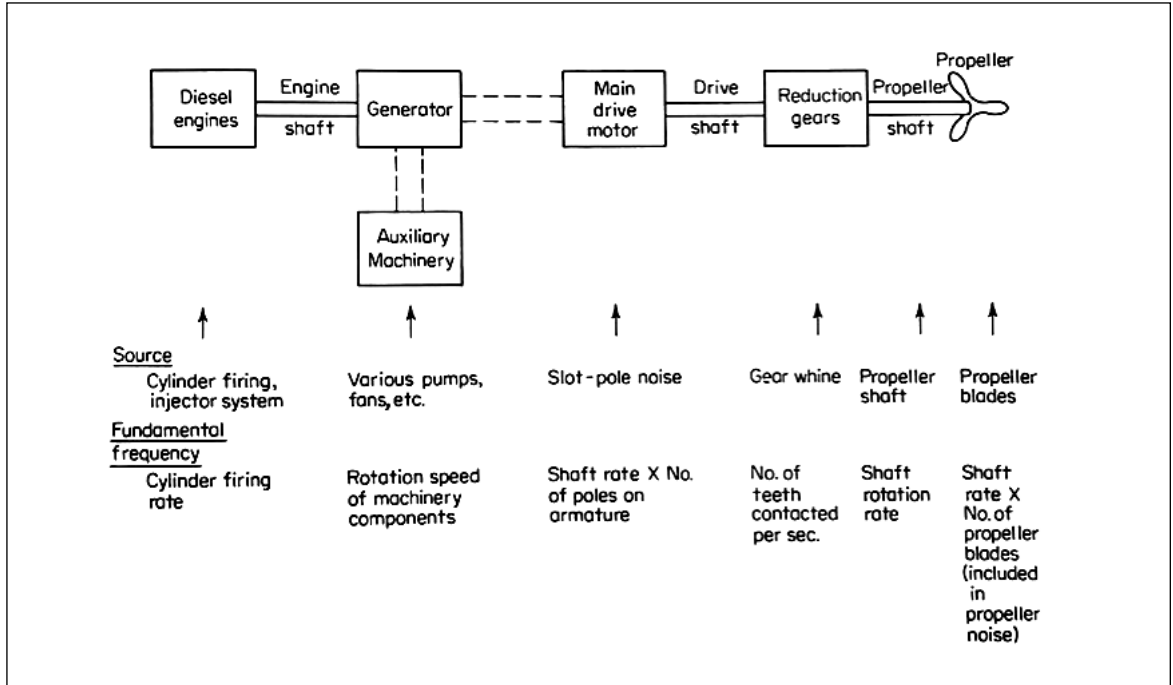
2.1.5 การเกิดความฝืด (friction) ของชิ้นส่วน เช่น ลูกปืนเครื่องจักร

การสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องกลต่าง ๆ ในเรือนี้จะก่อให้เกิดเสียงระดับต่ำ ที่มีลักษณะต่อเนื่อง (Low-level Continuous) ในช่วงความถี่ (Spectrum) ที่ค่อนข้างชัดเจน ทั้งนี้เครื่องจักรกลแต่ละชนิดบนเรือต่างก็มีการสั่นสะเทือนและมีเสียงเฉพาะตัว การที่เสียงของเครื่องกลเหล่านี้ผสมผสานกันก่อให้เกิดเสียงที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของเรือ แต่หากเครื่องจักรกล (หรือเสียงหนึ่งเสียงใด) ขาดหายไปจากระบบก็อาจทำให้ลักษณะเสียงโดยรวมของเรือเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน

### 2.2 เสียงจากใบจักรเรือ (Propeller Noise) ถึง

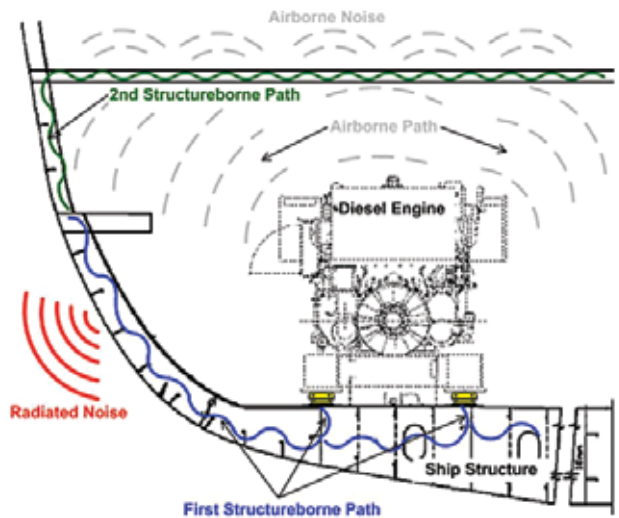
แม้ว่าใบจักรเรือจะเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบขับเคลื่อนเรือแต่เสียงที่เกิดจากใบจักรเรื่อนั้นมีความแตกต่างจากเสียงเครื่องกลในเรือทั้งสาเหตุของการเกิดเสียงและความถี่เสียง ดังที่กล่าวมาแล้วว่าเสียงของเครื่องกลเรื่อนั้นดังออกมาจากตัวเรือ แต่เสียงจากใบจักรนั้นเป็นเสียงที่เกิดขึ้นนอกตัวเรือ โดยมีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของใบจักรผ่านน้ำ เสียงจากใบจักรนี้มีที่มาจากเกิดโพรงอากาศ (Cavitation) เป็นหลัก คือเมื่อใบจักรเรือเคลื่อนที่ถึงความเร็วระดับหนึ่งมวลน้ำจะไม่สามารถเคลื่อนที่ตามใบจักรได้ทัน ความแตกต่างของความ

<sup>2</sup> Principle of Underwater Sound, Robert J. Urick, Page 332



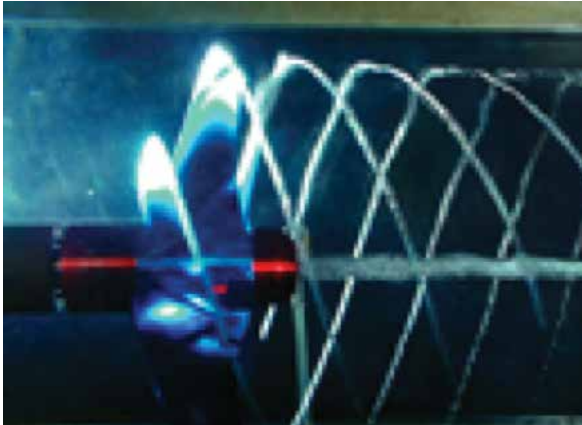
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องกลและแหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดจากเครื่องยนต์แบบ Diesel-Electric<sup>3</sup>

คันที่ผิวของใบจักรกับน้ำที่อยู่รอบ ๆ จะก่อให้เกิดโพรงอากาศขึ้นในน้ำบริเวณผิวใบจักร (โดยเฉพาะปลายใบจักร) ภายในโพรงอากาศเหล่านี้เป็นสุญญากาศเมื่อฟองอากาศเหล่านี้สลายตัวลงไปโดยความกดของน้ำจะก่อให้เกิดคลื่นเสียงความถี่สูง โดยปกติแล้วเสียงที่เกิดจากใบจักรนี้จะมีคามดังสูงสุดในช่วงความถี่ 100 - 1000 Hz โดยเมื่อเรือใช้ความเร็วสูงขึ้นหรือเมื่อใบจักรอยู่ใกล้ผิวน้ำมากขึ้นเสียงที่เกิดขึ้นจะมีความถี่ต่ำลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เนื่องจากโพรงอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง

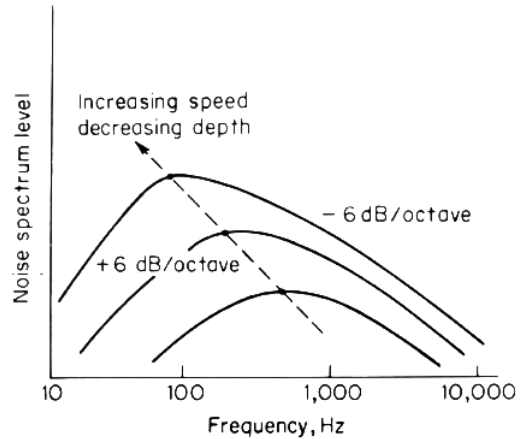


ภาพที่ 2 การส่งผ่านเสียง (ความสั่นสะเทือน) จากเครื่องยนต์ผ่านตัวเรือ

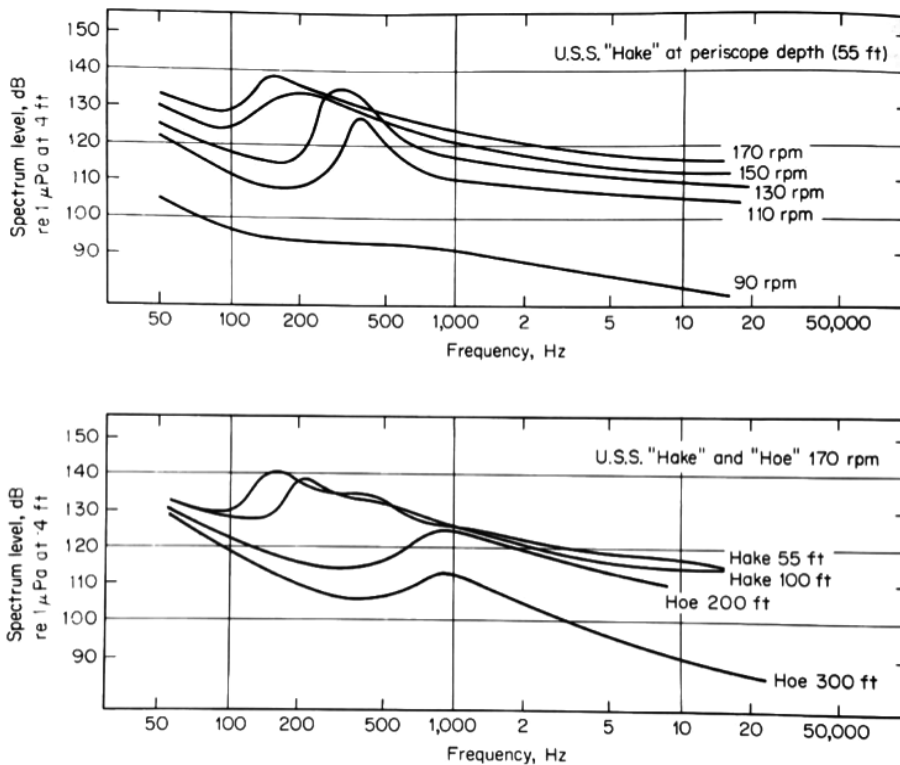
<sup>3</sup> Principle of Underwater Sound, Robert J. Urick, Fig. 10.4 Page 333



ภาพที่ 3 การเกิดฟองอากาศ (Cavitation) จากการหมุนของใบจักร<sup>5</sup>



ภาพที่ 4 ความแตกต่างของการเกิดเสียงจากโพรงอากาศใบจักรที่ความเร็วและความลึกน้ำต่างกัน<sup>6</sup>

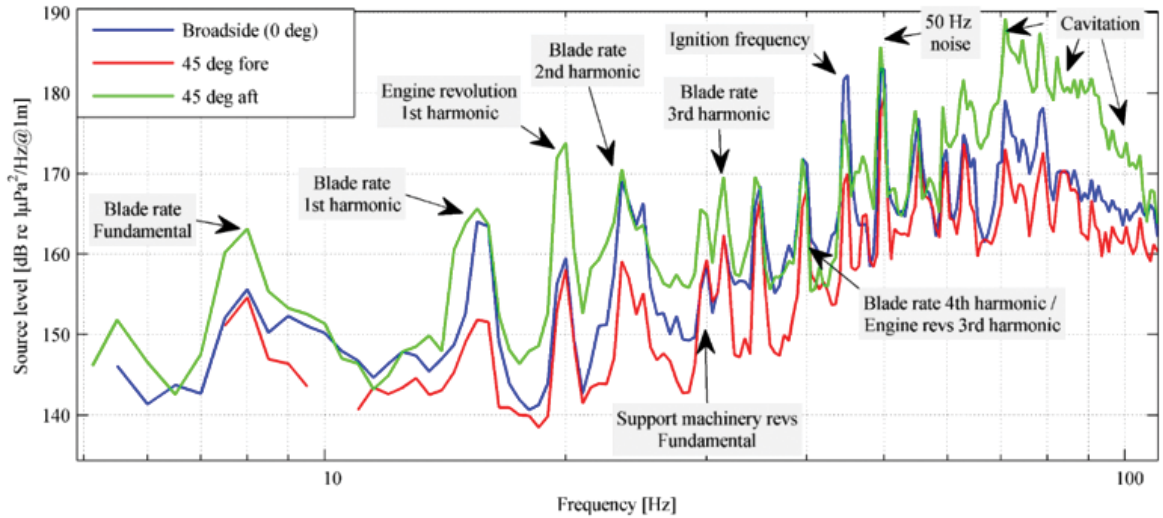


ภาพที่ 5 ผลการวัดค่าเสียงใบจักรของเรือดำน้ำ "Hake" และ "Hoe" ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ความเร็วและความลึกต่างกันโดยการติดตั้งไฮโดรโฟนที่ระยะ 4 ฟุต จากใบจักร<sup>7</sup>

<sup>5</sup> <https://www.nakashima.co.jp/eng/product/fpp.html>

<sup>6</sup> Principle of Underwater Sound, Robert J. Urick, Fig. 10.5 Page 335

<sup>7</sup> Principle of Underwater Sound, Robert J. Urick, Fig. 10.5 Page 336



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการตรวจวัดเสียงเรือที่ด้านหน้า (45 องศาด้านหน้าจากป้อมเรือ) ด้านข้าง และด้านหลังเรือ (45 องศาด้านหลังจากป้อมเรือ)<sup>8</sup>

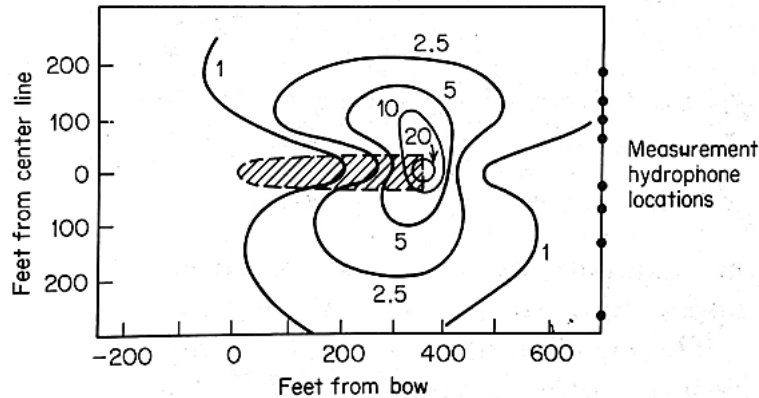
จากภาพที่ 5 สังเกตได้ว่าเมื่อใช้รอบใบจักรสูงขึ้นเสียงจากใบจักรจะมีความถี่ลดลงและเมื่อใช้รอบใบจักรคงที่ เมื่อเรือดำน้ำอยู่ใกล้ผิวน้ำมากขึ้นเสียงจากใบจักรก็จะมีค่าถี่ลดลงเช่นกัน

เมื่อทำการทดลองนำเรือเคลื่อนที่ผ่านไฮโดรโฟนจะเห็นว่าความดังของเสียงเนื่องจากเครื่องกลในเรือจะมีค่าสูงสุดก่อนค่าความดังเสียงสูงสุดของใบจักรจะปรากฏซึ่งมีสาเหตุจากการที่ใบจักรติดตั้งอยู่บริเวณท้ายเรือนั่นเอง

จากภาพที่ 6 สังเกตได้ว่าเสียงจากด้านข้างและท้ายเรือมีความเข้ม(ดัง) มากกว่าเสียงทางด้านหัวเรือ และเสียงจากด้านท้ายเรือ(เส้นสีเขียว) จะมีความถี่เสียงชุดหนึ่งโดดเด่นขึ้นมาในช่วงความถี่ 70 – 100 Hz ซึ่งก็คือเสียงจากฟองอากาศใบจักรนั่นเอง เสียงจาก

ใบจักรนั้นนอกจากได้รับผลกระทบจากความเร็วและความลึกแล้ว เรือในขณะแล่น เร่งความเร็วหรือใบจักรเสียหายก็เป็นปัจจัยให้เกิดเสียงดังมากขึ้นอีกด้วย ปัจจัยสำคัญที่สุดของการเกิดเสียงดังจากใบจักรคือการเกิด การสั่นพ้อง (Resonant) ของเสียงจากใบจักรซึ่งทำให้เกิดเสียงดังที่ความถี่ 100 – 1,000 Hz ที่สามารถเดินทางได้ไกลหลายไมล์จากเรือ เสียงจากใบจักรนี้จะแพร่ออกในทิศทางด้านข้างของเรือมากกว่าด้านหัวหรือท้ายเรือเนื่องจากเสียงทางด้านหัวเรือจะถูกลดทอนความเข้มเสียงโดยตัวเรือและเสียงทางด้านท้ายเรือจะถูกลดทอนความเข้มเสียงจากฟิวน้ำท้ายใบจักร

<sup>8</sup> <https://www.sspa.se/shipping-and-underwater-radiated-noise>



ภาพที่ 7 การแพร่ของเสียงบริเวณใบจักรท้ายเรือ

**2.3 เสียงจากการไหลของน้ำผ่านตัวเรือ (Hydrodynamic Noise)** คือเสียงที่เกิดจากการไหลของน้ำผ่านตัวเรือตัวเรือในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบหรือผันผวน การไหลของน้ำที่ผันผวนนี้สามารถก่อให้เกิดเสียงได้โดยตรงจากแรงกดของน้ำหรืออาจทำให้ตัวเรือเกิดการสั่นไหวก่อให้เกิดเสียงได้ เสียงจากการไหลของน้ำนี้เรียกโดยรวมว่า flow noise

เสียงที่เกิดจากการไหลของน้ำโดยตรงนั้นมีความสม่ำเสมอและเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วของเรือแต่เสียงไม่สามารถแพร่กระจายเสียงไปได้ไกล ต่างจากเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของตัวเรืออันเนื่องมาจากการไหลของน้ำที่อาจเกิดการสั่นพ้อง (Resonant) ของเสียงจากส่วนต่าง ๆ ของเรือทำให้เกิดเสียงที่แพร่ไปได้ในระยะไกล ปัจจัยที่ก่อให้เกิดเสียงจากการไหลของน้ำมีดังนี้

2.3.1 คุณลักษณะ (รูปแบบ) ต่าง ๆ ของการผันผวนของความกดอากาศในชั้นน้ำปั่นป่วน (turbulent boundary layer)

2.3.2 การตอบสนองต่อความปั่นป่วนของกระแส น้ำของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวเรือ

2.3.3 การแพร่ของเสียงจากชิ้นส่วนเรือที่มีการสั่นสะเทือน

โดยสรุปแล้วเสียงจากเรือมีปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดเสียง 3 ปัจจัยคือ เสียงจากเครื่องกลในเรือ เสียงจากใบจักรเรือ และเสียงจากการไหลของน้ำผ่านตัวเรือ จาก 3 ปัจจัยนี้ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดเสียงดังมากที่สุดคือ เสียงจากเครื่องกลในเรือและเสียงจากใบจักรเรือ จากปัจจัยที่ก่อให้เกิดเสียงทั้งสามประการข้างต้นเมื่อเสียงทั้งหมดมีการสอดประสานกันจะก่อให้เกิดเสียงที่มีลักษณะเฉพาะของเรือลำหนึ่ง ๆ ขึ้นมาเรียกได้ว่าเป็นเอกลักษณ์ทางเสียงของเรือ (Ship Acoustic (or Sound) Signature)<sup>9</sup> นั่นเอง

### 3. ความสำคัญของเสียงเรือ

ปัจจุบันการสร้างเรือควรจะมีการวัดคุณลักษณะทางเสียงของเรือแต่ละลำไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อการใช้งานด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะเรือรบหรือเรือช่วยรบ<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Wikipedia, Acoustic Signature 15 ธ.ค.2561

<sup>10</sup> Noise and Vibration: What's Your Signature, www.ship-technology.com, 17 March 2011



การวัดค่าคุณสมบัติทางเสียงของเรือนี้ NATO ได้กำหนดมาตรฐานไว้ในเอกสาร NATO STANAG 1136 MIS (Edition 3) – Standards for use when measuring and reporting radiated noise characteristics of surface ships submarines helicopters etc. in relation to sonar detection and torpedo acquisition risk และยังมีกรกล่าวถึงใน NATO AMP-15 Standards for naval mine warfare acoustic measurements

หากเราพิจารณาสมการโซนาร์ (Sonar Equation) เราจะสังเกตได้ว่ามีตัวแปร 2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเสียงเรือ คือ SL (Source Level) และ NL (Noise Level) ในโซนาร์แบบ Active ตัวแปร SL คือเสียงที่ส่งออกจากโซนาร์ของเรือเรา ส่วนเสียงจากเรือเรา (Ship noise) ก็จะพิจารณาว่าเป็นเสียงรบกวน (NL) แต่หากเป็นโซนาร์แบบ Passive ตัวแปร SL ก็คือเสียงเรือ (Ship noise) จากเรือลำอื่นและเสียงจากเรือเรา (Ship noise) ก็จะพิจารณาว่าเป็นเสียงรบกวน (NL) เช่นกัน<sup>11</sup> ดังนั้นการที่เรือเราก่อให้เกิดเสียงขึ้นมาจึงส่งผลต่อตัวแปรหลักถึง 2 ตัวแปรในสมการโซนาร์ คือเป็น SL ให้เรือลำอื่น และเป็น NL กับเรือตนเอง ทั้งนี้ปัจจัยที่ก่อให้เกิดเสียงเรือทั้ง 3 ปัจจัยนั้น เสียงที่เกิดจากเครื่องกลในเรือและเสียงจากใบจักรนั้นมีความสำคัญมากเนื่องจากมีความดังมากกว่าและสามารถแพร่ไปได้ไกลกว่าเสียงที่เกิดจากการไหลของน้ำผ่านตัวเรือ

เสียงจากเรือนี้มีความสำคัญกับการใช้เรือในหลาย ๆ ด้าน ทั้งด้านการทหาร การคมนาคม รวมถึงด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถกล่าวได้คร่าว ๆ ดังนี้

**3.1 ด้านการทหาร** เสียงของเรือมีความสำคัญอย่างยิ่งในด้านการทหารเนื่องจากเสียงสามารถแพร่ไปในน้ำได้ไกลหลายไมล์ และยังสามารถบ่งบอกเอกลักษณ์ของเรือได้ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการตรวจจับและแยกแยะเรือได้โดยที่เรือที่เป็นเป้าหมายไม่รู้ตัว การรบโดยใช้เรือดำน้ำ การปราบเรือดำน้ำและสงครามทุ่นระเบิดต่างต้องมีการพิจารณาถึงตัวแปรเกี่ยวกับเสียงและการใช้เสียงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อเพิ่มขีดความสามารถความสามารถในตรวจจับเสียงเรือฝ่ายตรงข้ามและลดเสียงของตัวเองไม่ให้ข้าศึกตรวจจับได้ ด้วยความสำคัญนี้การสร้างเรือรบในปัจจุบันโดยเฉพาะเรือดำน้ำและเรือปราบเรือดำน้ำจึงต้องมีการพิจารณาปัจจัยเรื่องเสียงของเรือตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบเรือ การติดตั้งอุปกรณ์ และการเลือกใช้วัสดุประเภทต่าง ๆ ให้เหมาะสมเพื่อลดความการเกิดเสียงให้มากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น โครงการ SEA 1000 (เรือดำน้ำ) และ SEA 5000 (เรือฟริเกต) ของประเทศออสเตรเลียที่เน้นการควบคุมเสียงตั้งแต่ขั้นตอนการสร้างเรือ<sup>12</sup>

**3.2 ด้านการคมนาคม** ความสำคัญของ Ship noise กับการคมนาคมขนส่งนั้นอาจมีความสำคัญน้อยกว่าด้านการทหารแต่ก็ถือว่ามีผลสำคัญใน

<sup>11</sup> เสียงกับสงครามเรือดำน้ำ, เรือเอก วิชัย พันธุ์พฤกษ์, 2526, กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

<sup>12</sup> Understanding acoustic signatures, Gareth Evans



ระดับหนึ่ง เรือสินค้าในปัจจุบันมีการออกแบบเสียงเรือให้มีเอกลักษณ์และมีความดังที่เหมาะสมในระดับหนึ่งทีเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือและการตรวจสอบเรือ ทั้งนี้เพื่อให้เรือสามารถถูกตรวจจับและแยกแยะจากเรือลำอื่น ๆ ได้ง่าย<sup>13</sup> เรือขนส่งหรือเรือเดินสมุทรนำเที่ยวก็ต้องการการออกแบบที่ดีเพื่อลดมลภาวะทางเสียงให้กับผู้โดยสาร<sup>14</sup> เป็นต้น

**3.3 ด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม** มลภาวะทางเสียงเป็นปัจจัยประการหนึ่งที่รบกวนสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่มีการสื่อสารด้วยคลื่นเสียงเช่น โลมา หรือวาฬ เสียงที่ส่งออกมาจากเรืออาจรบกวนการสื่อสารของสัตว์ทะเลเหล่านี้หรือส่งผลกระทบต่ออวัยวะรับเสียงของสัตว์ทะเลได้ ในปัจจุบันที่โลกให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ธรรมชาติ จึงมีหลายหน่วยงานให้ความสำคัญกับการกำหนดระดับเสียงของเรือ เช่น The International Maritime Organization (IMO) ที่กล่าวถึงการควบคุมเสียงบนเรือใน Resolution A.468(XII) (IMO 1981) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อ “Noise Code” ซึ่งข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับเสียงเรือได้มีการพิจารณาอยู่เสมอในการประชุมประจำปี ในการนี้ IMO ได้จัดตั้งคณะทำงานงาน IMO Marine Environment Protection Committee ซึ่งจัดทำ “Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life” เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมเสียงเรือที่กระทบสภาพแวดล้อม รวมถึงคณะทำงาน The Maritime Safety Committee

ซึ่งได้กำหนด RESOLUTION MSC.337(91) ขึ้นมาเพื่อกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับเสียงเรือ ทั้งการตรวจวัดเสียง ชิดจำกัดการใช้เสียง เป็นต้น

#### 4. การลดการเกิดเสียงของเรือ

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเกี่ยวกับปัจจัยการเกิดเสียงเรือ เครื่องจักรกลภายในเรือและใบจักรเรือ นั้นเป็นแหล่งกำเนิดเสียงหลักของเรือ เสียงที่เกิดจากใบจักรเรือและเสียงจากการไหลของน้ำผ่านตัวเรือนั้นควบคุมได้ยากและซับซ้อนเพราะต้องคำนึงถึงปัจจัยการออกแบบตัวเรือและการใช้งาน (ความเร็ว ความลึก) วิธีการที่ใช้ในการลดเสียงเรือจากสาเหตุทั้ง 2 นี้ทำได้โดย การออกแบบและเลือกใช้วัสดุตัวเรือที่เหมาะสม การเลือกใช้ใบจักรทำมาจากวัสดุและรูปทรงที่ลดการเกิดเสียง เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีการที่มีข้อจำกัด ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายมาก แต่เสียงจากเครื่องจักรกลบนเรือซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงหลักแหล่งหนึ่งนั้นสามารถควบคุมหรือลดได้ง่ายกว่า การลดเสียงที่เกิดจากเครื่องจักรกลต่าง ๆ บนเรือนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงตัวแปรเหล่านี้ คือ แหล่งกำเนิดเสียง การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร การส่งผ่าน (แพร์) ของเสียง (ผ่านของแข็ง ของเหลว และอากาศ) การเกิดการสะท้อนของเสียง และการสะท้อนของเสียง วิธีการป้องกันและลดการเกิดเสียงจากเครื่องจักรกลบนเรือมีดังนี้<sup>15</sup>

**4.1 การโดดเดี่ยวเสียง (Sound Isolation)** เป็นการป้องกันไม่ให้เสียงจากพื้นที่หนึ่งแพร่ไปยังอีกพื้นที่หนึ่งโดยการใช้วัสดุกันเสียงบุผนังหรือพื้นที่ห้อง

<sup>13</sup> Detection and Identification of Acoustic Signatures, Glenn Pietila, Gabriella Cerrato, PhD and Robert E. Smith

<sup>14</sup> Noise and Vibration: What’s Your Signature, www.ship-technology.com, 17 March 2011

<sup>15</sup> Wikipedia, Acoustic quieting, 15 ม.ค.62

**4.2 การดูดซับเสียง (Noise Absorption)** วิธีการนี้เป็นการดูดซับเสียงโดยจะไม่ก่อให้เกิดการสะท้อนของเสียงภายในห้อง เหมาะสำหรับใช้กับห้องที่มีแหล่งกำเนิดเสียงไม่แน่นอนและยังช่วยลดการสั่นพ้องของเสียงได้อีกด้วย วัสดุดูดซับเสียงส่วนใหญ่จะมีวัสดุดูดซับเสียงเคลือบ(ปกคลุม) ตัวเรือ

**4.3 การหน่วงเสียง (Acoustic Damping)** เป็นการป้องกัน (การแยก) ความสั่นสะเทือนจากวัตถุหนึ่งไปอีกรายวัตถุหนึ่ง ทั้งนี้การเชื่อมต่ออุปกรณ์หรือเครื่องจักรกลเข้าด้วยกันอาจจะมี การส่งแรงสั่นสะเทือนต่อกัน เช่น การต่อเครื่องจักรใหญ่ไปยังเพลาดังนั้นจึงจำเป็นต้องการส่งต่อแรงสั่นสะเทือน โดยการใช้วัสดุดูดซับแรงสั่นสะเทือน เช่น ยางหรือข้อต่อซับแรงประเภทต่าง ๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ลดแรงสั่นสะเทือนควรมีความสามารถในการลดแรงสั่นสะเทือนในทุกทิศทางเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลดเสียงได้มากที่สุด

**4.4 ป้องกันการสะดุด (Preventing Stall)** ทุกครั้งที่เครื่องจักรกลมีอาการสะดุดจะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนตามมา การป้องกันอาการสะดุดจะช่วยลดเสียงในเรือ

**4.5 ป้องกันการเกิดโพรงอากาศ (Preventing Cavitation)** การไหลของของเหลวผ่านวัตถุแข็งไม่ว่าจะเป็นท่อทางภายในเรือหรือใบจักรอาจก่อให้เกิดโพรงอากาศซึ่งเป็นสาเหตุของเสียงได้

**4.6 ป้องกันปรากฏการณ์ค้อนน้ำ (Preventing Water Hammer)** คืออาการหนึ่งของของไหลซึ่งสามารถเกิดแรงดันอันเนื่องมาจากความเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ของน้ำ ปรากฏการณ์ดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นเมื่อเติมน้ำในท่อเปล่าหรือการเปิด-

ปิดวาล์วอย่างรวดเร็ว โดยจะทำให้เกิดความดันสูงในท่อซึ่งก่อให้เกิดเสียงและอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อท่อ วาล์ว

**4.7 การกันสะเทือน (Shock Absorption)** เป็นการใช้อุปกรณ์ลดแรงสั่นสะเทือนจากเครื่องจักรกลมายังตัวเรือ เช่นเดียวกับการใช้โช้คอัพในรถยนต์ซึ่งสามารถช่วยลดแรงสั่นสะเทือนและเสียงเรือได้

**4.8 การลดการสั่นพ้อง (Reduction of Resonance)** โดยปกติแล้วโลหะหรือแก้วจะมีความถี่เฉพาะความถี่หนึ่งซึ่งก่อให้เกิดการสั่นพ้อง การสั่นพ้องของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเรือหลายชิ้นพร้อมกัน เช่น เครื่องจักรกล ท่อทางต่าง ๆ รวมถึงห้องหรือที่ว่างในตัวเรือ จะก่อให้เกิดเสียงที่ดังมาก

**4.9 การเลือกใช้วัสดุ (Material Selection)** คือการเลือกใช้วัสดุที่มีโช้โลหะเพื่อประกอบเป็น ส่วนต่าง ๆ ของเรือ เช่น การเลือกใช้พลาสติกสังเคราะห์ที่มีความยืดหยุ่นแทนการใช้วัสดุที่แข็งเพื่อลดการสั่นสะเทือนหรือการส่งผ่านเสียง เป็นต้น

## 5. ข้อควรคำนึงถึง

เมื่อต้องการสร้างเรือที่มีคุณลักษณะเสียงตามที่ต้องการ ควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆ สามารถสรุปแบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

**5.1 การออกแบบเรือ** ต้องมีการออกแบบให้ไม่ต้านน้ำ มีพื้นที่ที่จะก่อให้เกิดการโพรงน้ำหรือการสั่นสะเทือนน้อย มีขนาดช่องว่างภายในเรือที่เหมาะสม มีการออกแบบห้องและพื้นที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นอย่างดี

**5.2 การเลือกใช้วัสดุ** เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเรือ ขั้นตอนนี้สำคัญมากเนื่องจากเสียงหลัก ๆ ของเรือเกิดจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในเรือและวัสดุที่ใช้



ทำหรือเคลือบตัวเรือรวมถึงใบจักร การเลือกใช้เครื่องจักรกลที่มีความเหมาะสมก็จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน (เสียง) น้อย และการใช้วัสดุดูดซับเสียงและแรงสั่นสะเทือนก็จะช่วยให้เสียงเรือเงียบขึ้นได้อย่างมาก

**5.3 การประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนเรือ**  
ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์มีความสำคัญไม่น้อยกว่าการเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์บนเรือ เนื่องจากการติดตั้งชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเรือต้องมีความสัมพันธ์กัน การจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องมีความเหมาะสมเพื่อลดการเกิดการสั่นพ้องของเสียงและมีการใช้อุปกรณ์ช่วยลดแรงสั่นสะเทือน การวางตัวของท่อทางต่าง ๆ ในเรือต้องสอดคล้องกันเพื่อลดการไหลเวียนที่ก่อให้เกิดเสียง

**5.4 ส่วนสุดท้ายคือการใช้งานและการซ่อมบำรุง**  
ในการใช้งานอาจต้องมีการศึกษาเรือของตนเองว่าเมื่อมีการใช้เครื่องจักรในลักษณะต่าง ๆ กันจะให้เสียงเช่นไร เช่น การเดินเรือดำน้ำในน้ำตื้นจะก่อให้เกิดเสียงมากกว่าในน้ำลึก การใช้เครื่องรอบสูงทำให้เกิดเสียงดังกว่าการใช้เครื่องรอบเบา เป็นต้น ข้อมูลเสียงจากการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยให้ผู้นำเรือสามารถควบคุมเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือการซ่อมบำรุงเรือ ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการใช้งานเครื่องจักรที่ไม่สมบูรณ์นั้นสามารถก่อให้เกิดเสียงดังกว่าปกติได้ ดังนั้นเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ส่วนใด ๆ ของเรือก็ควรจะมีการแก้ไขให้กลับสู่สภาพดี

## 6.บทสรุป

เอกลักษณ์ของเรือลำหนึ่ง ๆ นอกจากเอกลักษณ์ทางกายภาพเช่น ชื่อ วัสดุ หรือลักษณะของเรือแล้ว ก็ยังมีเอกลักษณ์ที่มีใช้ลักษณะทางกายภาพด้วย “เสียง” ก็เป็นคุณลักษณะหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ของเรือ ในอดีตยุคเริ่มแรกของการใช้เรื่อนั้นยังไม่ให้ความสำคัญกับปัจจัยเรื่องเสียงมากนัก แต่ในปัจจุบันปัจจัยเสียงของเรือมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น การสร้างและใช้เรือจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของเสียงทั้งในด้านการทหาร การคมนาคมและการอนุรักษ์สภาวะแวดล้อม โดยเฉพาะด้านการทหารเพราะการรบทางเรือในปัจจุบันเน้นการใช้อาวุธในระยะหรือในสภาวะที่ไม่จำเป็นต้องเห็นกันโดยตรง เช่น การใช้อาวุธปล่อยในระยะนอกสายตาหรือการใช้อาวุธจากใต้น้ำ หรือแม้กระทั่งกับระเบิดหรือตอร์ปิโดที่จุดระเบิดด้วยเสียง เนื่องจากเรือที่มีการเคลื่อนที่ จะสร้างเสียงออกมาตลอดเวลาและเสียงนี้แพร่ออกไปจากเรือไกล ดังนั้นเสียงจึงเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจจับเป้าฝ่ายตรงข้ามหรือทำให้ตนเองตกเป็นเป้าของฝ่ายตรงข้าม การศึกษาเรื่องเสียงใต้น้ำและการใช้งานเสียงใต้น้ำมีความสลับซับซ้อนอย่างมาก การที่เราเข้าใจถึงแหล่งกำเนิดเสียงที่ประกอบกันขึ้นเป็นเสียงเรือ เป็นพื้นฐานสำคัญประการหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้การใช้งานหรือการควบคุมเสียงเรือให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด



## เอกสารอ้างอิง

- [1] พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน (2554)
- [2] เรือเอก วิชัย พันธุ์พฤกษ์ (2526). เสียงกับสงครามเรือดำน้ำ, กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- [3] Robert J. Urick, (1983). Principle of Underwater Sound (3rd Edition) Chapter 10, peninsula Publishing
- [4] N. Leal, E. Leal and G. Sanchez (2015). Marine vessel recognition by acoustic signature, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences
- [5] Jan Hallander and Da-Qing Li (2015). Shipping and underwater radiated noise
- [6] Glenn Pietila, Gabriella Cerrato and Robert E. Smith (2011). Detection and Identification of Acoustic Signatures
- [7] Designer NOISETM [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://noise-control.com/>
- [8] William Egan (2011). Noise and Vibration: What's Your Signature [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com)
- [9] Gareth Evans (2017). Understanding acoustic signatures [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.naval-technology.com>
- [10] Acoustic quieting [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://en.wikipedia.org>, last edited 25 April 2018
- [11] ภาพประกอบจาก <https://www.nakashima.co.jp/eng/product/fpp.html>



# การประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์ เพื่อสนับสนุนการวางแผนทางทหารด้วยโปรแกรม WADER Evaluation of SONAR Performance to Support Military Planning by WADER Program

นาวาโท ศิริวัฒน์ ศิริวัฒนกุล

กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

## บทคัดย่อ

ในการทำสงครามใต้น้ำ โซนาร์เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่แพร่คลื่นเสียงใช้ตรวจจับเป้าหมาย ได้แก่ เรือดำน้ำ ฟันระเบิด แต่การตรวจจับเป้าหมายที่มีความแม่นยำนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโซนาร์ คือสภาพแวดล้อมของทะเล คุณลักษณะเฉพาะของโซนาร์ และการสะท้อนของเป้าหมาย เพื่อให้การปฏิบัติการประสบผลสำเร็จ ต้องมีการวางแผนก่อนออกปฏิบัติการจริง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกนำมาใช้ประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์ ซึ่งกรมอุทกศาสตร์ได้จัดหา WADER มาศึกษา และทดลองใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจวางแผนการปฏิบัติการทางเรือให้ประสบความสำเร็จ

## Abstract

In submarine warfare, SONAR is a device that propagates sound waves to detect targets, such as submarines, mines, but the precision of target detection depends on many factors affecting the SONAR performance. Those factors are, for example, the sea environment, the SONAR's features and also the target's reflection. In order to be successful, there must be planning before the actual operation. The computer software has been used to evaluate the SONAR's performance. Hydrographic Department has procured WADER for learning and experimentation in analysis to make decisions on successful naval operations plans.

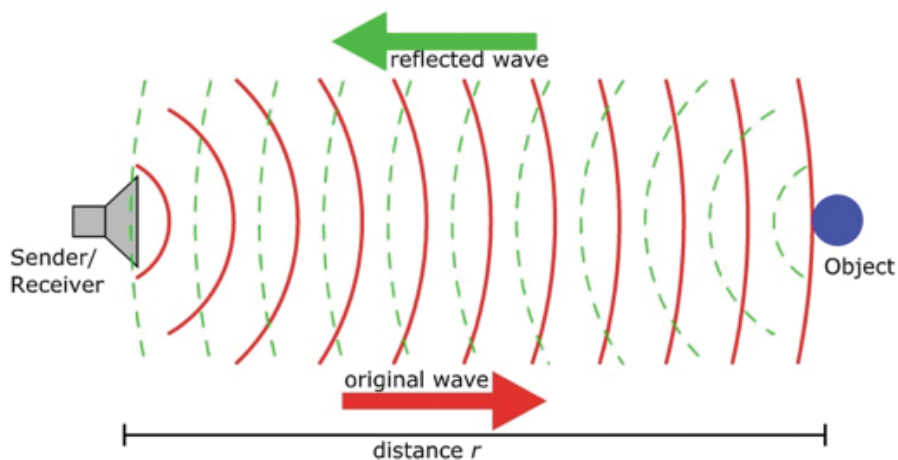
## 1. บทนำ

สงครามผิวน้ำจะใช้เครื่องมือในการสื่อสาร-ตรวจจับ ได้แก่ กล้องส่องทางไกล วิทยุสื่อสาร รวมถึงการแพร์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (RADAR ; Radio Detection And Ranging) ในขณะที่ใต้น้ำทะเลจำเป็นต้องใช้การสื่อสารด้วยคลื่นเสียง เครื่องมือที่ใช้คือ โซนาร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรือปราบเรือดำน้ำ เรือกวาดทุ่นระเบิด จำเป็นต้องมีคุณภาพที่แม่นยำในการตรวจจับเป้าหมายใต้น้ำ ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างในการที่จะเสริม หรือ ลดทอนประสิทธิภาพของโซนาร์ ดังนั้นการที่จะออกปฏิบัติให้ประสบผลสำเร็จ ต้องมีการวางแผนที่ดีก่อนออกปฏิบัติการจริง จำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์ ซึ่งเป็นยุทธโศปกรณ์สำคัญในการทำสงครามใต้น้ำ จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาประกอบการวางแผน โปรแกรมในการประเมินประสิทธิภาพ

ของโซนาร์คือหนึ่งในองค์ประกอบดังกล่าวที่จะช่วยในการวางแผน-การตัดสินใจเพื่อให้มีโอกาสประสบความสำเร็จสูงขึ้น

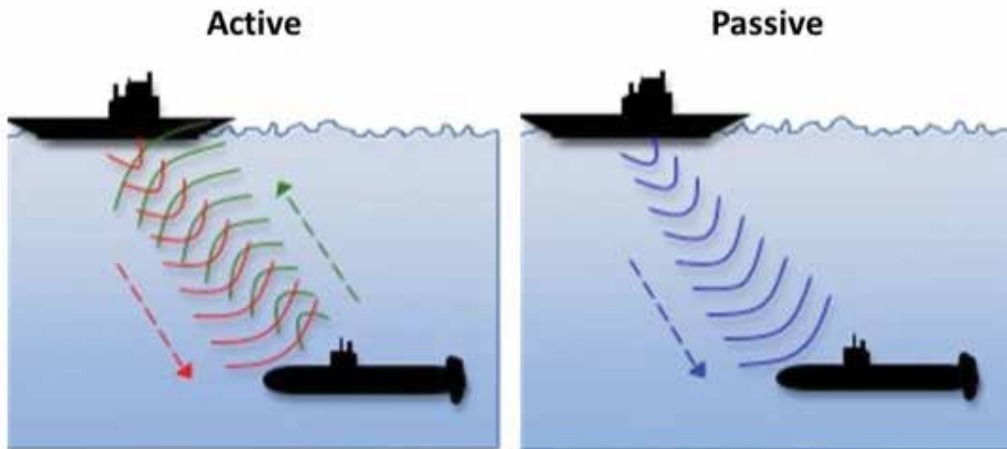
## 2. กล่าวทั่วไปของโซนาร์

โซนาร์มี 2 ประเภทหลัก ๆ คือ ACTIVE SONAR ใช้หลักการแพร์คลื่นเสียงที่มีความถี่เฉพาะเจาะจงเดินทางออกไปจากเครื่องส่งผ่านตัวกลาง คือน้ำทะเล แล้วสะท้อนกับวัตถุต่างๆ กลับมาที่เครื่องรับตามรูปที่ 1 และ PASSIVE SONAR ใช้หลักการเป็นเครื่องรับสัญญาณเสียงที่สามารถรับคลื่นความถี่ในช่วงกว้างที่มาจากแหล่งอื่นได้แก่เสียงจากเรือผิวน้ำ เสียงจากเรือดำน้ำ (กรณีของเรือดำน้ำจะมีเทคโนโลยีในการลดทอนสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นจากตัวเรือให้น้อยที่สุด) ทั้ง 2 ประเภทจะติดตั้งกับตัวเรือ ตามรูปที่ 2



รูปที่ 1 การทำงานของ ACTIVE SONAR

# Sonar



รูปที่ 2 ACTIVE SONAR และ PASSIVE SONAR

ในส่วนหลักการทำงานของโซนาร์ ทั้ง 2 ประเภท จะมีองค์ประกอบหลัก คือ

**2.1 ระบบของโซนาร์** ได้แก่ ประสิทธิภาพการแพร่คลื่น-การรับสัญญาณ-การลดทอนสัญญาณรบกวนจากตัวเรือและสภาพแวดล้อมเพื่อแยกวัตถุเป้าหมายอย่างชัดเจน อีกส่วนคือ

**2.2 ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมทางทะเล** ได้แก่ เสียงรบกวนที่เกิดจากอิทธิพลในทะเล ทั้งจากธรรมชาติ (เสียงจากคลื่นลม-ฝน) ทางชีวภาพ (จากสิ่งมีชีวิตต่างๆในทะเล) รวมทั้งสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (อุณหภูมิ-ความเค็ม ตามความลึก ลักษณะพื้นท้องทะเล)

**2.3 การสะท้อนสัญญาณเสียงของวัตถุเป้าหมาย** สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้ลดทอน หรือมีบ้างที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการรับสัญญาณของโซนาร์ ซึ่งเป็นที่มาของสมการที่ใช้คำนวณประสิทธิภาพของ โซนาร์ ดังนี้

## ACTIVE SONAR

$$SE = SL + TS - 2TL - NL + DI - DT$$

## PASSIVE SONAR

$$SE = SL - TL - NL + DI - DT$$

โดยที่

SE = ค่าระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (Signal excess (echo excess))

SL = ค่าเริ่มต้นของแหล่งกำเนิดเสียง (Source level)

TS = ค่าการสะท้อนสัญญาณเสียงจากวัตถุเป้าหมาย (Target strength)

TL = ค่าการสูญเสียสัญญาณระหว่างการเดินทาง (Transmission Loss)

(ACTIVE SONAR เดินทาง ไป-กลับ PASSIVE



SONAR จากวัตถุเป้าหมายมายังโซนาร์เที่ยวเดียว)

NL = ค่าระดับเสียงรบกวน (Noise level)

DI = ค่าดัชนีทิศทาง (Receiver directivity index)

DT = ค่าการสูญเสียจากการแพร่คลื่นเสียง (Detection Threshold)

SL DI DT เป็นส่วนของระบบโซนาร์

TL NL เป็นส่วนของตัวกลาง ในที่นี้ คือน้ำทะเล (ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม)

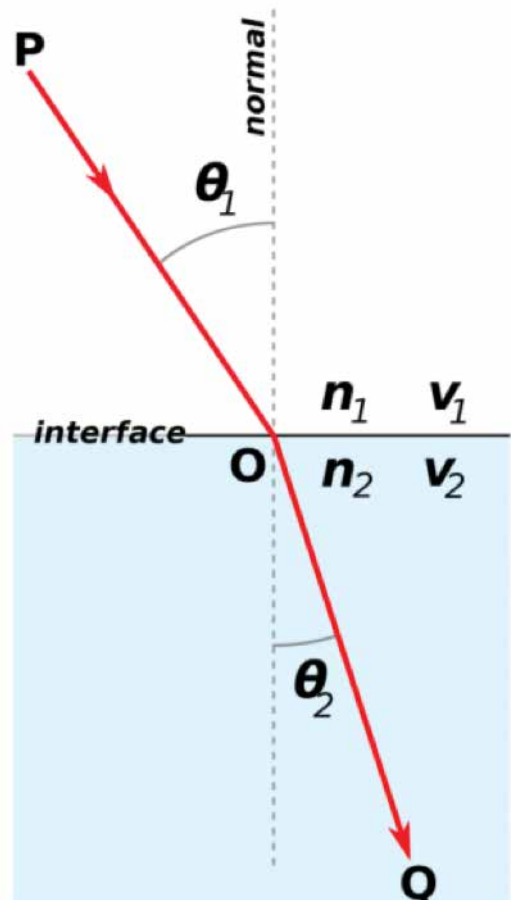
TS เป็นส่วนของวัตถุเป้าหมาย

ในการประมวลผลของระบบโซนาร์หากค่า SE มีค่าไม่ต่างจากค่า SL มากเกินกว่าระดับค่าที่ระบบ ฯ ยอมรับได้ จะสามารถตรวจจับเป้าได้ แสดงว่าสภาพแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อการใช้งานโซนาร์ได้ดี ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่า SE น้อยมากมีระดับต่ำกว่าที่ระบบ ฯ ยอมรับได้ แสดงว่ามีการสูญเสียระหว่างเดินทางเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่รบกวนและลดทอนสัญญาณโซนาร์ จึงไม่สามารถตรวจจับเป้าได้เลย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันระบบโซนาร์รุ่นใหม่ได้พัฒนาเทคโนโลยีให้ทันสมัยซึ่งสามารถยอมรับค่า SE ที่ต่ำมาก ทำสามารถให้ตรวจจับเป้าได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละรุ่นของโซนาร์ว่ามีความสามารถระดับไหน

### 3. การเดินทางและปัจจัยที่มีอิทธิพลกับของคลื่นเสียง(โซนาร์)

เสียงสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่ไม่เป็นสุญญากาศได้ดี เช่น ในอากาศ ของเหลวต่าง ๆ และของแข็ง เป็นต้น ในที่นี้ตัวกลางคือ น้ำทะเล ซึ่ง

มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำบริสุทธิ์ เป็นผลทำให้เสียงเดินทางได้เร็วกว่า โดยเสียงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น ที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน แต่ละชั้นความลึก ซึ่งเกิดจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ความเค็ม ความกดดัน (ความกดดันมากขึ้นตามความลึก) จะทำให้เกิดการหักเห (Refraction) ของคลื่นเสียง เนื่องจากของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกันมีค่าดัชนีหักเหต่างกัน ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Snell ( Snell's Law) ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 การหักเหของคลื่น (เสียง) ตามกฎของ Snell

การหักเหของคลื่นเสียง กรณีเส้นทางคลื่นเสียงแนว P ตกกระทบกับเส้นปกติด้วยมุม  $\theta_1$  มีความกว้างมากกว่ามุมหักเห  $\theta_2$  แสดงให้เห็นว่ามีความเร็วเสียง  $V_1$  ในตัวกลาง  $n_1$  มากกว่าความเร็วเสียง  $V_2$  ในตัวกลาง  $n_2$  จะได้ความสัมพันธ์จากการเดินทางของเสียงตามสมการนี้

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$n_1$  ดัชนีหักเหตัวกลางที่ 1

$n_2$  ดัชนีหักเหตัวกลางที่ 2

$V_1$  ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที) ของ  $n_1$

$V_2$  ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที) ของ  $n_2$

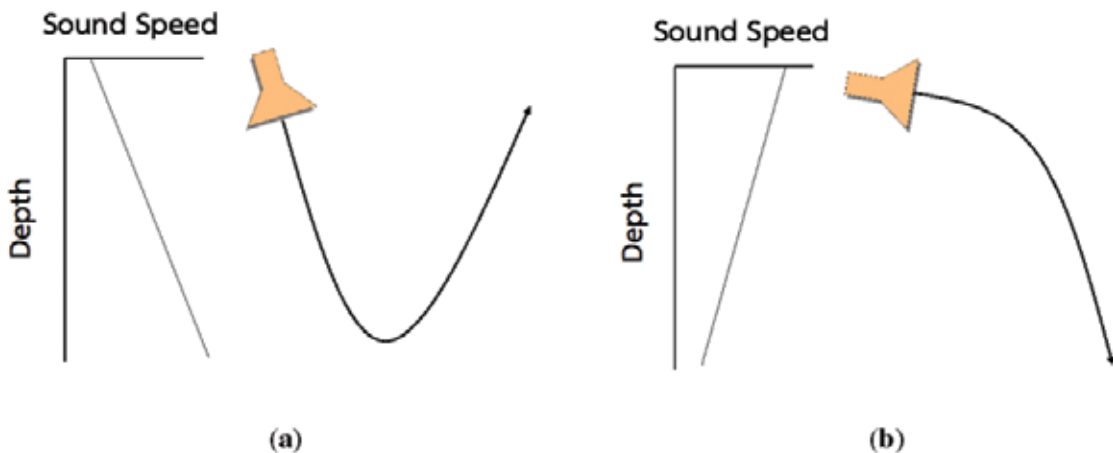
$\theta_1$  มุมตกกระทบ (องศา)

$\theta_2$  มุมหักเห (องศา)

จะเห็นว่าเมื่อมุมตกกระทบมากกว่ามุมหักเหแล้ว จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าความเร็วเสียงในตัวกลางแรก

เร็วกว่าความเร็วเสียงในตัวกลางถัดมา เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกันจนเกิดความหนาแน่นต่างกันของแต่ละชั้นความลึกน้ำ

โดยทั่วไปน้ำทะเลไม่ได้มีความหนาแน่นเท่ากันตลอดย่านระดับความลึกน้ำ โดยมวลน้ำอาจจะแบ่งออกเป็นชั้นตามแนวตั้ง ซึ่งหมายถึงความหนาแน่นแต่ละชั้นจะมีค่าต่างกัน ทำให้เสียงที่เดินทางผ่านชั้นมวลน้ำต่าง ๆ เกิดการหักเหหลายชั้นดังรูป 4 โดยรูปที่ 4 (a) แสดงการเดินทางของเสียงผ่านตัวกลางที่ทำให้เสียงมีความเร็วเพิ่มขึ้นตามความลึกของน้ำที่เพิ่มขึ้นโดยเส้นทางเดินของเสียงมีลักษณะโค้งขึ้น เรียกว่า Positive sound speed gradient ส่วนรูป 4 (b) คือเสียงที่ผ่านตัวกลางที่ทำให้ความเร็วเสียงลดลงตามความลึกของน้ำที่เพิ่มขึ้นเส้นทางเดินของเสียงมีลักษณะโค้งลง เรียกว่า Negative Sound Speed Gradient ส่วนประกอบเหล่านี้จะช่วยอธิบายเหตุผลว่าเสียงเดินทางได้ไกลมากน้อยเพียงใด



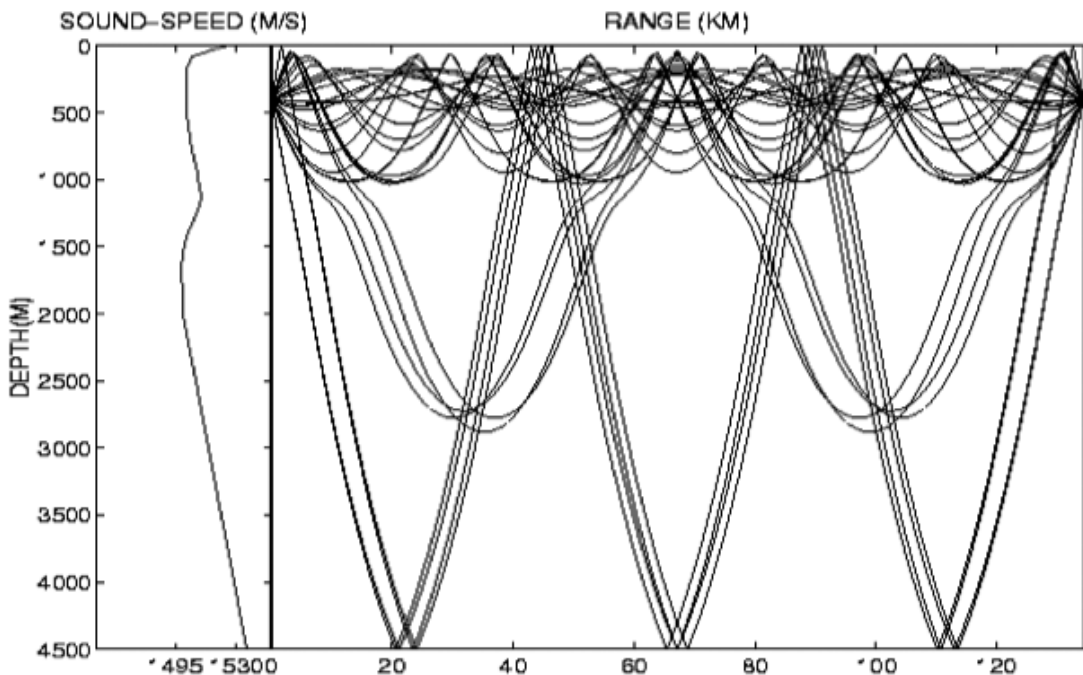
รูปที่ 4 (a) Positive sound speed gradient รูปที่ 4 (b) Negative sound speed gradient

จากรูปที่ 4 จึงทำให้เกิดเส้นแนวการเดินทางของคลื่นเสียงในรูปแบบต่าง ๆ ดังตัวอย่างตามรูปที่ 5 เป็นแนวโพรไฟล์ระยะทางแนวระดับตามความลึก เรียกว่า Ray Tracing (Ray Path)

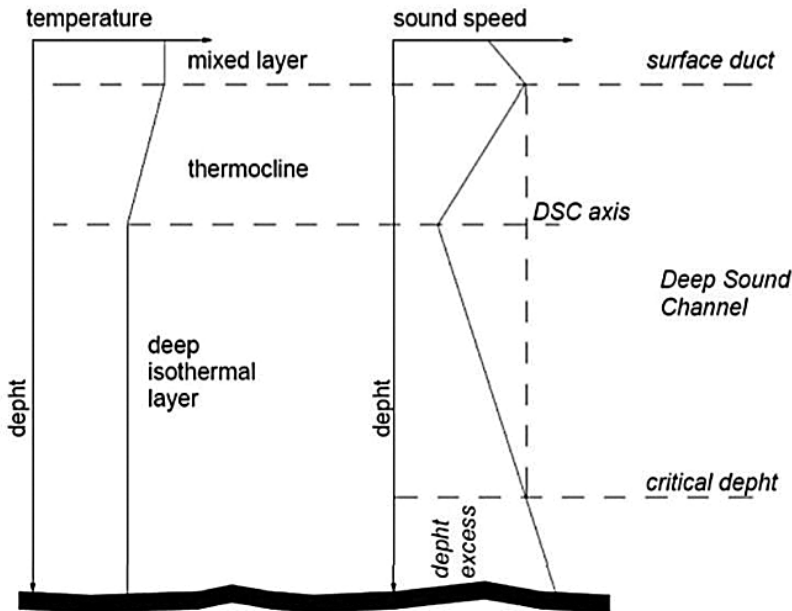
การเกิดชั้น Thermocline คือย่านที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วตามความลึกน้ำที่เพิ่มขึ้น มีส่วนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วของเสียงผิดไปจากปกติ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก รูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำทะเลและความเร็วเสียงในน้ำทะเล เมื่อผิวน้ำมีอุณหภูมิมืดที่จนถึงชั้นความลึกหนึ่ง ความเร็วเสียงก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความลึกที่เพิ่มขึ้น จนถึงชั้นน้ำที่

อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลให้ความเร็วเสียงลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันจนถึงระดับชั้นความลึกหนึ่ง ช่วงความลึกที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่าชั้น Thermocline หลังจากช่วงนี้อุณหภูมิจะคงที่ตามชั้นความลึก เป็นผลให้ความเร็วเสียงเพิ่มขึ้นตามความลึกอีกครั้ง

ยังมีปัจจัยของลักษณะพื้นท้องทะเลที่มีผลกระทบต่อการสะท้อนของคลื่นเสียงที่ต่างกันได้ กล่าวคือมีการสะท้อนคลื่นเสียงขึ้นมาจากพื้นท้องทะเล ในทางตรงข้ามคือดูดซับคลื่นเสียง เช่น กรณีพื้นทรายจะสะท้อนคลื่นเสียงได้ดีกว่าพื้นที่เป็นโคลนที่จะดูดซับคลื่นเสียง เป็นต้น



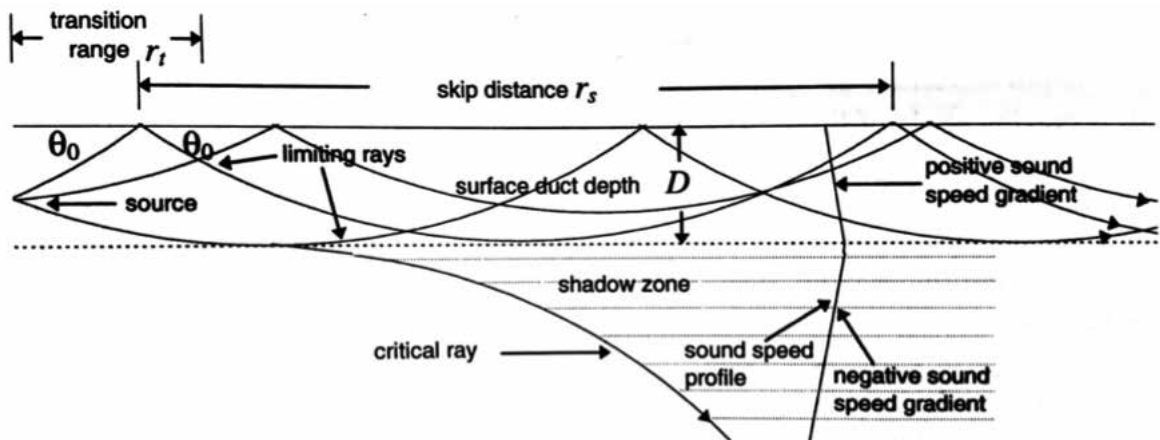
รูปที่ 5 เส้นทางการเดินทางของเสียงใต้น้ำ (Ray Tracing) ตามระยะทางและความลึก (ทางด้านขวา) และความเร็วเสียงที่เปลี่ยนไปตามความลึก (ทางด้านซ้าย)



รูปที่ 6

(ซ้าย) กราฟอุณหภูมิของน้ำทะเลตามความลึกน้ำ  
 (ขวา) กราฟความเร็วเสียงในน้ำทะเลตามความลึกน้ำ

สืบเนื่องจากการเพิ่มขึ้น-ลดลงของความเร็วเสียงตามความลึกเพราะอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในทะเลทำให้เสียงที่ถูกแพร่ออกมาเดินทางตามเส้นทาง ซึ่งในที่นี่กำหนดให้จุดกำเนิดเสียง (source) แพร่คลื่นออกเป็น 3 มุม ซึ่งจะมีเส้นทางต่าง ๆ ตามแบบในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเดินทางของเสียงจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อม (ความเร็วเสียงเพิ่มขึ้น-ลดลงตามความลึก)

โดยทั่วไปความเร็วเสียงในน้ำทะเลเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของน้ำทะเล ความเค็มของน้ำทะเล และความลึกของน้ำ โดยความเร็วเสียงเฉลี่ยในน้ำทะเล คำนวณได้จากสมการความเร็วเสียง ซึ่งมีหลากหลายชิ้น



อยู่กับเงื่อนไขของสมการที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่างสมการ Mackenzie ดังนี้

$$C = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2} T^2 + 2.374 \times 10^{-4} T^3 + 1.340 (S - 35) + 1.630 \times 10^{-2} D + 1.675 \times 10^{-7} D^2 - 1.025 \times 10^{-2} T (S - 35) - 7.139 \times 10^{-13} TD^3$$

เมื่อ

- C คือ ความเร็วเสียงในน้ำทะเล (เมตร/วินาที)
- T คือ อุณหภูมิน้ำทะเล ( $^{\circ}\text{C}$ , เมื่อ  $0 < T < 30^{\circ}\text{C}$ )
- S คือ ความเค็มของน้ำทะเล (psu : ส่วนในพันส่วน เมื่อ  $30 \leq S \leq 40$ )
- D คือ ความลึกน้ำทะเล (เมตร, เมื่อ  $0 \leq D \leq 8,000$ )

#### 4. ขั้นตอนในการวางแผน

ในการปฏิบัติการทางทหาร จะต้องมีการวางแผนก่อนการปฏิบัติจริง เพื่อนำข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ มาประกอบความเป็นไปได้ในการตัดสินใจของผู้บังคับบัญชา ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แนวความคิดปฏิบัติการที่เรียกว่า Battlespace on Demand ตามรูปที่ 8 เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนให้ประสบความสำเร็จมากที่สุด โดยจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 (Tier 0) ข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ และข้อมูลที่มีอยู่ ในส่วนที่เกี่ยวข้อง นำมารวบรวมเพื่อวิเคราะห์เบื้องต้น ได้แก่ ข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ - อุตุนิยมวิทยา ที่มี เป็นต้น

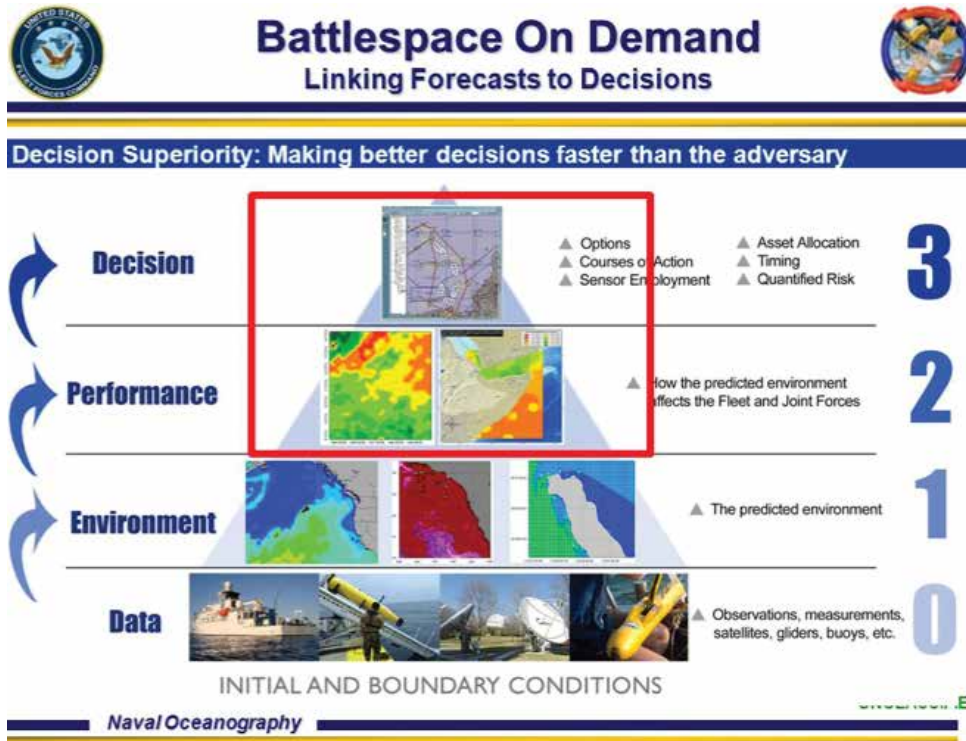
- ขั้นตอนที่ 2 (Tier 1) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์แล้วนำมาพยากรณ์ในสถานการณ์เงื่อนไขต่าง ๆ ถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างต่อเนื่อง โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประมวลผล

- ขั้นตอนที่ 3 (Tier 2) การนำข้อมูลที่ได้จาก Tier 1 มาประกอบการพิจารณาถึงผลกระทบกับ

ยุทธโศภรณ์ที่มีว่าจะเอื้ออำนวย หรือ ลดทอนประสิทธิภาพ ในการปฏิบัติการในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในเงื่อนไขและแนวทาง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

- ขั้นตอนที่ 4 (Tier 3) การนำข้อมูลที่ได้จาก Tier 2 มาประกอบการพิจารณาสำหรับผู้บังคับบัญชาในการตัดสินใจเลือกแนวทางที่ดีที่สุด เพื่อให้การปฏิบัติการประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย

ในการประเมินประสิทธิภาพโซนาร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น อยู่ในขั้นตอนที่ 3 (Tier 2) ด้วยการใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีนำมาวิเคราะห์ และพยากรณ์ความน่าจะเป็นที่ยุทธโศภรณ์ ในที่นี้คือโซนาร์ จะสามารถตรวจจับเป้าหมายได้ดีแค่ไหน ตามเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในขั้นการวางแผนก่อนปฏิบัติการจริง อีกทั้งยังสามารถนำไปวิเคราะห์พยากรณ์ประสิทธิภาพของโซนาร์ในพื้นที่ปฏิบัติการจริง ซึ่งจะแม่นยำยิ่งขึ้นเนื่องจากได้มีการตรวจวัดข้อมูลสภาพแวดล้อม ณ เวลา และในพื้นที่ปฏิบัติการจริง

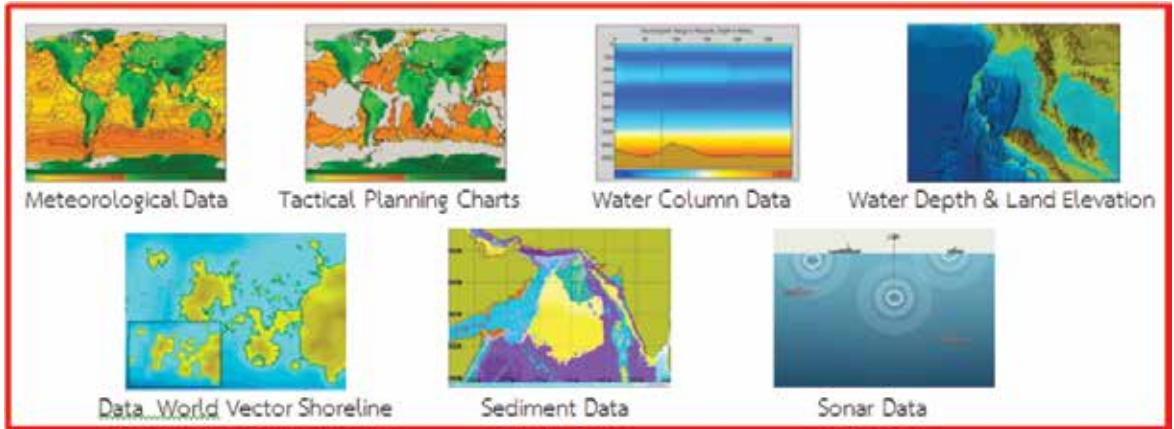


รูปที่ 8 Battlespace on Demand

ในปัจจุบัน กองทัพเรือ (กองเรือพิเรกต กองการฝึกกองเรือยุทธการ) มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพโซนาร์ ชื่อว่า MOC-CASIN ซึ่งถูกออกแบบและเขียนโดยวิศวกร-โปรแกรมเมอร์ของประเทศเยอรมันนี และ กรมอุทกศาสตร์ ได้จัดหา โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพ โซนาร์ ชื่อว่า WADER จากประเทศอังกฤษ ซึ่งออกแบบและเขียนโดยวิศวกร-โปรแกรมเมอร์ซึ่งเป็นอดีตทหารเรือ-เจ้าหน้าที่โซนาร์ของกองทัพเรืออังกฤษ

## 5. โปรแกรมที่ใช้ประเมินของกรมอุทกศาสตร์ (WADER)

ต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึงเฉพาะโปรแกรม WADER ได้เริ่มมีมาตั้งแต่ปี 1991 ภายใต้บริษัท Ocean Acoustic Developments จำกัด พัฒนาและออกแบบโปรแกรมโดย John และ Diane Hodgson ในช่วงแรกได้ดำเนินการจัดทำข้อมูลทาง ด้านความลึกพื้นท้องทะเล (Bathymetry) มีจุดประสงค์ทั่วไปคือ เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการพัฒนาแบบจำลอง (Model) ตัวอย่างการสูญเสียที่เกิดจากการส่งสัญญาณ คลื่นเสียง จากนั้นได้มีการพัฒนาและเริ่มนำมาใช้ในกองทัพเรืออังกฤษ ในปี ค.ศ. 1995 รวมทั้ง แคนาดา บราซิล สเปน



รูปที่ 9 ข้อมูลที่มีอยู่ในระบบเพื่อนำมาวิเคราะห์คำนวณ

โปรตุเกส นอร์เวย์ เนเธอร์แลนด์ นิวซีแลนด์ ออสเตรเลีย มาเลเซีย และเกาหลีใต้ โดยถูกออกแบบภายใต้ระบบปฏิบัติการ MS-DOS 16-bit code จากนั้นได้ถูกปรับปรุงให้ใช้กับระบบปฏิบัติการ Windows 32-bit อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้พัฒนาให้สามารถใช้กับ Windows 64-bit ได้เช่นกัน รวมทั้งระบบปฏิบัติการ Mac และ LINUX

โปรแกรม WADER ทำงานอะไรบ้าง ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินโซนาร์ โดยทั่วไปแล้วจะสามารถ

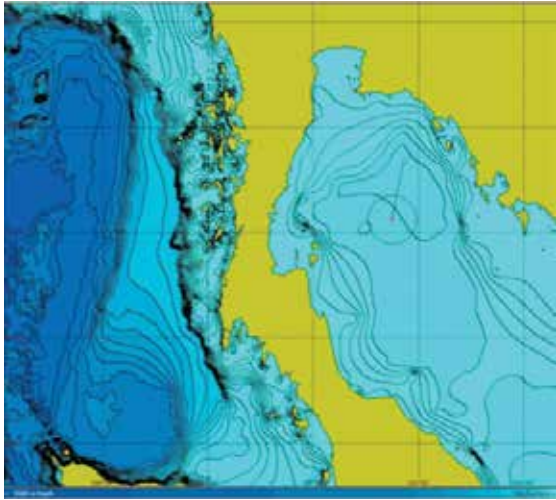
- พยากรณ์ระยะการตรวจจับของโซนาร์
- คำนวณค่าความน่าจะเป็นในการตรวจจับเป้าหมายของโซนาร์
- สร้างแบบจำลองของเสียงใต้น้ำ
- วิเคราะห์การสูญเสียของสัญญาณขณะที่กำลังแพร่คลื่นออกไป
- ประเมินสภาพแวดล้อมทางสมุทรศาสตร์และอุทุนิยมวิทยา

เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อม

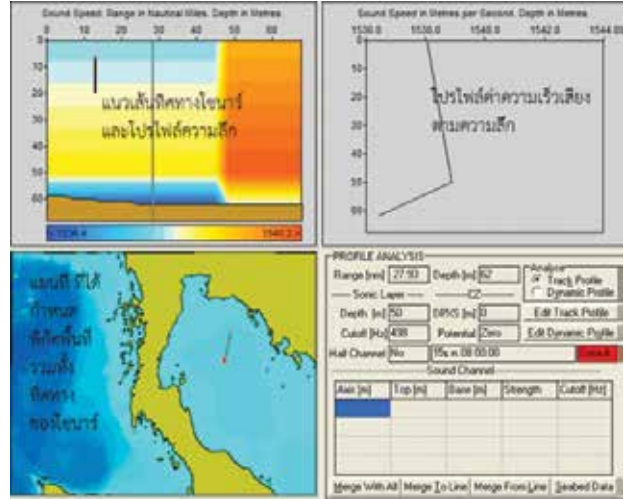
ทางทะเล ตามรูปที่ 9 ประกอบด้วยข้อมูลอุทุนิยมวิทยา แผนที่พื้นผิวและแนวระดับ ข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ตามความลึก ข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเล-ความสูงแผ่นดิน ข้อมูลเส้นขอบฝั่ง ข้อมูลพื้นท้องทะเล และข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของโซนาร์บางรุ่น

การทำงานของโปรแกรม WADER จากการเลือกพื้นที่-ตำบลที่ ที่จะมีการปฏิบัติการ ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในระบบอยู่แล้ว ตามรูปที่ 10 และยังสามารถเพิ่มเติม-แก้ไขจุดที่ต้องการวิเคราะห์ได้

จากนั้นระบบต้องการข้อมูลที่สำคัญ (parameter) เพื่อให้การวิเคราะห์คาดการณ์อย่างแม่นยำ และยังมีขั้นตอนการประมวลวิเคราะห์ข้อมูลทุกตำบลที่เป็นไปโดยอัตโนมัติ จำเป็นต้องนำเข้าฐานข้อมูลโซนาร์ อย่างไร ก็ตามระบบก็มีฐานข้อมูลโซนาร์เป็นไฟล์สำเร็จรูปไว้ให้เลือก ขั้นตอนต่อไปจะเข้าสู่หน้าจอสถานะแวดล้อมเพื่อใช้ในการตรวจและสามารถแก้ไขข้อได้หากมีข้อมูลที่ตรวจได้จริง ณ เวลานั้น ตามรูปที่ 11

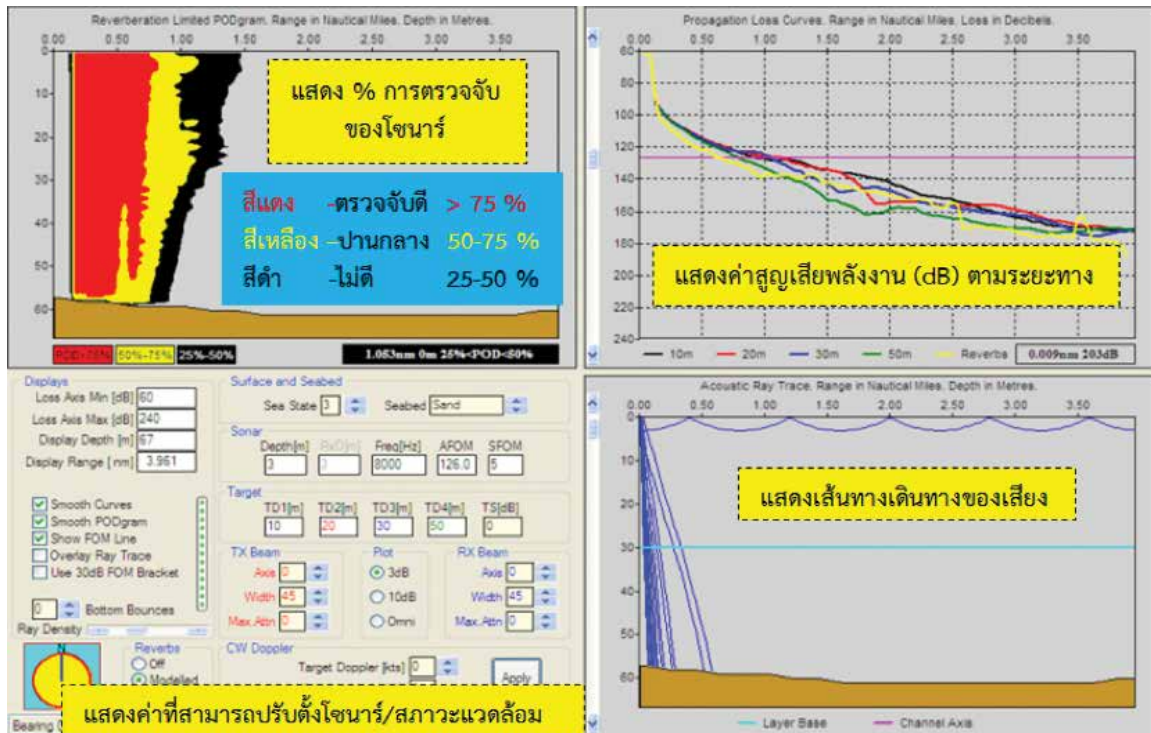


รูปที่ 10 แผนที่หน้าจอหลักของโปรแกรมที่ได้เลือกพื้นที่ไว้



รูปที่ 11 หน้าจอแสดงสถานะแวดล้อมที่เลือกเส้นทางไว้ตามความลึก

ขั้นสุดท้ายเป็นการประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์ โดยการเข้าไปหน้าจอวิเคราะห์ตามรูปที่ ๑๒



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์และการปรับแก้ไขปัจจัย



จากการทดลองใช้งาน WADER เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์ในเบื้องต้นจากผู้ใช้งาน ได้แก่ กองเรือฟริเกตที่ 1 กองเรือฟริเกตที่ 2 กองเรือฟริเกตกองเรือยุทธการ เป็นต้น พบว่าสะดวกในการใช้งานจากการกำหนดพิกัดบนแผนที่ของโปรแกรมแสดงผลได้ รวมทั้งแสดงผลพยากรณ์ระยะการตรวจจับของโซนาร์ และสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการตรวจจับเป้าหมายของโซนาร์ สภาพแวดล้อมทางสมุทรศาสตร์และอุตุนิยมวิทยาได้ รวมทั้งแสดงผลการวิเคราะห์การสูญเสียของสัญญาณขณะที่กำลังแพร่คลื่นออกไปได้ เพียงแต่อาจจะมีข้อผิดพลาดบ้าง เนื่องจากสภาพแวดล้อมทางทะเลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องมีการประเมินซ้ำในพื้นที่ปฏิบัติการจริงก่อนและหลังปฏิบัติการ อีกทั้งข้อมูลในฐานข้อมูลโซนาร์ก็เป็นสิ่งสำคัญหากขาดรายละเอียดบางอย่างอาจทำให้ความแม่นยำในการพยากรณ์ลดลงได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามโดยรวมแล้วเป็นโปรแกรมที่มีความสะดวกต่อผู้ใช้งาน และมีฐานข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อมให้ในเบื้องต้น ซึ่งผู้ใช้สามารถนำเข้าสู่ข้อมูลโดยเฉพาะทางสมุทรศาสตร์ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของกรมอุทกศาสตร์เพิ่มเติมได้เช่นกัน ซึ่งผลการพยากรณ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลในการประกอบการพิจารณาและช่วยในการตัดสินใจของผู้บังคับบัญชาเพื่อให้การปฏิบัติการทางเรือประสบผลสำเร็จตามเป้าหมาย

## 6. บทสรุป

การประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์ นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ ระบบโซนาร์ สภาพแวดล้อมทางทะเล และ ค่าการสะท้อนของเป้าหมาย สิ่งเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการตรวจจับของโซนาร์ ฉะนั้น การที่จะเพิ่มศักยภาพของการตรวจจับเป้าหมายเพื่อให้ภารกิจประสบความสำเร็จ ย่อมต้องมีการวางแผนการปฏิบัติการอย่างรอบคอบ สูญเสียน้อยและบรรลุเป้าหมายรวดเร็ว แม่นยำมากที่สุด จำเป็นต้องนำเทคโนโลยี คือ โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพการตรวจจับโซนาร์ มาประกอบการวางแผนการล่วงหน้าก่อนปฏิบัติการจริง รวมทั้งอาจนำไปใช้ในขณะที่กำลังจะปฏิบัติการในพื้นที่จริง เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องได้มากขึ้น WADER จึงเป็นหนึ่งในโปรแกรมประมวลผลซึ่งมีความเชื่อถือจากการเลือกนำมาใช้งานในปฏิบัติของกองทัพเรือหลากหลายประเทศ ซึ่งเป็นหลักฐานพิสูจน์ได้ระดับหนึ่งว่าเทคโนโลยีนี้จะเป็นโอกาสให้บรรลุเป้าหมายได้มากยิ่งขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- [1] “WADER.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://oadltd.com>
- [2] เรือเอก วิชัย พันธุ์พุกกะ (2526). เสี่ยงกับสงครามเรือดำน้ำ, กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- [3] Robert J. Urick, (1983). Principle of Underwater Sound (3rd Edition) Chapter 10, peninsula Publishing.
- [4] ภาพประกอบจาก <https://en.wikipedia.org/wiki/Sonar>, <https://www.quora.com/Why-dont-audible-screw-noises-make-submarines-easier-to-find>, [https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s_law), <https://www.semanticscholar.org/paper/Underwater-Acoustic-Wireless-Sensor-Networks%3A-and-Climent-S%3%A1nchez/a12fc0cf5f533c81e-02c335a1b195c0b1ba561d9>, [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/69/matecconf\\_csc2018\\_05017.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/69/matecconf_csc2018_05017.pdf), <https://www.hydro-international.com/content/article/battlespace-on-demand>

# วิธีลดผลกระทบต่องานติดตั้งระบบขับเคลื่อนเรือ ในขั้นตอนการประกอบบล็อกท้ายเรือ

## Methods to Minimize Effects on Propulsion Installation for the Erection of Stern Blocks

น.ท.นพดล ตันวิฒนะ<sup>1</sup>

นายช่างแผนกเครื่องเย็นระบายและปรับอากาศ กองออกแบบกลจักร

กรมแผนการช่าง กรมอุทหาเรือ

กรมอุทหาเรือ 2369/650 หมู่ 2 ท่าเรือจุกเสม็ด ต.สัตหีบ อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี 20180

### บทคัดย่อ

ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดและรูปทรงของบล็อกท้ายเรือมีผลกระทบต่อการติดตั้งระบบขับเคลื่อนเรือ โดยอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบขับเคลื่อนลดลง ทำให้เรือไม่สามารถใช้ความเร็วสูงสุดได้ตามการออกแบบ หรือระบบขับเคลื่อนอาจชำรุดก่อนเวลาอันควร มีแนวทางป้องกันผลกระทบดังกล่าว 4 แนวทาง คือ การพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงของตัวเรือในการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือและอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อน การประกอบบล็อกท้ายเรือด้วยการอ้างอิงตำแหน่งส่วนประกอบตัวเรือของระบบขับเคลื่อนกับตำแหน่งที่กำหนดลงบนพื้นลานต่อเรือ การพิจารณาใช้ค่าเผื่อสำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลให้กับส่วนประกอบตัวเรือของระบบขับเคลื่อนที่มีการติดตั้งก่อนการประกอบบล็อกท้ายเรือ และการพิจารณาเลือกระบบขับเคลื่อนที่มีอุปกรณ์ในการปรับระยะเพื่อชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนของตัวเรือ

---

Corresponding Author:

<sup>1</sup> Email: Noppadon.tu@gmail.com, Line ID: taoncl



ในการลดผลกระทบความคลาดเคลื่อนบล็อกท้ายเรือต่อการติดตั้งระบบขับเคลื่อน ฝายตัวเรือและฝายเครื่องกลจะต้องมีความเข้าใจในแนวทางในข้างต้นเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปฏิบัติงานของแต่ละฝายได้สมบูรณ์

## Abstract

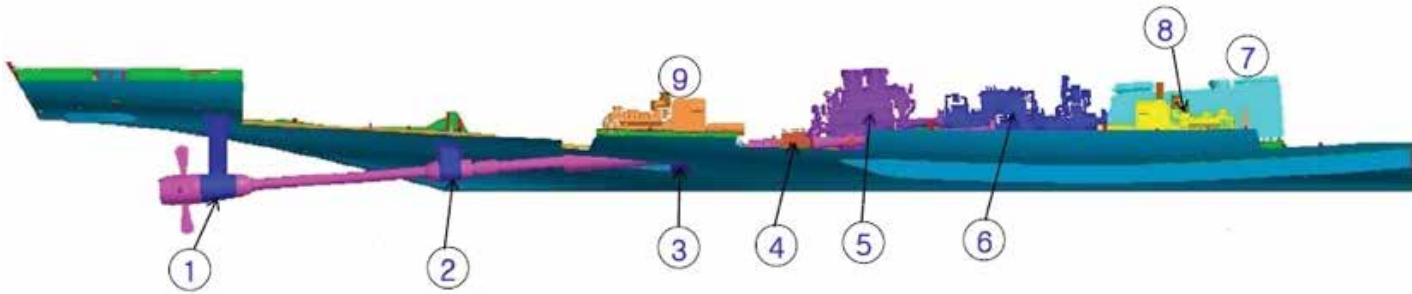
An error in dimension and shape of the stern block can affect to a propulsion installation. It may result of less propulsion efficiency which can cause of unable in propelling at the maximum speed or unexpected fail of the system. There are 4 practical concepts that can be applied during the stern block erection; installing propulsion outfitting with care of hull deformation, referring propulsion ground marking during an erection of the stern block, preparing machining margin for propulsion outfitting and considering to apply a compensate disc for the propulsion system. In order to minimize a dimension and shape error in the stern block, both hull production team and propulsion installation team must fully understand those concepts and be able to apply them into their work processes.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันกรรมวิธีการต่อเรือแบบเป็นบล็อก (Modular Construction Method) เป็นที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมต่อเรือ ทั้งนี้เพราะทำให้การต่อเรือมีความรวดเร็วขึ้น การต่อเรือในลักษณะนี้จำเป็นต้องมีการจัดการระบบงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้เกิดความสัมพันธ์ เพื่อให้งานต่อเรือสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง งานติดตั้งระบบขับเคลื่อนก็เป็นส่วนหนึ่งที่ต้องจัดการให้สัมพันธ์กับขั้นตอนของการต่อเรือ โดยบล็อกตัวเรือที่มีความสัมพันธ์ต่อการติดตั้งระบบขับเคลื่อนก็คือบล็อกท้ายเรือ (Stern Block) ซึ่งบล็อกท้ายเรืออาจเป็นบล็อกขนาดใหญ่เพียงบล็อกเดียวหรือประกอบด้วย

หลายบล็อกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและประเภทของเรือ (The Society of Naval Architects of Japan: Vol 3, 1995) รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของส่วนประกอบตัวเรือและอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อนที่ติดตั้งในบริเวณบล็อกท้ายเรือ ตำแหน่งของส่วนประกอบตัวเรือและอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อนที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณบล็อกท้ายเรือจะมีการคำนวณถึงความสัมพันธ์เพื่อให้ระบบขับเคลื่อนมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นขนาดและรูปร่างของบล็อกท้ายเรือจึงมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบขับเคลื่อน ความคลาดเคลื่อนบล็อกท้ายเรือส่งผลให้ตำแหน่งการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือและ

**รูปที่ 1** ตัวอย่างการจัดวางระบบขับเคลื่อนในบริเวณบล็อกท้ายเรือ  
(เอกสารประกอบการเรียนหัวข้อ Accuracy: DSME, 2016)



1. Main Strut
2. Inter Strut
3. Stern Tube Boss
4. Bearing
5. Diesel Engine
6. Gear Box
7. Gas Turbine
8. Diesel Generator
9. Diesel Generator

อุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อนไม่ตรงตามแบบ โดยอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนลดลง เช่น มุมเพลลาใบจักรมีค่ามากหรือน้อยกว่าค่ายอมรับได้จากการออกแบบ

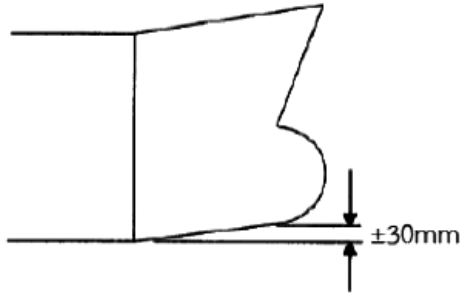
จาก (IACS No.27, 013) ได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับการต่อเรือ โดยครอบคลุมการทำงานตั้งแต่ระดับชิ้นส่วน (Unit) บล็อก (Block) และตัวเรือ (Hull) รูปที่ 2 เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของรูปทรงตัวเรือส่วนหัวเรือและท้ายเรือที่  $\pm 30$  มม. และ  $\pm 20$  มม. ตามลำดับ พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้บริเวณท้ายเรือ จะพบว่าตำแหน่งของแนวเพลลา ณ ตำแหน่งส่วนประกอบตัวเรือบริเวณท้ายสุดอาจมีระยะสูงขึ้นหรือต่ำกว่าแนวเพลลาออกแบบ 20 มม. ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนในลักษณะนี้ย่อมส่งผลกระทบต่อ การติดตั้งระบบขับเคลื่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาแนวทางการติดตั้งระบบขับเคลื่อนให้

สัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบบล็อกท้ายเรือ

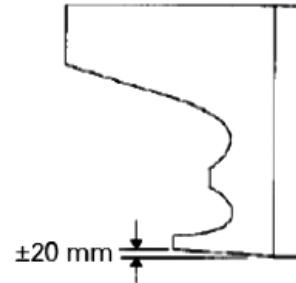
## 2. สาเหตุที่ขนาดและรูปทรงตัวเรือคลาดเคลื่อนจากแบบ

สาเหตุที่ทำให้ขนาดและรูปทรงตัวเรือเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากแบบนั้นมีหลายสาเหตุ ความคลาดเคลื่อนอาจเกิดในลักษณะการสะสม โดยความบกพร่องอาจเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการตัดแผ่นเหล็ก การตัด การเชื่อมประกอบชิ้นส่วนย่อย (Unit Construction) การสร้างบล็อก (Block Fabrication) และสุดท้ายคือการประกอบบล็อกตัวเรือ (Block Erection) สาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนสามารถพิจารณาได้ 2 สาเหตุหลัก คือ การควบคุมขนาดและรูปทรงที่ขาดประสิทธิภาพ ปัจจัยแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับบล็อกตัวเรือในระหว่างกระบวนการต่อเรือ

Cocking-up of fore body



Cocking-up of aft-body



รูปที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนของรูปทรงตัวเรือที่ยอมรับได้ในการต่อเรือ (IACS: NO.47, 2013)

## 2.1 การควบคุมขนาดและรูปทรงที่ขาดประสิทธิภาพ (Lack of Accuracy Control)

การควบคุมขนาดและรูปทรงในงานต่อเรือพิจารณาได้ว่ามีความสำคัญมาก โดยต้องมีการควบคุมขนาดและรูปทรงในทุกขั้นตอนของงานต่อเรือตั้งแต่การตัดแผ่นเหล็กไปจนถึงการประกอบปลีอกตัวเรือ ความคลาดเคลื่อนที่ลดลงได้ในแต่ละขั้นตอนย่อมสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับตัวเรือในลักษณะการสะสมตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายได้ ปัจจัยหลักที่ช่วยให้การควบคุมขนาดและรูปทรงมีความถูกต้องก็คือ ความเข้าใจในธรรมชาติของงานเชื่อมและการตรวจวัดในงานสร้างเรือ ความเข้าใจในธรรมชาติของงานเชื่อมเป็นพื้นฐานสำคัญที่ทำให้สามารถควบคุมขนาดและรูปทรงตัวเรือได้ โดยต้องมีความสัมพันธ์ของการทำงานตั้งแต่ระดับการออกแบบ (Design) จนถึงงานในการผลิต (Production) ในระดับของการออกแบบ เช่น ต้องพิจารณาผลของการหด

ตัวเนื่องจากการเชื่อม (Erection Shrinkage) สำหรับการกำหนดขนาดแผ่นเหล็กและเหล็กโครงสร้าง ตารางที่ 1 แสดงค่าการหดตัวเนื่องจากการเชื่อมของแผ่นเปลือกเรือและโครงสร้างตามยาว (Longitudinal) ที่ใช้งานในอุ้งเรือ Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME) ในส่วนของการผลิต เช่น การเสริมโครงสร้างชั่วคราว (Strong Back) เพื่อป้องกันการบิดตัว (Distortion) เนื่องจากการเชื่อมต่อปลีอกตัวเรือเมื่อเข้าใจธรรมชาติของงานเชื่อมสำหรับงานต่อเรือแล้วต่อไปก็เป็นการตรวจวัดให้การสร้างเรือมีขนาดและรูปทรงตัวเรือตรงตามแบบ

การตรวจวัดขนาดและรูปทรงจำเป็นต้องดำเนินการในทุกขั้นตอนของงานต่อเรือทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนสะสม เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมขนาดและรูปทรงในงานต่อเรือก็ประกอบด้วยเครื่องมือระดับพื้นฐานในการวัดขนาดทั่วไป สายวัด สายดิ่ง สายยางระดับ กล้อง



**ตารางที่ 1** ค่า Standard Erection Shrinkage ที่ใช้ในการออกแบบของ Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering, DSME (เอกสารประกอบการเรียนหัวข้อ Accuracy Control Procedure: DSME, 2016)

SHIP Structure	VLCC, COT		CONTAINER		B/C		RO/RO	
	Plate	Longi.	Plate	Longi.	Plate	Longi.	Plate	Longi.
M.DECK	-	2E	2E	2E	2E	4E	3E	4E
S.SHELL	2E	4E	2E	4E	4E	6E	4E	6E
S.L.BHD	2E	-	2E	4E	-	-	-	-
C.L.BHD	4E	6E	-	-	-	-	-	-
D.BTM	6E	8E	6E	8E	6E	8E	6E	8E

- Longi. Member is 2mm Longer than Plate. Because of Welding Sequence.

Theodolite เป็นต้น และเครื่องมือวัดในระบบ 3D Coordinate เช่น Total Station ซึ่งหากตัดความบกพร่องของผู้ทำการวัดแล้ว การควบคุมขนาดและรูปทรงตัวเรือด้วยระบบ 3D Coordinate จะมีความถูกต้องและมีการปฏิบัติงานที่รวดเร็วกว่าเครื่องมือวัดพื้นฐาน

## 2.2 ปัจจัยแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับบล็อกตัวเรือระหว่างกระบวนการต่อเรือ

แม้ว่าจะมีการควบคุมขนาดและรูปทรงของบล็อกตัวเรือให้ตรงตามแบบได้ การนำบล็อกเหล่านั้นมาประกอบเป็นตัวเรือก็ยังมีโอกาสที่ทำให้ตัวเรือมีขนาดและรูปทรงที่ความคลาดเคลื่อนจากแบบ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมเกี่ยวข้องในกระบวนการต่อเรือ บล็อกตัวเรืออาจมีการผิดรูปได้จากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ การขนย้ายบล็อกจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง (Transport) เช่น พื้นที่สร้างบล็อกไปยังพื้นที่พ่นสี การพลิกบล็อก (Turn Over)

การจัดวางบล็อกที่ไม่ได้ตำแหน่ง (Storage with Miss-Arrangement) นอกจากนี้ในการต่อบล็อกตัวเรือก็ยังสามารถทำให้เกิดการผิดรูปของรูปทรงตัวเรือได้ สาเหตุของการผิดรูปดังกล่าวว่าเป็นเพราะอิทธิพลของการเชื่อมต่อบล็อกตัวเรือ น้ำหนักของบล็อกตัวเรือที่เพิ่มขึ้นในบริเวณกลางลำ การผิดรูปของบล็อกตัวเรือเองและการผิดรูปของลานต่อเรือจากการรับน้ำหนักของตัวเรือ ปัจจัยแวดล้อมทั้งหมดที่ได้กล่าวมามีส่วนทำให้ตัวเรือมีการผิดรูปไป (The Society of Naval Architects of Japan: Vol 5, 1995) บล็อกท้ายเรือก็มีโอกาสที่จะเกิดการผิดรูปจากปัจจัยต่าง ๆ ในช่วงต้นได้เช่นกัน

## 3. วิธีลดผลกระทบของความคลาดเคลื่อนในบล็อกท้ายเรือต่อการติดตั้งระบบขับเคลื่อน

เป็นสิ่งท้าทายในการควบคุมความคลาดเคลื่อนของการต่อเรือด้วยการประกอบบล็อกตัวเรือ (Modular Construction Method) เพราะมี

ปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ขนาดและรูปทรงคลาดเคลื่อนไปจากแบบดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น แต่เพื่อความรวดเร็วในการต่อเรือจึงจำเป็นต้องพิจารณาหาวิธีการที่สามารถจำกัดความคลาดเคลื่อนของการประกอบบล็อกตัวเรือให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบล็อกท้ายเรือซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อน ความคลาดเคลื่อนจากการประกอบบล็อกท้ายเรือจะต้องอยู่ในค่ายอมรับที่สามารถติดตั้งระบบขับเคลื่อนได้ จากประสบการณ์การทำงานของผู้เขียนในฝ่ายผลิต (Production) ของกรมอู่ทหารเรือ และจากการฝึกอบรมการปฏิบัติงานด้านการต่อเรือ (On the Job Training) ที่อู่ต่อเรือ Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME) ณ สาธารณรัฐเกาหลี ทำให้มีโอกาสได้รวบรวมข้อมูลจากกระบวนการทำงานและข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยสามารถรวบรวมวิธีลดผลกระทบจากค่าความคลาดเคลื่อนของการต่อบล็อกท้ายเรือต่องานการติดตั้งระบบขับเคลื่อนได้ ดังนี้

### 3.1 การคาดการณ์ถึงการเปลี่ยนแปลงตัวเรือในระหว่างการประกอบบล็อกตัวเรือ

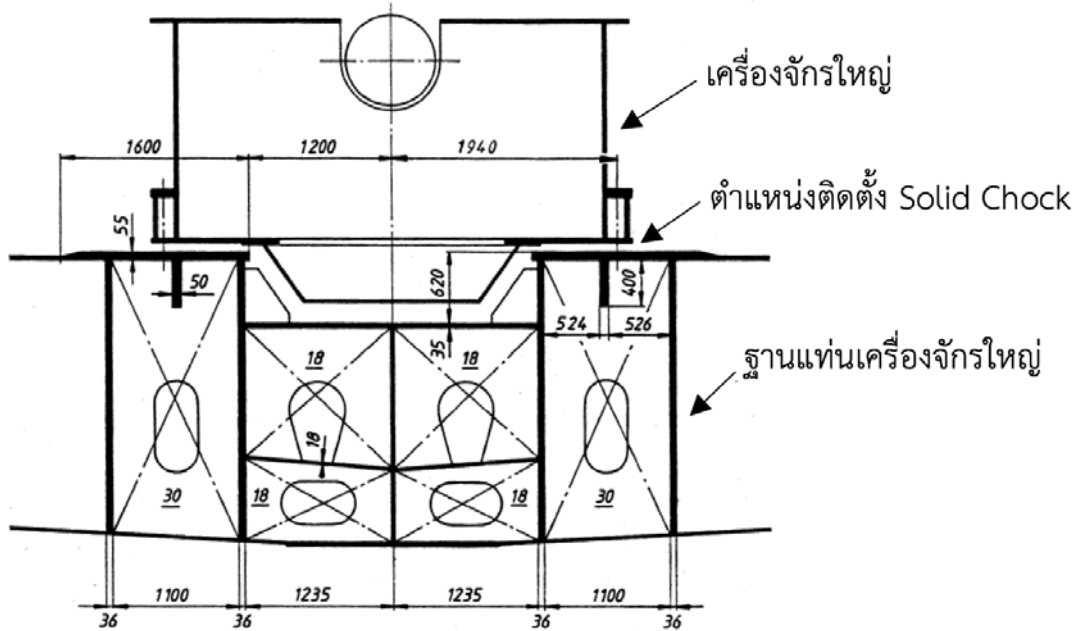
ด้วยเพราะแนวทางการต่อเรือแบบ Modular Construction Method ที่ต้องการความรวดเร็วในการต่อเรือ จึงต้องมีการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ (Outfitting) ให้มากที่สุดตั้งแต่ในขั้นตอนของการสร้างชิ้นส่วนย่อย (Unit Assembly) และการสร้างบล็อกตัวเรือ (Block Assembly) เช่น พุกยึดท่อ (Pipe Support) ฐานแท่นของอุปกรณ์ (Foundation) ท่อในระบบต่าง ๆ ในส่วนของ

ระบบขับเคลื่อนก็มีการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือและอุปกรณ์ในขั้นตอนการสร้างบล็อกเช่นกัน แต่เพื่อให้การติดตั้งในส่วนของระบบขับเคลื่อนไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงตัวเรือในระหว่างการประกอบบล็อก การดำเนินการติดตั้งจึงดำเนินการใน 2 ลักษณะ

3.1.1 การติดตั้งแบบสมบูรณ์ในขั้นตอนการสร้างบล็อกตัวเรือ ตัวอย่างของส่วนประกอบตัวเรือที่มีการติดตั้งแบบนี้ประกอบด้วย ฐานแท่นเครื่อง ฐานแท่นเกียร์ ฐานแท่นแบริงรับเพลลาในเรือ การติดตั้งในลักษณะนี้อยู่บนพื้นฐานของการคาดการณ์ว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวเรือในขั้นตอนการประกอบบล็อกตัวเรือมีผลต่อตำแหน่งของอุปกรณ์ดังกล่าวเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ระดับของการเปลี่ยนแปลงตัวเรือจะไม่เกินค่าการเผื่อในการติดตั้งระบบขับเคลื่อน ตัวอย่างเช่น ระดับของฐานแท่นเครื่อง ฐานแท่นเกียร์และฐานแท่นแบริงรับเพลลา ตำแหน่งของอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อนสามารถปรับให้ถูกต้องตามแบบด้วยระบบการเสริมแผ่นปรับระดับ (Solid Chock) ซึ่งในอุตสาหกรรมต่อเรือมีใช้ 2 ประเภท คือกลุ่มโลหะ Cast-Iron Foundation Chock และ Steel Foundation Chock และกลุ่ม Epoxy Resin Chock Liner รูปที่ 3 เป็นตัวอย่างตำแหน่งการติดตั้งแผ่นปรับระดับ (Solid Chock) ของเครื่องจักรใหญ่ (Rowen, 1992)

3.1.2 การติดตั้งแบบชั่วคราวในขั้นตอนการสร้างบล็อกตัวเรือ การประกอบส่วนประกอบตัวเรือแบบชั่วคราวในขั้นตอนการสร้างบล็อกตัวเรื่อนั้นก็จำเป็นต้องมีการตรวจสอบตำแหน่งให้เป็นไปตาม





รูปที่ 3 ตัวอย่างระบบ Liner เพื่อปรับระดับเกียร์ (Rowen, 1992)

การออกแบบและการประกอบแบบชั่วคราวนั้นก็ต้องแข็งแรงเพียงพอสำหรับการยกและเคลื่อนย้ายบล็อกในขั้นตอนต่าง ๆ ตัวอย่างของส่วนประกอบตัวของระบบขับเคลื่อนที่ควรติดตั้งแบบชั่วคราว เช่น โยงโย่ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของโยงโย่ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดแนวเพลลาซึ่งจะดำเนินการได้หลังจากที่มีการประกอบบล็อกตัวเรือแล้วเสร็จ ดังนั้นหากทำการติดตั้งโยงโย่แบบสมบูรณ์ในขั้นตอนการสร้างบล็อก ผลของการเปลี่ยนแปลงของบล็อกท้ายเรือในขั้นตอนของการประกอบบล็อกตัวเรือที่มากถึง  $\pm 20$  มม. ดังที่กล่าวในข้างต้น อาจทำให้ไม่สามารถกำหนดแนวเพลลาให้สัมพันธ์กับตำแหน่งศูนย์กลางของโยงโย่ได้ ดังนั้นการติดตั้งโยงโย่แบบชั่วคราวจึงทำให้การประกอบบล็อกท้ายเรือความ

รวดเร็วเพราะไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งศูนย์กลางของโยงโย่ในขณะทำการประกอบบล็อก เพราะตำแหน่งของโยงโย่จะได้รับการปรับแต่งภายหลังจากการประกอบบล็อกตัวเรือแล้วเสร็จ ขั้นตอนการติดตั้งโยงโย่อาจแตกต่างกันไปตามความชำนาญและเครื่องมือของแต่ละเรือ โดยอาจทำการเจาะตัวเรือเพื่อติดตั้งโยงโย่หลังจากที่ประกอบบล็อกตัวเรือแล้วเสร็จแทนที่การติดตั้งแบบชั่วคราว แต่การดำเนินการในลักษณะนี้จะทำให้ขั้นตอนการติดตั้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องปฏิบัติงานในการยกโยงโย่ในบริเวณใต้ท้องเรือซึ่งมีพื้นที่จำกัด แต่การติดตั้งโยงโย่แบบชั่วคราวตั้งแต่วขั้นตอนการสร้างบล็อกจะมีความสะดวกเนื่องจากสามารถใช้เครนโรงงานในการช่วยประกอบได้ รูปที่ 4



รูปที่ 4 การติดตั้ง Main Strut แบบชั่วคราว

### 3.2 การประกอบบล็อกท้ายเรือโดยการอ้างอิงจากระบบขับเคลื่อน

การตรวจสอบตำแหน่งกึ่งกลางของการประกอบบล็อกตัวเรือจะมีการอ้างอิงตำแหน่งการประกอบบล็อกตัวเรือจากเส้น Center Line Ground Marking (เส้นกึ่งกลางลำเรือที่ได้หมายไว้ที่พื้นของลานต่อเรือ) แต่สำหรับการประกอบบล็อกท้ายเรือซึ่งเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบตัวเรือและอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อนจะต้องมีการหมายตำแหน่ง Sighting and Ground Marking เพื่อช่วยในการตรวจสอบตำแหน่งของการประกอบบล็อกท้ายเรือ

เพิ่มจากเส้น Center Line Ground Marking การหมายตำแหน่ง Sighting and Ground Marking ประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่งของส่วนประกอบตัวเรือและอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อน เช่น ตำแหน่งอ้างอิง (Datum Point) ในการกำหนดแนวเพลลาใบจักร (Shaft Line) ตำแหน่งกระบอกตีฟุต ตำแหน่งโยงโย่ ตำแหน่งดุมใบจักร ตำแหน่งศูนย์กลางของกระบอกหางเสือ ซึ่งส่วนประกอบตัวเรือและอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อนจะอ้างอิงมาจากตำแหน่งอ้างอิงในการกำหนดแนวเพลลา (Datum Point) ดังนั้นการประกอบบล็อกท้ายเรือรวมถึงการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือของระบบขับเคลื่อนด้วยการ



การใช้ดิ่งในการตรวจสอบ  
ตำแหน่งกระบอกลงเรือ

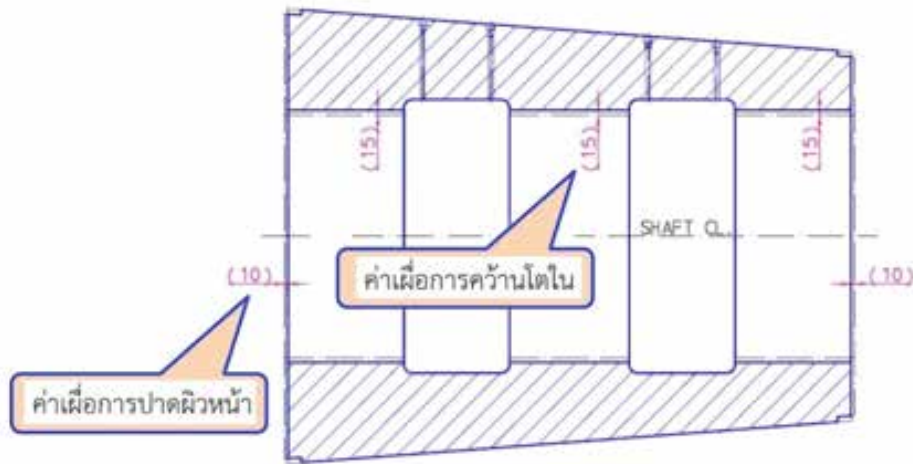
**รูปที่ 5** Rudder Ground Marking และ การตรวจสอบตำแหน่งศูนย์กลางกระบอกลงเรือ  
ขณะทำการประกอบบล็อกท้ายเรือ

อ้างอิงจากตำแหน่งให้เป็นไปตามตำแหน่งที่ได้  
หมายไว้ตาม Sighting and Ground Marking ก็  
จะมีระยะถูกต้องจากการอ้างอิงจากตำแหน่งของ  
Datum Point หรือถูกต้องตามการออกแบบ ระยะ  
ห่างระหว่างตำแหน่งเบริงรับเพลลา ความสูงของเกียร์  
ระยะห่างของใบจักรกับท้องเรือ มุมเพลลาใบจักร  
และตำแหน่งหางเสือ เป็นต้น การหมายตำแหน่ง  
Sighting and Ground Marking จึงทำให้สามารถ  
ตรวจสอบตำแหน่งของส่วนประกอบตัวเรือของ  
ระบบขับเคลื่อนในขั้นตอนของการประกอบบล็อก  
ท้ายเรือได้ถูกต้อง เช่น ทำให้สามารถตรวจสอบ  
ตำแหน่งของกระบอกลีฟุต (ที่ทำการติดตั้งแบบ  
สมบูรณ์ในขั้นตอนการสร้างบล็อก) ทำให้สามารถ

ตรวจสอบตำแหน่งศูนย์กลางของกระบอกลงเรือ  
รูปที่ 5 แสดงการตรวจสอบตำแหน่งศูนย์กลาง  
กระบอกลงเรือกับตำแหน่งศูนย์กลางของหางเสือ  
ที่ได้หมายตามแบบ Sighting and Ground  
Marking ขณะทำการประกอบบล็อกท้ายเรือ

### 3.3 การเผื่อขนาดของส่วนประกอบตัวเรือเพื่อให้ สามารถทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล (Machine) ภายหลังจากการประกอบบล็อกตัวเรือ

จุดประสงค์ของการเผื่อขนาดการขึ้นรูปด้วย  
เครื่องมือกล (Machine) ให้กับส่วนประกอบตัวเรือ  
ของระบบขับเคลื่อนคือต้องการให้สามารถทำการ  
ขึ้นรูปเพื่อแก้ไขตำแหน่งของส่วนประกอบตัวเรือ ฯ



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าเผื่อการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลที่เป็นกระบอกตีฟุต  
(เอกสารประกอบการเรียนหัวข้อ Accuracy: DSME, 2016)

ที่ได้รับผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของบล็อกท้ายเรือ ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวต้องน้อยกว่าค่าเผื่อสำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล (Machine) ตัวอย่างเช่น การกำหนดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางโตโนของกระบอกตีฟุตในกระบวนการผลิตให้เล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่ต้องการตามการออกแบบของการติดตั้ง (รูปที่ 6) การดำเนินการลักษณะนี้จะทำให้สามารถดำเนินการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลด้วยการคว้าน (Boring) เพื่อปรับตำแหน่งศูนย์กลางของกระบอกตีฟุตและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางให้เป็นไปตามแบบการติดตั้ง ทั้งนี้หากบล็อกท้ายเรือไม่มีความคลาดเคลื่อนเลยการขึ้นรูปก็เป็นการคว้านเพื่อปรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (Concentric Boring) แต่หากมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นก็จะต้องใช้การคว้านเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric

Boring) เพื่อแก้ไขตำแหน่งศูนย์กลางของโยงโยให้ถูกต้องตามแบบการติดตั้ง สิ่งที่สำคัญในการดำเนินการตามแนวทางนี้คือการกำหนดค่าเผื่อ ๆ ให้สัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์นั้น ๆ

การกำหนดค่าเผื่อสำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล (Machine) ให้กับส่วนประกอบตัวเรือของระบบขับเคลื่อนมี 2 วิธี วิธีแรกได้จากการเก็บสถิติความคลาดเคลื่อนจากการประกอบบล็อกของการต่อเรือที่ผ่านมา ทั้งนี้ควรต้องพิจารณาตำแหน่งความคลาดเคลื่อนตัวเรือ ณ ตำแหน่งที่มีการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ นั้น ๆ โดยหากการเก็บสถิติได้จากเรือที่มีขนาดและรูปร่างเดียวกันก็จะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง วิธีที่สองสำหรับกรณีที่ยังไม่มีข้อมูลเชิงสถิติของการต่อเรือ การเผื่อขนาดการขึ้นรูปตั้ง

กล่าวสามารถกระทำได้โดยพิจารณาค่ายอมรับได้สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนตัวเรือ ณ ตำแหน่งติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือของระบบขับเคลื่อน เช่น ข้อมูลที่แสดงในรูปที่ ๒ ซึ่งมีค่ายอมรับได้ของความคลาดเคลื่อนที่บล็อกท้ายเรือ  $\pm 20$  มม. ทำให้พิจารณาได้ว่าหากตำแหน่งโยงโยอยู่ท้ายเรือก็จะต้องมีการกำหนดค่าเพื่อการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลด้วยการกำหนดให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตในของโยงโยในขั้นตอนการผลิตเล็กกว่าการแบบการติดตั้ง 40 มม. การปฏิบัติตามวิธีที่สองอาจทำให้มีความสิ้นเปลืองและใช้เวลาการขึ้นรูปนานกว่าวิธีแรก เพราะอาจเป็นการเผื่อที่ในค่ามากที่สุด แต่การกำหนดค่าเผื่อ ๆ ตามวิธีแรกก็มีข้อพิจารณาว่าข้อมูลเชิงสถิติของค่าความคลาดเคลื่อนของตัวเรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการทำงานและความชำนาญของแต่ละอยู่เรือ ข้อมูลการต่อเรือจากอยู่ต่อเรือหนึ่งไม่สามารถนำไปอ้างอิงเพื่อใช้กับอยู่ต่อเรืออื่นได้อย่างสมบูรณ์

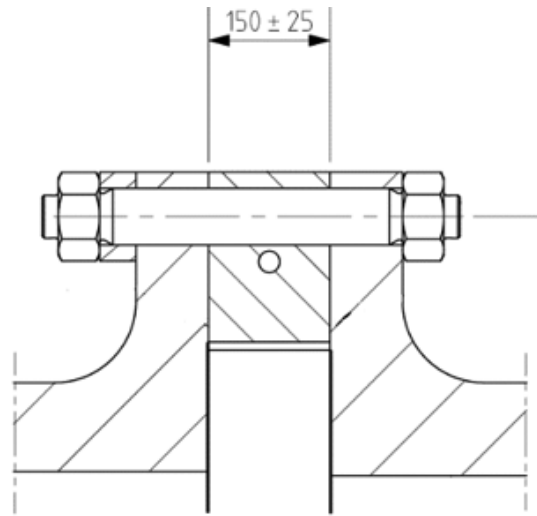
### 3.4 การออกแบบให้อุปกรณ์ในระบบขับเคลื่อนสามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนจากการประกอบบล็อกตัวเรือ

แนวทางสุดท้ายนี้เป็นแนวความคิดการออกแบบจากผู้ผลิตระบบขับเคลื่อนเพื่อให้การติดตั้งระบบขับเคลื่อนมีความอ่อนตัวตามความคลาดเคลื่อนของการประกอบบล็อกท้ายเรือ กรณีที่ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยระบบเพลลาใบจักรที่ยาว ความยาวของเพลลาใบจักรอาจต่อเนื่องในบล็อกท้ายเรือจำนวนหลายบล็อกดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งอาจทำให้ตำแหน่งของอุปกรณ์และส่วนประกอบตัวเรือของระบบขับเคลื่อนได้รับผลกระทบจากความคลาด

เคลื่อนของระยะตามความยาวเรือ ผู้ผลิตระบบที่เพลลาใบจักรที่มีลักษณะดังกล่าวจะออกแบบให้ติดตั้งแผ่นชดเชยระยะ (Compensate Disc) เพื่อให้สามารถปรับแต่งความยาวของระบบเพลลาได้ตามลักษณะแวดล้อมของบล็อกท้ายเรือหลังจากการประกอบบล็อกตัวเรือแล้วเสร็จ รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างของแผ่นชดเชยระยะ (Compensate Disc) ของระบบเพลลาใบจักรแบบปรับพิทช์ใบจักรได้ (Controllable Pitch Propeller, CPP) โดยยอมให้มีการปรับแต่งด้วยระยะถึง  $\pm 25$  มม. จากค่าออกแบบ ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นระยะที่สัมพันธ์กับค่ายอมรับได้ของความคลาดเคลื่อนตามความยาวเรือจากการประกอบบล็อกท้ายเรือที่กำหนดให้  $\pm 25$  มม. สำหรับระยะระหว่าง After Perpendicular, AP ถึง Forward Bulkhead of the Engine Room (The Society of Naval Architects of Japan: Vol 5, 1995) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ทหาระยะระหว่าง AP ถึง Forward Bulkhead of the Engine Room มีความคลาดเคลื่อนภายในค่ายอมรับที่  $\pm 25$  มม. ก็สามารถทำการปรับแต่งความหนาของแผ่นชดเชยระยะ (Compensate Disc) เพื่อให้ความยาวของเพลลาใบจักรตรงตามแบบการติดตั้ง

## 4. บทสรุป

ภายใต้แนวทางการต่อเรือด้วยการประกอบบล็อก (Modular Construction Method) ที่มีการสร้างบล็อก (Block Assembly) ก่อนนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นลำเรือ (Block Erection) อาจทำส่งผลให้ขนาดและรูปทรงของตัวเรือเกิดความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้อาจด้วยเหตุผลจากการ



รูปที่ 7 ตัวอย่างแผ่นชดเชยระยะ (Compensate Disc) ของระบบเพลลาใบจักรแบบปรับพิชท์ได้

เชื่อมและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการ แม้ว่าจะมีการกำหนดค่ายอมรับได้สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนของการประกอบบล็อกตัวเรือ การประกอบบล็อกท้ายเรือโดยไม่คำนึงถึงแนวทางการติดตั้งของระบบขับเคลื่อนอาจทำให้ความคลาดเคลื่อนของการประกอบบล็อกท้ายเรือส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบขับเคลื่อนได้แม้ว่าความคลาดเคลื่อนนั้นจะอยู่ในเกณฑ์ของค่าที่ยอมรับได้ก็ตาม เพื่อให้การประกอบบล็อกท้ายเรือตามแนวทางการต่อเรือแบบ Modular Construction Method สัมพันธ์กับงานติดตั้งระบบขับเคลื่อน ควรต้องพิจารณาให้การสร้างบล็อกและการประกอบบล็อกบริเวณท้ายเรือมีการดำเนินการตามแนวทางดังนี้ ให้มีการคาดการณ์ถึงการเปลี่ยนแปลงตัวเรือในระหว่างการประกอบบล็อกตัวเรือเพื่อให้พิจารณาติดตั้งส่วนประกอบตัว

เรือของระบบขับเคลื่อนได้เหมาะสม ให้มีการอ้างอิงตำแหน่ง Datum Point ของระบบขับเคลื่อนในการประกอบบล็อกท้ายเรือ ให้มีการกำหนดค่าเพื่อสำหรับส่วนประกอบตัวเรือของระบบขับเคลื่อน เพื่อให้สามารถทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล (Machine) หลังจากการประกอบบล็อกตัวเรือ และสุดท้ายให้พิจารณาเลือกระบบขับเคลื่อนที่สามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนจากการประกอบบล็อกตัวเรือได้ เพื่อให้การประกอบบล็อกท้ายเรือสามารถดำเนินการได้รวดเร็วตามแนวทางการต่อเรือแบบ Modular Construction Method งานด้านการต่อเรือและงานติดตั้งระบบขับเคลื่อนต้องมีความสัมพันธ์และต้องทำงานประสานกันอย่างใกล้ชิด เพื่อให้แน่ใจว่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามการคาดการณ์ของงานทั้งสองระบบ



## เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสารประกอบการเรียนหัวข้อ Accuracy, หลักสูตร Accuracy Control: 7049-DSM-RTN-OJT-G-038H7049 Accuracy, การฝึกอบรม “การถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีขั้นการสร้างเรือ”, Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME), สาธารณรัฐเกาหลี, 2016
- [2] เอกสารประกอบการเรียนหัวข้อ Accuracy Control Procedure, หลักสูตร Accuracy Control: 7049-DSM-RTN-OJT-G-009H7049 Accuracy Control Procedure, การฝึกอบรม “การถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีขั้นการสร้างเรือ”, Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME), สาธารณรัฐเกาหลี, 2016
- [3] IACS, NO.47 Shipbuilding and Repair Quality Standard. Part A: Shipbuilding and Remedial Quality Standard for New Construction, IACS Rec. 1996/Rev: 7, The International Association of Classification Societies and International Association of Classification Societies Limited June 2013
- [4] Rowen L. Alan, Ed: Roy L Harrington, Marine Engineers, ISBN: 0-939773-10-4, N.J., USA, 1992
- [5] The Society of Naval Architects of Japan, Shipbuilding Technology Series: Hull Construction Part, Fabrication Volume. 3, กรมพัฒนาการช่าง, กรมอุทกทหารเรือ. 1995
- [6] The Society of Naval Architects of Japan, Shipbuilding Technology Series: Hull Construction Part, Erection Volume. 5, กรมพัฒนาการช่าง, กรมอุทกทหารเรือ. 1995



## คำแนะนำสำหรับผู้ประสงค์ส่งบทความลงตีพิมพ์ ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

### คำแนะนำทั่วไป

1. ผลงานที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่ได้รับการเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง
2. ต้นฉบับที่ส่งตีพิมพ์ต้องเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษเท่านั้น
3. ต้นฉบับต้องผ่านการกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ
4. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสาร

### นโยบายพิจารณากลับกรองบทความ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รับผิดชอบบทความวิชาการบทความวิจัย ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี โดยวารสารฯ จะนำเสนอบทความคุณภาพที่สามารถแสดงถึงประโยชน์เชิงทฤษฎีสำหรับนักวิจัยในการพัฒนาหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ ดังนั้นบทความที่จะได้รับลงตีพิมพ์จะต้องผ่านการพิจารณากลับกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง และจะต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพในทางวิชาการดังกล่าวข้างต้น

### กระบวนการการพิจารณากลับกรองบทความ (Review Process)

บทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องผ่านการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องโดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้ส่งบทความทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้วสมบูรณ์
2. กองบรรณาธิการจะตรวจสอบหัวข้อและเนื้อหาของบทความถึงความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสารฯ รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ





3. ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความพิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะตีพิมพ์หรือไม่ เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิได้พิจารณาถ้อยแถลงบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้นๆ ควรได้รับการตีพิมพ์ หรือควรส่งกลับให้กับผู้ส่งบทความเพื่อแก้ไขก่อนพิจารณาอีกครั้งหนึ่งหรือปฏิเสธการลงตีพิมพ์

## ข้อกำหนดของบทความต้นฉบับ (Manuscript Requirements)

1. ผู้เขียนบทความควรใช้ฟอนท์ Sarabun ขนาด 16 พอยน์ สำหรับบทความภาษาไทย และบทความภาษาอังกฤษ โดยบทความที่จะส่งไม่ควรยาวเกิน 7,000 คำ
2. ชื่อบทความควรมีความกระชับและได้ใจความชัดเจนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
3. บทความต้องระบุชื่อและสถานที่ทำงานหรือสถานศึกษา วุฒิการศึกษาชั้นสูง/หรือตำแหน่ง ทางวิชาการ (ถ้ามี)
4. ผู้ส่งบทความจะต้องเขียนบทคัดย่อ (ความยาวไม่ควรเกิน 250 คำ) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
5. ผู้ส่งบทความควรตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์ต้นฉบับ เช่น ตัวสะกด วรรคตอน และความเหมาะสม ความสละสลวยของการใช้ภาษา เป็นต้น
6. ผู้ส่งบทความจะต้องเขียนอ้างอิงเอกสารอื่นโดยจัดให้อยู่ในรูปแบบ APA Style (สามารถดูรายละเอียดได้ที่ [http://en.wikipedia.org/wiki/APA\\_list](http://en.wikipedia.org/wiki/APA_list)) และจะต้องตรวจสอบความถูกต้องและ ความสมบูรณ์ของการอ้างอิง ในกรณีที่ผู้ส่งบทความต้องการอ้างอิงเอกสารภาษาไทย ควรใช้ชื่อตามด้วย ปีที่ตีพิมพ์ในวารสาร เช่น (ประเสริฐ คณาวัฒน์ไชย, 2551) และ (ประเสริฐ คณาวัฒน์ไชย และคณะ, 2551) ในกรณีที่ผู้แต่งมากกว่า 6 คนขึ้นไป
7. ผู้ส่งบทความต้องกำหนดประเภทของบทความให้ชัดเจนว่าเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัย องค์ประกอบของบทความทั้ง 2 ประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทความวิชาการ บทความควรชี้ประเด็นที่ต้องการนำเสนอให้ชัดเจนและมีลำดับเนื้อหาที่เหมาะสม เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน รวมถึงมีการใช้ทฤษฎีวิเคราะห์และเสนอแนะประเด็นอย่างชัดเจน

บทความวิจัย บทความควรนำเสนอการวิจัยและผลที่ได้รับอย่างเป็นระบบโดยบทความควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

บทนำ (introduction) ที่ครอบคลุมความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัยพร้อมทั้งเสนอภาพรวมของบทความ

บททวนวรรณกรรม (Literature Review)



ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology) ที่สามารถอธิบายวิธีดำเนินการวิจัยรวมถึงการเก็บข้อมูลหรือเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยอย่างชัดเจน

ผลการศึกษา (Research Finding)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย (Discussion/Conclusion)

เอกสารอ้างอิง (References)

## การเตรียมและส่งบทความต้นฉบับ

ผู้เขียนสามารถส่งบทความต้นฉบับ ผ่านทางเว็บไซต์ <http://www.rtna.ac.th/pages/tci.html> หรือทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ E-mail: [rtna.edu.ee@gmail.com](mailto:rtna.edu.ee@gmail.com) พร้อมแนบบทความต้นฉบับในรูปแบบไฟล์ Microsoft word ที่มีเนื้อหา ตาราง และภาพประกอบอยู่ในไฟล์เดียวกัน

## สิ่งที่ผู้เขียนจะได้รับตอบแทน

กองบรรณาธิการจะออกนันทนาการวารสารฉบับที่บทความของผู้เขียนได้รับการตีพิมพ์บทความละ 2 ฉบับ

## หมายเหตุ

ข้อคิดเห็นที่ปรากฏและแสดงในเนื้อหาบทความต่างๆ ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีถือเป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของโรงเรียนนายเรือ หากบุคคลหรือหน่วยงานใดต้องการนำทั้งหมดหรือส่วนหนึ่งส่วนใดไปเผยแพร่ต่อหรือเพื่อกระทำการใดๆ จะต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากโรงเรียนนายเรือก่อนเท่านั้น



## ปรัชญา ปณิธาน และวัตถุประสงค์ ของโรงเรียนนายเรือ

### 1. ปรัชญา โรงเรียนนายเรือ

แหล่งผลิตนายทหารเรือ อันเป็นรากแก้วของกองทัพเรือ

### 2. ปณิธาน

ให้การศึกษาและฝึกอบรมแก่นักเรียนนายเรือ เพื่อให้เป็นนายทหารสัญญาบัตร ที่มีความรู้ ความสามารถ ความคิดริเริ่ม มีความเป็นผู้นำเพียบพร้อมด้วย คุณธรรม จริยธรรม สำหรับการปฏิบัติ ราชการในกองทัพเรือ รวมทั้งมีความจงรักภักดีต่อชาติ ศาสนา และพระมหากษัตริย์

### 3. วัตถุประสงค์

- 3.1 ให้มีความรู้ด้านวิชาการระดับปริญญาตรีแก่นักเรียนนายเรือในทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ ตามความต้องการของกองทัพเรือ
- 3.2 ให้มีความรู้และประสบการณ์ด้านวิชาชีพทหารเบื้องต้นแก่นักเรียนนายเรือเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วสามารถทำหน้าที่นายทหารสัญญาบัตรตามพรรคเหล่าได้ ดังนี้
  - 3.2.1 พรรคนาวิน สามารถทำหน้าที่ นายทหารยามพรรคนาวิน
  - 3.2.2 พรรคนาวินเหล่าพลาธิการ สามารถทำหน้าที่นายทหารพลาธิการของเรือและผู้ช่วยนายทหารยามพรรคนาวิน
  - 3.2.3 พรรคนาวินเหล่าอุทกศาสตร์ สามารถทำหน้าที่นายทหารยามพรรคนาวิน
  - 3.2.4 พรรคกลิน สามารถทำหน้าที่นายทหารยามพรรคกลินหรือทำหน้าที่นายทหารไฟฟ้าอาวุธ
  - 3.2.5 พรรคนาวิกโยธิน สามารถทำหน้าที่ผู้นำหน่วยระดับผู้บังคับหมวดปืนเล็ก
- 3.3 พัฒนาร่างกายและจิตใจให้นักเรียนนายเรือมีความเป็นผู้นำ มีความสุขภาพแข็งแรงจิตใจที่สมบูรณ์ มีปฏิภาณไหวพริบดีมีความรับผิดชอบต่อหน้าที่มีความคิดริเริ่ม มีทักษะในการคิดการวิเคราะห์ และแก้ไขปัญหา มีคุณธรรม จริยธรรม มีความซื่อสัตย์จงรักภักดีต่อชาติ ศาสนา พระมหากษัตริย์

## บทความวิจัย

1. Power Performance Prediction for Nonlinear Waves in Shallow Water  
นาวาเอก ผศ.दनัย ปฎิยทุธ
2. Coastal Unmanned Surface Vehicle (USV) Conceptual Hull Design Study  
นาวาตรี ศราวุธ ศรีนาแก้ว
3. Tsunami Propagation in the Gulf of Thailand  
นาวาโท พิเชษฐ ป้วเฮงทรัพย์

## บทความวิชาการ

4. การสั่นสะเทือนของเรือ  
Ship Vibration  
นาวาเอก ผศ.วัฒนา น้อยทอง
5. ภูมิแพ้กรุงเทพ  
PM 2.5  
นาวาโทหญิง จุฑามาศ พบสุข
6. เสียงเรือ  
Ship Noise  
นาวาโท อัครนัย ไทรบุญจันทร์
7. การประเมินประสิทธิภาพของโซนาร์เพื่อสนับสนุนการวางแผนทางทหาร ด้วยโปรแกรม WADER  
Evaluation of SONAR Performance to Support Military Planning by WADER Program  
นาวาโท ศิริวัฒน์ ศิริวัฒนกุล
8. วิธีลดผลกระทบต่องานติดตั้งระบบขับเคลื่อนเรือในขั้นตอนการประกอบบล็อกท้ายเรือ  
Methods to Minimize Effects on Propulsion Installation for the Erection of Stern Blocks  
นาวาโท นกตล ตันวัฒนะ